

**ATIK BİYODİZEL KULLANILAN BİR MOTORDA
YAKIT KATKISININ PERFORMANS VE
EMİSYONLARA ETKİSİ**

**2013
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Ömer Faruk SEL

**ATIK BİYODİZEL KULLANILAN BİR MOTORDA YAKIT KATKISININ
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

Ömer Faruk SEL

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2013**

Ömer Faruk SEL tarafından hazırlanan “ATIK BİYODİZEL KULLANILAN BİR MOTORDA YAKIT KATKISININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 24/06/2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mesut DÜZGÜN (GÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU (KBÜ)

.../.../2013

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ömer Faruk SEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK BİYODİZEL KULLANILAN BİR MOTORDA YAKIT KATKISININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Ömer Faruk SEL

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU

Haziran 2013, 76 sayfa

Bilindiği gibi, kullanım alanı sürekli genişleyen dizel motorlu araçlar petrol kökenli yakıtlar kullanmakta ve buna paralel olarak yakıt ihtiyacı da sürekli artmaktadır. Bu artan ihtiyaca karşılık petrol rezervlerinin azalması ve fiyatlardaki hızlı artış, diğer yandan hava kirliliğinin artması gibi sebeplerden dolayı alternatif yakıtlar geliştirilmeye başlanılmıştır. Dizel motorlar için araştırılan alternatif yakıtlardan biri atık bitkisel yağlardır. Ancak atık bitkisel yağlar yüksek viskoziteleri nedeniyle dizel motorlarda doğrudan kullanılamamakta, viskoziteyi düşürmek için biyodizel üretilmekte ve biyodizel ile dizel yakıtı çeşitli oranlarda karıştırılmaktadır.

Bu çalışmada testler için biyodizel temin edilmiş ve birinci numune yakıtlar; B100 (saf biyodizel), B50 (%50 biyodizel ve %50 euro dizel) hazırlanmıştır. Daha sonra motor performansını arttırmak, viskozite ve egzoz emisyonlarını iyileştirmek için, birinci numune yakıtlara %1, %3, %5 oranlarında katkı maddesi olan nano hydro

borazine (NHB) eklenerek ikinci numune yakıtlar elde edilmiştir. İkinci numune yakıtların kinematik viskozitelerinin, birinci numune yakıtların kinematik viskozitelerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Birinci numune yakıtlar ile yapılan testler sonucunda, kullanılan yakıttaki biyodizel miktarı arttıkça euro dizel yakıtı göre motor gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde artış, buna ek olarak, CO, HC ve is emisyonlarında azalma ve NO_x emisyonunda artış tespit edilmiştir.

İkinci numune yakıtlar ile yapılan testler sonucunda, kullanılan yakıttaki katkı maddesi miktarı arttıkça, birinci numune yakıtlara göre motor gücünde artma, özgül yakıt tüketiminde ise azalma, buna ek olarak, CO, is emisyonlarında azalma ve NO_x, HC emisyonlarında artış tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Atık ayçiçek yağı, biyodizel, bor, motor performansı, egzoz emisyonları.

Bilim Kodu : 914.3.026

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF FUEL ADDITIVE ON PERFORMANCE AND EMISSION IN A WASTE BIODIESEL FUELED ENGINE

Ömer Faruk SEL

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Selami SAĞIROĞLU

June 2013, 76 pages

As it is known, the diesel engine vehicles whose use of area continuously changes use oil-origin fuels and thus the need of fuel constantly increase in parallel to this. Decreasing oil reserves, rapid increase in oil costs and increase in air pollution have caused people to improve alternative fuels. One of the alternative fuel sources which has been studied for diesel engine vehicles is the waste vegetable oils. But the waste vegetable oil in cannot be directly used in diesel engines due to the high rate of viscosities, so that biodiesel is first produced to decrease the high rate of viscosities and then the diesel fuel is mixed up with biodiesel.

In this study, biodiesel was provided for the tests and the first sample fuels, B100 (pure biodiesel), B50 (50% biodiesel and 50% euro diesel), were prepared. Later on, the second sample fuels were prepared from the first sample fuels, which were added the proportion of 1%, 3%, 5% fuel additive nano hydro borazine (NHB) to increase

the performance of the engine and reduce exhaust emissions and fuel viscosity. Kinematic viscosities of the second sample fuels have been found higher than that in the first sample fuels.

As a result of the tests carried out with the first sample fuels, it was found that once the amount of biodiesel used in the fuel increased, there was decrease in brake power compared to euro diesel and there was increase in the fuel consumption, on the otherhand, there was also decrease in the emission of CO, HC and smoke density, whereas there was increase in the NO_x emission.

As a result of the tests conducted with the second sample fuels, it was found that once the amount of biodiesel used in the fuel increased, there was decrease in the brake power compared to the first sample fuels and there was decrease in the specific fuel consumption. In addition, there was decrease in the CO and smoke density emission, while there was increase in the NO_x and HC emission.

Keyword : Waste sunflower oil, biodiesel, boron, motor performance, exhaust emissions.

Science Code : 914.3.026

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Selami SAğİROğLU'na, ayrıca deneysel çalıőmalarım sırasında görüşleriyle çalıőmama yön veren Sayın Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Mesut DÜZGÜN'e, tez çalışması boyunca her zaman yanımda olan sevgili ağabeyim İrfan KİBAR ve Yasin ÖZMEN'e, deneysel çalışmalarda kullanılacak gerekli materyal temininde yardım eden Kimya Mühendisi Mustafa GEVHEROğLU'na, deneysel çalışmalarda deneylerin gerçekleştirilmesine yardım eden arkadaşlarım Emirhan SARIKAYA ve Erdi CANPOLAT'a ve son olarak maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
LİTERATÜR TARAMASI.....	5
BÖLÜM 3	10
DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE BİYODİZEL.....	10
3.1. DÜNYADA BİYODİZEL.....	10
3.2. TÜRKİYE’DE BİYODİZEL.....	13
3.2.1. Türkiye’de Biyodizelin Mevcut Durumu	13
3.2.2. Türkiye’de Biyodizel İle İlgili Yasa Ve Düzenlemeler	14
BÖLÜM 4	17
DİZEL YAKITI VE BİTKİSEL YAĞLARIN ÖZELLİKLERİ, BİYODİZEL ÜRETİM METODLARI	17
4.1. DİZEL YAKITLARIN ÖZELLİKLERİ	17
4.1.1. Yakıtların Fiziksel Özellikleri.....	17
4.1.1.1. Viskozite (Akıcılık Derecesi)	18
4.1.1.2. Özgül Ağırlık.....	19

	<u>Sayfa</u>
4.1.1.3. Uçuculuk Noktası.....	20
4.1.1.4. Parlama Noktası.....	20
4.1.1.5. Donma Noktası.....	21
4.1.1.6. Su Ve Tortu Miktarı	21
4.1.1.7. Buharlaşma Noktası	21
4.1.1.8. Düşük Sıcaklık Davranışı.....	22
4.1.2. Yakıtların Kimyasal Özellikleri	23
4.1.2.1. Ateşleme Noktası.....	23
4.1.2.2. Kükürt Miktarı.....	24
4.1.2.3. Kül Miktarı	24
4.1.2.4. Karbon Artıkları	24
4.1.2.5. Setan İndisi.....	24
4.1.2.6. Setan Sayısı	25
4.1.2.7. Aromatik Yüzdesi	26
4.2. BİTKİSEL YAĞLARIN YAPISI	26
4.2.1. Bitkisel Yağların Kimyasal Özellikleri	26
4.2.2. Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri.....	27
4.3. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ .	29
4.3.1. Seyreltme	29
4.3.2. Piroliz.....	30
4.3.3. Mikroemülsiyon	30
4.3.4. Transesterifikasyon.....	31
4.4. DİZEL VE BİYODİZEL STANDARTLARI.....	32
BÖLÜM 5	34
MATERYAL VE METOD	34
5.1. MATERYAL	34
5.1.1. Deney Alanı	34
5.1.2. Deney Motoru	35
5.1.3. Motor Dinamometresi.....	36
5.1.4. Egzoz Gaz Analizörü.....	36
5.1.5. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği	37

	<u>Sayfa</u>
5.1.6. Mezürler	38
5.1.7. Hassas Terazi.....	38
5.1.8. Yük Hücresi (Load Cell) Ve İndikatör	39
5.1.9. Termometre	39
5.1.10. Dansimetre	40
5.1.11. Dijital Termometre	40
5.1.12. Viskozimetre	41
5.1.13. Testlerde Kullanılan Yakıtlar Ve Katkı Maddesi.....	42
5.2. METOD.....	45
5.2.1. Motor Performans Ve Emisyon Testi.....	46
5.3. Deneysel Hesaplamalar	46
5.3.1. Deneysel Hesaplamalarda Kullanılan Formüller	46
5.3.1.1. Motor momenti ve gücü.....	47
5.3.1.2. Özgül yakıt tüketimi	48
BÖLÜM 6	49
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	49
6.1. EURO DİSESEL VE NUMUNE YAKITLARIN ODA SICAKLIĞI VE 40 °C SICAKLIKTA VİSKOZİTE DEĞERLERİ.....	49
6.2. DÖNDÜRME MOMENTİ	51
6.3. EFEKTİF GÜÇ	53
6.4. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ	55
6.5. EGZOZ EMİSYONLARI.....	57
6.5.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu	57
6.5.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu.....	59
6.5.3. Azotoksit (NOx) Emisyonu	61
6.5.4. İS Emisyonu.....	63
BÖLÜM 7	66
SONUÇLAR.....	66

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR.....	68
EK AÇIKLAMALAR A. DENEY SONUÇLARINA AİT ÇİZELGELER	71
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Ülkelerin yaydığı CO ₂ emisyonu	3
Şekil 3.1. AB biyodizel üretim kapasiteleri	11
Şekil 3.2. Biyoyakıtın pazar payı.....	11
Şekil 3.3. AB’de biyoyakıtların gelişimi.....	12
Şekil 3.4. İllere göre çalışan ve firma sayısı.....	15
Şekil 3.5. Üreticilerin illere göre dağılımı.....	15
Şekil 4.1. Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi	25
Şekil 4.2. Trigliseridin açık formülü	26
Şekil 4.3. Bitkisel ve hayvansal yağların özelliklerinin iyileştirilmesi.....	29
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin genel görünüşü	34
Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü	35
Şekil 5.3. Deney motorunun genel görünüşü	35
Şekil 5.4. Egzoz gaz analizörünün görünüşü	37
Şekil 5.5. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği	38
Şekil 5.6. Karışımın oluşturulmasında kullanılan mezürler	38
Şekil 5.7. Yakıt tüketimi ölçmek için hassas terazi	39
Şekil 5.8. Yük hücresi ve indikatörün görünümü	39
Şekil 5.9. Dijital termometre	40
Şekil 5.10. Dansimetre ve yoğunluk ölçülmesi	40
Şekil 5.11. Dijital termometre ile yakıt sıcaklığının ölçülmesi	41
Şekil 5.12. Viskozite ölçümünde kullanılan viskozimetre.....	41
Şekil 6.1. Kinematik viskozitenin sıcaklığa bağlı değişimi	50
Şekil 6.2. Yoğunluğun sıcaklığa bağlı değişimi	50
Şekil 6.3. Motor momenti değişimleri	52
Şekil 6.4. Efektif güç.....	54
Şekil 6.5. Özgül Yakıt Tüketimi.....	56
Şekil 6.6. CO emisyonları	58

	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.7. HC emisyonları	60
Şekil 6.8. NOx emisyonları	62
Şekil 6.9. İs emisyonları.....	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. AB’de biyodizel kullanım miktarı.....	12
Çizelge 4.1. Motorin ve bitkisel yağların yakıt özellikleri.....	28
Çizelge 5.1. Deney motorunun teknik özellikleri.....	36
Çizelge 5.2. Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri.....	37
Çizelge 5.3. Deneyleerde kullanılan ED ve BD’nin yakıt özellikleri	42
Çizelge 5.4. Mineral bazında Türkiye bor rezervleri.....	43
Çizelge 5.5. Mineral bazında Türkiye bor rezervleri (B ₂ O ₃ bazında).....	44
Çizelge 6.1. ED ve numune yakıtlarda katkı maddesinin viskoziteye etkisi	51
Çizelge EK A.1. Yakıt türü ve motor devrine göre baskı kuvveti değerleri.....	72
Çizelge EK A.2. Yakıt türü ve motor devrine göre moment değerleri	72
Çizelge EK A.3. Yakıt türü ve motor devrine göre efektif güç değerleri.....	73
Çizelge EK A.4. Yakıt türü ve motor devrine göre ÖYT değerleri.....	73
Çizelge EK A.5. Yakıt türü ve motor devrine göre HC emisyon değerleri	74
Çizelge EK A.6. Yakıt türü ve motor devrine göre CO emisyon değerleri	74
Çizelge EK A.7. Yakıt türü ve motor devrine göre NO _x emisyon değerleri	75
Çizelge EK A.8. Yakıt türü ve motor devrine göre is emisyon değerleri	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- \dot{m}_f : Yakıt debisi (kg/h)
€ : Euro
\$: Dolar
l : Moment kolunun uzunluğu (m)
m : Yük hücrelerinden okunan kütle (kg)
 M_e : Motor momenti (Nm)
n : Motor hızı (1/min)
 P_e : Efektif motor gücü (kW)
sfc : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
 ΔV : Ölçekli kaptaki yakıt hacmi (g)
 Λ : Hava fazlalık katsayısı
 ν : Kinematik viskozite (mm^2/s)
 ρ : Yoğunluk (kg/m^3)

KISALTMALAR

ASTM	: Amerika Malzeme Tecrübeleri Kurumu
BD	: Biyodizel
B5	: %5 Biyodizel + %95 Dizel
B20	: %20 Biyodizel + %80 Dizel
B50	: %50 Biyodizel + %50 Dizel
B100	: %100 Biyodizel
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
DIK	: Düşük ısı kayıplı
DND	: Donma noktası düşürücü
ED	: Dizel yakıtı
HC	: Hidrokarbon
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
KOH	: Potasyum hidroksit
KWh	: Kilowatt-saat ($1W \times 10^3$)
NaOH	: Sodyum hidroksit
NHB	: Nano Hydro Borazine
NO	: Azotoksit
NO _x	: Azot oksitler
OPEC	: Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi
PKDY	: Petrol kökenli dizel yakıt

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bugün kullanılan araba motorlarının öncüsü sayılan ve benzinle çalışan dört zamanlı ilk içten yanmalı motor, 1876 yılında Nicholas Otto tarafından yapıldı. Ancak 20. yüzyılın başlarına değin otomobillerde temel itici güç kaynağı olarak buhar ve elektrikten yararlanılmaya devam edildi. 1890'lara kadar hızla yaygınlaşan benzin motorlu taşıtlar elektrikli olanlara göre daha hızlıydılar, uzun yolculuklar için daha uygundular ve buharlı otomobillere oranla daha az bakım gerektiriyorlardı. Benzinli motorlar bu avantajlarıyla buharlı ve elektrikli araçlar arasından sıyrılmaya başladılar. O zamana kadar eczanelerde satılan ve petrol damıtımında istenmeyen bir yan ürün olan benzin bu sonuçla çok büyük bir önem kazanmaya başladı. İlk petrol şirketlerinin kurulması da bunun bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Geliştirilen bu içten yanmalı motor modeli, bugünkü otomobil motorlarının temelini oluşturmaktadır. Rudolf Diesel adlı bir Alman mühendis, 1897'de motorinle çalışan ve farklı bir çalışma prensibine dayalı dizel motoru geliştirdi. Ancak motor verimliliğine oranla çok hantal olduğu için 20 yıl boyunca otomobillerde kullanılmadı [1].

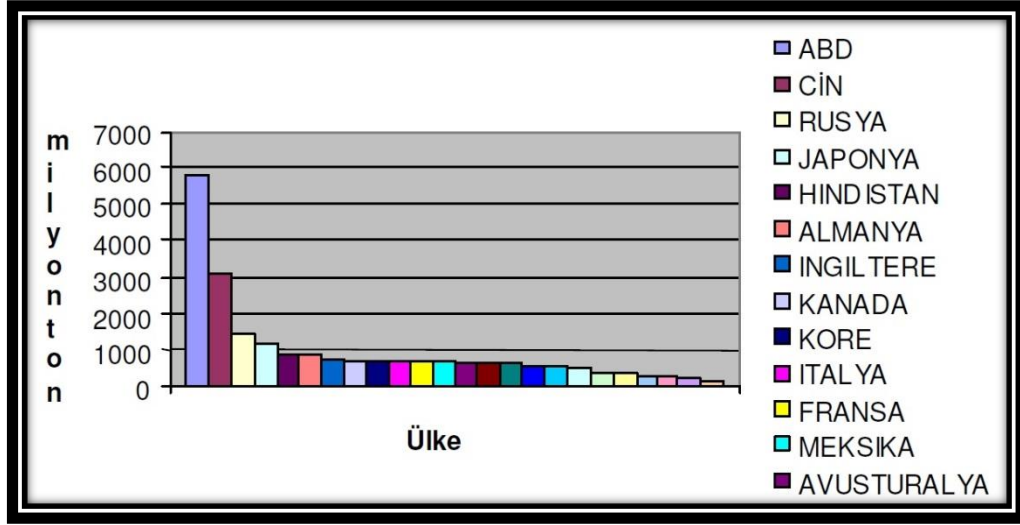
Pratik anlamda kullanılabilir olan ilk otomobil, Otto'nun içten yanmalı motorunu geliştiren Alman Karl Benz tarafından 1886 yılında üretilmiştir. Benz ayrıca ilk otomobil satışını gerçekleştirerek otomobilin sanayileşmesinin önünü açmıştır. Benz ile hemen hemen aynı zamanlarda ve bağımsız olarak içten yanmalı motorun performansını önemli ölçüde geliştiren mühendis ve mucit olan Gottlieb Daimler de 1892'de otomobil üretip satmaya başlamıştır. Karayolu taşıtlarının ilk seri üretimi ise, 1908 yılında Amerikalı Henry Ford tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araçlardan 15 milyon adet üretilmiştir. İkinci Dünya savaşı sonrası refah düzeyi artan ülkelerde, motorlu kara taşıtlarına olan talepler hızla artmıştır [1].

Geçen 150 yıl içerisinde petrolün çıkartılması ve yakıt üretilmesi amacıyla rafine edilmesi alanlarında büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Bu gelişmelere paralel olarak benzin, motorin ve fueloil gibi yakıtların kullanım alanları ve tüketici sayısı hızla artmıştır. Bu aşırı talep ve sonucundaki fazla tüketim ekonomik, siyasi ve çevre açısından ciddi sorunları da beraberinde getirmiştir [2].

Dünya ölçeğinde petrol ürünlerine olan aşırı talep, doğal olarak petrol fiyatlarının hızla yükselmesine sebep olmuştur. Özellikle 1970 yılında yaşanan petrol krizinde bu artış çok önemli rol oynamıştır. 1970 yılında petrol sahibi Orta Doğu Ülkeleri petrol üretimini engelleyerek dünya çapında petrol fiyatlarını kontrol altına almışlar ve sonuçta kriz yaşanmıştır. Petrol ihraç eden ülkeler (OPEC) içindeki özellikle Orta Doğu Ülkeleri, bu krizde başrolü oynamıştır. 1973 yılında OPEC üyesi ülkelerden İran, Irak, Kuveyt, Suudi Arabistan ve Birleşik Arap Emirlikleri dünya petrol üretiminin % 36'sını kontrol eder hale gelmiş ve bu durum petrolün varil fiyatını 10 \$'dan 50 \$'ın üzerine çıkartmıştır [2].

İçten yanmalı motorlar her yıl milyonlarca ton CO₂ atmosfere göndermektedir. Buna mukabil atmosferdeki serbest oksijen miktarı azalmaktadır. Örneğin bir otomobil 1 litre benzin tükettiğinde atmosfere 2,63 kg., 1 litre motorin tükettiğinde ise 1,55 kg. CO₂ bırakmaktadır [2]. Ülkelerin yaydığı CO₂ emisyon değerleri Şekil 1.1'de görülmektedir.

Fosil yakıtların ekonomiler üzerinde oluşturduğu baskı ve olumsuz etkilerin yanında çok önemli bir sorunda bu yakıtları aşırı kullanmanın neden olduğu küresel ısınmadır. Özellikle fosil yakıtların emisyon değerlerinin olumsuz oluşu bu yöndeki problemi tetiklemekte ve bu sorun yerel sorun olmaktan çıkıp küresel boyut kazanmaktadır. Fosil yakıtların kullanımının atmosferdeki CO₂ miktarını da artırdığı bilinmektedir. CO₂ miktarındaki bu artış sonuçta küresel ısınmayı da beraberinde getirmekte, bu durum uzmanlarca çok önemli bir çevre sorunu olarak belirtilen ve yeryüzünde aşırı ısınmaya yol açan "Sera Etkisine neden olmaktadır. Küresel ısınmanın dünyanın geleceğini tehdit etmesi ülkeleri acil önlem almaya yöneltmiş bu çabalar sonucunda "Rio Sözleşmesi" ve "Kyoto Protokolü" hayata geçirilmiştir [2].



Şekil 1.1. Ülkelerin yaydığı CO₂ emisyonu [2].

Güneş, rüzgar, hidrolik enerji, jeotermal enerji, hidrojen enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle enerjisi büyük bir potansiyele sahiptir [3].

Yenilenebilir, her yerde yetiştirilebilen, sosyo-ekonomik gelişme sağlayan, atıkları değerlendirilebilen, çevre dostu, değişik enerji formlarına dönüşebilen, stratejik bir enerji kaynağı olan biyokütle enerjisi; biyometanlaştırma, biyofotoliz, fermentasyon, piroliz, gazlaştırma, karbonizasyon, esterleşme gibi yöntemlerle karbon ve hidrojen zengin, yüksek ısıl değerli, kolay taşınabilir ve depolanabilir, alternatif yakıtlara dönüştürülebilmektedir. Biyokütle hammaddeleri olarak orman ürünleri, yağlı tohumlar, karbonhidratlar, elyaf bitkileri, bitkisel artıklar ve atıklar, hayvansal atıklar, kentsel ve endüstriyel atıkların kullanıldığı düşünülürse potansiyelin büyüklüğü görülebilecektir [3].

Doğada her yıl 150 milyar ton biyokütle üretilmekte, bunun ancak %10'u ticari olarak kullanılmaktadır. Dünya artık bu büyük potansiyeli harekete geçirmenin mücadelesini vermekte ve biyokütle teknolojisi önemli boyutlar kazanmaktadır [3].

Enerji arzının güvence altına alınması ve küresel ısınma ile mücadele açısından önem kazanan ve dünyanın gündemine oturan biyoyakıtlar tüm dünyanın ilgi odağı olmuş ve zorunluluk bağlamında tedbirler geliştirilmeye başlanmıştır [3].

Bütün Dünyada olduğu gibi, ülkemizde de içten yanmalı motorlara sahip araç sayısı hızla artış göstermektedir. Araç sayısının artısına paralel olarak egzoz emisyonlarında da artış görülmektedir. Bunun yanında, Dünya petrol rezervlerinin sınırlı olduğu bilinmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre; dünya enerji ihtiyacının % 38,5'ini karşılayan petrolün 41, % 23,7'sini karşılayan doğal gazın 62, %22,7'sini karşılayan kömürün ise 230 yıl rezerv kullanım süresi bulunmaktadır. Araç sayısının artışıyla birlikte, araçlarda kullanılan petrol kökenli yakıtlara olan talep de hızla artmaktadır. Bunun sonucu olarak da zaten sınırlı rezervlere sahip olan Dünya petrol kaynakları hızla tükenmektedir. 1970 yılında ortaya çıkan petrol krizinin etkisi ile alternatif enerji kaynak arayışı önemli hale gelmiş ve konu ile ilgili bilimsel çalışmalara hız verilmiştir. Dünyada ki birçok ülke, egzoz emisyonu ile ilgili düzenleyici yasalar çıkartmıştır [2].

Bu çalışmada, Türkiye'nin ihtiyacı olan yakıt miktarının önemli bir kısmını düşük maliyetle karşılamak için kullanılmış ayçiçek yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanım imkanları araştırılmış, daha sonra kullanılan biyodizellerin motor performansına, viskozite ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmak için B100 ve B50 yakıtlarının içerisine %1, %3, %5 oranlarında piyasada dizel yakıt katkı maddesi olarak satılan nano hydro borazine eklenerek motor testleri yapılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Bitkisel yağlar ve yağ esterlerinin içten yanmalı dizel motorlarında kullanımı ile ilgili, ülkemizde ve dünyada birçok araştırma yapılmıştır.

Literatür bilgilerine göre motorlarda bitkisel kökenli yağın yakıt olarak kullanımı Rudolf Diesel'in 1900 yılında Paris Fuarı'nda sergilediği ve yer fıstığı yağı ile çalışmak üzere tasarladığı motora kadar uzanmaktadır. Rudolf Diesel o tarihte bitkisel yağlar için: "Bitkisel yağlar önemli bir motor yakıtıdır, bugün için önemsiz görünse de ileride önemi anlaşılacaktır" demiştir [4].

Altın ve ark., direkt enjeksiyonlu tek silindirli dizel motorlarda bitkisel yağların ve onların metil esterlerinin potansiyel kullanımını incelemiştir. Sonuç olarak, bitkisel yağlar ve onların esterleri, dizel motorlara alternatif yakıt olarak ümit vaat etmelerine karşın bitkisel yağların akış, atomizasyon ve ağır partikül emisyonları gibi problemleri olduğu tespit edilmiştir [5].

Usta ve ark., yaptıkları çalışmada etanol karışımlarına %1 oranında izopropanol ilave ederek karışımın stabilizesini sağlamış olmalarına rağmen güçteki dikkate değer düşüş ve özgül yakıt tüketimindeki artışın iyileştirilmesi için etanol-dizel karışımlarına setan sayısı iyileştirici katkı maddelerinin ilavesinin gerekli olduğunu ortaya çıkarmışlardır [6].

Altun ve ark., yaptıkları çalışmada, bitkisel yağların pahalı olması, mevcut motorların tasarımı ve bitkisel yağların fiziksel özelliklerini dikkate aldıklarında kısa vadede dizel motorların alternatif yakıt olarak kullanılabilirliklerini görmüşlerdir [7].

Haşimoğlu, düşük ısı kayıplı motorlarda yalıtım neticesinde artan gaz ve cidar sıcaklıkları sebebi ile yakıtın ısıtılmaya gerek kalmadan daha verimli bir şekilde kullanılmasına imkan sağlayacağını düşünerek yaptığı çalışmada öncelikle kullanılmamış ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile katalizör olarak bazik karakterli potasyum hidroksit (KOH) ve alkol olarak metanol kullanarak ayçiçeği yağı metil esterini üretmiştir. Ürettiği biyodizeli öncelikle direkt püskürtmeli, aşırı doldurmalı, dört silindirli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmıştır. Daha sonra deney motorunun silindir kapağı ve supaplarını plazma sprey yöntemi ile 0,15 mm nikel-krom-alüminyum (NiCrAl) astar tabaka ve 0,35 mm itriyumla stabilizzirkonya ($Y_2O_3ZrO_2$) ile kaplayarak motoru düşük ısı kayıplı (DIK) durumuna getirmiştir. Çalışma sonucunda her iki yakıt için seramik kaplama ile deney motorunun özgül yakıt tüketimi ve efektif veriminde iyileşme olurken egzoz gazı sıcaklığında yükselme gerçekleşmiştir. Ayrıca, NO_x ve CO_2 emisyonları artarken duman emisyonlarında azalma gözlenmiştir [8].

Haşimoğlu, çalışmasında bitkisel yağların acil durumlarda ve kısa süreli çalışmalarda güvenli bir şekilde kullanılabileceğini fakat uzun süreli kullanımlarda bitkisel yağın viskozitesinin yüksek ve uçuculuğunun düşük olması sebebi ile yanma odasında aşırı karbon birikintisine, enjektör tıkanmasına, segman yapışmasına, soğukta ilk hareket zorluklarına, yakıt hattında tıkanmalara, yağlama yağının kalınlaşmasına ve yakıt atomizasyonun kötüleşmesine yol açmakta olduğunu belirlemiştir. Bu olumsuzlukları azaltmak için her ne kadar transesterifikasyon yöntemi kullanılsa da, elde edilen biyodizelin viskozitesi dizel yakıtından fazladır. Biyodizelin viskozitesinin daha da düşürülüp motorlarda daha verimli kullanılabilmesi için yakıtın ön ısıtmaya tabi tutulması gerektiğini belirtmiş, bu yöntemde biyodizelin düşük ısı kayıplı motorlarda kullanılmasını gündeme getirdiğini söylemiştir [8].

Çanakçı ve ark., ısıtılmış ham ayçiçek yağı ve petrol kökenli dizel yakıtının (PKDY) motor performans ve emisyon karakterlerini aynı devir ve tam yük şartlarında karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, test motorunda ısıtılmış ham ayçiçek yağı kullanımı ile döndürme momentinde PKDY'ya kıyasla 1000 d/d'da %0,82'lik artma, buna karşılık 2000 ve 3000 d/d'da sırasıyla %0,75 ve %4,17'lik bir azalma tespit edilmiştir. Ortalama olarak incelendiğinde ise ham ayçiçek yağı kullanımı ile

motorun döndürme momentinde, PKDY'ya kıyasla %1,36'lık bir azalma olduğu hesaplanmıştır. Motorun tüm çalışma şartlarında ham ayçiçek yağının özgül yakıt tüketiminin PKDY'ya göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ortalama olarak ham ayçiçek yağının özgül yakıt tüketimi, PKDY'ya oranla %4,98 daha fazla çıkmıştır. Her iki yakıt için maksimum efektif gücü 3000 d/d'da, ham ayçiçek yağı için 24,57kW, PKDY için 25,63kW olarak hesaplanmıştır [9].

Haşimoğlu ve ark., yaptıkları bir araştırmada kullanılmış rafine ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üreterek, bu yakıtın aşırı doldurmalı direkt püskürtmeli bir dizel motorunun kısmi yük şartlarındaki performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar neticesinde motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değişimlerde biyodizelin alt ısıl değerinin motorine göre daha düşük olmasının başlıca etken olduğu sonucuna varmışlardır. Yakıt olarak biyodizel kullanılması ile genel olarak özgül yakıt tüketimi, verim ve azot oksit emisyonları artmış, egzoz gazı sıcaklığı ve duman yoğunluğu azalmıştır [10].

Şeker, yaptığı araştırmada ayçiçeği-palm biyodizelinin donma noktası düşürücü DND katkı maddesi ile karışımının viskozite deneylerinde, viskozite değerlerinin 4,410 ile 4,814 mm²/s arasında olduğu, katkısız ve katkılı biyodizel numunelerinin viskozitelerinin hemen hemen değişmediğini, sabit kaldığını tespit etmiştir. Deneylerde %85 ayçiçeği - %15 palm karışımından elde ettiği biyodizelin viskozitesini, %100 ayçiçeği yağından elde ettiği biyodizelin viskozitesinden pek de farklı olmayıp 4,539 mm²/s bulmuştur [11].

Şeker, yaptığı araştırmada ayçiçeği-palm biyodizelinin DND katkı maddesi ile karışımının akma noktası deneylerinde, katkı oranını artırdıkça akma sıcaklığında doğru orantılı bir şekilde azalma tespit etmiştir. %0,15 katkı içeren biyodizelin akma sıcaklığını -27°C'e kadar düşürmüştür. Buradan hareketle katkı maddesinin akış sıcaklığı üzerine olumlu bir etkisini görmüştür [11].

Yavuz ve ark., yaptıkları çalışmada soya, ayçiçek, kanola ve mısır özü yağlarında metil esterleştirme metodu ile üretilen kükürt oranı, akma noktası, alt ısıl, yoğunluk,

parlama noktası ve viskozite değerlerini Türk Standartları Enstitüsü ve ASTM biyodizel standartları ile karşılaştırmışlardır. Yoğunluk özelliği bakımından kıyaslama yapıldığında üretilen yakıtlar standartlara yakın değerlerde bir değer göstermişlerdir. Yoğunluk değerlerinin benzer bir değer göstermesi esterleştirme işleminin başarılı olduğunun bir göstergesidir. Yoğunluk, yakıt sarfiyatı ve yanma ısısına etki etmektedir. Üretilen yakıtlar viskozite özelliği yönünden kıyaslandığında dizel yakıtına oranla ortalama olarak %100 oranında viskozite değeri yüksek çıkmıştır. Viskozitenin yüksek olması atomizasyon yönünden sorunlar yaratacaktır. Yakıtın tam atomize olmaması yanma performansını kötüleştirecek, kötü yanmaya sebep olacak, enjektörlerin ve segmanlarda karbon birikintisine neden olacaktır. Bu sorunun çözümü, biyodizellerin değişik oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılıp viskozitelerinin düşürülmesi ile sağlanabilir [12].

Yaşar, yaptığı çalışma sonucunda öneri olarak: “Biyodizel üretiminde kullanılan ham yağ ve yağlı tohumlardaki üretim açığı giderilerek, hammadde için gerekli altyapı hızla oluşturulmalıdır. Bunu takip eden dönemde hammadde olarak sadece kolza bitkisi düşünülmemeli, ülke çıkarları gözetilerek milli biyodizel bitkisi için çalışmalar yapılmalıdır. Biyodizel piyasasındaki olumsuz etkilerin ve özellikle özel tüketim vergisi (ÖTV) konusunda yaşanan sorunların giderilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Hızla artan enerji sorunumuzun çözümünde rol oynayabilecek biyodizelin gelişmesine katkı sağlayacak düzenlemeler planlı olarak hazırlanmalı ve ileriye dönük gelişmeler de dikkate alınarak uygulanmalıdır.” demiştir [13].

Sugözü ve ark., yaptıkları çalışmada ayçiçeği metil esterinin bir dizel motorunda %100 ve %50 dizel yakıtı karışımı olarak kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. B100 ve B50 yakıtlarının kullanımı ile motor momenti ve gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde ise artışlar belirlemişlerdir. CO emisyonları dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında B50 yakıtı kullanımı ile ortalama olarak %16,3'lük, B100 yakıtı kullanımı ile %25,6'lık bir azalma gözlemişlerdir. B100 ve B50 yakıtının kullanımı ile ortalama olarak NO_x emisyonlarında dizel yakıtına göre sırası ile %9,5 ve %12,6'lık bir artış gözlemlemişlerdir. Yaptıkları

deneylerin sonucunda, ayçiçeği metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır [14].

Reşitoğlu, yaptığı çalışmada biyodizel dizel yakıtıyla %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90 oranlarında karıştırarak her bir karışımla, saf biyodizel ve dizelin özelliklerini belirlemiştir. Yaptığı analizler sonucunda %10, %20, %30 ve %40 karışım oranlarındaki yakıtların EN590 ve EN14214 standartları ile dizel yakıtına yakın değerlere sahip olduğunu saptamıştır [15].

Mesut, yaptığı çalışmada biyodizele ön ısıtma uygulayarak yakıt sıcaklığının arttırılması ile B50 yakıtını 60°C'ye ısıtarak Euro diesel'in (ED) 40°C'deki viskozitesini yakalamış, ancak B100 yakıtını 60°C'ye ısıtarak ED'in oda sıcaklığındaki viskozitesini yaklaşık olarak yakalayabilmiş, 60°C zerindeki sıcaklık değeri için viskozite lememiş, B100-60°C yakıtının viskozite ve yoğunluğunun ED'ye çok yaklaştığını görmüştür [16].

BÖLÜM 3

DÜNYADA VE TÜRKİYEDE BİYODİZEL

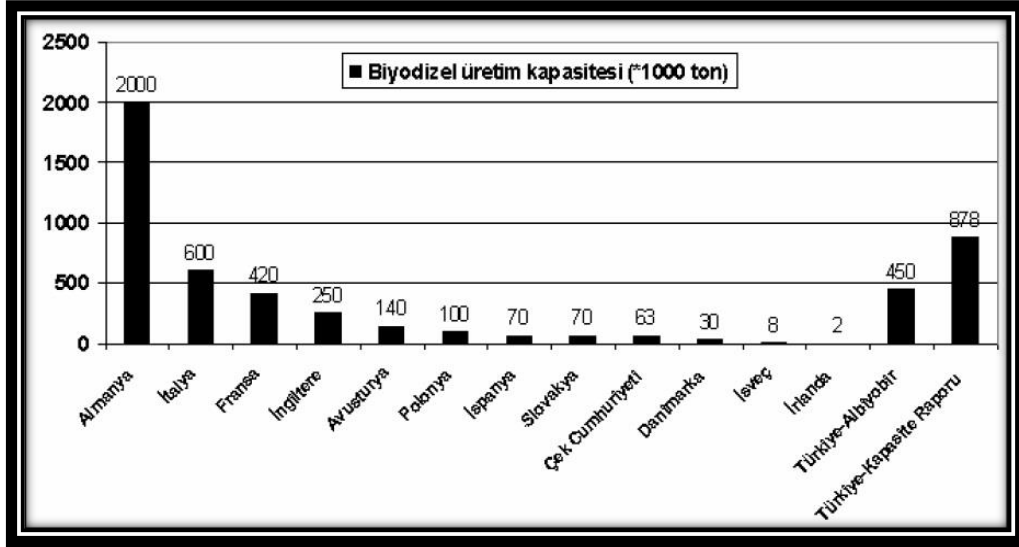
Dünyada biyodizel üretimi 1900'lerde başlamış ve 1970'lerde yaşanan enerji krizi ile daha da önem kazanmıştır. Türkiye'de de biyodizel ile ilgili yasal düzenlemeler 2000'li yılların başında gündeme gelmiştir, halen çalışmalar devam etmektedir.

3.1. DÜNYADA BİYODİZEL

R. Diesel 1911'de "Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının tarımın gelişiminin ciddi bir katkısı olacağını" ifade etmiş ve 1912'de "Bitkisel yağların motorlarda kullanımı günümüzde önemsiz görünebilir, ancak bitkisel yağlar zamanla petrol ve kömür katranı kadar önem kazanacak" demiştir. Bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanımındaki zorluklara, petrol ürünlerinin kullanımının yaygınlaşması eklenince konu gündemden düşmüştür. Ancak, Biyolojik yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için bünyesindeki gliserinin uzaklaştırılması alanındaki akademik çalışmalar yine de devam etmiş ve bugün "BİYODİZEL" olarak adlandırılan yakıt için ilk patent Belçika'daki Brüksel Üniversitesinden G.Chavanne tarafından 31 Ağustos 1937 tarihinde alınmıştır [18].

1994 yıllarında yaşanan petrol krizleri alternatif enerji arayışlarını hızlandırmış ve "BİYODİZEL" tekrar gündeme taşınmıştır. Özellikle 2000 yılında Dünyada ham petrol ve ham kanola fiyatlarının kesişmesi dünyada biyodizeli ön plana çıkarmış ve yatırımlar büyük bir hızla başlamıştır.

Özellikle AB'nin 2003 yılındaki Biyoyakıtlar direktifiyle petrodizele katılım mecburiyeti biyodizel üretiminin hızla artmasına sebebiyet vermiştir [19]. Şekil 3.1'de AB biyodizel üretim kapasiteleri, Şekil 3.2'de biyoyakıtın pazar payı verilmiştir.



Şekil 3.1. AB biyodizel üretim kapasiteleri [20].



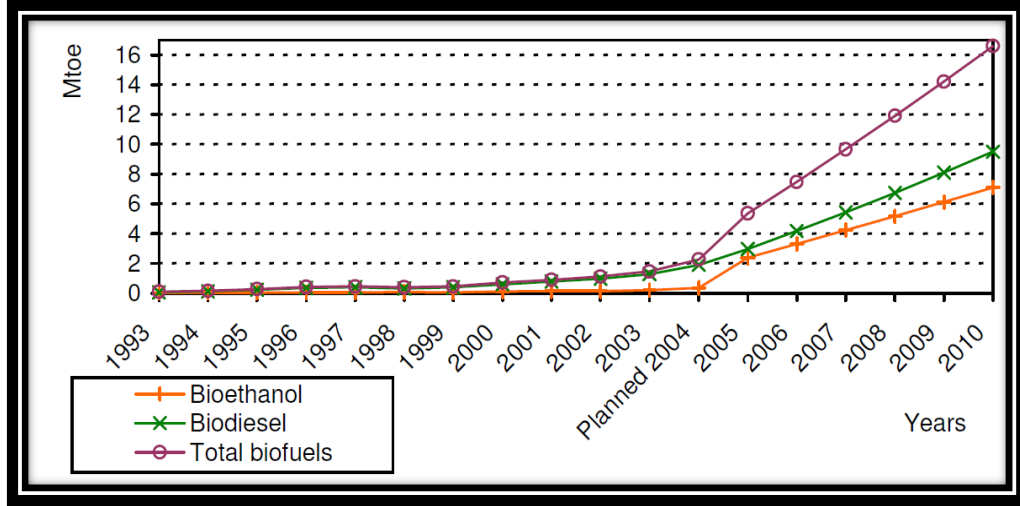
Şekil 3.2. Biyoyakıtın pazar payı [2].

AB’de 2003 yılından bu yana biyoyakıtlar ve biyodizel için pek çok özendirici ve teşvik edici çalışmalar yapılmaktadır. AB Komisyonu Şubat 2006’da Biyoyakıtlarla ilgili 3 ana amacı ifade eden bir stratejiyi hayata sokmuştur [19]. Bunlar;

- AB’de ve gelişmekte olan ülkelerde biyoyakıtların daha fazla teşvik edilmesi, pozitif çevresel etkinin temin edilmesi.
- Hammadde maliyetinin rekabet edilebilir bir seviyeye getirilmesi, 2. kuşak biyoyakıtların AR-GE çalışmaları ve pazara girmelerinin desteklenmesi

- Biyoyakıt hammaddesi ve biyoyakıtlarla ilgili gelişmekte olan ülkelerdeki fırsatların araştırılmasıdır [19].

AB’de biyoyakıtların gelişimi Şekil 3.3’de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 3.3. AB’de biyoyakıtların gelişimi [2].

Çizelge 3.1’de AB’de biyodizel kullanım hedeflerinin yıllara göre dağılımı verilmiştir.

Çizelge 3.1. AB’de biyodizel kullanım hedefleri [18].

YIL	Miktar (%)
2007	5
2010	7.75
2020	20
2030	30

Dünyada biyodizel kullanımının hızla artmasının sebepleri,

- Fosil yakıtların tükeniyor olması ve bu nedenle petrol fiyatlarının giderek yükselmesi

- Fosil yakıtların kullanımından doğan büyük çevre zararları ve bunların telafisi için yapılan büyük harcamalar
- Ülkelerin enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve enerjide dışa bağımlılıktan kurtulabilme strateji ve çabaları
- Savaş ve zorunlu hallerde stratejik yakıt olma özelliği
- Tarım ürünlerinin sanayiye entegrasyonunu sağlayarak ülkelerin tarımsal kalkınmasını çarpan etkisiyle hızlandırması
- Motorlar üzerinde sağladığı avantajlar; setan sayısının petrol dizeline göre yüksek oluşu, yağlayıcılık özelliği nedeniyle motorlara yanma ve kullanım açısından sağladığı faydalar
- İnsan sağlığı ve çevreye zararlı bitkisel atık yağları geri kazanarak katma değer yaratması
- Taşıma ve depolanması itibarıyla dünya standartlarında “Tehlikeli Madde” kapsamında yer almaması, güvenli yakıt kabul edilmesi olarak ifade edilmektedir [18].

3.2. TÜRKİYEDE BİYODİZEL

Biyodizel Türkiye'de mevcut olanaklarla uygulamaya alınabilecek en önemli alternatif yakıt seçeneklerinden biridir. Ülkemizde kara taşımacılığının önemli bölümünde ve deniz taşımacılığında dizel motorlu taşıtlar kullanılmaktadır. Ayrıca, endüstride jeneratörler için önemli miktarda motorin kullanılmaktadır. Petrol tüketimimizin ancak %15'i yerli üretimle sağlanabilmektedir. Petrol ürünleri tüketimi içinde ise, en büyük pay %34 değeri ile dizel yakıtına aittir [17].

3.2.1. Türkiye’de Biyodizelin Mevcut Durumu

Biyodizel kullanımı ile petrol tüketiminde ve egzoz gazı kirliliğinde azalma gerçekleştirilebilmektedir. Biyodizel üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye biyodizel üretimini gerçekleştirebilecek teknolojiye ve yakıtın kullanımına kolaylıkla uyum sağlayabilir. Türkiye’de kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür [21].

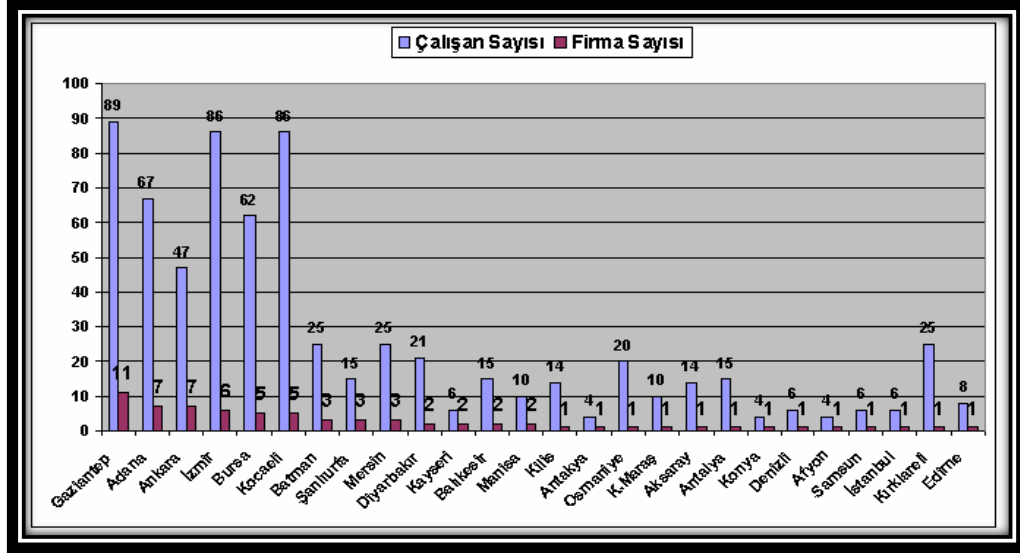
Ayrıca biyodizel üretiminde atık hayvansal ve bitkisel yağlarda kullanılmaktadır. Türkiye’de yılda 1,5 milyon ton bitkisel yağ gıda amacı ile kullanılmaktadır. Bu yağdan yaklaşık olarak 350 bin ton atık yağ oluşmaktadır. 350 milyon kg civarında oluşan bu kullanılmış bitkisel ve hayvansal atık yağlar kanalizasyona dökülmeyip geri kazanılması ile yılda 350 milyon kg biyodizel, 35 milyon kg gliserin ve 3,5 milyon kg sabun üretilerek ekonomiye katkı sağlanabilir. Kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağların geri kazanılması ile evsel atık sular %25 oranında daha az kirlenmiş olur [21].

Türkiye, biyodizel üretimi için yeterli teknolojiye sahiptir ve yakıtın kullanımına kolaylıkla uyum sağlayabilir. Öncelikle kırsal kesimde çeşitli kapasitelerde biyodizel üretim tesisleri kurularak tarım makinelerinin ve kamyonların bu yakıtı kullanımı özendirilmelidir. Ayrıca egzoz kirliliğinin yoğun olduğu büyük şehirlerin toplu taşıma araçlarında da biyodizel kullanımının yararlı olduğu biyodizel kullanımlarının artması ile kanıtlanmaya başlayacaktır.

3.2.2. Türkiye’de Biyodizel İle İlgili Yasa Ve Düzenlemeler

Türkiye’de biyodizel dünyadaki gelişmelerin etkisinde 2000’li yılların başında gündeme geldi. 2001 yılında Sanayi ve Ticaret Bakanlığında “Biyodizel Çalışma Grubu” oluşturuldu. İlk kez biyodizel ve ismi 4.12.2003 tarihinde 5015 Sayılı Petrol Piyasası Kanunu’nda harmanlanan ürünler arasında yer aldı. Amacı; “Bu Kanunun amacı; yurt içi ve yurt dışı kaynaklardan temin olunan petrolün doğrudan veya işlenerek güvenli ve ekonomik olarak rekabet ortamı içerisinde kullanıcılara sunumuna ilişkin piyasa faaliyetlerinin şeffaf, eşitlikçi ve istikrarlı biçimde sürdürülmesi için yönlendirme, gözetim ve denetim faaliyetlerinin düzenlenmesini sağlamaktır.” diyen bir kanun içinde ve “Ürün: Fiziksel veya kimyasal işlem, rafinaj veya diğer yöntemlerle ham petrol ve/veya ürünlerinden elde edilen ürün veya ara ürün herhangi bir hidrokarbonu, ifade eder” şeklinde tanımlanan ürün içinde değerlendirildi. Kanunda Biyodizelin ÖTV dışında tutulması nedeniyle yatırımlar dünyaya paralel biçimde hızla arttı [22].

Şekil 3.4’de 2005 yılı Kasım ayı itibarı illere göre biyodizel üreten firma sayısı ve çalışan sayısı verilmiştir. Bu üreticilerin illere göre dağılımı Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.4. İllere göre çalışan ve firma sayısı [2].



Şekil 3.5. Üreticilerin illere göre dağılımı [23].

Ancak 2005 yılından 2011 yılına gelindiğinde ülkemizdeki biyodizel bakış ve üretimde çeşitli değişiklikler meydana gelmiştir. Bunun sebebi Bakanlar kurulunun biyodizel getirdiği ÖTV uygulamasıdır [22].

Resmi gazetede yayımlanan 25 Şubat 2011 tarih ve 27857 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı ile Oto Biyodizel ve Yakıt Biyodizeline 0,9100 TL/Lt ÖTV uygulaması getirilmiştir. Biyodizel üretiminde maliyetin büyük bölümünü hammadde oluşturmaktadır. Üreticiler tarafından ÖTV uygulamasının getirilmesi ile biyodizel üretiminin maliyeti kurtarmadığı belirtilmiştir. Halihazırda da ülkemizde bu sektör duraklamış vaziyettedir. Çoğu üretici lisanslarını iptal ettirmiş, lisansı olanlarda üretim yapamaz duruma gelmiştir. Ülkemizde sadece bir firma tarafından 20 bin tonluk bir üretim yapıldığı bilinmektedir. Ülkemizde 2012 yılı itibari ile 34 adet biyodizel üretimi için İşleme Lisansı almış tesis bulunmaktadır. Bu tesislerin toplam biyodizel üretim kapasitelerinin 561.217 ton olduğu EPDK tarafından bildirilmiştir [22].

Bugün tıkanma noktasına gelen biyodizel enerjide dışa bağımlığımız ve gelecekteki riskler de göz önünde bulundurularak yeniden yapılandırılmalı, tarımda Tarım Kanunu'nun amacına uygun yeni fırsat açımları yaratılırken Çevre Kanunu'nu gerekliliklerini kapsayan karbondioksitle mücadele eden dünya ile de bütünleşmelidir [22].

Bu yüzden ülkemizde biyodizel üretiminin sağlıklı bir şekilde devam edebilmesi için biyodizele getirilen bu zorlukların ortadan kaldırılması gerekmektedir.

BÖLÜM 4

DİZEL YAKITI VE BİTKİSEL YAĞLARIN ÖZELLİKLERİ, BİYODİZEL ÜRETİM METODLARI

Bitkisel yağların bir takım fiziksel ve kimyasal özellikleri vardır. Bu özellikleri ile doğrudan dizel motorlarda yakıt olarak kullanılamazlar. Yakıt olarak kullanılabilmesi için bu özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir.

4.1. DİZEL YAKITLARIN ÖZELLİKLERİ

Dizel motorlarında yakıt püskürtme sistemlerinin uzun ömürlü olmasının ve iyi bir yanma temin edilmesinin, yakıtın cinsi ve durumuyla çok yakından ilgisi vardır. Bu nedenle biyodizel yakıtının bazı özellikleri olmalıdır [24].

4.1.1. Yakıtların Fiziksel Özellikleri

Dizel yakıtların fiziksel özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Viskozite (akıcılık derecesi)
- Özgül ağırlık
- Uçuculuk noktası
- Parlama noktası
- Donma noktası
- Su ve tortu miktarı
- Buharlaşma noktası
- Düşük sıcaklıkta davranışı

4.1.1.1. Viskozite (Akıcılık Derecesi)

Sıvıların akmaya karşı direncini ifade eden bir ölçüdür. Sıvıların bu özelliğini ölçmede kullanılan cihaz, saybolt viskozimetresidir.

Bir yakıtın saybolt viskozimetresi; viskozimetreye konulan 70 cm³ yakıtın 60 cm³ ünün kabın dibindeki belli çapta delikten akması için geçen zaman (saniye) olarak tarif edilir. Burada yakıtın akması için gereken zaman uzadıkça viskozite yüksek yani yakıt kalın, zaman kısaldıkça viskozite düşük yani yakıt incedir. Viskozite daima ölçüldüğü sıcaklıkla ifade edilir. Örneğin dizel motorlarda kullanılan yakıtların viskoziteleri 100 °F (~ 40 °C) de 35-70 s.u.s. (saybolt universal saniye) arasındadır [24].

Dizel motorlarında kullanılan yakıtların viskoziteleri, aynı zamanda yakıt sisteminde yağlayıcıları yüksek, fakat enjektörün küçük deliklerinden püskürtülerek kolay parçalanmalarını temin etmek için de düşük olmalıdır. Birbirine zıt olan bu iki istek, her ikisinin de uygun olarak karşılandığı viskozitenin seçimi ile karşılanır [24].

Bir yakıtın viskozitesi onun akmaya karşı direncini ifade eder. Viskozite yükseldikçe akma direnci de artar. Bir yakıtın dinamik (mutlak) viskozitesi (Pa.s) birbiri üzerinde kayan akışkanların kendi hareketleri arasında oluşan direncidir. Kinematik viskozite ise bir akışkanın dinamik viskozitesinin, göz önüne alınan sıcaklıkta yoğunluğuna oranıdır [24].

Dizel yakıt akışmazlığı enjekte edilecek yakıtın çok küçük miktarlarını doğru şekilde ölçmek zorunda olan yakıt püskürtme ekipmanlarının çalışması için önemlidir. Sıcaklık arttıkça akışmazlık azaldığından maksimum ve minimum akışmazlık değerleri arasındaki tolerans bölgesi mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır [24].

Düşük sıcaklıkta yüksek akışmazlık yakıtın akmasını zorlaştırarak ölçme odasının yeteri kadar yakıtla dolmamasına sebebiyet verebilir. Ayrıca yüksek akışmazlık küçük açıklıklarda oluşan kuvvetler tarafından açığa çıkan ısıya bağlı olarak pompa bozulmasına yol açabilir. Öte yandan düşük bir akışmazlık da özellikle düşük

hızlarda pompalama elemanından yakıt sızıntısını önemli oranda arttırır. Böyle bir durumla motorun yüksek yükte çalışmasını takiben kısa süreli kapatılmasından sonra sıcak çalıştırılmaya kalkışılması sonucunda karşılaşılabılır. Zaten sıcak olan yakıt püskürtme ekipmanının sıcaklığının daha da yükselmesi akışkanlığın iyice düşmesine ve yakıt sistemi soğuyuncaya kadar yakıt sızıntısının yeniden çalışmayı imkânsızlaştırmasına sebep olur [24].

4.1.1.2. Özgül Ağırlık

Belli hacimdeki yakıt ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranına o yakıtın özgül ağırlığı denir. Yani birim hacminin ağırlığıdır. Genel olarak özgül ağırlığı büyük olan yakıtlar, daha fazla karbon taşıdıklarından büyük ısı enerjisine sahiptirler [24].

Yakıtın yoğunluğu, partikül ve NO_x emisyonlarının oluşmasında en önemli faktörlerden biri olarak bilinmektedir. Özellikle geçiş şartlarında yapılan deneylerde bu etki daha net görülmektedir. Yoğunluğun fiziksel etkisi detaylı olarak incelendiğinde, daha yüksek yoğunluktaki dizel yakıtının daha fazla miktarda yakıtın püskürtülmesine neden olduğu ve buna bağlı olarak da dinamik zamanlamanın değiştiği söylenebilir [24].

Yanma odasına fazla miktarda enjekte edilen yakıt, yani oluşturulan zengin karışım, yanma odası cidar sıcaklığının artmasına sebep olmakta ve dolayısıyla tutuşma gecikmesi süresini azaltmaktadır. Püskürtülen yakıt miktarı, püskürtme hızını değil de püskürtme süresini değiştirmek suretiyle değiştirildiği takdirde, kısa tutuşma gecikmesi süresince daha az yakıt gönderilerek, yanmanın ikinci safhasında dp/dt oranı azalma gösterecektir. Dizel motorlarındaki güç artışı silindire gönderilen yakıt yoğunluğu ile doğrudan ilgilidir. Maksimum güçte tam gaz verilir. Ancak bu durumda arzu edilen homojen bir karışım sağlanamadığından yanma sonucunda karbon birikintileri fazla olur ve egzozdaki duman miktarı artarak isli bir görüntü verir [24].

Yakıtın özgül ağırlığı elde edildiği ham petrolün cinsine göre değişir. Özgül ağırlığı (kg/L) olarak ifade edilir. Dizel yakıtların özgül ağırlığı 60 °F (15,5 °C) 0,835 ile 0,934 arasındadır [24].

4.1.1.3. Uçuculuk Noktası

Genel olarak sıvıların sıvı durumdan gaz durumuna geçme sıcaklığına "uçuculuk noktası" denir. Dizel yakıtının uçuculuğu, damıtım sıcaklığının %90'ı ile ifade edilir [24].

Uçuculuk kabiliyeti yüksek yakıtlar bilhassa küçük dizel motorlarında egzoz sıcaklığını, yakıt tüketimini ve dumanı azaltır. Emisyon değerini düşürür. Dizel yakıtların uçuculuk özellikleri standart bir aparatta kontrollü ısıtma ile yakıttan alınan numuneden arka arkaya parçaların arıtıldığı sıcaklık cinsinden ifade edilir. En çok kullanılan metotlardan biri ASTM D86'dır. Yakıtın damıtma ya da kaynama aralığı kimyasal bileşimine bağlıdır ve bu nedenle akışmazlık, parlama noktası, kendiliğinden tutuşma sıcaklığı, setan sayısı ve yoğunluk gibi yakıt özelliklerini de etkiler [24].

Yakıt örneği damıtma aparatına yerleştirilir ve ısıtılır. Sıcaklık yükseldikçe oluşan buhar yoğunlaştırılır ve akışkanın ilk hacminin yüzdeleriyle derecelendirilmiş bir silindirde toplanır [24].

4.1.1.4. Parlama Noktası

Bu iş için yakıtlar, içinde termometre olan bir kaba konur ve alttan ısıtılır. Her 5 °C derecelik ısınmada üzerine bir alev tutulur ve çekilir. Yakıt belli bir sıcaklığa geldiğinde üst kısmında parlama olur ve söner (sürekli yanmaz). Bu sıcaklık, yakıt içindeki ürünlerin buharlaşmaya başladığı sıcaklık derecesidir [24].

Parlama noktasının dizel yakıtlarında depolama ve yangını önleme bakımından önemi büyüktür. Genellikle emniyet için yakıtların parlama noktası 65-150 °C arasında olmalı ve 36 °C'nin altına düşmemelidir. Parlama noktası yanıcı bir

akışkanın bir kıvılcımla tutuşabilecek buhar/hava karışımını oluşturabilecek kadar buhar yaydığı sıcaklıktır. Parlama noktası ASTM D93 ya da ISO 2719 gibi standart test metotları kullanılarak standartlaşmış bir aparatta ölçülmektedir [24].

Parlama noktası birincil olarak ürünün güvenli kullanılması için önemlidir. Eğer çok düşükse yangın çıkma tehlikesi vardır. Bu nedenle parlama noktasının zorunlu en düşük sınırları hükümet acenteleri ve sigorta şirketlerince belirlenmektedir. Otomotiv dizel yakıtları için tipik minimum değerler A.B.D.'de 38 °C ile bazı Avrupa ülkelerinde 56 °C arasında değişmektedir [24].

Bir dizel yakıtın parlama noktası motor performansı için önemli değildir. Parlama noktasındaki değişiklikler kendiliğinden tutuşma sıcaklığını ya da diğer yanma özelliklerini etkilemez [24].

4.1.1.5. Donma Noktası

Yakıtın soğuk havalarda kullanılma kabiliyetidir. Belli bir sıcaklığa kadar soğuyan yakıt molekülleri kristalleşir ve sıcaklık daha fazla düşünce donar. Kristalleşmiş yakıt, yakıt sistemini tıkayarak yakıtın akışına engel olur. Bu nedenle yakıtların donma noktası bölgenin dış hava sıcaklığından 5-10 °C daha düşük olmalıdır [24].

4.1.1.6. Su ve Tortu Miktarı

Yakıtın temizliğini gösteren önemli bir parametredir. Yakıt içerisinde su, enjeksiyon sistemlerinde aşınma ve paslanmaya sebep olabildiği için yakıt içerisinde hiç su istenmez. Tortu ise filtrelerin tıkanmasına, enjeksiyon sisteminde birikerek tortulaşmaya ve diğer motor arızalarına neden olabilir [25].

4.1.1.7. Buharlaşma Noktası

Bir yakıtın buharlaşma noktası arıtma özelliklerinden de etkilenir. Bu yüzden maksimum %90 arıtma noktası Kanada gibi kışları çok soğuk geçen bir ülkede 315 °C ile sınırlırken tropikal yerlerde bu sıcaklık 379 °C'ye kadar yükselmektedir [24].

4.1.1.8. Düşük Sıcaklık Davranışı

Dizel yakıtların çoğu önemli oranda parafinli bileşene sahiptir. Düşük sıcaklıklarda parafin kristallerinin (wax) oluşturduğu çökelti yakıt filtresinin tıkanmasına ve yakıt beslemesinin kesilmesine yol açabilir. Yakıtın özelliklerine bağlı olarak parafin çökmesi 0 °C' de gerçekleşebileceği gibi çok erken başlayabilir. Bu nedenle kışın kullanılacak dizel yakıtların sorun çıkarmaması için özel olarak seçilmesi ya da işlem görmesi gerekir [24].

Dizel yakıtların düşük sıcaklıktaki davranışlarını belirlemede kullanılan bazı özellikler şunlardır:

- Bulut noktası, yakıt donma noktasına geldiğinde kristallenmenin görülmediği sıcaklık değeridir (ASTM D2500).
- Akma noktası, yakıtta kristallenmenin yeni başlayarak yakıtın yapısının değişime uğradığı sıcaklık değeridir (ASTM D97).
- Filtrenin tıkanma noktası, yakıtın akışkanlığının filtrede tıkanma yaptığı sıcaklık değeridir. (European standard EN116:1981).

Rafineride yakıtlara genellikle akışkanlık arttırıcı maddeler eklenir. Bu maddeler parafin çökmesini engellemezken kristal büyümesini kısıtlar. Kristaller filtrenin deliklerinden geçebilecek kadar küçük kalırlar. Böylece süzme işlemi düşük sıcaklıklarda da gerçekleştirilebilir [24].

Düşük sıcaklık direnci parafin kristallerinin çökmesini önleyici katkı maddeleriyle daha da yükseltilebilir. Bugün mevcut olan kışlık dizel yakıtlar -22 °C' den başlayan düşük sıcaklık direncini garanti edebilecek düzeydedir. Başka iki yol da filtreyi ısıtmak ve dizel yakıtta petrol ürünleri eklemektir. Düzenli benzin ilavesi de çökmeyi geciktirebilir. Ancak, benzinin setan sayısı çok düşük olduğundan tutuşma kalitesi azalır ve parlama noktası önemli oranda düşer [24].

4.1.2. Yakıtların Kimyasal Özellikleri

Dizel yakıtların kimyasal özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Ateşleme noktası
- Kükürt miktarı
- Kül miktarı
- Karbon artığı
- Setan sayısı ve indisi
- Aromatik Yüzdesi

4.1.2.1. Ateşleme Noktası

Dizel yakıtların silindir içerisindeki şartlarda kendi kendine ateş alma kabiliyetine ateşleme noktası denir. Ateşleme noktası iyi olan yakıt düşük sıcaklıklarda yanar. Böylece motor çabuk çalışır, az duman yapar ve vuruntu azalır [24].

Ateşleme noktası yakıtlarda setan sayısı ve dizel endeksi ile ifade edilir. Setan sayısı, dizel yakıtının, kendi kendine tutuşması kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Benzinlerdeki oktan sayısı gibi CFR motorunda fakat ayrı bir metodla (f5 metodu ile) saptanır [24].

Setan sayısı ile oktan sayısının özellikleri tamamen birbirine zıttır. Şöyle ki; Oktan sayısı yükseldikçe benzinin kendi kendine tutuşma kabiliyeti azalır. Buna karşın setan sayısı yükseldikçe motorinin kendi kendine tutuşma kabiliyeti artar. Yakıtın setan sayısı düşük olursa, motorun ilk hareketi zorlaşır ve motorda vuruntu oluşur. Setan sayısı fazla olursa da gecikme süresi çok kısılacığından püskürtülen yakıt fazla uzağa gidmeden yani tamamen buharlaşmadan tutuşur. Enjektör memesi fazla ısınarak yakıtta kraking yapar ve bu nedenle yanma odasında karbonlaşma oluşur. Yanma kötüleşir ve emisyonlar artar. Bu nedenlerden olayı setan sayısı 45-60 arasında olmalıdır [24].

4.1.2.2. Kükürt Miktarı

Yakıtın en önemli özelliklerinden biriside içindeki kükürt miktarıdır. Ham petrolün damıtılması anında motorin içine karışan kükürt, yanma zamanında oksijenle birleşerek kükürtdioksit (SO_2) veya biraz daha oksijen bulmak sureti ile kükürttrioksit (SO_3) oluşturur. Bu gazlardan SO_2 pek tehlikeli değilse de SO_3 gazı yanma artıklarından olan su buharı ile birleşerek sülfirik asit (H_2SO_4) oluşur [24].

Çok şiddetli bir aşındırıcı olan sülfirik asit, motor parçalarının kısa zamanda aşınmasına neden olur. Bu gibi aşınmaları önlemek amacı ile yakıtlardan kükürt temizlenebilir. Fakat maliyeti arttıracığından %1'e kadar müsaade edilir [24].

4.1.2.3. Kül Miktarı

Bu özellik yanma sonunda yakıtın bıraktığı artıkları (külleri) ifade eder. Karbon ve hidrojen bileşiklerinden oluşan yakıtlar aslında hiç kül bırakmamalıdır [24].

Yanma sonunda motorda zımpara tozu gibi aşındırıcı etki yapan küller, yakıt içinde yabancı madde olarak bulunan madeni tuzlardan oluşur. Yakıtın kül bırakma oranı %0,01 den fazla olmamalıdır [24].

4.1.2.4. Karbon Artıkları

Karbon Kalıntısı terimi standartlarda, numunenin buharlaşması ve termal bozulması sırasında oluşan karbonlu kalıntıları tarif etmekte kullanılır. Kalıntı tümüyle karbondan oluşmayıp daha sonraki bozulmalarla bileşimi değişebilen koktur. Karbon kalıntısı miktarı, ester yakıtının kalitesinin bir göstergesidir. Gliseridlerden, sabunlardan ve diğer organik kalıntılardan arındıklarını gösterir [21].

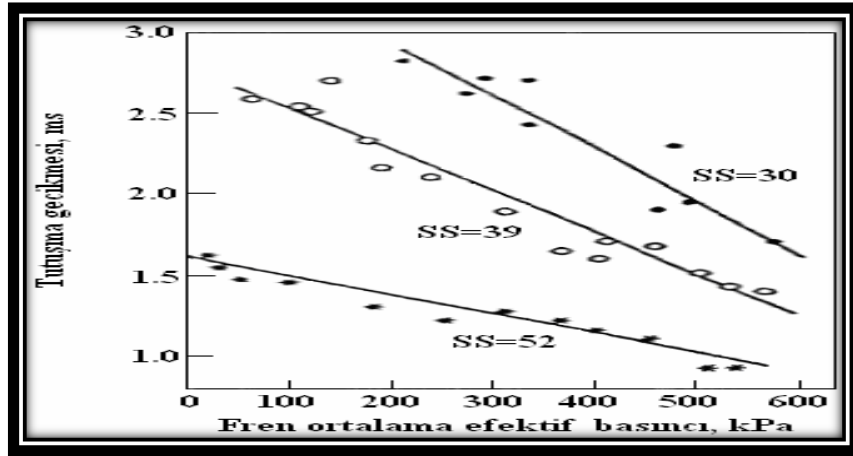
4.1.2.5. Setan İndisi

CFR motor yöntemiyle belirlenen setan sayısının doğruluğu düşüktür ve bu yöntem kesinlikle uygun bir test motor standı kullanmayı gerektirmektedir. Bu nedenle setan

indisi denilen ve yakıtın yoğunluk ve uçuculuk özellikleri kullanılarak hesaplanan bir değer setan sayısının yaklaşık değeri olarak sunulmuştur. Günümüzde bu değer dizel tutuşma kalitesinin görüntülenmesinde ve kontrolünde sıkça kullanılmaktadır. Setan indisi artık yakıt kalitesini kontrol etmek ve katkı maddeleriyle setan sayısı gelişiminin limitini belirlemek üzere ek bir test olarak dizel nitelikleri arasına katılmıştır. Örneğin, EN 590:1993 standardının otomotiv dizel yakıtı için belirttiği maksimum setan sayısı 49, minimum setan indisi ise 46'dır [24].

4.1.2.6. Setan Sayısı

Dizel motorunda aynı şartlarla aynı vuruşu şiddetini veren metil naftalin + setan karışımındaki setan yüzdesine setan sayısı denmektedir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi setan sayısı dizel yakıtının ateşleme kalitesini yani tutuşmaya gösterdiği meyli ifade eder [24].



Şekil 4.1. Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi [24].

Setan sayısı yüksek olan yakıtın, tutuşma gecikmesi süresinin daha kısa olduğu görülmektedir. Tutuşma gecikmesinin kısalması, ani yanma safhasındaki basınç artma oranını azaltır. Yakıtın çoğunluğu, kontrollü yanma safhasında yandığından silindir içerisinde oluşan maksimum basınç daha düşük olmaktadır. Setan sayısı, yüksek hızlı dizel motorlarında 45-50'dir. Yakıtın tutuşma kabiliyeti, Alman DIN 51601 standart değerine göre, dizel yakıtı için setan sayısı 45'den daha aşağı değildir [24].

4.1.2.7. Aromatik Yüzdesi

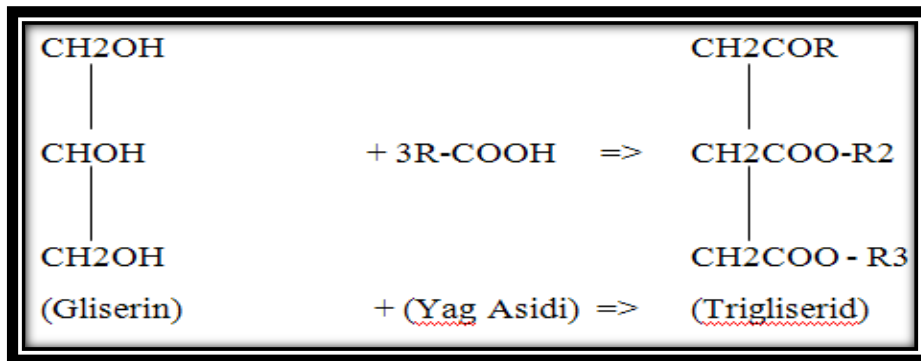
Hidrokarbonlar içerisinde yoğunluğu en fazla olan aromatiklerdir. Yanma odasına püskürtülen yakıtın aromatik yüzdesinin fazla olması durumunda yanma sonucu oluşan karbon birikintilerinin çokluğu sebebiyle özellikle supap sapı ve tablalarında ve enjektör meme uçlarında kurum oluşarak yanma odası hacminin azalmasına sebep olmaktadır. Yanma odası içerisinde çok fazla miktarda biriken artıklar yüzünden yanma verimi azalarak performans değerlerinde azalma meydana gelmektedir [24].

4.2. BİTKİSEL YAĞLARIN YAPISI

Bitkisel yağlar, bazı tarım ürünlerinin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi sonucunda elde edilmektedir. Bunlar petrol esaslı yağlardan farklı kimyasal yapıya sahiptirler. Dizel yakıtı büyük oranlarda parafinler ve aromatiklerden oluşmasına karşılık, bitkisel yağlar yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir.

4.2.1. Bitkisel Yağların Kimyasal Özellikleri

Bitkisel yağlar, yağ asitlerinin (R-COOH), 3 değerli bir alkol olan gliserinle yapılmış olduğu esterlerdir. Gliserin molekülündeki 3 alkol grubunun yağ asitleri ile esterleşmesi durumunda ise Trigliserid elde edilir [26]. Şekil 4.2'de gliserin ve yağ asitlerinden oluşan trigliseridin açık formülü görülmektedir.



Şekil 4.2. Trigliseridin açık formülü [26].

Gliserin 3 karbon atomunun da aynı yağ asidi ile esterleşmesine basit trigliserid, farklı yağ asitleri ile esterleşmesine ise karışık trigliserid adı verilir. Trigliserid deki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturur. Doymamış yağ asidi moleküllerinin karbon atomları arasında bulunan çift bağ sayısı, bir ya da daha fazla olabilmektedir. Yağ asitleri, içerdikleri karbon atomu sayısına bağlı olarak, uzunluğu farklı zincirler oluşturur. Bitkisel yağlarda en çok bulunan yağ asitlerine örnek olarak; 16 karbonlu palmitik ile 18 karbonlu stearik, oleik, linoleik ve linolenik asitleri gösterilebilir. Bunlardan palmitik asidin çift bağ sayısı olmayıp doymuştur. Oleik ve lisiloneik yağ asitleri bir çift bağa diğerleri iki çift bağa sahiptir [26].

4.2.2. Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri

Mevcut dizel motorlarında değişiklik yapılmadan kullanılacak bitkisel yağ yakıtların belirli özelliklere sahip olması gereklidir. Bitkisel yakıtlar;

- Çevreye zarar vermemelidir.
- Üretimi, taşınması, depolanması ve kullanımı tehlikeli olmamalıdır.
- Yakıt özellikleri ilgili standartlara uygun olmalıdır.
- Motor karakteristiklerinde sorun oluşmamalıdır.
- Düşük maliyetle üretilebilmelidir.

Bitkisel yağlar, bazı tarım ürünlerinin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi sonucunda elde edilmektedir. Günümüzde kullanılan dizel motorlarda bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması için viskozite, setan sayısı, ısı değeri, yoğunluğu gibi bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir [26].

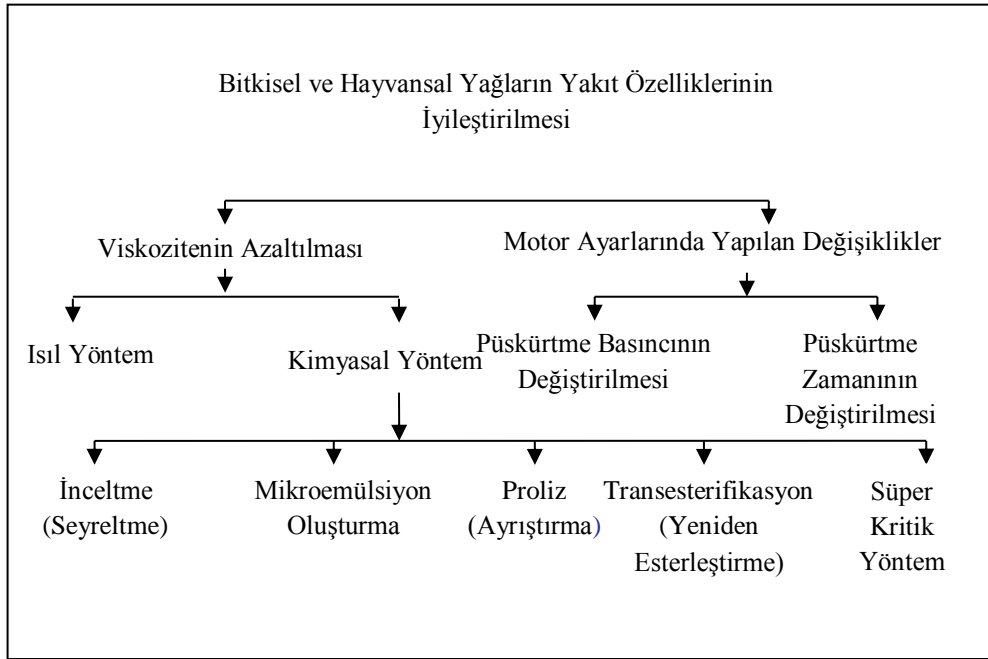
Bazı bitkisel yağların, yakıt olarak kullanılabilme özellikleri Çizelge 4.1'de dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, bitkisel yağların viskozitelerinin ASTM tarafından dizel yakıtı için verilen 4.0 olan üst sınır değerine göre yaklaşık 9-13 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Viskozitenin yüksekliği bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasındaki en önemli dezavantajlarından biridir [26].

Çizelge 4.1. Motorin ve bitkisel yağların yakıt özellikleri [26].

Bitkisel yağın adı	Yoğunluk (kg/m ³)	Kinematik Viskozite (mm ² /s)	Isıl değeri (kJ/kg)	Setan sayısı (ASTM) D163	Tutuşma gecikmesi krank açısı	Donma noktası (°C)	Akma noktası (°C)	Oksitlenme süresi (h)
Ayçiçek Yağı	920	34,9	39644	33	23,8	7,2	-15	5,5
Soya yağı	920	36,4	39390	39	19,6	-3,9	-12,2	8
Pamuk yağı	910	37,4	37420	51	21,4	1,7	-15	7,5
Yer fıstığı	910	37,2	37160	39	19,6	12,8	-6,7	6,7
Kolza yağı	920	39	39913	37,6	21,9	-3,9	-31,7	10,5
Keten yağı	-	27,2	39300	34,6	-	1,7	-15	3
Susam yağı	-	35,5	39350	40,2	-	-3,9	-9,4	8,5
Dizel yakıtı	860	2,9	42450	50,8	12,5	-15	-33	150
Karbon kalıntısı	Tüm bitkisel yağlarda %0,22-0,30 (ASTM sınır değeri %0,35)							
Kükürt oranı	Tüm bitkisel yağlarda %0,01(ASTM sınır değeri %0,5)							
Kül oranı	Tüm bitkisel yağlarda %0,005-0,01 (ASTM sınır değeri %0,01)							
Su ve tortu	Tüm bitkisel yağlarda %0,05 (ASTM sınır değeri %0,05)							

4.3. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Bitkisel ve hayvansal yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak yağın sıcaklığı ön ısıtma ile artırılarak viskozitenin düşmesi amaçlanmaktadır. Kimyasal yöntemde kendi arasında beşe ayrılmaktadır. İyileştirme yöntemleri dair işlemler Şekil 4.3’ de gösterilmiştir [27].



Şekil 4.3. Bitkisel ve hayvansal yağların özelliklerinin iyileştirilmesi [27].

4.3.1. Seyreltme

Genel olarak seyreltme modifikasyon tekniği uygulamasında, bitkisel yağlara belli oranlarda motorin ve/veya organik bileşikler katılarak yağın viskozitesi düşürülmektedir. Bu teknikte, kullanılan karışımlar kolaylıkla hazırlanmaktadır. Ayrıca bitkisel yağ ve motorin karışımlarının depolanmasında herhangi bir sorun yoktur ve depolamada karışımda faz ayrışması olmamaktadır [11].

4.3.2. Piroliz

Piroliz; bitkisel yağların oksijen varlığında ısı etkisiyle alkanlar, alkenler, alkadienler, karboksilik asitler, aromatik bileşikler ve az miktarda gaz bileşik vermek suretiyle termal olarak bozunmasıdır. Bu yöntemin esası, bitkisel ve hayvansal yağların termal bozunmasıyla fosil kaynaklı dizel yakıtlarda bulunan olefin ve parafin türü bileşiklerin elde edilmesidir. Farklı tipteki bitkisel yağlardan termal bozunma ile çok sayıda ürün meydana gelir. Genel olarak bu yapıların oluşumu karbanyon ve serbest radikal mekanizmasına dayanır. Trigliseritlerin bozunmasıyla oluşan "RCOO." radikalinden CO₂ ayrılmasıyla, alkan ve alkenlerin homolog serileri meydana gelir. Oluşan "R." radikali etilen eliminasyonu ile çift numaralı alkan ve alkenleri verir. α ve β pozisyonlarındaki doymamışlıkların varlığı parçalanmaları arttırır. Aromatik yapıları piroliz reaksiyonunda meydana gelen bir konjuge diene etilenin Diels-Alder katılmasıyla oluşur. Karboksilik asitlerin oluşumu muhtemelen bitkisel yağların pirolizi esnasında meydana gelen gliserit grubunun parçalanmasından ileri gelir [28].

1986'da soya yağı ve 1988'de yüksek oleik asitli aspir yağı; azot ve hava atmosferinde pirolizlenmiştir. Reaksiyon sonunda ürün içinde tanımlanabilen hidrokarbon bileşiklerinin toplam oranı %73-77 ve %80-88 olarak bulunmuştur. Ürün karışımının ana bileşeni olan alkan ve alken miktarı toplam kütlenin %60'ını oluşturur [28].

4.3.3. Mikroemülsiyon

Bu yöntemde biyodizel mikroemülsiyonu uygun oranlarda bitkisel yağ, dizel yakıt, alkol, surfaktan, ve setan sayısını artırıcı madde içerir. Yöntemde metanol, etanol ve propanol gibi alkoller viskozite düşürücü olarak, daha yüksek alkoller ise surfaktan olarak kullanılmaktadır. Ayrıca alkil nitratlar setan sayısının artması amacıyla karışıma eklenir. Mikroemülsiyon metodunda düşük viskozite, yüksek setan sayısı ve iyi spray özellikleri yöntemin olumlu yönlerini oluştururken özellikle uzun süreli kullanımlarda enjektörde meydana gelen ateşleme problemleri, karbon birikimi ve tamamlanmamış yanma yöntemin olumsuz yönlerini oluşturmaktadır [29].

4.3.4. Transesterifikasyon

Bir ester molekülünün bir alkol ile reaksiyona girerek yeni bir ester molekülü meydana getirmesine ester değişimi denir. Bitkisel ve hayvansal yağların bileşiminde bulunan trigliseritler ester yapılı bileşiklerdir. Trigliseritlerin alkollerle reaksiyonu sonucu yeni alkil esterleri meydana gelir ve bu alkil esterlere biyodizel denir. Katalizör reaksiyon verimini arttırmak için kullanılır. Ester değişimi reaksiyonu bir denge reaksiyonudur. Bu sebeple reaksiyonun yönünü ürünler tarafına kaydırmak için alkol stokiometrik miktarın üzerinde kullanılır [27].

Stokiometrik (teorik) bir iç ester değişiminde bir mol yağ için üç mol mono alkol kullanılmaktadır. Ürünler ise üç mol yağ asidi mono alkil esteri (biyodizel) ve yan ürün olan bir mol gliserindir. Yapılan çalışmalara göre, yüksek molar oranlı reaksiyonlarda çok daha kısa sürede daha yüksek oranda ester dönüşümü gerçekleştiği ifade edilmektedir [27].

Bitkisel yağların dizel motoru alternatifi olması için uygulanan en yaygın esterleşme yöntemi ise transesterifikasyondur. Bitkisel yağların transesterifikasyonu, bir trigliseridin örneğin bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkolle katalizör varlığında gliserin ve Yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik katalizörler, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Bu genel olarak bir alkoliz reaksiyonudur. Alkoliz reaksiyonun da kullanılan alkole göre iki şekilde adlandırılır. Etanol kullanılırsa reaksiyon “etanoliz”, metanol kullanılırsa “metanoliz” adını almaktadır. Etanolizde oluşan ürün yağ asidi etil esteri, metanolizde ise yağ asidi metil esteridir. Her iki ürün de biyodizeldir. Endüstriyel olarak biyodizel daha çok metanoliz ile üretilmektedir. Biyodizel üretiminde metil alkol, daha dengeli bir reaksiyon sağladığı için etil alkole göre daha çok kullanılır. Metil alkol, bitkisel ve hayvansal yağ içerisindeki sudan etil alkole göre daha az etkilenmektedir. Etil alkol metil alkole göre daha az toksik etkiye sahiptir ve yenilenebilir kaynaklardan sürekli olarak üretilir [27].

4.4. DİZEL VE BİYODİZEL STANDARTLARI

Saf biyodizel ve dizel yakıtı-biyodizel karışımları şeklinde kullanılmaktadır. Bu yakıtlar aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

B5 : %5 Biyodizel + %95 Dizel

B20 : %20 Biyodizel + %80 Dizel

B50 : %50 Biyodizel + %50 Dizel

B100 : %100 Biyodizel

Biyodizel için EN 590, EN 14214 ve EN 14213 Avrupa Birliği Standartları ile DIN 51606 Alman standardı ve ASTM D 6751 Amerikan Standardı yürürlüktedir. Ülkemizde EN standartları temel alınarak hazırlanmış olup,

TS EN 14214: Otobiyodizel

TS EN 14213: Yakıtbiyodizel standartları yürürlüktedir [21].

DIN 51606: Biyodizel için bir alman standardıdır. Mevcut standartların en yükseği olarak değerlendirilmektedir ve tüm araç üreticileri tarafından dizel yakıtlar için en katı (yüksek) standartlar ile uygunluğun karşılığı olarak kabul edilmektedir. Ticari olarak üretilen biyodizelin büyük bir çoğunluğu bu standartları veya daha fazlasını karşılamaktadır [21].

TS EN 590: AB, Çek Cumhuriyeti, İceland, Norveç, İsviçre ve Türkiye’de satışa sunulacak olan tüm dizel yakıtların fiziksel özellikleri bu standartla belirlenen şartları karşılamak zorundadır. Bu standart, normal dizel ile biyodizelin %5 oranında karıştırılmasına izin vermektedir [21].

TS EN 14214: Avrupa Standartlar Birliği (CEN) tarafından oluşturulan biyodizel standardıdır. Genel olarak DIN51606 standardını temel almaktadır. Bu standart, dizel motorlar için %100 derişimlerde otomotiv yakıtı olarak kullanılan veya TS EN

590'da belirtilen özelliklere uygun dizel yakıtlara ilave edilen biyodizel için gerekleri ve deney yöntemlerini kapsar [21].

TS EN 14213: Avrupa Standartlar Birliği (CEN) tarafından oluşturulan ısıtma amaçlı kullanıma uygun biyodizel standardıdır. Bu standart, %100 derişimlerde ısıtma yakıtı olarak veya ısıtma yakıtı üretimi için bir karışım bileşeni olarak kullanılmak üzere pazara sunulan biyodizel özelliklerini ve deney yöntemlerini kapsar [21].

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOD

Bu bölümde biyodizel üretimde kullanılan materyaller ve materyalleri kullanarak yapılan çalışmaların metotları verilmiştir.

5.1. MATERYAL

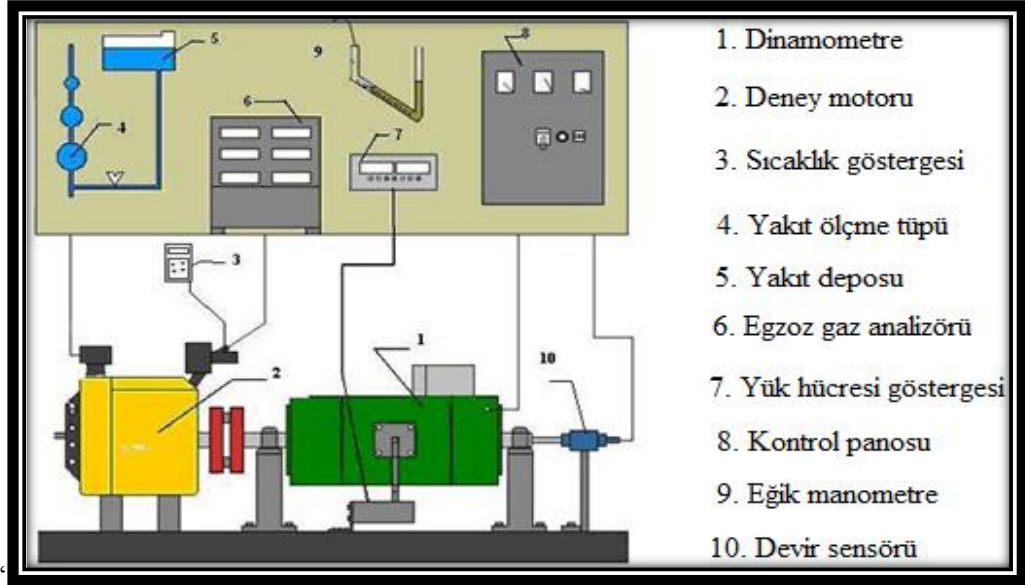
Deneyel çalışmada kullanılan materyaller aşağıda sırasıyla şekil ve çizelgelerle gösterilmiştir.

5.1.1. Deney Alanı

Motor testleri Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği motor test laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1’de deney düzeneğinin genel görünüşü, Şekil 5.2’de ise şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneğinin genel görünüşü.



Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

5.1.2. Deney Motoru

Testlerde tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, doğrudan püskürtmeli Katana KM178F marka diesel motor kullanılmıştır. Deney motorunun genel görünüşü Şekil 5.3'te, teknik özellikleri ise Çizelge 6.1'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Deney motorunun genel görünüşü.

Çizelge 5.1. Deney motorunun teknik özellikleri.

Markası ve tipi	Katana, KM178F 4 zamanlı, doğrudan püskürtmeli, hava soğutmalı, dizel motor
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	78
Kurs (mm)	62
Sıkıştırma oranı	18/1
Maksimum motor hızı (1/min)	3600
Silindir hacmi (cc)	211
Püskürtme basıncı (Bar)	200 ± 5
Püskürtme avansı (° KMA ÜÖN)	17 ± 1

5.1.3. Motor Dinamometresi

Deneylerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney seti, motor momentini, hızını ve egzoz sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen hızda hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır. dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetinin ölçülmesinde Esit marka SP 100 kg CI yük hücresi ve PWI-P indikatör kullanılmıştır.

5.1.4. Egzoz Gaz Analizörü

Deney motorunun egzoz emisyonlarının ölçümü için MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörü emisyon cihazı kullanılmıştır. Egzoz gaz analizörü ile NO_x, HC, CO, CO₂, λ (hava fazlalık katsayısı) ve O₂ değişkenlerini ölçebilmek mümkündür. Bununla birlikte dizel motorları için de aynı değişkenler ve is emisyonları belirlenebilmektedir. Şekil 5.4'de Egzoz gaz analizörünün genel görünüşü, Çizelge 5.2'de ise MRU DELTA 1600L egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Egzoz gaz analizörünün görünüşü.

Çizelge 5.2. Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri.

Ölçüm	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO (% hacimsel)	0-15,00	$\pm 0,06$
CO ₂ (% hacimsel)	0-20,00	$\pm 0,5$
NO _x (ppm)	0-2 000	± 5
HC (ppm)	0-20 000 n-hekzan	± 12
O ₂ (% hacimsel)	0-25	$\pm 0,1$
Sıcaklık (°C)	40-(+650)	± 1
is (Opasite) (%)	0-100	± 2

5.1.5. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

Dizel yakıtı ile çalışmada, yakıt tüketimi ölçmek için kullanılan düzenek, hacimsel yonteme göre çalışan 10 ml hacme sahiptir. Yakıt tüketim ölçme düzeneği Şekil 6.5'de verilmiştir. Yakıt tüketimi süresinin Caston ST-631D marka bir kronometre kullanılarak ölçülmüştür. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 5.5. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.

5.1.6. Mezürler

Motor testlerinde kullanılacak olan yakıt karışımının hassas bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Kullanılmış ayçiçek yağı metil esterinin dizel yakıtı ve bor katkı maddesi ile karışımının oluşturulmasında, Şekil 5.6'da görülen mezürler kullanılmıştır.



Şekil 5.6. Karışımın oluşturulmasında kullanılan mezürler.

5.1.7. Hassas Terazi

Numune biyodizel yakıtın kütleli olarak ölçülebilmesi için 1 gram hassasiyetli dijital terazi kullanılmıştır. Hassas terazinin genel görünüşü Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Yakıt tüketimi ölçmek için hassas terazi.

5.1.8. Yük hücresi (Load Cell) ve İndikatör

Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetinin ölçülmesinde kullanılan Esit marka SP 100 kg C1 Loadcell ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Deney sırasında ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak motor momenti hesaplanmıştır. Yük hücresi ve indikatörün görünüşleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. Yük hücresi ve indikatörün görünümü.

5.1.9. Termometre

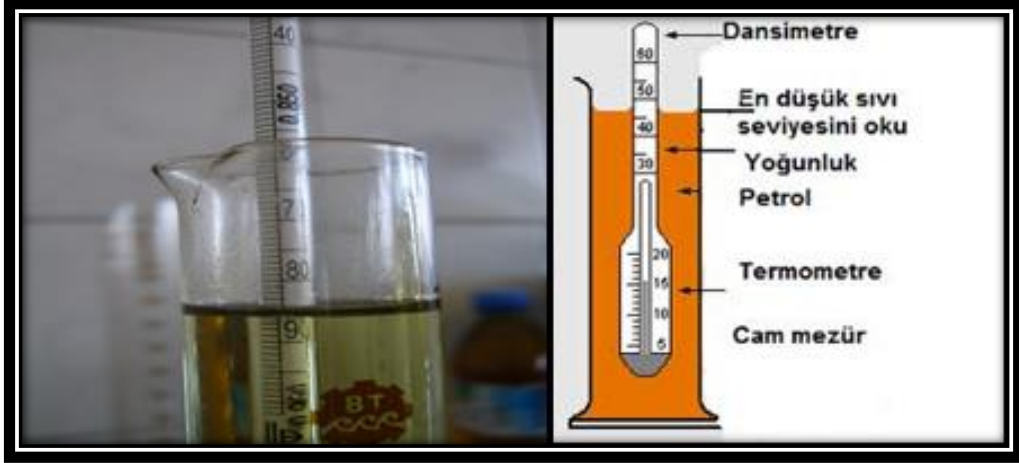
Deney sırasında sıcaklıkları ölçmek için TES 1320 Marka, K tipi Termokupl’a sahip bir termometre kullanılmıştır. Termometrenin genel görünüşü Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9. Dijital termometre.

5.1.10. Dansimetre

Numune biyodizelin yoğunluğunu ölçmek için kullanılmıştır. Dansimetrenin genel görünüşü Şekil 5.10’de verilmiştir.



Şekil 5.10. Dansimetre ile yoğunluk ölçülmesi.

5.1.11. Dijital Termometre

Numune biyodizel yakıtların sıcaklıklarını ölçmek için kullanılmıştır. Dijital termometrenin genel görünüşü Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Dijital termometre yakıt sıcaklığının ölçülmesi.

5.1.12. Viskozimetre

Numune biyodizelin sıcaklığa bağlı olarak viskozitesini ölçmek için kullanılmıştır. Brookfield DV-E model viskozimetrenin genel görünüşü Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. Viskozite ölçümünde kullanılan viskozimetre.

5.1.13. Testlerde Kullanılan Yakıtlar Ve Katkı Maddesi

Temin edilen biyodizel, EN 590 standartlarına göre transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiştir. ED ve BD'nin yakıt özellikleri Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneyleerde kullanılan ED ve BD'nin yakıt özellikleri [16].

	Kalori (Mj/kg)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Viskozite (mm ² /sn)	Setan Sayısı	Parlama Noktası (°C)	Kimyasal Formül
Dizel yakıt	43,35	0,818	3,08	47	58	C ₁₆ H ₄₃
Biyodizel	40,56	0,865	4,96	52	85	C ₅₅ H ₁₀₅ O ₆

Deneyleerde motor performansını arttırmak, viskoziteyi ve egzoz emisyonlarını iyileştirmek amacıyla piyasada dizel yakıt katkısı olarak satılan Nano Hydro Borazine (NHB) kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan bor maddesinin kökeni, Buraq/Baurach (Arapça) ve Burah (Farsça) kelimelerinden gelen ağırlıklı olarak metalimsi davranış gösteren Bor (B), ilk defa 1808 yılında Gay-Lussac ve Jacques Thenard ile Sir Humphry Davy tarafından Bor Oksit'in Potasyum ile ısıtılmasıyla elde edilmiştir. Kimyasal olarak ametal bir element olan kristal bor, normal sıcaklıklarda su, hava ve hidroklorik/hidroflorik asitler ile soy davranış göstermekte olup sadece yüksek konsantrasyonlu Nitrik Asit ile sıcak ortamda Borik Asit'e dönüşebilmektedir. Öte yandan yüksek sıcaklıklarda saf oksijen ile reaksiyona girerek Bor Oksit (B₂O₃), aynı koşullarda nitrojen ile Bor Nitrit (BN), ayrıca bazı metaller ile Magnezyum Borit (Mg₃B₂) ve Titanyum Diborit (TiB₂) gibi endüstride kullanılan bileşikler oluşabilmektedir [30].

Bor, periyodik tablonun 3A grubunda bulunan, atom numarası 5, molar kütlesi 10.811 ± 0.005 g/mol, kaynama noktası 2500 °C ve yoğunluğu 2.34 g/cm³ olan bir

elementtir. Borun doğal ^{10}B (% 19.8) ve ^{11}B (% 80.22) izotopları ve radyoaktif ^8B ve ^{12}B izotopları vardır [31].

Türkiye'deki bilinen borat yatakları özellikle Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/Kütahya'da bulunmaktadır. Söz konusu sahalarda; 2001 yılında, brüt bazda 2.071.853.997 ton ve B_2O_3 bazında 562.577.259 ton olan Türkiye bor rezervi, Eti Maden İşletmeleri tarafından yürütülen Bor Master Arama Projesi kapsamında yapılan rezerv çalışmaları neticesinde B_2O_3 bazında % 51,26 oranında artarak 850.938.893 ton ve brüt bazda % 47,90 oranında artarak 3.063.635.210 tona ulaşmıştır. Türkiye'nin dünya toplam bor rezervi içindeki payı B_2O_3 bazında 2001 yılı itibariyle % 64 iken 2004 yılında % 72,2'ye yükselmiştir. Türkiye'de rezerv açısından en çok bulunan bor cevherleri tinkal ve kolemanittir. Türkiye'de önemli tinkal yatakları Kırka'da, kolemanit yatakları ise Emet ve Bigadiç civarında bulunmaktadır. Bunlara ilave olarak, Bigadiç'te az miktarda uleksit rezervleri mevcut olup Kestelek gibi işletmelerde de zaman zaman uleksit yan ürün olarak elde edilmektedir. Çizelge 5.4 ve 5.5'de Türkiye Bor Rezervi verilmektedir [32].

Çizelge 5.4. Mineral bazında Türkiye bor rezervleri [32].

Mineral Tipi	Toplam Rezerv (Ton)	Mineral Tipinin Toplam Rezerv İçindeki Payı (%)
Kolemanit	2.264.621.057	73.92
Boraks (Tinkal)	750.620.373	24.50
Üleksit	48.393.780	1,58
Toplam Rezerv	3.063.635.210	100.00

Çizelge 5.5. Mineral bazında Türkiye bor rezervleri (B₂O₃ bazında) [32].

Mineral Tipi	Toplam Rezerv (Ton)	Mineral Tipinin Toplam Rezerv İçindeki Payı (%)
Kolemanit	643.245.236	75.59
Boraks (Tinkal)	193.660.056	22.76
Üleksit	14.033.601	1.65
Toplam Rezerv	850.938.893	100.00

Bor kimyasalları özellikle füze yakıtı olarak kullanılmaktadır. Sodyum bor hidrür, özel uygulamalarda hidrojen taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Hidrojen diboran (B₂H₆) ve hidrojen pentaboran (B₅H₉) gibi bor hidrürler; uçaklarda yüksek performanslı potansiyel yakıt olarak araştırılmışlardır. Özellikle, uçak ve uzay sanayilerine yönelik ağırlıklı olarak ABD, Avrupa, Rusya ve Japonya'da yapılmakta olan araştırma uygulamaları dikkat çekicidir [32].

1960'larda ABD Hava ve Deniz Kuvvetlerince ortaklaşa yürütülen Zip Yakıtları Projesi çerçevesinde geliştirilen yakıtlar, yaklaşık aynı tarihlerde üretilen XB-70 Valkyrie "Boron Bomber" bombardıman uçağı ve SR-71 Blackbird supersonik stratejik bombardıman uçaklarında bor katkılı yakıt (pentaboran ve etil boran olarak isimlendirilen) kullanılarak uçakların hem hızları hem de uçuş mesafeleri artırılmıştır. Daha sonra geliştirilen F-117 "Stealth Fighter" Meteor (MRAAM) uçakları ve General Dynamics firması tarafından üretilen BGM-109 Tomahawk, UGM-109 Tomahawk füzelerinde de bor katkılı yakıtlar kullanılmaktadır [32].

Bor üzerinde yürütülen araştırmalar sadece ABD ile sınırlı değildir. Örneğin, Avrupa Uzay Ajansı da aynı zamanda bor ve borlu yakıtlar üzerine çalışma yapan bir başka kurumdur. Anılan ajans geliştirdiği üç tip borlu yakıtı Avrupa Patent Ofisine tescil ettirerek patentini almıştır. Bugün Ariane roketlerinde kullanılan yakıtlar da borlu yakıtlardır [32].

Ayrıca, sodyum bor hidrürün yakıt olarak kullanılması yönündeki çalışmalar, ABD Hava Kuvvetleri tarafından da desteklenmektedir [32].

Bu çalışmada bor bileşenli katkı maddesinin kullanılma sebepleri;

- Bor yakıtı, kolaylıkla yanmayan bir yapıdadır. Dolayısıyla infilak etme, kıvılcımla, ateşle tutuşma riski yoktur. Bir kaza anında patlama meydana gelmeyecektir. Bu yönüyle bor, çok önemli bir yakıttır ve nakliyesinde risk olmayışı bor yakıtı için bir üstünlük ve alternatifsizlik kazandırması
- Bor; inert bir malzeme olarak çevre dostudur, yanma sonrası gaz emisyonu oluşturmaması
- Bor yakıt sistemi içerisinde oluşabilecek her türlü korozyon etkisine sahip zararlı parçacıkları temizler, birikmesini engeller ve enjektör sisteminin ideal bir şekilde yağlanmasını sağlamasıdır [33].

5.2. METOD

Deneysel çalışmalar 3 aşamalı olarak yapılmıştır:

- Birinci aşamada, testler için biyodizel satın alınmış ve birinci numune yakıtlar; B100 (saf biyodizel), B50 (%50 biyodizel ve %50 euro dizel) hazırlanmıştır. Daha sonra motor performansını arttırmak, viskozite ve egzoz emisyonlarını iyileştirmek için, birinci numune yakıtlara %1, %3, %5 oranlarında katkı maddesi olan nano hydro borazine eklenerek ikinci numune yakıtlar elde edilmiştir.
- İkinci aşamada, numune yakıtların viskozite ve yoğunluk özellikleri tespit edilmiştir.
- Son aşamada Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği motor test laboratuvarında testler yapılmıştır.

5.2.1. Motor Performans ve Emisyon Testi

Testlere başlamadan önce motor ED ile 10 dakika çalıştırılarak ısıtılmıştır. Daha sonra motor tam yükte testlere geçilmiştir. İlk olarak ED kullanarak, daha sonra B50, B50+%1 (NHB), B50+%3 (NHB), B50+%5 (NHB) yakıtları ile testler yapılmıştır. Son olarak da B100, B100+%1 (NHB), B100+%3 (NHB), B100+%5 (NHB) ile testler yapılmıştır.

ED yakıtı ile yapılan ilk testte gaz kolu tam yük konumunda iken motorun devri devir saatinden 3000 1/min okunmuştur. Motor yük yükleme düğmesiyle devir 2600 1/min'e gelinceye kadar yüklenmiştir.

Motorun bu yük altındaki momenti, gücü, yakıt sarfiyatı ve emisyon değerleri (HC, CO, CO₂, NO_x ve is emisyonu) için gerekli ölçümler yapılmıştır. Aynı ölçümler motor yük yükleme düğmesiyle sırasıyla 2800, 2600, 2400, 2200 ve 2000 1/min'e sabitlenerek tekrarlanmış ve veriler not edilmiştir.

İkinci olarak B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5 yakıtları ve son olarak ta B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile testler yapılarak veriler kaydedilmiştir.

5.3. DENEYSEL HESAPLAMALAR

Deneylerden elde edilen verileri kullanarak formül ve denklemlerle, motor gücü, momenti ve özgül yakıt tüketimi gibi motor performans özellikleri bulunmuştur.

5.3.1. Deneysel Hesaplamalarda Kullanılan Formüller

Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorun performansını belirlemek için motorun güç, moment ve yakıt sarfiyat değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda doğrudan bulunamayan bu değerler, performans karakteristiklerini veren denklemlerle hesaplanır. Motor deneyleriyle ölçülen veriler;

- Motor devri
- Yük hücrelerinden okunan yük değeri
- Belirli kütledeki yakıtın harcanma süresi
- Egzoz emisyon değerleridir.

Elde edilen bu parametreler kullanılarak motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi ve termik verim gibi performans karakteristikleri hesaplanabilir.

5.3.1.1. Motor Momenti Ve Gücü

Deney sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0,25 m uzaklıktaki yük hücrelerinden okunmuştur. Okunan bu değer kuvvet kolunun uzunluğu olan 0,25 m ile çarpılarak moment hesaplanmıştır.

$$M_e = F * 9,81 * l \text{ (Nm)}$$

Motor milinden alınan efektif güç;

$$P_e = \frac{M_e * n}{9549} \text{ (kW)}$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Burada;

M_e = Döndürme momenti (Nm)

P_e = Efektif güç (kW)

n = Motor devri (d/d)

l = Moment kolu uzunluğu (m)'dir.

5.3.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi

Yakıt tüketiminin ölçülmesinde kütleli yöntem kullanılmıştır. 10 gram yakıtın tüketimi kronometre ile saniye cinsinden ölçülerek saatteki yakıt tüketimi kg/saat cinsinden hesaplanmıştır. Yakıtın yoğunluğu ise hacim/ağırlık metoduyla hesaplanmıştır.

$$\dot{m} = \frac{\Delta V \times 10^{-6} \times 3600}{\Delta t} \times \rho_y (\text{kg/h})$$

Burada;

\dot{m} : Tüketilen yakıt miktarı (kg/h)

Δt : 10 gr yakıtın tüketilme süresi (s)

ρ_y : Kullanılan yakıtın yoğunluğu (kg/m³)

ΔV : Yakıt tüketimi ölçülen cam balondaki yakıt miktarı (g)

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$sfc = \frac{\dot{m}}{P_e} \times 10^3 (\text{g/kWh})$$

Burada;

sfc : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh).

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorda, farklı miktarlarda biyodizele eklenen nano hydro borazine bağlı motor performans karakteristikleri ve emisyon değerlerinin incelenebilmesi için motor tam yükte değişik motor devirlerinde (2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000) çalıştırılarak deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda ilk olarak, atık ayçiçek yağından üretilmiş biyodizel bir firmadan temin edilmiş ve testler için saf biyodizel B100, dizel yakıtı ve karışım yakıt B50 (%50 biyodizel + %50 dizel yakıt) olarak hazırlanmış, daha sonra yakıtların içerisine %1, %3, %5 oranlarında katkı maddesi nano hydro borazine eklenerek B50+%1, B50+%3 ve B50+%5, B100+%1, B100+%3, B100+%5 oranlarında karışımlar hazırlanıp, oda sıcaklığında ve EN 590 standartları için 40 °C’de viskozite ve yoğunlukları ölçülmüştür. İkinci olarak B50, B50+%1, B50+%3 ve B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 devire bağlı olarak motor momentini, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar ED ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

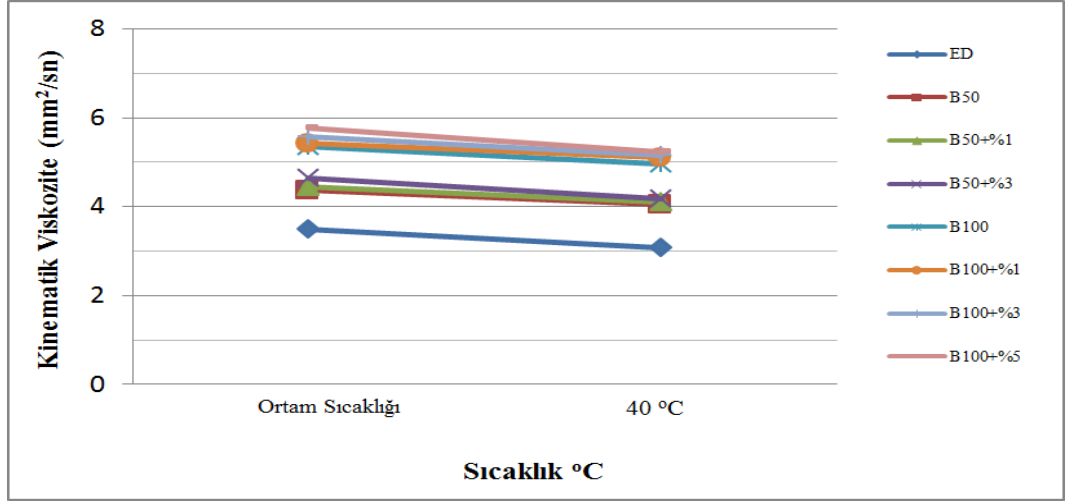
6.1. EURO DİSEL VE NUMUNE YAKITLARIN ODA SICAKLIĞI VE 40 °C SICAKLIKTA VİSKOZİTE DEĞERLERİ

Yakıtların viskoziteleri Brookfield DV-E model viskozimetre ile ölçülmüştür. Fakat ölçüm yapılan cihazda sıcaklığa bağlı ölçüm yapılamadığından dolayı yakıtların 40 °C deki kinematik viskoziteleri ölçülürken önce yakıtlar 45 °C ye kadar ısıtılmış daha sonra ölçülecek olan yakıt viskozimetrenin haznesine koyularak 40 °C’ye kadar sıcaklığın düşmesi beklenmiştir. Sıcaklık 40 °C ulaştığında yakıtın kinematik viskozitesi ölçülmüştür. Deneyler tüm yakıtlar için aynı şekilde tekrarlanmıştır.

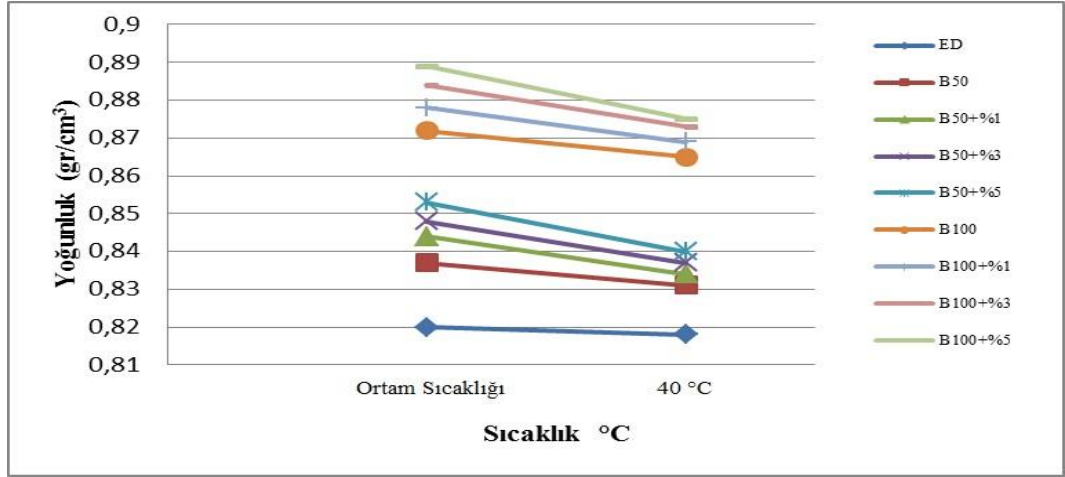
Yakıtların yoğunlukları dansimetre ile ölçülmüştür. Yakıtların 40 °C'deki yoğunlukları ölçülürken önce yakıtlar 42 °C'ye kadar ısıtılmış daha sonra 40 °C 'ye kadar sıcaklıkların düşmesi beklenmiştir. Sıcaklıklar 40 °C'ye ulaştığında yoğunluklar ölçülmüştür. Sıcaklıklar termokupl ile ölçülmüş; sıcaklığın viskozite'ye ve yoğunluğa etkisi Çizelge 6.1, Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi birinci ve ikinci numune yakıtların viskozite ve yoğunlukları ED'ninkine oranla yüksektir, sıcaklık arttıkça tüm yakıtlar için viskozite ve yoğunluk düşmektedir. Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine ve yüksek pompalama basıncına neden olmaktadır.

Çizelge 6.1. ED ve numune yakıtlarda katkı maddesinin viskoziteye etkisi.

	Kinematik viskozite (mm ² /s)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kinematik viskozite (mm ² /s)	Yoğunluk (g/cm ³)
	Ortam Sıcaklığı		40 °C	
ED	3,48	0,82	3,08	0,818
B50	4,37	0,837	4,06	0,831
B50+1	4,45	0,844	4,09	0,834
B50+3	4,63	0,848	4,17	0,837
B50+5	4,8	0,865	4,29	0,840
B100	5,36	0,872	4,96	0,865
B100+1	5,43	0,878	5,11	0,869
B100+3	5,58	0,884	5,16	0,873
B100+5	5,76	0,889	5,22	0,875



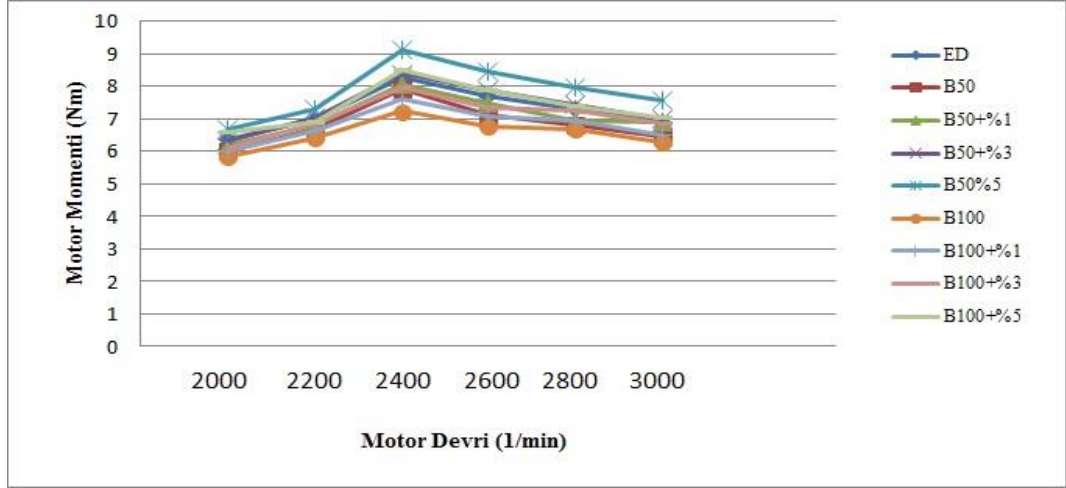
Şekil 6.1. Kinematik viskozitenin sıcaklığa bağlı değişimi.



Şekil 6.2. Yoğunluğun sıcaklığa bağlı değişimi.

6.2. MOTOR MOMENTİ

ED ve farklı oranlarda katkı maddesi katılan B50 ve B100 numune yakıtlar ile motor devrine bağlı olarak elde edilen motor döndürme momenti değişimleri Şekil 6.3'te görülmektedir. Motor momenti, motor devrine bağlı olarak gerek ED'de gerekse farklı oranlarda katkı maddesi katılan tüm biyodizel değerlerinde artış göstermektedir. En yüksek moment değerleri B50+%5 ile elde edilmiştir. Farklı miktarlarda katkı maddesi eklenen bütün biyodizel değerlerine bakıldığında, katkı maddesinin artışına bağlı olarak momentte artış saptanmıştır. Biyodizele eklenen katkı maddesi motor momenti artışına olumlu bir katkı sağlamıştır.



Şekil 6.3. Motor momentini değışimleri.

Düşük motor devirlerinde ED ve farklı oranlarda katkı maddesi katılan biyodizel yakıtlarının değeri arasında çok fazla moment farkı bulunmamaktadır. Fakat B50+%5 yakıtın moment değeri, diğer biyodizel yakıtlara göre en yüksek seviyededir.

2000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 ile ED'ye oranla sırasıyla -%5,39; -%3,08; -%0,03; +%4,61; -%8,46; -%5,39; -%4,62; +%3,07 moment değışimleri saptanmıştır. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça motor momentinde azalma meydana getirdiğini, NHB oranı arttığında ise motor momentinde artma meydana geldiğini göstermektedir.

2200 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 ile ED'ye oranla sırasıyla -%4,21; -%2,45; +%0,03; +%4,56; -%8,07; -%5,27; -%1,75; -%1,05 moment değışimleri saptanmıştır. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça motor momentinde azalma meydana getirdiğini, NHB oranı arttığında ise motor momentinde artma meydana geldiğini göstermektedir.

2400 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 ile ED'ye oranla sırasıyla -%4,44; -%2,96; +%1,18; +%10,06; -%12,73; -%8,29; -%3,84; +%2,3 moment değışimleri saptanmıştır. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça motor momentinde azalma meydana getirdiğini, NHB oranı arttığında ise motor momentinde artma meydana geldiğini göstermektedir.

2600 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 ile ED'ye oranla sırasıyla -%7,65; -%2,87; +%2,20; +%9,86; -%12,12; -%7,98; -%4,47; +%2,22 moment değişimleri saptanmıştır. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça motor momentinde azalma meydana getirdiğini, NHB oranı arttığında ise motor momentinde artma meydana geldiğini göstermektedir.

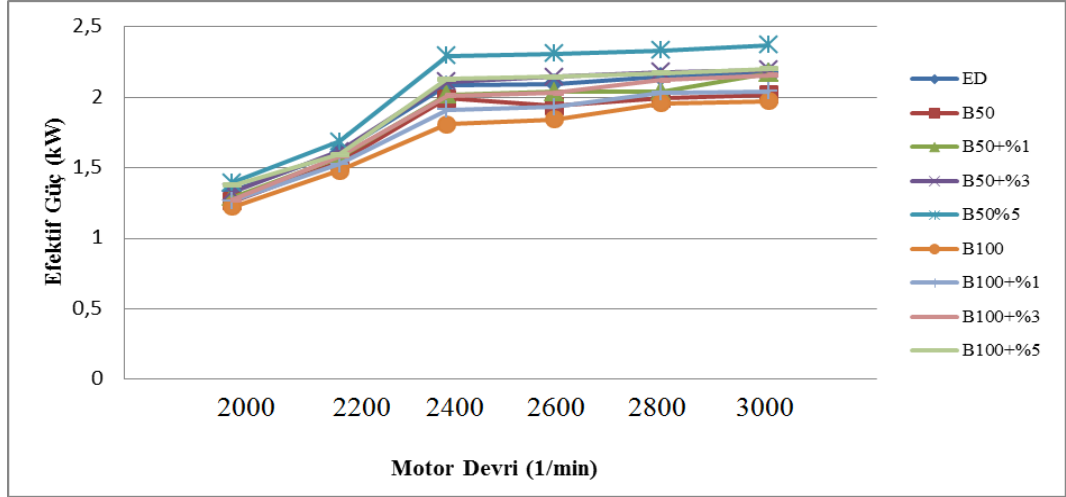
2800 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 ile ED'ye oranla sırasıyla -%6,72; -%4,69; +%1,68; +%9,05; -%8,74; -%5,04; -%1,00; +%1,34 moment değişimleri saptanmıştır. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça motor momentinde azalma meydana getirdiğini, NHD oranı arttığında ise motor momentinde artma meydana geldiğini göstermektedir.

3000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 ile ED'ye oranla sırasıyla -%6,74; %0,00; +%1,07; +%9,20; -%9,23; -%6,03; -%0,71; +%1,41 moment değişimleri saptanmıştır. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça motor momentinde azalma meydana getirdiğini, NHB oranı arttığında ise motor momentinde artma meydana geldiğini göstermektedir.

Verilerde görüldüğü gibi ikinci numune yakıt karışımı içinde katkı maddesi miktarı arttıkça katkı maddesi motor momentinde önemli artış sağlamaktadır. Bunun nedeni olarak NHB'nin özelliğinden dolayı yanmanın iyileşmesinin bir neticesi olarak belirtilebilir. Ayrıca karışım içinde biyodizel miktarı arttıkça moment düştüğü de yapılan deneyler sonucunda gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak biyodizelin alt ısıl değerinin ED'den düşük olmasıdır.

6.3. EFEKTİF GÜÇ

Motor efektif gücü, gerek ED gerekse farklı oranlarda katkı maddesi katılan tüm biyodizel yakıtlarda artış göstermiştir. Motor gücü değişimleri devre bağlı olarak Şekil 6.4'de görülmektedir. En yüksek efektif güç değerleri genel olarak B50+%5 ile elde edilmiştir. Buna ek olarak biyodizele eklenen katkı maddeleri sayesinde motor efektif gücü artışına olumlu bir katkı sağladığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.4. Efektif güç.

Düşük motor devirlerinde ED ve farklı oranlarda katkı maddesi katılan biyodizel yakıtların değerleri arasında çok fazla güç farkı bulunmamaktadır. Fakat B100+%5 yakıtın güç değeri, diğer biyodizel yakıtlara göre en yüksek seviyededir.

2000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 ile ED'ye oranla sırasıyla -%5,39; -%3,08; -%0,03; +%4,61; -%8,46; -%5,39; -%4,62; +%3,07 güç değişimleri saptanmıştır. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça efektif güçte azalmaların, NHB oranlarının artmasıyla ise efektif güçte artma meydana geldiğini göstermektedir.

2200 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 ile ED'ye oranla sırasıyla -%4,21; -%2,45; +%0,03; +%4,56; -%8,07; -%5,27; -%1,75; -%1,05 güç değişimleri saptanmıştır. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça efektif güçte azalmaların, NHB oranlarının artmasıyla ise efektif güçte artma meydana geldiğini göstermektedir.

2400 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 ile ED'ye oranla sırasıyla -%4,44; -%2,96; +%1,18; +%10,06; -%12,73; -%8,29; -%3,84; +%2,3 güç değişimleri saptanmıştır. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça efektif güçte azalmaların, NHB oranlarının artmasıyla ise efektif güçte artma meydana geldiğini göstermektedir.

2600 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 ile ED'ye oranla sırasıyla -%7,65; -%2,87; +%2,20; +%9,86; -%12,12; -%7,98; -%4,47; +%2,22 güç değişimleri saptanmıştır. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça efektif güçte azalmaların, NHB oranlarının artmasıyla ise efektif güçte artma meydana geldiğini göstermektedir.

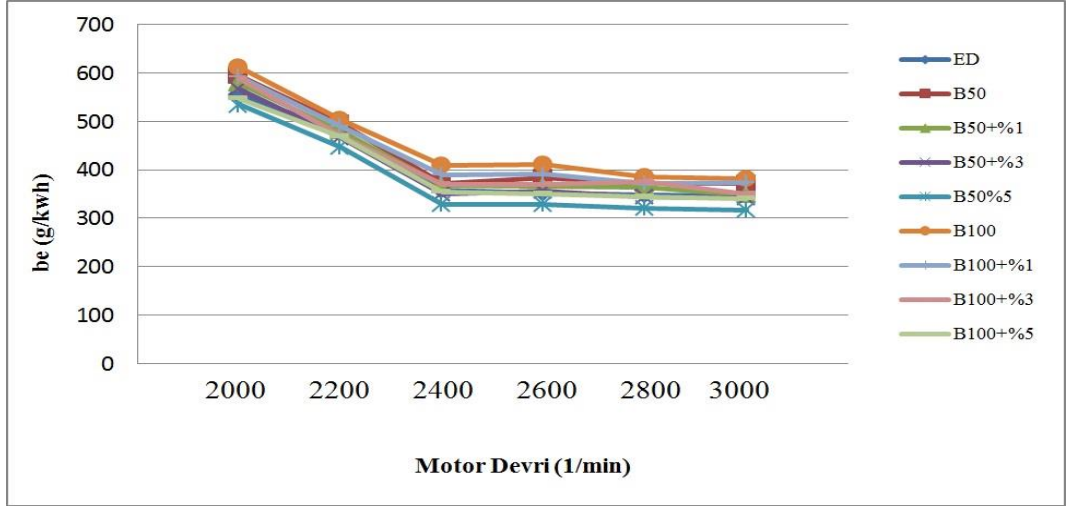
2800 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 ile ED'ye oranla sırasıyla -%6,72; -%4,69; +%1,68; +%9,05; -%8,74; -%5,04; -%1,00; +%1,34 güç değişimleri saptanmıştır. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça efektif güçte azalmaların, NHB oranlarının artmasıyla ise efektif güçte artma meydana geldiğini göstermektedir.

3000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 ile ED'ye oranla sırasıyla -%6,74; %0,00; +%1,07; +%9,20; -%9,23; -%6,03; -%0,71; +%1,41 güç değişimleri saptanmıştır. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça efektif güçte azalmaların, NHB oranlarının artmasıyla ise efektif güçte artma meydana geldiğini göstermektedir.

İkinci numune yakıt karışımı içinde katkı maddesi oranı arttıkça motor efektif güç değerleri artmaktadır. Ayrıca karışım içinde biyodizel miktarı arttıkça güç düşmektedir.

6.4. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ (ÖYT)

Özgül yakıt tüketimi değerleri düşük motor devirlerinde daha yüksek değerlerde, orta ve yüksek motor devirlerinde ise minimum değerlere doğru azalma şeklinde görülmektedir. Minimum ÖYT değerleri B50+%5 ile elde edilmiştir. Farklı oranlarda katkı maddesi eklenerek test edilen biyodizel yakıtlarının ÖYT değerlerinde katkı maddesine bağlı olarak düşüş gösterdiği belirlenmiştir. Farklı miktarlarda katkı maddesi eklenen biyodizel yakıtların biyodizel değerleri incelendiğinde en düşük ÖYT değerleri B50+%5 ile elde edilmiştir. En yüksek ÖYT değerleri is B100'de elde edilmiştir. ÖYT değerlerin devre bağlı değişimleri Şekil 6.5'de görülmektedir.



Şekil 6.5. Özgül yakıt tüketimi.

2000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla +%7,06; +%4,22; +%1,92; -%3,85; +%10,01; +%6,69; +%5,72; +%1,54 oranlarında ÖYT değişimleri tespit edilmiştir. Bu karışımdaki biyodizel miktarının ÖYT'yi arttırdığını, NHB miktarının ise ÖYT'yi azalttığını göstermektedir.

2200 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla +%3,26; -%0,02; -%2,95; -%7,11; +%4,57; +%1,82; -%2,04; -%2,46 oranlarında ÖYT değişimleri tespit edilmiştir. Bu karışımdaki biyodizel miktarının ÖYT'yi arttırdığını, NHB miktarının ise ÖYT'yi azalttığını göstermektedir.

2400 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla +%3,55; +%2,56; -%2,24; -%8,3; +%14; +%9,04; +%3,35; -%1,42 oranlarında ÖYT değişimleri tespit edilmiştir. Bu karışımdaki biyodizel miktarının ÖYT'yi arttırdığını, NHB miktarının ise ÖYT'yi azalttığını göstermektedir.

2600 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla +%8,80; +%4,06; +%0,99; -%6,92; +%16,66; +%10,87; +%5,21; -%0,08 oranlarında ÖYT değişimleri tespit edilmiştir.

Bu karışımdaki biyodizel miktarının ÖYT'yi arttırdığını, NHB miktarının ise ÖYT'yi azalttığını göstermektedir.

2800 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla +%6,53; +%4,38; -%0,02; -%8,15; +%10,58; +%6,72; +%8,08; -%0,01 oranlarında ÖYT değişimleri tespit edilmiştir. Bu karışımdaki biyodizel miktarının ÖYT'yi arttırdığını, NHB miktarının ise ÖYT'yi azalttığını göstermektedir.

3000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla +%7,71; +%5,82; -%0,01; -%8,06; +%10,34; +%8,40; +%1,41; -%1,62 oranlarında ÖYT değişimleri tespit edilmiştir. Bu karışımdaki biyodizel miktarının ÖYT'yi arttırdığını, NHB miktarının ise ÖYT'yi azalttığını göstermektedir.

Verilerden görüldüğü gibi, genel olarak biyodizelin düşük alt ısıl değerinden dolayı ED'ye oranla ÖYT bir artış görülmüştür. Buna karşın katkı maddesinin artış oranına bağlı olarak yanmanın iyileşmesi neticesinde ÖYT oranlarında düşmeler meydana gelmiştir.

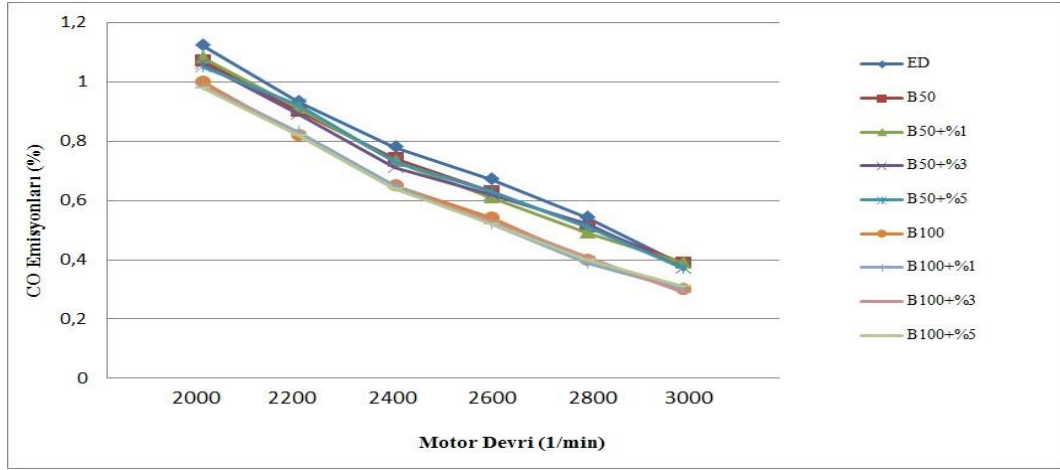
6.5. EGZOZ EMİSYONLARI

Motorlu taşıtlar; egzoz emisyonu, yakıt-yağ buharı, kurşun bileşikleri, asbest ve lastik tozları, aşınma paslanma ve korozyon sonucu oluşan gaz, sıvı ve katı atıklarla çevreyi kirletmektedir. Bu kirleticilerin en etkin, zararlı ve yoğun olanları egzoz gazında bulunan karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC), NO_x ve partikül maddelerdir. Bunlardan NO_x ile partikül madde daha çok dizel motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır [27].

6.5.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

CO emisyonu motorda kullanılmayan kayıp kimyasal enerjiyi ifade ettiği için önemli bir parametredir. Ayrıca, CO sınırlaması emisyon standartlarının temel

parametrelerindedir. Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni H/Y oranının düşük olmasıdır. Eğer yanma tamamlanırsa, CO CO₂' ye dönüşür. Ancak hava yetersizliği veya düşük egzoz gaz sıcaklığı nedeni ile yanma tamamlanamaz ise CO oluşabilir. Şekil 6.6'da, CO emisyonunun motor devri ve yakıt türüne göre değişimi görülmektedir.



Şekil 6.6. CO emisyonları.

CO emisyonu değişimi göz önüne alındığında, en düşük değerler biyodizel yakıtı ile elde edilmiştir. Katkı maddesinin CO emisyonuna çok fazla bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. CO emisyonunun biyodizel kullanımında azalmasının ana sebebi oksijen içeriğinin eurodizel yakıtına göre daha fazla olmasıdır.

2000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %4,47; %3,58; %5,36; %6,25; %10,72; %11,61; %11,61; %12,50 oranlarında CO azalması tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de CO emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermektedir.

2200 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %3,23; %2,16; %2,16; %1,08; %11,83; %10,76; %11,83; %11,83 oranlarında CO azalması tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de CO emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermektedir.

2400 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %5,13; %6,42; %8,98; %6,42; %16,67; %16,67; %17,95; %17,95 oranlarında CO azalması tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de CO emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermektedir.

2600 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %5,98; %8,96; %7,47; %5,98; %19,41; %22,39; %20,39; %22,39 oranlarında CO azalması tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de CO emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermektedir.

2800 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %5,56; %9,26; %3,71; %5,56; %25,93; %27,78; %24,08; %25,93 oranlarında CO azalması tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de CO emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermektedir.

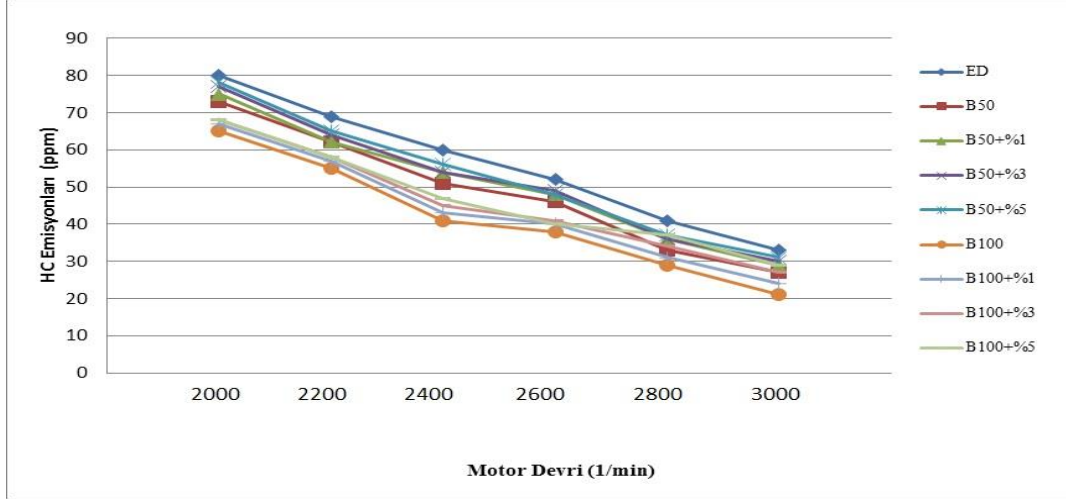
3000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %2,63; %6,63; %7,64; %9,64; %21,06; %21,06; %23,69; %18,43 oranlarında CO azalması tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de CO emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermektedir.

6.5.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu

Yanma ürünleri arasında yanmamış HC'ların bulunmasının nedeni, yakıtın tutuşma sıcaklığına gelmemesi veya ortamda oksijenin yetersiz olmasından dolayı yakıtın okside olamaması veya yarı oksitlenmesidir. Şekil 6.7'de motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının HC emisyonlarının değişimi görülmektedir.

Dizel motorlarda, yakıt jeti etrafında tutuşması zor oldukça fakir karışımlar, enjektör iğnesi etrafında ve püskürtme deliklerinde kalan yakıt (genişleme periyodu esnasında

silindire girerek eksik oksijen sebebiyle yanamazlar) yanmamış HC emisyonlarının temel kaynaklarıdır.



Şekil 6.7. HC emisyonları.

2000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %8,75; %6,25; %3,78; %2,50; %18,75; %16,25; %15; %15 oranlarında HC azalması tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça HC emisyonlarında azalma, NHB oranı arttıkça ise HC emisyonlarında artma meydana getirdiğini göstermektedir.

2200 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %10,14; %10,14; %7,25; %5,79; %20,28; %17,39; %15,94; %15,94 oranlarında HC azalması tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça HC emisyonlarında azalma, NHB oranı arttıkça ise HC emisyonlarında artma meydana getirdiğini göstermektedir.

2400 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %15; %10; %10; %6,66; %31,66; %28,33; %25; %21,66 oranlarında HC azalması tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça HC emisyonlarında azalma, NHB oranı arttıkça ise HC emisyonlarında artma meydana getirdiğini göstermektedir.

2600 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %11,54; %7,69; %5,76; %7,69; %26,92; %23,07; %21,15; %23,07 oranlarında HC azalması tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça HC emisyonlarında azalma, NHB oranı arttıkça ise HC emisyonlarında artma meydana getirdiğini göstermektedir.

2800 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %19,51; %12,19; %12,19; %9,76; %29,27; %24,39; %17,07; %9,75 oranlarında HC azalması tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça HC emisyonlarında azalma, NHB oranı arttıkça ise HC emisyonlarında artma meydana getirdiğini göstermektedir.

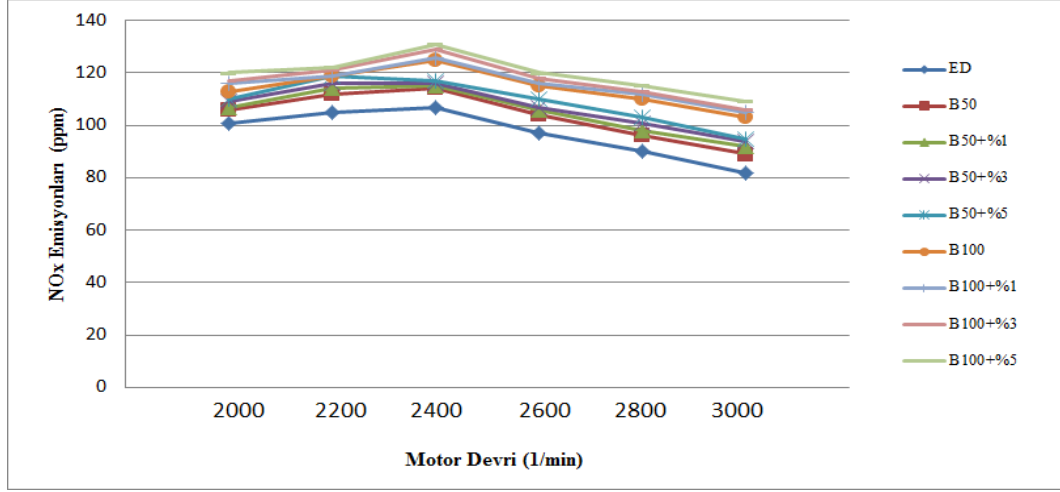
3000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %18,18; %12,12; %9,1; %6,06; %36,37; %27,28; %18,19; %12,12 oranlarında HC azalması tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı arttıkça HC emisyonlarında azalma, NHB oranı arttıkça ise HC emisyonlarında artma meydana getirdiğini göstermektedir.

6.5.3. NO_x Emisyonu

Dizel motorlarında NO ve NO₂ emisyonu oluşumunun ana sebebi yanma sonu sıcaklıklarının artmasıdır. Yanma süresince meydana gelen yüksek sıcaklıklarda (1600 °C üstünde) havanın içindeki azotun O₂ ile reaksiyona girmesi sonucunda azot oksitler oluşmaktadır. Azot oksit oluşumunu etkileyen diğer önemli bir parametre de hava fazlalık katsayısıdır. HFK (λ) =1,1 civarında (yani azot ile birleşecek O₂'nin bulunması durumu) azot oksit oluşumu en fazla olmaktadır.

Tüm devirler göz önüne alındığında en düşük NO_x emisyon değerleri, ED yakıtı ile elde edilirken en yüksek değerler biyodizel yakıtlarla elde edilmiştir. Biyodizel, içeriğinde barındırdığı yüksek oksijen sayesinde daha iyi bir yanma eğilimi gösterdiğinden silindir içi sıcaklığının ve egzoz gazları sıcaklığının yükselmesiyle NO_x emisyonu bakımından da ED'ye göre daha yüksek emisyonların oluşmasına

neden olmuştur. Şekil 6.8’de motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının NOx emisyonlarının değişimi görülmektedir.



Şekil 6.8. NOx emisyonları.

2000 1/min’de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED’ye oranla sırasıyla %4,95; %5,94; %7,92; %8,91; %11,88; %14,85; %15,84; %18,81 oranlarında NOx artışı tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de NOx emisyonlarında artma meydana getirdiğini göstermektedir.

2200 1/min’de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED’ye oranla sırasıyla %6,66; %8,57; %10,47; %13,33; %13,33; %13,33; %15,23; %16,19 oranlarında NOx artışı tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de NOx emisyonlarında artma meydana getirdiğini göstermektedir.

2400 1/min’de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED’ye oranla sırasıyla %6,54; %7,47; %8,41; %15,84; %16,82; %17,76; %20,56; %22,43 oranlarında NOx artışı tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de NOx emisyonlarında artma meydana getirdiğini göstermektedir.

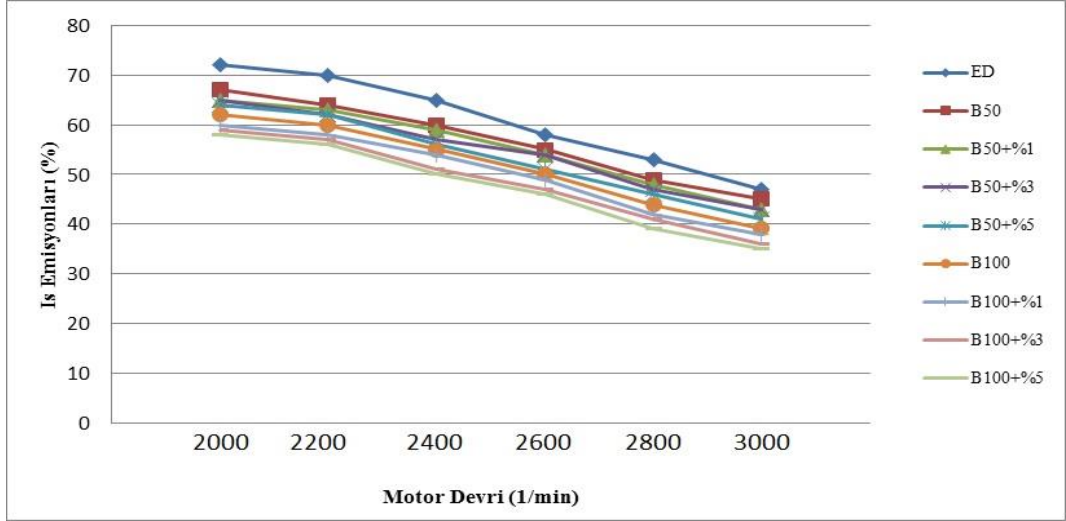
2600 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %7,21; %9,28; %10,31; %13,40; %18,56; %19,59; %21,65; %23,71 oranlarında NO_x artışı tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de NO_x emisyonlarında artma meydana getirdiğini göstermektedir.

2800 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %6,67; %8,89; %12,22; %14,44; %22,22; %24,44; %25,56; %27,78 oranlarında NO_x artışı tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de NO_x emisyonlarında artma meydana getirdiğini göstermektedir.

3000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %8,54; %12,20; %14,63; %15,85; %25,61; %28,05; %29,27; %32,93 oranlarında NO_x artışı tespit edilmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHD oranı arttıkça ikisinin de NO_x emisyonlarında artma meydana getirdiğini göstermektedir.

6.5.4. İS Emisyonu

Aşırı fakir veya aşırı zengin bölgelerden kaynaklanan is emisyonlarının miktarı tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarına, bu süreçte hava ile gerçekleşen karışım karakterine ve silindir içi koşullara bağlı olarak değişmektedir. Bununla beraber, tutuşma gecikmesi süresinin uzamasıyla da oluşan is emisyonları giderek artar. Diğer bir neden olarak da karışımın heterojen olmasından kaynaklanan yanmayan aşırı zengin bölgeler is emisyonunun artmasına yol açar. Şekil 6.9'da motor devrine bağlı olarak test yakıtlarının is emisyonlarının değişimi görülmektedir.



Şekil 6.9. İS emisyonları.

2000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %6,94; %9,72; %9,72; %11,10; %13,88; %16,6; %18,05; %19,44 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de is emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermektedir.

2200 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %8,57; %10; %11,43; %11,43; %14,29; %17,14; %18,57; %20 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de is emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermektedir.

2400 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %7,69; %9,23; %12,31; %13,85; %15,38; %16,92; %21,54; %23,08 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de is emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermektedir.

2600 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %5,17; %6,89; %6,89; %12,07; %13,79; %15,52; %18,97; %20,69 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. Bu

yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de is emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermektedir.

2800 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %7,55; %9,43; %11,32; %13,21; %16,98; %20,78; %22,64; %26,42 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de is emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermektedir.

3000 1/min'de B50, B50+%1, B50+%3, B50+%5, B100, B100+%1, B100+%3, B100+%5 yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %4,26; %8,51; %8,51; %12,77; %17,02; %19,15; %23,4; %25,53 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. Bu yakıttaki biyodizel oranı ve NHB oranı arttıkça ikisinin de is emisyonlarında azalma meydana getirdiğini göstermektedir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Küresel iklim değişikliği, mevcut petrol kaynaklarının giderek azalması, petrol fiyatlarındaki hızlı artış ve sürekli artan dünya nüfusuna paralel olarak artan enerji ihtiyacı ülkeleri alternatif enerji kaynakları üzerinde araştırmalara sevk etmiştir. Son yıllarda bitkisel ve hayvansal kaynaklı yağlardan elde edilen, çevreye zarar vermeyen ve yenilebilir kaynaklardan üretilen biyodizel, petrol kökenli dizel yakıtlara en önemli alternatif enerji kaynağı olmuştur.

Bu çalışmada testler için biyodizel satın alınmış ve birinci numune yakıtlar; B100 (saf biyodizel), B50 (%50 biyodizel ve %50 euro dizel) hazırlanmıştır. Daha sonra motor performansına, viskozite ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmak için, birinci numune yakıtlara %1, %3, %5 oranlarında katkı maddesi olan nano hydro borazine eklenerek ikinci numune yakıtlar elde edilmiştir. İkinci numune yakıtların kinematik viskozitelerinin, birinci numune yakıtların kinematik viskozitelerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Birinci numune yakıtlar ile yapılan testler sonucunda, kullanılan yakıttaki biyodizel miktarı arttıkça euro dizel yakıtı göre motor momentinde azalma, özgül yakıt tüketiminde artış, buna ek olarak, CO, HC ve is emisyonlarında azalma ve NO_x emisyonunda artış tespit edilmiştir.

İkinci numune yakıtlar ile yapılan testler sonucunda, kullanılan yakıttaki katkı maddesi miktarı arttıkça, birinci numune yakıtlara göre motor momentinde artma, özgül yakıt tüketiminde ise azalma, buna ek olarak, CO, is emisyonlarında azalma ve NO_x, HC emisyonlarında artış tespit edilmiştir.

Motor momenti, güç, özgül yakıt tüketimi bakımından en uygun yakıtın B50+%5 yakıtı olduğu belirlenmiştir. Deney sonuçları emisyonlar açısından değerlendirildiğinde; CO, HC ve is emisyonları bakımından B100+%5 yakıtının, NO_x emisyonları bakımından euro dizel yakıtının uygun olduğu tespit edilmiştir.

- Biyodizelin dizel yakıtına alternatif bir yakıt olabilmesi Ar-Ge çalışmaları özellikle viskozite üzerine yoğunlaşmalıdır.
- Biyodizelin kullanılabilirliğinin petrol kökenli yakıtlar kadar yaygın olması için biyodizel yakıtına uygun motorlar için Ar-Ge çalışmaları yapılmalıdır.
- Şimdilik kullanımı bütün motorlar için uygun olmasa da atık yağların çevreye verdiği zararı engellemek ve milli ekonomiye geri kazandırmak için biyodizel üretimi yapılmalı ve büyük ticari araçlarda kullanımı %'lik belirli miktarlarda zorunlu hale getirilmelidir. Bunun için de ülkemizde biyodizelin üretimi ve kullanımı önündeki en önemli sorun olan “ÖTV” sorunu aşılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Kaymak, M. E., “20. Yüzyılda alternatif enerji kaynaklarının gelişimi ve buna paralel olarak otomobil tasarımına etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 58-59 (2009).
2. Altınsoy, A. S., “Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye’deki kaynakların incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-57 (2007).
3. İnternet: Albiyobir, “Biyoyakıtlar”, <http://www.albiyobir.org.tr/biyoyakitlar.htm> (2013).
4. Gerpen., J. V., Peterson, C. L. and Goering, C. E., “Biodiesel: an alternative fuel for compression ignition engines”, *Agricultural Equipment Technology Conference*, Louisville, Kentucky, USA, 1-3 (2007).
5. Altın, R., Çetinkaya, S. Ve Yücesu, H., “The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines”, *Energy Conversion and Management*, 42 (2001): 529-538 (2001).
6. Usta, N., Can, O. ve Ozturk, E., “Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması”, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (3): 325-334 (2005).
7. Altun, S. ve Gur, M. A., “Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması”, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (3): 35-42 (2005).
8. Haşımoğlu, C., “Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 105-111 (2005).
9. Çanakcı, M., Türkcan, A. Ve Özsezen A. N., “Ham ayçiçek yağı kullanılan bir dizel motorun performans ve emisyonları”, *Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu*, Samsun, 275-283 (2007).
10. Haşımoğlu, C., İcingur, Y, ve Ozsert, İ., “Turbo şarjlı bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanılmasının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara, 3 (1): 207-213 (2007).
11. şeker, S., “Biyodizel üretimi ve katkı maddelerinin yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 29-71 (2007).

12. Yavuz, H., Aksoy, F., Bayrakçeken, H. ve Baydır, S. A., “Değişik bitkisel yağ metil esterlerinin üretilmesi, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması”, *Makine Teknolojileri Dergisi*, 2 (1): 23-30 (2008).
13. Yaşar, B., “Türkiye’de biyodizel üretim maliyeti ve yaşanan sorunlar”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES’2008)*, 197-204 (2008).
14. Sugözü, İ., Aksoy F. ve Baydır, S. A., “Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (2): 49-56 (2009).
15. Reşitoğlu, İ. A., “Atık yağlardan üretilmiş biyodizelin dizel motor performans ve emisyonuna etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 72-75 (2010).
16. Mesut, E., “Atık ayçiçeği yağından biyodizel üretimi ve ön ısıtma uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-80 (2011).
17. Yıldız, M., “Atık yağlardan biyodizel üretimi ve karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, 2-9 (2008).
18. İnternet: Albiyobir, “Dünyada Biyodizelin Süratle Yükselmesinin Sebepleri”, http://www.albiyobir.org.tr/dunyada_b.htm (2013).
19. İnternet: AB’de biyodizel, “AB Komisyonu Şubat 2006” <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/sfr-emisyon-biyodizel/8067#ad-image-0> (2013).
20. Yurdaarmağan, N., “Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarı etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7-9 (2009).
21. Tarauş, S., “Ayçiçeği yağı ve hayvansal yağ karışımlarından biyodizel üretimi” Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 21-32 (2008).
22. İnternet: Türkiye’de biyodizel, “EPDK”, <http://www.albiyobir.org.tr/biyoyakitlar01.htm> (2013).
23. Acaroğlu, M., “AB sürecinde Türkiye’de biyodizel üretimi “sorunlar-öneriler””, *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi*, Ankara, 381-391 (2009).
24. Özdemir, M., “Bir dizel motorda biyodizel ve etanol kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 37-39 (2011).

25. Tillem, İ., “Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 7-9 (2005).
26. Simsek, D., “Soya yağı metil esterinin değişik püskürtme basınçlarında dizel motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 43-55 (2010).
27. Şen, S., “Hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 89-94 (2012).
28. Akçay, H. T., “Bazı bitkisel yağlardan biyodizel üretimi” *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 4-6 (2006).
29. Yücel, Y., “Bazı enzimleri kullanarak biyodizel üretimi ve biyodizel özelliklerinin analitik metotlarla araştırılması” Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 82-84 (2008).
30. Şimşek, M., “İçten yanmalı motorlarda borlama ile mukavemet özelliklerinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 17-19 (2005).
31. Şahin, İ., “Voltammetrik yöntemlerle bor tayini ve uygulamaları” Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 44-46 (2007).
32. Kıpçak, A. S., “Bazı bor bileşiklerinin nötron zırhlamasında kullanılabilirliğinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 57-60 (2009).
33. İnternet: Bor Power, “NHB'nin tercih edilme sebepleri”, <http://www.nnt.com.tr/nanofuel.php> (2013).

EK AÇIKLAMALAR A.
DENEY SONUÇLARINA AİT ÇİZELGELER

Çizelge EK A.1. Yakıt türü ve motor devrine göre baskı kuvveti değerleri.

(kg)	2000	2200	2400	2600	2800	3000
ED	2,6	2,85	3,38	3,14	2,98	2,82
B50	2,46	2,73	3,23	2,9	2,78	2,63
B50+%1	2,52	2,78	3,28	3,05	2,84	2,82
B50+%3	2,58	2,86	3,42	3,21	3,03	2,85
B50+%5	2,72	2,98	3,72	3,45	3,25	3,08
B100	2,38	2,62	2,95	2,76	2,72	2,56
B100+%1	2,46	2,7	3,1	2,89	2,83	2,65
B100+%3	2,48	2,8	3,25	3	2,95	2,8
B100+%5	2,68	2,82	3,46	3,21	3,02	2,86

Çizelge EK A.2. Yakıt türü ve motor devrine göre moment değerleri.

(Nm)	2000	2200	2400	2600	2800	3000
ED	6,637	6,989	8,289	7,700	7,308	6,916
B50	6,033	6,695	7,921	7,112	6,817	6,450
B50+%1	6,180	6,817	8,044	7,480	6,965	6,327
B50+%3	6,327	7,014	8,387	7,872	7,431	6,989
B50+%5	6,670	7,308	9,123	8,461	7,970	7,553
B100	5,836	6,425	7,234	6,768	6,670	6,278
B100+%1	6,033	6,621	7,602	7,087	6,940	6,499
B100+%3	6,082	6,867	7,970	7,357	7,234	6,867
B100+%5	6,572	6,916	8,485	7,872	7,406	7,014

Çizelge EK A.3. Yakıt türü ve motor devrine göre efektif güç değerleri.

(kW)	2000	2200	2400	2600	2800	3000
ED	1,336	1,610	2,083	2,096	2,143	2,173
B50	1,263	1,543	1,990	1,937	1,990	2,020
B50+%1	1,294	1,571	2,020	2,036	2,042	2,172
B50+%3	1,325	1,616	2,108	2,143	2,179	2,195
B50+%5	1,397	1,684	2,293	2,310	2,330	2,370
B100	1,223	1,480	1,810	1,843	1,956	1,972
B100+%1	1,264	1,526	1,910	1,929	2,035	2,042
B100+%3	1,274	1,582	2,010	2,030	2,120	2,157
B100+%5	1,377	1,593	2,130	2,143	2,172	2,200

Çizelge EK A.4. Yakıt türü ve motor devrine göre ÖYT değerleri.

(g/kWh)	2000	2200	2400	2600	2800	3000
ED	555,38	480,75	358,14	352,09	348,11	345,14
B50	594,61	496,43	370,85	383,06	370,85	371,78
B50+%1	578,82	479,94	367,32	366,4	363,37	347,15
B50+%3	566,03	466,58	350,09	355,58	344,19	342,59
B50+%5	534	446,56	328,39	327,7	319,74	317,29
B100	611,61	502,7	408,29	410,74	384,96	380,83
B100+%1	592,56	489,51	390,05	390,35	371,49	374,14
B100+%3	587,13	470,92	370,15	370,44	376,24	350,02
B100+%5	546,84	468,92	353,05	349,51	343,92	339,54

Çizelge EK A.5. Yakıt türü ve motor devrine göre HC emisyon değerleri.

(ppm)	2000	2200	2400	2600	2800	3000
ED	80	69	60	52	41	33
B50	73	62	51	46	33	27
B50+%1	75	62	54	48	36	29
B50+%3	77	64	54	49	36	30
B50+%5	78	65	56	48	37	31
B100	65	55	41	38	29	21
B100+%1	67	57	43	40	31	24
B100+%3	68	58	45	41	34	27
B100+%5	68	58	47	40	37	29

Çizelge EK A.6. Yakıt türü ve motor devrine göre CO emisyon değerleri.

(%)	2000	2200	2400	2600	2800	3000
ED	1,12	0,93	0,78	0,67	0,54	0,38
B50	1,07	0,9	0,74	0,63	0,51	0,39
B50+%1	1,08	0,91	0,73	0,61	0,49	0,39
B50+%3	1,06	0,89	0,71	0,62	0,52	0,37
B50+%5	1,05	0,92	0,73	0,63	0,51	0,37
B100	1	0,82	0,65	0,54	0,4	0,3
B100+%1	0,99	0,83	0,65	0,52	0,39	0,3
B100+%3	0,99	0,82	0,64	0,53	0,41	0,29
B100+%5	0,98	0,82	0,64	0,52	0,40	0,31

Çizelge EK A.7. Yakıt türü ve motor devrine göre NO_x emisyon değerleri.

(ppm)	2000	2200	2400	2600	2800	3000
ED	101	105	107	97	90	82
B50	106	112	114	104	96	89
B50+%1	107	114	115	106	98	92
B50+%3	109	116	116	107	101	94
B50+%5	110	119	117	110	103	95
B100	113	119	125	115	110	103
B100+%1	116	119	126	116	112	105
B100+%3	117	121	129	118	113	106
B100+%5	120	122	131	120	115	109

Çizelge EK A.8. Yakıt türü ve motor devrine göre is emisyon değerleri.

(%)	2000	2200	2400	2600	2800	3000
ED	72	70	65	58	53	47
B50	67	64	60	55	49	45
B50+%1	65	63	59	54	48	43
B50+%3	65	62	57	54	47	43
B50+%5	64	62	56	51	46	41
B100	62	60	55	50	44	39
B100+%1	60	58	54	49	42	38
B100+%3	59	57	51	47	41	36
B100+%5	58	56	50	46	39	35

ÖZGEÇMİŞ

Ömer Faruk SEL 1987’de Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara’da tamamladı. Ankara Etlik Lisesinden 2004 yılında mezun oldu. 2006 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Programına yerleşti. 2010 yılında mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında lisansüstü öğrenimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Gn. Dr. Tevfik Sağlam Caddesi
88/10
Etlik - ANKARA

E-posta : omerfaruksel@hotmail.com