T.C
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYODİZEL-DİZEL KARIŞIMI KULLANILAN BİR DİZEL MOTORDA PÜSKÜRTME BASINCININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

MURAT KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Cenk SAYIN

İSTANBUL 2010

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYODİZEL-DİZEL KARIŞIMI KULLANILAN BİR DİZEL MOTORDA PÜSKÜRTME BASINCININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

MURAT KAYA
(141522420089012)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Cenk SAYIN

İSTANBUL 2010

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL VE ONAY BELGESİ

Murat KAYA'nın Biyodizel-dizel karışımı kullanılan bir dizel motorda püskürtme basıncının performans ve emisyonlarına etkisi isimli Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 01-10-2009 tarih ve 357 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Makina Eğitimi Anabilim Dalı Makina Eğitimi Programında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : (Doç. Dr. Cenk SAYIN) (Marmara Üniversitesi) .....
Üye : (Doç. Dr. Metin GÜMÜŞ) (Marmara Üniversitesi).....
Üye : (Doç. Dr. Mehmet UÇAR) (Kocaeli Üniversitesi) .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 03-05-2010

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun ..... tarih ve ..... sayılı kararı ile Murat KAYA'nın Makina Eğitimi Anabilim Dalı Makina Eğitimi Programında Yüksek Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yeryüzünde var olan enerji kaynaklarının ve rezervlerinin sınırlı olması, atmosferi etkileyen çevresel problemlerine neden olmaları ve ülkelere eşit payda dağılamamaları nedeniyle sürdürülebilir bir enerji sistemi ve sürdürülebilir bir gelecek sunmada sıkıntılar yaşanmaktadır. Ardı ardına yaşanan petrol krizleri insanlığı enerji gereksiniminin karşılanmasında fosil yakıtlara alternatif olabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Fosil yakıtların çevreye verdiği geri dönüşümsüz zararlar ve artan çevre koruma bilinci ile yenilenebilir enerji kaynakları arayışları artmış ve kullanım paylarının arttırılmasına yönelik çalışmalar hızlanmıştır. Biyodizel, çevre dostu olması ve yerli üretimi söz konusu olabilmesi nedeni ile bu çalışmalar arasında en önemlilerindendir.

Yüksek lisans tez çalışmamın oluşumunda büyük pay sahibi olan bilgi ve deneysel çalışmalarımda yol göstererek yardımcı olan Sn. Doç. Dr. Metin GÜMÜŞ'e teşekkürü bir borç bilirim. Atölye ve laboratuar çalışmalarımda imkânlarından faydalanmamı sağlayan Marmara Üniversitesi T.E.F. Makine Eğitimi Bölüm Başkanlığına ve personeline, çalışmalarım sırasında fikir ve görüşleriyle bana katkıda bulunan değerli meslektaşım Sn. Turan KULAKOĞLU'na, çalışmalarım süresince yardım becerilerinden yararlandığım, beni her konuda yönlendiren ve eleştirileriyle çalışmamın bilimsel temeller ışığında oluşmasını sağlayan danışman hocam Sn. Doç. Dr. Cenk SAYIN'a ve desteğini esirgemeyen, yeğenim Tuba DOĞAN ve literatür araştırmasında yardımcı olan kuzenim Fatma DOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET ..... **I**

ABSTRACT ..... **II**

SEMBOLLER ..... **III**

KISALTMALAR ..... **IV**

ŞEKİLLER ..... **V**

TABLOLAR ..... **VII**

BÖLÜM I. GİRİŞ

I.1.GİRİŞ **1**

I.2.AMAÇ **2**

BÖLÜM II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **4**

II.1. ALTERNATİF YAKITLAR **4**

II.1.1. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (SPG) **4**

II.1.2. Doğalgaz **5**

II.1.3. Hidrojen **6**

II.1.4. Metanol **8**

II.1.4.1. Metanolün Dizel Motorlarda Kullanılması **9**

II.1.4.3. Metanolün Yanma Performansı ve Egzoz Emisyonları **9**

II.1.5. Etanol **10**

II.1.5.2. Etanolün Dizel Motorlarda Kullanılması **11**

II.1.5.3. Etanolün Yanma Performansı ve Egzoz Emisyonları **11**

II.1.6. Biyodizel **11**

II.1.6.1.Dünya ve Türkiye İçin Biyodizel Üretimi **13**

II.1.6.2. Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanım Yöntemleri **13**

II.1.6.3. Biyodizel Yakıtının Fiziksel ve Kimyasal Özelliği **16**

II.1.6.4. Biyodizel Yakıt Karışımlarının Oluşturulması **17**
II.1.6.5. Biyodizel Yakıtının Yanma Performansı **17**
II.1.6.6. Biyodizel Yakıtının Egzoz Emisyonları **17**
II.1.6.7. Biyodizel Kalite Parametreleri **18**
II.1.6.8. Biyodizel Bozunabilirlik ve Toksit Etkisi **18**
II.1.6.9. Biyodizel Yakıtının Avantajları **19**
II.1.6.10. Biyodizel Yakıtının Dezavantajları **20**
II.1.6.11. Setan Sayısı ve Kendi Kendine Tutuşma Özelliği **20**
II.2. DİZEL MOTORLARINDA YANMA PERİYOTLARI 21
II.2.1. Tutuşma Gecikmesi **22**
II.2.2. Kontrolsüz Yanma **22**
II.2.3. Kontrollü Yanma **23**
II.2.4. Art Yanma **23**
II.3.MOTOR ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ……24
II.4.BİYODİZEL KULLANIMI VE PÜSKÜRTME BASINCININ PERFORMANS VE EMİSYON ETKİLERİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR ……26
BÖLÜM III.
MATERYAL METOD 33
III.1. DENEYLERDE KULLANILAN YAKITLAR 33
III.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER 35
III.2.1. Deney Motoru ve Teknik Özellikleri **35**
III.2.2. Motor Deney Seti ve Dinamometresi **36**
III.2.3. Dinamometre Kontrol Ünitesi **38**
III.2.4. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği **38**
III.2.5. Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı **39**
III.2.6. Egzoz Gaz Analiz Cihazı **40**

III.3.DENEYSEL ARAŞTIRMALARDA KULLANILAN ÖLÇÜM SİSTEMLERİ.42
III.4.DENEYSEL BELİRSİZLİKLERİN HESAPLANMASI 42
III.4.1. Sıcaklık Ölçümündeki Belirsizlikler **43**
III.4.2. Hava Yoğunluğunun Belirsizliği **43**
III.4.3. Motor Yük ve Devir Belirsizliği **43**
III.4.4. Yakıt Tüketimi Ölçümünün Belirsizliği **44**
III.4.5. Yakıt Yoğunluğunun Belirsizliği **44**
III.5. DENEYLERİN YAPILIŞI..... 44
III.6. DENEYLERE İLİŞKİN HESAPLAMALAR..... 46
III.6.1. Motor Momenti ve Gücü **46**
III.6.2. Özgül Yakıt Tüketimi **47**
III.6.3. Efektif Verim **48**
BÖLÜM IV. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .. 49
IV.1. Özgül Yakıt Tüketimlerinin Karşılaştırılması **49**
IV.2. Efektif Verimlerin Karşılaştırılması **53**
IV.3. Azotoksit (NO_x) Emisyonlarının Karşılaştırılması **57**
IV.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonlarının Karşılaştırılması **63**
IV.5. Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının Karşılaştırılması..... **67**
IV.6.İs Emisyonlarının Karşılaştırılması **71**
IV.7. Karbondioksit (CO_2) Emisyonlarının Karşılaştırılması..... **74**
BÖLÜM V. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 78
KAYNAKLAR..... 80
EKLER..... 88
ÖZGEÇMİŞ..... 92

ÖZET

BİYODİZEL-DİZEL KARIŞIMI BİR DİZEL MOTORDA PÜSKÜRTME BASINCININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Motorlu taşıtlarda kullanılan petrol ve petrol türevli yakıtların sınırlı olması, yeni ve yenilenebilir alternatif yakıt arayışları, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını azaltma düşüncesi bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Yapılan bu çalışmada; biyodizel-dizel yakıt karışımları kullanılan tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme basıncının motor performansına, gücüne ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneylerde kullanılan test motorunun sabit püskürtme basınç değeri 200 bar'dır. Deneyler, enjektör yayının altına konulan basınç ayar pulları ile yay sertlik değerinin azaltılıp artırılmasıyla elde edilen dört farklı püskürtme basıncı (180, 200, 220 ve 240 bar), sabit motor devri (2200 d/d) ve dört farklı motor yükünde (5, 10, 15 ve 20 Nm) gerçekleştirilmiştir. Deneylerde %0, 5, 20, 50 ve 100 oranında kanola yağı metil esterinden üretilmiş biyodizel-dizel yakıt karışımları kullanılmıştır.

Deney sonuçlarına göre; her bir püskürtme basıncı değeri için karışım içerisindeki biyodizel miktarının artması ile özgül yakıt tüketimi, karbon dioksit ve azot oksit emisyonlarında artma efektif verim, karbon monoksit, hidrokarbon ve is emisyonlarında ise azalma tespit edilmiştir. Püskürtme basıncının motorun standart değerinin üzerine çıkarılması ya da azaltılması durumunda özgül yakıt tüketiminde artma, efektif verim de ise azalma olmaktadır. Püskürtme basıncının artırılması ile azot oksit emisyonlarında artma karbon dioksit, karbon monoksit, hidrokarbon ve is emisyonlarında azalma olmuştur.

Haziran 2010 **Murat KAYA**

ABSTRACT

EFFECT OF INJECTION PRESSURE ON THE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A DIESEL ENGINE FUELED WİTH BIODIESEL-DIESEL BLENDS

This study is based on the assumption that there is a shortage of petroleum fuels used in internal combustion engines. Besides researches for new and renewable alternative fuels and attempts to reduce fuel consumption and exhaust emission constitute a basis for this study. In this study; the influence of the injection pressure on the engine performance and exhaust emissions of a single cylinder, four-stroke and direct injection diesel engine using biodiesel-diesel fuel mixture has been investigated experimentally.

Standard injection pressure of the test engine is 200 bar. In this study, four different injection pressures (180, 200, 220 and 240 bar) was applied, taken by reducing and increasing the spring tension using a pressure adjusting washer located under the pressure spring at a constant engine speed (2200 rpm), and four different engine loads (5, 10, 15 and 20 Nm). In the experiments 0%, 5%, 20%, 50% and 100% biodiesel-diesel fuel mixture made from canola oil methyl ester is used.

According to the test results; it has been found that there is an increase in the specific fuel consumption, the emissions of carbon dioxide and nitrogen oxides and, a decrease in the thermal efficiency, smoke opacity, the emissions of carbon monoxide and hydrocarbon, when the biodiesel amount is increased in the mixture for each injection pressure. When the injection pressure is increased or decreased relative to the standard injection value, there is an increase in the specific fuel consumption while the thermal efficiency decreases. With the increased injection pressure, while the brake specific fuel consumption and nitrogen oxides emissions have increased, thermal efficiency, smoke opacity, the emissions of carbon dioxide, carbon monoxide and hydrocarbon have reduced.

June 2010 **Murat KAYA**

SEMBOLLER

Bsfc	**:**Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
C	**:**Karbon
C_2H_5OH	**:**Etanol
CH_3OH	**:**Metanol
CH_4	**:**Metan gazı
C_3H_8	**:**Propan
C_4H_{10}	**:**Bütan
CO	**:**Karbonmonoksit
CO_2	**:**Karbondioksit
d	**:**Yoğunluk (kg/m^3)
F	**:**Kuvvet (N)
H	**:**Hidrojen
H_2O	**:**Su buharı
HC	**:**Hidrokarbon
m	**:**Kütle (kg)
Md	**:**Motor torku (Nm)
M_y	**:**Yakıt tüketimi (kg)
n	**:**Devir sayısı (d/d)
NO	**:**Azotoksit
NO_x	**:**Azotoksitler
N_e	**:** Efektif güç (kW)
Q	**:** Hacimsel debi (m^3/s)
T	**:** Sıcaklık (^oC)
t	**:** Zaman (s)
V_y	**:**Yakıt hacmi (m^3)

KISALTMALAR

ASME : Amerikan Makine Mühendisler Birliği
ASTM : Amerikan Test ve Materyal Standartları
AON : Araştırma Oktan Sayısı
B0 : Eurodizel
B5 : %5 Biyodizel+ %95 Dizel
B20 : %20 Biyodizel + %90 Dizel
B50 : %50 Biyodizel+ %85 Dizel
B100 : %100 Biyodizel
DI : Direkt Enjeksiyon
HFK : Hava Fazlalık Katsayısı
H/Y : Hava Yakıt Oranı
KMA : Krank Mili Açısı (derece)
MON : Motor Oktan Sayısı
ppm : Milyondaki Parçaçık Sayısı
SPG : Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
STD : Standart
Ü.Ö.N : Üst Ölü Nokta
TG : Tutuşma Gecikmesi

ŞEKİLLER

SAYFA

Şekil II.1 Dünya ve Türkiye İçin Biyodizel Üretim Miktarı 13
Şekil II.2 Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi 14
Şekil II.3 Trigliseritin Metanol ile Transesterifikasyon Reaksiyonu 15
Şekil II.4 Bir Dizel Motoruna Ait Basınç-Krank Açısı Diyagramı 21
Şekil II.5 Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Yakıt Tanecik Çapının Değişimi 25
Şekil II.6 Enjektör Delik Çapının Ortalama Damlacık Çapına Etkisi 26
Şekil III.1 Deneylerde Kullanılan Yakıtlar 35
Şekil III.2 Deney Setinin Şematik Görünümü 37
Şekil III.3 Deney Setinin Resmi 37
Şekil III.4 Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği 38
Şekil III.5 Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı 39
Şekil III.6 Sun MEA 1500 SL Marka Gaz Analiz Cihazı 40
Şekil III.7 Kane-May Quintox Marka Gaz Analiz Cihazı 41
Şekil III.8 İs Emisyonu İçin Kullanılan BOSCH Marka Gaz Analiz Cihazı 41
Şekil III.9 Deney Motoruna Ait Enjektör Kesiti 45
Şekil III.10 Basınç Ayar Pulları 46
Şekil IV.1 180 ve 200 Bar Basınçtaki Özgül Yakıt Tüketimlerinin Motor Yüküyle Değişimi……..50
Şekil IV.2 220 ve 240 Bar Basınçtaki Özgül Yakıt Tüketimlerinin Motor Yüküyle Değişimi……..51
Şekil IV.3 20 Nm Motor Yükünde Özgül Yakıt Tüketimlerinin Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi 52
Şekil IV.4 180 ve 200 Bar Basınçtaki Efektif Verimlerin Motor Yüküyle Değişimi……..54
Şekil IV.5 220 ve 240 Bar Basınçtaki Efektif Verimlerin Motor Yüküyle Değişimi…….55
Şekil IV.6 20 Nm Motor Yükünde Efektif Verimlerin Püskürtme Basıncına Bağlı

Olarak Değişimi 56
Şekil IV.7 180 ve 200 Bar Basınçtaki NO_x Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi……..... 58
Şekil IV.8 220 ve 240 Bar Basınçtaki NO_x Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi……..... 59
Şekil IV.9 20 Nm Motor Yükünde NO_x Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi 60
Şekil **IV.10** 180 ve 200 Bar Basınçtaki Egzoz Gaz Sıcaklıklarının Motor Yüküyle Değişimi……..61
Şekil **IV.11** 220 ve 240 Bar Basınçtaki Egzoz Gaz Sıcaklıklarının Motor Yüküyle Değişimi…….62
Şekil IV.12 180 ve 200 Bar Basınçtaki CO Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi 64
Şekil IV.13 220 ve 240 Bar Basınçtaki CO Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi……..... 65
Şekil IV.14 20 Nm Motor Yükünde CO Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi..... 66
Şekil IV.15 180 ve 200 Bar Basınçtaki HC Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi……..... 68
Şekil IV.16 220 ve 240 Bar Basınçtaki HC Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi……..... 69
Şekil IV.17 20 Nm Motor Yükünde HC Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi 69
Şekil IV.18 180 ve 200 Bar Basınçtaki İs Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi71
Şekil IV.19 220 ve 240 Bar Basınçtaki İs Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi72
Şekil IV.20 20 Nm Motor Yükünde İs Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak değişimi 73
Şekil IV.21 180 ve 200 Bar Basınçtaki CO_2 Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi 75
Şekil IV.22 220 ve 240 Bar Basınçtaki CO_2 Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi 75
Şekil IV.23 20 Nm Motor Yükünde CO_2 Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi..... 77

TABLOLAR

SAYFA NO

Tablo II.1 Propan, Bütan ve Benzinin Özellikleri 5
Tablo II.2 Hidrojenin Genel Özellikleri.....7
Tablo II.4 Metanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri 9
Tablo II.3 Etanolün ve Dizel Yakıtının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....10
Tablo II.5 Biyodizel Yakıt Özellikleri 12
Tablo II.6 Biyodizel ve Petrol Dizel Yakıt Özellikleri 17
Tablo III.1 Deneylerde Kullanılan Yakıtların Özellikleri 34
Tablo III.2 Deney Motorunun Teknik Özellikleri 35
Tablo III.3 Deneyde Kullanılan Cihazların Ölçüm Aralıkları ve Hata Payları 41

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

I.1. GİRİŞ

Endüstri ve günlük hayatımızda vazgeçilmez bir unsuru olan içten yanmalı motorlar kara, deniz ve hava taşımacılığında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlar genel olarak fosil kökenli yakıtlar ile çalışmaktadır. 2004 yılı istatistiklerine göre toplam petrol rezervlerinin yaklaşık $1{,}54 \times 10^{11}$ m^3 olduğu ve bu rezervlerin ortalama 50 yıl sonra tükenebileceği tahmin edilmektedir. Bu durum ise enerji ihtiyacını yurt dışından karşılayan ülkemiz için gelecekte ciddi bir sorun olarak açığa çıkacaktır [1].

Petrolün 1/3'ü 185 kW'dan daha küçük güç kapasiteli taşıt motorlarında tüketilmektedir ve bu motorlar egzoz emisyonlarının temel nedenini oluşturmaktadır. Son araştırma ve gelişmeler ile motorlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarında önemli azalmalar sağlanmıştır. Fakat nüfusun artmasıyla birlikte taşıt sayısının da artması yıllar boyunca bu problemin var olacağı anlamına gelmektedir [2].

Hidrokarbon esaslı yakıtların yanması sonucu açığa çıkan; karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), azot oksit (NO_x) ve partikül emisyonları atmosferi kirleterek ciddi sağlık problemleri oluşturmaktadır. Karbon ihtiva eden yakıtları yakan sabit motorlar, endüstriyel motorlar, evsel ve endüstriyel kazanların gazların hava kirliliği oluşturmasındaki katkıları her ne kadar büyükse de, yapılan istatistikler sonucunda büyük şehirlerde taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin toplam hava kirliliği içindeki payının %50'lere ulaştığı bilinmektedir. Son yıllarda artan çevre bilinci ve mevcut enerji kaynaklarının biteceği kuşkularına paralel olarak alternatif yakıtların araştırılması önem arz etmektedir. Alternatif enerji kaynakları mümkün olduğu kadar yerel olmalıdır. Bunun yanında çevrenin korunması, verimliliğin arttırılması, kaynak çeşitliliği ve süreklilik sağlanması da önem arz etmektedir [3].

I.2.AMAÇ

Son zamanlarda artan çevresel problemler ve enerji kaynaklarının azalması dünyayı bir enerji krizi ile yüz yüze getirmiştir. Bu durum sürdürülebilir ve çevresel açıdan güvenli, alternatif enerji kaynakları arayışına yol açmıştır. Özellikle gelişmiş ülkelerde alkoller, bitkisel yağlar, biyogaz ve sentetik yakıtlar giderek önem kazanmaktadır. Bu yakıt türlerinin bazıları dizel yakıtının yerine direkt olarak kullanılabilirken, bazıları ise revize edilmelidir [4].

Alternatif bir yakıt; teknik olarak uygulanabilir, ekonomik olarak geleneksel dizel yakıtla rekabet edebilir, çevresel açıdan güvenli ve kolay temin edilebilir olmalıdır. Bu kriterlerden yola çıkıldığında trigliseritler (bitkisel ve hayvansal yağlar) ve türevleri, geleneksel dizel yakıta alternatif olabilecek niteliktedir. Bitkisel yağlar çok çeşitli kaynaklardan elde edilmektedir. Dizel yakıtlarda bulunan kükürt bileşikleri atmosfere yayılarak sülfürik asit yağmurlarına yol açarken bitkisel yağların sülfür içerikleri sıfıra yakın olduğundan, çevresel açıdan daha güvenlidirler [5].

Rudolph Diesel ilk olarak 1893'te dizel motorunun ilk tasarımını gerçekleştirmiştir. 1898'te Paris Dünya Fuarı'nda yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanan motoru sergilemiştir. 1911 yılında "Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının ülkelerin tarımının gelişimine ciddi bir katkısı olacağını" ifade etmiş ve 1912'de "Bitkisel yağların motorlarda kullanımı günümüzde önemsiz görünebilir, fakat bitkisel yağlar zamanla petrol ve kömür katranı kadar önem kazanacak" demiştir [6].

Diğer taraftan içten yanmalı motorlarda, performans ve emisyonlara etki eden parametreler üzerine araştırmalar yoğun bir şekilde sürmektedir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda, püskürtme ya da ateşleme zamanı, püskürtme basıncı, hava yakıt oranı, hava fazlalık katsayısı, sıkıştırma oranı, supap zamanlaması ve yanma odası tasarımının yakıt tüketimini ve egzoz emisyonlarını önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir [7].

Enjektörler, yakıtı silindirlere yüksek basınçta atomize halde püskürten yakıt sistemi elemanlarıdır. Püskürtme basıncına bağlı olarak püskürtülen yakıt taneciklerinin çapı değişmektedir. Püskürtme basıncı arttıkça yakıtın enjektörden çıkış hızı da artmakta ve tanecik çapı küçülmektedir. Buna bağlı olarak, çap dağılım aralığı daralmakta ve daha üniform tanecikler oluşmaktadır.

Küçük taneciklerin ataleti daha düşük olduğundan nüfuz mesafeleri daha kısadır. Aynı zamanda, yüksek püskürtme basınçlarında, tutuşma gecikmesi (TG) kısalacağından NO_x oluşumu azalırken, özellikle yüksek girdap oranında is emisyonu ve özgül yakıt tüketimi (bsfc) artmaktadır.

Püskürtme basıncının azalması ile yakıt tanecik çapı büyümekte ve yakıtın buharlaşma süresi uzamaktadır. Tanecik çapının büyümesi ise TG periyodunun uzamasına ve yanmanın kötüleşmesine yol açmaktadır. Bu durum tutuşmadan sonraki kontrolsüz yanma periyodu sırasındaki birim krank açısı başına düşen basınç artış miktarını yükselteceğinden NO_x emisyonunun artışına sebep olmaktadır [8].

Yukarıda açıklandığı gibi, püskürtme basıncı yakıt tüketimini ve egzoz emisyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Yapılan bu tez çalışmasında; farklı püskürtme basınçlarında biyodizel-dizel yakıt karışımlarının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

II. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

II.1. ALTERNATİF YAKITLAR

Enerji kaynaklarının tükenmesi, yol açtıkları çevresel sorunlar ve enerji fiyatlarındaki artış, ülkelerin alternatif enerji kaynaklarına yönelmesine sebep olmaktadır. Petrol türevli yakıtların yanması sonucu açığa çıkan CO, HC ve NO_x emisyonlarının ortalama olarak yarısı, benzin ve dizel motorlarından kaynaklanmaktadır. Günümüzde dizel yakıtıyla çalışan taşıtlara olan ilgide yakıtın ekonomik olmasından kaynaklanmaktadır. Bu kıstaslardan yola çıkıldığında trigliseritler (bitkisel ve hayvansal yağlar) ve ayrışmış ürünler, geleneksel dizel yakıtına alternatif olabilecek niteliktedir. Bitkisel yağlar çok çeşitli kaynaklardan elde edilmektedir. Bu da ülkelerin alternatif yakıt ürünlerini elde edebilecek tarım alanlarını artırmasını gerektirmektedir.

Motorlu araçlarda birinci dünya savaşı sırasında kullanılan alkollerin, ikinci dünya savaşından sonra kullanımı kaldırılmıştır. Petrol krizlerinin yaşanması alternatif yakıtları gündeme getirmiştir. Bilimsel çalışmalar önemini sürekli korumaktadır. İçten yanmalı motorlarda alternatif enerji kaynağı olarak gaz veya sıvı yakıtlar kullanılabilmektedir. Gaz yakıt olarak sıvılaştırılmış petrol gazı (SPG) ve doğalgaz, sıvı yakıt olarak etanol, metanol, çeşitli bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen bioyodizel ile ilgili birçok araştırma yapılmaktadır [9].

II.1. 1. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (SPG)

Kimyasal formülü C_3H_8 olan propan ile C_4H_{10} olan bütanın karışımından oluşan SPG'nin üretimi doğalgaz kuyularından veya doğalgaz üretim tesislerinden karşılanmaktadır. Fiziksel olarak SPG, renksiz ve kokusuzdur. Sıvı halde ise suya benzemektedir. SPG %80 gaz ve %20 ham petrolden üretilmektedir. Hidrokarbon grubundan SPG, sıvı ya da gaz halinde bulunabilir ve gazdan sıvıya dönüşebilir.

Petrolün yan ürünü olan SPG üzerine basınç ve ısı uygulanarak sıvıdan gaza dönüştürülebilmektedir [10].

SPG yakıt emisyonları yönünden diğer yakıtlara göre daha temizdir. Özellikle CO emisyonları benzin ve dizel yakıtlarına göre daha düşük değerlere inerken HC ve NO_x miktarındaki düşüşü de SPG yakıtını avantajlı kılmaktadır. SPG yakıtı sıvı olarak bulunduğu tanktan buharlaştırıcıya ulaştığında burada buhar fazına geçer ve karıştırıcıda hava ile karıştırılarak silindirlere gönderilir. SPG yakıtlı motorların emme manifold sıcaklığı düşük olduğu için daha yüksek verimle çalışırlar. Eğer emme manifoldu soğutuluyor ise bu durumda silindire giren SPG daha yoğun olacağından motorun volümetrik verimi artacaktır.

SPG'nin yanma hızı sıvı yakıtlara oranla daha düşüktür. Sıvı yakıtlar, buharlaşmaları sırasında soğutma etkisi yapmaktadırlar. SPG'de böyle bir durum söz konusu olmadığından, SPG ile çalışan motorlar daha sıcak çalışmakta, bu ise volümetrik verimin düşmesine sebep olmaktadır. Bu yüzden, SPG dönüşümü yapılan motorun termostatının, benzinli motordakinden 10˚C kadar düşük sıcaklığa ayarlanması önerilmektedir [11–12].

Tablo II.1 Propan, Bütan ve Benzinin Özellikleri [12].

Özellikler	Propan	Bütan	Benzin
Kimyasal formülü	C_3H_8	C_4H_{10}	$C_{6-8}\ H_{13-18}$
Moleküler Ağırlığı (g/Mol)	42	58	86-115
Özgül Ağırlığı (kg/l)	0,51	0,58	0,73-0,78
Kaynama Noktası (^oC)	-43	-0,5	30-225
Alt Isıl Değeri (MJ/kg)	46,50	45,46	44,03
Tutuşma Noktası (^oC)	510	490	-
Tutuşma Sınırları (Hacimsel %)	2,1-9,5	1,5-1,8	-
Yanma Hızı (m/s)	0,4	0,4	0,35
Stokyometrik Hava Yakıt Oranı	15,8	15,6	14,5
Araştırma Oktan Sayısı	111	103	95
Motor Oktan Sayısı	97	89	90

II.1.2.Doğalgaz

İçerisinde büyük oranda metan (CH_4) bulunan ve metana göre daha az oranda etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), azot (N_2), karbondioksit (CO_2), hidrojen sülfür ile helyum (He) gazlarından meydana gelen renksiz, kokusuz, bir gazdır. Fosil atık maddeleri uzun yıllar toprak altında kalarak başkalaşım yoluyla farklı bir yapıya dönüşmektedir. Yer katmanları arasında basınçlı bir şekilde bulunan doğalgaz

katmanlarının kırılması ile yeryüzüne çıkmaktadır. Doğalgazın araçlarda fosil yakıtlara göre daha düşük emisyon üretmesi ve son zamanlarda maliyetinin uygun olmasından dolayı mükemmel denilebilecek bir yakıt türüdür. Sıkıştırılabilme ve kolaylıkla depolanabilme özelliğinden dolayı hem buji ateşlemeli, hem de dizel motorlarında rahatlıkla kullanılabilmektedir [13–14].

Dizel motorların doğal gaza dönüşümünde kullanılan yöntem, pilot püskürtme sistemli çift yakıt (doğalgaz-dizel) uygulamasıdır. Çift yakıtlı motorlarda emme zamanı boyunca silindire emilen ön karışımın (doğalgaz-hava karışımı) tutuşması bir miktar dizel yakıtının püskürtülmesi ile sağlanmaktadır. Doğalgazın enerji değeri düşük olduğu için aynı motordan doğal gaz kullanılarak alınacak güç dizel yakıtına oranla daha düşük olacaktır. Egzoz emisyonları açısından değerlendirildiğinde, doğal gaz kullanımı ile is emisyonları azalırken sıcaklık artışı nedeniyle NO_x emisyonları artmaktadır [14–15].

II.1. 3.Hidrojen

Hidrojen, buji ile ateşlemeli motorlar için oldukça ilgi çekici bir yakıttır. Hidrojen; kömür, doğalgaz gibi fosil yakıtlar, güneş enerjisi, nükleer enerji ve su gibi sonsuz bir kaynaktan elde edilebilir. Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında, yanma ürünü olarak su buharı açığa çıkması nedeni ile çevreye hiçbir zararı yoktur. Doğadaki en hafif element olan hidrojen renksiz, kokusuz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip, tabiattaki molekül ağırlığı en düşük olan maddedir [16].

Hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanılması durumunda fosil kökenli yakıtlara kıyasla önemli avantaja sahiptir. Yüksek alev hızı ve tutuşma yeteneği, düşük ateşleme enerjisi gerektirmesi, geniş tutuşma ve yanma sınırları, yüksek ısıl değer ve termik verim, kirletici egzoz gazı emisyonlarının azlığı ve sahip olduğu yüksek oktan sayısı nedeni ile vuruntuya karşı dirençli olması hidrojeni çekici kılmaktadır. Ayrıca benzin ve mazotla birlikte çeşitli karışım oranlarında çift yakıtlı motor olarak çalışabilme olanağına sahip olması, geçiş döneminde mevcut motorlarda önemli değişiklikler yapılmadan hidrojen kullanımına imkân tanıyacaktır.

Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliklerden biride, hidrojenin çok fakir karışımlardan, çok zengin karışımlara kadar uzanan geniş hava/yakıt oranı aralığı içerisinde tutuşabilir olmasıdır. Hidrojen/hava karışımlarının geniş tutuşma sınırlarına sahip olması ve kolay tutuşabilmesi emniyet sorunlarını arttırmaktadır.

Ancak diğer bütün yakıtlar gibi hidrojende bilinçli olarak ele alındığında, günümüz teknolojisi içerisinde güvenli olarak kullanılabilecektir [16–17].

Tablo II.2. Hidrojenin Genel Özellikleri

Moleküler Ağırlık (g /mol)	2
Yoğunluk (kg/m^3)	0,0838
Üst Isıl Değer (Kütlesel) (MJ/kg)	141,9
Üst Isıl Değer (Hacimsel) (MJ/m^3)	11,89
Alt Isıl Değer (Kütlesel) (MJ/kg)	119,9
Alt Isıl Değer (Hacimsel) (MJ/m^3)	10,05
Kaynama Sıcaklığı (K)	20,3
Sıvı Yoğunluğu (kg/m^3)	70,8
Kritik Noktadaki Sıcaklık (K)	32,94
Kritik Noktadaki Basınç (Bar)	12,84
Kritik Noktadaki Yoğunluk (kg/m^3)	31,4
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı (K)	858
Havada Tutuşma Limitleri (% Hacimsel)	4-78
Havada Stokiyometrik Karışım (% Hacimsel)	29,53
Havadaki Alev Sıcaklığı (K)	2318
Difüzyon Katsayı (cm^2/s)	0,61
Özgül Isısı (kJ/kgK)	14,89

Hidrojenin dizel yakıtıyla birlikte içten yanmalı motorlarda kullanımı, dizel yakıtının kullanımına çok benzer şekildedir. Tutuşma sınırının geniş olması ve hidrojen atomizasyonunun homojen olmaması yanma sonucunda silindir içerisinde farklı basınçların oluşumuna sebep olmaktadır. Hidrojenin yüksek alev hızı ve tutuşma yeteneği, düşük ateşleme enerjisi gerektirmesi, geniş tutuşma ve yanma sınırları, yüksek ısıl değer ve termik verim, kirletici egzoz gazı emisyonlarının azlığı ve sahip olduğu yüksek oktan sayısı nedeni ile vuruntuya karşı dirençli olması hidrojeni çekici kılmaktadır [18].

İçten yanmalı motorlarda hidrojen kullanımı sonucunda yakıtta karbon bulunmaması nedeniyle yanma ürünleri arasında CO, CO_2 ve HC oluşmamaktadır. Hidrojen yakıtlı motorlarda NO_x emisyonu benzin ve dizel motorlarına göre daha fazladır. Hidrojen yakıtı kullanımı ile hacimsel verim azalmakta ve buna bağlı olarak benzin ve dizel yakıtına oranla özgül yakıt tüketimi artmaktadır [19].

II.1.4.Metanol

Alternatif alkol yakıtlar içersinde prestiji en yüksek olan yakıtın metanol olduğu kabul edilmektedir. Metanolün diğer alternatif yakıtlara göre daha az maliyetle elde edildiği görülmektedir. Amerikan senatosu, Amerikan çevreyi koruma teşkilatı, Ford motor şirketi, General Motors, Toyota ve diğer yetkili kişi ve kuruluşlara göre Amerika ve dünyada geleceğin yakıtı metanol olacaktır. Metanolün geleceğin yakıtı olmasının bir kaç nedeni vardır. Birincisi; metanol çok değişik sayıda maddeden elde edilebilmekte ve hemen hemen bütün diğer alternatiflerden daha ucuza mal olmaktadır. Bir diğer neden; metanolün diğer petrol yakıtlarına göre daha temiz yanmasıdır. Ayrıca benzin ve motorin yakıtında olduğu gibi motorlu araçlarda, yakıt dağıtım sisteminde önemli bir değişiklik gerektirmemektedir.

Metanol linyit veya kömürden, evsel, endüstriyel ve zirai artıklardan üretilen bir yakıt türüdür. Aynı zamanda sentez gazı olarak isimlendirilen $CO+H_2$ karışımından da yüksek basınçlarda üretilir. Günümüzde metanol daha çok doğal gazdan üretilmektedir. Amerika'da yılda 320 milyon ton zirai ve 120 milyon ton ormansal artık madde ortaya çıkmaktadır. Eğer bu maddeler metanole çevrilmiş olsaydı Amerika'nın ham petrol sarfiyatında %30-35'lere varan bir azalma meydana gelirdi. Üç milyon nüfusa sahip olan bir şehirde oluşacak olan atık maddelerden bir günde 11000 varil metanol üretimi mümkün olabilmektedir. Aynı şehir için günlük tahmini motor yakıtı ihtiyacının 80000 varil olduğu varsayılır ise toplam yakıt ihtiyacının %15'inin şehir artıklarından elde edilmesinin teknik açıdan mümkün olduğu görülür [20].

Metanol kullanımında dikkate alınması gereken en önemli etken metanolün neredeyse görünemeyen alevi, yüksek seviyelerdeki toksitliği ve düşük bir ihtimal olsa da yakıt tankında patlamaya sebep olmasıdır. Metanolün yanma sırasındaki problemlerinden biri de yanma ve yakıcılık özelliğidir. Metanol yanıcı bir maddedir. Bir diğer önemli problem ise metanolün görünmez alev ile yanmasıdır. Metanol dumansız ve mavi bir alevle yanar ve gün ışığında neredeyse görülemez. Tablo II.3' de metanolün özellikleri verilmiştir [21].

Tablo II.3. Metanolün Özellikleri [22].

Kimyasal Denklemi		CH_3OH
C/H Oranı		0.25
Moleküler Ağırlığı	kg/mol	32.04
Özgül Ağırlığı	kg/m^3 sıvı	0.79
Isıl Değeri	MJ/kg, MJ/l	20.1
Buharlaşma Isısı	(MJ/kg)	1.102
Tutuşma Sınırı	% Hacim HFK	6-37 0,24-2,22
Laminer Alev Hızı	(m/s)	0,52
Adyabatik Alev Sıcaklığı	(K)	2151
Kaynama Noktası	(K)	338.1
Donma Noktası	(K)	175.4
Oktan Sayısı	ROS MOS	110 87
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı	(K)	743
Stokiyometrik Karışım İçin	Hava / yakıt (kütlesel) Hava / yakıt (hacimsel)	6,44 7,14

II.1.4.1 Metanolün Dizel Motorlarında Kullanımı

Metanolü doğrudan doğruya dizel motorunda kullanmak imkânsızdır. Metanolün dizel motorlarında kullanımını sınırlayan en önemli etken setan sayısının düşük olmasıdır. Metanolün setan sayısı 3, benzinin 14 ve motorin ise 40-60 arasında olduğu göz önüne alınırsa saf metanolün dizel motoru yakıtı olarak kullanılmayacağı açıktır. Metanolün setan sayısının düşük olması TG süresinin artmasına neden olacağından dizel motorunda vuruntu meydana getirecektir [23].

Metanolün dizel motorlarında uyarlanması esnasında, motorda konstürüktif bir değişikliğe gidilmemesi, tek bir enjektör kullanılması avantaj olmakla beraber, hem metanol, hem de motorin için iki ayrı yakıt tankının gerekmesi yakıt sistemlerinin korozyona karşı korunması ihtiyacı dezavantajlar olarak ortaya çıkmaktadır [24].

II.4.2. Metanolün Yanma Performansı ve Egzoz Emisyonları

Metanolün yanma sıcaklığının düşük olması, silindirden kaçan ısının azalması dolayısıyla verimin artmasına sebep olur. Düşük sıcaklıkta oluşan yanma reaksiyonu, soğutma sistemlerinde basitleştirmeye gidilmesini sağlar. Kendi kendine tutuşma sıcaklığının benzinden yüksek olmasından dolayı benzinli motorlarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu özelliği yakıtın dizel motorlarında kullanılmasını güçleştirmektedir.

Metanol yakıtı dizel motorlarında yüksek enerji bujileri ile beraber kullanılmalıdır. Ayrıca metanolün benzin karıştırılması ile soğuk havalarda yalnız metanol yakıtı kullanımı durumunda meydana gelebilecek sorunlar ortadan kaldırılmış olur. Benzin, buharlaşması az olan saf metanolün uçuculuğunu arttırarak, motorun soğuk havalarda çalışmasını kolaylaştırmaktadır.

Metanol gazının yanması sonucu oluşan, egzoz emisyonları yaklaşık olarak benzinle aynı olmaktadır. Ayrıca metanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanmanın iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki NO_x ve CO'nun azalmasını sağlamaktadır. Sera etkisini önemli ölçüde etkileyen CO_2 emisyonlarında ise belirgin azalmalar olmaktadır. Araştırmacılar formaldehit emisyonunun motorun çalışmaya başlaması ile ilk iki dakika içerisinde oluştuğunu ve katalitik konvertörle azaltılabileceğini belirtmekteler. Fakat katalitik konvertörlerin ısıtılması gereklidir. Isıtma işlemi aküden alınacak elektrik enerjisi ile mümkün olmaktadır [25].

II.1.5.Etanol

Etanol, karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan sıvı alkoldür. Başka bir ifade ile etanol, 78,4 ^oC kaynayabilen, -100 ^oC'a kadar sıvı olarak kalan renksiz bir yakıttır. Yoğunluğu 0,794 kg/lt, alt ısıl değeri ise yaklaşık 27350 kJ/kg'dır. Etanol, içerisinde etil alkol bulunan, şeker, şekeri çevrilebilen selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonucu elde edilen bir alkol türüdür. Etanol patates, tahıllar, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi tarım ürünlerinden elde edilir. Tarım ürünlerinden elde edildiği için etanolun kullanım alanını sınırlamaktadır.

Tablo II.4 Etanolun ve Dizel yakıtının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri [27]

	Etanol	Dizel
Formül	C_2H_5OH	$C_{13}H_{28}$
Moleküler Ağırlık, (g)	46,07	184
Yoğunluk (kg/l)	0,79	0,830
Kaynama Noktası (^oC)	78	235
Buhar Basıncı (kPa), 38 ^oC de	13,9	0,34
Vizkozite (MPa) 20 ^oC de	1,19	3,9
Alt Isıl Değeri (MJ/kg)	21,1	43,3
Tutuşma Sıcaklığı (^oC)	423	300-350
Tutuşma Sınırları (Hacimsel %)	4,3-19,0	-
Stokiyometrik Hava-Yakıt Oranı	9,0	14,7
Araştırma Oktan Sayısı (RON)	108,6	-

Etanol, benzin ve dizel yakıtlarına göre daha düşük ısıl değere sahiptir. Alternatif yakıtlar içerisinde depolama konusunda en avantajlı yakıtın etanol olduğu görülmektedir. Bir yakıtın taşıtta depolanma miktarı ve yakıtın enerji yoğunluğu taşıtın gidebileceği gibi etkenleri etkilemektedir. Ayrıca, etanol benzinin oktan sayısını artırmak için yaygın olarak kullanılır. Etanol-benzin karışımı yakıtların kullanılması ile istenmeyen egzoz emisyonları ve petrol kökenli yakıtların tüketimi azaltılabilir [26-27].

II.1.5.1. Etanolun Dizel Motorlarda Kullanılması

Tablo II.4 görüldüğü gibi etanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıtından değişiklikler göstermektedir. Bu değişkenlerin başında setan sayısı, ısıl değeri, viskozitesi v.b nitelikleri gelmektedir. Bu özelliklerden en önemlisi etanolun tutuşma kapasitesinin farklı olmasıdır. Etanolun düşük setan sayısı, dizel yakıtının tutuşma kalitesini olumsuz etkilemektedir. Kullanılan tekniklerle etanol, dizel yakıtı yerine tamamen ya da kısmen kullanılabilmektedir. Bunun neticesinde motor gücü, momenti, termik verim ve egzoz emisyonlarında farklılıklar görülmektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda etanolun özelliklerini iyileştirilip dizel motorları için uygun bir yakıt olması amaçlanmalıdır [28].

II.1.5.2. Etanolun Yanma Performansı ve Egzoz Emisyonları

Etanolun yüksek oktan sayısı düşük setan sayısı ve buharlaşma ısısının yüksek oluşu soğuk iklim koşullarında kullanımını zorlaştırmaktadır. Etanol-dizel yakıtının yanma işleminin yüksek sıcaklıkta gerçekleşmesi motorda sıkıştırma oranını arttırmayı gerektirmektedir. Etanolun dizel yakıtı ile beraber kullanılması sonucunda dizel yakıtı ürünleri ile karşılaştırıldığında CO, is ve SO_2 emisyonları önemli ölçüde azalmaktadır. Etanol-dizel yakıtının düşük alev sıcaklığının olması yanma işleminin iyileşmesini ve yanma ürünleri içerisindeki NO_x ve CO miktarlarının azalmasını sağlamaktadır [29].

II.1.6.Biyodizel

Biyodizel, organik yağların baz ve alkolle karıştırılarak dizel yakıtına çevrilmesi sonucu elde edilen ürün olarak ifade edilmektedir. Evsel kızartma yağlar, hayvansal yağlar ve bitkisel yağlı ürünler biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Biyodizel ve dizel yakıtının kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo II.5 görülmektedir. Biyodizel

herhangi bir dizel motoru için; hiçbir modifikasyona gerek duymaksızın kullanılabilir [30].

Tablo. II.5. Biyodizel ve Dizel Yakıt Özellikleri

Özellikler	Dizel	Biyodizel
Kimyasal Formülü	$C_{12.226}H_{23.29}S_{0.0575}$	$C_{19}H_{35.2}O_2$
Molekuler Ağırlığı (g/mol)	120-320	296
Alt Isıl Değer Kütlesel Olarak (kJ/kg) Hacimsel Olarak (kJ/l)	 42700 35500	 37 100 32 600
Yoğunluk 15 ^oC (kg / m^3)	820-860	875-880
Kinematik Vizkozitesi 40 ^oC (mm^3/ s)	2,50–3,50	4.3
Alevlenme Noktası, (^oC)	>55	>100
Kükürt İçeriği (% kütlesel)	<0.05	<0.01
Tutuşma Katsayısı (Setan Sayısı)	49-55	>55
Kül (% kütlesel)	<0.01	<0.01
Su miktarı (mg/kg)	<200	<300

Biyodizel, dizel motor yanma verimini ve emisyon oluşumunu olumsuz etkileyen kükürt'ü, aromatik hidrokarbonları, metalleri ve ham petrol artıklarını bünyesinde içermez. Biyodizel yakıtlar genellikle 16 ile 20 arasında karbona sahip hidrokarbon zincirlerinden oluşur ve ağırlığının yaklaşık %11'ini oksijen oluşturur. Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır.

Biyodizel, petrol kaynaklı motorin ile her oranda karıştırılabilmektedir ve bu özellik, petrol kaynaklı motorinin kalitesini yükseltmektedir. Yanma sonucu oluşan çevreye zararlı emisyon değerlerini azaltır, motordaki yağlanma derecesini arttırır ve motor gücünü azaltan birikintileri çözer. Biyodizel, dizelle benzer koşullarda taşınabilir, kullanılabilir ve depolanabilir. Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılıp yakıt olarak kullanılabilir [30].

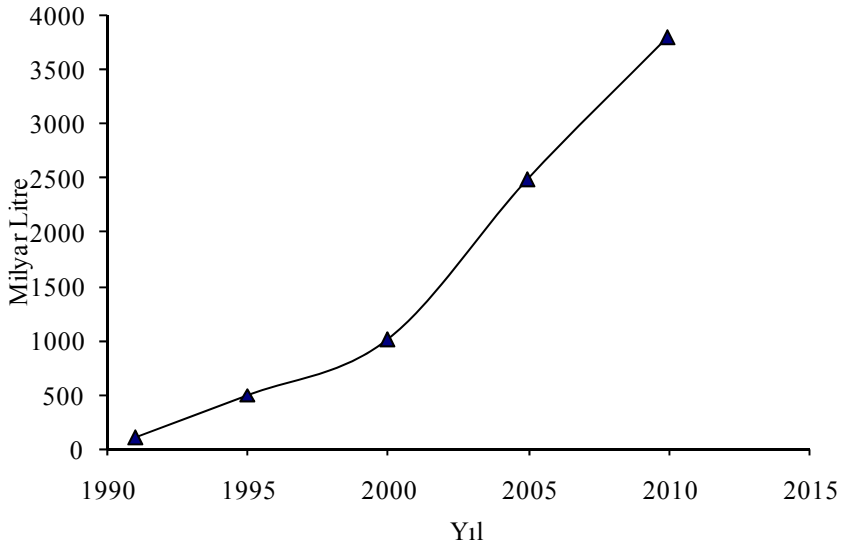
Biyodizel; temiz, kuru, karanlık bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan korunacak şekilde saklanmalıdır. Depo tankı malzemesi olarak, yumuşak çelik, paslanmaz çelik, florlanmış polietilen ve florlanmış polipropilen seçilebilir. Depolama, taşıma ve motor malzemelerinde, bazı elastomerlerin, doğal ve butil kauçukların kullanımı sakıncalıdır; çünkü biyodizel bu malzemeleri parçalamaktadır. Biyodizel ve dizel karışımları, dizelden daha yüksek akma ve bulutlanma noktasına sahiptir. Bu durum, yakıtların soğukta kullanımında sorun teşkil etmektedir.

Uygun katkı maddeleri kullanımı ile biyodizelin akma ve bulutlanma noktaları düşürülebilmektedir. Biyodizel-dizel yakıtı +4 ^oC derecede harmanlanmalıdır.

Harmanlama işlemi yapılırken, soğumaya bağlı kristal yapılar oluşursa, bulutlanma noktası üzerine ısıtılması ve karıştırılması gerekmektedir. Biyodizel orta uzunlukta C_{16}-C_{18} yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijeni zincir yapısı, biyodizeli, petrol kökenli motorinden ayırır [31].

II.1.6.1.Dünya ve Türkiye İçin Biyodizel Üretimi

Dünya biyodizel üretimi 2005 yılı 3762 milyon litre olup 1991 yılından 2005 yılına kadar olan biyodizel üretimindeki artış Şekil II.1'de gösterilmektedir. Biyodizel üretiminde lider ülke Almanya olup bunu Fransa, Amerika ve İtalya ise izlemektedir. Ayrıca Brezilya'da üretimini hızla arttırmakta olan ülkeler arasındadır. Dünya'daki en büyük biyodizel üreticisi olarak karşımıza çıkmakta olan Avrupa Birliği'ndeki biyoyakıt tüketimi içindeki en önemli pay %80'lik bir oran ile biyodizele aittir. 2007 yılı için beklenen üretim değeri 6,1 milyon tondur. Farklı AB üyeleri için farklı destek ve vergilendirme sistemleri uygulanmaktadır. Biyoyakıt kullanımını arttırmak için vergi konusundaki teşvik çalışmalarının öncüsü olarak Almanya karşımıza çıkmaktadır. Bu durum Almanya'daki biyodizel gelişimine neden olmuştur [32].

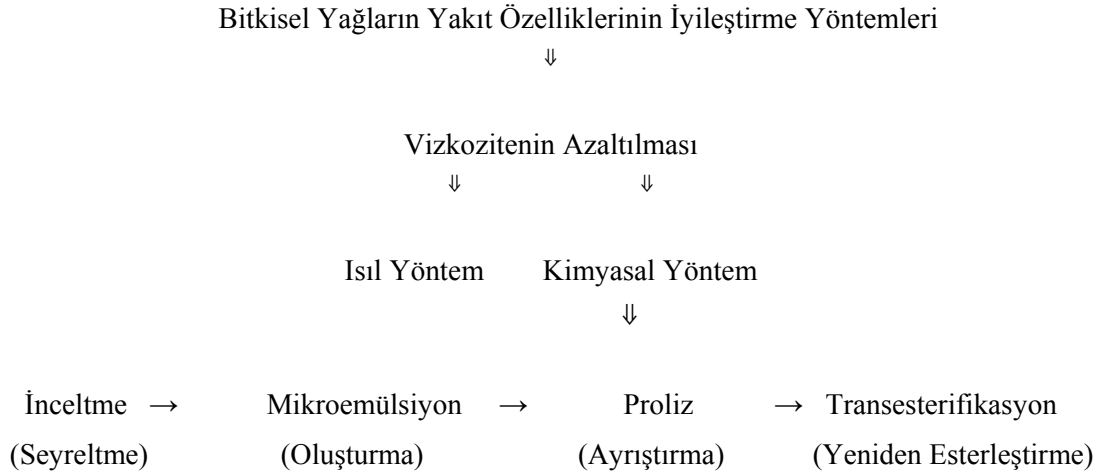


Şekil II.1 Dünya ve Türkiye İçin Biyodizel Üretim Miktarı

II.1.6.2. Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanım Yöntemleri

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bunlardan biri, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin

iyileştirilmesi diğeri de motor ayarlarının değiştirilmesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusundaki çalışmaların ağırlığını, bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Kimyasal yöntemde kendi arasında dörde ayrılmaktadır. İyileştirme yöntemleri Şekil II. 2'de gösterilmiştir.



Şekil II.2 Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi.

Bu yöntemlerden uygulamada en çok kullanılan kimyasal yöntemdir. Kimyasal yöntemler içerisinde de en fazla kullanılanı seyreltme ve transesterifikasyon yöntemleridir. Biyodizel yakıt üretme yöntemlerini kısaca açıklayacak olursak [33].

Mikroemülsiyon Yöntemi

Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi; metanol ya da etanol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağın mikroemülsiyon durumuna getirilmesi ile viskozite değerinin düşürülmesi işlemidir. Bu yöntemde, alkollerin setan sayılarının düşük olması, düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesine nedenolmaktadır.

Piroliz Yöntemi

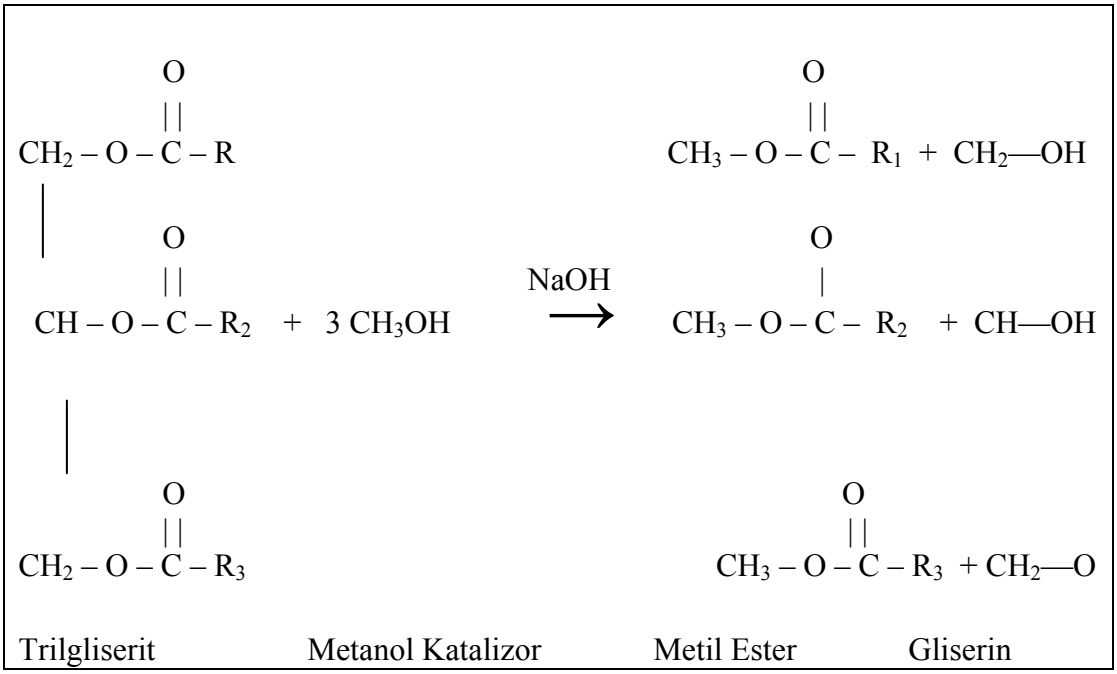
Piroliz yönteminde, moleküller yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite oldukça düşürülmekte fakat işletilerek gider gerektirmektedir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi, bitkisel yağları ısı etkisi ile kapalı bir kapta parçalamak; diğeri ise standart ASTM destilasyonu ile ısıl parçalanma etkisinde tutmaktır.

Süper Kritik Yöntem

Süperkritik yöntemde, bitkisel yağlar transesterifikasyon yönteminden farklı olarak, katalizör kullanmadan 350 ^{o}C gibi yüksek sıcaklık ve 240 saniye gibi kısa sürelerde gerçekleştirilmektedir [34].

Seyreltme Yöntemi

Bu yöntem bitkisel yağların belirli oranlarda dizel yakıtına karıştırılması olarak tanımlanır. Uygulamada yaygın olarak kullanılan B20 yakıtı, dizel yakıtının içerisine %20 oranında bitkisel yağ katılarak elde edilir. Bu şekilde elde edilen yakıtın dizel yakıtına göre maliyetinin daha düşük olduğu ve performans değerlerinin de dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiştir.



Şekil II.3 Trigliseritin Metanol ile Transesterifikasyon Reaksiyonu [31].

Transesterifikasyon Yöntemi

Bitkisel yağların, dizel yakıtının alternatifi olarak uygun hale getirilmesinde izlenen en önemli kimyasal yöntemdir. Bu yönteme alkoliz reaksiyonu adı da verilmektedir. Transesterifikasyon, bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizatör eşliğinde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Biyodizel yağ asitlerinin herhangi bir katalizör varlığında monohidrik bir

alkol ile gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda elde edilmektedir. Şekil 2.1'de yağın metanol ile gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonu gösterilmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin elde edilmektedir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak mono ve trigliseritler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri de oluşmaktadır [31-33].

Katalizör olarak ise bazik ve asidik katalizör kullanımı mümkün olduğu gibi enzim kullanımı üzerine de çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bazik katalizörlerle gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonlarında verimin daha yüksek olması, daha az korozif olması, reaksiyon süresinin çok daha kısa olması ve asidik katalizör kullanımında aside dayanıklı tank gereksinimin büyük ölçekli üretimlerde maliyeti arttırması gibi sebepler, transesterifikasyon reaksiyonunda bazik katalizörlerin tercih edilmesine neden olmaktadır. Bunun nedenini bazik katalizörlerin serbest yağ asitleri ile reaksiyona girerek sabun oluşumuna neden olması ve aynı zamanda katalizörün aktivitesini kaybetmesi ile açıklamak mümkün olmaktadır [35-36].

II.1.6.3.Biyodizelin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Dizel yakıtların tutuşma özelliğini belirleyen setan sayısı, uzun düz zincirli doymuş hidrokarbonlarda yüksektir. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini azaltır. Karbon kalıntısı bakımından bitkisel yağların, dizel motorlarındaki en önemli etkisi; piston başı, segman, segman yuvası, silindir başı, supaplar, supap kılavuzları ve enjektör memesi gibi elemanlarda karbon birikmesine neden olmasıdır. Bu birikintiler, çalışma süresi ile birlikte artmakta ve olumsuz etkilere neden olmaktadır. Karbon kalıntısı bitkisel yağlarda, %0,22-0,30 arasında bulunmuştur. Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri Şekil II.6'da görülmektedir.

Tablo II.6'da görüldüğü gibi biyodizelin setan sayısı dizel yakıtının setan sayısından büyük olmasına karşın biyodizel yakıtının oktan sayısı daha büyüktür. Yakıt özellikleri ile ilgili araştırmalarda ağırlığı, bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması yönündeki çalışmalar oluşturmaktadır. Motorla ilgili çalışmalar ise, daha iyi atomizasyon karakteristiğine sağlamak, püskürtme basıncının arttırılması ve yanmanın iyileştirilmesi için yakıt püskürtme zamanının değiştirilmesidir [36].

Tablo. II.6. Biyodizel ve Petrol Dizel Yakıt Özellikleri [34]

Özellikleri	Biyodizel	Dizel Yakıtı
Yoğunluk (kg/l)	0,87-0,89	0,83-0,86
Setan Sayısı	47-70	47-55
Bulutlanma Noktası (K)	262-289	256-265
Akma Noktası (K)	258-286	237-243
Parlama Noktası (K)	408-423	325-350
Sülfür (wt%)	0.0-0,0024	0,04-0,01
Kül (wt%)	0,002-0,01	0,06-0.01
İyot İndisi	60-135	-
Kinematik Vizkozite (mm^2 s), 313 K	3,7-5,8	1.9-3,8

II.1.6.4.Biyodizel Yakıt Karışımının Oluşturulması

Bitkisel yağların viskozite değeri iklim, yağ asit birleşimleri ve çevre koşullarına göre değişmektedirler. Biyodizel, oktan sayısı yüksek olduğundan, sıkıştırma fazının ilk dönemlerinde, yani sıkıştırma basıncının düşük olduğu zamanda bile püskürtülebilmektedir. Dizel motorlarda belirli oranlarda biyodizel kullanımı motor yapısına, çalışma şartlarına ve biyodizelin özelliklerine bağlı olarak motor performans ve emisyonlarında farklı etkiler ortaya koymaktadır. Biyodizel-dizel karışımlarında özgül yakıt tüketiminde bir oranda artış olsa da termik verim dizel yakıt ile elde edilen değere çok yakın olmaktadır [37].

II.1.6.5. Biyodizel Yakıtının Yanma Performansı

Biyodizel-dizel yakıt karışımlarının yanma karakteristikleri ve ısıl verimi motor üzerinde olumlu etkiler göstermektedir. Dizel yakıtının ısıl değeri ile karşılaştırıldığında daha düşük seviyededir. Düşük ısıl değer, biyodizel ve karışımlarında, dizel ile çalışmaya oranla yakıt tüketiminde bir miktar artış olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak biyodizelin iyi yanma karakteristikleri sonucu ısıl verimi arttığından yakıt tüketimi artışı makul seviyelerde olmaktadır. Dizel yakıtının bulutlanma ve akma noktaları biyodizel'e göre daha düşük kalmaktadır [38–39].

II.1.6.6. Biyodizel Yakıtının Egzoz Emisyonları

Biyodizel ve dizel-biyodizel karışımı kullanımı ile CO, PM, SO_x, ve HC emisyonlarında azalma, NO_x ve is emisyonlarında ise artma görülmektedir. HC emisyonları motorin ve biyodizel için oldukça düşük seviyede olup, çevre için asit

tehlikesi oluşturmazlar. Biyodizelin is emisyonu, motorininkinden yüksektir. Bu değer biyodizel üretim süreç aşamalarından (yağlı tohumun ziraati ve işlenmesi) kaynaklanmaktadır [39].

II.1.6.7. Biyodizel Kalite Parametreleri

Biyodizel, çok çeşitli kaynaklardan farklı yöntemlerle üretilebilmekte, yakıt özellikleri ve yakıt kaliteleri farklıklar göstermektedir. Yakıt besleme sisteminde yakıtın akıcılığı çok önemlidir. Yakıtın silindirler içinde atomizasyonu yanma performansı açısından çok önemlidir. Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine sebep olur ve yüksek pompalama basıncı gerektirir. Hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça viskozite artar, çift bağ sayısı arttıkça viskozite azalır Viskozitenin, yakıt enjeksiyon sistem performansı üzerine olumsuz etkiye sebep olmaması için, kabul edilebilir değerler aralığında tutulmalıdır. Bu yolla viskozite özellikleri, diğer dizel yakıtlarınınkiyle eşit tutulmaya çalışılmaktadır. Düşük sıcaklıkta biyodizel kalınlaşabilmekte ve akmayabilmektedir. Bu da, enjektör ve pompaların performansını etkilemektedir [40-41].

Isıl değer, yakıtın birim kütlesi/hacmi başına alınan enerji miktarını belirler. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısıl değer artar, doymamışlık arttıkça (hidrojen sayısı azaldıkça) ısıl değer azalır. Biyodizel oksijen içeriğinden dolayı dizel yakıtına oranla %11 daha az ısıl değere sahiptir. Düşük ısıl değer sonucu, motor gücü ve torkunda bir miktar düşüş görülebilmektedir. Ancak, yüksek yoğunluk sebebiyle, motorda ısıl değere bağlı olarak meydana gelebilecek önemli orandaki güç kaybı kısmen azalır [41-42]

II.1.6.8. Biyodizeli Bozulabilirlik ve Toksit Etkisi

Biyodizel yakıtını oluşturan karbon sayıları C_{16}-C_{18} metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur, 10,000 mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suya bırakıldığında biyodizelin 28 günde %95'i, motorinin ise %40'ı bozulabilmektedir. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir [43].

Biyodizelin olumlu bir etkisi toksit bulundurmamasıdır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1,75 g tuz/kg vucüt ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek

öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizelin toksik olmamasına karşın, biyodizel ve biyodizel-dizel karışımlarının kullanımında; dizel için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucular, havalandırma sistemi v.b.) kullanılması önerilmektedir [44].

II.1.6.9.Biyodizel Yakıtının Avantajları

Biyodizel yakıtın normal dizele göre birçok avantaja sahiptir. Bu avantajlardan bazıları şunlardır:

- Yenilenebilir karakterlidir, yerel imkânlarla üretilebilir, alternatif bir enerji kaynağıdır.
- Biyolojik olarak ayrışabilir ve zehirli değildir. Yapılan testlere göre, kolzadan elde edilmiş biyodizelin 21 günde %99,6 sının ayrıştığı görülmüştür.
- Üstün yağlama niteliği nedeniyle %1 oranında petrol dizeli yerine kullanımı bile motordaki aşınmayı %65 oranında azaltır.
- Normal dizelle mukayese edildiğinde CO_2'nin atmosferde birikimine ve bunun sonucunda da sera etkisine neden olmaz. Çünkü biyodizelin yanması sonucu oluşan CO_2, biyodizelin elde edildiği bitkiler tarafından kullanılır.
- Parlama noktası normal dizele göre daha yüksektir. Bu özellik biyodizeli taşıma ve kullanımda güvenli yapar.
- Biyodizelin motorda kullanımında herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmaz ve motor yağlanmasını iyileştirir.
- En önemlisi; CO, PM, HC emisyon değerleri normal dizele göre daha iyidir.
- Çevre dostu bir yakıt özelliğine sahiptir.
- Motorların kulanım ömrünü uzatır. Çünkü yağlanma derecesi yüksektir.
- Biyodizel yakıtı kükürt içermememsinden dolayı, biyodizel işletmelerinde oksidasyon katalizörü olarak kullanılabilir. Böylece zararlı emisyon değerleri daha da düşük seviyelere indirilebilir.
- Petrol kökenli motorin ile her oranda tam olarak karışır ve onun kalitesini artırır.
- Ülke çapında yapılacak tarımsal faaliyetlerle çiftçilerin yağ bitkisi üretmesi

sağlanır ve özellikle çiftçilerin kazancını ve işçi istihdamını sağlar.

II.1.6.10. Biyodizel Yakıtının Dezavantajları

Biyodizelin normal dizele göre dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar:

- Dizele göre yüksek viskoziteye sahip olmaları.
- Düşük uçuculuk.
- Yüksek ayrışabilme (bozunma) özelliğine sahiptirler. Depolanmalarında sorun yaratmaktadır.
- Yüksek akma ve bulutlanma noktaları sebebiyle soğuk hava şartlarından normal dizele göre daha çabuk etkilenir. Bu durum biyodizelin soğuk iklim bölgelerinde kullanımını sınırlandırıcı bir faktördür [45].
- Normal dizele göre daha düşük ısıl değere sahiptir. Bu da yakıt sarfiyatında artışa sebep olur.
- Motor yağlarının daha kısa sürede kirlenmesine neden olur.
- NO_x emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Ancak bu sorun yanma sıcaklığını azaltarak (yanmanın 1–3° KMA geciktirilmesi) veya konvertör kullanılarak aşılabilir [46].

II.1.6.11.Biyodizel Yakıtının Setan Sayısı ve Kendi Kendine Tutuşma Özelliği

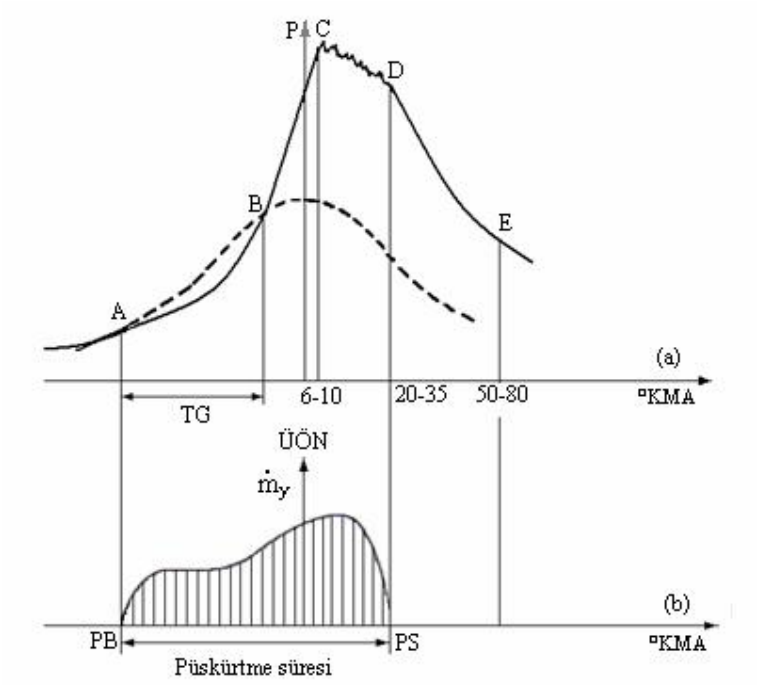
Dizel yakıtının en önemli özelliği setan sayısıdır. Setan sayısı, dizel yakıtının yanma kalitesini gösteren ve benzindeki oktan sayısı gibi ölçülen bir değerdir. Biyodizelin setan sayısı 51, dizelin setan sayısından 42'dir Tablo II.6'da görüldüğü gibi biyodizelin setan sayısı, dizel yakıtının setan sayısından 8 birim daha büyüktür. Setan sayısı, yakıtın silindir içerisinde püskürtüldükten sonra kendi kendine tutuşma yeteneğini belirlemektedir. Setan sayısı yüksek olduğunda TG süresi azalmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışına engel olmaktadır. Dizel motorun yanma hücresindeki gecikme süresi, dizelin tutuşma kalitesinin bir ölçütüdür. Düşük setan sayılı bir dizel, doğru noktada tutuşmaz. Bunun sonucunda, kontrolsüz biçimde yanan karışım, gürültü ve motor içinde hasara neden olur.

Tutuşma gecikmesi atomizasyondan, sıcaklıktan ve kısmi şekildeki buharlaşmadan oluşan fiziksel gecikme periyoduyla kimyasal gecikme periyodunun toplamıdır. Setan sayısı yükseldikçe tutuşma gecikmesi azalır ve yakıt dizel

motorlarında kullanımı için daha uygun hale gelir. Tutuşma gecikmesi ile setan sayısı ve sıkıştırma oranı (sıcaklık) arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Tutuşma gecikmesinde, düşük sıcaklıklarda kimyasal reaksiyonlar, yüksek sıcaklıklarda ise fiziksel özellikler önemlidir. Beklendiği üzere, sıkıştırma oranı arttıkça tutuşma gecikmesi süresi düşmektedir [47].

II.2. DİZEL MOTORLARINDA YANMA PERİYOTLARI

Dizel motorlarında yanma olayı, yanma odasına sıkıştırılan havanın üstüne yakıtın püskürtülmeye başlandığı andan itibaren yanma ürünlerinin dışarıya atıldığı, egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen süre içerisindeki karmaşık fiziksel ve kimyasal olayları kapsamaktadır. Dizel motorlarında yanma olayını etkileyen ve yanmayı devam ettiren yanma bölgesindeki sıcaklık, basınç, karışım oranı ve oksijen miktarını belirleyen yerel koşullardır. Dizel motorlarında yanma odası içinde homojen bir karışım her zaman yoktur. Yüksek sıcaklık ve basınçtaki ortama püskürtülen yakıtın buharlaşmaya başlaması ile birlikte reaksiyonlar da oluşmaya başlamaktadır. Ancak başlangıçta bu reaksiyonların hızları çok düşük olduğundan basınçta belirgin bir artış görülmemektedir [48–49].



(a) Basınç-krank açısı diyagramı (b) Püskürtme seyri

Şekil II.4 Bir Dizel Motoruna Ait Basınç-Krank Açısı Diyagramı

II.2.1. Tutuşma Gecikmesi

Şekil II.4'de indikatör diyagramında A ile B arasındaki bölge tutuşma süresini göstermektedir. Yanma odasına ilk yakıt püskürtülemeye başlandığı anda; damlacıklara ayrılma, buharlaşma, ufak moleküllere parçalanma ve kimyasal reaksiyonlar başlamaktadır. Ancak kimyasal reaksiyonların başlaması ile ilk görülebilir alevin ortaya çıkışı üzerinden belli bir süre geçmektedir. Püskürtme başlangıcından alevin gözükmesine ve basıncın ani olarak artmasına kadar geçen bu süreye "tutuşma gecikmesi" denir. Bu süre içinde buharlaşan yakıtın silindir ortamından çektiği ısı nedeniyle silindir basıncında bir azalma görülür. Tutuşma gecikmesi süresi aşağıda belirtilen faktörlerden etkilenir:

- Yakıtın kimyasal özellikleri,
- Yakıtın püskürtüldüğü anda silindirde sıkıştırılmış olan havanın basıncı ve sıcaklığı,
- Yakıt atomizasyonunun derecesi,
- Dolgunun dönme hareketinin yapısı (türbülans),
- Yanma odası sıcak yüzeylerinin etkisi [25,49].

II.2.2.Kontrolsüz Yanma

Tutuşma süresi içerisinde silindire püskürtülen yakıt burada ısınarak yanmaya başlar ve hava yakıt karışımı yanması sonucunda maksimum basınca ulaşır. Bu bölge Şekil II.4' deki BC eğrisi ile gösterilen bölgedir. Tutuşma gecikmesinden sonra yanma olayı başlamaktadır. Püskürtülen yakıt demetinin dış kısmında buharlaşma ve hava ile karışma daha iyi bir şekilde gerçekleştiğinden yanma, genellikle bu kısımdan başlamaktadır. Ancak dizel motorlarında yanma, tutuşmanın oluşabileceği yerel koşulların sağlandığı çeşitli merkezlerden başlayabilir. Kontrolsüz yanma fazında TG sırasında birikmiş olan yakıt yanarak ani basınç yükselmesine neden olmaktadır. Yanma odasına püskürtülen yakıtın yanmasının ikinci safhası olan ani yanmadaki basınç artışını şu faktörler etkilemektedir:

- Yakıt püskürtme sisteminin tasarımına bağlı olan yakıtın atomizasyon derecesi,
- TG süresine bağlı olarak değişen ve bu süre içinde püskürtülen yakıt miktarı,
- TG süresince yakıtın hava ile karışımı; karışım için kullanılan zaman, püskürtme karakteristiği ve silindir içerisindeki hava hareketleri bu faktör

üzerinde etkilidir. Uzun süren tutuşma gecikmesi ve yüksek hız karışım oluşumunu olumlu yönde etkiler.

- TG süresince silindire püskürtülen yakıtın miktarı [25,49].

II.2.3. Kontrollü Yanma

Şekil II.4'de B-C eğrisi ile gösterilen bölgede kontrolsüz yanma sona erdikten sonra, silindir içindeki hava istenen basınç ve sıcaklığa ulaşır. Püskürtme işlemi ile hava yakıt karışımı C noktasında yanmaya başlar ve D noktasında faydalı yanma süreci sona ermektedir. CD bölgesinde meydana gelen yanmaya kontrollü yanma denilmektedir. Dizel yanmasının ana yanmayı oluşturan üçüncü fazı, kontrollü yanmadır. TG sırasında, yanma odasında biriken yakıtın ani olarak yanmasından sonra kontrollü yanma aşamasına geçilir. Bu fazda yanma hızı, buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızı ile belirlenmektedir. Yakıt demetinin kalitesi (ortalama damlacık çapı) hava hareketleri ve HFK'nın (hava fazlalık katsayısı) yerel olarak birden büyük değere sahip olması, özellikle bu faz için önemlidir. Kontrollü yanma safhası bitiminde sıcaklık ve basınç çok yüksek olduğundan bu safhayı takiben püskürtülen yakıt oksijen bulunca hemen yanar. Bu safhada oluşan basınç değeri:

- Yakıt enjeksiyon hızına,
- Motor hızına ve yanma odasının şekline bağlı olarak hava türbülansına,
- Pistonun konumuna, bağlı olarak değişir [25,49].

II.2.4. Art Yanma

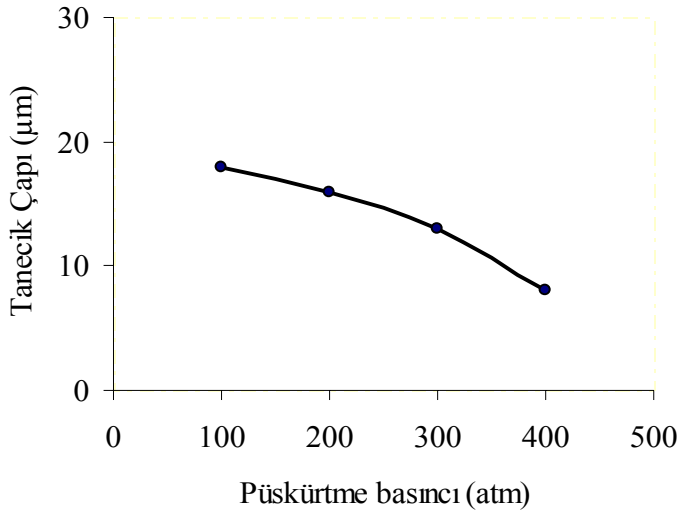
Şekil II.4'de görüldüğü gibi DE eğrisi ile gösterilen ve silindir içinde meydana gelen yanma olayına art yanma denilmektedir. Püskürtmenin bitiminden sonra, bu safhada arta kalan yakıt yanar. Dolayısıyla bu bölgenin çok dar olması gerekir. Kontrollü yanma sonunda egzoz supabının açılmasına kadar geçen süre art yanma safhası olarak kabul edilir. Dizel motorlarında karışım homojen olmadığı için yanma, genişleme süresine de sarkacak, ani bir basınç yükselmesi ile başlayan dizel yanması egzoz sisteminde de devam edecektir. Bu safha ile yanma tamamlanmış olup, silindir hacminin artmasıyla basınç ve sıcaklık düşmektedir. Bu safhanın, yanma verimi açısından çok kısa sürmesi gerekmektedir [49].

II.3. MOTOR ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ

Dizel motorlarında, kullanılan yakıtın özellikleri, motorun enjeksiyon basıncı, sıkıştırma oranı, motor devri, hava miktarı, enjeksiyon başlangıcı, maksimum yakıt miktarı gibi bir çok parametre yanma olayını doğrudan etkilemektedir. Püskürtme zamanlaması veya püskürtmenin başlangıcı tüm motor karakteristiklerini büyük oranda etkileyen çok önemli bir parametredir. Püskürtme zamanlaması hava-yakıtın karışım kalitesini, dolayısıyla, kirletici emisyonları da kapsayan yanma olayını etkilemektedir. Gecikmiş püskürtmenin maksimum silindir basıncını azalttığı ve düşük ısı transfer hızı ve düşük yanma gürültüsüne yol açtığı bilinmektedir. Ayrıca, gecikmiş püskürtme düşük silindir sıcaklıklarını doğuracağından NO_x emisyonlarını azaltacaktır. Ancak, gecikmiş püskürtme yakıt tüketiminin ve is emisyonlarının artışına neden olacaktır [50].

Yanma odasına püskürtülen yakıt, çok sayıda ve çeşitli çapta damlacıktan meydana gelen yakıt demetini oluşturur. Püskürtme işlemi sırasında, püskürtme basıncı, enjektör deliğinin etkin kesit alanı ve püskürtülen yakıtın debisi değişim gösterebilmektedir. Ayrıca yakıt demetinin farklı bölgelerinde geçerli olan farklı atomizasyon mekanizmaları nedeniyle, bu bölgelerdeki damlacıkların çapları ve hızları da birbirlerinden farklı olmaktadır. Yakıt demetinin herhangi bir konumundaki çap dağılımı, buraya ulaşan damlacıkların başlangıç konumlarından, başlangıçtaki çaplarından ve hız bileşenlerinden etkilenmektedir [51].

Enjeksiyon basıncının artması ile yakıtın enjektörden çıkış hızı da artarak yakıt tanecik çapının küçülmesine ve taneciklerin dağılım aralığının da azalmasına sebep olmaktadır. Küçük çaplı taneciklerin ataleti büyük çaplı taneciklere göre daha düşük olduğundan nüfuz derinliği daha kısa olur. Bunun sonucunda tutuşma gecikmesi kısalır. Tanecikler yanma odasının her tarafına tamamen dağılmadan yanma başlayacağı için NO_x oluşumu azalacaktır. Püskürtülen dizel yakıtının yoğunluğu 830–950 kg/m^3'dir. Bu fiziksel özelliklere sahip olan yakıt, 0,15–1,0 mm çapları arasında değişen enjektör deliğinden yanma odası içerisine püskürtüldüğünde, başlangıçta 100 m/s mertebesinde hıza sahip bulunmaktadır. Bu durumda, yakıtın atomizasyonu sonucu ortalama 10–100 μm çaptaki damlacıklardan oluşan küçük yakıt demetlerini meydana getirmektedir [52].

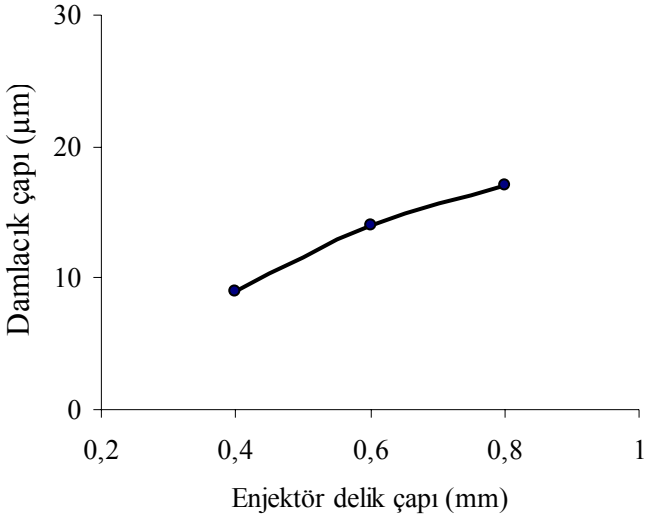


Şekil II.5 Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Yakıt Tanecik Çapının Değişimi [53]

Şekil II.5'de görüldüğü gibi enjeksiyon basıncı arttıkça yakıt damlacık çapı küçülmekte ve bu durum yakıtın daha kolay buharlaşmasına neden olmaktadır. Ancak, yakıt taneciği küçüldükçe ataleti de azaldığından yakıtın yanma odasındaki nüfuz derinliği azalabilmektedir. Silindir duvarlarına yakın bölgelerdeki havanın kullanılamaması nedeniyle yanma kötüleşebilmektedir. Düşük enjeksiyon basınçlarında damlacık çapının artması, yakıtın buharlaşmasının daha uzun zaman almasına neden olmaktadır. Bu durum yanmayı kötüleştireceğinden düşük enjeksiyon basıncında özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Enjeksiyon basıncı azaldıkça duman miktarı artmaktadır. Enjeksiyon basıncının azalmasıyla damlacık çapı artmakta ve yakıtın buharlaşması daha uzun zaman almaktadır. Karbon tanecikleri yanmalarını tamamlayabilmeleri için, gerekli süreyi bulamadıklarından is oluşumu hızlanmaktadır [51].

Yakıtın yanma odasına püskürtmeden önceki son durağı olan meme, elbette ki yanma işlevi için en önemli belirleyici elamandır. Standart olarak bir iğne ve gövdeden oluşan ve alan farkları kullanarak, yay kuvvetini yenerek hızla yükselen iğne ile yakıt meme deliklerinde basınçlı bir şekilde püskürür. Meme, enjeksiyon sistemlerinin en etkin sistem parçacığını göstermektedir. Meme içerisindeki delik çapı, delik sayısı ve deliklerin konumlandırılması, iğne oturma çapı, kör delik hacmi v.b parametreler motor performans ve emisyon karekteristiklerini etkilemektedir. Enjektör delik çapı ile püskürtülen yakıt huzmesi arasında ters yönde bir ilişki

bulunmaktadır. Şekil II.4'de enjektör delik çapının ortalama damlacık çapına etkisi görülmektedir. Ayrıca, silindir basıncı ve ortam yoğunluğu da ortalama damlacık çapını doğrusal olarak etkilemektedir [54]



Şekil II.6 Enjektör Delik Çapının Ortalama Damlacık Çapına Etkisi [53]

İçten yanmalı motorlarda, püskürtme basıncının artırılması sonucunda CO, HC ve is emisyonlarında azalma sağlanırken NO_x emisyonunda artma gözlemlenmiştir. Püskürtme basıncı arttıkça damlacık çapı küçülmekte ve hava ile temas eden yüzey arttığından karışım iyileşmekte ve buna bağlı olarak da CO, HC ve is emisyonları azalmaktadır. Yakıtın daha iyi atomize olması ve karışımın iyileşmesi yanma sonu sıcaklıklarını yükseltmekte dolayısıyla NO_x oluşumu hızlanmaktadır [25].

II.5. BİYODİZEL KULLANIMI VE PÜSKÜRTME BASINCININ PERFORMANS VE EMİSYON ETKİLERİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Biyodizelin dizel motorlarda kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Shimada ve arkadaşları çalışmalarında, dizel motor yakıtına alternatif olan biyodizel yakıtının kullanım olanakları araştırmışlardır. Bu amaçla; hacimsel olarak %25, %50 ve %75 oranlarındaki biyodizel-dizel yakıt karışımları tek silindirli, dört zamanlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorda kullanılmış, motor performansı, egzoz

emisyonları ve motor elemanları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçları, biyodizelin motor yapısında değişiklik yapmadan yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir [55].

Bir çalışmada, transesterifikasyon metodu kullanılarak biyodizel üretilmiştir. %100 biyodizel (B100) ve %50 biyodizel-%50 dizel yakıtı (B50) karışımları tek silindirli, dört zamanlı ve ön yanma odalı bir dizel motorda farklı motor hızlarında test edilmiştir. Test sonuçlarına göre, biyodizel ve karışım yakıt kullanılması durumunda motor momenti ve gücü azalmış, özgül yakıt tüketimi artmıştır. B100 ve B50 yakıtı ile CO emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında ise artış görülmüştür. Yapılan kısa süreli deneylerde B100 ve B50 yakıtları dizel motorunda bir sorun oluşturmadan alternatif yakıt olarak kullanılmıştır [56].

Yapılan benzer bir çalışmada, biyodizel hacimsel olarak %60 oranında dizel yakıtı ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışım, tek silindirli, hava soğutmalı bir dizel motorunda farklı devir ve püskürtme basınçlarında denenmiş ve motor performansına etkisi incelenmiştir. Biyodizel-dizel yakıtı karışımıyla elde edilen momentin %2, efektif gücün %3 oranında dizel yakıtından daha düşük olduğu, özgül yakıt tüketiminin ise yaklaşık %4 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir [57].

Lague ve arkadaşları deneysel çalışmalarında, hacimsel olarak %20 ve %50 oranında atık bitkisel yağ-dizel karışımlarının ön yanma odalı bir dizel motorunda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. İlk 200 saat ve her 200 saatlik kullanımdan sonra motor sökülmüş, piston segmanları değiştirilmiş ve silindirler honlama işlemine tabi tutulmuştur. Önce dizel yakıtı, sonra %20-80 ve son olarak da %50-50 biyodizel-dizel karışımları test edilmiştir. Soğuk havalarda karışımlar kullanılırken, 10 ^{o}C sıcaklıkta bile ilk çalıştırma şartlarında sorun yaşanmamıştır. Özgül yakıt tüketimi dizel yakıtında 273,26 g/kWh, %20-80 karışımda 277,45 g/kWh, %50-50 biyodizel karışımda ise 290,12 g/kWh olarak belirlenmiştir. Karışımlar motorda, dizel yakıtına nazaran daha çok karbon birikintisine sebep olmuştur. Ancak bu fazlalık, piston segmanlarının yapışmasına ya da pistonun hareketini zorlaştıracak bir etkiye sebep olmamıştır. Yapılan bu çalışmayla, atık yağların ön yanma odalı bir dizel motorunda kullanılabileceğini ifade etmişlerdir [58].

Karaosmanoğlu araştırmasında, atık kızartma yağının seyreltme tekniği ile viskozitesini düşürmüş ve çeşitli karışımlar üreterek, bu karışımların fiziksel özelliklerini irdelemişlerdir. Araştırmalarının sonucunda %40 oranında biyodizel içeren karışımların dizel yakıtı yerine kullanılabileceğini belirtmişlerdir [26].

Emisyonlara yönelik deneysel bir çalışmada, Biyodizel-dizel karışımlarının motor performansı ve emisyonlara etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmada viskozite düşürme yöntemleri olarak, seyreltme ve transesterifikasyon yöntemleri deneme amaçlı yetiştirilen aspir bitkisi yağına uygulanmış, yapılan deneyler ile biyodizelin dizel yakıtına alternatif bir yakıt olup olmadığını araştırılmıştır. Deneyler sonucunda, efektif güç açısından dizel yakıtına yakın değerler elde edilmiş, emisyon değerlerinde ise azalma görülmüştür [59].

Diğer bir araştırmada, biyodizel yakıtını tek silindirli, direkt püskürtmeli, 5,5 kW gücünde dört zamanlı bir dizel motorunda kullanarak performans ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Araştırmada çalışmalar iki ana bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde biyodizel yakıtı, dizel yakıtına hacimsel olarak %20, 40, 60, 80 oranlarında karıştırılarak seyreltilmiştir. Testlerde ikinci bölümünde ise devir sayılarına bağlı olarak, dönme momenti, emisyon değerleri ve yakıt tüketim değerleri ölçülmüştür. Biyodizel kullanımı ile motor momenti ve gücünde dizel yakıtına kıyasla az da olsa düşüşlerin meydana geldiği belirlenmiştir. Biyodizel kullanımı ile CO, HC ve is emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında ise artma belirlenmiştir [60].

Çelikten ve arkadaşları çalışmalarında, dizel yakıtına alternatif olarak kullanılan biyodizel yakıtının performans ve emisyon değişimlerini incelemişlerdir. Biyodizel-dizel yakıt karışımları, 4 zamanlı ve 4 silindirli direkt püskürtmeli dizel motorunda denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; biyodizel yakıtının kullanımı ile motor performansı, duman koyuluğu ve CO emisyonunda azalma, NO_x emisyonlarında ise artma tespit edilmiştir [61].

Benzer bir çalışmada, biyodizel yakıtının motor performans, yanma ve püskürtme karakteristikleri incelenmiştir. Doğal emişli ve direkt püskürtmeli bir dizel motor 1000, 1500, 2000 d/d sabit motor hızlarında test edilmiştir. Test motorunda, biyodizel yakıt kullanımı ile motor gücünde ve ısıl verimde ortalama %2 oranında azalma meydana gelirken, özgül yakıt tüketiminde ortalama %6 oranında artış olmuştur. Biyodizel yakıtlarının kullanımı ile değişen püskürtme basınçlarında, biyodizel yakıt özellikleri ve yanma karakteristikleri incelendiğinde HC, CO ve duman koyuluğu emisyonlarında azalma meydana gelirken, NO_x emisyonlarında ise kısmen artış olmuştur [62].

Bir diğer araştırmada, dizel motorlarında alternatif yakıt olarak ülkemizde geniş bir üretim potansiyeli bulunan biyodizel kullanılmıştır. Yapılan deneylerde, %100

dizel, %50 dizel yakıtı %50 biyodizel ve %100 biyodizel yakıtları bir dizel motorunda çeşitli devir ve yük konumlarında teste tabi tutulmuştur. Deneylerden elde edilen sonuçlar; dizel motorlarda revizyona ihtiyaç duyulmaksızın, alternatif yakıt olarak biyodizelin kullanılabileceğini uygun olduğunu, biyodizelin ve yakıtının egzoz emisyonları açısından olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir [63].

Monyem ve arkadaşları biyodizelin oksitlenme kararlılığının motor performansı ve emisyonları üzerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, oksitlenmiş ve oksitlenmemiş biyodizel direkt püskürtmeli bir dizel motorunda test ederek 2 numaralı dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Deneyler sonucunda, 2 nolu dizel yakıtına kıyasla biyodizel %15,1 okside olmamış biyodizel %13,82 daha fazla yakıt tüketimi sergilediği görülmüştür. Egzoz emisyonları incelendiğinde, okside olmuş biyodizel %15, oksitlenmemiş biyodizel %28 oranında daha az CO, okside olmuş biyodizel %16, oksitlenmemiş biyodizel %51 oranında daha az yanmamış HC üretirken, okside olmuş biyodizel ile oksitlenmemiş biyodizel arasında is emisyonu ve NO_x üretiminde önemli bir fark olmadığı görülmüştür [64].

Geyer ve arkadaşları pamuk tohumu yağı, ayçiçeği yağı ve bunların metil esterleriyle yaptıkları çalışmada elde ettikleri yakıtları, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda denemişlerdir. Emisyon değerlerini inceledikleri çalışmalarında, tam yükte ayçiçeği yağı hariç diğer bitkisel yağların partikül maddelerinin, dizel yakıtından daha fazla ve metil ester yakıtların partikül maddelerinin, dizel yakıtından daha az miktarda çıktığını tespit etmişlerdir [65].

Koçak çalışmasında, fındık yağı metil esterinin dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımını deneysel olarak incelemiştir. Fındık yağı metil esteri, kurulan reaktör düzeneğinde üretilip fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen fındık yağı metil esteri dört silindirli, direk püskürtmeli, turbo şarjlı bir dizel motorunda test edilmiştir. Yapılan çalışmada fındık yağı metil esteri ve dizel yakıtının moment ve güç değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermiştir. Fındık yağı metil esterinin CO, CO_2, NO_x ve duman koyuluğu emisyonlarının da dizel yakıtına göre daha düşük olduğu belirlenmiştir [66]

Bir çalışmada, dizel motor yakıtına alternatif olan biyodizel yakıtı tek silindirli dört zamanlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılarak, motor performansı ve motor elemanları üzerindeki etkileri dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada; %75 biyodizel ve %25 dizel karışımı ile dizel yakıt olarak kullanılmıştır. Karışım yakıt kullanıldığında, motorun düzensiz,

sarsıntılı ve sesli çalıştığı görülmüştür. Motorun yakıt püskürtme basıncı artırılarak tekrar kullanılan karışım yakıt ile motor çalıştırılmış ve motorine yakın performans değerleri vermiştir. Ayrıca; biyodizel yakıtı ile çalışmada motorine nazaran motor elemanlarında normalden fazla is ve kurum oluştuğu görülmüştür [67].

Keskin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri tek silindir bir dizel motorunda denemişlerdir. Hacimsel olarak %90 biyodizel-%10 dizel karışımının dizel motorda herhangi bir değişiklik yapmadan olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Biyodizel yakıt karışımı çok az kükürt içermesi, setan sayısının yüksek olması, ısıl değer, yoğunluk, viskozite, akma noktası ve bulutlanma noktası gibi yakıt özelliklerinin dizel yakıtı değerlerine yakın olması önemli avantajlar sağladığı belirlenmiştir. B90 yakıtı ile elde edilen performans değerlerinin motorin yakıtı ile elde edilen değerlere çok yakın olduğunu gözlemlenmişlerdir. B90 yakıtının kullanımında tork ve güç değerlerinde meydana gelen maksimum azalma miktarları sırasıyla %2,99 ve %2,94 oranında olmuş, özgül yakıt tüketimi değeri ise ortalama %7,63 oranında artmıştır. B90 yakıtı ile CO emisyonu değerlerinde %35,44'e kadar, duman emisyonları değerlerinde ise %13,27'ye kadar varan azalmalar olduğunu, bununla birlikte, NO_x emisyonlarında %13,29 oranına kadar artışlar olduğunu gözlemlenmiştir [68].

Diğer taraftan, püskürtme basıncının motor performansı ve emisyonları etkisi üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Dört zamanlı, tek silindirli ve silindir hacmi 754 cm^3 olan bir dizel motorunda, enjeksiyon basıncı, maksimum yakıt miktarı ve hava filtresi tıkanıklığının motor performansı ve duman koyuluğuna etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Enjeksiyon basıncının belirli bir sınıra kadar arttırılması ile moment ve güçte bir miktar artış sağlanırken, özgül yakıt tüketimi ve is oluşumu azalmaktadır. Ayrıca maksimum yakıt miktarındaki artış ile moment ve güçte artış sağlanırken, duman koyuluğunu da artırmaktadır. Hava filtresindeki tıkanıklık ise moment ve güçte azalmaya sebep olurken is oluşumunu da artırmaktadır [51].

İçingür ve Altıparmak deneysel çalışmalarında, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda farklı setan sayısı ve püskürtme basınçlarının (100, 150, 200 ve 250 bar) performans ve emisyonlar üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deneylerde standart püskürtme basıncı için setan sayısı artırıldığı zaman NO_x emisyonlarında %15 ve CO emisyonlarında ise %5 azaldığı görülmüştür. Püskürtme basıncının 100 bar'a düşürülmesiyle is emisyon değerinde artma görülmüştür. 250 bar püskürtme

basıncında ise is emisyonlarında azalmalar görülmüştür [11].

Bir diğer çalışmada, dört zamanlı, dört silindirli, turbo şarjlı ve ön yanma odalı bir dizel motorunda, püskürtme basıncının ve CO_2 konsantrasyonunun motor torku, motor gücü, ortalama efektif basıncı, özgül yakıt tüketimi, CO, duman koyuluğu ve NO_x emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneyler 2500 d/d sabit motor hızında 150 ile 225 bar arasında değişen püskürtme basınçlarında gerçekleşmiştir. 170 bar püskürtme basıncında motor torku ve gücü için en yüksek değer, özgül yakıt tüketimi için en düşük değer elde edilmiştir. Püskürtme basıncının arttırılmasıyla duman koyuluğu ve CO emisyonlarında azalmalar görülmüştür [69].

Keskin, tek silindirli, dört zamanlı ve direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda püskürtme basıncı (100, 150, 175, 225 ve 300 bar) ve maksimum yakıt miktarının motor performansı ve is emisyonlarına etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Deney sonuçlarına göre, püskürtme basıncının artması ile moment ve güçte bir miktar artış, yakıt ekonomisinde iyileşme ve is emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Ancak püskürtme basıncının belirli bir değerden daha fazla artırılması durumunda motor performansının olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir [70].

Pireli çalışmasında, tek silindirli bir dizel motorunda tam yükte ve değişik püskürtme basınçlarında (200, 215 ve 230 bar) biyodizel-dizel karışımlarının (%25, %50 ve %75) motor performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Deneyler sonucunda, biyodizel-dizel karışımlarında püskürtme basıncı arttıkça moment ve güç de artış, özgül yakıt tüketiminde ise azalma görülmüştür [71].

Topgül yüksek lisans tezinde, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda sabit püskürtme avansı ile farklı püskürtme basınçlarının (20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34 ve 36 MPa) motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneyler sonucunda, 27,5 MPa püskürtme basıncında motor momentinin en yüksek değerini aldığı, özgül yakıt tüketiminin azaldığı ve emisyonların en düşük düzeyde gerçekleştiği görülmüştür [72].

Salman ve arkadaşları deneysel çalışmalarında, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda 2400, 3000 ve 4500 d/d sabit motor hızlarında, püskürtme basıncının 20 MPa'dan 35 MPa'a artırılmasının motor performansına, soğutma suyu ve egzoz gazı yoluyla kaybedilen ısı enerjisine etkisini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda, 2400 d/d motor hızında ve 27,5 MPa püskürtme basıncında maksimum moment ve minimum özgül yakıt tüketimi elde edilmiştir [7].

Çelikten deneysel çalışmasında, dört zamanlı, dört silindirli, ön yanma odalı,

aşırı doldurmalı bir turbo dizel motorunda farklı motor yüklerinde ve değişik püskürtme basınçlarının (100, 150, 200 ve 250 bar) motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, O_2, SO_2 ve CO_2 emisyonlarını iyileştirmek için püskürtme basıncının artırılması, NO_x ve is emisyonlarını iyileştirmek için ise püskürtme basıncının azaltılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir [73].

Puhan ve arkadaşları biyodizel ile yapmış oldukları çalışmada, biyodizel yakıtını DI enjeksiyonlu bir dizel motorunda çeşitli püskürtme basınçlarını (200, 220 ve 240 bar) kullanarak püskürtme basınçlarının motorun yanma karakteristiğine ve emisyonlar üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deney sonuçlarına göre püskürtme basıncının artırılması ile CO, HC ve is emisyonlarında azalmalar görülmüştür [74].

Kulakoğlu yüksek lisans çalışmasında, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı ve sıkıştırma oranı 18/1 olan bir dizel motoru kullanmıştır. Deneylerde kullanılan test motorunun standart püskürtme basıncı değeri 200 bar'dır. Deneyler, üç farklı püskürtme basıncı (180, 200 ve 220 bar), sabit motor devri (2200 d/d) ve dört farklı motor yükünde (5, 10, 15 ve 20 Nm) gerçekleştirilmiştir. Deneylerde %5, 10 ve 15 oranındaki metanol-dizel yakıt karışımlarını kullanmıştır. Deney sonuçlarına göre; her bir püskürtme basıncı değeri için karışım içerisindeki metanol miktarının artması ile özgül yakıt tüketimi ve NO_x emisyonlarında artma; efektif verim, CO, HC ve is emisyonlarında ise azalma tespit edilmiştir. Püskürtme basıncının motorun standart değerinin üzerine çıkarılması ya da azaltılması durumunda özgül yakıt tüketiminde artma, efektif verim de ise azalma olmaktadır. Püskürtme basıncının artırılması ile NO_x emisyonlarında artma; CO, HC ve is emisyonlarında azalma olmuştur [25].

Literatür taraması incelendiğinde, Biyodizel-dizel karışımı kullanılan bir dizel motorunda püskürtme basıncının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmediği görülmektedir. Yapılan bu çalışma ile literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM III

MATERYAL METOD

III.1. DENEYLERDE KULLANILAN YAKITLAR

Yapılan birçok araştırmaya göre kullanılan bitkisel yağlardan dizel yakıt özelliğine en çok yaklaşabilen bitkisel yağın seçimi, bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması önem arz etmektedir. Bu amaçla, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin dizel yakıtı ile karşılaştırılması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda, bitkisel yağlar içerisinde keten tohumu yağının en düşük viskoziteye sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak oksidasyon süresi çok düşük olduğundan kararsız bir yapı göstermektedir. Ayrıca setan sayısı düşük bir değerdedir. Yüksek setan sayısı, yüksek oksitlenme süresi, düşük viskozite, düşük donma noktası ve düşük akma noktası gibi özellikler biyodizel yakıtlarını dizel yakıtının alternatifi olarak ön plana çıkarmaktadır [64].

Biyodizel yakıtların viskoziteleri püskürtme sistemi açısından büyük önem taşımaktadır. Bilindiği gibi püskürtme pompası ve enjektörler çok küçük toleranslarla işlenmiş elemanlardır. Bu nedenle, yakıtın yağlama özelliği, bunların daha sağlıklı çalışması ve ömürleri açısından önem taşırmaktadır. Viskozitenin düşük olması durumunda, yakıt pompası içindeki hassas parçaların yeteri kadar yağlanamamasına ve parçaların doğrudan aşınmasına, viskozitenin çok yüksek olması ise yakıtın püskürtülmesi esnasında sorunlara yol açmaktadır. Çok iri damlalar teşekkül ederse bunlar tam yanamayacağından egzoz çok isli ve dumanlı olur. Dizel yakıtının en önemli problemlerinden birisi, önemli ölçüde karbon ve kül ihtiva etmesidir. Yanma sonunda oluşan bu atıklar silindir cidarları, segman ve supaplarda birikerek motor performansını olumsuz yönde etkiler. Akma noktası, yakıtın soğuk hava koşullarında, depodan motora gelmesi ve filtreden süzülmesi açısından önemlidir.

Biyodizel yakıtı, saf olarak dizel yakıtıyla hacimsel olarak %5, %20, %50 ve %100 oranlarında karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışımların çeşitli biyodizel yakıt üretim firmasından alınan biyodizel yakıtı, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalında bulunan motor test ünitesinde, tek silindirli,

dört zamanlı, hava soğutmalı bir dizel motorunda denenmiştir. Deneylerde kullanılan yakıtlara ait özellikler aşağıdaki Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo III.1 Deneylerde Kullanılan Yakıtların Özellikleri

Özellikler	Biyodizel	Dizel(B0)
Kimyasal Formülü	$C_{19}H_{35}O_2$	$C_{13}H_{28}$
Mol Ağırlığı (g/kmol)	295	184
Kaynama Noktası (^oC)	238	235
Ady. Alev Sıcaklığı (^oC)		2054
Tutuşma Sıcaklığı (^oC)	415	300-350
Isıl Değeri (MJ/kg)	39,9	43,3
Yoğunluk (kg/m^3, 20^oC)	885	830
Gizli Buh. Isısı (kJ/kg)		620
Viskozite (mm^2s, 40 ^oC)	4,7	3,9
Buhar Basıncı (kPa, 38 ^oC)		0,34
Setan Sayısı	58	55
Stokiyometrik Y/H Oranı	18	14,70
H/C Oranı	1,84	2,15

Test motorunda, her bir yakıt türü için denemeye başlanmadan önce mutlaka dizel yakıtı ile boşta çalıştırılmış, diğer yakıt türlerinden yakıt kalıntısının kalmamasına dikkat edilmiş, pompa ve yakıt borularındaki yakıt boşaltılarak veya yakıt bitirilinceye kadar motor çalıştırılarak tüketilmiştir.

Deneylerde kullanılan biyodizel-dizel karışımları aşağıdaki gibidir.

B0 **:** % 100 Dizel

B5 **:** % 5 Biyodizel + % 95 Dizel

B20 **:** % 20 Biyodizel+ % 80 Dizel

B50 **:** % 50 Biyodizel+ % 50 Dizel

B100 : % Biyodizel



Şekil: III.1. Deneylerde kullanılan yakıtlar

III.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER

III.2.1. Deney Motoru ve Teknik Özellikleri

Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalında yapılan deneylerde, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, alttan kamlı, iki supaplı, sıkıştırma oranı 18/1 olan Lombardini 6 LD 400 marka bir dizel motor kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo III.2.'de verilmiştir.

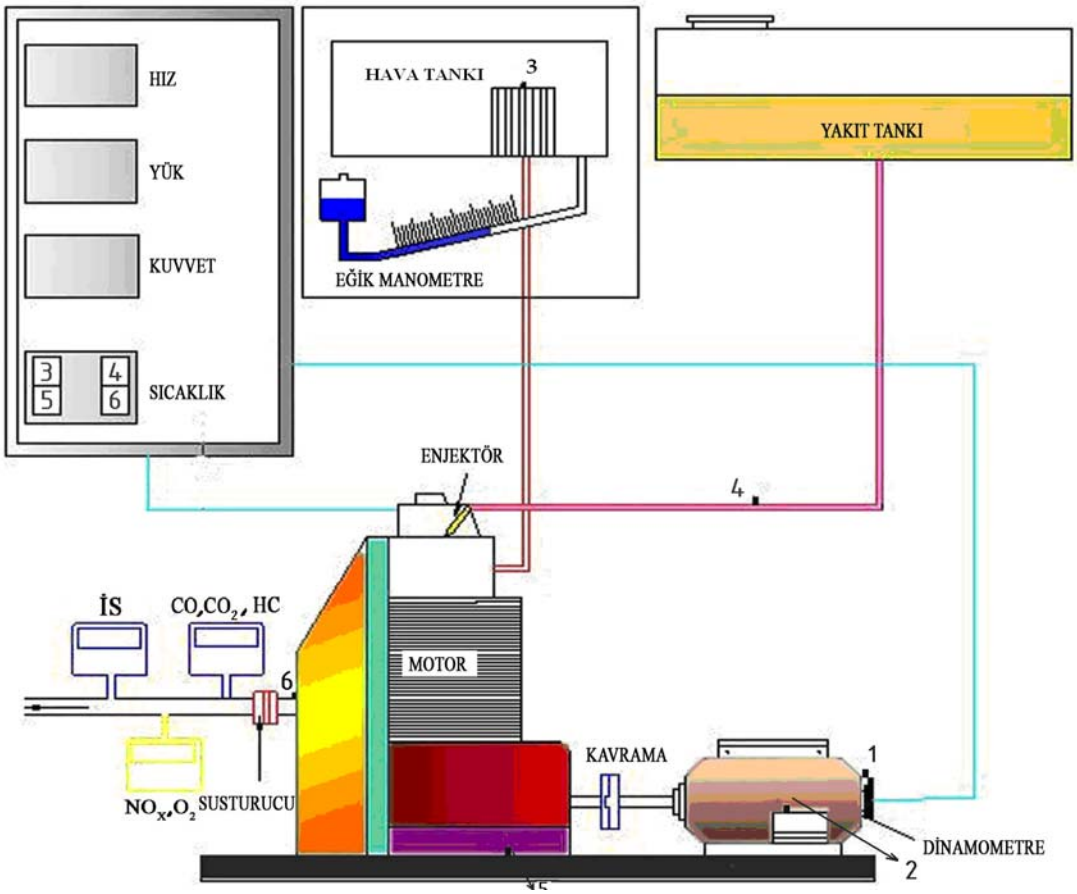
Tablo III.2. Deney Motorunun Teknik Özellikleri

Motorun Markası ve Modeli	Lombardini 6 LD 400
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	86 mm
Kurs, Stroku	68 mm
Sıkıştırma Oranı	18/1
Supap Düzenlemesi	Alttan kamlı, iticili, 2 supaplı
Soğutma Sistemi	Hava soğutmalı
Maksimum Devir	4000 dev/d
Maksimum Moment	21 Nm (2200 d/d)
Maksimum Motor Gücü	10 kW (4000 d/d)

III.2.2. Motor Deney Seti ve Dinamometresi

Dinamometreler yüklemede, motorun verdiği mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüşmektedir. Otomotiv anabilim dalındaki deneysel çalışmalarda CUSSONS P8160 marka tek silindirli motor dinamometresi kullanılmıştır. Bu tip dinamometrelerde motorların yüklenmesinde motorla birlikte çalışan bir elektrik motoru kullanılmıştır. Dinamometre, marş motoru gibi motora ilk hareketi veren, yanma olmaksızın tahrik etmede ve motorun yüklenmesinde kullanılabilmektedir. Dinamometre elektrik motoru ve içten yanmalı motorların monte edildiği kaynaklı çelik levha ve kontrol paneli olmak üzere iki ana üniteden oluşmaktadır.

Dinamometrede kullanılan elektrik motoru 2200 d/d'ya ayarlanmış ve maksimum motor yükü olarak 21 Nm ölçülmüştür. Doğru akım dinamometreleri, doğru akım elektrik motoruna bir muylunun monte edilmesiyle oluşmaktadır. Bu elektrik enerjisi bir direnç grubu üzerinden geçirilip ısı enerjisine çevrilebilmektedir. Yükleme sırasında direnç grubuna uygulanan gerilim ve akım ölçülerek jeneratörün gücü bulunur. Bu dinamometreler dirençler vasıtasıyla üretilen enerji harcayan ve 4000 d/d'da maksimum 10 KW yükleme yapabilme özelliğine sahiptir. Tork ölçümünde strengeyç yük hücresi sistemi kullanılmaktadır. Motor devri ölçümünde ise manyetik takometre kullanılmıştır. Deney setinin şematik görünümü Şekil III.2'de ve Şekil III.3'de verilmiştir [25].



1-Hız sensörü 3-Hava sıcaklık termokopulu 5-Yağ sıcaklık termokopulu

2- Kuvvet sensörü 4-Yakıt sıcaklık termokopulu 6- Egzoz sıcaklık termokopulu

Şekil III.2 Deney Setinin Şematik Görünümü



Şekil III.3 Deney Setinin Resmi

III.2. 3. Dinamometre Kontrol Ünitesi

Deneysel çalışmalarda kullanılan dinamometre kontrol paneli üzerinde motordan alınan verileri ve değişken parametreleri görünür hale getiren göstergeler bulunmaktadır. Bu göstergeler aşağıda sıralanmıştır;

1- Dijital hız göstergesi,

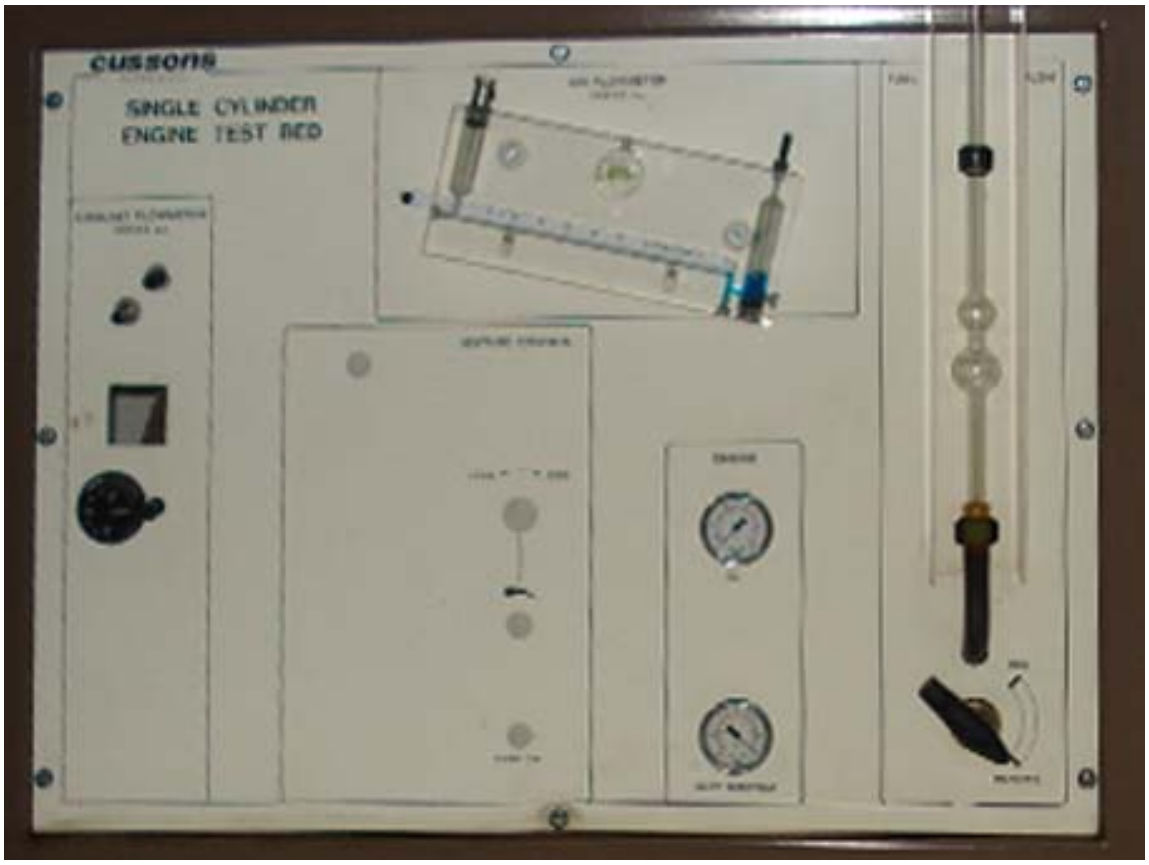
2- Dijital yük göstergesi,

3– Motor yağ basınç göstergesi,

4– Yakıt tüketimi ölçüm sistemi,

5– Hava akış ölçeri (orifis ve eğik manometre),

6– Sıcaklık göstergesi (emme havası, egzoz sıcaklık göstergesi, yağ, yakıt ve termokopullar).



Şekil III.4. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

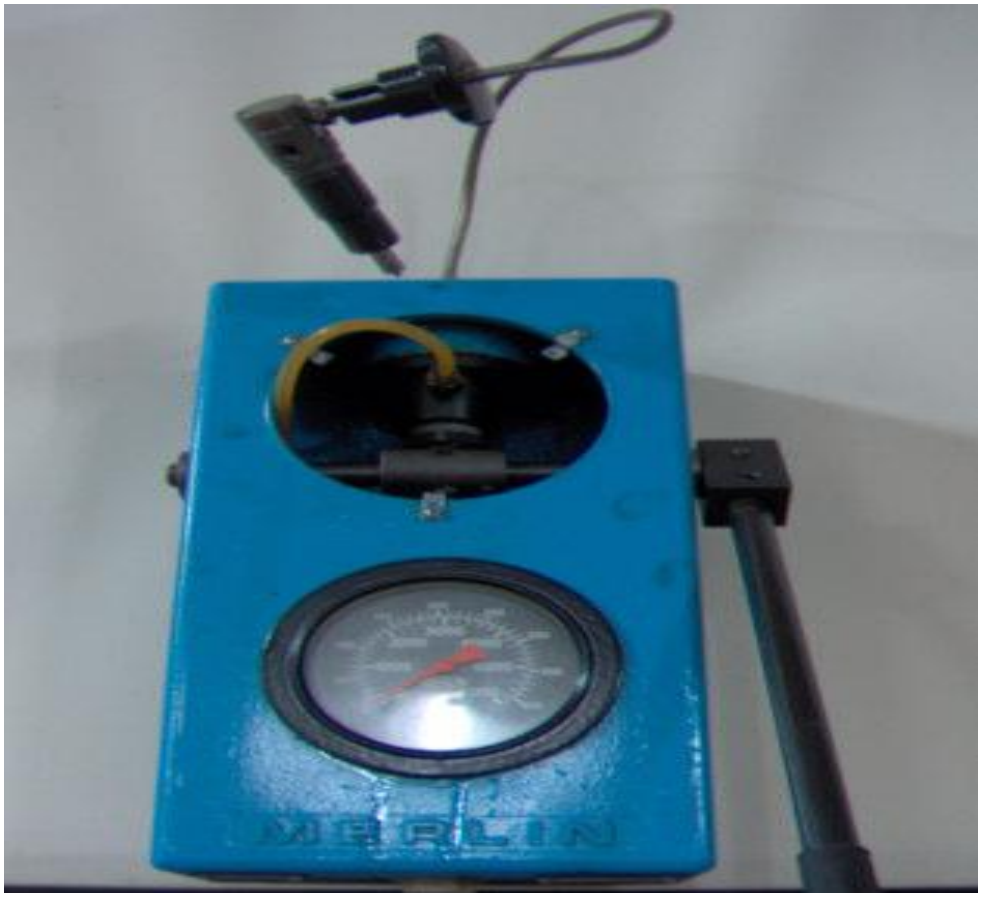
III.2. 4.Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

Deneysel çalışmalarda kullanılan dinamometreye bağlı kontrol paneli üzerinde yakıt tüketimini ölçmek için yakıtlar %100 biyodizel, %100 dizel ve biyodizel-dizel karışımları için hazırlanan düzenek; hacimsel yönteme göre çalışan 10 cm^3 ve 20 cm^3

hacmindeki ölçekli cam balonları, vanaları ve bunları birbirlerine bağlayan bağlantı hortumundan oluşmaktadır. Yakıt tüketimi ölçümünde 10 cm^3 hacmindeki cam balon kullanılmıştır. Yakıt tüketimi süresinin ölçümü %1 hassasiyetinde ölçüm yapabilen bir dijital kronometre ile yapılmıştır. Ölçüm değeri olarak saatlik yakıt tüketimi alınmaktadır. Şekil III.4'de yakıt ölçüm ünitesi ve yakıt depoları görülmektedir.

III.2. 5. Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı

Deney motorda kullanılan enjektörü her bir farklı karışımda ve farklı püskürtme basınç değeri için motordan sökülerek, püskürtme basınç ayar cihazında basınç değeri ayarlanmıştır. Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı, püskürtme basınç değerleri 0–400 bar arasında enjektöre ayar yapabilme yeteneğine sahip Merlin Marka cihaz kullanılmıştır. Enjektör püskürtme basınç ayar cihazı Şekil III.5'de görülmektedir.



Şekil III.5 Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı

III.2.6. Egzoz Gaz Analiz Cihazı

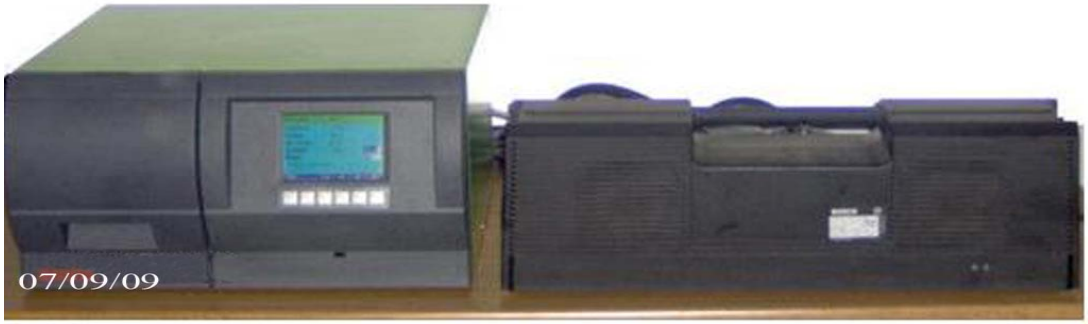
Egzoz emisyonları, çevresel kirleticiler olarak tanımlanmaktadır. Egzoz emisyonları ölçümü üç farklı test cihazı ile yapılmıştır. CO, HC, O_2 ve CO_2 kirleticilerin ölçümü için Sun MEA 1500 SL marka egzoz gaz analiz cihazı, NO_x emisyonu ölçümü için Kane-May Quintox marka egzoz gaz analiz cihazı ve is emisyonunu ölçmek için ise BOSCH marka egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Şekil III.6' da Sun MEA 1500 SL, Şekil III.7'de Kane-May Quintox ve Şekil III.8'de BOSCH marka egzoz gaz analiz cihazı görülmektedir.



Şekil III.6 Sun MEA 1500 SL Marka Gaz Analiz Cihazı



Şekil III.7 Kane-May Quintox Marka Gaz Analiz Cihazı



Şekil III.8 Is Emisyonu Için Kullanılan BOSCH Marka Gaz Analiz Cihaz

Deneylerde kullanılan cihazlara ait ölçüm aralıkları ve hata payları Tablo III.3' de verilmiştir.

Tablo III.3 Deneylerde Kullanılan Cihazların Ölçüm Aralıkları ve Hata Payları

Cihaz	Ölçülen Değer	Ölçüm Aralığı	Hata Payı
Cussons	Kuvvet	0–80 N	± 2 N
Cussons	Yakıt Tüketimi	0–20 cm^3	± 0,002 cm^3
Cussons	Sıcaklık	0–200 ^oC	± 1 ^oC
Sun 1500	HC	0–400 ppm	± 1 ppm
Sun 1500	CO_2	%0–15	% ± 0,1
Sun 1500	CO	%0–10	% 0, ± 1
Kane-May Quintox	NO_x	0–500 ppm	± 1 ppm
BOSCH	İs	%0,1–100	% ± 0,05

III.3.DENEYSEL ARAŞTIRMALARDA KULLANILAN ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

III.3.1. Emisyon Test Cihazı Kalibrasyonu

Deneylerde kullanılan Sun MEA marka emisyon test cihazı deneylerden önce tüm ayarlar yapıldıktan sonra kullanıma hazırlanmıştır. Ayrıca, Kane-May Quintox marka egzoz gaz analiz cihazı ve BOSCH marka egzoz gaz analiz cihazları içinde ayarlar yapıldıktan sonra kullanılmıştır.

III.3.2. Kuvvet Kalibrasyonu

Deney setine bağlı kuvvet dinamometre gövdesine bağlı koldan aldığı kuvveti kg cinsinden gösteren bir sensördür. Yük hücresi üzerine 1, 2 ve 5 kg'lık ağırlıklar konularak okunan değerler karşılaştırılmış ve yük hücresi ölçüm sistemi üzerindeki kuvvet elde edilmiştir.

III.3.3. Sıcaklık (Termokopl) Kalibrasyonu

Dinamometre kontrol panelindeki sıcaklık ölçümü için kullanılan termokopullar ile 0-100 ^{o}C değerler aralığında ölçüm yapabilmektedir. ASTM standartlarına uygun bir termometreyle beraber kaynama noktasına gelen su içerisine bırakılmıştır. Soğuma boyunca gerçek termometre sıcaklığı ile termokopullarda görülen sıcaklıklar karşılaştırılarak ölçüm değerlerin kalibrasyonu yapılmıştır.

III.4.DENEYSEL BELİRSİZLİKLERİN HESAPLANMASI

Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlardan geçerli ve güvenilir sonuçlar alabilmek için deney setinde alınan ölçümlerde hatalar saptanmıştır. Ölçüm hataları, ölçüm hatasının gerçek ölçüm değerine bölünmesiyle elde edilen sonuca ölçüm hataları denir. Denklemde Ψ_{bel}; genel değerin hataları; Ψ_{MH} ise, mutlak ölçüm hatasını ifade eder. Ψ sıcaklık, basınç ve kütlesel debi gibi diğer ölçülen değerleri gösterir. Bu hataların giderilmesi ile gerekli hata düzeltmeleri yapılır ve gerçek ölçüm değerlerine ulaşılır.

$$\Psi_{bel=}\frac{\Psi_{TM}}{\Psi}$$

III.4. 1. Sıcaklık Ölçümündeki Belirsizlikler

Deney sırasında kullanılan termometre 0,01 ^{o}C hassasiyetinde ölçüm yapmaktadır. Sıcaklık ölçümünün yapıldığı ortamın sıcaklığı değeri 20 ^{o}C'dir. Belirsizlik denkleminden yararlanılarak sıcaklık ölçümündeki belirsizlik, gerçek sıcaklık hatasının ortam sıcaklığına bölünmesiyle elde edilmektedir. Sıcaklık ölçüm belirsizliği;

$$T_{BEL} = \frac{\Delta T}{T} = \frac{0,01}{20} = \%0,05$$

III.4.2. Hava Yoğunluğunun Ölçümündeki Belirsizlikler

Hava yoğunluk hataların belirlenmesi sırasında 20 ^{o}C - 35 ^{o}C sıcaklık değerlerindeki hava yoğunluğu sırasıyla 1,170–1,230 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Havanın yoğunluğunun belirsizliği en fazla %5 civarındadır. Ölçüm değerinin %5 değeri alınarak ölçüm değerinden çıkarılarak gerçek ölçüm değeri bulunmaktadır. Ölçüm belirsizliği;

$$\varphi_{BEL} = \frac{\Delta\varphi}{\varphi} = \frac{1,230 - 1,170}{(1,230 + 1,170)/2} = \pm\%5$$

III.4. 3. Motor Yükü ve Devir Ölçümündeki Belirsizlikler

Motor yükü dinamometre ile kuvvet ölçülüp dinamometre kol uzunluğuna bağlı olarak hesaplanmaktadır. Motor yükü ölçüm hata payı %0,1'dir. Dinamometre ölçüm değerinden, ölçüm değerinin %0,1 alınıp, ölçme değerinden çıkarıldığında gerçek motor yükü elde edilmektedir. Motor yükü belirsizliği;

$$F_{BEL} = \frac{\Delta F}{F} = \frac{80 - 79,2}{(80 + 79,2)/2} = \%0,1$$

Motor devri manyetik takometre ile ölçülmüştür. Manyetik takometre ölçüm hata payı %0,1'dir. Ölçülen değerin %0,1 alınıp farkları alındığında gerçek ölçüm değeri bulunmaktadır. Motor devri belirsizliği;

$$n_{BEL} = \frac{\Delta n}{n} = \frac{2200 - 2178}{(2200 + 2178)/2} = \%0{,}1$$

III.4. 4. Yakıt Tüketimi Ölçümümdeki Belirsizlikler

Yakıt tüketimi, mekanik kontrollü hacimsel beherler ile yapılmıştır. Yapılan ölçmeler doğrultusunda ölçüm hata payı %0,2 olarak bulunmuştur. Ölçümler doğrultusunda ölçüm değerinin ölçüm hata payı alınarak ve gerekli işlemler yapılarak gerçek ölçüm değeri bulunur. Yakıt ölçüm belirsizliği;

$$V_{BEL} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{20{,}002 - 19{,}998}{(20{,}002 + 19{,}998)/2} = \%0{,}25$$

III.4. 5. Yakıt Yoğunluk Ölçümümdeki Belirsizlikler

Yakıt yoğunluğunun ölçüm hatalarının giderilmesi hava sıcaklık değerleri 20 ^{o}C–35 ^{o}C alınmıştır. Yakıt, ağırlığı ve basıncı belli bir kaba doldurulup tartılarak yoğunluk değerleri laboratuarda elde edilmiştir. Dizel için yoğunluk değerleri 0,830 kg/l ve 0,810 kg/l'dir. Yakıt yoğunluğunun hata miktarı %2'dir. Ölçüm hatası hesaplanarak gerçek ölçüm değerine ulaşılır. Dizel yakıt ölçüm belirsizliği;

$$\rho_{BEL} = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{0{,}830 - 0{,}810}{(0{,}830 + 0{,}810)/2} = \%0{,}2$$

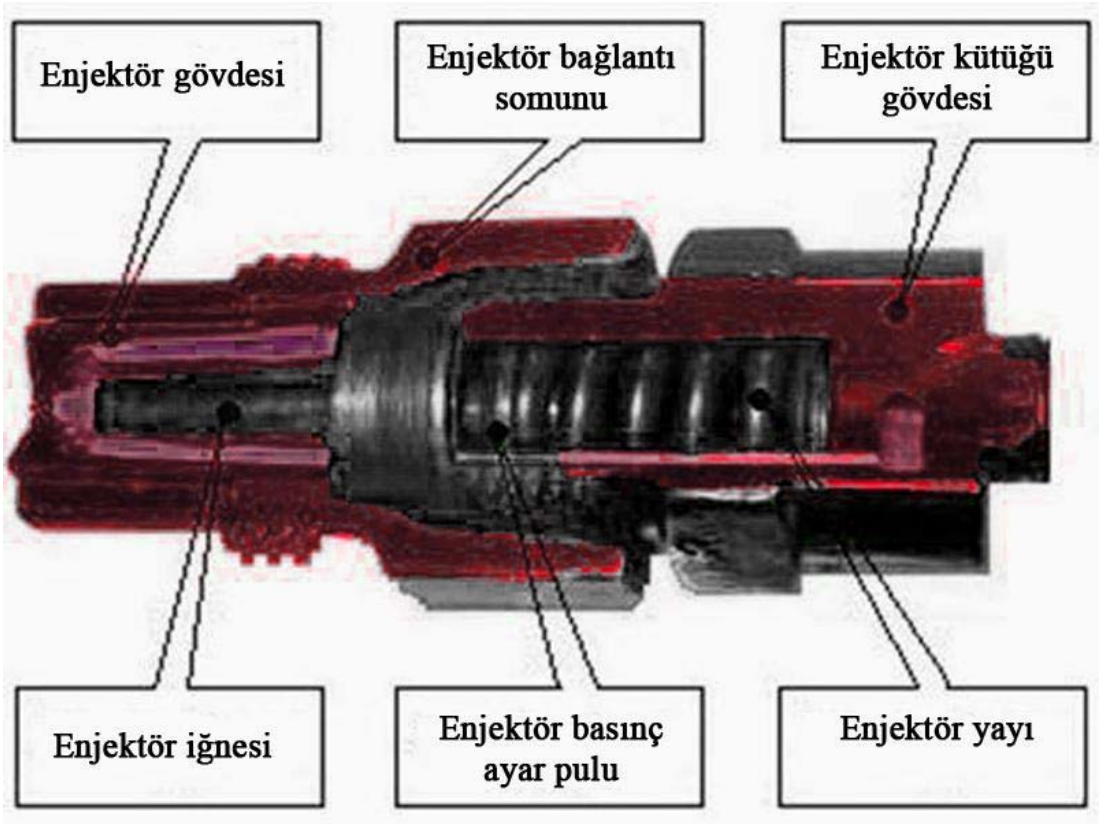
Biyodizel yakıt yoğunluğunun belirlenmesinde hava sıcaklık değerleri 20 ^{o}C- 35 ^{o}C alınmıştır. B20 karışımı için yoğunluk değerleri 0,881 kg/l ve 0,869 kg/l'dir. Ölçülen değerin hassasiyet yüzdesi alınır ve hesaplanan değerin ölçüm değerinden farkı alınarak gerçek ölçüm değeri bulunur. Biyodizel yakıtının belirsizliği;

$$\rho_{BEL} = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{0{,}881 - 0{,}869}{(0{,}881 + 0{,}869)/2} = \%1{,}3$$

III.5. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylere başlamadan önce test motorunun ayarları kontrol edilmiş ve test motoru çalışma sıcaklığı olan 85 ^{o}C'ye getirildikten sonra deneylere başlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan motorun STD püskürtme basıncı 200 bar'dır. Öncelikle deneyler STD püskürtme basıncı değerinde %100 dizel ve hacimsel olarak %5,

%20, %50 ve %100 oranında biyodizel-dizel karışımlarında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle deneyler STD püskürtme basıncı değerinde %100 dizel ve hacimsel olarak %5, %20, %50 ve %100 oranında biyodizel-dizel karışımlarında gerçekleştirilmiştir. Motor maksimum moment değerini ürettiği 2200 d/d sabit devirde çalıştırılarak dört farklı yük kademesinde (5, 10, 15, 20 Nm) ölçümler yapılmıştır. Motor test panelinde okunan ölçüm sonuçları kaydedilmiştir.



Şekil III.9. Deney Motoruna Ait Enjektör Kesiti

Dizel ve biyodizel yakıt karışımları (B0, B5, B20, B50 ve B100) ile yapılan çalışmada 180, 200, 220 ve 240 bar püskürtme basınç değerleri için sabit devir ve değişik yüklerde testler tekrarlanmıştır. Püskürtme basıncı, enjektör püskürtme basıncının değiştirilmesi suretiyle ayarlanmıştır. Şekil III.9'da deney motoruna ait enjektörün kesiti ve Şekil III.10.'da basınç ayar pulları görülmektedir. Enjektör

yayının altına konulan basınç ayar pulları artırılarak yada azaltılarak enjeksiyon basınç değeri değiştirilmiştir.



Şekil III.10 Basınç Ayar Pulları

III.6. DENEYLERE İLİŞKİN HESAPLAMALAR

III.6.1. Motor Momenti ve Gücü

Deneylerde motor test sistem panelinde okunan kuvvet, dinamometreye olan kol uzunluk değeri ile hesaplanan momenti ve moment değişkenine bağlı olarak motor gücü hesaplanmaktadır. Moment ve motor gücünü bir örnekle açıklayacak olursak; 200 bar püskürtme basıncında, B0 yakıtı ile yapılan testlerde 20 N motor yükünde ve 2200 d/d motor devrinde şu değerler elde edilmiştir;

- Moment

$M_d = F.b$ (Nm)'dir. (III.1)

M_d = Motorun ürettiği moment
F = Momente karşılık gelen kuvvet (N), 20 N'dir.
b = Moment kolu uzunluğu (m), moment kol uzunluğu b=0,25 m'dir.

M_d= 20.0,25 = 5 Nm olarak elde edilir.

Motorun Efektif Gücü;

$Ne = Md.\omega$ 'dir. (III.2)

Burada M_d, motor momenti; ω, açısal hızdır ve birimi rad/sn dir.

$\omega = 2.\Pi .n / 60'$ dır. (III.3)

Yukarıdaki denklemlerden de anlaşıldığı gibi denklem verileri yerlerine yazılırsa;

$$Ne = \frac{n.Md}{9549} \quad \text{(kW) olarak motorun efektif gücü elde edilir.} \qquad \text{(III.4)}$$

$$Ne = \frac{2200 \ .5}{9549} = 1{,}151 \ kW \quad \text{olarak elde edilmektedir.}$$

III.6.2. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketiminde, dizel ve diğer yakıt karışımıyla yapılan deneysel çalışmalarda en çok tercih edilen yöntem hacimsel yöntemdir. Kütle miktarı, hacim ve karışım yoğunluğunun çarpımıyla hesaplanmaktadır. Motor test laboratuarında, deney düzeneğindeki yakıt ölçme borusundaki 10 cm^3 yakıtı tüketim süresi dijital bir kronometre ile tespit edilerek birim zamanda tüketilen yakıt miktarı ve ölçülen motor gücüne bağlı olarak özgül yakıt tüketimi hesaplanmaktadır. Deneyde kullanılan yakıtların (B0, B5, B20, B50 ve B100) sırasıyla yoğunluk değişimleri 830, 832, 841, 857 ve 885 kg/m^3 olarak hesaplanıp her bir karışımın özgül yakıt tüketimi hesaplamasında bu veriler kullanılmıştır.

Özgül yakıt tüketimi;

$$bsfc = \frac{m_y.3600}{\Delta t.N_e} \quad \text{'dir.} \qquad \text{(III.5)}$$

Bu denklemde;

Δt= Zaman (sn)

m=Kütle miktarı (kg veya gram).

Kütle Miktarı (m) = Hacim (V_y) . Yoğunluk (ρ_y)

$$m = Vy.\rho_y \qquad \text{(III.6)}$$

Yukarıdaki denklem eşitliklerden yola çıkarak ve m kütle yerine aşağıdaki veriler yazılırsa;

$$bsfc = \frac{V_y.\rho_y.3600}{\Delta t.P_i} \quad \text{elde edilmektedir.} \qquad \text{(III.7)}$$

Örneğin; otomotiv anabilim dalı atölyelerinde deneysel test motoru üzerinde STD püskürtme basıncında, 2200 d/d ve 5 Nm deney şartlarında 857 kg/m^3 yoğunluğundaki B50 yakıtını tüketme süresi 100 saniyedir. Buna göre verilenleri denklem (III.8)'de yerine koyarsak özgül yakıt tüketimi;

$$bsfc = \frac{10^{-5} \cdot 857 \cdot 3600}{100 \cdot 1{,}151} \qquad \text{(III.8)}$$

bsfc = 0,268 kg/kWh = 268 g/kWh, olarak hesaplanır.

III.6.3. Efektif Verim

Efektif verim, motor milinden elde edilen gücün, yakıt ile motora verilmiş olan enerjiye oranı şeklinde tanımlanabilir. Yakıt ile motora verilen enerjiyi hesaplamak için yakıtın alt ısıl değerinden yararlanılır. Efektif verim hesaplanacak olursa;

Efektif verim;

$$\eta_e = \frac{1}{(bsfc) \cdot (Hu)_{KAR}} \qquad \text{(III.9)}$$

Burada, Hu karışımın alt ısıl değeridir ve birimi (kJ/kg)'dır. STD (200 bar) püskürtme basıncında B5 yakıtı için 15 Nm yükleme şartlarında efektif verimi hesap edecek olursak;

bsfc= 0,120 kg/kWh ve $(Hu)_{kar}$ = 41,850 MJ/kg

Buradan efektif verim;

$$\eta_e = \frac{1}{0{,}120 \cdot 43{,}130} = 0{,}1932 = \%19{,}32$$

BÖLÜM IV

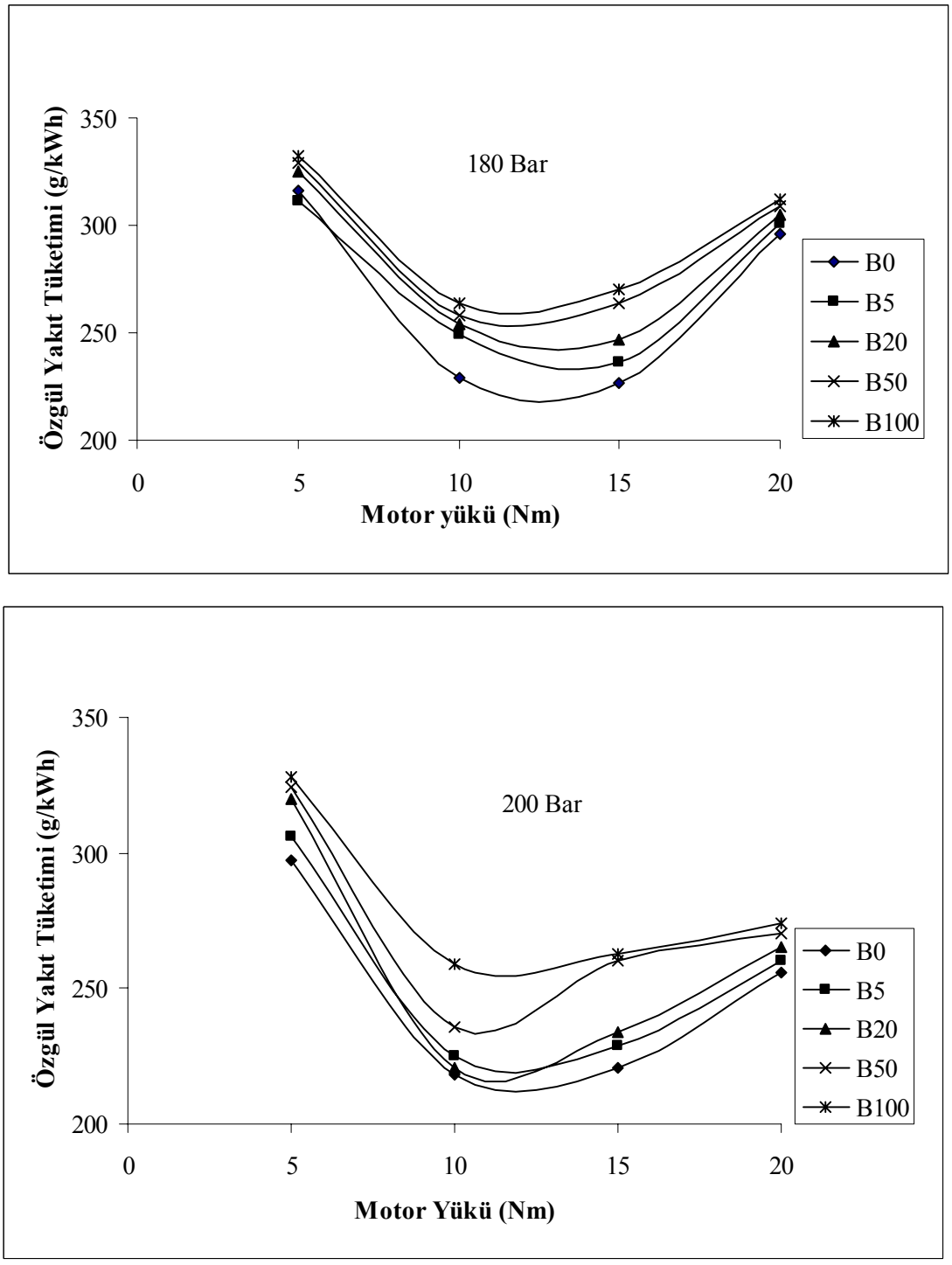
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

IV.1. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

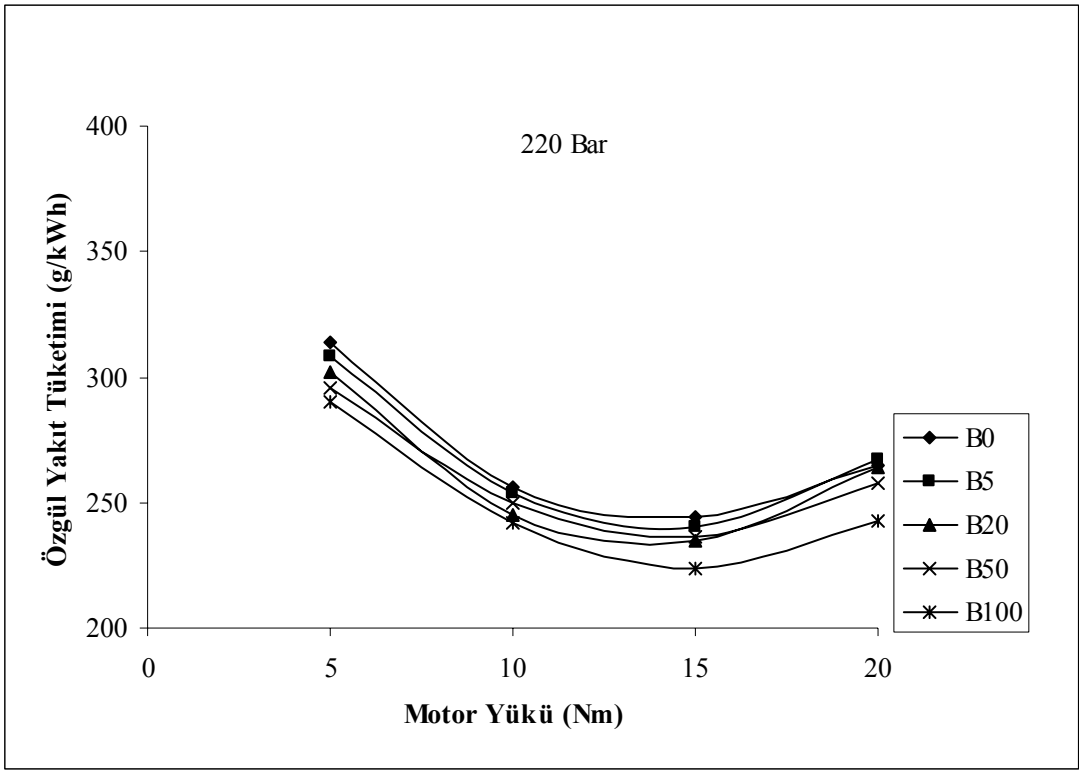
Özgül yakıt tüketimi, birim çıkış gücü başına tüketilen yakıt miktarı olarak tanımlanabilir. Şekil IV.1 ve Şekil IV.2 incelendiğinde karışım içerisindeki biyodizel miktarının artması ile özgül yakıt tüketiminin arttığı görülmektedir. Örnek olarak, 180 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükünde B0 yakıtının özgül yakıt tüketimi 310 g/kWh iken B5, B10, B20, B50 ve B100 yakıtlarının özgül yakıt tüketim değerleri sırasıyla 311, 325, 329 ve 332 g/kWh'dir. Özgül yakıt tüketiminin artmasının temel nedeni; biyodizelin enerji miktarının dizel yakıtının enerji miktarından daha düşük olmasındandır. Bunu başka bir şekilde ifade edecek olursak; biyodizel içeriğinde oksijen bulundurmasından dolayı alt ısıl değeri dizel yakıtının alt ısıl değerine göre daha düşük olmasıdır. Aynı zamanda, biyodizelin viskozite ve yoğunluğunun dizel yakıtına göre daha yüksek olması, aynı gücü elde etmek için daha fazla yakıtın harcanmasını gerektirmektedir ve dolayısıyla da özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Biyodizel kullanımıyla özgül yakıt tüketiminin artmasının diğer bir nedeni ise gizli buharlaşma ısısısın dizel yakıtından daha yüksek olmasıdır. Biyodizelin adyabatik alev sıcaklığının dizel yakıtından yüksek olması daha yavaş buharlaşmasına neden olmakta ve yanma performansı olumsuz yönde etkilemektedir. Sonuç olarak, özgül yakıt tüketimi artırmaktadır. [14,75].

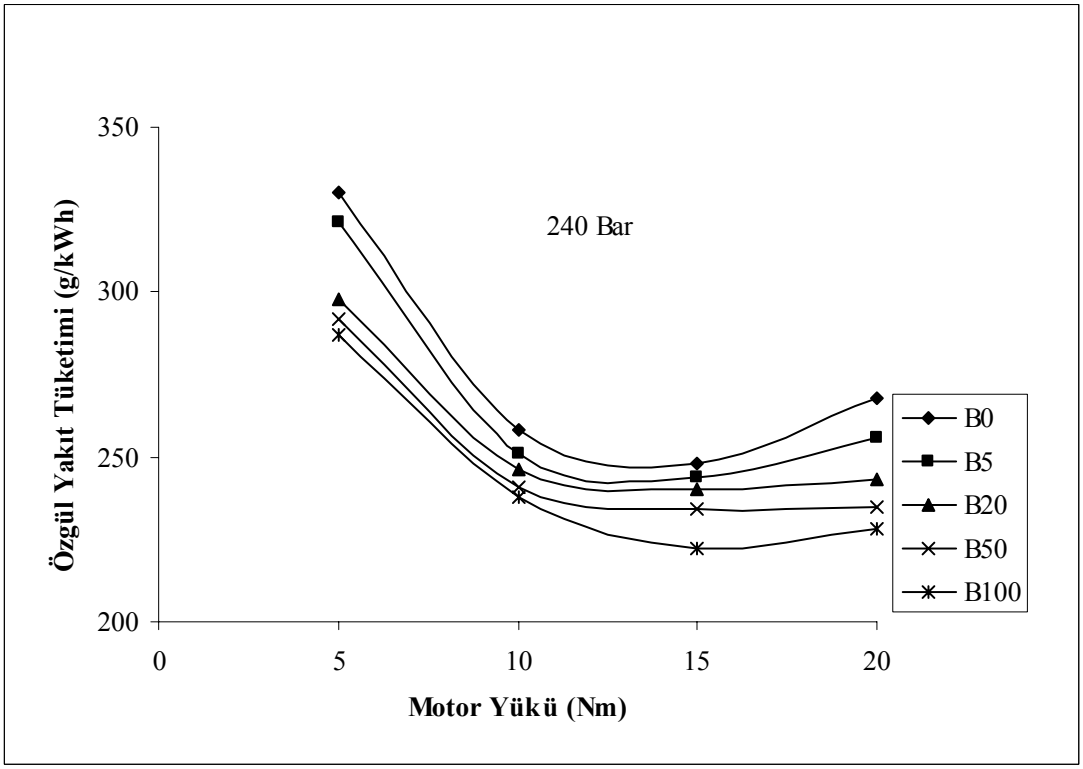
Şekil IV.1 ve Şekil IV.2'de özgül yakıt tüketiminin motor yüküne bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, motor yükünün belirli bir noktaya kadar artmasıyla özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Belli bir motor yükünden sonra ise artış meydana gelmektedir. Örneğin; B20 yakıtının 220 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükünde özgül yakıt tüketimi değeri 320 g/kWh iken 15 Nm motor yükündeki özgül yakıt tüketimi 221 g/kWh ve 20 Nm motor yükünde ise 265 g/kWh'dir. Dizel motorlarında, motor yükü silindirlere gönderilen yakıt miktarı ile

ayarlanmaktadır. Motor yükünün artması ile stokiyometrik yanma şartlarına yaklaşılmakta ve özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Ancak, 15 Nm motor yükünden sonra volümetrik verimin azalmakta ve bunun sonucu olarak özgül yakıt tüketimi artmaktadır.

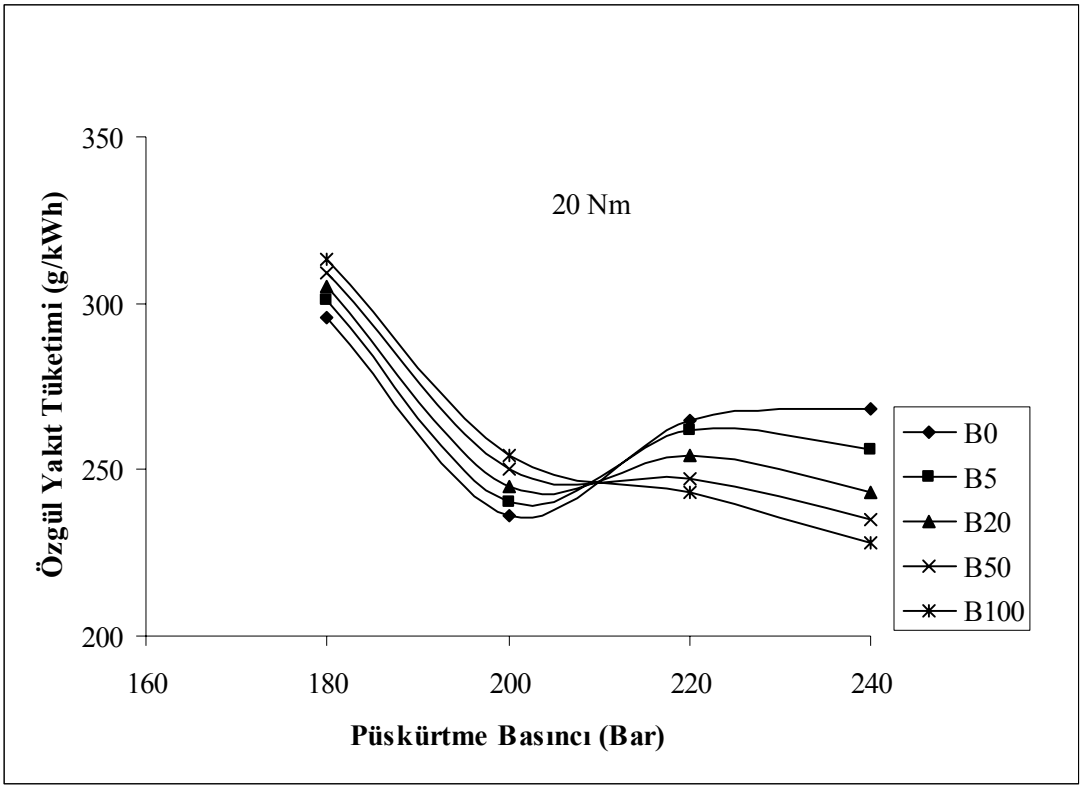


Şekil IV.1 180 ve 200 Bar Basınçta Özgül Yakıt Tüketimlerinin Motor Yüküyle Değişimi





Şekil IV.2 220 ve 240 Bar Basınçta Özgül Yakıt Tüketimlerinin Motor Yüküyle Değişimi



Şekil IV.3 20 Nm Motor Yükünde Özgül Yakıt Tüketimlerinin Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

Dizel motorlarında yakıt doğrudan yanma odasının içine bir enjektör vasıtasıyla püskürtülmektedir. Püskürtme basıncı, yakıt atomizasyonunu etkileyen temel parametredir. Atomizasyon formları yakıtın yanma niteliği hakkında bilgi vermekte ve atomizasyonun kötüleşmesi durumunda TG süresini arttırmaktadır. Şekil IV.3'de 20 Nm motor yükünde özgül yakıt tüketiminin püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Deney sonuçlarına göre, dizel yakıtı (B0) kullanımında püskürtme basıncının motorun STD değerinin üzerine çıkarılması ya da azaltılması durumunda özgül yakıt tüketimi artmaktadır. B0 yakıtının STD püskürtme basıncında özgül yakıt tüketim değeri 236 g/kWh iken 180 bar, 220 bar ve 240 bar püskürtme basıncında özgül yakıt tüketim değerleri sırasıyla 296 g/kWh, 265 g/kWh ve 268 g/kWh'dir. Özgül yakıt tüketiminin artmasının nedeni; püskürtme basıncı arttıkça yakıt damlacık çapı küçülmekte ve bu durum yakıtın daha kolay buharlaşmasına neden olmaktadır. Ancak, yakıt taneciği küçüldükçe ataleti de azaldığından yakıtın yanma odasındaki nüfuz derinliği azalabilmektedir. Silindir duvarlarına yakın bölgelerdeki havanın kullanılamaması nedeniyle yanma

kötüleşebilmektedir. Yüksek basınçlarda, özellikle yüksek girdap oranında özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Düşük püskürtme basınçlarında damlacık çapının artması, yakıtın buharlaşmasının daha uzun zaman almasına neden olabilmektedir. Bu durum yanmayı kötüleştireceğinden düşük püskürtme basıncında özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Biyodizelin dizel yakıtından daha yüksek yoğunluk ve viskozite değerine sahip olmasından dolayı biyodizel kullanımında püskürtme basıncının artırılması özgül yakıt tüketimi açısından olumlu sonuçlar vermiştir. Deney sonuçlarına göre, en düşük özgül yakıt tüketim değeri B100 yakıtında, 240 bar püskürtme basıncında ve 20 Nm motor yükünde 228 g/kWh olarak hesaplanmıştır [25,57].

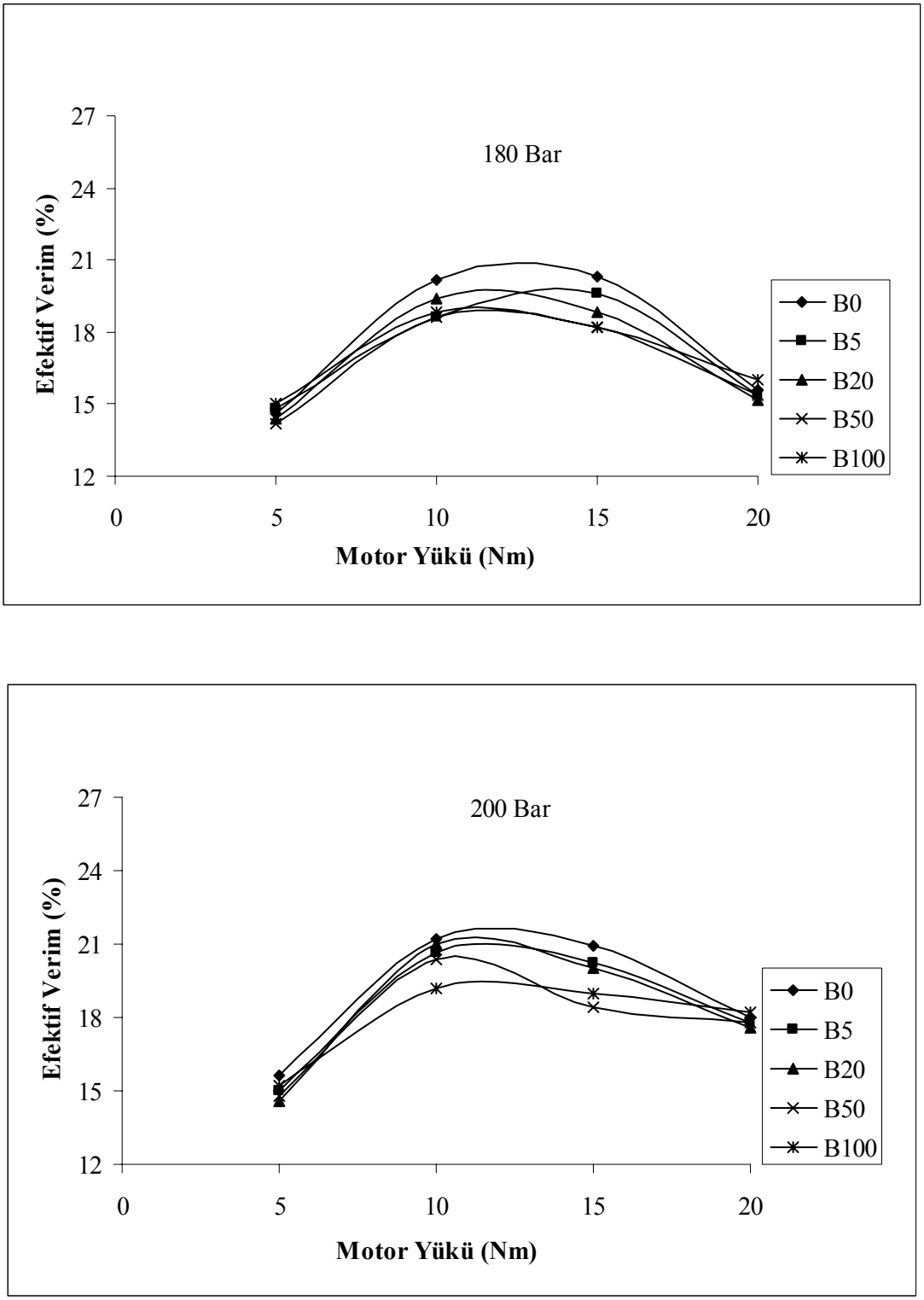
IV.2. EFEKTİF VERİMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Efektif verim, iş kayıplarından sonra motor milinden alınan enerjinin, motora verilmesi gereken toplam enerjiye oranı şeklinde ifade edilmektedir. Genel olarak motorlardan üretilen enerjinin ancak %27-35'i ancak kullanılmaktadır. Şekil IV.4 ve Şekil IV.5 incelendiğinde, karışım içerisindeki biyodizel miktarının artması ile efektif verimin azaldığı görülmektedir. Örneğin; B0 yakıtının STD püskürtme basıncında ve 20 Nm motor yükünde efektif verim değeri %18 iken B5, B10, B20, B50 ve B100 yakıtlarının efektif verim değerleri sırasıyla %17,8, %17,6, %17,8 ve %17,4'dür. Biyodizelin ısıl değerinin dizel yakıtının ısıl değerinden düşük olması nedeniyle karışımdaki biyodizel oranının artmasıyla birlikte aynı çıkış gücünü elde etmek için daha fazla yakıtın püskürtülmesine gerek duyulmakta, bununla birlikte efektif verim azalmaktadır.

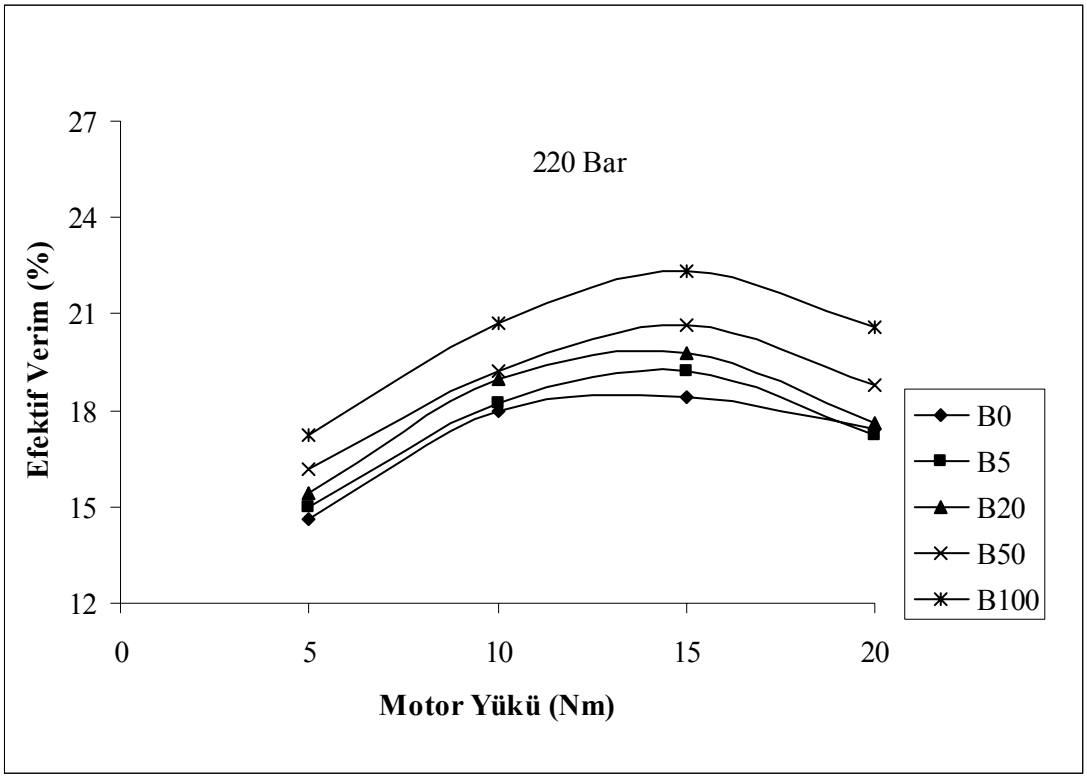
Denklem III.9'da görüldüğü gibi efektif verim değeri, özgül yakıt tüketimi ve karışımın ısıl değerinin artması ile azalmaktadır. Şekil IV.4 ve şekil IV.5 incelendiğinde, B5 yakıtının efektif verim değerinin, B0 yakıtından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun, özgül yakıt tüketimindeki artış miktarının, karışımın alt ısıl değerindeki azalma miktarından daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. [76].

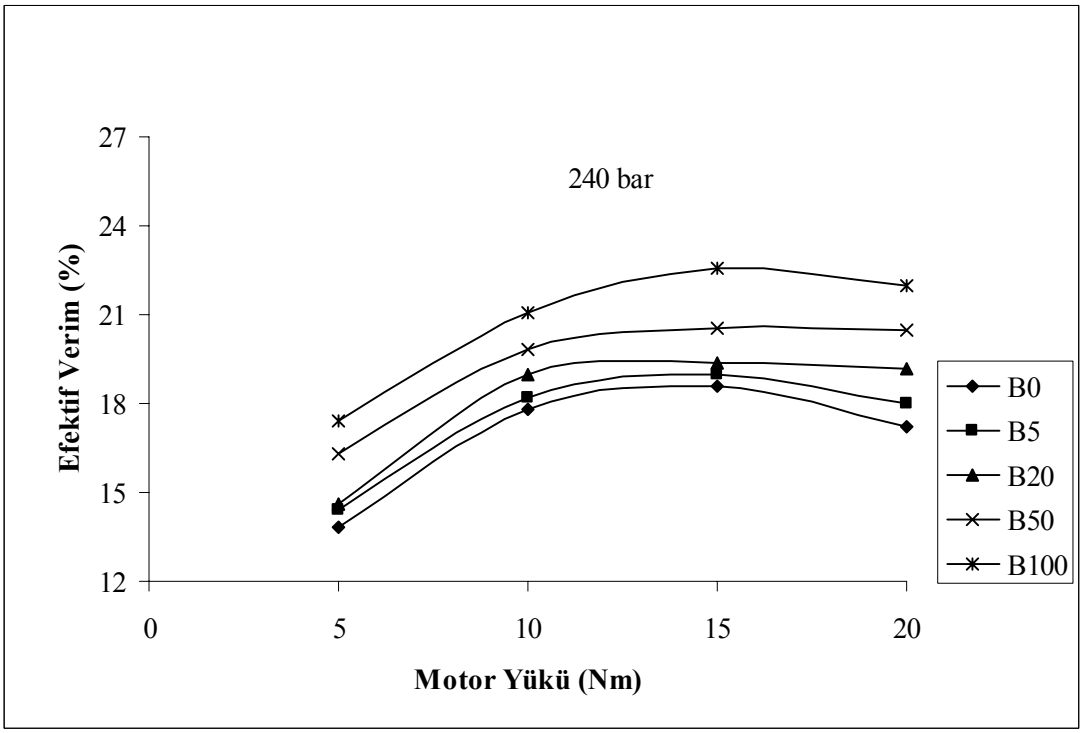
Şekil IV.4 ve Şekil IV.5'de efektif verimin motor yüküyle değişimi verilmiştir. Motor yüküne bağlı bir artış, beraberinde efektif verimi de artırmaktadır. Örnek olarak; B20 yakıtının 180 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükündeki efektif

verim değeri %14,4 iken 20 Nm motor yükündeki efektif verim değeri %15,2 olmaktadır. Motor yükünü artması ile özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Buna bağlı olarak da efektif verim artmaktadır [75].

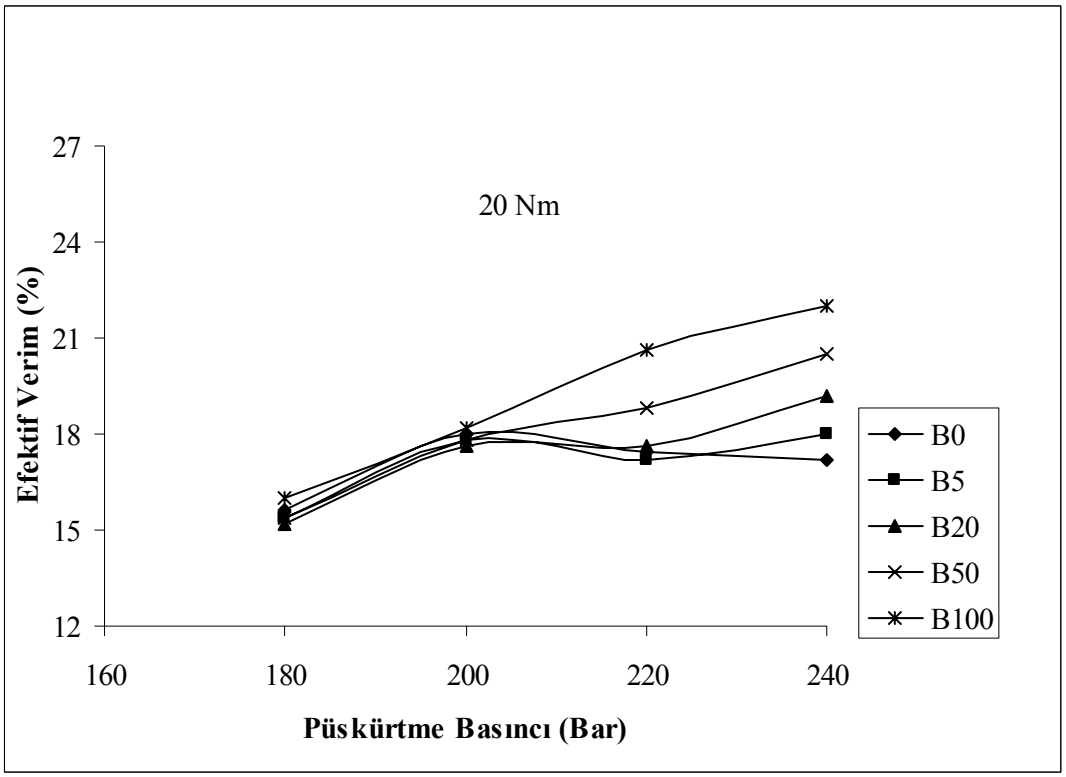


Şekil IV.4 180 ve 200 Bar Basınçtaki Efektif Verimlerin Motor Yüküyle Değişimi





Şekil IV.5 220 ve 240 Bar Basınçtaki Efektif Verimlerin Motor Yüküyle Değişimi



Şekil IV.6 20 Nm Motor Yükünde Efektif Verimlerin Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

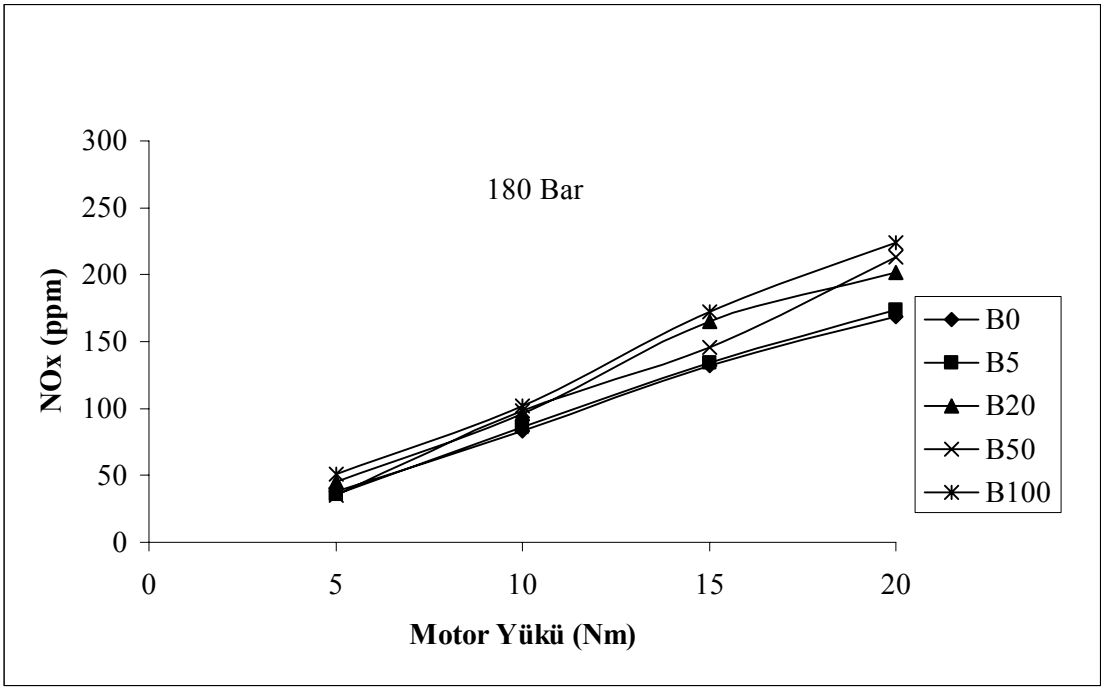
Şekil IV.6'de 20 Nm motor yükünde efektif verimin püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Motorlarda gerek çalışma şartlarında ve gerekse yanma sonucunda ısı kayıpları meydana gelmektedir. Bu durum ise istenmemekle beraber efektif verimi azaltmaktadır. Püskürtme basıncının motorun STD değerinin üzerine çıkartılması durumunda biyodizel yakıtının viskozite ve yoğunluğunun yüksek olmasından dolayı efektif verim artmaktadır. Örnek olarak; B100 yakıtının 220 bar püskürtme basıncında efektif verim değeri %20,62 iken 180 bar, 200 bar ve 240 püskürtme basıncında efektif verim değerleri sırasıyla %16, %18,2 ve %21,98'dir. Püskürtme basıncının artışı ile biyodizel yakıtında efektif verimde artma, dizel yakıtının efektif verimde ise azalma görülmektedir. Kullanılan yakıtların özelliklerine bağlı olarak biyodizel yakıtının yüksek basınçtaki enjeksiyonu yanma üzerinde olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Diğer taraftan, püskürtme basıncının azaltılması ile TG süresinin artması yanma performansını olumsuz yönde etkilenmekte ve efektif verim azalmaktadır. Deney sonuçlarına göre en yüksek efektif verim değeri B100 yakıtında, 240 bar püskürtme basıncında ve 15 Nm motor yükünde %22,54 olarak hesaplanmıştır [3].

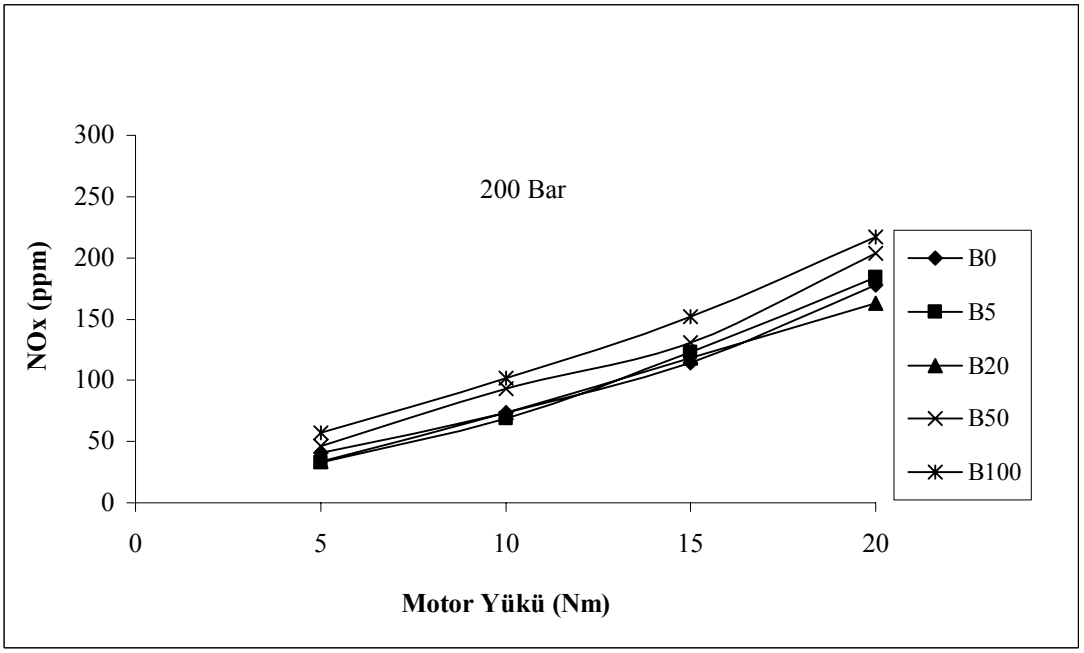
IV.3. AZOTOKSİT (NO_x) EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

İçten yanmalı motorlarda NO_x emisyonu havanın içerisinde buluna azotun yüksek sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girmesi sonucu meydana gelmektedir. NO_x emisyonlarını azaltabilmek için silindir içi sıcaklığının azaltılması gereklidir. [14,25,77].

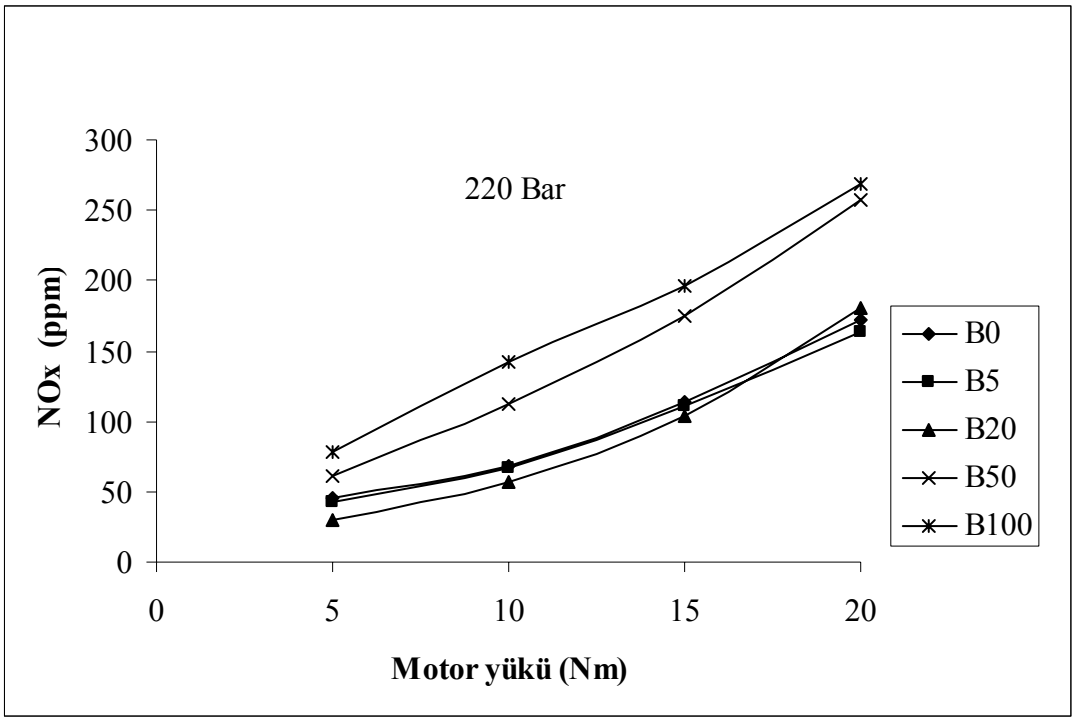
Şekil IV.7 ve Şekil IV.8 incelendiğinde motor yükünün artmasıyla NO_x emisyonlarının arttığı görülmektedir. Örnek olarak, STD püskürtme basıncında ve 10 Nm test şartlarında B0 yakıtının ürettiği NO_x emisyonu miktarı 74 ppm iken, 20 Nm motor yük şartlarında ürettiği NO_x emisyonunu miktarı 178 ppm'dir. Motor yükünün artması ile silindirlere daha fazla yakıt alınması yanma sonu sıcaklıklarını yükseltmekte bu eğilimde NO_x emisyonunun artmasına neden olmaktadır [30].

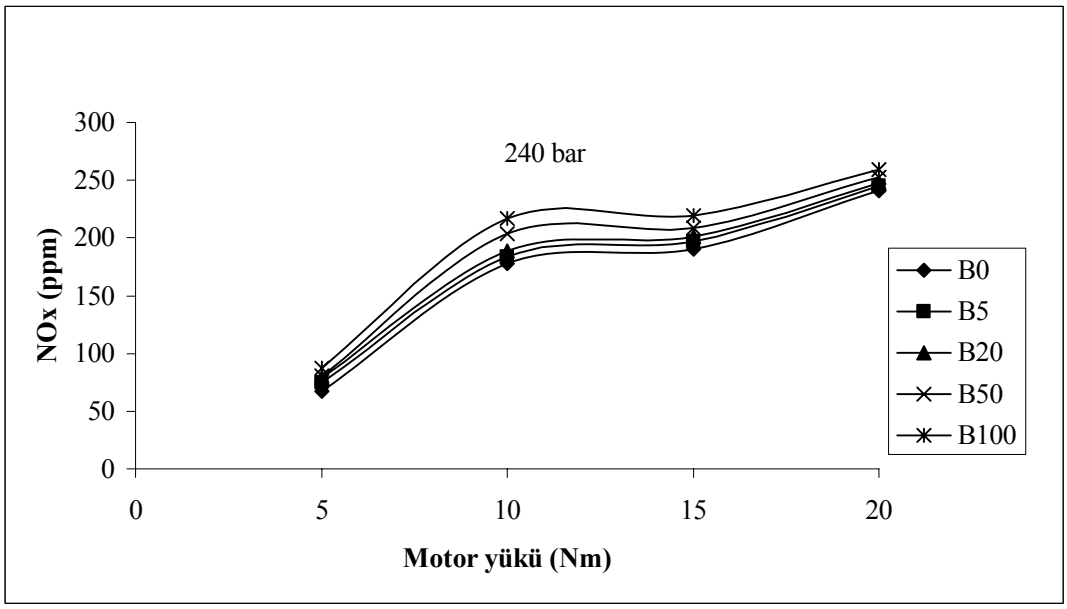
Karışım içerisindeki biyodizel oranının artması ile NO_x miktarı artmaktadır. Örneğin; 220 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükünde B0 yakıtının ürettiği NO_x miktarı 39 ppm iken, B5, B20, B50 ve B100 yakıtının ürettiği ise NO_x emisyon değerleri sırasıyla 42, 53, 61 ve 78 ppm'dir. Şekil IV.10 ve Şekil IV.11 incelendiğinde, biyodizel-dizel karışımları içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla egzoz gaz sıcaklıklarının arttığı görülmektedir. Biyodizel yakıtı içerisinde % 11 oranında oksijen bulundurması yanma performansını iyileştirmekte ve yanma sonu sıcaklıklarını artırmaktadır. Biyodizelin dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, ısıl değerinin düşük ve setan sayısının yüksek olması ise yanma sonu sıcaklıklarını düşürmektedir. Ayrıca, biyodizelin buharlaşma ısısının yüksek olmasına bağlı olarak yanma odasından daha fazla ısı çekilmekte ve yanma sıcaklığı azalmaktadır**.** Elde edilen sonuçlar, biyodizelin oksijen içeriğinin yanma sonu sıcaklığı değerlerinde temel belirleyici olduğunu göstermektedir [50].



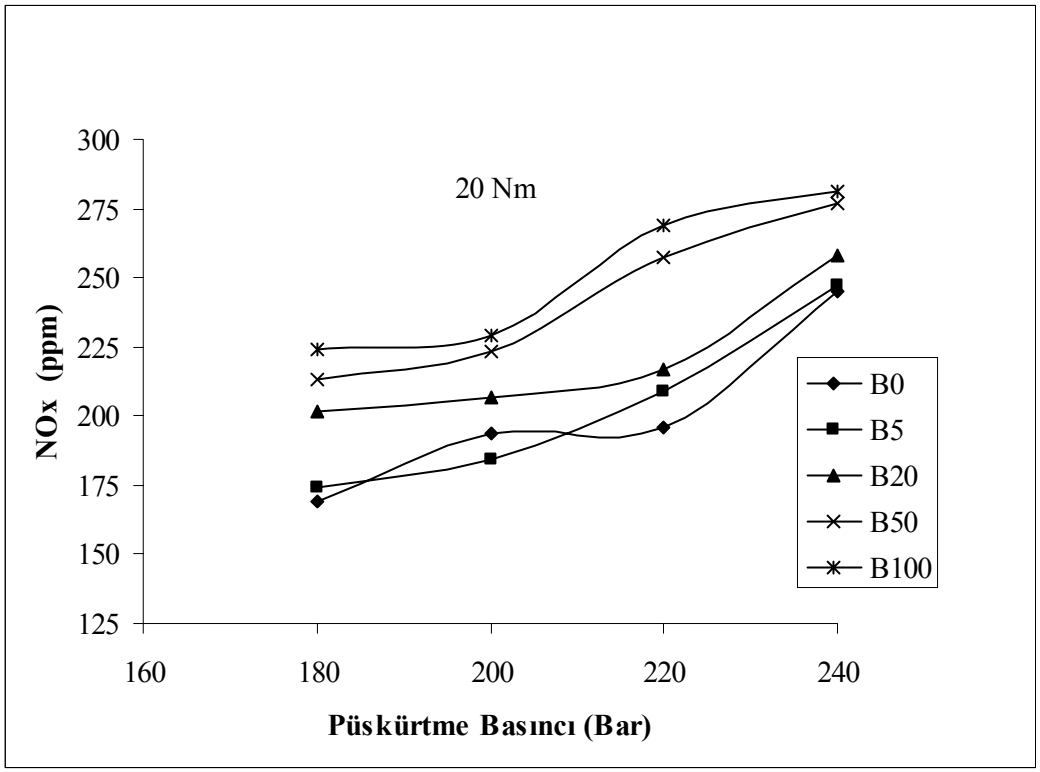


Şekil IV.7 180 ve 200 Bar Basınçta NO_x Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi



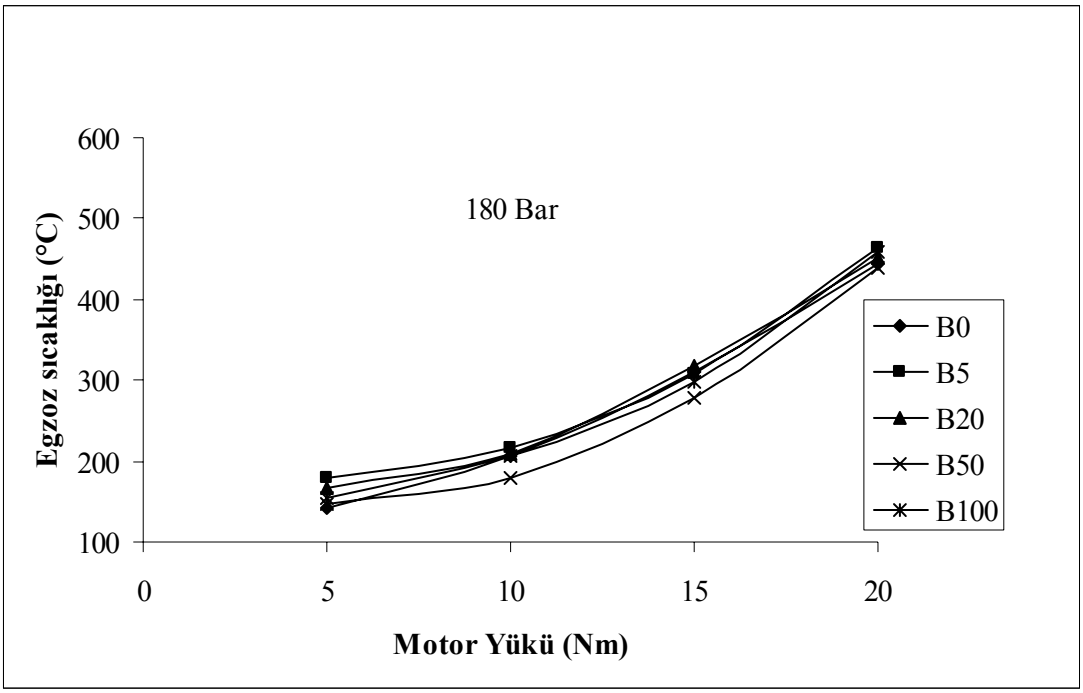


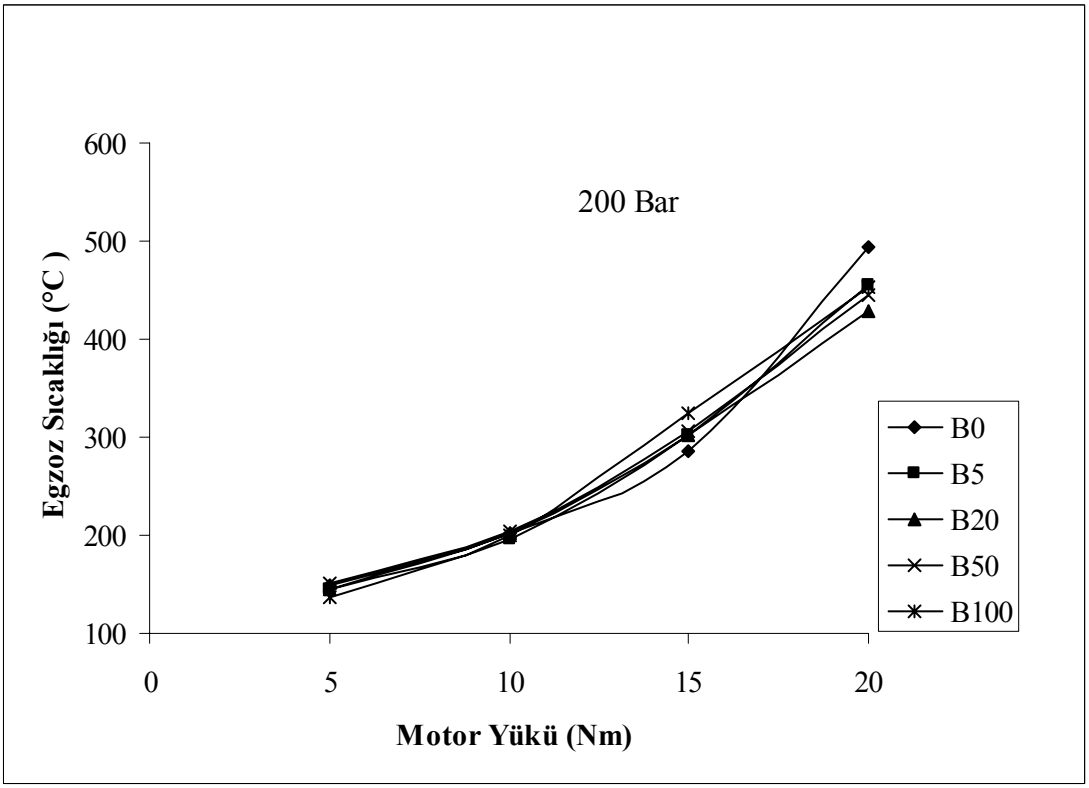
Şekil IV.8 220 ve 240 Bar Basınçta NO_x Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi



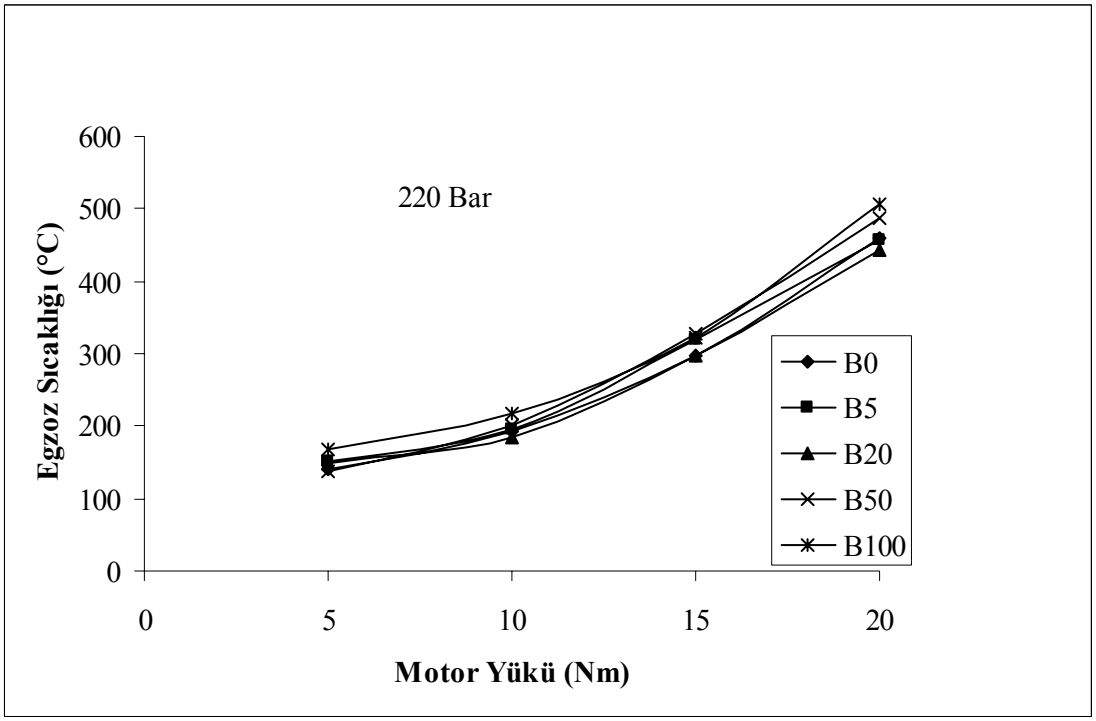
Şekil IV.9 20 Nm Motor Yükünde NO_x Emisyonların Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

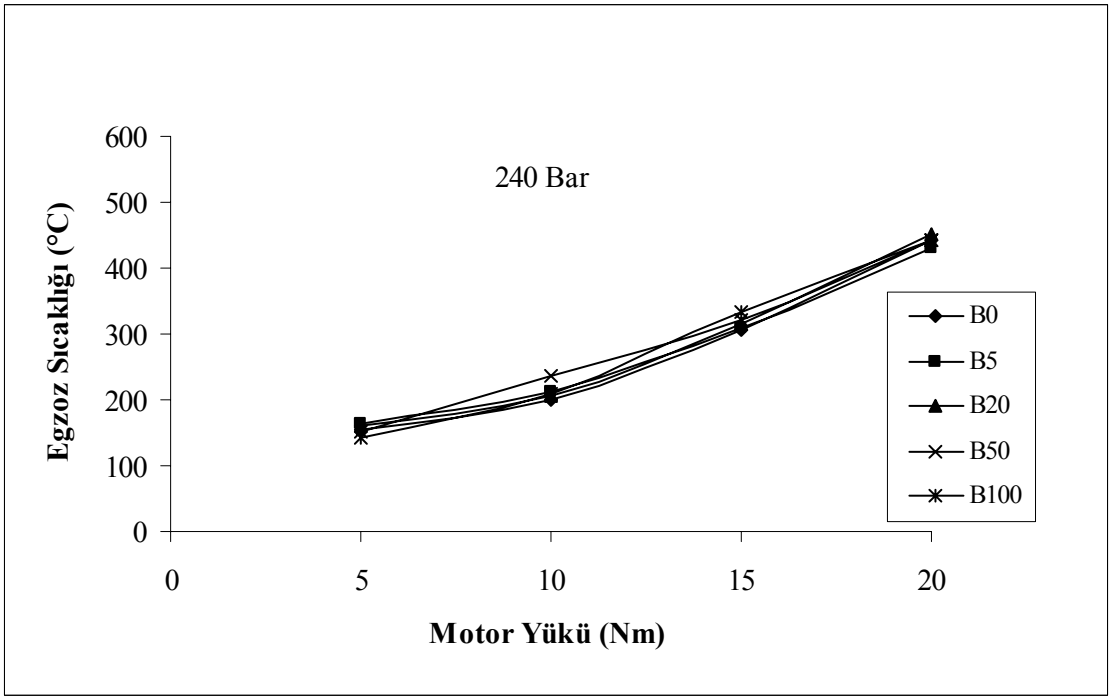
Şekil IV.9'da 20 Nm motor yükünde NO_x emisyonlarının püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi görülmektedir. B20 yakıtının, 180, 200, 220 ve 240 bar püskürtme basıncında ürettiği NO_x emisyonu miktarı sırasıyla 202, 207, 217 ve 258 ppm'dir. Motor test sonuçlarında görüldüğü gibi NO_x emisyonu püskürtme basıncının artmasıyla artmaktadır Püskürtme basıncı arttıkça damlacık çapı giderek küçülmektedir. Yakıtın küçük damlacıklar halinde atomize olması hava ile daha iyi karışım sağlamasına neden olur. NO_x'lerin oluşum hızı stokiyometrik bölgelere yaklaştıkça artar. Dolayısıyla yakıtın silindir içerisine püskürtülerek parçalanması, buharlaşarak hava ile karışması NO_x oluşumunu etkilemektedir. Karışımın iyileşmesi NO_x oluşumunu hızlandırmaktadır. Deney sonuçlarına göre en düşük NO_x emisyonu değeri B0 yakıtında, 200 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükünde 33 ppm olarak ölçülmüştür [25].





Şekil IV.10 180 ve 200 Bar Basınçtaki Egzoz Gaz Sıcaklıklarının Motor Yüküyle Değişimi





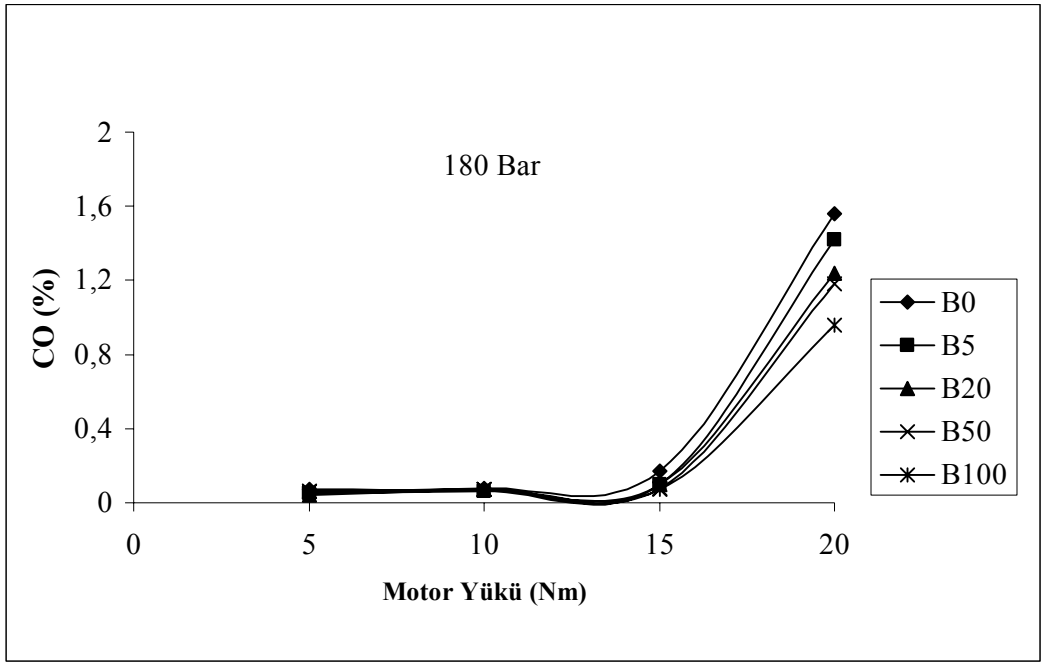
Şekil IV.11 220 ve 240 Bar Basınçtaki Egzoz Gaz Sıcaklıklarının Motor Yüküyle Değişimi

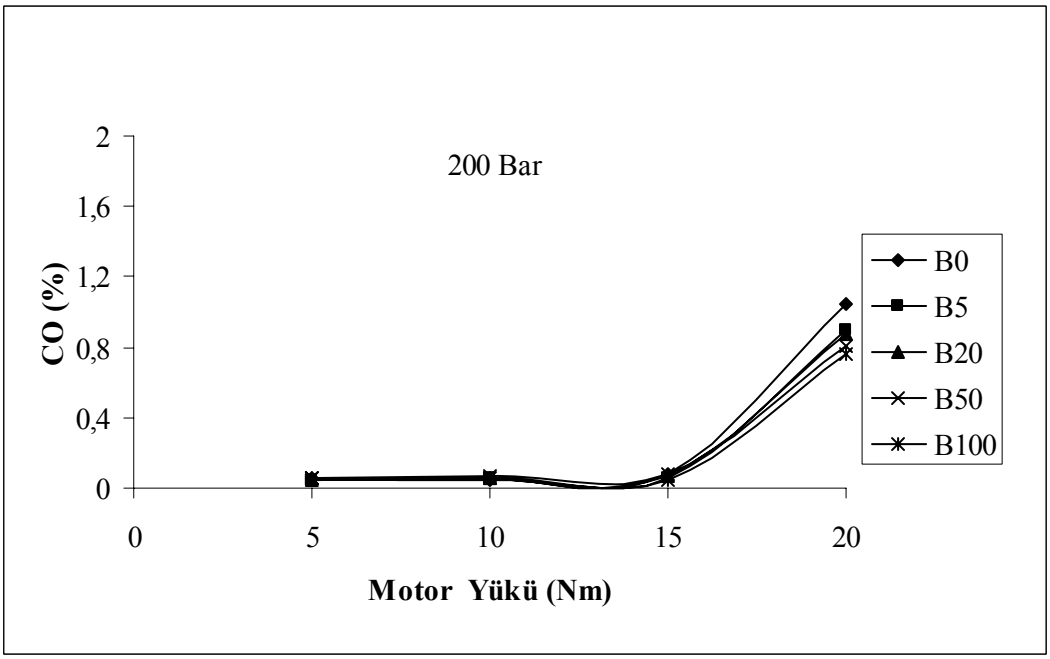
IV.4. KARBONMONOKSİT (CO) EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Dizel motorlarında yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. CO emisyonu motorda kullanılamayan kayıp kimyasal enerjiyi ifade ettiği için de önemli bir parametreyi oluşturmaktadır. Gaz sıcaklığının düşük olması, yanma için yeterli oksijenin bulunmaması ve CO_2'e dönüşüm süresinin kısa olmasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarını artırmaktadır. CO emisyonunu etkileyen başlıca faktörler, hava fazlalık katsayısı (HFK), yanma odasındaki türbülans olayı ve yakıtın moleküler yapısıdır. [1].

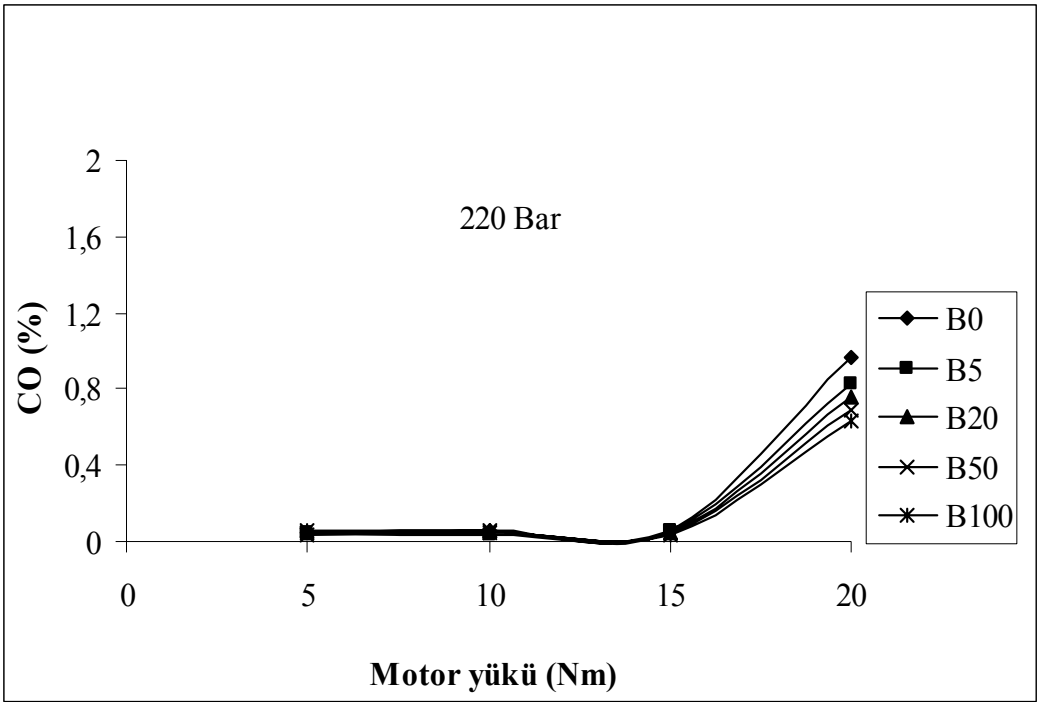
Şekil IV.12 ve Şekil IV.13'da motor yükünün artması ile CO emisyonu artmaktadır. Örneğin, STD püskürtme basıncında, B20 yakıtının 5 Nm motor yükünde ürettiği CO emisyon miktarı %0,05 iken 20 Nm motor yükünde ürettiği CO emisyon miktarı %0,85'dur. Motor yükünün artışı ile karşım zenginleşmekte ve CO emisyonu artmaktadır [75].

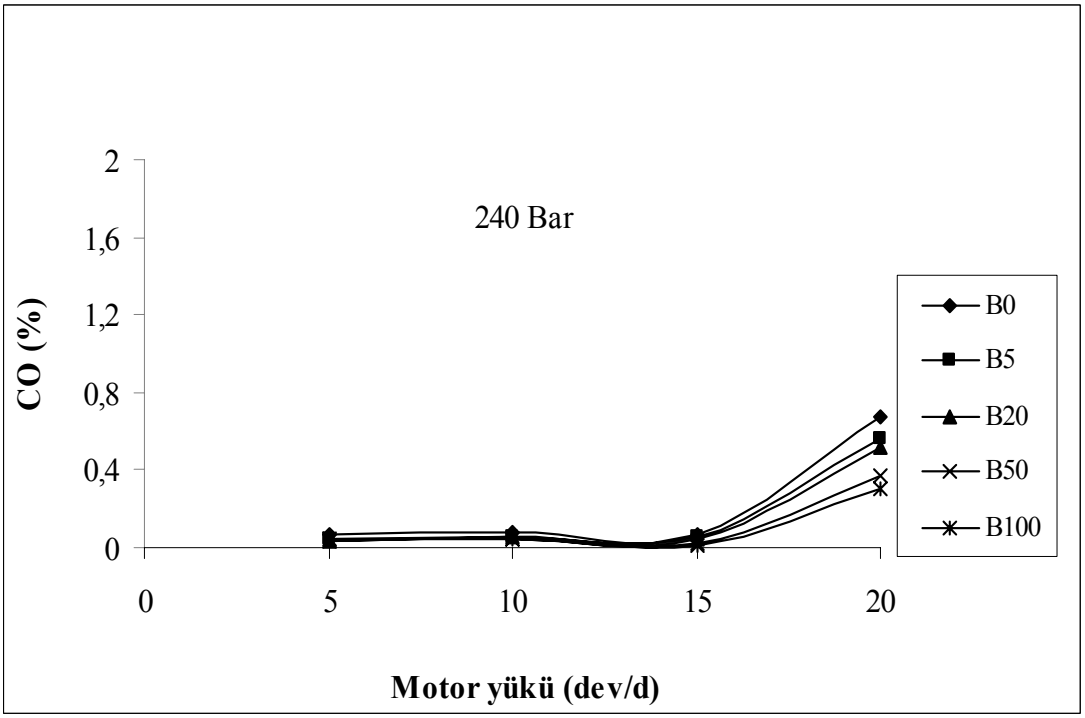
Şekil IV.12 ve Şekil IV.13. incelendiğinde, karışım içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla CO emisyonunun azaldığı görülmektedir. Örnek olarak, 220 bar püskürtme basıncında ve 20 Nm motor yükünde B0 yakıtının CO emisyon değeri %0,96 iken B5, B20, B50 ve B100 yakıtlarında elde edilen CO emisyonu değerleri sırasıyla %0,83, %0,76, %0,69, ve %0,63'dır. Biyodizel yakıtının bünyesinde oksijen içermesi CO emisyonun azalmasının temel nedenidir. Biyodizel kullanımıyla CO emisyonun azalmasındaki diğer bir etken Tablo III.1'de görüldüğü gibi biyodizel yakıtının H/C oranının dizel yakıtından daha yüksek olmasıdır. H/C oranı arttıkça yanma kalitesi iyileşmekte buna bağlı olarak da CO emisyonları azalmaktadır. Ayrıca, yine Tablo III.1'de görüldüğü gibi, biyodizelin stokiyometrik hava/yakıt oranı dizel yakıtından daha düşüktür. Buna bağlı olarak, yanma esnasında daha az oksijene ihtiyaç duyulmakta ve yanma verimi iyileşmektedir. Bu durum CO emisyonunun azalmasına neden olmaktadır [29].



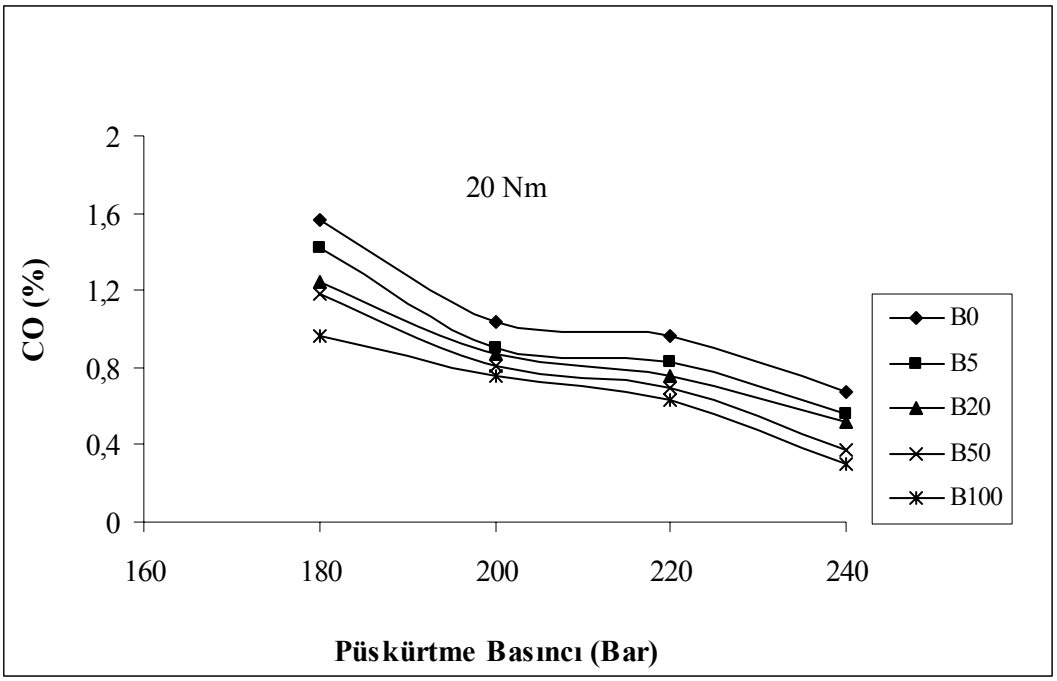


Şekil IV.12 180 ve 200 Bar Basınçtaki CO Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi





Şekil IV.13 220 ve 240 Bar Basınçtaki CO Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi



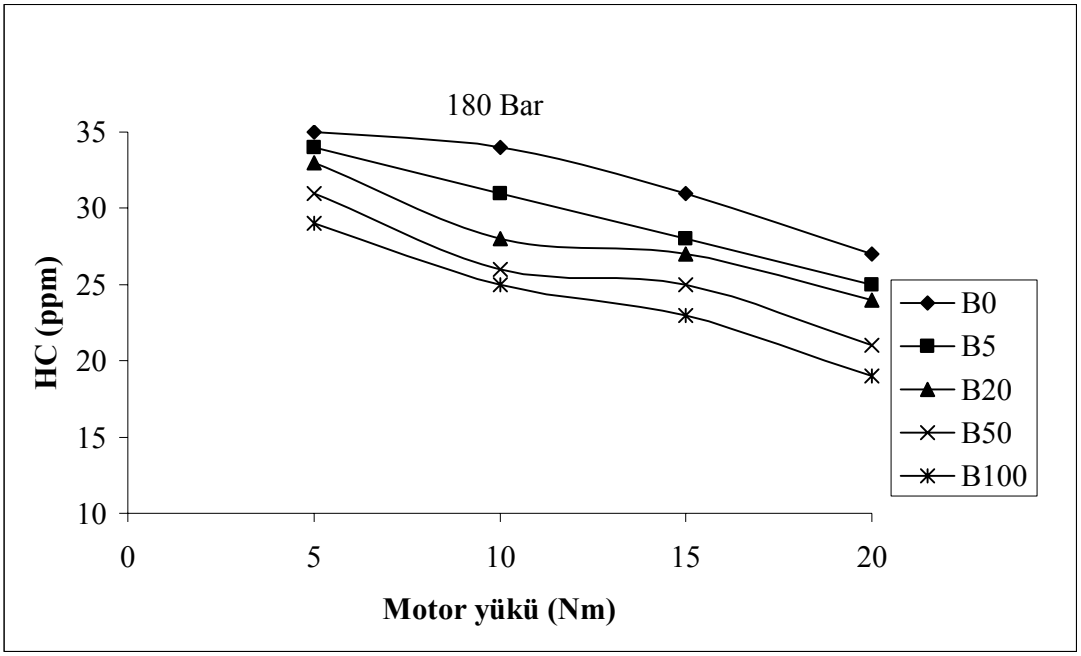
Şekil IV.14 20 Nm Motor Yükünde CO Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

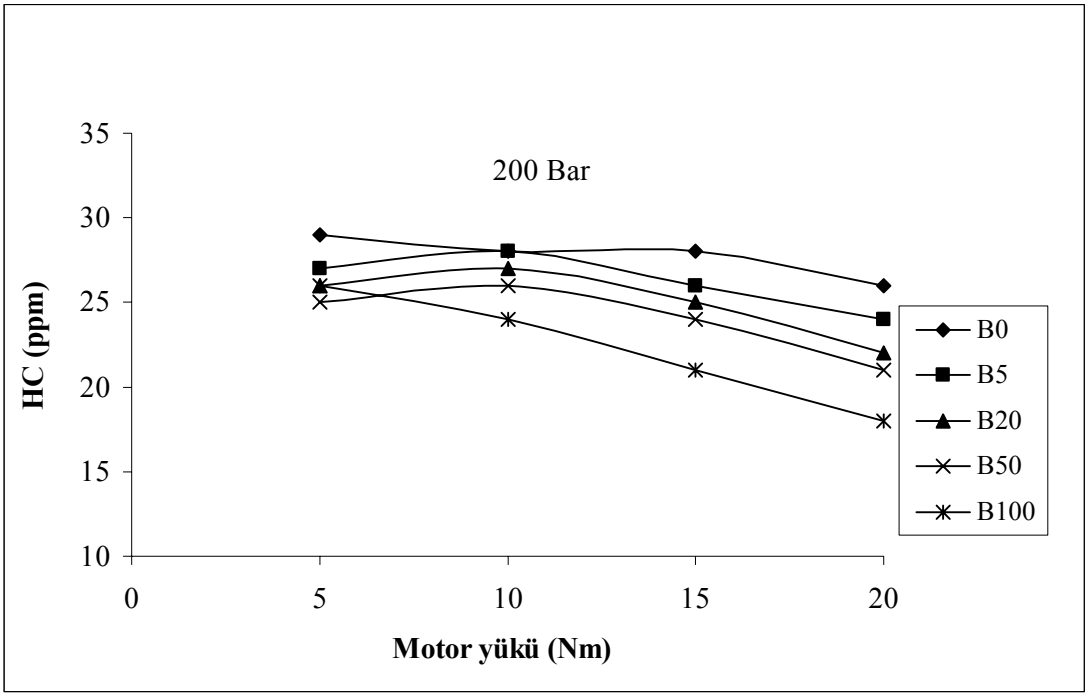
Şekil IV.14'da 20 Nm motor yükünde CO emisyonlarının püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Püskürtme basıncının artması ile CO emisyonu azalmaktadır. B50 yakıtının 180 bar püskürtme basıncında ürettiği CO emisyon miktarı %1,18 iken aynı yakıtın 200, 220 ve 240 bar püskürtme basıncında ürettiği CO emisyon miktarı sırasıyla %0,87, %0,76 ve %0,37'dır. Püskürtme basıncının STD değerin altına (180 bar) düşürülmesi ile tanecik çapı büyümekte ve buna bağlı olarak TG periyodu uzamakta ve yanma işlemi kötüleşmektedir. Bu durum egzoz emisyonunu ve motor performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Püskürtme basıncının STD değerinin üzerine (220 ve 240 bar) çıkarılmasıyla ile tanecik çapının küçülmesi ve hava-yakıt formasyonunun iyileşmesinden dolayı CO emisyonu azalmaktadır. Deney sonuçlarına göre en düşük CO emisyonu değeri B100 yakıtında, 240 bar püskürtme basıncında ve 15 Nm motor yükünde %0,01 olarak ölçülmüştür [62].

IV.5. HİDROKARBON (HC) EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

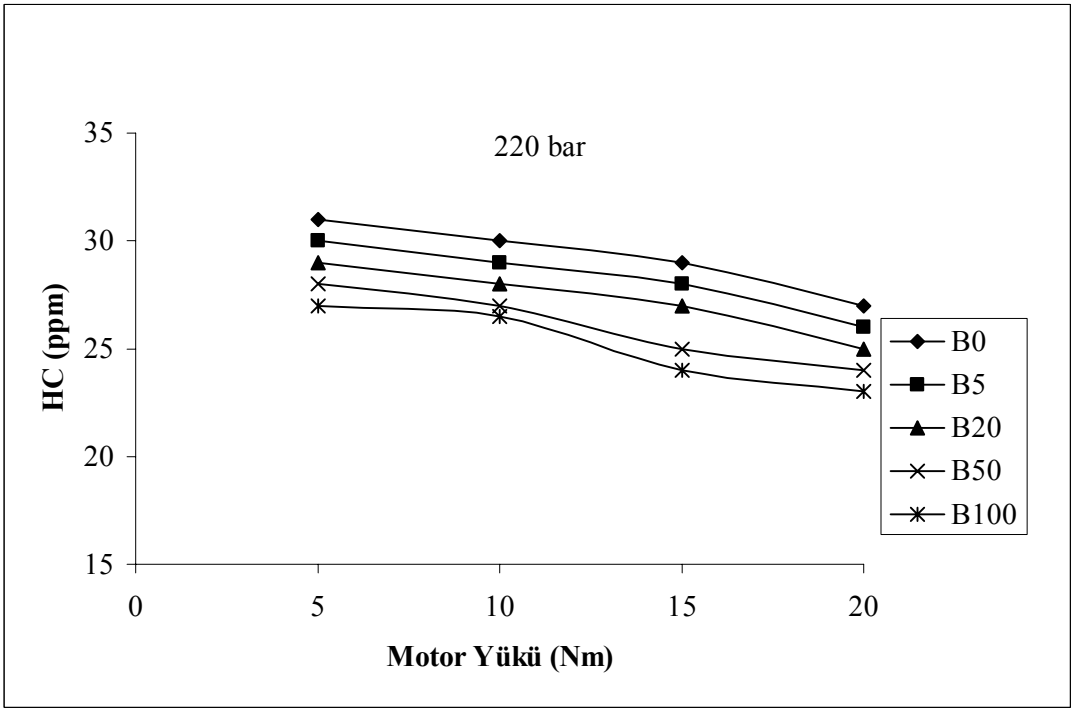
Dizel motorlarda HC emisyonlarının nedeni sıcaklık veya oksijenin yetersiz olması sonucunda yanmanın tamamlanamamasıdır. Şekil IV.15 ve Şekil IV.16'da HC emisyonunun motor yüküyle değişimi görülmektedir. HC emisyonu motor yükünün artmasıyla azalmaktadır. Örnek olarak; B50 yakıtının 220 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükünde ürettiği HC emisyon miktarı 27 ppm iken 20 Nm'de ürettiği emisyon miktarı 20 ppm'dir. Motor yükünün artmasıyla alev sönme bölgesi küçülmekte ve yanma sonu sıcaklıklarının artmaktadır. Sonuç olarak, HC emisyonunu azalmaktadır.

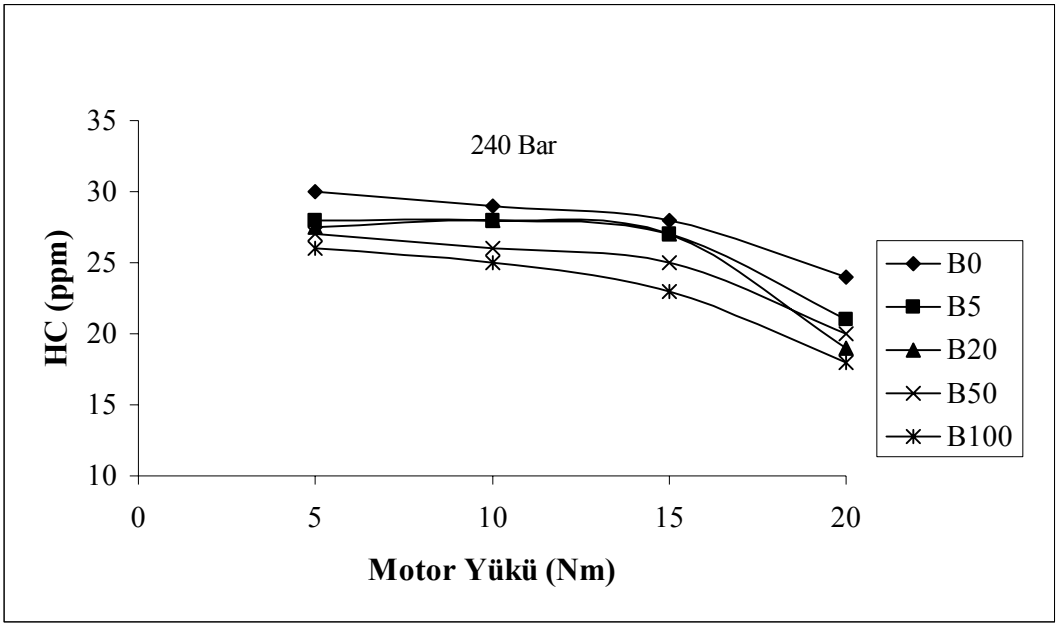
Şekil IV.15 ve Şekil IV.16 incelendiğinde, karışım içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla HC emisyonunun azaldığı görülmektedir. STD püskürtme basıncında ve 10 Nm motor yükünde B5 yakıtının ürettiği HC emisyonu değeri 27 ppm iken B100 yakıtının ürettiği HC emisyon değeri 24 ppm'dir. Karışım içindeki biyodizel miktarının artması ile HC emisyonunun azalmasının sebebi, biyodizelin içindeki karbon miktarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurmasından dolayı yanma kalitesinin iyileşmesinden kaynaklanmaktadır. [1,56].



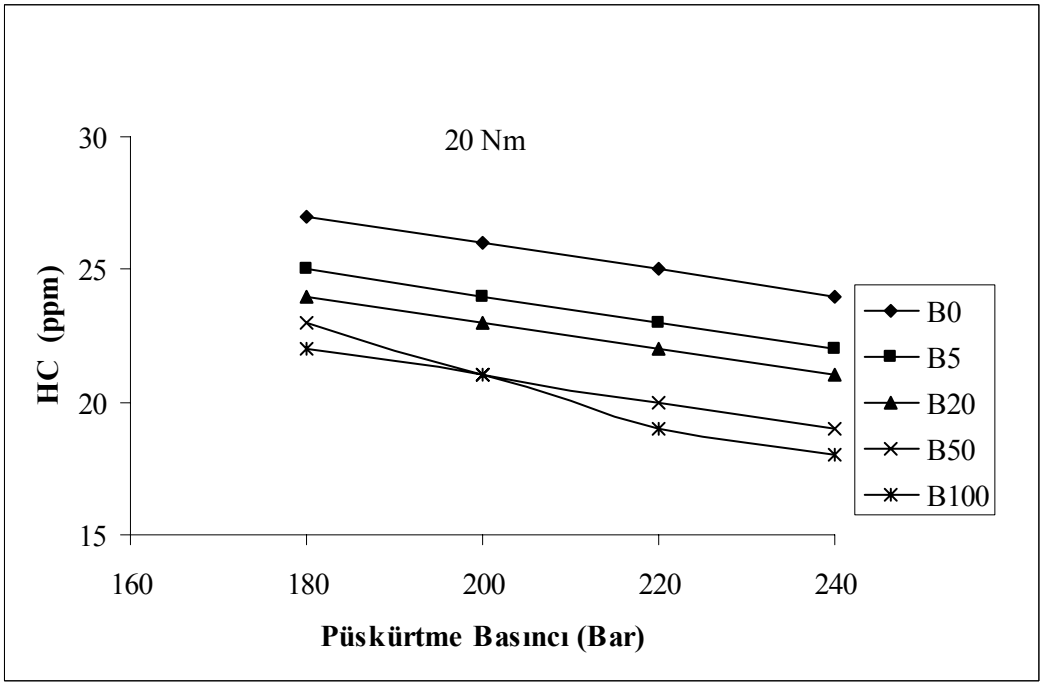


Şekil IV.15 180 ve 200 Bar Basınçtaki HC Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi





Şekil IV.16 220 ve 200 Bar Basınçtaki HC Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi



Şekil IV.17 20 Nm Motor Yükünde HC Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

Şekil IV.17'de 20 Nm motor yükünde HC emisyonunun püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Püskürtme basıncının artırılması ile HC

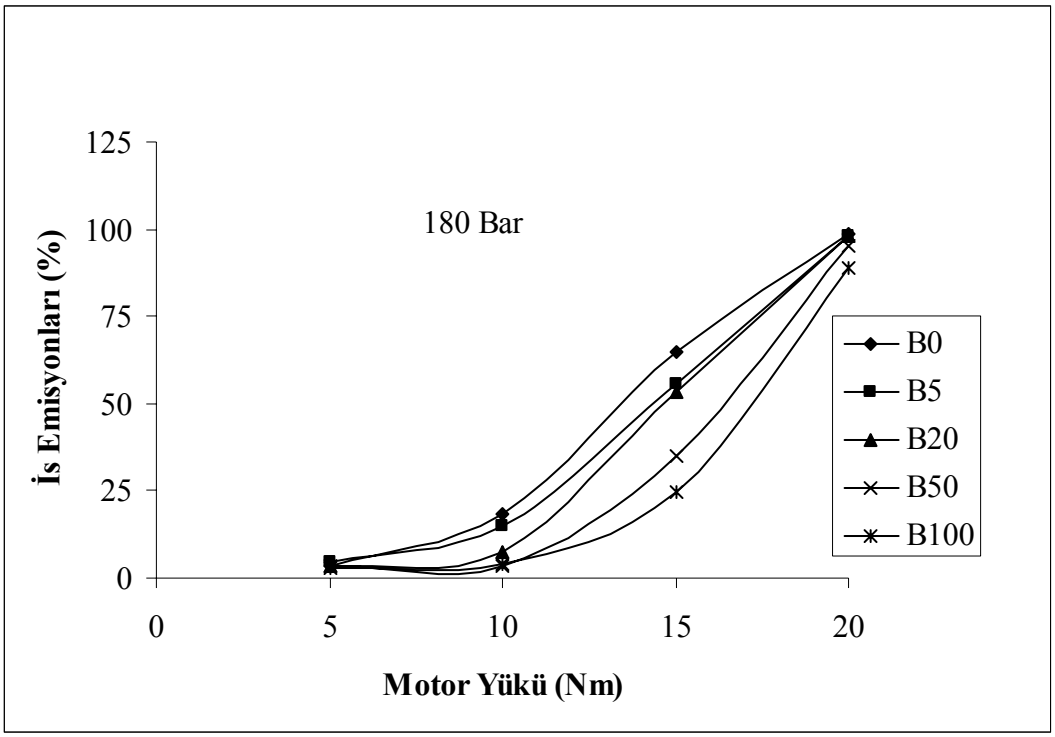
emisyonunu azalmaktadır. 180 püskürtme basıncında B5 yakıtının ürettiği HC emisyon miktarı 28 ppm iken aynı yakıtın 200, 220 ve 240 bar püskürtme basıncında ürettiği HC emisyon miktarları sırasıyla 28, 27 ve 22 ppm'dir. CO emisyonunda görüldüğü gibi püskürtme basıncı arttıkça, enjektör çıkış hızı artmakta, ortalama damlacık çapı küçülmekte ve çap dağılım aralığı daralarak daha üniform tanecikler oluşmaktadır. Bu durum yakıtın daha kolay buharlaşmasına dolayısıyla HC emisyonunun azalmasına neden olmaktadır. Bazı durumlarda enjeksiyon basıncının artırılmasına rağmen iyi bir karışım sağlanamaz ve homojen olmayan bir karışım için iyi bir yanma da söz konusu değildir. İyi olmayan bir yanma sonucu egzozda yanmamış hidrokarbon miktarı yükselmektedir. Deney sonuçlarına göre en düşük HC emisyonu değeri B100 yakıtında, 240 bar püskürtme basıncında ve 20 Nm motor yükünde 18 ppm olarak ölçülmüştür [60].

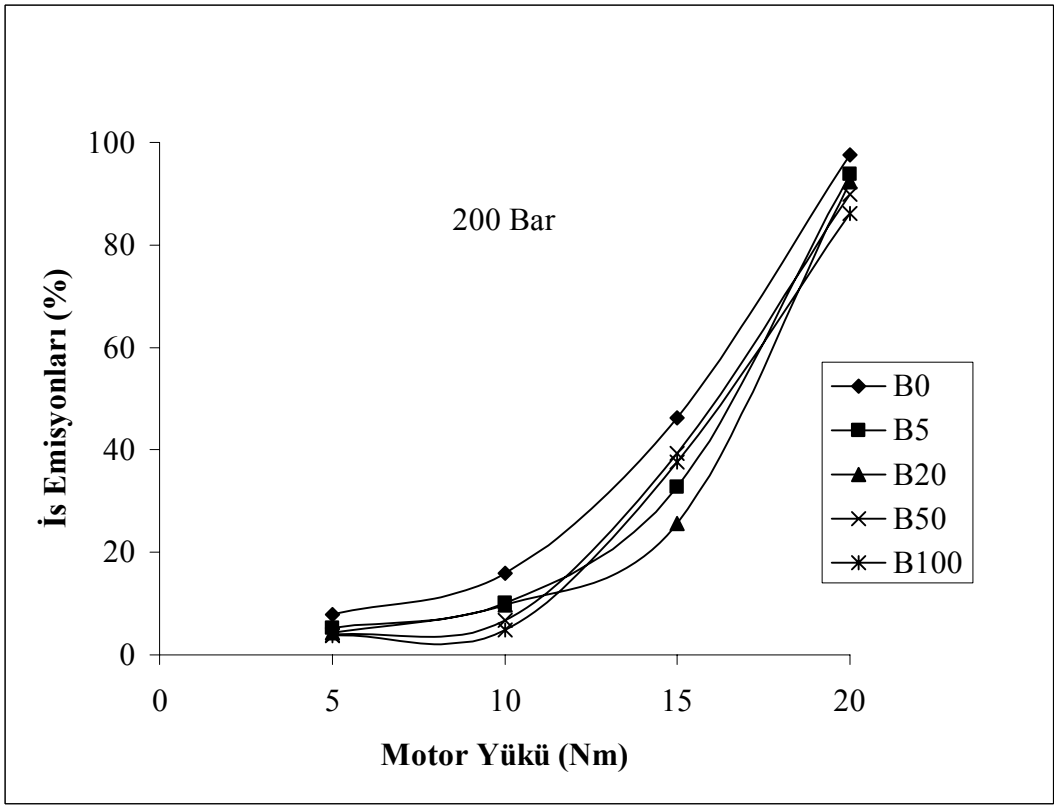
IV.6. İS EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

İs emisyonu, eksik yanmayla ortaya çıkan yanmamış karbon atomlarının toplanmasıyla oluşan zerreciklerdir. İs oluşumu yanma odasındaki sıcaklığa, oksijen miktarına ve zamana bağlıdır. Eğer is zerrecikleri yanma odasında yeterli sıcaklık, oksijen ve zaman bulamazlarsa is emisyonu artmaktadır [71,76].

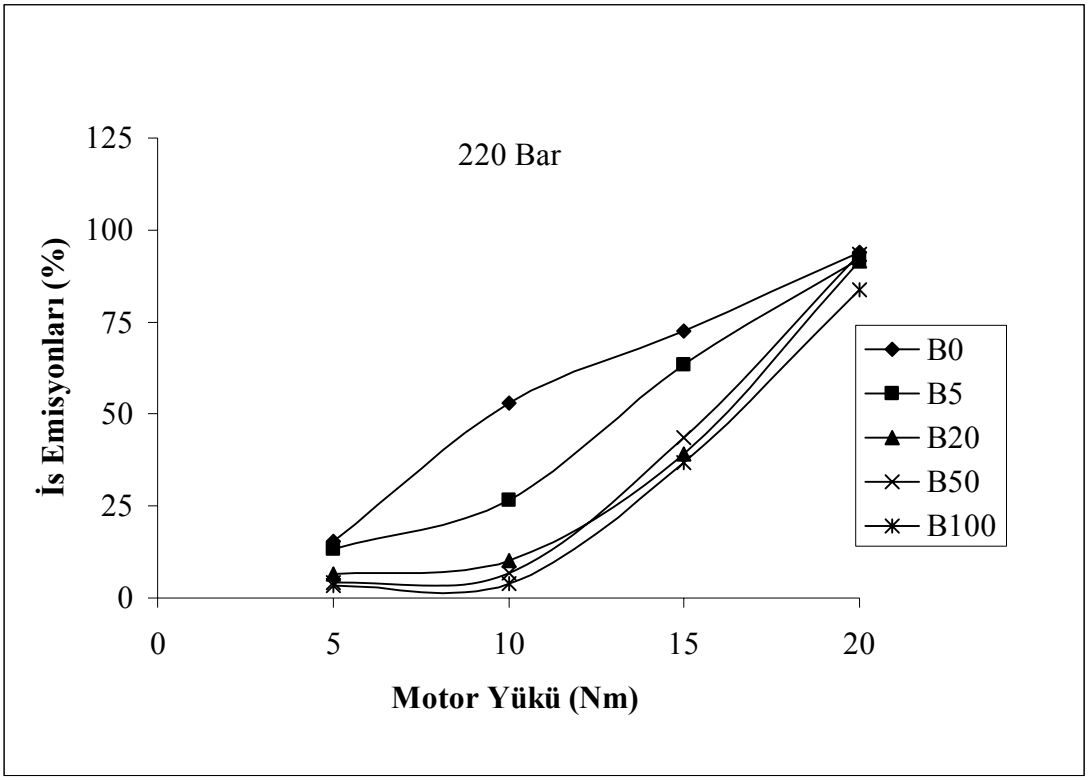
Şekil IV.18 ve Şekil IV.19. incelendiğinde is emisyonunun motor yüküyle arttığı görülmektedir. Örneğin; STD püskürtme basıncında B20 yakıtının 10 Nm motor yükünde ürettiği is emisyon değeri %73 iken 20 Nm motor yükünde ürettiği is emisyon değeri %89'dur. Motor yükün artması ile çevrim içerisindeki her bir zamanın oluşması için geçen süre birim kam mili başına azalmaktadır. Bu durumun, is emisyonunun artmasına neden olduğu düşünülmektedir. [76].

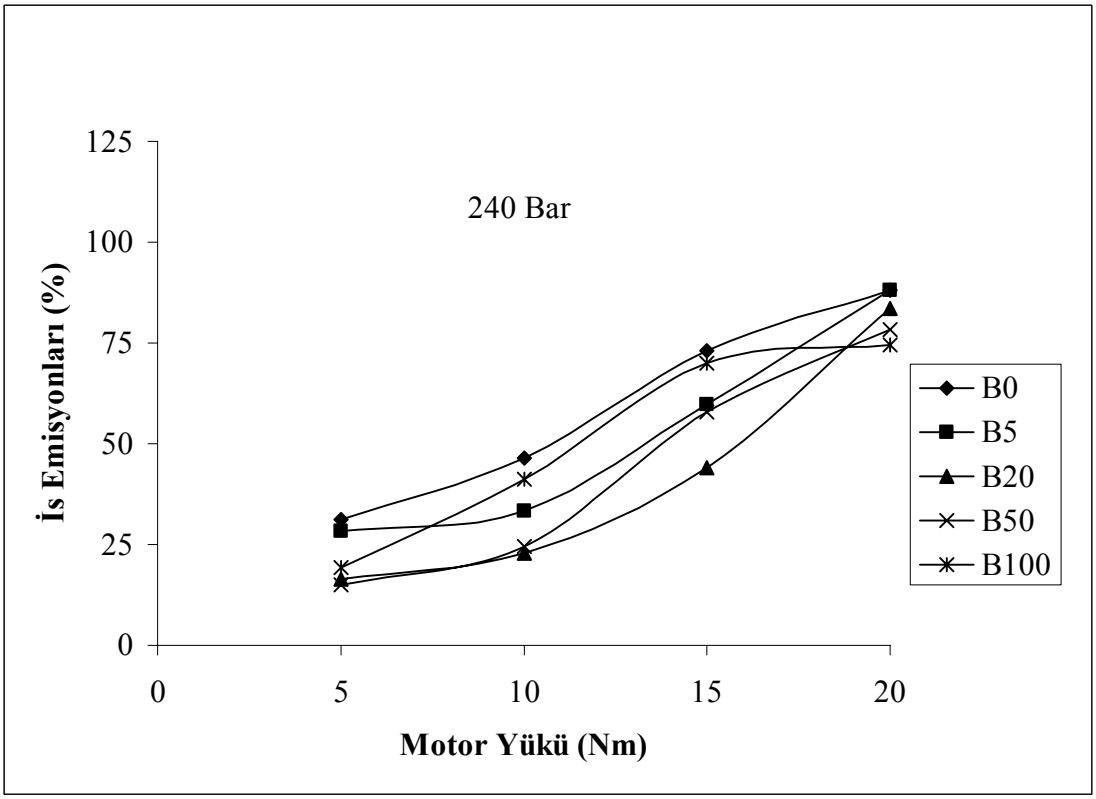
Şekil IV.18 ve Şekil IV.19. incelendiğinde, karışım içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla is emisyonunun azaldığı görülmektedir. Örnek olarak; B0 yakıtının 220 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükünde is emisyon değeri %40,7 iken aynı motor yükünde B5, B20, B50 ve B100 yakıtlarının is emisyon değerleri sırasıyla %13,2, %6,5, %4,3 ve %3,4'dür. Biyodizel yapısında aromatik ve sülfür içermemesi ve yapısında serbest oksijen bulundurması is emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır [62].



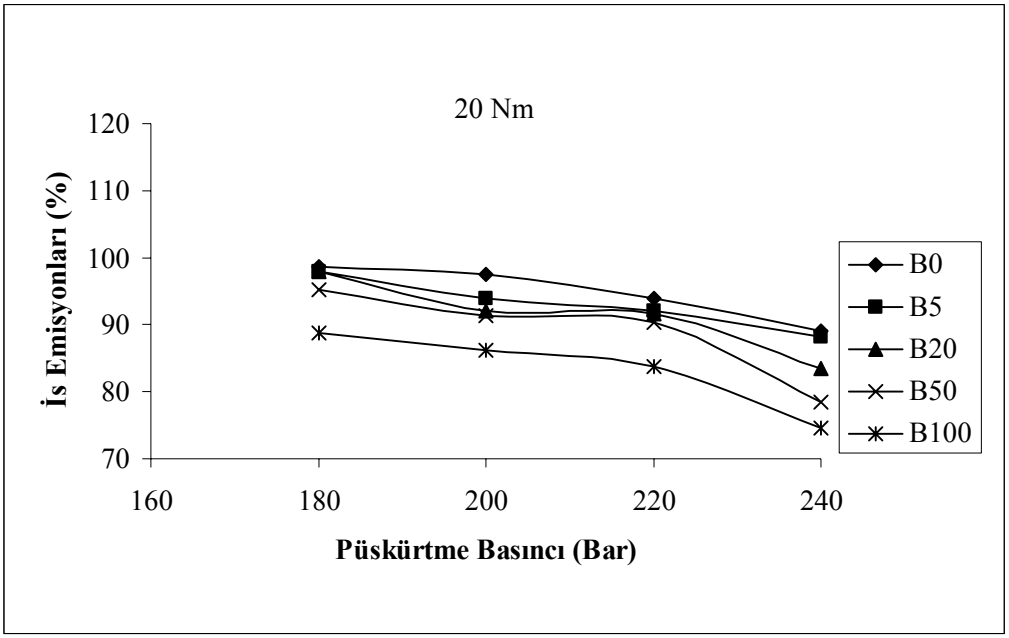


Şekil IV.18 İs Emisyonlarının 180 ve 200 Bar Basınçtaki Motor Yüküyle Değişimi





Şekil IV.19 220 ve 240 Bar Basınçtaki İs Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi



Şekil IV.20 20 Nm Motor Yükünde İs Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

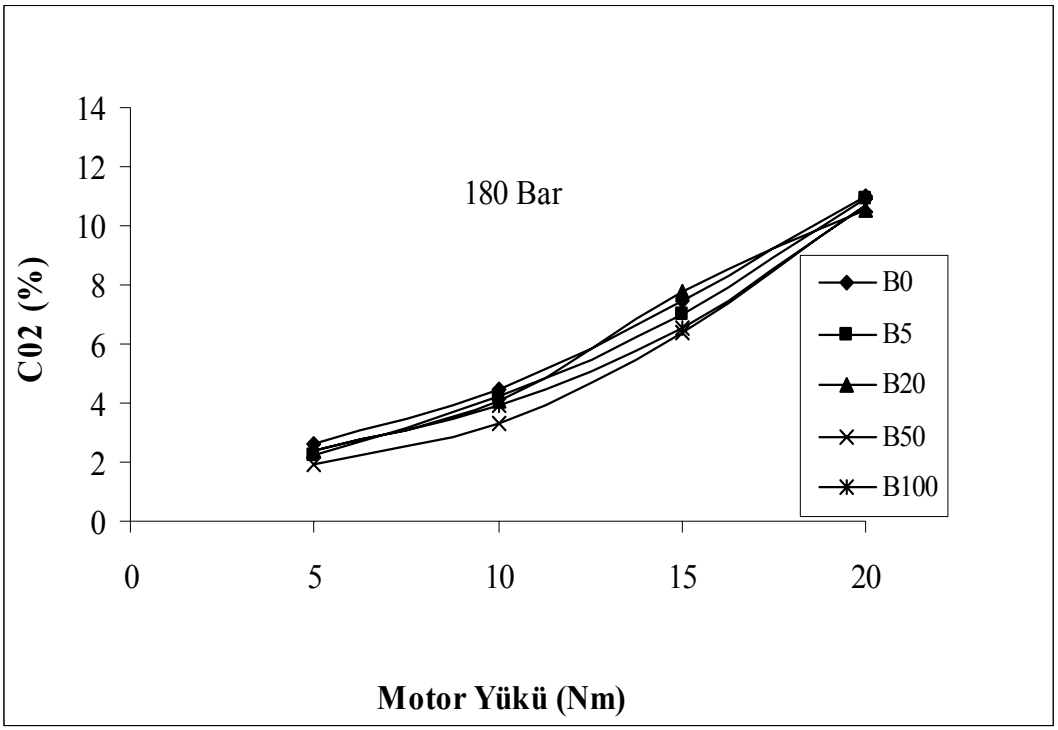
Şekil IV.20'de 20 Nm motor yükünde is emisyonlarının püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Düşük püskürtme basınçlarında is emisyonu artmaktadır. Bunun sebebi, püskürtme basıncının düşürülmesi ile iyi bir yakıt atomizasyonunun sağlanamamasıdır. Örnek olarak, B20 yakıtının 180 bar püskürtme basıncında ürettiği is emisyonu değeri %3,6 iken aynı yakıtın 200, 220 ve 240 bar püskürtme basıncında ürettiği is emisyon değerleri %7,2, %53,3 ve %98'dir. Püskürtme basıncının azalmasıyla damlacık çapı artmakta ve yakıtın buharlaşması daha uzun zaman almaktadır. Karbon tanecikleri yanmalarını tamamlayabilmeleri için, gerekli süreyi bulamadıklarından is oluşumu hızlanmaktadır. Deney sonuçlarına göre en düşük is emisyonu değeri B0 yakıtında, 180 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükünde %3,3 olarak ölçülmüştür [25,77].

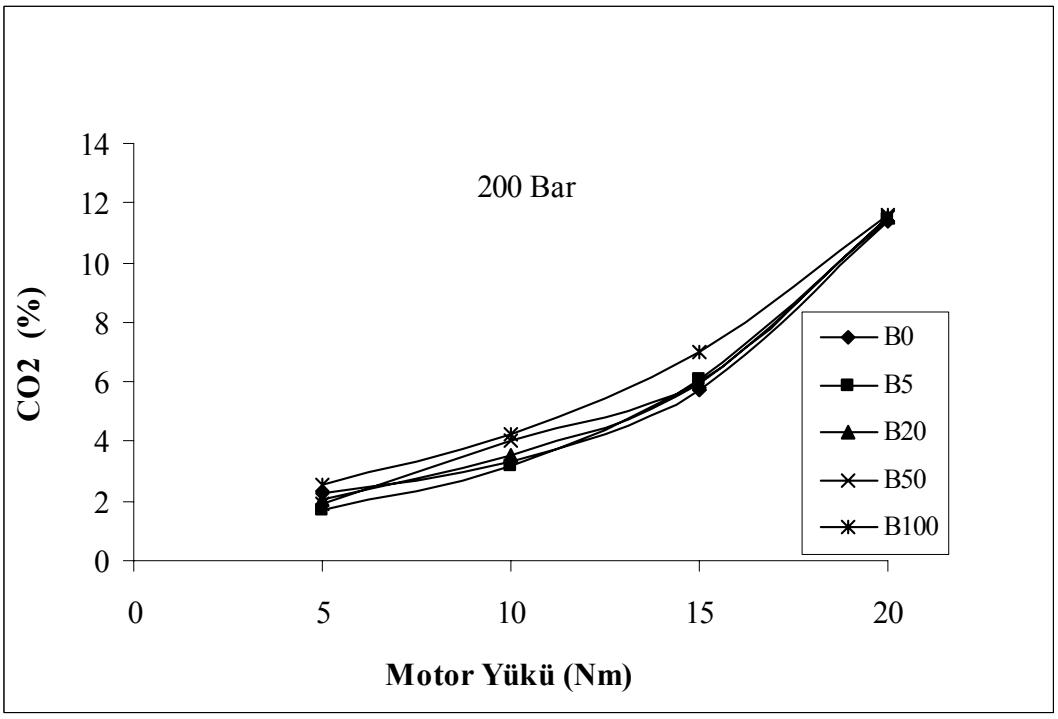
IV.7. KARBONDİOKSİT (CO_2) EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Egzoz ürünleri arasında bulunan CO_2 tam yanmayı ifade ettiğinden önemli bir parametredir. Bugün dünyanın en önemli çevre sorunu olan küresel ısınmada temel etkenlerden biri CO_2 emisyonunun atmosferde sera etkisi göstermesidir. Bazı araştırmacılar biyodizel kullanımı ile atmosfere salınan CO_2 emisyonunun fotosentez çevrimine katıldığını düşünmektedir.

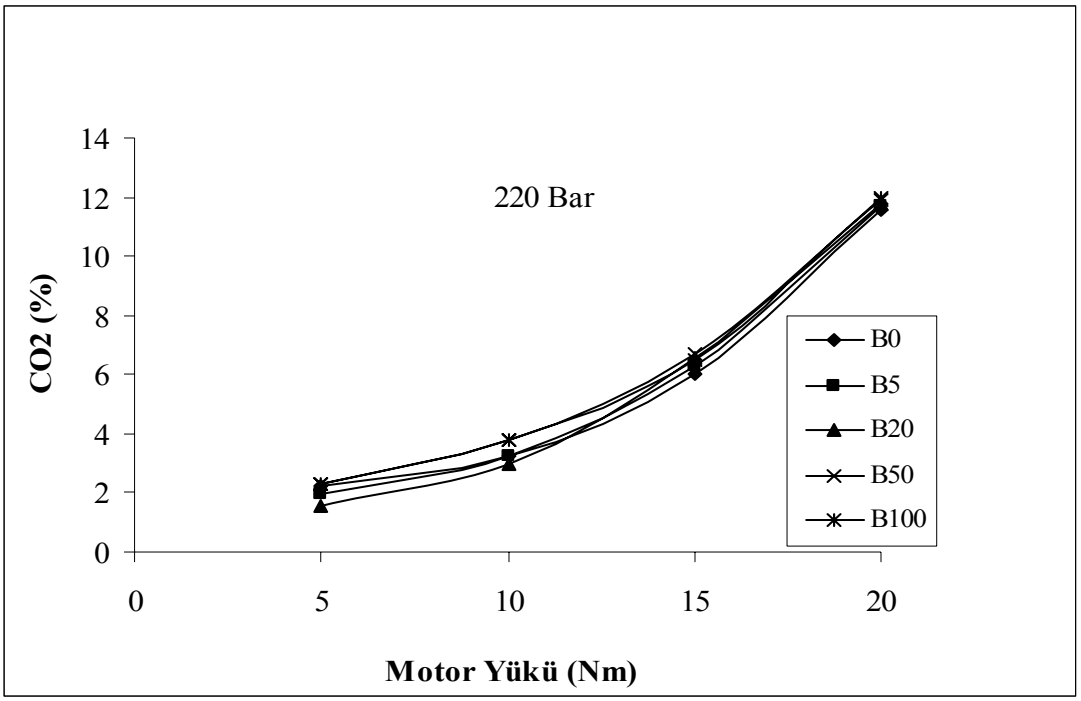
Şekil IV.21 ve Şekil IV.22'de CO_2 emisyonunun motor yüküyle değişimi verilmiştir. CO_2 emisyonu motor yükünün artması ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Örneğin, STD püskürtme basınç değerinde B20 yakıtının 5 Nm motor yükünde ürettiği CO_2 emisyon miktarı %2,07 iken 20 Nm motor yükünde ürettiği CO_2 emisyon miktarı %10,42'dur. Dizel motorlarında yükün artırılmasıyla ile karışım zenginleşmekte sonuç olarak da CO_2 emisyonları artmaktadır. [75,78].

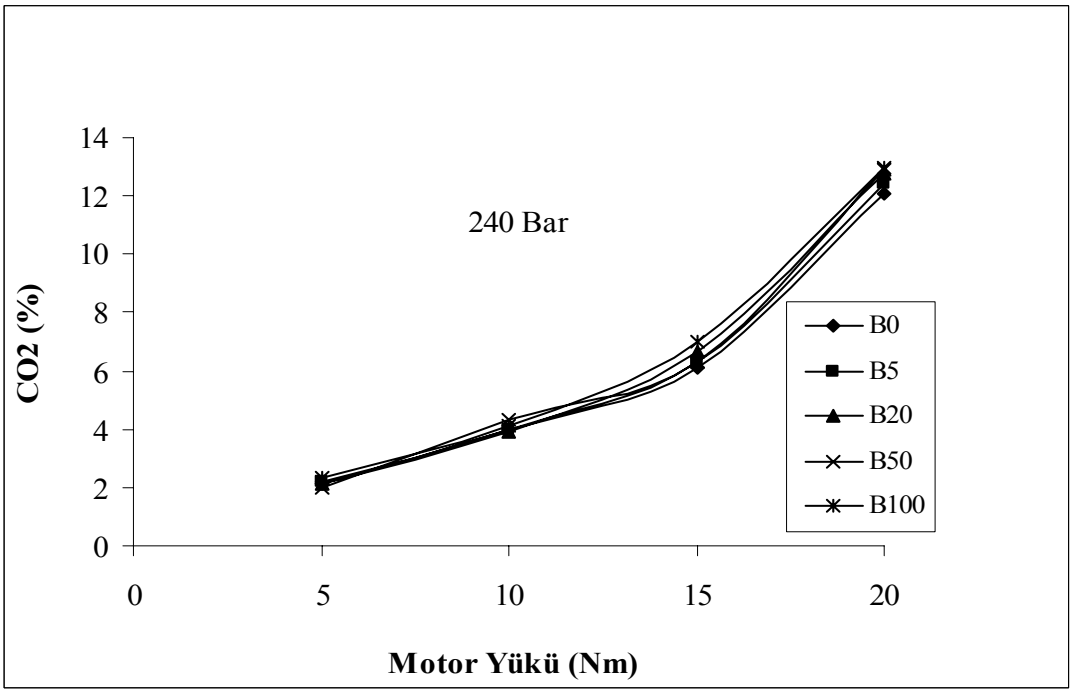
Şekil IV.21 ve Şekil IV.22 incelendiğinde, karışım içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla CO_2 emisyonunun arttığı görülmektedir. Örnek olarak, 240 bar püskürtme basıncında ve 20 Nm motor yükünde B0 yakıtının CO_2 emisyon değeri %9,36 iken B5, B20, B50 ve B100 yakıtlarında elde edilen CO emisyonu değerleri sırasıyla %10,56, %10,46, %10,23 ve %9,38'dır. Tablo III.4'de görüldüğü gibi, biyodizel yakıtının H/C oranı dizel yakıtından daha düşüktür. H/C oranı arttıkça yanma kalitesi iyileşmekte buna bağlı olarak ise CO emisyonları azalmaktadır.



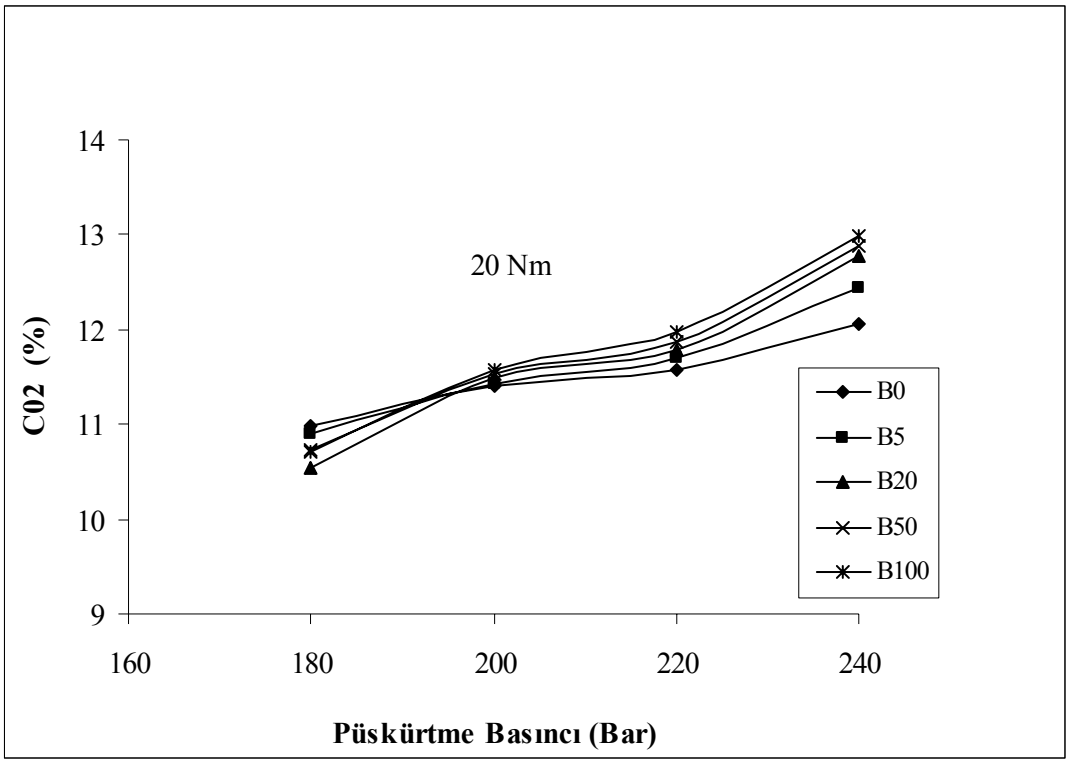


Şekil IV.21 180 ve 200 Bar Basınçtaki CO_2 Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi





Şekil IV.22 220 ve 240 Bar Basınçtaki CO_2 Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi



Şekil IV.23 20 Nm Motor Yükünde CO_2 Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

Şekil IV.22 ve Şekil IV 23'da 20 Nm motor yükünde CO_2 emisyonlarının püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Püskürtme basıncının artması ile CO_2 emisyonu artmaktadır. 220 bar püskürtme basıncında B50 yakıtının ürettiği CO_2 emisyon miktarı %10,79 iken aynı yakıtın 180, 200 ve 240 bar püskürtme basıncında ürettiği CO_2 emisyon miktarı sırasıyla %11,7, %10,73 ve %10,23'dır. Püskürtme basıncının STD değerin altına (180 bar) düşürülmesi ile tanecik çapı büyümekte ve buna bağlı olarak TG periyodu uzamakta ve yanma işlemi kötüleşmektedir. Bu durum egzoz emisyonunu ve motor performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Püskürtme basıncının standart değerinin üzerine (220 ve 240 bar) çıkarılması ile tanecik çapının küçülmesi ve hava-yakıt formasyonunun iyileşmesinden dolayı CO_2 emisyonu artmaktadır. Deney sonuçlarına göre en düşük CO_2 emisyonu değeri B0 yakıtında, 220 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükünde %1,58 olarak ölçülmüştür [25,62].

BÖLÜM V

SONUÇ VE ÖNERİLER

Motorlu taşıtlarda yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını azaltma çabaları insanlığın uzun süreden beri üzerinde çalışmalar yaptığı parametrelerdir. Araç üreticilerin bu parametreleri minimize etme çalışmaları bugün yapıldığı gibi gelecekte de devam edecektir. Fosil kökenli yakıtların ortalama olarak 30 yıllık ömürlerinin kalması ve taşıtlardan kaynaklanan emisyonların toplam kirleticilerin önemli bir bölümünü oluşturması alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmaların başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Biyodizel bitkisel yağdan yapılan ve modifiye edilmemiş tüm dizel motorlarda çalışabilen bir yakıttır. Biyodizel, soya, ayçiçeği, kolza, hindistan cevizi ve kenevir bitkisel ürünler, atık kızartma yağları ve hayvansal yağların esterleştirlmesi ile elde edilebilen için alternatif bir yakıttır. Biyodizel üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye biyodizel üretimini gerçekleştirebilecek teknolojiye ve yakıtın kullanımına kolaylıkla uyum sağlayabilir. Yapılan bu deneysel çalışmada, tek silindirli bir dizel motorunda dört farklı püskürtme basıncında ve B0, B5, B20, B50 ve B100 biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak analiz edilmiş ve etkileri karşılaştırılmıştır.

Bu deneysel çalışmada 2200 d/d sabit hız, dört farklı (5, 10, 15, 20 Nm) ve her her bir yük kademesi için dört farklı püskürtme basıncında (180, 200, 220 ve 249 bar) gerçekleştirilen bu deneysel çalışmanın sonuçlarına göre, karışım içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla biyodizel-dizel CO ve HC önemli ölçüde azalırken, NO_x, CO_2 ve is emisyonlarında artma gözlenmiştir. Biyodizel ve karışımlarının kullanılması ile CO ve HC emisyonlarının azalmasının temel nedeni biyodizel yakıtı içerisinde bulunan oksijenin bulunması ve buna bağlı olarak tam yanma şartlarına yaklaşılmasıdır. Ancak biyodizel yakıtı oksijen içermesi nedeniyle yanma sonu sıcaklıkları yükselmekte, bunun sonucu olarak NO_x emisyonları artmaktadır.

Tüm yakıt harmanları için püskürtme basıncının artırılması sonucunda CO, HC

ve is emisyonlarında azalmalar sağlarken, NO_x emisyonunda artma gözlemlenmiştir. Püskürtme basıncı arttıkça damlacık çapı küçülmekte ve hava ile temas eden yüzey arttığından karışım iyileşmekte ve buna bağlı olarak da CO, HC ve is emisyonları azalmaktadır. Yakıtın daha iyi atomize olması ve karışımın iyileşmesi yanma sonu sıcaklıklarını yükseltmekte dolayısıyla NO_x oluşumu hızlanmaktadır. Püskürtme basıncının azaltılması ile damlacık çapı büyümekte, TG periyodu uzamakta ve bunlara bağlı olarak yanma kötüleşmektedir. Bu durum ise özgül yakıt tüketimini artırmakta, efektif verimi azaltmaktadır.

Püskürtme basıncının STD (200 bar) püskürtme basıncının altındaki değerlere indirilmesi damlacık çapını büyüttüğünden artan yanma hızıyla birlikte oluşanda kötü yanmadan dolayı özgül yakıt tüketimi azalırken, efektif verim artmaktadır. Ancak, STD püskürtme basıncı değerinden itibaren püskürtme basıncının artırılması damlacık çapını küçültürken nüfuz derinliğini azaltmaktadır. Böylece, yanma enjektör etrafında küçük bir bölge ile sınırlı olacağından alevin yanma odası etrafına yayılması yavaşlamakta ve silindir çeperlerine yakın bölgelerdeki havanın kullanılamaması nedeniyle yanma kötüleşmektedir. Bu durum ise özgül yakıt tüketimini artırırken, efektif verimin azalmasına sebep olmaktadır.

Püskürtme basıncının STD değerinin üzerindeki 220 ve 240 bar basınç değerlerinde yapılan püskürtme çalışmalarında, biyodizel yakıtının yoğunluk ve viskozitesinin yüksek olması püskürtme basıncının arttırılmasıyla biodizel yakıtının püskürtülme atomizasyonu iyileşmektir. B100 yakıtının 200 bar basıncının üstündeki basınç değerlerinde biyodizel- dizel yakıt karışımları içindeki biyodizel yakıt miktarının artışına bağlı olarak özgül yakıt tüketimini azalmakta, efektif verim ise artmaktadır.

Bilimsel literatür incelemesinde, özellikle ön yanma odalı dizel motorlarda farklı basınç değerlerinde alternatif yakıt araştırmaları yapıldığı ve ilgili çalışmaların sürmesinin fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda, ön yanma odalı bir dizel motorun fabrika tanımlı ayarları dışında farklı basınç değerlerinde biyodizelin motor performans ve emisyon karakterleri üzerine etkisinin incelenmesi bilimsel açısından çok yararlı olacağını düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Sayın,C.; Çanakçı, M.; ve Kılıçaslan, İ.; ve Özsezen ,A. N.: " Çift Yakıt (Benzin+LPG) Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlar Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak Analizi ", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*,20 (4) **(2005)** 483-490.

[2] Yeşil, M.: "2000'li Yıllarda Türkiye'de Enerji Sektörüne Bir Bakış", *Doğalgaz Dergisi*, 41 **(2000)**

[3] Yamık, H.: "Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması", *Doktora Tezi*, G.*Ü. Fen Bil. Enst.,* Ankara, Türkiye, (**2002)**

[4] Barnwal, B.K.; Sharma M.P.:" Prospects a Biodiesel Production From Vegetables Oils in India, Renewable and Sustainable Reviews", XX, (**2004)** 1-16.

[5] Srivastava, A.; Prasad, R.: 2000, Trigliserides-based Diesel Fuels, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4, 111-133

[6] Heywood, J.B.: "Internal Combustion Engine Fundamentals"**,** *McGraw-Hill Publishing Company,* Newyork, **(1988).**

[7] Salman, S.; Topgül, T.: "Bir Dizel Motorunda Enjeksiyon Basıncının Motor Performansına, Soğutma Suyu ve Egzoz Gazı Yoluyla Kaybedilen Isı Enerjisine Etkisi", *Politeknik Dergisi,* 4 **(2001)** 27-30.

[8] İlhan, M.: "Çift Yakıtlı (Dizel ve Metanol) Bir Dizel Motorda Püskürtme Avansının Performans ve Emisyonlara Etkisi", *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **(2007)** 12.

[9] Peker,A.:"Benzin ve Dizel Motorların Performansına Alternatif Yakıtların ve Katkı Maddelerinin Etkisinin İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye**, (2000)** 32-40.

[10] Çelik, M.B.; Aktaş, A.; Özdalyan, B.: "Gerçek Yol Şartlarında SPG ve Benzinle Çalışan İki Taşıtın Emisyon Bakımından Karşılaştırılması", *Uluda*ğ *Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11 **(2006)**

45-54.

[11] İçingür, Y.; Haksever, R.: "Benzinli Motorlarda Sıvılaştırılmış Petrol Gazının Performans ve Emisyonlara Etkisinin Deneysel Analizi", *Politeknik Dergisi,* 3 **(1998)** 67-76.

[12] Pirouzpanah,V. And Barkhordarion,A.M., Dual-Fuelling of An Industrial Indirect Injection Diesel Engine by Diesel and Liquid Petroleum Gas,Department of Mechanical Engineering, Universityof Tabriz, Iran,1995 Çetinkaya, S.: "Benzin ve Dizel Motorların Doğalgaz Motoruna Dönüştürülmesi", *Tesisat Mühendisliği Dergisi,* 81 **(2004)** 14-31.

[14] Soruşbay, C.: "Doğalgaz Motorlarında Egzoz Emisyonu", *Doğal Gaz Dergisi,* 37 **(1995)** 156-163.

[15] Safgönül ve Ark.: "Motorlu Taşıtlarda Doğal Gaz ve Hidrojen Kullanımı", *İstanbul Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu***,** DPT Proje No: 90K120670/17, Nisan **(1994)** 23.

[16] Thırıng, R.H., "Alternative Fuels For Spark Ignition Engines", SAE, 831685

[17] Arslan, E., Soruşbay, C, 1989, "Hidrojenin Binek Otomobillerde Kullanımı ve Depolama Yöntemleri", İkinciOtomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu 1. Özel Sayısı. **(1989)**

[18] Batmaz, İ.: "Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıta Hidrojen İlavesinin Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 22 **(2007)** 137-147.

[19] Pan, K.; Guo, X.: "Experimentan Investigation on Application of Methanol As Fuels for Spark-Ignition Engine", *Chinese Internal Conbustion Engine Engineering,* 8, 8 **(1989)**

[20] Uşaklı, T.: "Performance of a Multicylinder Passenger Car Engine Fueled with Ethanol and Gasoline", *Yüksek Lisans Tezi,* O.D.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, **(1980)**

[21] Gümüş, M.:"İçten Yanmalı Motorlarda Doğal Gazın Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **(1998)** 44-45.

[22] İmdat, ve Ark.: "Metanolün Taşıtlarda Enerji Kaynağı Olarak Farklı Kullanım Yöntemlerinin İncelenmesi'', *TMMOB Makina Mühendisleri*

Odası, 11. Otomotiv Sempozyumu 8-9 Mayıs 2009, Sakarya, Türkiye, **(2009).**

[23] Yörük, S.: "İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt kullanımı", *Yüksek Lisans Tezi,* Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **(2002)**.

[24] Englin, B.A.; Kyuregyan, S.K.; Levinson, G.I.; Demidento, K.A.; Golosava, V.F.: "LowTemperature Properties of Gasoline Methanol", *ZM-KHIM Abst.,* **(1978)** 15.

[25] Kulakoğlu, T.: "Dizel-Metanol Karışımı Kullanılan Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Performans ve Emisyonlara Etkisi" , *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **(2008)** 20-21.

[26] Karaosmanoğlu, F.: "Alkollü Benzinlerin Alternatif Motor Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi", *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **(1990)**

[27] Jia, L.-W.; Shen, M.-Q.; Wang, J.; Lin. M.-Q.: "Influence of Ethanol-Gasoline Blended Fuel on Emission Characteristics from A Four-Stroke R. V., Technical Handbook for Marine Biodiesel", National Renewable Energy Laboratory**,** San Francisco, USA, (**1999)** 1-5.

[28] Yüksel, F.; Yüksel, B.: "The Use of Ethanol-Gasoline Blend As A Fuel in an SI Engine", *Renewable Energy*, 29 **(2004)** 1181-1119.

[29] Can, Ö.: "Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi", *Yüksek Lisans Tezi,* Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, **(2003)** 13-14.

[30] Uslu, K.: "Dizel Motorlarında Farklı Püskürtme Avanslarında Dizel Yakıtı+Etanol Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi", *Yüksek Lisans Tezi,* Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **(2006)** 20.

[31] Karaosmanoğlu, F.: "Türkiye İçin Çevre Dostu-Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı: Biyomotor *Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi***,** ICCI Özel sayısı, İstanbul, Türkiye, 10 **(2002)** 50-5

[32] İşler, A.: "Kanola Yağı Etil Esteri Ve E-Dizel" *Yüksek Lisans Tezi,* İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **(2007)** 25-28.

[33] Knothe, G.; Gerpen, J.V.; Krahl, J.: The biodiesel handbook, AOCS Press,

Champaign, Illinois (**2004)**

[34] Gerpen, J.V.: "Biodiesel processing and production", *Fuel Processing Technology,* 86 **(2005)** 1097-1107.

[35] Marchetti, J.M.; Miguel, V.U.; Errazu, A.F.: "Possible methods for biodiesel production", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11**,** 6 **(2005)** 1300-1311.

[36] Erdoğan, D.; Onurbaş, A.: "Küçük güçlü bir dizel motorunun yakıt olarak kullanılan bazı bitkisel yağlarla ölçülen performans değerleri*", Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı,* 44 **(1994)** 1-2.

[37] Karabektaş, M.: "Dizel motorunda yakıt olarak biomotorin kullanımının motor performansına etkilerinin belirlenmesi", *8. Uluslar arası yanma sempozyumu*, 8-9 Eylül, Ankara, Türkiye, (**2004).**

[38] Demirbas, A.: "Biodiesel fuels from vegetable oil via catalytic and non – catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods : a survey. Energy Conversion and Management", 44, 13 **(2002)** 2093 – 2109.

[39] Yücesu, S.; Altın, R.: "Kanola Yağının Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarda Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel olarak incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Ankara, Türkiye, 12 (4) **(1999)** 1045-1058.

[40] İnternet:http://www.biodieselturk.org/biodiesel_kalite.html(2006)

[41] Meher, L.C.; Vidya Sagar, D.; Naik, S.N.: "Technical Aspect of Biodiesel Production by Transesterification – A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **(2004)** 1-21.

[42] Karabektaş, M.: "Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi", *Doktora Tezi*, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Sakarya, Türkiye, **(2002)** 27-43.

[43] Knothe, G.; Gerpen, J.V.; Krahl, J.: "The biodiesel handbook", AOCS Press, Champaign, Illinois, **(2004).**

[44] Gerpen, J.V.; Shanks,B.; Pruszko,R.; Clements,D.; Knothe,G.: "Biodiesel Production Technology, August 2002–January 2004 Subcontractor Report" NREL National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-510-36244**,** Colarado, s.22-27.www.nrel.gov/docs/fy04osti/36244.pdf **(2004).**

[45] EPA**,**. Assessment and Standards Division (Office of Transportation and Air

Quality of the US Environmental Protection Agency). A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions, *EPA,* 420-P-02-001. **(2002)**

[46] Zhang, Y.: "Design and Economic Assesment of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil", *Ottowa*, Canada (**2002).**

[47] Ergeneman M.; Ozaktas T.; Cigizoglu K.B.; Karaosmanoglu F.; Arslan H.E.: "The effect of some Turkish vegetable oil-diesel fuel blends on exhaust emissions", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects,*19, 8 October, (**1997)** 879 – 885.

[48] Karakuş, N.: "Yakıt Özelliklerinin Dizel Motor Performansına ve Emisyonlarına Etkileri", *Doktora Tezi,* Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, **(2000)** 40-62.

[49] Hazar, H.: Öner, C.: " Dizel ve Benzin Motorlarında Vuruntu ve Etkileri**"** Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Elazığ, Turkiye **(2004)** 170-171

[50] Aktaş, A.; Sekmen, Y.: "Biyodizel İle Çalışan Bir Dizel Motorda Yakıt Püskürtme Avansının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi", Gazi Üniv. Mühendisli. Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23 **(2008)** 199-206.

[51] Okur, M.; Sekmen, Y.; Çınar, C.: "Tek Silindirli Bir Dizel Motorunda Bazı İşletme Parametrelerinin Performansa ve Oluşumuna Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Gazi Üniversitesi, Teknoloji Dergisi, 1-2 **(2003)** 97-102.

[52] İlkılıç,C.: "Bir Dizel Motorunda Enjeksiyon Basıncının Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması" , Fırat Üniversitesi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 20 (3) **(2008)** 483-491.

[53] Bey, E.; Böge Cem, A.: "Dizel sistemlerde Emisyon, Enjektör Meme Örneği", Mühendis ve Makine Makalesi, 48 (568.)

[54] Sekmen, Y.; Çınar, C.; Erduranlı, P.; Boran, E.: "Dizel Motorlarında Enjeksiyon Basıncı ve Maksimum Yakıt Miktarının Motor Performansı ve Duman Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi", *Politeknik Dergisi,* 7 **(2004)** 321–326.

[55] Shimada, T.; Shoji, T.; Takeda, Y.: "The Effect of Fuel Injection Pressure on Diesel Engine Performance", *SAE Paper,* 891919 **(1989)**.

[56] Sugözü, İ.; Aksoy, F.; Baydır, Ş. A.: "Bir Dizel Motorunda Ayçiçeği Metil

Esteri Kullanımının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi" , Afyon Kocatepe Üniversitesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6 (2) **(2009)** 49-56.

[57] İlkılıç, C.: "Metil Ester Katkılı Dizel Yakıtının Bir Dizel Motoru Performansına Etkisinin Deneysel incelenmesi", Fırat Üniversitesi, Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 19 (3): **(2007)** 397-405.

[58] Lague,C.M.; Lo, K.V.; Staley, L.M.: "Waste Vegetable Oil as a Diesel Fuel Extender ", *Canadian Agriculturual Engineering*, 30, **(1987)** 27-32.

[59] Işığıgür, A.: "Türkiye Kökenli Aspir Tohum Yağlarının Transesterifikasyonu ve Dizel Yakıt Alternatifi Olarak Değerlendirilmesi", *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye **(1992).**

[60] Alpgiray, B.; Gürhan, R.: "Kanola Yağının Diesel Motorunun Performansına ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi", Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 13 (3) **(2007)** 231-239.

[61] Çelikten, İ.; ve Arslan, M, A.: "Dizel Yakıtı, Kanola Yağı Ve Soya Yağı Metil Esterlerinin Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Performans ve Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi", Gazi Üniversitesi, Müh, ve Mim. Fak. Dergisi, 23 (4) **(2008)** 829-836.

[62] Özsezen ,A. N., Çanakçı, M.: "Atık Palmiye ve Kanola Yağı Metil Esterlerinin Kullanıldığı Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorda Performans Ve Yanma**"** Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi, 24 (2) **(2009)** 275-284.

[63] Öztürk, M: "Bilen, K.: "Kanola Yağı Metil Esteri ve Karışımlarının Dizel Motoru Egzoz Emisyonuna ve Yakıt Tüketimine Etkisinin Deneysel incelenmesi" Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale, Türkiye, 1 Ocak **(2009)** 1.

[64] Monyem,A.; Van Gerpen,J.H.: "The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions", *Biomas and Bioenerg,* 20, **(2001)** 317-235.

[65] Geyer, S.M.; Jacobus, M.J.; Lestz, S.S.: "Comparison of diesel engine performance and emission from neat and transesterified vegatable oils. Paper" 375, 27 Transactions of the ASAE. **(1984).**

[66] Koçak, M.S.: "Fındık Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarında Alternatif

Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, 3-6 , **(2005)** 137-129.

[67] Altun, Ş.; Öner C.: "Susam Yağının Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motor Performansı ve Motor Elemanları Üzerindeki Etkileri", Fırat Üniversitesi, Teknoloji Dergisi, 8(3) **(2005)** 229-236.

[68] Keskin, A., "Tall Yağı Esaslı Biyodizel ve Yakıt Katkı Maddesi Üretimi ve Bunların Dizel Motor Performansı Üzerindeki Etkileri", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, Turkiye **(2005).**

[69] Mohammed, A.: "Yakıt Olarak Bazı Bitkisel Yağların Diesel Motor Performansına Etkileri", *Doktora Tezi*, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Anabilim Dalı*, Ankara, Türkiye, (**1995)** 4-25.

[70] Sekmen,Y.; Çınar, C.; Erduranlı, P.; Boran, E.: "Dizel Motorlarında Enjeksiyon Basıncı ve Maksimum Yakıt Miktarının Motor Performansı ve Duman Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi", *Politeknik Dergisi,* 7 **(2004)** 321-326.

[71] Pireli, E.: "Biyodizel ve Dizel Yakıtı İle Çalışan Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Performansa Etkisi", *Bilim Uzmanlığı Tezi,* Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye, **(2006)**.

[72] Topgül, T.: "Tek Silindirli Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Püskürtme Avansının ve Püskürtme Basıncının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi", *Yüksek Lisans Tezi,* Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, **(2000)**.

[73] Çelik, M.B.: "Metanol Benzin Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi", *Yüksek Lisans Tezi,* Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, **(1994)**.

[74] Puhan, s.; Jegan, R.; Balasubbramanian, K,; Nagarajan, G.: "Effect of injection pressure on performance, emissionand combustion characteristick of high linelenic linseed oil methy ester in a DI diesel engine", Renewable Energy, xxx **(2008)** 1-7.

[75] Özsezen**,** A.N.: " Atık palmiye yağından üretilen biyodizelin motor performansı ve emisyon krakteristikleri üzerine etkisinin incelenmesi", Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli,

Türkiye **(2007)**

[76] Sayın, C.; Uslu, K.: "Influence of Advanced Injection Timing on thePerformance and Emissions of CI Engine Fueled with Ethanol-Blended Diesel Fuel", *Int. J. Energy Res.*, 32 **(2008)** 1006-1015.

[77] Haşimoğlu, C.; İçingür Y.; Öğüt, H.: "Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi", *Turkish J. Eng. Env. Sci.,* 26 **(2002)** 127-135.

[78] Sönmez, İ.; Özdalyan, B.: "Dizel Motorlarına İlave Oksijen Verilmesinin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi", *9. Uluslararası Yanma Sempozyumu,* Kırıkkale, Ankara, **(2006)**.

EKLER

EK 1. 180 bar püskürtme basıncında, sabit motor yükünde elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	**B0**				**B5**				**B20**				**B50**				**B100**			
Tork (Nm)	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
Devir Sayısı (dev/d)	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Efektif Güç (kW)	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608
Yakıt tüketim Süresi (s)	82	56	38	22	84	70	37	22	81	52	35	21	81	52	33	22	83	51	34	22
Özgül Yakıt tüketimi (g/kWh)	316	229	227	296	311	249	236	301	325	254	247	305	329	258	264	309	332	264	270	312
Motor Yağ Sıcaklığı (^{0}C)	47	53	60	66	70	71	74	77	75	76	77	80	76	75	77	80	63	69	73	76
CO Emisyon Değerleri (%)	0,07	0,08	0,17	2,08	0,05	0,06	0,10	1,42	0,04	0,07	0,10	1,15	0,06	0,07	0,08	1,18	0,06	0,07	0,70	0,96
HC Emisyon Değerleri (ppm)	44	34	31	27	40	31	28	25	36	28	27	24	31	26	25	21	29	25	23	19
CO_2 Emisyon Değerleri (%)	2,61	4,44	7,43	10,75	2,21	4,25	6,99	10,89	2,42	4,05	7,80	10,55	1,95	3,28	6,35	11,17	2,36	3,96	6,51	11,35
NO_x Emisyon Değerleri (ppm)	38	83	132	169	36	86	134	174	45	96	165	202	49	98	169	213	51	102	172	224
İs Emisyon Değerleri (%)	3,3	12,8	64,8	98,6	4,7	15,1	55,4	97,9	3,6	7,2	53,3	98,0	3,4	3,6	35,2	95,2	3,1	4,1	24,8	88,7
Efektif Verim (%)	14,6	20,16	20,34	15,6	14,8	18,6	19,6	15,4	14,4	18,4	18,8	15,2	14,6	18,6	18,2	15,4	15	18,8	18,4	16
Hava Manifold sıcaklığı (^{0}C)	30,1	28,4	26,4	25,0	26,2	26,0	27,0	24,6	26,2	26,5	26,7	26,2	26,4	26,2	26,0	25,2	29,1	27,5	26,2	25,2
Egzoz Sıcaklığı (^{0}C)	143	206	311	445	180	215	308	467	166	209	319	451	148	184	279	440	154	206	298	458
Ortam Sıcaklığı (^{0}C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

EK 2. STD püskürtme basıncında, sabit motor yükünde elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	**B0**				**B5**				**B20**				**B50**				**B100**			
Tork (Nm)	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
Devir Sayısı (dev/d)	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	220
Efektif Güç (kW)	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,60
Yakıt tüketim Süresi (s)	87	60	39	25	85	77	38	26	82	59	37	25	83	57	34	28	84	53	35	24
Özgül Yakıt tüketimi (g/kWh)	297	218	221	256	306	225	229	260	320	221	234	265	324	236	260	270	328	259	263	274
Motor Yağ Sıcaklığı (^{0}C)	72	72	74	76	74	74	75	78	70	71	73	76	73	73	75	78	60	65	69	73
CO Emisyon Değerleri (%)	0,06	0,06	0,08	1,04	0,04	0,06	0,06	0,90	0,05	0,06	0,07	0,85	0,06	0,07	0,08	0,87	0,06	0,06	0,10	0,76
HC Emisyon Değerleri (ppm)	29	28	28	26	28	27	26	24	26	25	23	22	29	26	26	18	26	24	25	15
CO_2 Emisyon Değerleri (%)	2,25	3,30	5,74	10,59	1,72	3,20	6,05	10,29	2,07	3,55	5,92	10,42	1,94	4,00	6,00	10,73	2,52	4,26	6,99	11,1
NO_x Emisyon Değerleri (ppm)	33	74	114	178	34	76	123	184	44	83	127	163	46	93	131	204	57	102	152	217
İs Emisyon Değerleri (%)	7,8	15,9	46,2	97,5	5,3	10,2	32,8	93,9	4,3	9,7	25,6	92,4	3,8	4,9	37,6	86,2	7,8	15,9	46,2	86,2
Efektif Verim (%)	15,6	21,18	20,9	18	15	20,62	20,26	17,8	14,6	21,02	20,04	17,6	14,8	20,36	18,4	17,8	15,2	19,2	19	18,2
Hava Manifold sıcaklığı (^{0}C)	27,4	26,8	26,5	24,9	26,5	26,7	25,8	24,9	27,0	27,2	26,5	25,0	25,6	27,0	26,2	25,0	27,5	25,2	25,0	25,0
Egzoz Sıcaklığı (^{0}C)	148	202	285	494	145	195	302	454	144	203	302	428	150	205	307	444	137	201	325	454
Ortam Sıcaklığı (^{0}C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

EK 3. 220 bar püskürtme basıncında, sabit motor yükünde elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	**B0**				**B5**				**B20**				**B50**				**B100**			
Tork (Nm)	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
Devir Sayısı (dev/d)	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Efektif Güç (kW)	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608
Yakıt tüketim Süresi (s)	83	51	33	29	84	51	34	28	87	54	34	28	90	54	35	28	95	57	43	32
Özgül Yakıt tüketimi (g/kWh)	314	256	244	265	308	254	240	267	302	245	235	264	296	250	236	258	290	242	224	243
Motor Yağ Sıcaklığı (^{0}C)	61	67	69	72	72	73	75	77	75	75	76	78	60	66	70	74	73	74	76	79
CO Emisyon Değerleri (%)	0,02	0,05	0,05	0,83	0,05	0,02	0,04	0,76	0,05	0,06	0,03	0,66	0,03	0,05	0,05	0,76	0,06	0,06	0,10	0,63
HC Emsyon Değerleri (ppm)	31	30	29	25	30	29	28	23	29	28	27	22	28	27	25	20	29	26	24	19
CO_2 Emisyon Değerleri (%)	2,20	3,24	6,01	10,14	1,96	3,27	6,32	7,21	1,58	2,99	5,98	9,86	2,27	3,81	6,69	10,79	2,30	3,77	6,49	10,71
NO_x Emisyon Değerleri (ppm)	39	68	114	172	42	69	111	176	53	71	129	235	61	112	198	257	79	142	225	269
İs Emisyon Değerleri (%)	40,7	45,3	72,5	93,9	13,2	36,6	42,3	92,1	6,5	8,2	39,2	91,6	4,3	6,9	43,5	93,4	3,4	3,8	39,3	83,8
Efektif Verim (%)	14,6	18	17,4	16,2	15	18,2	18,6	16	15,4	19	18,4	16,4	16,2	19,2	18,6	17,2	17,2	20,7	20,54	19
Hava Manifold sıcaklığı (^{0}C)	26,5	27,2	26,7	25,0	27,4	27,0	26,4	25,0	26,5	26,8	26,5	25,0	25,5	26,4	25,1	24,2	26,3	25,8	25,3	24,1
Egzoz Sıcaklığı (^{0}C)	141	194	298	458	152	194	318	456	148	184	298	444	139	202	327	487	168	216	321	506
Ortam Sıcaklığı (^{0}C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

EK 4. 240 bar püskürtme basıncında, sabit motor yükünde elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	**B0**				**B5**				**B20**				**B50**				**B100**			
Tork (Nm)	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
Devir Sayısı (d/d)	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Efektif Güç (kW)	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608	1,152	2,303	3,456	4,608
Yakıt tüketim Süresi (s)	79	562	36	26	81	50	37	28	88	55	35	28	92	57	36	34	96	60	46	34
Özgül Yakıt tüketimi (g/kWh)	330	258	248	268	321	251	244	256	298	246	240	243	292	241	234	235	287	238	222	228
Motor Yağ Sıcaklığı (^{0}C)	74	74	76	78	77	77	78	80	76	76	77	80	71	73	76	78	57	61	65	70
CO Emisyon Değerleri (%)	0,05	0,04	0,02	0,30	0,05	0,06	0,05	0,56	0,03	0,06	0,07	0.52	0,03	0,05	0,06	0,37	0,04	0,06	0,01	0,37
HC Emisyon Değerleri (ppm)	30	29	28	24	28	28	27	22	27,5	28	27	21	27	26	25	19	26	25	23	18
CO_2 Emisyon Değerleri (%)	2,12	3,96	6,14	9,36	2,23	3,97	5,33	10,56	2,12	3,94	6,63	10,46	1,99	4,32	6,33	10,23	2,35	4,09	7,02	9,38
NO_x Emisyon Değerleri (ppm)	67	178	190	241	71	184	196	245	73	187	213	248	76	204	227	255	79	217	230	259
İs Emisyon Değerleri (%)	31,2	46,5	47,7	88,0	28,3	28,7	41,3	88,9	16,5	22,9	44,1	93,5	14,9	13,3	57.9	78,4	19,2	41,1	69,9	74,6
Efektif Verim (%)	13,8	17,8	17,2	14,6	14,4	18,2	17,4	16	14,6	19,4	18,6	17	16,3	20,36	19,4	18	17,4	21,6	21,06	19,4
Hava Manifold sıcaklığı (^{0}C)	25,0	25,4	24,8	23,6	25,6	25,4	24,7	23,5	25,8	26,0	25,1	23,6	26,4	25,8	24,7	23,8	27,4	26,5	25,4	24,7
Egzoz Sıcaklığı (^{0}C)	155	201	305	443	163	212	309	429	160	206	316	450	155	237	323	441	141	209	334	442
Ortam Sıcaklığı (^{0}C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

ÖZGEÇMİŞ

Murat KAYA 02.02.1979 tarihinde Ağrı'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ağrı'da tamamladı. 1995 yılında Ağrı Endüstri Meslek Lisesi Makina Bölümünden mezun oldu. 1999 yılında Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı'nı kazandı.. 2003 yılında bu bölümden mezun oldu. 2005–2009 yılları arasında Ağrı Mesleki Eğitim Merkezi, Motorlu Araçlar Bölümü'nde vekil öğretmenlik yaptı. Şu an, Muş Teknik ve Endüstri Meslek lisesi, Motorlu Araçlar Bölümü'nde çalışmaktadır.