



T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÜÇ SİLİNDİRLİ MOTORA SAHİP
TARIMSAL AMAÇLI BİR TRAKTÖRDE
BİYODİZEL KULLANIMININ
PERFORMANS VE
EMİSYONLARA ETKİSİ

MURAT KARABULUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Cenk SAYIN

İSTANBUL, 2015



MARMARA UNIVERSITY

INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES

IN PURE AND APPLIED SCIENCES



**EFFECT OF BIODIESEL ON THE EMISSION
AND PERFORMANCE OF AN
AGRICULTURAL TRACTOR HAVING
THREE CYCLINDERS ENGINE**

MURAT KARABULUT

MASTER THESIS

Department of Mechanical Engineering

Thesis Supervisor

Assoc. Prof. Dr. Cenk SAYIN

ISTANBUL, 2015

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Murat KARABULUT'un “**Üç Silindirli Motora Sahip Tarımsal Amaçlı Bir Traktörde Biyodizel Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi**” başlıklı tez çalışması, 15.10.2015 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Cenk SAYIN (Danışman)
Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

Yrd. Doç. Dr. Abdullah DEMİR (Üye)
Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi.....

Yrd. Doç. Dr. Ertan ALPTEKİN (Üye)
Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ../../.... tarih ve sayılı kararı ile Murat KARABULUT'un Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Uğur YAHŞİ

MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES IN PURE AND
APPLIED SCIENCES

Murat KARABULUT, a Master of Science student of Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, defended his thesis entitled “**Effect of biodiesel on the emission and performance of an agricultural tractor having three cylinders engine**”, on 15th Oct 2015 and has been found to be satisfactory by the jury members.

Jury Members

Assoc. Prof. Dr. Cenk SAYIN (Advisor)

Marmara University

Assist. Prof. Dr. Abdullah DEMİR (Jury Member)

Marmara University.....

Assist. Prof. Dr. Ertan ALPTEKİN (Jury Member)

Kocaeli University.....

APPROVAL

Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences Executive Committee approves that Murat KARABULUT be granted the degree of Master of Science in Department of Mechanical Engineering, Mechanical Engineering Program on (Resolution no:).

Director of the Institute

Prof. Dr. Uğur YAHŞİ

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

İçten yanmalı motorlar (İYM) günümüzde sanayi, ulaşım ve günlük hayatımızın birçok noktasında yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Dizel motorlar ise İYM içerisinde, özellikle endüstriyel alanda büyük kullanım alanına sahiptir. Dolayısıyla dizel motorların gelişimi ve ilerlemesi dünya çapında getirilen emisyon standartlarına birebir bağlıdır. Araştırmacılar emisyon standartları çerçevesinde dizel motorların gelişimine katkı yapmak için çeşitli araştırmalar yapmaktadır. Diğer taraftan sınırlı olan petrol rezervleri ve değişik zamanlarda yaşanan petrol krizleri, ihtiyacının büyük bir kısmını ithal eden ülkemiz ve benzer ülkeler açısından büyük sıkıntılara sebep olmaktadır. Tarım, ulaşım, taşımacılık, elektrik üretimi, endüstri ve inşaat faaliyetleri gibi geniş bir alanda kullanılan dizel motorlarda tüketilen petrol kökenli yakıtlara alternatif yakıtlar bulunması, hem ekonomik hem de stratejik açıdan önemlidir. Dizel motorlar üzerinde alternatif yakıtları kapsayan çalışmaların başında bitkisel kaynaklardan elde edilen esterlerin kullanılması yer almaktadır. Bitkisel kaynaklardan elde edilmiş bu esterler biyodizel olarak isimlendirilmektedir. Biyodizel yakıtlar kısıtlı olan fosil kökenli yakıtlara olan ihtiyacın ve enerji kaynaklarında dışa bağımlılığın azaltılması, iç ekonominin geliştirilerek toplumun refah seviyesinin artırılması açısından önem arz etmektedir. Biyodizel yakıtların kullanılması İYM'nin çevre ile olan etkileşimi için de önem arz etmektedir. Yapıları gereği biyodizeller daha az zararlı bileşenler bulundurmaktadır, ve artan toplumsal ihtiyaçlar sonucunda İYM kullanımı çevreye verilen zararın azaltılması için bir fırsat oluşturmaktadır. Yapılan bu yüksek lisans çalışmasında tarımsal amaçlı bir traktörde motorine alternatif olarak biyodizelin kullanılabilirliği incelenmiştir. Yapılan çalışmada, bitkisel kaynaklar kullanılarak elde edilmiş olan biyodizel farklı hacimsel oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak motor performans ve emisyon değerleri incelenerek biyodizellerin kullanılabilirliği irdelenmiştir. Çalışma sırasında engin bilgi ve tecrübelerini aktaran ve danışmanlığımı üstlenerek desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Cenk SAYIN'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Çalışmalarım süresince destek ve anlayışlarını esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ekim, 2015

Murat KARABULUT

İÇİNDEKİLER

ÖZET	x
SEMBOLLER/SYMBOLS	xii
KISALTMALAR/ABBREVIATIONS	1
ŞEKİL	3
TABLO LİSTESİ/LIST OF TABLES.....	4
BÖLÜM I	5
1.1. Giriş.....	5
1.2. Amaç	6
1.3. Literatür Taraması	7
II. BÖLÜM.....	10
2.1. Dizel Motorların Tarihçesi	10
2.2. Alternatif Yakıtlar	11
2.2.1. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)	12
2.2.2. Sıkıştırılmış Doğal Gaz (CNG)	12
2.2.3. Hidrojen (H ₂).....	14
2.2.4. Metanol.....	14
2.2.5. Etanol	15
2.2.6. Biyodizel	16
2.3. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi	19
2.4. Dünyada ve Türkiye’de Biyodizel	22
2.4.1. Dünya’da Biyodizel.....	22
2.4.2. Avrupa Birliği’nde Biyoyakıt.....	23
2.4.3. Türkiye’de Biyoyakıt	26
2.5. Biyodizelin Çevreye Etkileri	28

2.5.1.	Biyodizel Yakıtının Avantajları ve Dezavantajları	28
2.6.	Dizel Motorlarda Yanma Süreci.....	29
2.6.1.	Karma Çevrim	33
2.6.2.	Dizel Motorlarının Yanma Periyotları	34
2.6.2.1.	Tutuşma Gecikmesi.....	35
2.6.2.2.	KontROLSÜZ Yanma.....	35
2.6.2.3.	Kontrollü Yanma.....	36
2.6.2.4.	Art Yanma	36
2.7.	Dizel Motorlarda Yanmaya ve Emisyonlarına Etki Eden Parametreler.....	37
2.7.1.	Giriş Basıncı ve Sıcaklığı.....	37
2.7.2.	Sıkıştırma Oranı	39
2.7.3.	Püskürtme Şekli.....	41
2.7.4.	Yakıt Özellikleri	43
2.7.5.	Hava Yakıt Oranı	45
2.8.	Dizel Motorlarda Kirletici Emisyonlarının Oluşumu ve Çevreye Etkileri	46
2.8.1.	Karbonmonoksit (CO).....	50
2.8.2.	Yanmamış Hidrokarbonlar (HC).....	51
2.8.3.	Azot oksitler (NO _x).....	52
2.8.4.	Aldehitler (R.CHO).....	52
2.8.5.	İs, Partiküller (Katı ve Sıvı Parçacıklar)	52
2.8.6.	Kükürt dioksit (SO ₂).....	53
BÖLÜM III.....		54
3.	MATERYAL VE YÖNTEM	54
3.1.	DeneySEL Çalışmanın Amacı	54
3.2.	Materyal	54
3.2.1.	Deneylerde Kullanılan Tarım Traktörü.....	54

3.2.2.	Testlerde Kullanılan Yakıtlar	56
3.2.3.	Dinamometre Test Düzeneği.....	56
3.2.4.	Yöntem	57
3.2.4.1.	Tanımlamalar	57
3.2.4.1.1.	Kuyruk Mili Test Dinamometresi	57
3.2.4.1.2.	Motor Karakteristik Eğrisi.....	57
3.2.4.1.3.	Nominal Kuyruk Mili Gücü (kW).....	57
3.2.4.1.4.	Nominal Devir (d/d)	57
3.2.4.1.5.	Tork	58
3.2.4.1.6.	Tork Rezervi	58
3.2.4.1.7.	Saatlik Yakıt Tüketimi (kg/h).....	58
3.2.4.1.8.	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	58
3.3.	Motor Parametreleri ve Tanımlamaları	58
3.3.1.	Motor Gücü	58
3.3.1.1.	İndike (İç) Güç	59
3.3.1.2.	Fren Beygir Gücü (Faydalı Güç), Tanımı ve Hesaplanması	60
3.3.1.3.	Prony Freni İle Faydalı Gücün Ölçülmesi ve Hesaplanması	60
3.3.1.4.	Hidrolik Dinamometreler	62
3.3.1.5.	Elektrikli Dinamometre ile Faydalı Gücün Ölçülmesi ve Hesaplanması	62
3.3.2.	Motor Verimi ve Hesaplanması	62
3.3.2.1.	Verimin Tarifi	62
3.3.2.2.	Verim Çeşitleri	63
3.3.2.2.1.	Mekanik Verim.....	63
3.3.2.2.2.	Termik (Efektif) Verim	63
3.3.2.2.3.	Hacimsel Verim.....	64
3.3.2.2.4.	Özgül Yakıt Sarfıyatı.....	64
3.3.2.3.	Test Düzeneği.....	65

3.3.2.4. Deneysel Verilerin Hesaplanması	68
BÖLÜM IV	70
4. BULGU VE TARTIŞMALAR.....	70
4.1. Motor Performansı Deney Sonuçları.....	70
4.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi.....	70
4.2. Egzoz Emisyon Karakteristiklerinin Karşılaştırılması	72
4.2.1. Hidrokarbon Emisyonu (HC)	72
4.2.2. Azot Oksit Emisyonu (NO _x)	73
4.2.3. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu.....	75
4.2.4. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonu	76
4.2.5. Kükürt-dioksit (SO ₂) Emisyonu	77
BÖLÜM V.....	79
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
6. EKLER	84
Ek-1 Kullanılan biyodizele ait kimyasal analiz sonuçları	84
Ek-2 Kullanılan motorine ait kimyasal analiz sonuçları	85
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	91

ÖZET

ÜÇ SİLİNDİRLİ MOTORA SAHİP TARIMSAL AMAÇLI BİR TRAKTÖRDE BİYODİZEL KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Motorlu taşıtların birincil enerji kaynağı olarak kullanılan petrol türevi yakıtların kısıtlı olması, yenilenebilir ve alternatif olarak petrol kökenli yakıtların yerine kullanılacak yakıtlar üzerine yapılan araştırmaların yanı sıra bu yakıtların kullanılması durumunda performans ve emisyonlar üzerinde nasıl etki gösterdiği de araştırma konusu olmaktadır.

Bu çalışmada, hacimsel olarak ticari motorin (%0), %5, %10, %20, %50 ve %100 oranlarında yerel tarımsal kaynaklardan elde edilmiş esterlerden üretilen biyodizel-dizel yakıt karışımları kullanılmıştır. Hazırlanan karışımların üç silindir tarımsal bir traktörde kullanılarak kuyruk milinden güç, egzozundan ise emisyon ölçümü alınarak motor parametreleri ve egzoz emisyon ölçümleri irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre biyodizelin karbonmonoksit, karbondioksit, hidrokarbon, kükürt-dioksit emisyon değerlerinde gözlemlenebilir bir iyileşme söz konusu iken azot oksit değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Motor performans değerlerinde ise biyodizelin ısıl değerinin motorine göre düşük olması nedeniyle bir miktar güç kaybı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak da özgül yakıt tüketimi değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

Ekim 2015

Murat KARABULUT

ABSTRACT

EFFECT OF BIODIESEL ON THE EMISSION AND PERFORMANCE OF AN AGRICULTURAL TRACTOR HAVING THREE CYCLINDERS ENGINE

Limited availability of fossil fuels, which is the primary energy source of the motor vehicle, causes studies to be made on alternative energy sources as well as the effect of their use in engine emissions and power output.

In this study, different biodiesel – diesel mixtures containing diesel fuel (%0), 5%, 10%, 20%, 50% and 100% biodiesel by volume is tested. Biodiesel used was produced from methyl ester obtained from local agricultural resources and the diesel used was the available commercial rural diesel fuel. A standard agricultural tractor with a three-cylinder engine is utilized in the tests, prepared mixtures are used and engine emissions from the exhaust is monitored while power output is measured at PTO.

The results of the tests showed that; with increasing biodiesel content in the fuel, an improvement in carbon-monoxide, carbone-dioxide, hydrocarbon, sulphur-dioxide emission values as well as an increase in nitrousoxide value is observed. Due to the low calorific value of biodiesel compared to diesel, an amount of loss in engine output and a slight increase in the specific fuel consumption is also observed.

October 2015

Murat KARABULUT

SEMBOLLER/SYMBOLS

C_v : Sabit hacimde özgül ısı

C_p : Sabit basınçta özgül ısı

g : Gram

ha : Hektar

kg : Kilogram

mg/l : Miligram / Litre

q_{in} : Sisteme giren ısı miktarı

q_{out} : Sistemden çıkan ısı miktarı

T : Sıcaklık

ω_{net} : Sistemin net işi

V_{BDC} : Alt ölü noktanın üstünde bulunan hacim

B : Kesme oranı

η_t : Isıl verim

λ : Lambda

ε : Sıkıştırma oranı

KISALTMALAR/ABBREVIATIONS

AB : Avrupa Birliği

AK : Avrupa Konseyi

AÖN : Alt Ölü Nokta

AP : Avrupa Parlamentosu

B0 : Hacimsel olarak %100 Motorin, %0 Biyodizel

B2 : Hacimsel olarak %98 Motorin, %2 Biyodizel

B5 : Hacimsel olarak %95 Motorin, %5 Biyodizel

B20 : Hacimsel olarak %80 Motorin, %20 Biyodizel

B50 : Hacimsel olarak %50 Motorin, %50 Biyodizel

B80 : Hacimsel olarak %20 Motorin, %80 Biyodizel

B100 : Hacimsel olarak %0 Motorin, %100 Biyodizel

CH₄ : Metan

CO₂ : Karbon dioksit

CO : Karbon monoksit

DPT : Devlet Planlama Teşkilatı

DTK : Doğrudan Tehlike Konsantrasyonu

HC : Hidrokarbon

HCl : Hidroklorik Asit

HF : Hidroflorik Asit

KOH : Potasyum Hidroksit

l : Litre

MAK : Maksimum Atmosfer Konsantrasyonu

MIK : Maksimum İşyeri Konsantrasyonu

Mtep : Milyon Ton Eşdeğer Petrol

NaOH : Sodyum Hidroksit

NO_x : Azot-oksit

-OH : Hidroksil

ÖYT : Özgöl Yakıt Tüketimi

PM : Partikül Madde

SO₂ : Kükürtdioksit

TEP : Ton Eşdeğer Petrol

THT : Tetra Hidro Teafon

ÜÖN : Üst Ölü Nokta

Vol. : Hacim

% wt : Yüzdesel Ağırlık

ŞEKİL

Şekil 2. 1. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi	21
Şekil 2. 2. İlk geliştirilen dizel motorların basınç – hacim diyagramları.....	30
Şekil 2. 3. Dört zamanlı ideal dizel çevrimi (a) basınç özgül hacim grafiği (b) sıcaklık – entropi ilişki grafiği.....	30
Şekil 2. 4. a) İlk dizel motorların basınç – hacim grafiği, b) karma çevrime sahip modern motorların basınç – hacim grafiği	33
Şekil 2. 5. Dört zamanlı ideal karma çevrimi (a) basınç özgül hacim grafiği (b) sıcaklık – entropi ilişki grafiği.....	34
Şekil 2. 6. Bir dizel motoruna ait basınç – krank mili açısı diyagramı	35
Şekil 2. 7. Giriş basıncının tutuşma gecikmesine etkisi.....	38
Şekil 2. 8. Giriş sıcaklığının tutuşma gecikmesine etkisi	39
Şekil 2. 9. Dolgu sıcaklığına bağlı olarak NO _x emisyonunun değişimi	39
Şekil 2. 10. Sıkıştırma oranının duman miktarına etkisi	40
Şekil 2. 11. Sıkıştırma oranının basınç – krank açısı diyagramına etkisi n= 600 d/d, Y/H= 0,05, püskürtme avansı =12	41
Şekil 2. 12. Sıkıştırma oranının fren özgül yakıt tüketimine etkisi	41
Şekil 2. 13. Yakıt püskürtme hızının etkileri	42
Şekil 2. 14. Dizel motorlarında püskürtme avansının motor parametrelerine etkileri	43
Şekil 2. 15. Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi	44
Şekil 2. 16. Setan sayısının NO _x emisyonuna etkisi	44
Şekil 2. 17. Hava fazlalık katsayısının egzoz gazları emisyonu üzerindeki etkisi	45
Şekil 2. 18. 37 kW (50- 750 hp) EPA ve EU yol dışı (nonroad) emisyon düzenlemesi	48
Şekil 3. 1. Yakıt Hazırlanması	56
Şekil 3. 2. Prony freni	61
Şekil 3. 3. Deney Sistemi Diyagramı.....	66
Şekil 3. 4. Deney düzeneği	67
Şekil 3. 5. Gösterge panelinden kuyruk mili devrinin takip edilmesi.....	67
Şekil 4. 1. %75 yük ve değişik devirlerde özgül yakıt tüketimi değişimi	71
Şekil 4. 2. %75 kısmi yük ve değişik devirlerde efektif verim değişimi	72
Şekil 4. 3. %75 kısmi yük ve değişik devirlerde HC emisyonu değişimi.....	73
Şekil 4. 4. %75 kısmi yük ve değişik devirlerde NO _x emisyonu değişimi.....	74
Şekil 4. 5. %75 kısmi yük ve değişik devirlerde CO emisyonu değişimi.....	75
Şekil 4. 6. %75 kısmi yük altında ve değişik devirlerde CO ₂ emisyonu değişimi.....	77
Şekil 4. 7. %75 kısmi yük ve değişik devirlerde SO ₂ emisyonu değişimi	78

TABLO LİSTESİ/LIST OF TABLES

Tablo 2. 1. Doğalgazın bazı özellikleri	13
Tablo 2. 2. Doğalgazın kimyasal bileşenleri	13
Tablo 2. 3. Biyodizel – Dizel (Motorin) Karışımlarının Adlandırılması	18
Tablo 2. 4. Dizel ve Biyodizelin Karşılaştırılması	19
Tablo 2. 5. Bitkisel yağlara ait yakıt özelliklerinin dizel yakıtla karşılaştırılması	21
Tablo 2. 6. Dünya yakıt etanolü üretimi (milyon litre)	23
Tablo 2. 7. Avrupa Birliği’nde toplam biyoyakıt tüketim (günlük bin varil)	24
Tablo 2. 8. Avrupa birliği toplam biyoyakıt üretimi (günlük bin varil)	24
Tablo 2. 9. Avrupa Birliği ülkelerinde biyodizel üretimi (1000 ton)	25
Tablo 2. 10. Türkiye tarımsal biyokütle potansiyeli	26
Tablo 2. 11. Türkiye toplam biyoyakıt üretimi ve tüketimi (günlük bin varil)	26
Tablo 2. 12 Biyodizel emisyonlarının motorin emisyonlarından %’de farkı	28
Tablo 2. 13. İnsan sağlığı açısından mevcut sınırlamalar	47
Tablo 2. 14. Uluslararası Tier emisyon standardının motor gücüne göre sınır değerleri	49
Tablo 2. 15. Uluslararası Euro emisyon standardının motor gücüne göre sınır değerleri	50
Tablo 3. 1 Test motoruna ait teknik veriler.....	55
Tablo 3. 2. Test yakıtlarına ait yoğunluk değerleri	56
Tablo 3. 3. Test dinamometresinin özellikleri	57
Tablo 3. 4 Formül 3.2 ve 3.3 açıklaması.....	60
Tablo 3. 5 Formül 3.4 açıklamaları.....	61
Tablo 3. 6 Bir dizel motorun ısı kayıpları.....	64
Tablo 3. 7. Formül 3.8 açıklamaları.....	64
Tablo 3. 8. Formül 3.10 açıklamaları.....	65
Tablo 3. 9 Egzoz emisyon cihazının özellikleri.....	66
Tablo 3. 10. Ortalama atmosferik koşullar (Code2)	68
Tablo 4. 1. %75 kısmi yük ve farklı devirler için egzoz sıcaklıkları	74

BÖLÜM I

1.1. Giriş

Günümüzde insan nüfusunun sürekli artması, teknolojinin Rönesans ve Sanayi Devrimi ile durdurulamaz bir gelişim hızı yakalamasıyla enerji gereksiniminde çok büyük bir ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Enerji kaynaklarının sınırlı olması, sanayileşmiş ülkelerin enerji ihtiyaçlarının fazla olması zaman içerisinde bu ülkelerin yeni kaynak arayışlarına geçmesi nedeniyle ülkeler arası savaşlar, sömürgeler ve uluslararası stratejik ortaklıkların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Dünya üzerinde birincil enerji kaynağı olarak kullanılan fosil kökenli yakıtların kısıtlı olması 20. yüzyılda ortaya çıkan petrol krizleri toplumları yeni bilimsel araştırmalarla kendi enerji kaynaklarını kullanmaya, yasal düzenlemeler yapmaya ve enerji kaynakları konusunda toplumsal bilinçlenmeye yöneltmiştir. 1970 ve 1980 yılları arasında petrol krizinin baş göstermesi nedeniyle araştırmacılar alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya başlamışlardır [1].

Günümüzde sanayisi gelişmiş ülkelerin enerji ihtiyaçları artış gösterirken, bu enerjinin elde edilmesi ve kullanılması sonucunda çevreye olan olumsuz etkileri de ön plana çıkmaktadır. Çağımızda motorlu araçlar endüstriyel alanda büyük bir kullanım alanına sahiptir. Fosil kökenli yakıtların makine çeşitlerine göre kullanımına bakıldığında yine İYM'ler geniş bir kullanım alanına sahiptir. Dünya enerji kullanım istatistiklerine bakıldığında fosil kökenli yakıtların 2012 ile 2013 yılları arasında yaklaşık % 1,7 oranında arttığı görülmüştür [2]. Bu artış daha önce belirtildiği gibi enerji ihtiyacından ortaya çıkmakta ve hava kirliliğine neden olmaktadır. Ülkemizde, şehirlerde yaşanan hava kirliliğinin % 40'ı trafikten kaynaklanmaktadır. Dünya üzerinde yaklaşık olarak 2013 yılı sonunda 1,2 Milyar araç bulunmaktadır, ülkemizde ise bu rakam 2015 yılı Mart ayında 18.955.588'dir [3]. İYM motorlarda fosil kökenli yakıtların kullanımları sonucunda yaşam kalitemizi etkileyen atmosferin kirlenmesi hızlanmıştır. Hem enerji kaynaklarının alternatiflerini arttırarak rekabet piyasasında enerji politikalarımızın geliştirilmesi hem de ekonomik anlamda bağımsızlaşmamız konusunda önem arz etmektedir. Tarım alanlarımızın birçok biyokütle üretimine uygun olması yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda incelenmiştir ki biyo-kütleden elde edilmiş yağların işlenerek belli oranlarda motorin ile karıştırılması sonucunda efektif bir şekilde kullanıldığı görülmüştür.

Tarımsal ürünlerden biyodizel ve biyoetanol elde edilmektedir. Bu yakıtlardan biyoetanol; mısır, buğday, arpa gibi nişasta yönünden zengin veya şeker pancarı, şeker kamışı, sorgum gibi şeker içeriği yüksek tarım ürünlerinin çeşitli kimyasallar ve enzimler eklenerek mayalanması ile üretilen temiz, çevre dostu ve yenilenebilir bir yakıttır. Biyodizel ise bitkisel ham yağlardan ya da kullanılmışlarından ve hayvansal yağlardan kimyasal yöntemler yardımıyla elde edilen biyoyakıtlar kapsamında olan, çevre dostu ve yenilenebilir nitelikli sıvı halde bir yakıttır [4]. Kullandığımız enerji kaynaklarının, ülke geleceğimiz ve gelecek nesiller açısından yerel kaynaklardan elde edilmiş olması çok önemlidir. Bunun yanı sıra çalışmalarımızda yenilenebilir, doğada çözünebilir yakıtlar üzerine odaklanması, kaynak çeşitliliğinin artırılması açısından önem taşımaktadır.

1.2. Amaç

Ülkemizde milli gelirimizin büyük bir kısmını en yaygın kullanılan birincil kaynak olan petrol için kullanmaktayız. Kriz durumlarında ve ülkemizin dışa bağımlılığının azaltılması yönünde alternatif yakıtların geliştirilmesi enerji politikaları açısından stratejik bir konudur. Bu yakıtın yine yerli kaynakların kullanılması ve çevresel anlamda doğaya geri kazanımının oranı önemli kısıtlar arasında yer almaktadır. Günümüzde yaygın kullanılan araçlarda teknolojik değişikliklere yol açmadan, mevcut halleri ile yenilenebilir, çevresel ve performans ihtiyaçlarına cevap verebilecek yakıt araştırmaları devam etmektedir. Bu özellikleri sağlayabilecek yakıt, tarımsal ürünlerden elde edilen esterler yardımıyla üretilmektedir. Çalışmamız içerisinde kullanılacak yakıtın temelini oluşturan ester tamamen yerli tarım ürünleri kullanılarak (hammaddesi – virgin oil) oluşturulmuştur. Araçlar üzerine her geçen gün yeni bir araştırma ve geliştirme çalışması devam etmektedir. Bu gelişmelerden en önemlisi, araca hareket kabiliyetini kazandıran ve enerji çevrimini sağlayarak hareket sağlayan motor ve parametreleri üzerine olmaktadır. Motor yapısı ya da yakıt ile yapılan bir değişiklik/iyileştirme çalışmalarının sonuçları etkin bir şekilde motor bremzelerinde (dinamometrede) gözlemlenebilmektedir.

Biyokütle enerji kaynaklarından elde edilen biyodizelin yanma sonuçlarının ve sağladığı güç değerlerinin, standart dizel yakıt ile yapılan testlerden elde edilen sonuçları karşılaştırılarak, tarım sektöründe kullanılan traktörlerin biyokütlesel yakıtların kullanım sınır şartların belirlenmesi hedeflenmektedir. Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri İYM’larda İYM’lerde alternatif yakıt olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca içerisindeki kirleticilerin çevresel etkilerinin düşük olması dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada, alternatif yakıt olarak biyodizelin kullanımında meydana gelebilecek performans kayıpları ve zararlı emisyon artışlarının engellenmesine yönelik çözüm yolları araştırılacaktır. Bu amaç için farklı oranlarda biyodizel-dizel karışım yakıtları oluşturulması ve bu karışımların dinamometre ile yüklenmesi durumunda egzoz emisyonlarının değişiminin ölçülmesi planlanmıştır. Ayrıca egzoz emisyonları ile motor performansı arasındaki bağlantının elde edilmesi hedeflenmiştir. Böylelikle, bir dizel motor içerisinde biyodizel kullanımı sırasında en uygun çalışma koşulları belirlenecektir.

Çalışmamız esnasında yerli üretim olan biyodizel, üç silindirli, direkt püskürtmeli, 3600 cm³ hacme sahip bir tarımsal traktörde kullanılmış ve traktörün üzerinde yer alan kuyruk miline bağlanmış bir dinamometre yardımı ile ölçümler yapılmıştır. Elde edilen veriler, ticari amaçla satılmakta olan standart motorin yakıtından elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda biyodizelin standart kullanılan motorin yakıtına alternatif olarak kullanılıp kullanılamayacağı değerlendirilmiştir.

1.3. Literatür Taraması

Dünya üzerinde ve Türkiye’de alternatif yakıtlar üzerine birçok araştırma ve inceleme yapılmıştır. Nişancı S. lisans çalışmasında 454 cm³ hacme sahip, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı direkt püskürtmeli bir motoru farklı yük kademelerinde çalıştırarak biyodizel kullanımının performans ve emisyon karakteristikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Biyodizel kullanımıyla motor momentinde ve motorun gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde ise artış söz konusu olmuştur. Diğer taraftan, emisyon değerlerinde azalma gözlenmiştir [5].

Kılıçaslan K. Yüksek Lisans çalışmasında 6000 cm³ hacme sahip, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu, sıvı soğutmalı ve 6 silindirli bir dizel motorda sabit devir ve farklı yük şartlarında isobutanol-dizel yakıt karışımları kullanımının performans ve emisyon parametreleri üzerine etkilerini incelemiştir. Elde edilen emisyon sonuçları incelendiğinde, belli karışım oranlarında isobutanolün dizel yakıtına alternatif olabileceği gözlemlenmiştir. Ancak, isobutanolün ısı değeri düşük olması nedeniyle özgül yakıt tüketiminde artış söz konusu olmuştur [6].

Imtenan ve arkadaşları 2477 cm³ hacmine sahip, 65 kW güce sahip, sıralı tip, 4 silindirli, turbo beslemeli bir dizel motorda, yer fıstığından elde edilmiş biyodizel ve dizel yakıt karışımlarından elde edilmiş altı farklı test yakıtı kullanmışlardır. Yapılan çalışmada

biyodizel kullanımıyla, ÖYT miktarında 1500 d/d dan sonra dizele oranla artış gözlenirken, krank açısı, silindir içi basınç ve ısı enerji grafiklerine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Emisyon yorumları incelendiğinde azotoksit (NO_x) miktarı hariç karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2), hidrokarbon (HC) emisyonlarında iyileşme gözlemlenmiştir. NO_x miktarı artışın sebebi ise biyodizelin yanma sonu ortaya çıkan ısı miktarının yüksek olması ve içerisinde serbest oksijen (O_2) bulundurmasıdır [7].

Haşimoğlu doktora çalışmasında 4 zamanlı, sıvı soğutmalı, 4 silindirli, 3972 cm^3 hacmine sahip, düşük ısı kayıplı bir motor üzerinde biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametreleri üzerine etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, motor hem değişken devirlerde sabit yükte kullanılmış hem de sabit devir değişken yüklerde kullanılarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, biyodizel kullanımı ile azot oksit emisyonunda standart motorine göre %8 oranında artış gözlenmiştir. Bunun sebebi ise, biyodizel içerisinde bulunan O_2 oranının standart dizel yakıtı göre daha fazla olması ve yanma sonu sıcaklıklarının yüksek olması nedeniyle serbest O_2 atomları ile azot atomlarının daha yüksek oranda reaksiyona girmesidir. Çalışma içerisinde duman koyuluğu ve CO_2 emisyonunda da azalmalar tespit etmiştir [8].

Usta ve arkadaşları, Bu çalışmada etanol ve iki farklı biyodizelin özellikleri No. 2 dizel yakıt ile karşılaştırılmış, etanol ve biyodizellerin ön yanma odalı turbo dizel bir motorun performans ve emisyonlarına etkilerini incelemiştir. Kullanılan alternatif yakıtlar CO, is ve Kükürt-dioksit (SO_2) emisyonlarının azalmasını sağlarken, NO_x emisyonunda artışa sebep olmuştur. Etanol ilavesi güçte bir miktar düşmeye sebep olurken, biyodizel ilavesi dizel yakıtı göre çok az oranda güç artışı sağlamıştır [9].

Özsezen tarafından yapılan doktora çalışmasında, atık palmye yağından üretilen biyodizel, direkt enjeksiyonlu, 1,8 l dizel, dört zamanlı, dört silindirli su soğutmalı bir motorda kullanılarak sonuçları irdelenmiştir. Çalışma kapsamında B0, B5, B20, B50 ve B100 yakıtları kullanılmış ve testler 60, 40, 20 Nm sabit yük ve değişik devir şartlarında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, motor momentinde biyodizelin hacimsel oranda artması sonucunda maksimum %7,16 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Çalışmada tüm yakıt karışımlarında ve çalışma devirlerinde optimum çalışma noktası 2000 d/d'da elde edilmiştir [10]. Emisyon değerleri ise diğer araştırmacıların sonuçları ile paralellik göstermektedir. Ancak, Özsezen, diğer araştırmacılardan farklı olarak pratik uygulamada CO_2 emisyon oranında herhangi bir değişikliğe rastlamamıştır. Bunu motorun değişken şartlarda

alışması nedeniyle tam yanma reaksiyonun gerçekleşmemesi sonucunda artması beklenen CO₂ miktarının farklı formatlarda egzoz emisyonu olarak dışarı atıldığını belirtilmiştir [11]. Özener ve arkadaşları İYM, dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı ve doğal emişli bir motorda, test yakıtı olarak soya yağından elde edilmiş biyodizel dizel karışımları ile hazırlanan B0, B10, B20, B50 ve B100 test yakıtları kullanmıştır. Yapılan çalışmada tork ve özgül yakıt tüketimi değerleri literatür çalışmaları ile benzerlik göstermiştir [12].

Dobrucalı, biyodizelin bir gemi dizel motorunun performansına olan etkisinin deneysel olarak incelenmesi konulu tezinde dört zamanlı, tek silindirli, 0,668 l hacme sahip maksimum 3000 d/d devir sayısına ulaşabilen bir motor kullanmıştır. Test yakıtı olarak soya fasulyesi esterinden elde edilmiş biyodizel-Euro-dizel karışımları (B10, B20, B50, B75 ve B100) kullanılan test motoru değişik yüklerde çalıştırılarak performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde, motor gücünde, %75, yükte B10 ve B20 yakıtlarında maksimum % 0,26 güç artışı sağlanmıştır. Ancak, motor yükü ve biyodizel oranının artışı ile %1,48 oranında güç kaybı gözlemlenmiştir. BSFC değerinde artış olduğu gözlemlenirken, emisyon ölçümü yapılmamış motor üzerinde oluşan titreşimleri ölçülerek biyodizelin motor işletme şartlarına olan etkisini incelemiştir [13].

Demirci ve arkadaşları yaptıkları deneysel araştırmada biyodizel yakıtını, saf olarak dizel yakıtıyla hacimsel olarak %5, %20, %50 ve %100 oranlarında karıştırmış ve tek silindirli, hava soğutmalı bir dizel motorda test etmişlerdir. Test sonuçlarında egzoz emisyonlarını incelemişler ve diğer çalışmalar ile karşılaştırmışlardır. NO_x haricindeki emisyonların düştüğünü tespit etmişlerdir [14].

II. BÖLÜM

2.1. Dizel Motorların Tarihçesi

İçten yanmalı motorlar, yakıttan elde ettiği kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye çevirerek bir çıkış mili ile kullanılmasına olanak sağlayan makinelerdir. Kimyasal enerjinin ilk dönüşümü, motor içerisine alınan oksijen ile yakıtın oksidasyona girmesi sonucunda oluşan termal enerji halidir [15]. Bu termal enerji, silindir içerisine alınan gazın piston yardımıyla basınç, sıcak artışı ve yakıtın yüksek basınçla püskürtülmesi sonucunda motorda mekanik enerji olarak açığa çıkmasıdır. Bu mekanik enerjinin motor tahriki ile çalışan araçlarda kullanılması sonucunda iş elde edilmektedir. Temelde bu sistemle çalışan farklı yapıda, farklı üreticiler tarafından motorlar geçmişte üretilmiş, üretilmekte ve geliştirilerek gelecekte de üretilecektir.

Günümüz içten yanmalı motorların ilk geliştirilmesi 1800'lü yılların ortalarında araçların gelişimi ile kesişmektedir. Tarihte buhar gücü ile kendi kendine hareket eden araçlar 17. yüzyılda dahi görülmektedir. Bu prototip buharlı araçlar, pratik olarak kullanıma çok uygun değildi. Teknoloji, yakıtlar ve malzemeler yeterince henüz gelişmemiş durumdaydı. İlk termodinamik motorlara örnek olarak hem içten hem de dıştan yanmalı motorlarda barut ve katı yakıtlar (Kömür tozu vb.) kullanılmaktaydı. Buhar motorlarında büyük gelişmeler 18. Yüzyıl sonlarında 19. Yüzyıl ortalarında demiryollarındaki gelişmelerle gerçekleştirilmiştir [15].

Motorların insan ihtiyaçlarını karşılamasındaki faydanın genişletilmesiyle, 1800'lü yılların ortasında Avrupa ve Amerika'da günümüz araçlarının doğması konusunda iki yeni gelişme ortaya çıkmıştır. Bunlardan ilki, 1859 yılında Pensilvanya'da ham petrolün çıkartılmasıyla içten yanmalı motorlarda katı yakıtlar yerine ham petrolün güvenli yakıt olarak kullanılabileceği yeni bir motor geliştirilmesiyle başlamıştır. İkincisi ise John B. Dunlop tarafından 1888 yılında, araçlar için havalı lastiğin pazara sürülmesidir. Bu gelişmeler otomobilin ve otomotiv teknolojisinin gelişmesine yol açmıştır. 19. Yüzyıl sonlarından 20. Yüzyıl başlarına gelindiğinde buhar tahriki dışında, elektrik ve değişik tahrik sistemlerinin kullanıldığı değişik tahrik sistemlerinin kullanıldığı araçlar ortaya çıkmıştır. O günün teknolojisinde günümüze kadar gelişerek gelen tahrik sistemi içten yanmalı motorlar olmuş elektrikli araçlar günün imkânlarıyla verim olmadığından kullanılmamıştır. Günümüzde enerji sorunları nedeniyle tekrar gündeme gelmiş ve son on yılda çok hızlı ilerlemiştir.

19. Yüzyıl ortalarında ham petrolün ticari anlamda kullanılmasıyla 1800’lü yılların sonrasında doğru farklı mekanik sistemler ve çevrimler ortaya çıkmıştır. Dizel motorlar Rudolf Diesel tarafından 1892 yılında icat edilerek Almanya’da petrolde dışa bağımlılığı azaltmak adına kömür tozu şeklinde yoğunluğu yüksek yakıtların yakılarak enerji elde edilmesi hedeflenmiştir. İçten yanmalı motorlarda ilk devrim niteliğini taşıyan gelişme 1824 yılında Fransız Mühendis Carnot tarafından yapılmıştır. Onu, Herbert Akyord Stuart 1885’te yağ motoru ve 1890’da yarı dizel motoru ile takip etmiştir. Bu çalışmalarda son çıkışı çakan ise Rudolf Diesel olmuştur. Diesel, 1800’lü yılların (1892-1897) sonunda buharlı makinelerin verimliliğini arttırmak adına mevcut buhar motorlarının üzerinde yapılan bazı değişiklikler sonrasında daha verimli olan dizel termodinamik çevrimini bulmuştur. 1893 yılında buluşunun patenti almıştır. Literatüre göre bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılması dizel motorları mucidi Rudolf Diesel’in 1898 yılında Paris Fuarından sergilediği ve yer fıstığı ile çalışmak üzere tasarladığı dizel motora kadar dayanmaktadır.

2.2. Alternatif Yakıtlar

Dizel motor, sabit basınç çevrimine göre çalışan, hacimsel daralmanın sonucunda artan basınç ve sıcaklık ile yüksek basınçlı yakıtın püskürtülmesi sonucunda yanmanın gerçekleştiği motorlardır. Dizel motorlarda çevrimin verimini etkileyen unsur kullanılan yakıtın karakteristik özellikleridir. Araçlarımızda gerek emisyonların azaltılması gerekse de yakıt tüketim değerleri nedeniyle ortaya çıkan kısıtlamalar alternatif yakıtlara olan ilgiyi arttırmıştır. Zaman içerisinde bu ihtiyaçların yol açtığı arayışlar sonucunda günümüzde gelinen noktada birçok alternatif yakıt ile motorlar çalıştırılmaktadır [15].

Dizel yakıt, bir petrol rafinerisinde bir seri işleminden geçtikten sonra elde edilen petrol türevi yakıt ürünüdür. Ham petrolün kimyasal bileşimi oldukça karmaşıktır. Tipik bir ham petrol örneği, on sekiz farklı hidrokarbon ailesine ait yaklaşık birkaç bin kimyasal madde içerir. Petrolün içerdiği bileşenlerin tamamının detaylı analizi oldukça zordur. Petrolün yapısının bu derece karmaşık olması, basitleştirilmiş sınıflama tekniklerinin kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Yaygın olarak kullanılan bir sınıflama yöntemi petrolü parafin bazlı ve asfalt bazlı olarak ikiye ayırmaktır. Parafin kökenli petrolerden düşük sıcaklıklarda işlenmesi sonucunda parafin adı verilen bir katı madde ayrışır. Parafin, asitlere karşı dayanıklı, eter, kloroform, karbon di-sülfid gibi kuvvetli solventler tarafından çözilemeyen

bir katıdır. Asfalt bazlı petroler, damıtma sonucunda artık olarak koyu renkli (siyah) bir katı faz oluştururlar. Ham petrolün rafinerilerde arıtılması ve işlenmesi sonucunda, ortalama olarak %43 benzin, %18 fuel oil ve motorin, %11 LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı, propan veya propan-bütan karışımı), %9 jet yakıtı, %5 asfalt ve %14 diğer ürünler elde edilmektedir. Ham petrol damıtılırken 350 °C'nin üzerinde elde edilen ürün dizel yakıtı olarak kullanılmaktadır [16].

2.2.1. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Ticari Propan (C_4H_{10}) ve Bütanın (C_3H_{10}) genel adıdır. Petrol türevi hidrokarbon ürünüdür. Moleküler yapısına göre (Karbon ihtivasına göre) ismi değişmektedir. LPG sanayiden üretime birçok alanda kullanılmaktadır. LPG, nüfus artışına bağlı olarak toplumdaki araç artışı ve ekonomik nedenler ile motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Dünyadaki LPG üretiminin %61'i doğal gaz, %39'u ise rafineri üretiminden elde edilmektedir [16]. LPG, emisyonları yönünden diğer yakıtlara göre daha temizdir. Özellikle CO emisyonları benzine göre düşük değerlere inerken HC ve NO_x miktarlarındaki düşüş az olmaktadır. LPG yakıtı içinde, kurşunsuz benzine, oktan sayısını arttır arttırmak için katılan kurşun tetra etil $[Pb(C_2H_5)_4]$ bulunmamaktadır. Bu durum LPG yakıtının egzozdaki kirletici emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Yakıt içerisinde kükürt olmaması nedeniyle, kükürt oksit emisyonu da söz konusu değildir. Ayrıca dizel motorlarında görülen is ve partikül emisyonları da oluşmaz [17 – 19].

2.2.2. Sıkıştırılmış Doğal Gaz (CNG)

Doğalgaz motorlu taşıtlarda diğer yakıtlara ve diğer alternatif yakıtlara göre emisyon değerleri açısından daha temiz ve ekonomik bir yakıttır. Tüm motorlu taşıtlarda kullanılabilir bir yakıttır. Doğal gaz yapısı itibari ile yerin alt katmanlarında Metan (CH_4) ve Etan (C_2H_6) olmak üzere hidrokarbonlardan oluşan yanıcı bir gaz karışımıdır. Birincil enerjidir, yani çıkarıldığı haliyle kullanılabilir [20-21]. Doğalgaz renksiz ve kokusuz bir gazdır. Bu sebeple, kullanıcının herhangi bir gaz kaçağını kolaylıkla fark edebilmesi için gaza koku verici bir madde eklenir. Çürük sarımsak kokusu veren THT (Tetra Hidro Teafon) maddesi katılmaktadır. Doğalgazın enerji yoğunluğu düşüktür. Enerji yoğunluğunun yükseltilmesi amacıyla doğalgaz sıkıştırılır veya sıvılaştırılır. Doğalgaz taşıtlarda 200 bar'a kadar kullanılmaktadır. Bu nedenle sıkıştırılmış doğal gaz olarak anılmaktadır [22].

Tablo 2. 1. Doğalgazın bazı özellikleri [23]

	Doğalgaz	Benzin	Dizel Yakıt
C/H Oranı	~ 0,25	~ 0,556	~ 0,52
Yoğunluk (kg/m³)	0,678	730	830
Isıl Değer (kJ/kg)	~ 60000	~ 43400	43100
Stokiyometrik Hava / Yakıt Oranı	17,2	14,7	14,5
Tutuşma Sınırları (λ)	~ 0,5 – 2,0	~ 1,3 – 7,6	~ 0,48 -1,35
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	~ 500	~ 257	~ 250
Kaynama Derecesi (°C)	~ 162,5	32 - 221	170 – 350

Doğalgazın ısı değeri 47 MJ/kg veya 40MJ/m³ 'e eşit olup, 1 kg doğalgaz 1,33 litre benzine veya 1,22 litre motorine eşittir. Diğer bir karşılaştırma ile 1 m³ doğalgaz 1,1 litre benzine veya 1,0 litre motorine eşit olmaktadır. Araç motorlarında kullanılan yakıtların karşılaştırması yapılırken motorun verimliliği de dikkate alınmalıdır. Doğalgazın enerji verimliliği genel olarak benzinden daha iyi, motorinle ise aynıdır [24]. Aşağıda Tablo 2.2.'de doğalgazın kimyasal bileşenleri ve bazı özellikleri verilmiştir;

- NO_x ' de %77 – 80 azalma,
- CO ' de %76 azalma,
- Benzende %97' nin üzerinde bir azalma,
- Ozona zararlı hidrokarbonlarda yaklaşık %90 azalma,
- Partiküllerde %99 ve üzerinde bir azalma.
- Doğalgaz çevreyi etkileyici toksit ve korozyif ürünler üretmediğinden diğer fosil yakıtlara göre en temiz yakıttır.

Tablo 2. 2. Doğalgazın kimyasal bileşenleri [24]

Gaz	Bileşenler	Aralık (%)
Metan	CH ₄	70 – 90
Etan	C ₂ H ₆	0 – 20
Propan	C ₃ H ₈	
Bütan	C ₄ H ₁₀	
Pentan ve diğer ağır Hidrokarbonlar	C ₅ H ₁₂	0 – 10
Karbondioksit	CO ₂	0 – 8
Oksijen	O ₂	0 - 0,2
Azot	N ₂	0 – 5
Hidrojen Sülfür, Karbonil Sülfür	H ₂ S, COS	0 – 5
Argon, Helyum, Neon, Xenon	A, He, Ne, Xe	Az Miktarda

2.2.3.Hidrojen (H₂)

Hidrojenin diğer fosil yakıtlardan farkı hem sıvı hem de gaz olarak kullanılabilmesidir. Gaz fazında bulunan H₂, aynı havadan yaklaşık 14 kez daha hafiftir. Benzer şekilde İYM'lerde kullanılan fosil yakıtlar ile kıyaslandığında gaz halindeki yakıtlardan 10 kere daha hafiftir. H₂'nin dizel motorlarda kullanımı, mevcut çalışma düzenine çok benzer bir şekilde gerçekleşmektedir. Motor içerisinde püskürtülen H₂ daha önce belirtildiği gibi çok hafif olması sebebiyle silindir içine püskürtüldüğünde homojen dağılım olamaması ve çok geniş tutuşma aralıklarına sahip olması nedeniyle erken tutuşmalara neden olabilir [25].

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 H₂'ni çekici kılmaktadır [26]. H₂, hava içerisinde %4 ile %75 oranları arasında bulunduğunda tutuşabilmektedir. H₂'nin alt ısıl değeri de mevcut motor yakıtlarından daha yüksektir. Ancak hacimsel olarak ele alındığında H₂'nin alt ısıl değeri diğer yakıtlara göre daha azdır [25].

2.2.4.Metanol

Alternatif alkol yakıtlar içerisinde popülaritesi en yüksek olan yakıtın metanol olduğu kabul edilmektedir. Amerikan Senatosu, Amerika Çevreyi Koruma Teşkilatı, Ford Motor Şirketi, General Motor, Toyota, Kaliforniya Enerji Konseyi ve diğer yetkili kişi ve kuruluşlara göre ABD ve dünyada geleceğin yakıtı metanol olacaktır. Metanolün geleceğin yakıtı olmasının farklı nedenleri vardır. Birincisi; metanol çok değişik sayıda maddeden elde edilmekte ve diğer bütün alternatiflerden daha ucuza mal olmaktadır. Bir diğer unsur ise; metanolün diğer petrol yakıtlarına göre temiz yanmasıdır [27 -28].

Ayrıca benzin ve motorin yakıtında olduğu gibi motorlu araçlarda, yakıt dağıtım sistemlerinde önemli bir değişiklik gerektirmemektedir. Metanol linyit, kömür, evsel, endüstriyel ve zirai artıklardan üretilen bir yakıt türüdür. Aynı zamanda sentez gazı olarak isimlendirilen CO+H₂ karışımından da yüksek basınçlarda üretilir. Günümüzde metanol daha çok doğalgazdan üretilmektedir [29 -30].

2.2.5.Etanol

Alternatif yakıtlar arasında, etanol en geniş ölçüde kullanılan yakıt türüdür. 1880 ve 1890'lı yıllarda araçların performansını arttırmak için, Henry Ford tarafından yakıt olarak kullanılmıştır. İlk olarak, ağaçlar ve otlardaki selülozdan üretilmiş ve biyoetanol olarak kullanılmıştır. İkinci olarak, etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) molekülleri, hidroksil grubunu içeren kimyasal bir bileşik grubundan yapılmıştır. OH, bir karbon atomu ile birleştirilerek O_2 içeriği artırılır. O_2 içeriği artan yakıt sayesinde benzinli motorlarda yanma iyileşir, vurutuya dayanıklılık artar. 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 [31-32].

Etanolün, yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarda kullanımında bir takım problemler yaratır. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının arttırılmasına olanak sağladığından etanolün Otto motorlarında kullanımı daha avantajlıdır. Bu sebepten dolayı etanol, dizel motorlarda ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtla karıştırılması durumunda kullanılabilir [33].

Etanol-dizel karışımlarında dizel yakıtının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (setan sayısı, ısı değeri, viskozitesi vb.) değişmektedir. Bu özelliklerden en önemlisi etanolün tutuşma kapasitesinin farklı olmasıdır. Etanolün düşük setan sayısı, dizel yakıtının tutuşma kalitesini sınırlandırmaktadır. En temel teknik olan etanol-dizel yakıtı karışımlarının uygulanmasında karşılaşılan problemlerin başında karışımda artan etanol miktarı ile setan sayısının tavsiye edilen dizel yakıtına göre aşırı azalması ile tutuşma gecikmesi süresi uzamakta buna bağlı olarak da çalışma şartları kötüleşmektedir. Bu tür nedenlerden dolayı alternatif yakıt olarak etanolün ya da alkollü yakıtların yüksek oranlarda dizel motorlarında kullanımını sağlamak için çeşitli teknikler mevcuttur. Kullanılan tekniklere göre etanol, dizel yakıtı yerine tamamen ya da kısmen kullanılabilir. Bunun neticesinde motor gücü, momenti, termik verim ve egzoz emisyonlarında farklılıklar görülmektedir. Alkol-dizel yakıtı karışım tekniğinden ayrı olarak diğer tekniklerin temel yapıları ve farklılıklarından aşağıda kısaca bahsedilmektedir.

Bu teknikler sırasıyla;

- Alkolün emme manifolduna verilmesi
- Çift enjeksiyon sistemi
- Alkollerin buji yardımı ile ateşlenmesi
- Setan sayılarını geliştirici katkılarla alkollerin kullanılması
- Yüzey ateşlemedir.

Uygulanan bu tekniklerin çoğunun dezavantajı, alkollerin dizel yakıtı yerine tamamen kullanımını sağlayamamasıdır. Güncel olan uygulamalar göz önüne alındığında, sadece alkollerin buji yardımı ile ateşlenmesi ve tutuşmayı geliştirici katkılar ile etanol, dizel yakıtı yerine tamamen kullanılabilir. Yukarıda sayılan tekniklerin güvenilirliği ve motor açısından dayanıklılığının incelenmesi için halen araştırmalar sürmektedir. Gelecekteki çalışmalarla birlikte bu teknikler güncel olarak trafikteki araçlarda uygulanarak gelişimini sürdürecektir ve dizel motorları için optimum şekilde belirlenecektir [34].

2.2.6. Biyodizel

Biyodizel, hayvansal veya bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen alternatif bir dizel yakıtıdır. Kimyasal olarak ise, uzun zincirli yağ asidi mono alkil esteri olarak tanımlanabilir [35]. 'Biyo' kökü biyolojik esaslı olduğunu, 'dizel' kelimesi ise dizel yakıtı olduğunu gösterir. Biyodizel bitkisel veya hayvansal yağların bir alkol ve katalizör ile reaksiyona sokulmasıyla üretilir. Atık bitkisel ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından petrol kökenli dizel yakıtlarıyla benzerlik göstermektedir. Biyodizel orta uzunlukta C_{16} - C_{18} yağ asidi zinciri içeren metil ve etil ester tipine yakın bir yakıttır. Ancak petrol türevi yakıtlardan ayıran en temel özelliği O_2 zincir yapısıdır. Biyodizel ağırlıkça %11 O_2 içermektedir. Biyodizel, ısı değeri olarak motorine en yakın yakıttır. Ayrıca biyodizel, dizel motor yanma verimini ve emisyon oluşumunu olumsuz etkileyen kükürtü, aromatik hidrokarbonları, metalleri ve ham petrol artıklarını bünyesinde içermez. Fakat alevlenme noktası motorinden daha yüksektir. Bu da onu motorine göre depolanması daha güvenli bir yakıt haline getirmektedir.

Biyodizel, biyokütle (Bitkisel) kökenli kaynaklardan elde edilen yağların yakıt özelliklerinin iyileştirmeleri sonucunda elde edilen türev ürünüdür. Organik kökenli yakıtlar ve tüm doğal maddeler biyokütle kaynağı olarak isimlendirilmektedir. Bu kaynaklardan elde edilen enerji ise, biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan biyokütle şeker kamışı, mısır, arpa, patates, şeker pancarı, kolza (kanola),

ayçiçek, soya, aspir, yer fıstığı gibi yağlı bitkisel kaynaklardan, hayvansal atıklardan, şehir ve endüstri atıklarından elde edilir. Biyodizel, tohumlardan elde edilen yağların bir katalizatör eşliğinde alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Ayrıca evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlardan da biyodizel üretilebilmektedir [36].

Biyodizel karbonhidrat bileşikleri içermesi ve organik kökenli olması sebebiyle doğada kirletici etkisi en alt seviyeye indirilmiştir. Biyodizeli oluşturan C_{16} - C_{18} metil esterleri kolayca ve hızla parçalanarak bozunur, 10 000 mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suyu bırakıldığında da biyodizelin 28 günde %95'i, motorinin ise %40'ı bozulabilmektedir. Biyodizelin doğada bozulabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir. Biyodizel, fosil kökenli yakıtlara göre geri dönüşümü olan bir yakıttır [36].

Biyodizelin olumsuz bir toksit etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1,75 g tuz/kg vücut 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 toksit etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizel toksit olmamasına karşın, biyodizel ve biyodizel-motorin karışımlarının kullanımında; motorin için zorunlu olan standart koşulların kullanılması önerilmektedir [36].

Motorin için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel için de geçerlidir. Biyodizel temiz, kuru, karanlık bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalıdır. 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. Bu gibi durumlarda biyodizel uyumlu Viton B tipi elastomer malzemelerin kullanımı önerilmektedir. Biyodizel ve biyodizel-motorin karışımları, motorinden daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahiptir; bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarır. Akma noktası ve bulanma noktası uygun katkı maddelerinin kullanımı ile düşürülebilmektedir.

Bitkisel yağların direkt yakıt olarak kullanıldığı çalışmalarda ve literatürde yer almaktadır. Ancak biyodizel, bitkisel yağlara göre viskozite olarak dizel yakıtların viskozitesine daha

yakındır ve içerik olarak setan sayısının yüksekliği daha iyi bir yanmaya neden olmaktadır. Dizel motorlarda viskozite önemli bir noktada yer almaktadır. Yakıtın akmaya karşı koyduğu direnç (viskozite) ne kadar düşük olursa yanmanın verimi, dolayısı ile motorun çıkışından alınan güç o oranda iyileşir.

Biyodizel kullanımının, bitkisel yağların dizel motorlarda kullanımıyla karşılaşılan yakıt filtrelerinde veya yakıt pompalarında herhangi bir probleme neden olmadığı, ayrıca biyodizelin motor üzerinde teknik bir değişim olmadan kullanılabileceği, emisyonlarının zararsız olduğu, toprakta hızlı bir şekilde indirgendiği ve dolum sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığı yapılan araştırmalarla ortaya çıkmıştır [37].

Biyodizel, dizel motorlarında saf olarak kullanılabileceği gibi petrol kökenli dizel yakıtlarıyla da karıştırılarak kullanılabilir. Saf olarak biyodizel kullanıldığında B100 olarak isimlendirilirken, %10 biyodizel ve %90 dizel yakıt içeren bir karışım B10 olarak isimlendirilir.

Tablo 2. 3. Biyodizel – Dizel (Motorin) Karışımlarının Adlandırılması

Kısaltma	Karışım Oranı
B0	% 100 Dizel (Motorin)
B5	% 5 Biyodizel + % 95 Dizel (Motorin)
B10	% 10 Biyodizel + % 90 Dizel (Motorin)
B50	% 50 Biyodizel + % 50 Dizel (Motorin)
B100	% 100 Biyodizel

Biyodizel-motorin karışımları 4 °C üzerinde harmanlama ile hazırlanmalıdır. Soğukta harmanlamada biyodizelin motorin üzerine eklenmesi, sıcakta harmanlama da ise karışımda daha fazla olan kısmın az kısım üzerine eklenmesi önerilmektedir.

Biyodizel kullanımı ile motorine yakın özgül yakıt tüketimi, güç ve moment değerleri elde edilirken, motor daha az vuruntulu çalışmaktadır. Biyodizel, motoru güç azaltıcı birikintilerden temizleme özelliğine sahiptir. Fosil dizel (2 numaralı dizel yakıt) ile biyodizelin özellikleri Tablo 2.4.'de verilmiştir [38].

Tablo 2. 4. Dizel ve Biyodizelin Karşılaştırılması [38]

Yakıt Özelliği	Dizel	Biyodizel
Yakıt Standartı	ASTM D975	ASTM D6751
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	44,2	39,5
Kinematik Viskozite 40 °C	1,3 - 4,1	4,0 - 6,0
Yoğunluk (g/cm)	0,835	0,882
Su ve Tortu, Vol%	0,05 max	0,05 max
Karbon, wt %	87	77
H₂, wt %	13	12
O₂, dif. wt %	0	11
Kükürt, wt %	0,05 max	0,0 - 0,0024
Kaynama Noktası (°C)	180 – 340	315 – 350
Parlama Noktası (°C)	60 – 80	100 – 170
Bulutlanma Noktası (°C)	(-15) (5)	(-3) (12)
Akma Noktası (°C)	(-35) (-15)	(-15) (10)
Setan Numarası	40 – 55	48 – 65
Yağlayıcılık SLBOCLE, Gramlar	2000 – 5000	>7000
Yağlayıcılık HFRR, mikronlar	300 – 600	<300

2.3. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi

Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılması çok eski dönemlere dayanmaktadır. İlk olarak Rudolf Diesel, 1898’de Paris’te ki Dünya Sergisi’nde fıstık yağı ile çalışan motorunu sergilemişti. O dönemlerde petrol ürünlerinin maliyetlerinin daha düşük olması, petrol kaynaklarını kullanan makinaların sayısının arzın çok altında kalması ve teknolojik nedenlerden dolayı ve o dönemki kullanılan motorların performansları sebebiyle petrol türevlerinin motorlarda kullanılması daha çok tercih edilen bir durumdu. Bu durumlar bitkisel yağlara olan ilgiyi azaltmıştı. 1920’lere dek bitkisel yağlar bazı motorlarda kullanılmıştır. 1970’lerde yaşanan petrol krizi sonucunda alternatif yakıtlar üzerine yapılan araştırmalar hızlanmıştır. O dönemde yapılan çalışmalar da, bitkisel yağların kısa süreli ve acil durumlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Uzun süreli kullanımlarında motor parçalarında deformasyon ve motor yağında problemlere yol açmıştır. O dönemin araştırmalarında yakıt özellikleri çok fazla iyileştirilmediğinden uzun süreli kullanıma uygun bulunmamıştır. Bitkisel yağların uzun süreli olarak motorlarda kullanılmamasının başka bir nedeni ise viskozite problemleridir. Soğuk havalarda kararlı çalışmaya engel olabilecek şekilde püskürtme sorunlarına yol açmaktadır. Bitkisel yağların viskoziteleri oldukça yüksek olup, standart No.2 dizel yakıtının viskozitesinin 10-20 katı mertebelerinde olabilmektedir. Hatta hint yağının viskozitesi dizel yakıtın 100 katı kadardır. Yüksek

viskozite de yakıtın püskürtülmesinde oldukça olumsuzluklara sebep olmaktadır. Bu da hem yakıtın performansını hem de egzoz emisyonlarına olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir [39].

Bitkisel yağların motorlarda kullanılması sırasında daha önceden bahsettiğimiz alternatif yakıtların kullanılmasında olduğu gibi herhangi bir değişikliğe gerek duyulmamaktadır. Ancak bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için bu yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesinin başında viskozite sorunu vardır.

1980’de Brezilya’da, traktör motorlarında %10 bitkisel yağ – dizel karışımı herhangi bir değişiklik veya iyileştirme yapılmaksızın kullanılmış ve daha sonra bazı kısa dönemli uygulamalarda bu oran %50’ye kadar yükseltilmiştir [40].

1982 yılında, %95 oranında filtre edilmiş kızartma yağı ve %5 oranında dizel yakıt karışımı üzerinde yaptığı çalışmada, ön ısıtma ve karıştırma uygulanmıştır. Çalışma sonunda kömürleşme ve kurumlaşma görülmemiş, ancak filtreler ve yağlama yağında kirlilik tespit edilmiştir [41].

1986 yılında %25 ayçiçek yağı %75 dizel karışımı denenmiştir. Karışımın viskozitesi 40°C’de 4,88 cSt olarak bulunmuştur. (ASTM değeri 40°C’de 4 cSt’dir). Yapılan çalışmalarda karışımın uzun vadeli kullanımlara uygun olmadığı tespit edilmiştir [42].

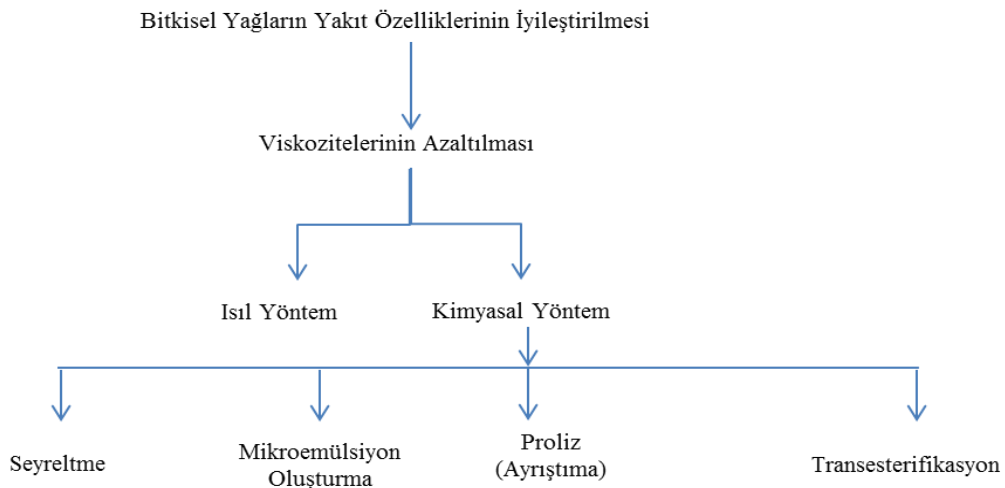
Bitkisel yağlar alternatif yakıtların geliştirilmesinde önemli bir paya sahip olmasına rağmen, dizel motorlarda direkt kullanımlarında birçok problemle karşılaşılır. Bu problemlerin başlıcaları; yakıtın atomizasyonunun uygun olmayışı sebebiyle motorda vuruntu oluşması, karbon tortusu oluşması, zamlaşma, bitkisel yağ tarafından oluşturulan kirlilik sebebiyle yağlama yağının viskozitesinin artması ve jelleşmesidir. Bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanımında karşılaşılan diğer sorunlar yağların viskozitesinin yüksek olması ve yağın yetersiz buharlaşması sebebiyle yanmanın tam olarak gerçekleşmemesidir. Bu problemlerin temel sebebi trigliserit molekülünün büyük ve yüksek kütleli bir molekül oluşudur. Motorda çeşitli değişiklikler yapılarak bu sorunların üstesinden gelinebilir [43]. Sonuç olarak, motorda hiçbir değişiklik yapılmaksızın bitkisel yağların direkt olarak kullanımının uygun olmadığı görülmüştür. Tablo 2.5.’de bazı bitkisel yağlara ait yakıt özellikleri dizel yakıtla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2. 5. Bitkisel yağlara ait yakıt özelliklerinin dizel yakıtla karşılaştırılması [44]

Bitkisel Yağ	Kinematik Viskozite 40 °C (mm ² /s)	Setan Sayısı	Isıl Değeri (MJ/kg)	Bulutlanma Noktası (°C)	Akma Noktası (°C)	Parlama Noktası (°C)	Yoğunluk (kg/l)
Mısır	34,9	37,6	39,5	-1,1	-40	277	0,9095
Pamuk	33,5	41,8	39,5	1,7	-15	234	0,9148
Kolza	37	37,8	39,7	-3,9	-31,7	246	0,9115
Soya	32,6	37,9	39,6	-3,9	-12,2	254	0,9138
Ayçiçek	33,9	37,1	39,6	7,2	-15	274	0,9161
Dizel	3,06	50	43,8	-12	-16	76	0,855

Bitkisel yağlar, bazı tarım ürünlerinin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi sonucunda elde edilmektedir. Bunlar petrol esaslı yağlardan farklı kimyasal yapıya sahiptirler. Dizel yakıtı büyük oranlarda parafinler ve aromatiklerden oluşmasına karşılık, bitkisel yağlar yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Bu esterlere gliserid adı verilir. Gliserin molekülünü oluşturan 3 alkol grubu yağ asitlerinin esterleşmesi ile trigliserit adını alır. Trigliseriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturmaktadır [43].

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması için yapılan çalışmalar genellikle viskozitelerinin azaltılmasını amaçlayan çalışmalardır. Bunun için kimyasal ve ısı olmak üzere iki yöntem yer almaktadır [44-45].



Şekil 2. 1. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi

Bu yöntemlerden en çok kullanılanı transesterifikasyon yöntemidir. Bu reaksiyonda bitkisel yağ içerisindeki trigliserit molekülü, alkol (metanol) ve katalizör (KOH ya da NaOH) ile

reaksiyona girerek gliserin ve yağ esterleri üretmesi sürecidir. Böylelikle bitkisel yağın içerisinde viskozitesinin artmasına neden olan gliserin ve yağ esterleri ayrışarak yoğunluğun azalmasına imkân verir. Bitkisel yağların direkt motor içerisinde kullanılmasına engel olan motor içerisinde enjektörlerde tıkanmalara, motor parçalarında reçine oluşmasına ve motor yağının özelliklerindeki olumsuz etkileri bu şekilde azaltmış olur. Transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda viskozite yaklaşık olarak 10 kat azalmaktadır. Sadece viskozitede değil yakıtın uçuculuk, yoğunluk ve moleküler ağırlığı da dizel yakıta yaklaşmış olur. Biyodizel üretiminde en yaygın kullanılan alkol metanoldür. Metanol, diğer alkollere nazaran daha kararlı bir yapıya sahiptir. Ayrıca maliyet avantajı da metanolün popüler olmasının başka bir nedenidir [44].

2.4. Dünyada ve Türkiye’de Biyodizel

2.4.1. Dünya’da Biyodizel

Ucuz petrolün sonuna gelindiği hakkındaki artan konsensüs, politik istikrarsızlık nedeniyle büyük petrol üreten bölgelerdeki tedarik riski ve fosil yakıtların karbon emisyonlarının sonuçları petrolün alternatif kaynaklarının araştırılmasında bir artışa neden olmuştur. Bu kaynaklardan biri olan biyoyakıtın üretimi hızla yükselmektedir [46]. Dünya ülkelerinde fosil yakıtların yanı sıra biyoyakıtlar konusunda yeni politikalar hazırlanmış ve birçok yatırımlar desteklenmiştir. ABD’de, biyoyakıt üretimi ile ilgili olarak, 2000 ile 2012 yılları arası eylem planları hazırlanmış, ayrı ayrı çalışma grupları oluşturulmuş ve bu planlar neticesinde hedefler konulmuştur. Bunun yanı sıra ABD’de biyoyakıt üreticilerinin kurmuş oldukları örgütler kurumsallaştırılmış ve bu kapsamda destekler artırılmıştır.

2010 yılında dünya genelinde üretilen biyoyakıt (biyoetanol+biyodizel) miktarı 59,26 milyon ton eşdeğeri petroldür (mtep). Bu üretimde en büyük pay 25,35 mtep üretimle ABD’nindir. Toplam üretimin %43’ ünü tek başına karşılayan ABD’den sonraki en büyük üretici %26 ile Brezilya’dır. Avrupa’da ise Almanya, Fransa ve İspanya en büyük biyoyakıt üreticileri konumundadırlar [47]. Çin Tarım Bakanlığı’nın açıklamalarına göre Çin’de 2007 yılında benzin tüketiminin yüzde 20’si biyoetanolden karşılanmıştır. Çin biyoyakıt üretiminde mısır kullanmaktadır. Çünkü Çin, cassava ve sorgum gibi gıda dışı ürünlerin tarımsal üretim teknolojilerinden ve büyük ölçekli üretim tesislerinden henüz yoksundur. Bununla birlikte Çin hükümeti çiftçilerin yüksek verimli çeşit kullanmaları ve daha fazla mekanizasyon kullanılarak modern tarım tekniklerinin uygulanmasına destek vererek enerji

tarımını gündemde tutmaktadır. Çin Tarım Bakanlığı'nın açıklamalarına göre 2006 yılında 144 milyon ton olan mısır üretiminin 2010 yılında 150 milyon tonun üzerine çıkartılması ve mısır üretimi için 26,8 milyon ha alanın (Türkiye'nin ekilen arazisinden daha büyük) kullanımı hedeflenmiştir. Bununla birlikte Çin'deki bazı yerel firmalar gıda dışı ürünlerden de etanol üretmeyi planlamaktadır [48]. Çin 2010 yılında Faostat (2014) verilerine göre; 177 milyon ton mısır üretimi yapmıştır. Fransa ve Almanya başta olmak üzere, Avrupa kıtasının etanolden çok biyodizel üretimine ağırlık verdiği tespit edilmiştir. Bu alandaki farklılık esas olarak, biyoyakıtın hammaddesi olan tarımsal ürünlerin coğrafi olarak bulunabilirliğiyle ilgilidir. Toplamda dünya etanol üretimi fazla olmasına karşılık, biyodizel üretimi çok daha hızlı artmaktadır. Dünyada en çok üretilen sıvı biyoyakıt; biyoetanoldür. Üretilen her 6 birim sıvı biyoyakıtın 5 birimi biyoetanoldür. 52 ülkede destek gören biyoetanol en fazla ABD ve Brezilya'da üretilmekte ve tüketilmektedir. 2011 yılında dünyada 100 milyar l'nin üzerinde biyoetanol, üretilmiştir [49].

Tablo 2. 6. Dünya yakıt etanolü üretimi (milyon litre) [48]

Kıtalar / Ülkeler	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kuzey ve Merkezi Amerika	18,7	25,2	35,9	42,1	51,5	54,7	54,5
Güney Amerika	16,9	20,3	24,5	24,2	25,9	21,6	21,3
Avrupa	1,6	1,9	2,8	3,6	4,2	4,4	4,9
Asya/Pasifik	1,9	2,1	7,7	2,9	3,1	3,5	3,9
Afrika	-	55	65	100	130	150	235
Dünya	39,2	49,6	66,0	73,0	85,0	84,5	85,0

Yakıt etanolü üretiminde en fazla payı Kuzey ve Güney Amerika almaktadır. Ayrıca yakıt biyoetanol üretiminin Kuzey ve merkezi Amerika'da 2006 yılına göre 2012 yılında 2,9 kat arttığı görülmektedir. Güney Amerika'da ise 2006 yılı baz alındığında 2012 yılında yakıt etanolü üretiminde %25'lik artış görülmektedir. 2012 yılında Avrupa'da yakıt biyoetanol üretimi 2011 yılına göre, %12'lik bir artış göstermiştir. 2006 yılına göre 2012 yılında Avrupa'da etanol üretiminde 3 katlık artış görülmüştür. Bunlara karşın Afrika ve Asya gibi ülkelerde üretim düşüktür.

2.4.2. Avrupa Birliği'nde Biyoyakıt

AB ülkelerinde güneş kolektörleri, ısı pompaları, rüzgâr gücü, jeotermal güç, küçük su kaynakları, biyokütle ve biyogaz gibi kaynaklar, yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanım alanı bulmaktadır. Gerek Avusturya'da gerekse Almanya'da yenilenebilir enerji

kaynakları konusunda yapılan araştırma ve yatırımlara devlet desteği verilmekte olduğundan bu sahada yapılan uygulamalar sayıca artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyoyakıt konusunda Almanya ve Avusturya oldukça ileri bir durumdadır[49].

Tablo 2. 7. Avrupa Birliği’nde toplam biyoyakıt tüketim (günlük bin varil) [52]

Kıtalar / Ülkeler	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
AB (27)	72	122,2	172,2	235,5	289,4	327,8	340,4
Almanya	40	67	74	66,	68	75,5	73,9
Fransa	9,5	18,4	34,3	54,6	59	55	56,5
İspanya	7,2	5,2	9,9	15	2	34	40
İtalya	4,1	4,6	4,2	16	27,3	35,2	36
B. Britanya	2,1	4,5	8,6	18,8	23,5	29	27,2

Ülkelerin biyoyakıt tüketimlerine bakıldığında, en fazla tüketim Almanya ve Fransa’dadır. Almanya biyoyakıt tüketiminde 2005 yılına göre 2011 yılında %81,57’lik bir artış göstermiştir. Fransa’ya bakıldığında, 2005 yılına göre, 2011 yılında 5,9 katlık artış olduğu görülmüştür. AB ülkeleri dikkate alındığında 2005 yılından 2011 yılına kadar 4,7 kat artış olduğu gözlenmiştir.

Tablo 2. 8. Avrupa birliği toplam biyoyakıt üretimi (günlük bin varil) [52]

Ülkeler	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
AB (27)	29,3	39,3	49	76,7	123,3	153,1	197,6	233,6	256,1	250,5
Almanya	8,8	14	20,4	35,8	59,4	63,8	65	58	62	65,3
Fransa	8,4	9	9,4	10,9	16,6	28	50,4	58	55	51,4
İspanya	3,5	5	6,2	8,2	8,2	10,5	10,3	22	24	20
İtalya	4,1	5,3	6,2	7,8	13,8	10,2	14,1	16,6	16,5	12,2
Belçika	-	-	-	0,0	0,5	3,2	5,8	10,6	13,5	15,2
Polonya	-	1	0,2	3,2	4	2,9	7	9,0	11	10,4
Büyük Britanya	0,1	0,2	0,2	0,9	5	8,3	6,7	5,3	9	9
Avusturya	0,5	0,6	1,1	1,6	2,4	5,5	5,7	8,6	5,2	8,7

AB’de biyoyakıt üretimine günlük varil olarak bakıldığında en fazla paya sahip ülke, Almanya’dır. Almanya’yı takiben Fransa 2011 yılında günlük 51,4 bin varil, İspanya 20,0 bin varil ve İtalya 12,2 bin varil üretime sahiptir. AB ülkelerinde biyoyakıt üretimi 2002-2011 yılları arasındaki 10 yıllık dönemde 8,5 kat artış göstermiştir. Aynı dönemde Almanya’da 7,4 kat; Fransa’da 6 kat; İspanya’da 5,7 kat üretim artışı olmuştur. Avrupa Birliği ülkelere biyoyakıt üretimleri konusunda çeşitli direktifler vermektedir. 1997 yılındaki Beyaz Belge Bildirisi’nde 2010 yılı yenilenebilir enerji hedefi için 5 milyon ton

sıvı yakıt kullanımı öngörülmüştür. 2000 yılındaki yayınlanan Yeşil Belge’de 2020 hedefinde de biyoyakıt miktarının artırılması hedeflenmiştir. Biyoyakıtlarla ilgili olan diğer bir direktif 8 Mayıs 2003 yılına aittir. Bu, ulaşım için biyoyakıtlar ve diğer yenilenebilir yakıtların kullanımının teşviği ile ilgili bir direktiftir, bu direktife göre; 31 Aralık 2005’te %2, 31 Aralık 2010 itibarıyla %5,75 kullanım olması hedeflenmiştir. Yine hedefler arasında 2020’de %10,0, 2030’da %25,0 biyoyakıt kullanımı hedeflenmiştir. Selülozik hammaddeye dayalı enerji bitkilerinden elde edilen İkincil kuşak biyoyakıtlar için 2020 hedef gösterilmiştir. Yine bu kapsamda AB 2005 yılında Kyoto Protokolü’ne göre sera gazı emilimini %8’e varan oranda azaltma hedefi koymuştur. AB biyoyakıtı büyük önem vermektedir birçok biyoyakıt girişimcisi desteklenmektedir. Bu kapsamda 8 Şubat 2006’da biyoyakıt stratejisinde, biyoyakıt sektörüne daha fazla teşvik ve destek sağlanacağı belirtilmiştir. Avusturya, Belçika, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Fransa, Almanya, Macaristan, İrlanda, İtalya, Litvanya, Polonya, İspanya ve İsveç’te biyoyakıt üretiminde ve tüketiminde teşvikler uygulanmaktadır. Avusturya, Belçika, Estonya, Almanya, Macaristan (Etil Tersiyer Butil Eter ve biyodizel), İspanya ve İsveç’te biyoyakıtlar %100 petrol vergisinden muaftır [53]. AB’de var olan biyokütle potansiyelinin harekete geçirilmesi için biyokütle bitkilerinden yüksek verim elde edilmesiyle sağlanacak ilave verim artışı önemsenmektedir. AB’de tarımsal biyokütle potansiyelinin 2010 yılında 47 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) olacağı, 2030 yılında ise bu değerin 142 milyon TEP’e ulaşacağı tahmin edilmektedir [48]. Tablo 2.9.’da AB’nin biyodizel üretimi verilmiştir.

Tablo 2. 9. Avrupa Birliği ülkelerinde biyodizel üretimi (1000 ton) [54]

Kıtalar / Ülkeler	AB (27)	Almanya	Fransa	İtalya	İspanya
2003	1182,7	594,4	329,3	-	92,2
2004	1780,2	897,8	355,3	251,4	100,9
2005	2364,8	1322,8	388,4	175,8	145,3
2006	3683,2	2066,2	535,2	197,1	56,5
2007	5302	2633,1	863,1	178,5	161,5
2008	6612,7	2236,6	1574,4	590,3	198,2
2009	7940,4	2158,5	1865,6	705,2	652,1
2010	8914,2	2736	1782,7	705,7	754,7
2011	8465,1	2721,9	1607,7	522,1	609
2012	9187,9	2492	1966,2	253,6	444,6

AB (28) ülkelerinde biyodizel üretiminde 2003-2012 yılları arasındaki 10 yıllık dönemde 7,8 katlık artış görülmektedir. Bu artış eğilimi tüm ülkelerde söz konusudur. Biyodizel üretiminde Avrupa Birliği’nde en fazla payı Almanya almaktadır. Almanya’da üretimde,

2003 yılına göre 2011 yılında 4,2 kat artış gözlenmiştir. Fransa’da ise, 2003 yılına göre 2011 yılında biyodizel üretiminde, 5,9 katlık bir artış olmuştur (Tablo 2.9).

2.4.3. Türkiye’de Biyoyakıt

Alternatif enerjiye yönelik talebin arttığı son yıllarda Türkiye’nin de bu alanda potansiyeli fazladır. Bu potansiyel gerek iklimsel olarak enerji bitkilerinin yetiştirilmesinden gerekse atık fazlalığından ileri gelmektedir.

Tablo 2. 10. Türkiye tarımsal biyokütle potansiyeli [55]

Türkiye Toplamı	Toplam Kullanılabilir Atık Miktarı (Ton)	Toplam Isıl Değer
Tarla Ürünleri	11,8	288,4 PJ
Bahçe Ürünleri	3,6	74,8 PJ
Toplam	15,3	303,2 PJ

Türkiye orman kaynaklı biyokütle potansiyeli, orman kaynaklı toplam atık miktarı 4,800.000 ton (1.5 MTEP)’tir. Kurulabilecek gazlaştırma tesisi kapasitesi ise, 600 MW’dir (Anon, 2014b). Türkiye’de biyoyakıt çeşitleri olarak birincil biyoyakıtlardan biyoetanol, biyogaz ve biyodizel üretimi vardır. Biyoyakıt sektörüne Türkiye için milenyum yılının başlarında bir geçiş söz konusudur. Biyoyakıt kullanımı diğer AB ülkelerindeki gibi zorunluluk olmamıştır ve doğal olarak fazla gelişme gösterememiştir. Türkiye EPDK (Enerji Piyasası Denetleme Kurumu)’nın (2012); yılı faaliyet raporunda toplamda biyogazda 22 adet tesis, biyokütlede ise, 10 adet tesis bulunmaktadır. Bir önceki yıla göre 8 adet biyogaz, 4 adet biyogaz tesis artışı olmuştur. Bu biyogaz tesislerinden elde edilen toplam elektrik üretimi ise, 41,2 MW’tır. Toplam biyodizel işleme üretim kapasitesi ise, 561.217 m³’tür.

Tablo 2. 11. Türkiye toplam biyoyakıt üretimi ve tüketimi (günlük bin varil) [52]

Üretim						
2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0,5	1,1	1	1,11	1	1	1,11
Tüketim						
2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0,5	1,1	1	1,1	0,7	0,7	0,8

Ülkemizde kullanılan enerjinin birinci derecede fosil yakıtlardan karşılanması, petrol kaynakları bakımından kendine yeter durumda olmaması ve ihtiyacın % 92’sini ithalat yolu

ile karşılanması, milyarlarca dolar petrol alımı için dışarıya ödenmesi petrol fiyatlarındaki anormal yükselişler nedeni ile ekonomimiz olumsuz etkilenmektedir. Ülkemizde 2007 yılı itibarı ile 14,6 milyon ton motorin ve 3 milyon ton benzin tüketimi gerçekleşmiştir. Bugün ülkemizde 1,5 milyon ton kurulu kapasite bulunmaktadır. Şu anda Türkiye, kurulu biyodizel üretim kapasitesi itibarı ile Almanya'dan sonra Dünya ikincisidir. Türkiye'nin 2007 yılı sonu itibarı ile yaklaşık 2,5 milyar dolarlık bir biyomotorin pazarı bulunmaktadır. Mevcut olan 339 firmanın bildirdiği rakamlara göre toplam 3935 personel biyomotorin sektöründe hizmet vermektedir. Bunların tesis başına ortalamaları ise 11,60 kişi/tesis Türkiye'dir. Türkiye'de mevcut tesislerin 2007 üretim kapasitesi gerekli olan miktarın 14,5 katıdır. Bu tesisler %90 oranında hammaddeyi ithalat yolu ile milyonlarca dolar ödeyerek karşılamaktadır. Biyoyakıtların desteklenmesi için AB, Avrupa Parlamentosu (AP) ve Avrupa Konseyi (AK) tarafından Direktif 2003/30/CE ile onanmıştır. Bu direktif ile ilk defa bütün üye ülkelere yenilenebilir yakıtların kullanımı konusunda zorunluluk getirilmiştir. Ülkemiz de aday ülke konumunda olması münasebeti ile AB'nin aldığı kararlara uymak zorunluluğundadır. Direktif ile belirtilen doğrultuda bütün üye ülkeler 31 Aralık 2005 tarihine kadar taşımada kullanılan toplam yakıtın en az 2%'si kadar biyoyakıt kullanmalıdırlar. Bu miktar 31 Aralık 2010 senesine kadar en az 5,75%'e ulaşacaktır. Ancak bu kararın revize edildiği ve AB'nin 2006 yılında bu oranı %5 olarak değiştirdiği bilinmektedir. Ayrıca AB'de biyodizel kullanımının zorunlu hale getirilmesi, AB'ye uyum süreci dikkate alındığında, önümüzdeki yıllarda ülkemizde de biyodizel talebinin artmasını sağlayacaktır. Yapılan hesaplamalara göre, 2007 yılında ülkemizde tüketilen 14,6 milyon ton motorine % 5 oranında biyodizel eklendiğinde 730.000 ton biyodizele ihtiyaç duyulacaktır. Biyodizel ihtiyacını kolza bitkisinden karşılamak için 1 milyon 825 bin ton ürüne ihtiyaç duyulmakta bu ürünü karşılamak için ise yaklaşık 610 bin hektar tarım arazisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Devlet Planlama Teşkilatı' nın (DPT) sekizinci beş yıllık kalkınma planında ayrıntılı olarak verilen ülkemizin arazi varlığı, ekolojisi, sulanabilir alan varlığı, ekim nöbeti sistemleri, üretim seçenekleri, destekleme politikaları, sözleşmeli üretim sistemleri gibi temel kavramlar ele alındığında, tarım sistemlerinin bilinçli planlanması – programlanması sağlandığında, gıda sektöründeki yağ açığının kapanması yanında, biyoyakıt içinde gerekli ham maddenin de sağlanabileceği beklenebilir.

2.5. Biyodizelin Çevreye Etkileri

Biyodizel en çok kullanılan çevreci alternatif yakıttır. Biyodizel doğada %99,6'ya varan oranlarda biyolojik olarak bozulabilmektedir. Biyodizel emisyonları dizel motora göre daha az salınım gerçekleştirmektedir. Tablo 2.12.'de B100 ve B20 için egzoz emisyonları karşılaştırması yer almaktadır. Biyodizelin motorin ile karışımlarında, CO, PM, HF, SO₂, CH₄ emisyonlarında gözlenebilir bir azalma NO_x, HCl ev HC emisyonlarında ise bir azalma gözlemlenmektedir [36].

Tablo 2. 12 Biyodizel emisyonlarının motorin emisyonlarından %'de farkı [36]

Emisyonlar	B20	B100
CO: Karbonmonoksit	-6.90%	-34.50%
PM: Partikül Madde	-6.48%	-32.41%
HF: Hidroflorik Asit	-3.10%	-15.51%
SO _x : Kükürt Oksitler	-1.61%	-8.03%
CH ₄ : Metan	-0.51%	-2.57%
NO _x : Azot Oksitler	2.67%	13.35%
HCl: Hidroklorik Asit	2.71%	13.54%
HC: Hidrokarbonlar	7.19%	35.96%

HCl ve HF emisyonları motorin ve biyodizel için oldukça düşük seviyede ve kömür emisyonlarından çok daha düşük değerlerde olup, çevre için asit tehlikesi oluşturmazlar. Biyodizelin HC emisyonu, motorininkinden yüksektir. Bu değer biyodizelin üretim süreç aşamalarından (yağlı tohumun ziraati ve işlenmesi) kaynaklanmaktadır. Ancak biyodizel, motorinden daha düşük HC egzoz gazı emisyonu vermektedir. Egzoz gazı emisyonu yönünden incelendiğinde CO, HC, SO_x, PM emisyonlarının motorinden daha az, NO_x emisyonlarının ise fazla olduğu görülmektedir. NO_x emisyonu katalitik konvektör kullanımı ile azaltılabilir.

2.5.1. Biyodizel Yakıtının Avantajları ve Dezavantajları

Biyodizel yakıtının motorine göre başta emisyon değerleri olmak üzere bir çok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar;

- Alternatif bir enerji kaynağı olan biyodizel yerli imkânlar ile üretilabilmektedir.
- Doğada çözünebilme özelliğine sahiptir. Biyolojik olarak ayrışabilmektedir ve zehirli değildir.

- Standart bir dizel yakıt ile karşılaştırıldığında CO₂ salınımı atmosferde sera etkisine neden olmamaktadır. Üretilen CO₂ yine biyodizelin üretildiği bitkiler tarafından kullanılabilir.
- Parlama noktası standart dizellerden daha yüksek olması nedeniyle taşıma ve muhafazası daha güvenlidir.
- Diğer alternatif yakıtlar ile kıyaslandığında motorda yapısal bir değişikliğe neden olmamaktadır.
- Fosil kökenli yakıtlarla homojen olarak karışarak onların kalitesini artırır ve optimum bir yakıt konsantrasyonu oluşturulabilir.
- Zehirli emisyon değerleri daha düşüktür.
- Yerli üretime destek olunarak ülke ekonomisinin canlanmasına neden olmaktadır.

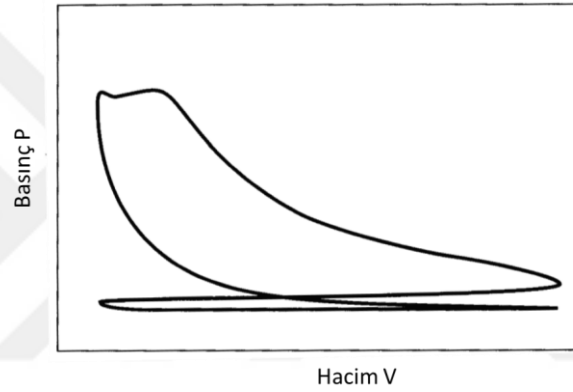
Dezavantajları ise;

- Yüksek viskozite değerlerine sahiptir.
- Düşük uçuculuk değerine sahiptir.
- Depolanma esnasında bozulabilmektedirler
- 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 [56].
- Normal dizele göre daha düşük ısı değere sahiptir. Bu da yakıt sarfiyatında artışa sebep olmaktadır.
- Motor yağlarının daha kısa sürede kirlenmesine neden olmaktadır.
- NO_x emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Ancak bu sorun yanma sıcaklığını azaltarak (yanmanın 1–30 °KMA geciktirilmesi) veya konvektör kullanılarak aşılabilir [57].

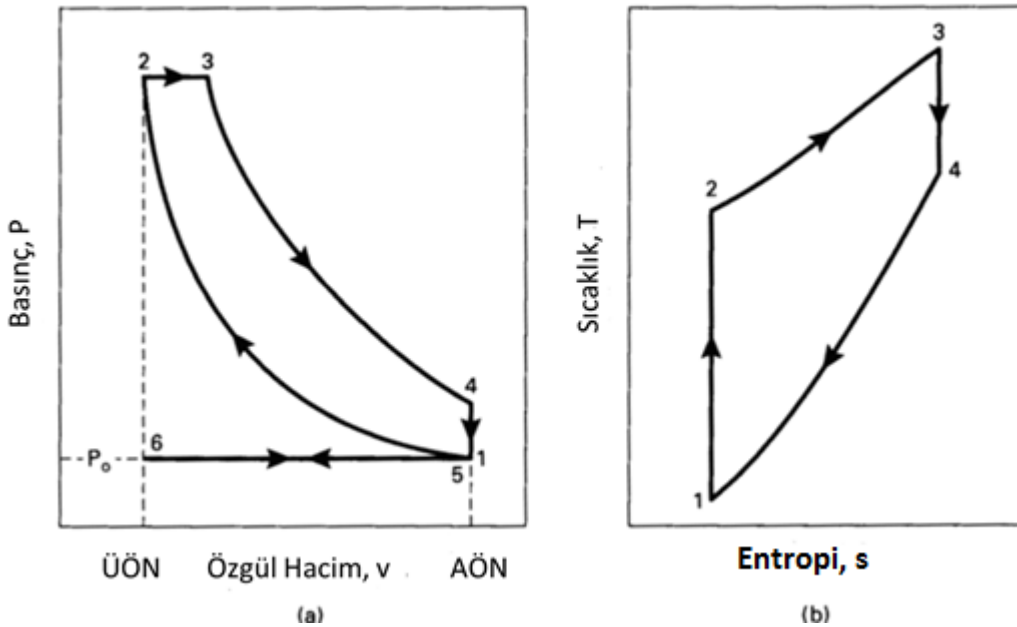
2.6. Dizel Motorlarda Yanma Süreci

Dizel motorlar sabit basınçta ısı girişli ideal çevrimi ile çalışmaktadır. Dizel motorların çalışma prensibi bilindiği üzere, silindir içine emilen hava sabit hacimde yüksek basınçlara çıkarılarak, ateşleme zamanında yakıtın enjeksiyon edilmesi ile ateşlenmek sureti sonucunda piston yardımı ile iş elde edilmesi suretiyle çalışmaktadır. İlk dizel, İYM'ler sıkıştırma zamanında, Şekil 2.2.'de görüleceği üzere çok geç ateşleme yeteneğine sahipti. Bu çevrimde ateşleme gecikmesi nedeniyle ve yakıtın yanması için gerekli

basınç ve sıcaklığın yakalanması için gerekli zaman sağlanamamakta bu nedenle de eksik yanma meydana gelmekteydi. Hatta yanma genişleme (egzoz) zamanına dek devam ediyordu. Dizel motorlarda çalışma prensibinde yüksek basınçlarda ateşleme sağlandığında işin verimi artmaktadır. Bu nedenle ateşleme basıncın en yüksek olduğu üst ölü noktanın merkezinde (Top Dead Center) gerçekleşmektedir. Dizel çevrim bu durumda, sabit basınçta ısı girişi olan ideal çevrim en yakın yanma süreci olarak ifade edilebilmektedir. Bu şekilde gerçekleşen dizel çevrim Şekil 2.3.'de gösterilmiştir. Bu çevrim günümüz dizel motorlarının çalışma prensibini ortaya koymaktadır. Bu çevrime ideal karma çevrim (Seilinger çevrimi) denilmektedir. Bu çevrim bir başka deyişle, sabit hacimde ısı girişi çevrim (Otto Çevrimi) ve sabit basınçta ısı girişi ideal çevrimin (Dizel çevrimi) karışımıdır.



Şekil 2. 2. İlk geliştirilen dizel motorların basınç – hacim diyagramları



Şekil 2. 3. Dört zamanlı ideal dizel çevrimi (a) basınç özgül hacim grafiği (b) sıcaklık – entropi ilişkisi grafiği

Karma Çevrimin analizi yapıldığında;

- 6-1 arasında emme supabı açık konumda egzoz supabı ise kapalı konumda bulunmaktadır. Bu esnada silindir içine sabit basınçta hava alınmaktadır.

$$\omega_{6-1} = P_O(v_1 - v_6)$$

2.1

- 1-2 noktaları arasında silindir içerisine açılan emme ve egzoz supapları kapalı olup, izentropik sıkıştırma gerçekleştirilmektedir.

$$P_2 = P_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k = P_1 (V_1/V_2)^k = P_1 (r_c)^{k-1} \quad 2.2$$

$$q_{1-2} = 0 \quad 2.3$$

$$T_2 = T_1 (v_1/v_2)^{k-1} = T_1 (V_1/V_2)^{k-1} = T_1 (r_c)^{k-1} \quad 2.4$$

$$w_{1-2} = (P_2 v_2 - P_1 v_1) / (1 - k) = R (T_2 - T_1) / (1 - k) = (u_1 - u_2) = c_v (T_1 - T_2) \quad 2.5$$

- 2-3 noktaları arasında yine her iki supapta kapalı iken sabit basınçta sisteme ısı girişi olmaktadır. Yani yanma (ateşleme) zamanı gerçekleştirilmektedir.

$$Q_{2-3} = Q_{in} = m_f Q_{HV} \eta_c = m_m c_p (T_3 - T_2) = (m_a + m_f) c_p (T_3 - T_2) \quad 2.6$$

$$Q_{HV} \eta_c = (AF + 1) c_p (T_3 - T_2) \quad 2.7$$

$$q_{2-3} = q_{in} = c_p (T_3 - T_2) = (h_3 - h_2) \quad 2.8$$

$$w_{2-3} = q_{2-3} - (u_3 - u_2) = P_2 (v_3 - v_2) \quad 2.9$$

$$T_3 = T_{max} \quad 2.10$$

- 3-4 noktaları arasında izentropik iş ya da genişleme zamanı yaşanmaktadır. Teoride her iki supap kapalı bulunmaktadır.

$$q_{3-4} = 0 \quad 2.11$$

$$T_4 = T_3 (v_3/v_4)^{k-1} = T_3 (V_3/V_4)^{k-1} \quad 2.12$$

$$P_4 = P_3(v_3/v_4)^k = P_3(V_3/V_4)^k \quad 2.13$$

$$w_{3-4} = (P_4 v_4 - P_3 v_3)/(1 - k) = R(T_4 - T_3)/(1 - k) = (u_3 - u_4) = c_v(T_3 - T_4) \quad 2.14$$

- 4-5 noktaları arasında sabit hacimde ısı çıkışı bulunmaktadır. Yani egzoz zamanı başlangıcıdır. Egzoz supabı tam olarak açılmıştır ve emme supabı kapalı konumdadır. İYM'lerde hem güç kaybı yaşanmaması hem de bir sonraki çevrimin verimli gerçekleşebilmesi adına piston alt ölü nokta ortasına (Bottom Dead Center) geldiğinde egzoz supabı açılmaktadır.

$$v_5 = v_4 = v_1 = v_{BDC} \quad 2.15$$

$$w_{4-5} = 0 \quad 2.16$$

$$Q_{4-5} = Q_{out} = m_m c_v(T_5 - T_4) = m_m c_v(T_1 - T_4) \quad 2.17$$

$$q_{4-5} = q_{out} = c_v(T_5 - T_4) = (u_5 - u_4) = c_v(T_1 - T_4) \quad 2.18$$

- 5-6 noktaları arasında sabit basınçta egzoz zamanı gerçekleşmektedir. Silindir içi basınç Patm eşitlenmektedir. Egzoz supabı açık emme supabı açıktır.

$$w_{5-6} = P_o(v_6 - v_5) = P_o(v_6 - v_1) \quad 2.19$$

Dizel motorların ısı analizinde verimi incelendiğinde aşağıdaki bağıntıdan yararlanabiliriz.

Dizel Çevriminin Isıl Verimi:

$$(\eta_t)_{Diesel} = |\omega_{net}| / |q_{in}| = 1 - (|q_{out}|/|q_{in}|) \quad 2.20$$

$$= 1 - [C_v(T_4 - T_1) / C_p(T_3 - T_2)] \quad 2.21$$

$$= 1 - (T_4 - T_1) / [k(T_3 - T_2)] \quad 2.22$$

$$(\eta_t)_{Diesel} = 1 - (1/r_{(c)})^{k-1}[(\beta^{k-1})(k(\beta - 1))] \quad 2.23$$

$$r = \text{Sıkıştırma Oranı} \quad 2.24$$

$$k = c_p / c_r \quad 2.25$$

$$\beta = \text{Kesme Oranı} \quad 2.26$$

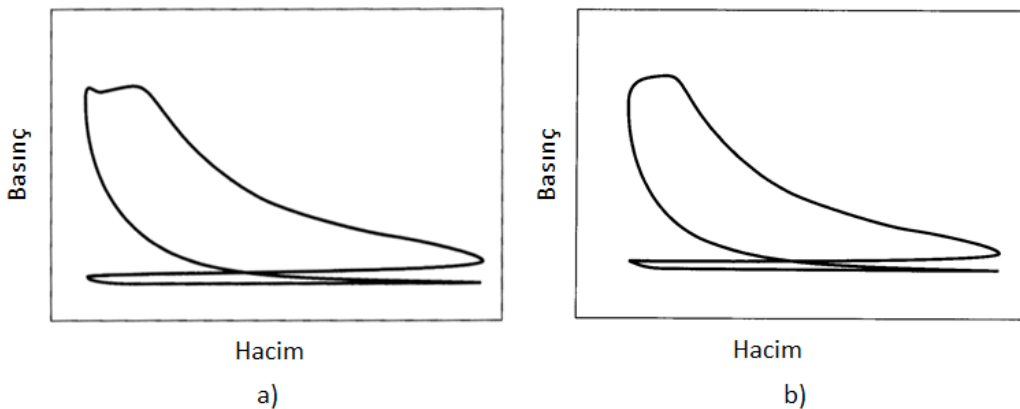
Kesme Oranı: Hacim değişim oranıdır.

$$\beta: V_3/V_2 = T_3/T_2 \quad 2.27$$

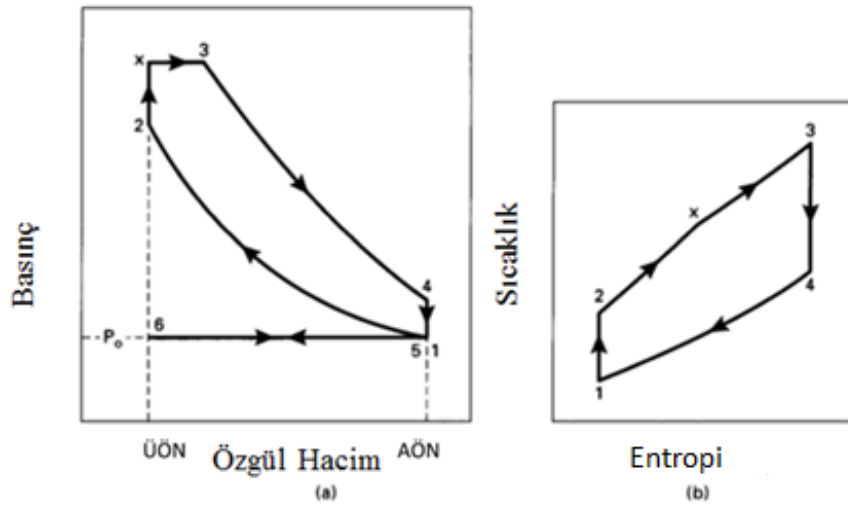
Dizel motorların verimi aynı boyutlardaki bir benzinli motor ile kıyaslandığında verimlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunu sağlayan en önemli faktör iki çalışma prensibi arasında fark olarak bulunan sıkıştırma oranıdır. Benzinli bir motorda sıkıştırma oranı 1:8 ile 1:13 arasında iken dizel motorda ise 1:12 ile 1:24 oranında gerçekleşmektedir. Bu da ısı veriminin yüksek olmasını açıklamaktadır.

2.6.1. Karma Çevrim

Günümüz dizel motorları daha önce belirttiğimiz gibi ilkel dizel motorlardan biraz daha farklı olan karma çevrimi ile çalışmaktadır. İlk geliştirilen dizel motorlarda yakıt püskürtmesi piston üst ölü nokta merkezi civarında gerçekleşirken yeni motorlarda ise üst ölü noktasına 20 derece kala püskürtülmektedir. İlk püskürtülen yakıt demeti, sıkıştırma zamanının sonunda yanmaya başlar. Püskürtülen yakıtın tamamı, basıncın en yüksek olduğu noktada yanmış olur. Bu süreç Otto çevrimine yakındır. Şekil 2.4 a)'da gösterilen diyagramda Basınç – Hacim grafiği pik yaparak azalma eğilimi göstermektedir. Ancak Şekil 2.4 b)'de en yüksek değere ulaşmasının ardından genleşme zamanının sonuna kadar yüksek basıncını korumaktadır. Böylece tutuşma gecikmesi, püskürtme süresi gibi değerler için yeterli zaman ve basınç sağlanmış olacaktır. İlk dizel çevrimi ve Otto çevrimi diyagramlarının üst üste getirildiği düşünülürse modern dizel motorların çalışma prensibi olan karma çevrim ya da sınırlı basınç çevrimi ortaya çıkmaktadır. Dizel çevriminden farklı olarak karma çevriminde sisteme ısı girişi sabit basınç altında, sabit hacimde gerçekleşmektedir.



Şekil 2. 4. a) İlk dizel motorların basınç – hacim grafiği, b) karma çevrime sahip modern motorların basınç – hacim grafiği



Şekil 2. 5. Dört zamanlı ideal karma çevrimi (a) basınç özgül hacim grafiği (b) sıcaklık – entropi ilişkisi grafiği

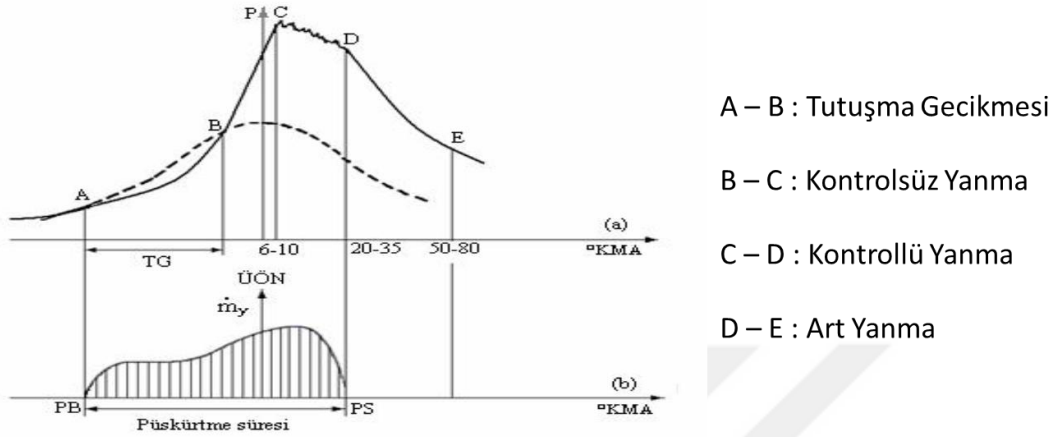
2.6.2. Dizel Motorlarının Yanma Periyotları

Dizel motorlar temel olarak dizel çevrimine göre çalışır. Dizel motorlarında yanma olayının gerçekleşmesi için motorun içine atmosfer havası emilerek, pistonun hareketi ile silindir içerisinde sıkıştırılarak basınç ve sıcaklığı artırılmasının ardından enjektör ile püskürtülen yakıtın patlaması (yanması) ile gerçekleşmektedir. Bu süreç emme zamanında havanın silindir içine emildiği andan itibaren yanma sonu gazlarının dışarıya atılmasına kadar olan zamanı kapsayan süreyi içermektedir. Bu süreci etkileyen ve yanmanın her çevrimde gerçekleşmesini sağlayan faktörler;

- Yanma Odasının Sıcaklığı
- Çalışma Basıncı
- Karışım Oranı
- Sıkıştırma Oranı
- O_2 Miktarı
- Püskürtme Basıncıdır.

İYM'lerin birçoğunda olduğu gibi dizel motorlarında yanma odası içerisinde karışım oranı her zaman homojen olmamaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınç altında meydana gelen kimyasal olaylar zinciri ile yanma reaksiyonu ortaya çıkmaktadır. Ancak yanma sürecinin fazlarından dolayı bu yanma olayı her zaman istenilen sonucu vermemektedir. Şekil 2.6.'da bir dizel motorun krank mili açısı ile karşılaştırılmış basınç değişim diyagramı yer almaktadır. Karma çevrimin nasıl ortaya çıktığından bahsederken, motor içerisindeki

maksimum basıncın kararlı olmasından bahsedilmiştir. Yanmanın tam ve optimum şekilde gerçekleşmesi için maksimum basıncın sağlanması gereklidir. Yanmayı etkileyen faktörler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 2. 6. Bir dizel motoruna ait basınç – krank mili açısı diyagramı [58]

2.6.2.1. Tutuşma Gecikmesi

Tutuşma gecikmesi, içten yanmalı dizel motorlarda silindir içerisine püskürtülen yakıtın ilk atomize olmasının ardından tutuşması için basıncın ve sıcaklığın maksimum ana gelerek yanma reaksiyonun başlamasına kadar geçen süredir. Şekil 2.6.'da gösterilen diyagramda A ve B noktaları arasında geçen süre tutuşma gecikmesi olarak gösterilmektedir. Yakıt enjektör tarafından püskürtülür ve ardından buharlaşmaya başlar. Bu fiziksel değişim esnasında silindir içerisinde enerji çekilmektedir. Bu enerji çekimi nedeniyle silindir içerisinde ısı ve basınçta bir azalma söz konusudur. Bu nedenle de tutuşma gecikmesi ortaya çıkacaktır. Tutuşma gecikmesi aşağıdaki nedenlerden etkilenmektedir.

- Yakıtın kimyasal yapısı
- Yakıtın püskürtülmesi sırasında silindir içerisindeki basınç ve sıcaklık değerleri
- Enjektörün atomizasyon yeteneği
- İçeriye alınan hava ve yakıtın türbülans hareketi
- Motorun çalışma sıcaklığı
- Püskürtme Avansı

2.6.2.2. Kontrolsüz Yanma

Tutuşma gecikmesinin yaşanmasından sonra kontrolsüz yanma fazı, dizel motorlarda yanma sürecinin ikinci adımıdır. Tutuşma başlangıcından basıncın maksimum değere

ulaşmasına kadar geçen süreye kontrolsüz yanma denir. Yanma sürecinde tutuşma gecikmesinden sonra püskürtülen yakıt parçacıklarının yanmaya başlamasının ardından yanma reaksiyonu çok büyük bir hızda gelişmeye başlamaktadır. Püskürtülen yakıt demetinin uç kısımlarında buharlaşma ve hava / yakıt karışımının daha iyi olması sebebiyle yanma başlayacak ve demetin tamamına yayılacaktır. Bu esnada basınçlar kontrolsüz olarak yükselerek motorda vuruntu ve sarsıntılara neden olabilmektedir. Kontrolsüz yanma (hızlı yanma) fazında ortaya çıkan yüksek basınç ve kuvvetler motor parçalarını olumsuz etkileyebilmektedir. Hızlı yanma fazını şu faktörler etkileyebilmektedir:

- Tutuşma gecikmesinin süresi.
 - Tutuşma gecikmesi ne kadar kısa olursa kontrolsüz yanma da o kadar kısa sürmektedir.
- Enjektörün atomize kabiliyeti
- Püskürtülen yakıt miktarı
- Tutuşma gecikmesi boyunca hava ve yakıtın karışım oranı
- Tutuşma gecikmesi süresi boyunca H/Y karışımının motor içerisindeki türbülans hareketi

2.6.2.3. Kontrollü Yanma

Bu faz yanma sürecinin üçüncü fazı olarak nitelendirilmektedir. Yanma bir önceki hızlı yanma fazında gerçekleşmeye başlamıştır, bu fazda yanmasının ikinci aşamasıdır. Yanma demetinin püskürtülmeye devam etmesiyle beraber silindir içerisine giren yakıt tanecikleri O_2 ile buluşur buluşmaz yanma reaksiyonunu gerçekleştirirler. Bu safhada basınç değişimleri önemsizdir. Yanma odasının sıcaklığının ortalama maksimum sıcaklığa ulaştığı nokta bu safhada gerçekleşir.

2.6.2.4. Art Yanma

Yanma, enjeksiyon işleminin tamamlanmasıyla bitmez. Yanma odasında kalmış yanmamış ve kısmi yanmış yakıt partikülleri O_2 ile temas ettikçe yanmaya devam eder. Kontrollü yanma sonunda egzoz supabının açılmasına kadar geçen süre bu safhaya art yanma safhası denir. Genellikle bu periyot, maksimum çevrim sıcaklığının meydana geldiği noktalarda başlar ve genişleme stoku boyunca devam eder. Art-yanma hızı difüzyon hızına, yanmamış ve kısmi yanmış yakıtın hava ile karışım hızına bağlıdır. Art-yanma süresi, ÜÖN'dan sonra 70-80 °KMA kadar devam eder. Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi D-E eğrisi ile gösterilen ve

silindir içinde meydana gelen yanma olayına art yanma denilmektedir. Bu bölgenin çok dar olması gerekir. 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 düşecektir. Bu safhanın, yanma verimi açısından çok kısa sürmesi gerekmektedir. Bu safha aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- Yanma odası içerisine nüfuz etme derinliği ve hızına
- Yakıt püskürtme sistemine
- Enjektör delik sayısına
- Enjektör deliklerinin formuna
- Enjektör püskürtme basıncına
- Yanma odası içerisindeki karşı basınca
- Yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerine
- Yanma odası sıcaklığına
- Silindir içerisindeki hava hareketine (türbülansına) bağlıdır.

2.7. Dizel Motorlarda Yanmaya ve Emisyonlarına Etki Eden Parametreler

İYM işletilmeleri sırasında birçok fiziksel ve kimyasal olaylardan etkilenecek çalışmalarını sürdürürler. Tezimizin konusunu oluşturan motor emisyonları ve çalışma parametreleri açısından bu sürece etki eden faktörler incelenecektir.

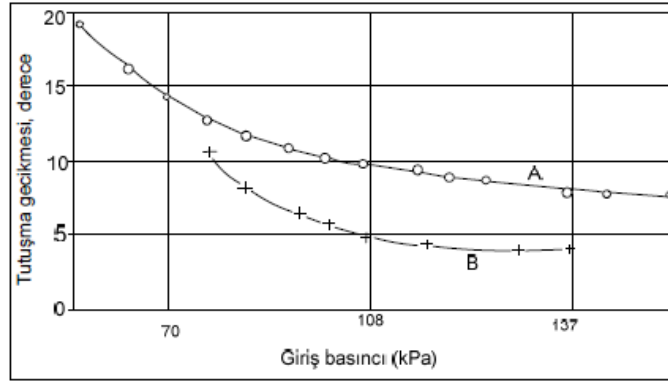
2.7.1. Giriş Basıncı ve Sıcaklığı

İYM’de karışım ve yanma olaylarının iyileştirilmesi için yanma odasının içerisindeki hava hareketlerinin ve türbülansın attırılması istenilmektedir. Bu şekilde HC emisyonları en aza indirilmektedir. Bu kısımda değinilmesi gereken konulardan biri de giriş basıncıdır. Çünkü motor içine emilen hava bir akışkandır ve akışkanlar mekaniği açısından bu döngüsel hareketi oluşturan faktörlerden biri de giriş basıncıdır. Dizel motorlarda giriş basıncını üç değişken ile kontrol edebiliriz. [58]

Bunlar;

- Turbo Şarj kullanılması
- Ara soğutucu (Intercooler) kullanılması
- Emme (Manifoldunun) kanalının şekli ve yapısı.

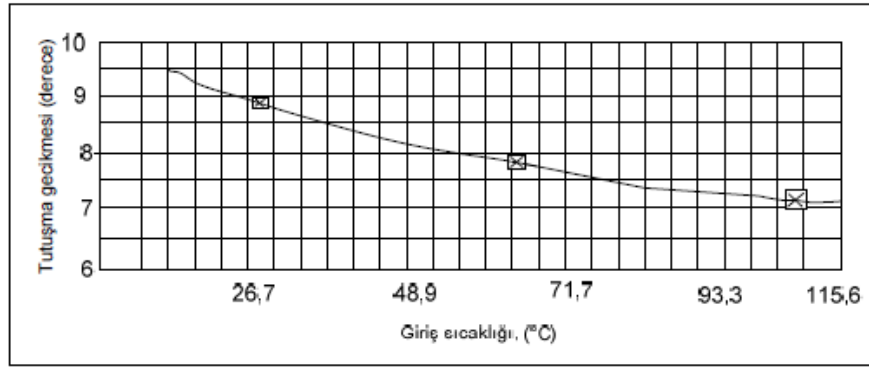
Silindir içine emilen havanın giriş basıncı arttıkça, sıkıştırma sonu basıncı ve sıcaklığı artacaktır. Bu durumun sağlanması için genelde motorlarda turbo şarj sistemi kullanılmaktadır. Böylelikle basınç ve sıcaklık artacağından dolayı tutuşma gecikmesi süresi azalacak ve motor emisyonlarında ortaya çıkan emisyon oranlarında iyileştirme sağlayacaktır. Aynı zamanda giriş basıncının artması motorun volümetrik veriminin artmasına neden olacaktır.



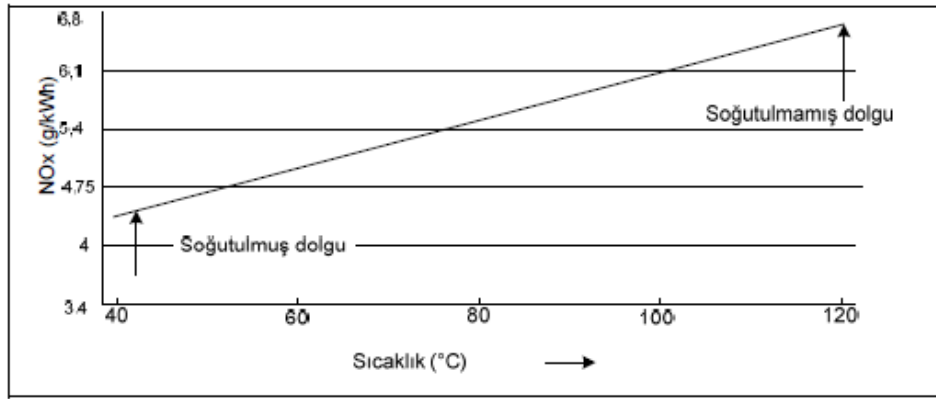
Şekil 2. 7. Giriş basıncının tutuşma gecikmesine etkisi

A Eğrisi - Düz yanma odası, B Eğrisi - Bölünmüş yanma odası [58]

Emilen havanın sıcaklığının artması tutuşma gecikmesinin kısılması yönünde etki göstermektedir. Motor içerisine püskürtülen yakıt tanecikleri yanma odasında ısı çekerek buharlaşmaktadırlar. Emilen havanın sıcaklığının artması, yanma odasından ısı çekilse bile tutuşma gecikmesini ortaya çıkartmayacaktır. Sistemde yeterli ısı olmasından dolayı daha kısa bir tutuşma gecikmesi yaşanacaktır. Ancak silindir içine emilen havanın sıcaklığının artması iki olumsuz duruma yol açmaktadır. Bunlardan biri motorun içine emilen havanın ısınması ve havanın birim hacmindeki O_2 oranının düşmesi ve genişmeden dolayı hacmen ağırlığının azalmasıdır. Bir diğeri ise motor emisyonlarından NO_x oluşumunu hızlandırmaktır. Bu olumsuz etkenleri ortadan kaldırmak için sisteme ara soğutucu (Intercooler) yerleştirilmektedir. Böylece sisteme giren hava turbo sonrasında soğutularak birim hacminin azaltılması bu şekilde emilen O_2 oranının artması sağlanmaktadır.



Şekil 2. 8. Giriş sıcaklığının tutuşma gecikmesine etkisi [59]

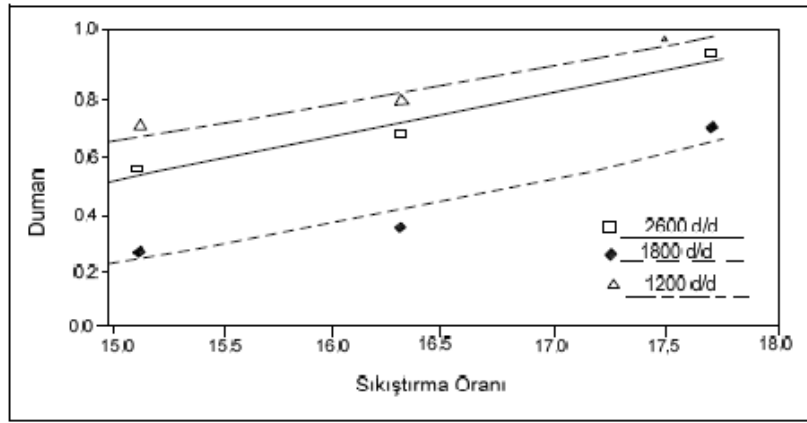


Şekil 2. 9. Dolgu sıcaklığına bağlı olarak NO_x emisyonunun değişimi [60]

2.7.2. Sıkıştırma Oranı

Sıkıştırma oranının artırılması, yanma odasında havanın sıkıştırma sonucundaki sıcaklığını arttıracğından ısı veriminin artmasını sağlamaktadır. Isıl verimin artması ise yakıtın ısı (kimyasal) enerjisinden daha fazla kullanılarak faydalı güç elde edilmesini sağlayacaktır. Bu durum da motorun özgül yakıt tüketimini azalmakta (g/kWh ya da g/BGh) ve maksimum gücü artırmaktadır. Sıkıştırma oranının artması yüzey/hacim oranını arttıracaktır. Yüzey/hacim oranının artması, alev sönme bölgesinin artmasına neden olmaktadır. Bu durumda HC emisyonları artma eğilimi gösterir. Ancak sıkıştırma oranının artışı ile güçte de bir artış meydana gelmesi nedeniyle özgül HC emisyonlarında (birim güç başına düşen HC emisyon miktarı) artış olduğu gibi bazı durumlarda azalma gözlemlenebilmektedir. Sıkıştırma oranının artması NO_x emisyonlarını da etkilemektedir. Sıkıştırma oranının artması yanma odasındaki sıcaklıkların artmasına neden olmaktadır. Sıkıştırma oranının etkilediği başka bir durum ise dizel motorlarda detenasyon (vuruntu) probleimidir. Vuruntu esnasında motor kararsız çalışmakta ve motor üzerinde dikey durumda büyük kuvvetler meydana gelmektedir. Sıkıştırma oranı artmasıyla beraber,

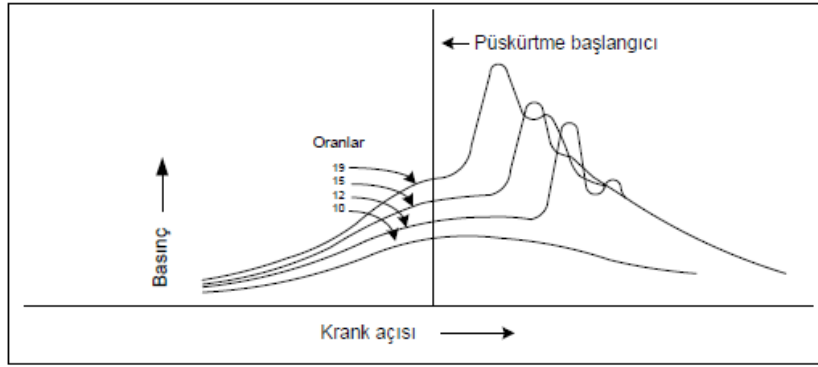
silindir içerisinde kendi kendine tutuşma olasılığı artmaktadır. Kendi kendine tutuşma olayının meydana gelmesinin sebebi motor içerisindeki yüksek sıcaklıklar ve silindir basıncıdır. Sıkıştırma oranı bu iki parametreyi yükseltecektir bu durumda kendi kendine tutuşma olasılığını artırır. Tasarım esnasında bu göz önüne alınan birinci önceliktir. Ancak sıkıştırma oranı dizel motorlarda çok düşük tutulursa bu daha önce belirttiğimiz gibi hem verimi etkileyecek hem de soğuk havalarda ilk çalıştırmayı zorlaştıracaktır. Şekil 2.10.'da sıkıştırma oranına bağlı olarak duman miktarının değişimi görülmektedir. Sıkıştırma oranının artmasıyla duman miktarı da buna bağlı olarak artmaktadır. Zira sıkıştırma oranının artmasıyla yanma odası içerisindeki girdabın azalması ve hava yakıt karışım formasyonunun kötüleşmesi duman miktarının artmasına neden olmaktadır [63].



Şekil 2. 10. Sıkıştırma oranının duman miktarına etkisi [61]

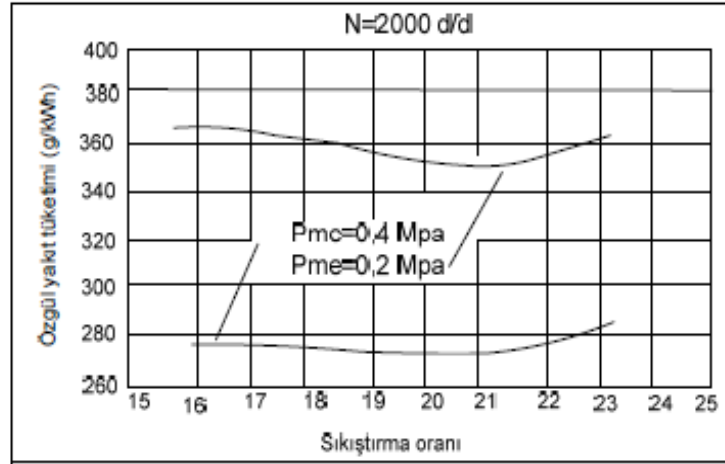
Bu sebeple motor tasarımında her parametrede olduğu gibi sıkıştırma oranının da bir bıçak sırtı sınırı vardır. Bu sınır benzinli motorlarda ϵ : 8 -11 iken dizel motorlarda ϵ : 15 – 24 arasında değişmektedir [63].

Motorda sıkıştırma oranı arttıkça püskürtme başlangıcına da etki göstermektedir. Şekil 2.11.'de sıkıştırma oranının basınç–krank açısı diyagramına etkisi gösterilmektedir. Yüksek sıkıştırma oranında, maksimum basınç daha erken ve daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Ancak, maksimum basıncın artması krank-biyel mekanizmasının daha dayanıklı yapılmasını gerektirir. Ayrıca, kompresyon kaçaklarının artması ve motorun ilk harekete geçişinin zorlaşması mekanik veriminin azalmasına neden olmaktadır [60].



Şekil 2. 11. Sıkıştırma oranının basınç – krank açısı diyagramına etkisi $n= 600$ d/d, $Y/H= 0,05$, püskürtme avansı =12 [62]

Şekil 2.12.'de sıkıştırma oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin değişimi görülmektedir. Sıkıştırma oranı arttıkça sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığı artmaktadır. Buna bağlı olarak piston üzerine etki eden efektif basınç artmakta ve özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Ancak belirli bir sıkıştırma oranından sonra kompresyon kaçaqlarının artması ve mekanik verimin azalmasıyla özgül yakıt tüketimi artmaya başlamaktadır.

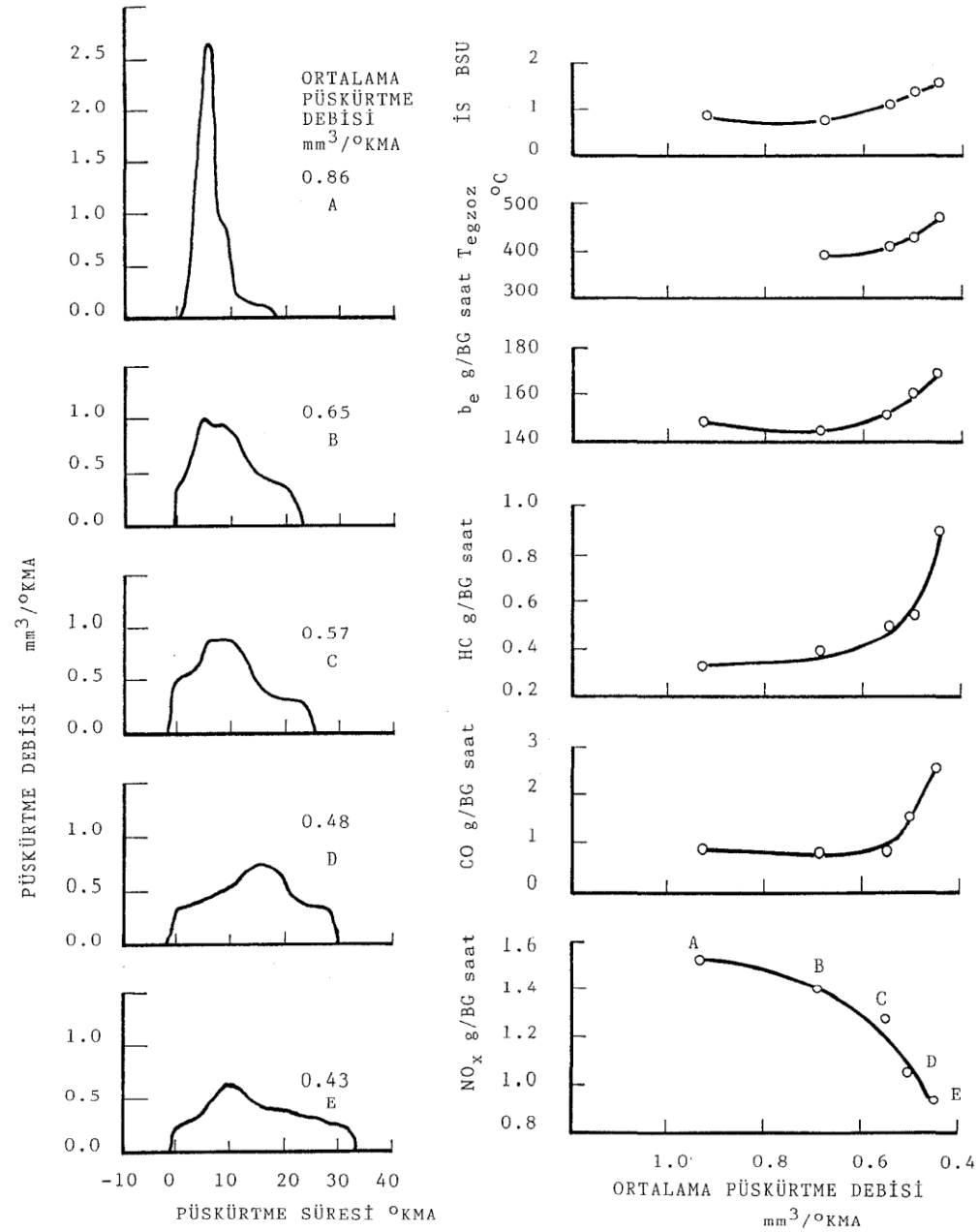


Şekil 2. 12. Sıkıştırma oranının fren özgül yakıt tüketimine etkisi [61]

2.7.3. Püskürtme Şekli

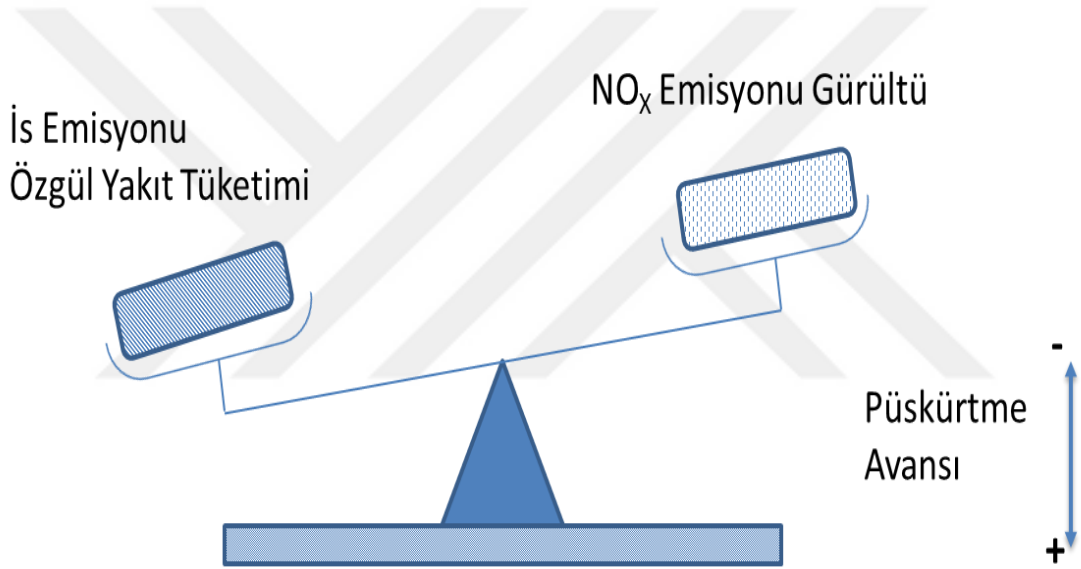
Dizel motorlarında yakıt püskürtme sisteminin yapısı, püskürtme zamanlaması, yanma odasına giren yakıt miktarının debisi vb. özellikler yanma performansını ve emisyon miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Karışımın iyi oluşmuş olması ve yakıtın tam yanması sonucu oluşan is, motorun çalışmasını etkilediği gibi çevreyi de etkilemektedir. Püskürtülen yakıtın debisi yani püskürtme hızı arttıkça is, HC, CO emisyonları azalmakta

ancak silindir içinde yakıtın daha hızlı tutuşup yanmasıyla artan sıcaklığa bağlı olarak NO_x emisyonları artmaktadır. Ayrıca yakıtın tüketiminde de düşüş olmaktadır. Öte yandan hızlı püskürtme sonucunda yanma odası içinde ilk püskürtülen yakıtın tutuşmasının gecikmesi ve bunun sonucunda yanma odasında biriken yakıtın hızlı yanması, silindir basıncının da hızlı yükselmesine neden olduğunda motorun gürültüsü artmaktadır.



Şekil 2. 13. Yakıt püskürtme hızının etkileri

Gürültü artışına engel olmak için son zamanlarda hızlı püskürtme sistemlerinde önce yavaş (az), daha sonra hızlanan kademeli püskürtme sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Yanma odasına püskürtülen yakıtın zamanlaması da egzoz emisyonunu ve motorun performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Şekil 2.13.'den anlaşılabacağı üzere püskürtme avansı arttırıldığında (püskürtme erkene alındığında) yanma odasındaki sıcaklıklar artmakta ve buna bağlı olarak NO_x emisyonunda artış, is emisyonun da ise azalma görülmektedir. Ayrıca ısı verim arttığından, motorun gücü artıp yakıt tüketimi azalmaktadır. Bu etkilerin yanı sıra püskürtme avansının artışı ile silindir içi basıncının da hızlı bir şekilde artması, motor gürültüsünü de arttırmaktadır. Püskürtme avansının azaltılması durumunda ise (Püskürtme başlangıcı ÜÖN'ya daha yakın olması) durum tam tersine gürültü artmaktadır.



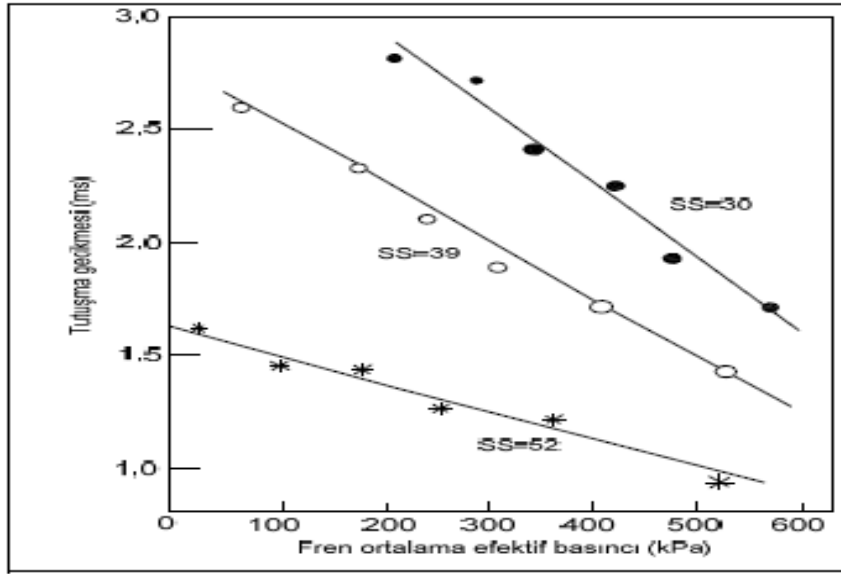
Şekil 2. 14. Dizel motorlarında püskürtme avansının motor parametrelerine etkileri [63]

2.7.4. Yakıt Özellikleri

Dizel motorunda kullanılan motorinin yapısını hidrokarbonlar oluşturur. Bu hidrokarbonlardan, parafinik hidrokarbonlar motorinin setan sayını etkilemektedir. Setan sayısı, dizel yakıtının ateşlenme kalitesini yani tutuşmaya gösterdiği meyli ifade eder [62].

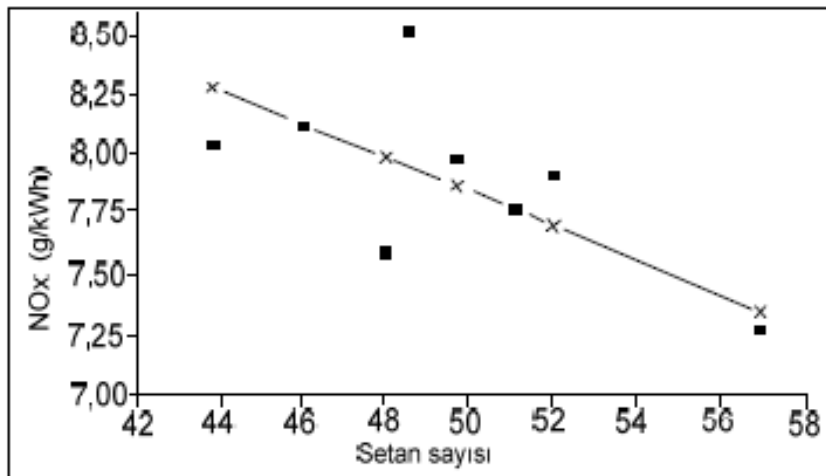
Şekil 2.15.'de, setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi görülmektedir. Setan sayının yüksek olması tutuşma gecikmesini kısaltmaktadır. Dolayısı ile HC emisyonları azalmaktadır. Hızlı yanma sürecinin kısalması ve ani basınç artışlarının azaldığı gözlemlenir. Bir önceki kısımda bu etkenlerin motorun yapısına zarar verdiği ve istenmediği belirtilmişti. Bu nedenle dizel yakıtlarda setan sayısının yüksek olması

istenmektedir. Setan sayısının artması yanmanın büyük çoğunluğunun kontrollü yanma kısmında gerçekleştiği anlamına gelmektedir.



Şekil 2. 15. Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi [65]

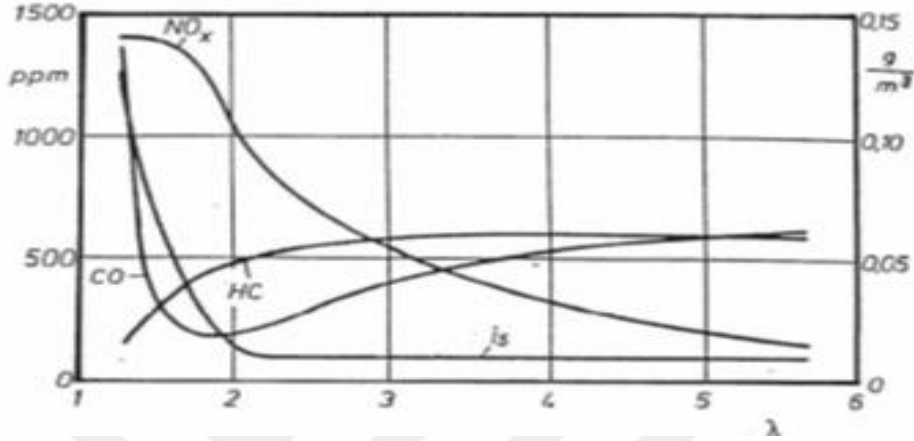
Sekil 2.16'da setan sayısının NO_x emisyonuna etkisi görülmektedir. Burada setan sayısı arttıkça NO_x emisyonunun azaldığı görülmektedir. Setan sayısı arttıkça yakıtın kendi kendine tutuşmaya gösterdiği meyil artmaktadır. Böylece yakıt daha kolay tutuşacağından, tutuşma gecikmesi; Şekil 2.15.'de de görüldüğü gibi azalarak, ani yanma safhasındaki basınç artma oranının azalmasına neden olabilmektedir. Basıncın ve sıcaklığın azalması, NO_x oluşumunun yavaşlamasına neden olmakta ve NO_x emisyonu azalmaktadır [61].



Şekil 2. 16. Setan sayısının NO_x emisyonuna etkisi [65]

2.7.5. Hava Yakıt Oranı

İYM’de kirletici egzoz gazı bileşenlerinin miktarını en çok hava fazlalık kat sayısı (HFK), başka bir deyişle yanmada kullanılan hava miktarı etkilemektedir. Aşağıdaki Şekil 2.17.’de bu görülmektedir.



Şekil 2. 17. Hava fazlalık katsayısının egzoz gazları emisyonu üzerindeki etkisi [58]

Dizel motorlarda dönem sayısındaki yük ayarı motora emilen havanın içine püskürtülen yakıt miktarının değiştirilmesiyle yapılmaktadır. Çalışma dönme sayısındaki motor gücü azaltılmak isteniliyorsa püskürtülen yakıt miktarı azaltılmalıdır. Böylece hava–yakıt karışım oranı motorun yük durumuna göre değişmektedir. Böylelikle motor genellikle fakir karışım (bol hava) ile çalıştırılmaktadır. Bu durumda yanma olayının ara kademelerinde oluşan CO, yanma süreci boyunca yeterli O₂ bularak CO₂'ye dönüşmektedir. Yükün artması ve buna bağlı olarak HFK'nın azalması durumunda ise O₂ miktarının ve reaksiyonlar için gerekli sürenin azalması CO emisyonlarını tekrar arttırmaktadır.

O₂'nin olduğu HC'ların büyük bir kısmı da yeterli sıcaklıklara ulaşılması ile yanacaktır. Dizel motorlarında düşük yüklerde sıcaklıkların yeterli seviyede olmaması HC emisyonlarının bir miktar artmasına neden olur. Motor yükünün artırılması ile karışım oranı stokiyometrik değere (HFK=1) doğru yaklaştığı durumlarda ise, artan yanma odası sıcaklıkları reaksiyonları hızlandırmakta ve hidrokarbonların büyük kısmı yanmaktadır. Genelde, dizel motorlarının HC üretimi benzin motorlarının çok altında kalmaktadır. Biyodizel kullanılması durumunda ise bu oran daha da düşmektedir. Uluslararası yönetmelikler gereği kirletici emisyonlara getirilen sınırlandırılmalarda HC ve CO dikkat çekmektedir. Biyodizel kullanımı sonucunda bu kirletici emisyonların düştüğü benzer çalışmalarda görülmüştür.

Diğer emisyonlarda is ve NO_x'te ise durum tam tersine değişmektedir. NO_x emisyonu kirleticiler arasında büyük dikkat çekmektedir. Çünkü salınımının giderek artması hem sağlık hem de çevreye olumsuz etkiler yeterli. NO_x emisyonları artan yüklerle beraber yükselme eğilimi gösteren sıcaklıklar ile artmaktadır. Gereğinden fazla hava ile çalışan motorlarda (HFK<1,2-1,3 gibi) başka bir deyişle kapasitesinin üzerinde yüklenmiş bir dizel motorun NO_x emisyonları artış gösterecektir.

Dizel motorunun emisyonlar açısından partikül oranlarının yüksek olması başka bir handikap olarak değerlendirilmektedir. Motor emisyonları içerisinde belli bir miktarda is bulunması kabul edilebilmektedir. Çünkü motor içerisindeki hava hareketlerinin ya da enjektörün kapasitesi nedeniyle yanmamış HC'lar partiküllere neden olacaktır. Partikül emisyonu %60 - %70 seviyelerinde yanmamış HC'lar oluşturur. Geriye kalan kısmı ise egzoz sıcaklığı ile buharlaşan motor yağı ve yakıt buharlarının is üzerine yapışmasından oluşmaktadır. Partikül emisyonlarının %10'luk kısmını ise kül ve kükürt bileşikleri oluşturmaktadır. Yük arttıkça bir dizel motorda is emisyonu da artış göstermektedir. Biyodizel, içerisinde kükürt değerinin çok küçük olması ve HC oranları nedeniyle is miktarının en az seviyelerde olduğu gözlemlenmektedir.

2.8. Dizel Motorlarda Kirletici Emisyonlarının Oluşumu ve Çevreye Etkileri

Yanma ürünü zararlı maddelerin insan sağlığına olumsuz etkileri, alınmış sürelerine ve alınmış miktarlarına göre değişmektedir. Bu bakımdan üç farklı konsantrasyon tanımlamak mümkündür;

- MAK (Maksimum Atmosfer Konsantrasyonu): Sürekli olarak solunduğunda zarar vermeyecek miktar
- MİK (Maksimum İşyeri Konsantrasyonu): 8 saat süre ile solunduğunda zarar vermeyecek miktar
- DTK (Doğrudan Tehlike Konsantrasyonu) : Çok kısa süre içinde tehlike doğuracak miktar.

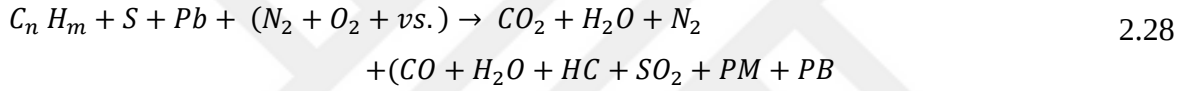
Bu tanımlamalara uygun olarak insan sağlığı açısından mevcut sınırlamalar pim (milyondaki hacimsel oran-parts per million) veya mg/m³ cinsinden Tablo 2.13.'de verilmiştir.

Tablo 2. 13. İnsan sağığı açısından mevcut sınırlamalar

Kirletici Maddeler	MAK	MİK	DTK
CO (ppm)	9	50	5000
HC (ppm)	20	300	30000
HC HO (ppm)	0,02	1	650
NO (ppm)	0,15	-	-
NO ₂ (ppm)	0,05	5	200
SO ₂ (ppm)	0,1	5	400
Pb (mg/m ³)	0,003	-	-
Pb (G ₂ H ₄) ₄ (ppm)	-	0,01	-

Aşağıda anlatılan zararlı yanma ürünlerinin oluşum şekillerinin anlatılması sırasında HFK tanımlamakta fayda vardır.

Yakıtın bilişiminde C ve H₂ bulunduğu kabul edilirse 1 kg yakıtın yanması için gerekli miktardaki O₂ ve hava aşağıda belirtilen tam yanma denkleminde bulunur.



Yakıt ve Katkı Maddeleri + Hava → Tam Yanma Ürünleri + Kirletici Maddeler

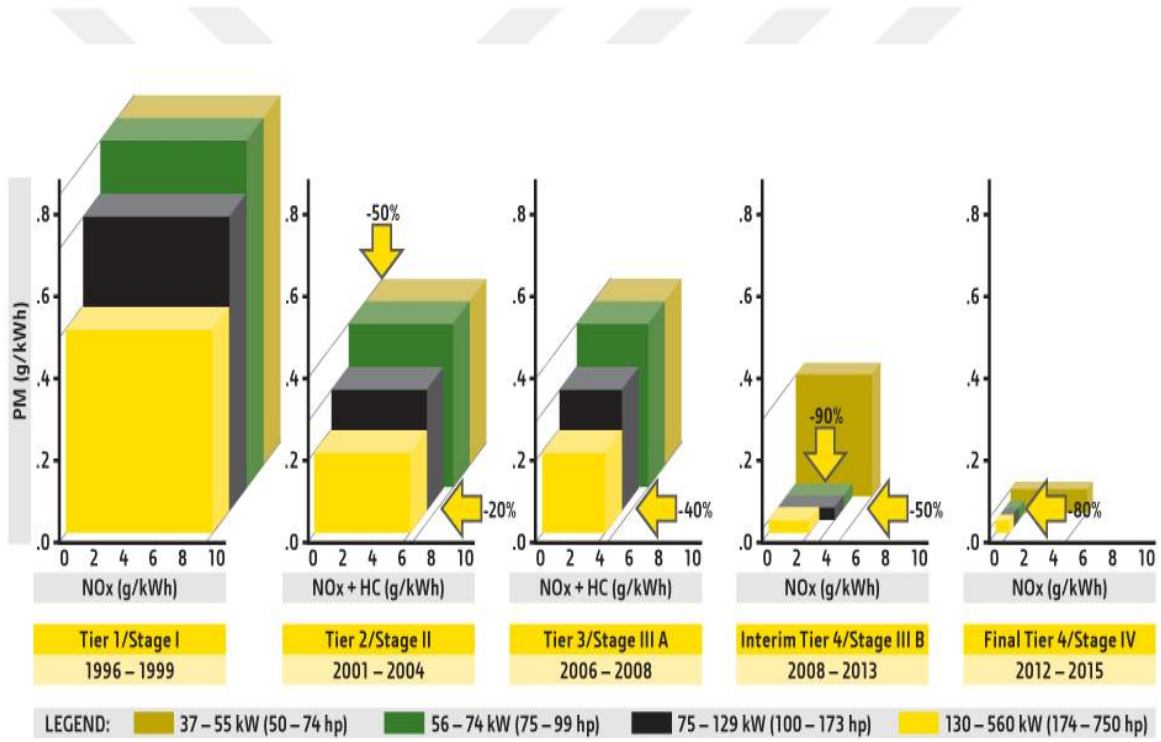
Örneğin; 1 kg dizel yakıtının tam yanması için, yani bütün karbonun CO₂'ye ve bütün H₂'nin, H₂O'ya dönüşmesi için, bu denklemlerden yaklaşık 17 kg hava gerektiği ortaya çıkar. Yanmaya katılan gerçek hava miktarı ise bu teorik değerden az veya çok olabilir. Eğer yanmaya katılan gerçek hava miktarı, teorik hava miktarına eşitse bu karışma stokiyometrik karışım demir. Yanmaya katılan gerçek hava miktarının, teorik havadan ne kadar saptığını belirlemek için Hava Fazlalık Katsayısı (HFK) terimi kullanılır. HFK yanmaya katılan gerçek hava miktarının, teorik hava miktarına oranına denir ve Yunanca λ (lambda) harfi ile gösterilir.

$$\lambda = \frac{\text{Yanmaya Katılan Gerçek Hava Miktarı}}{\text{Tam Yanma İçin Gerekli Hava Miktarı}} \quad 2.29$$

Yukarıdaki denklemden;

- Yukarıdaki denklemden anlaşılacağı gibi, katılan hava miktarı teorik olarak eşitse HFK = 1 (λ=1) olacaktır. Bu aynı zamanda stokiyometrik karışımır.
- λ<1, yani HFK 1'den küçük ise, gerçek hava miktarı teorik olarak gerekenden az olacaktır. Karışım içinde yakıt miktarı fazla olduğu için buna zengin karışım denir.
- λ>1, yani HFK 2'den büyük ise, hava gerekenden fazla yakıt ise az olduğu için buna fakir karışım denilir.

Uluslararası standartlar ile emisyonların değerleri sınırlandırılmıştır. Bu sınıflandırılma öncelerinde karayollarında kullanılan motorlu araçların çevreye verdiği zararları kısıtlamak amacı ile ortaya çıkmıştır. Daha sonralarında 1990 yılların ortalarında dünyanın önde gelen uluslararası kuruluşları karayolu dışı (nonroad) kullanımı olan, tarım makineleri ve iş makinelerini kapsayan araçlarda kullanılan dizel motorların çevreye verdikleri kirliliği azaltmak amacıyla bir dizi emisyon standardı yayınlamışlardır. Bu standartlar hazırlanırken motorların güçleri dikkate alınarak hazırlanmıştır. Bu standartlardan AB (European Union) standartları “**Stage 1- 4**” olarak isimlendirilmiştir. Amerikan standartlarında ise “Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı” (U.S. EPA) standardı ise “**Tier 1 – 4**” olarak isimlendirilmiştir. Tablo 2.14.’de bu sınır değerlerini görebiliriz.



Şekil 2. 18. 37 kW (50- 750 hp) EPA ve EU yol dışı (nonroad) emisyon düzenlemesi [66]

Tablo 2. 14. Uluslararası Tier emisyon standardının motor gücüne göre sınır değerleri [67]

Net Motor Gücü	Tier	Yıl	CO	HC	NMHC+N O _x	NO _x	PM
kW					g/kWh		
kW < 8	Tier 1	2000	8.0 (6.0)	-	10.5 (7.8)	-	1.0 (0.75)
(hp < 11)	Tier 2	2005	8.0 (6.0)	-	7.5 (5.6)	-	0.8 (0.6)
8 ≤ kW < 19	Tier 1	2000	6.6 (4.9)	-	9.5 (7.1)	-	0.8 (0.6)
(11 ≤ hp < 25)	Tier 2	2005	6.6 (4.9)	-	7.5 (5.6)	-	0.8 (0.6)
19 ≤ kW < 37	Tier 1	1999	5.5 (4.1)	-	9.5 (7.1)	-	0.8 (0.6)
(25 ≤ hp < 50)	Tier 2	2004	5.5 (4.1)	-	7.5 (5.6)	-	0.6 (0.45)
37 ≤ kW < 75	Tier 1	1998	-	-	-	9.2 (6.9)	-
(50 ≤ hp < 100)	Tier 2	2004	5.0 (3.7)	-	7.5 (5.6)	-	0.4 (0.3)
	Tier 3	2008	5.0 (3.7)	-	4.7 (3.5)	-	-†
75 ≤ kW < 130	Tier 1	1997	-	-	-	9.2 (6.9)	-
(100 ≤ hp < 175)	Tier 2	2003	5.0 (3.7)	-	6.6 (4.9)	-	0.3 (0.22)
	Tier 3	2007	5.0 (3.7)	-	4.0 (3.0)	-	-†
130 ≤ kW < 225	Tier 1	1996	11.4 (8.5)	1.3 (1.0)	-	9.2 (6.9)	0.54 (0.4)
(175 ≤ hp < 300)	Tier 2	2003	3.5 (2.6)	-	6.6 (4.9)	-	0.2 (0.15)
	Tier 3	2006	3.5 (2.6)	-	4.0 (3.0)	-	-†
225 ≤ kW < 450	Tier 1	1996	11.4 (8.5)	1.3 (1.0)	-	9.2 (6.9)	0.54 (0.4)
(300 ≤ hp < 600)	Tier 2	2001	3.5 (2.6)	-	6.4 (4.8)	-	0.2 (0.15)
	Tier 3	2006	3.5 (2.6)	-	4.0 (3.0)	-	-†
450 ≤ kW < 560	Tier 1	1996	11.4 (8.5)	1.3 (1.0)	-	9.2 (6.9)	0.54 (0.4)
(600 ≤ hp < 750)	Tier 2	2002	3.5 (2.6)	-	6.4 (4.8)	-	0.2 (0.15)
	Tier 3	2006	3.5 (2.6)	-	4.0 (3.0)	-	-†
kW ≥ 560	Tier 1	2000	11.4 (8.5)	1.3 (1.0)	-	9.2 (6.9)	0.54 (0.4)
(hp ≥ 750)	Tier 2	2006	3.5 (2.6)	-	6.4 (4.8)	-	0.2 (0.15)

Tablo 2. 15. Uluslararası Euro emisyon standardının motor gücüne göre sınır değerleri [60]

Kategori	Net Güç <i>kW</i>	Yayın Tarihi	CO	HC	HC+NO _x <i>g/kWh</i>	NO _x	PM
Stage I							
A	$130 \leq P \leq 560$	1999.01	5	1,3		9,2	0.54
B	$75 \leq P < 130$	1999.01	5	1,3		9,2	0.70
C	$37 \leq P < 75$	1999.04	6,5	1,3		9,2	0.85
Stage II							
E	$130 \leq P \leq 560$	2002.01	3,5	1.0		6.0	0.2
F	$75 \leq P < 130$	2003.01	5	1.0		6.0	0.3
G	$37 \leq P < 75$	2004.01	5	1,3		7.0	0.4
D	$18 \leq P < 37$	2001.01	5,5	1,3		8.0	0.8
Stage III A							
H	$130 \leq P \leq 560$	2006.01	3,5	-	4.0	-	0.2
I	$75 \leq P < 130$	2007.01	5.0	-	4.0	-	0.3
J	$37 \leq P < 75$	2008.01	5.0	-	4,7	-	0.4
K	$19 \leq P < 37$	2007.01	3,5	-	7,5	-	0.6
Stage III B							
L	$130 \leq P \leq 560$	2011.01	03.May	0.19	-	2.0	0.025
M	$75 \leq P < 130$	2012.01	5.0	0.19	-	3,3	0.025
N	$56 \leq P < 75$	2012.01	5.0	0.19	-	3,3	0.025
P	$37 \leq P < 56$	2013.01	5.0	-	4,7	-	0.025

Tüm bu standartların oluşturulmasının temel nedeni toplum sağlığının olumsuz etkilenmesi ve sera etkisinin küresel ısınmayı hızlandırmasıdır. Mevcut standartlar yıllar içinde revizyona uğrayarak her yeni revizyon bir öncekine göre daha zorlayıcı kurullar içermektedir. Bu durumda üreticiler hem yeni teknoloji geliştirmek zorunda kalmakta hem de bunun için yatırım yapmak durumunda kalmaktadırlar. Motor içinde oluşan kirletici maddelerin oluşum nedenlerini ve insan sağlığına etkilerini aşağıdaki başlıklarda detaylı olarak inceleyebiliriz.

2.8.1. Karbonmonoksit (CO)

Kokusuz ve renksiz bir gaz olan CO çok zehirlidir. Bu gaz kandaki O₂ taşıma görevine sahip olan hemoglobinle reaksiyona girme yeteneğine sahiptir. CO, O₂'nin bağlanma yeteneğinden yaklaşık 200 kat daha fazladır. Bu nedenle CO gazı ortamında bulunan bir insan solunum yaptığı anda kandaki O₂ konsantrasyonunu bozarak boğulmasına neden olur.

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni O₂ yetersizliğidir. Daha önce de bahsettiğimiz üzere 1 kg yakıtın yakılabilmesi için 14,5 kg hava gerekmektedir. Eğer HFK 1'den küçük ise yani karışımın içerisinde gerekenden daha az hava var ise yanma yetersiz O₂ ortamında gerçekleşecektir. Yakıt içerisindeki karbonun tümü CO₂'ye dönüşmeyecek ve CO olarak salınım yapılacaktır. Bunun bir başka sebebi de motor içerişindeki karışımın homojen olmamasıdır. Silindir içerisinde homojen olmayan karışım yandığı takdirde, karbon atomlarının tamamı yanmayarak ya da kısmi yanarak CO ortaya çıkmasına neden olacaktır. CO emisyonunun gerçekleşmesi çoğunlukla HFK'ya bağlıdır.

2.8.2. Yanmamış Hidrokarbonlar (HC)

Yanma sonucunda bacalardan ve taşıtların yakıt deposundan salınan, yakıt sisteminden buharlaşma yoluyla veya motorda tam yanmanın gerçeklememesi üzerine egzoz gazları ile birlikte atmosfere atılan yanmamış ya da kısmen yanmış hidrokarbonlar genellikle kötü kokulu ve tahriş edici maddelerdir. Bu tür hidrokarbonlar arasında parafinler ve olefinlerin solunum yollarındaki mukozayı tahriş edici ve bayıltıcı etkileri bulunmaktadır. Aromatların ise kanser yapıcı etkileri vardır. HC'ların kısmi oksidasyonu (Kısmi yanma) sonucunda oluşan aldehitler ise keskin kokuları nedeniyle göz ve burun için rahatsız edici etkiye sahiptirler. Gaz halindeki HC'lar güneş ışığı altında NO_x 'ler ile birleşerek "fotokimyasal sis – smog" olarak adlandırılan bir sis tabakası oluştururlar. Bu tabaka gözlerin yanmasına ve sulanmasına, solunum sisteminin etkilenmesine neden olurken, aynı zamanda bitkiler için de zararlıdır.

Egzoz gazları içinde HC bulunması yakıtın tam olarak yakılamadığını gösterir. HC oluşumunun ana nedeni sıcaklıkların veya O₂'in yetersiz olmasıdır. Başka bir neden ise HFK'nın 1'den küçük olması yani zengin karışım meydana gelmesi olarak söylenebilir. Bu durum;

- Silindir içerisindeki bazı bölümlerde H/Y oranının zengin olması veya çok fakir olmasıdır.
- Motordaki ısı kaybının (silindir cidarlarının soğuk olması) fazla olması nedeniyle bu bölgelerde yanmanın olmaması ya da alevin sönmesidir.
- Alevin silindir içerisindeki bölgelere ilerleyemeyerek sönmesi sonucunda ortaya çıkabilir. Bu durumda silindir tasarımı önem arz etmektedir.

2.8.3. Azot oksitler (NO_x)

Azot Oksitler de (NO , NO_x , N_2O_2 vb. bileşiklerin tümü Azot oksit olarak tanımlanmaktadır) CO gibi kandaki hemoglobin ile birleşmektedirler. Ancak NO_x 'lerin önemli zehirleyici etkisi ciğerdeki nem ile birleşerek nitrik asit oluşturabilmesidir. Oluşan asit miktarının konsantrasyonun azlığı nedeniyle etkisi de az olmaktadır. Ancak zamanla birikim özelliği bulunduğundan özellikle solunum yolu hastalıkları bulunan kişiler için tehlike oluşturmaktadır. NO_x 'ler sis oluşumuna ve yağmurla birleşerek nitrik asit ve asit yağmurlarına neden olmakta bu şekilde bitki örtüsüne de zarar vermektedir.

Normalde İYM'lerde hava içinde bulunan azot (N_2) yanma reaksiyonuna girmez. Ancak motor içerisindeki yanma sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıklarda (1600°C 'nin üzerinde) havanın içindeki O_2 ile reaksiyona girmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Egzoz emisyonları içerisinde ana eleman olarak NO çıkmaktadır. Emisyonların atmosfere atılması sonucunda NO_2 ve NO_x 'ler ortaya çıkmaktadır.

Azot oksitlerin oluşmasına başka bir sebep ise HFK'dır. Eğer karışım zengin karışımsa yani $\text{HFK} < 1,1$ 'den olursa silindir içerisindeki sıcaklıklar nedeniyle hava içerisindeki serbest Azot, O_2 ile reaksiyona girmektedir. Eğer $\text{HFK} > 1,1$ olursa fakir karışım olduğu durumda reaksiyona giren gaz miktarı az olacağından dolayı NO_x oluşumu hızlı bir şekilde düşecektir.

2.8.4. Aldehitler (R.CHO)

Aldehitler, HC 'ların kısmi oksidasyonu sonucunda oluşan ürünlerdir. Özellikle düşük sıcaklıklardaki reaksiyonlarda oluşurlar. Aldehitler genellikle formaldehit (HC. HO) ve akrolein ($\text{C}_2\text{H}_3\text{CHO}$)'den oluşmaktadır. Dizel egzozundaki kötü kokulu, gözleri ve solunum sistemini tahriş edici etkisinin önemli kaynağı formaldehittir.

2.8.5. İs, Partiküller (Katı ve Sıvı Parçacıklar)

İYM tarafından üretilen katı taneciklerin büyük bir bölümünü is oluşturmaktadır. İs yanmamış karbon partikülleridir ve özellikle dizel motorlarında oluşmaktadır. İs, zararlı bileşenleri bünyesinde taşıyarak ve solunum sisteminde birikerek insan sağlığına zararlı olmaktadır. Dizel motorların egzozundan atılan partiküller C-H zincirinden oluşmakta olup bünyesinde yanmamış H, oksitlenmemiş HC, polinükleer aromatikleri ve SO_2 , NO ve H_2SO_4 gibi inorganik bileşenleri bulundurmaktadırlar.

Dizel motorunda silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H_2 molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte ve geriye kalan C yeterli O_2 ile buluşamadığından yanamayıp is partikülleri halinde dışarı atılmaktadır. İs oluşumunun başlıca nedeni dizel yakıtının silindir içinde yeterli hava bulunmaması veya zamanında hızla hava ile karışamaması ve buharlaşmamasıdır. Bu nedenle dizel motorlarda her zamana tam yanmanın gerçekleşmesi için HFK'nın her zaman yüksek olması beklenir. Genellikle 1 kg yakıt için 20 kg hava reaksiyona sokulur. Karbon taneciklerinden oluşan isin doğrudan insan sağlığına henüz bir etkisi olduğu kanıtlanmamıştır. Ancak is partikülleri, yanma odası içerisindeki kanserojen ve tahriş edici etkisi olan yakıt yağ moleküllerini de hapsederek insan sağlığını olumsuz şekilde etkileyecek bir hale dönüşmektedir.

2.8.6. Kükürt dioksit (SO_2)

Renksiz, sert kokulu bir gaz olan SO_2 solunum yolları hastalıklarına, akciğer ve karaciğer hastalıklarına neden olmaktadır. Ayrıca su buharı ile birleşerek oluşturduğu H_2SO_4 asidi insan sağlığı ve bitki örtüsü için bir tehdit oluşturmaktadır.

Yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarına bağlı olarak, özellikle dizel motorlarında yanma sonucu kükürtün hava ile birleşmesi ile SO_2 oluşmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi atmosferdeki su buharının etkisi ile H_2SO_4 'e dönüşür ve insan sağlığını olumsuz yönde etkiler.

BÖLÜM III

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneysel Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada Türkiye’de üretilmiş tarım ürünlerinden elde edilmiş yağlar ile üretilmiş biyodizel kullanılmıştır. Deneylerde, piyasada ticari amaçla satılan motorin ile karıştırılan biyodizel ile deneylerde yakıt olarak kullanılacak ticari motorin (B0), B5, B10, B20, B50 ve B100 olarak hazırlanmış yakıt karışımları oluşturulmuştur. Bu yakıt karışımları piyasada kullanılmakta olan Tier 3 özelliklerine sahip bir tarımsal traktörde kullanılarak performans ve egzoz emisyon değerleri elde edilerek biyodizelin, traktörlerde motorin yerine kullanılıp kullanılamayacağı konusunda tartışmalar yorumlanmıştır.

3.2. Materyal

3.2.1. Deneylerde Kullanılan Tarım Traktörü

Çalışmada performans testleri için ülkemizde yaygın olarak kullanılan güç grubundan seçilmiş bir tarım traktörü kullanılmıştır. Testlerde kullanılan traktöre ait özellikler Tablo 3.1.’de verilmiştir.

Tablo 3. 1 Test motoruna ait teknik veriler

Özellik		Değeri
Motor Markası		Iveco (TTF-8000)
Silindir Sayısı		3 Silindirli
Beygir Gücü		59,7 kW (80 BG)
Silindir Hacmi		2930 cm ³
Silindir Çapı		104 mm
Strok		115 mm
Sıkıştırma Oranı		18:01
Silindir Başına Supap Sayısı		2
Anma Devri (RPM)		2300 ± 25
Maksimum Rölanti Devri (RPM)		2525 ± 50
Minimum Rölanti Devri (RPM)		650 ± 50
Maksimum Tork (RPM)		1400
Motor Gücü & Tork Değerleri (ECE R120)	Maksimum Güç (kW)	59 @ 2300 rpm
	Maksimum Güç (bhp)	80 @ 2300 rpm
	Maksimum Tork (Nm)	320 @ 1400 rpm
	Tork Kazancı (%)	% 30
Optimum Yakıt TüketimiFuel Consumption (g/kWh)		216
Yakıt Tüketimi @ Maksimum Devirde (g/kWh)		231
Yakıt Sistemi		260 Bar Saat Yönünde
Kompresyon Basıncı		28 - 32 Bar
Aktarma Organı		Dişli
Kam Mili		Alttan Eksantrik (Blok İçi)
Emisyon Standartı		TIER 3
EGR		Kam Mili Üzerinde
Turbo		Var
Karter Havalandırması (Blow By)		30-60 L/dak
Güç		80 HP (2300 Dev/dak)
Tork		320 Nm (1400 Dev/dak)
Yakıt Sarfiyatı		13,86 kg/h (2300 d/d)
Duman Değeri		<3,0 Filter Smoke Num. (1400 d/d)
Dişli Sayısı		4 Hız Dişlisi 3 Takviye Dişlisi
Vites Sayısı		12 İleri 12 Geri

3.2.2. Testlerde Kullanılan Yakıtlar

Gerçekleştirdiğimiz deneylerde bir kaynaktan alınmış biyodizel ve ticari amaçla satılan motorinin farklı karışım oranları ayarlanarak 5 farklı yakıt karışımı test edilmiştir. Bu yakıtlar ticari motorin ile biyodizelin hacmen, 23 °C’de karıştırılmasıyla Tablo 3.2.’de verilen karışım oranları sonucunda oluşturulmuş yakıtlardır. Çalışmada kullanılan yakıt standartlara uygun olarak üretilmiş ve yerli tarımsal tahıl ürünlerinden metil ester



kullanılarak elde edilmiş biyodizel, ülkemizde biyodizel satış ve dağıtım lisansı olan firmalardan olan Aytemiz Akaryakıt Dağıtım A.Ş. tarafından sağlanmıştır. Kullandığımız biyodizelin kimyasal özelliklerinin ve analizi sonuçları Ek-1’de verilmiştir. Biyodizel karışımları ayrı ayrı kaplarda karıştırılmıştır ve kullanılmak üzere gerekli şartları sağlayan kaplarda muhafaza edilmiştir. Yakıtların ağırlıkları hassas terazilerde ölçülmüş ve hacimleri de hassas beherlerde ölçülerek yoğunlukları tespit edilmiştir. Bu yoğunluklar özgül ve saatlik yakıt tüketimlerinin hesaplanmasında kullanılmak için kayıt altına alınmıştır.

Şekil 3. 1. Yakıt Hazırlanması

Tablo 3. 2. Test yakıtlarına ait yoğunluk değerleri

Kısaltma	Karışım Oranı	Yoğunlukları (g/cm ³)
B0	% 100 Dizel (Motorin)	0,820
B5	% 5 Biyodizel + % 95 Dizel (Motorin)	0,823
B10	% 10 Biyodizel + % 90 Dizel (Motorin)	0,827
B50	% 50 Biyodizel + % 50 Dizel (Motorin)	0,855
B100	% 100 Biyodizel	0,883

3.2.3. Dinamometre Test Düzeneği

Dinamometre test düzeneği, deneysel çalışmamızda traktörün kuyruk mili üzerinden performans testlerini gerçekleştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu dinamometreler laboratuvar ortamına sabitlenerek kullanıldığı gibi bizim testimizde kullandığımız dinamometre gibi taşınabilir de olabilmektedir. Dinamometre, kuyruk miline standart miller ile bağlanarak elektriksel olarak yüklenmektedir. Kuyruk mili çalışması esnasında karşı

kuvvet uygulanarak durdurmaya zorlanmaktadır. Yük altında alınan tork ve güç bilgileri elektronik el terminalleri üzerinden okunabilmektedir.

Tablo 3. 3. Test dinamometresinin özellikleri

Test Dinamometresinin Özellikleri	
Tipi	Taşınabilir
Çalışma Devir aralığı (PTO)	270 d/d - 1300 d/d
Çalışma Devir Aralığı (Motor)	770 d/d - 2600 d/d
Kontrol Paneli	Seyyar El Terminali & Sabit Panel
Soğutma Şekli	Hava Soğutmalı
Şebeke Gerilim & Akımı	220 - 240 V & 13 - 16 Amper
Ölçüm Modları	Doğrudan Yükleme Sabit Hız Hafızadan Yükleme Otomatik Test

3.2.4. Yöntem

3.2.4.1. Tanımlamalar

3.2.4.1.1. Kuyruk Mili Test Dinamometresi

Kuyruk mili test dinamometresi; farklı motor devirlerinde, kuyruk mili gücü ve eşdeğer krank torkunu ölçen ölçüm makinesidir.

3.2.4.1.2. Motor Karakteristik Eğrisi

Motorun farklı motor devirlerine (farklı işletim koşullarına) karşılık gelen güç ve tork üretimleriyle yakıt tüketim değerlerini ortaya koyan ve dolayısıyla motorun değişik çalışma rejimlerindeki iş başarısı için temel gösterge niteliği taşıyan eğrilerdir.

3.2.4.1.3. Nominal Kuyruk Mili Gücü (kW)

İmalatçı tarafından tam yüklemde sürekli işlemler için belirtilen motor devri nominal devir olarak tanımlanmaktadır. Traktörlerin en önemli kısımlarından biri olan kuyruk milinde ise bu değer 540 d/d standart kuyruk mili testinde ölçülen maksimum güce nominal kuyruk mili gücü olarak tanımlanmaktadır. Tablo 3.1.'de görülen bu değer 59 kW olarak ölçülmüştür.

3.2.4.1.4. Nominal Devir (d/d)

İmalatçı tarafından tam yüklemde sürekli işlemler için belirlenmiş motor devridir. Kullandığımız traktörde motor devri olarak 2300 d/d'dir.

3.2.4.1.5. Tork

Belirli bir motor devri için üretilen güç karşılığında ölçülen çevirme kuvvetidir.

3.2.4.1.6. Tork Rezervi

Maksimum devirdeki tork ile maksimum tork arasındaki yüzdesel artış oranıdır.

3.2.4.1.7. Saatlik Yakıt Tüketimi (kg/h)

Bir saatlik çalışma sonucunda kilogram birimi cinsinden tüketilen yakıt ölçüsüdür.

3.2.4.1.8. Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)

Üretilen birim motor gücü başına, bir saatlik çalışma süresince gram cinsinden tüketilen yakıt değeridir. Motor gücünden ne kadar iyi yararlanılmaktaysa özgül tüketim değeri o kadar düşeceğinden dolayı, bu parametre motor etkililik düzeyiyle ilgili olmaktadır.

3.3. Motor Parametreleri ve Tanımlamaları

İçten yanmalı motorlar değerlendirilirken kıyaslandıkları bazı değerler vardır. Bu değerler;

- Motor Gücü
- Motor Torku
- Motor Verimi olarak sıralanırlar.

Bu parametreleri özet olarak aşağıda açıklayacak olursak;

3.3.1. Motor Gücü

Motor gücünün tarif edilmesi için iş ve güç tanımlarının bilinmesinde fayda vardır.

İş: Bir ağırlığa bir kuvvet uygulanarak bir mesafe kat ettirilmesi ile ortaya çıkan bir terimdir. Örneğin, 1 kg'lık yük bulunduğu yerden 1 metre uzağa (yukarı, aşağı ya da sağa sola) taşındığı zaman, iş yapılmış olur. Birimi Kilogrammetre (kgm) olarak ifade edilir. İşin ortaya çıkması için bir ağırlığın mutlaka konum değiştirmesi gerekmektedir.

Güç: Birim zamanda yapılan işi ifade etmektedir. Yukarıda verilen örnekte olduğu gibi 1 kg ağırlığın, 1 metre uzağa taşınması eğer 1 s'lik bir zaman diliminde gerçekleşiyorsa bu durumda bu işi yapan kişi ya da makinenin gücünü, $1 \text{ (kg)} \times 1 \text{ (metre)} / 1 \text{ (s)} = 1 \text{ kgm/s}$ olarak ifade edebiliriz. Motorların kıyaslanmasında kullanılan güç birimlerinden biri de Beygir Gücü (BG) ifadesidir. İnsanların çok eski zamanlardan beri atı ehil bir binek olarak

kullanması nedeniyle kullanılmıştır. 1 BG, bir atın sürekli olarak 75 kg yükü, 1 metre yüksekliğe, 1 s içerisinde standart olarak çıkartabileceği düşünülerek eşitlenmiştir. Başka bir ifade ile 1 BG, 75 kgm/s değerine eşittir.

Ayrıca BG, motor torku ve devri ile ilgili verimi aşağıda belirtilmiştir.

$$BG = \frac{(Tork * Devir)}{7023} \quad [3.1]$$

Motor Güçleri:

Motorda üretilen güç, iki farklı ölçüm yapılarak değerlendirilebilir.

Bunlar;

- İndike (İç) Güç
- Fren Beygir Gücü (Faydalı Güç)

3.3.1.1. İndike (İç) Güç

Yakıtın yanma enerjisinin mekanik enerjiye dönüşmesinin ilk basamağı silindir içinde gerçekleşir. Bu nedenle motor silindiri içinde meydana gelen güce iç güç denir.

Pratik çalışmalarımızda bizi ilgilendiren güç, faydalı güçtür. Ancak gücün ne olduğunu bilmemizde fayda vardır. Çünkü, indikatör kuvvetleriyle yapılan bilimsel deneyler, dizel motorlarının etkisini arttırmada çok faydalı olmuştur. Böylece, enjektörler ve yanma duvarı tasarımlarında ve imalatlarında birçok değişiklikler yapılmıştır.

İç gücün hesaplanabilmesi için, indikatör aletiyle çizilen diyagramdan faydalanarak ortalama iç basıncın bulunması gerekir. Ortalama iç basınç ve diğer değerlerle aşağıdaki formül kullanılarak motorun gücünü hesaplamak mümkündür.

Dört zamanlı motorlar için

$$N_i = \frac{P_{mi} * L * A * n * Z}{2 * 60 * 75} \quad [3.2]$$

İki zamanlı motorlar için

$$N_i = \frac{P_{mi} * A * n * Z}{60 * 75} \quad [3.3]$$

Tablo 3. 4 Formül 3.2 ve 3.3 açıklaması

Simge	Tanım	Birim
N_i	İç güç	BG
P_{mi}	Ortalama indike basınç	kg/cm ²
L	Kurs boyu	m
A	Piston yüzeyin alanı	cm ²
n	Devir sayısı	d/d
Z	Silindir sayısı	adet

3.3.1.2. Fren Beygir Gücü (Faydalı Güç), Tanımı ve Hesaplanması

Motorun krank mili ucundaki kasnak veya volandan bir fren düzeni ile ölçülen güce, “Fren Beygir Gücü” denir. Bu güç, iç güçten % 25 kadar daha küçüktür. İkisi arasındaki bu fark, sürtünmelere, su pompası, yağ pompası, yakıt pompası, şarj dinamosu vb. motorun çalışması için gerekli olan parçalara harcanan enerjiden ileri gelmektedir.

Güç ölçümünde kullanılan cihazlara genel olarak dinamometre denir. Ancak dinamometreler direk olarak gücü değil, gücün hesaplanmasına yarayan kuvveti veya torku (momenti) ölçerler.

Faydalı gücün bulunmasında kullanılan dinamometreler;

- a) Prony freni,
- b) Hidrolik dinamometre,
- c) Elektrikli dinamometredir.

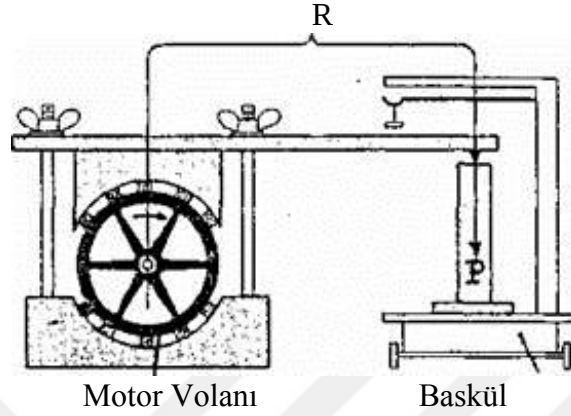
3.3.1.3. Prony Freni İle Faydalı Gücün Ölçülmesi ve Hesaplanması

Bunlardan başka, taşıtlar üzerindeki motor gücünü doğrudan doğruya ölçebilen şasi dinamometreleri de vardır. Ancak bu cihazlar, gücü tekerleklerden ölçerler. Bu nedenle vites kutusu, kardan mili ve diferansiyeldeki kayıplara uğrayan güç, motor volanından ölçülen güçten daha küçüktür. Biz deneysel testlerimizi gerçekleştirirken elektrikli dinamometreler sınıfına giren kuyruk mili dinamometresini kullandık.

Prony freni, en eski ve en basit güç ölçme cihazıdır. Azami gücü 100 BG e kadar ve devir sayısı da 1000 dev/dak’yı geçmeyen motorlara uygulanabilir. Bu sistemde, şekil 3.1’de görüldüğü gibi motor volanını saran frenleme şeridinin içinde, sürtünme katsayısı, yüksek frenleme pabuçları (ve) frenleme miktarını saptayan baskül ve bağlantı kolları vardır. Motor tam gazda ve yüksüz olarak en yüksek devire çıkarılır. Sıkma vidaları yavaş yavaş sıkılarak

motor yüklenir. Motorun devri düşmeden çekebileceği en fazla yük baskülde bulunur. Saptanan değerler aşağıdaki formüle uygulanarak motorun faydalı gücü hesaplanır.

$$N_e = \frac{2\pi * P * R * N}{60 * 75} \quad [3.4]$$



Şekil 3. 2. Prony freni

Tablo 3. 5 Formül 3.4 açıklamaları

Simge	Tanım	Birim
N_i	Fren beygir gücü (Faydalı Güç)	BG
P	Baskülde okunan yük	Kg
R	Volan eksenini ile baskül eksenini arasındaki uzaklık	m
n	Motor Devri	d/d

2π = Volandaki moment ile baskül bağlantısındaki momentlerin sadeleştirilmesinden kalan değer

60 = d /d 'yı d/s 'ye çevirmek için

75 = sonucu beygir gücü cinsinden bulabilmek için

Bu formüldeki

$$\frac{2\pi}{60 * 75}$$

Değeri sadeleştirilip

$$\frac{2 * 3,14}{60 * 75} = \frac{1}{716}$$

Olarak düzenlenirse formül :

$$N_e = \frac{P * R * n}{716} \text{ BG olarak elde edilir.} \quad [3.5]$$

3.3.1.4. Hidrolik Dinamometreler

Bunlara su freni de denir. Çünkü bu dinamometrelerde devreden sıvı daima sudur. Hidrolik dinamometrelerde frenleme; motor volanına bağlanan bir rotor üzerindeki kanatçıkların, cihazın içine gönderilen suya çarpması sonucunda oluşur. Frenleme sonucunda oluşan moment miktarı saptanarak motorun gücü ölçülür. 3000 BG e kadar olan motorların güçleri bu dinamometreler ile ölçülebilir.

3.3.1.5. Elektrikli Dinamometre ile Faydalı Gücün Ölçülmesi ve Hesaplanması

Birçok laboratuvarlarda motor gücünün ölçülmesinde elektrikli dinamometreler kullanılır. Bu cihaz, güç ölçümü sırasında motor tarafından döndürülen bir elektrik dinamosu veya jeneratördür. Denemede dinamometrenin ürettiği akım miktarı; dinamometreyi döndüren motor gücünün ölçülmesini sağlar.

Şöyle ki: Motor tam yükte iken dinamometrenin ürettiği akımın volt ve amperini ölçerek gücünü (kW) buluruz.

$$Watt = E * I$$

Sonucu BG olarak bulmak için ;

1 kW = 1,36 BG olduğundan,

$$N_e = \left(\frac{E * I}{1000} \right) * 1,36 \dots \dots BG \text{ olarak bulunur} \quad [3.6]$$

3.3.2. Motor Verimi ve Hesaplanması

3.3.2.1. Verimin Tarifi

Verim, elde edilen sonuç ile bu sonucu elde etmek için harcanan çaba arasındaki oranı ifade eder. Başka bir deyimle, motordan alınan gücün verilen güce oranının yüzde olarak ifadesidir.

Verim daima % 100 den azdır. Çünkü silindir içinde yakılan yakıtın ısı enerjisinin çoğu yanmadan sonra kaybolur. Pistonda elde edilen işin ise tekerlere ulaşması sonucunda tekerleklerden elde edilen verim ise çok daha düşüktür. Çünkü araca etki eden birçok ters yönde kuvvet vardır.

3.3.2.2. Verim Çeşitleri

Verimler çeşitli şekilde değerlendirilirse de, konumuz ile ilgili olan başlıcaları şunlardır:

- a) Mekanik verim
- b) Termik (efektif) verim
- c) Hacimsel verim

3.3.2.2.1. Mekanik Verim

Fren beygir gücünün (faydalı gücün) iç güce oranı bize mekanik verimi verir. Bu ifade formüle edilirse

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} \quad [3.7]$$

Mekanik verim, piston üzerinden elde edilen gücün krank mili ucundan alıncaya kadar olan kaybı gösterir. Çünkü, silindir içinde yanan yakıtın meydana getirdiği iç güç, krank milinden faydalı güç olarak alınıncaya kadar bir çok mekanik kayıplara uğrar. Buna neden, silindir duvarlarına dayanan piston ve segmanların sürtünmeleri, yataklardaki sürtünmeler, supap sistemleri, su, yağ ve yakıt pompaları, fanlar, klima kompresörü ve aşırı doldurma düzenlerine yapılan harcamalardır. Bu kayıplar bazen sürtünme beygir gücü (N_s) olarak da ifade edilir.

Mekanik verim motorun kullanılmasıyla ilgilidir. Örneğin, motorun bakımı, yağlama durumu, yükü ve soğutma suyunun sıcaklığı mekanik verilere etki eder. İki zamanlı motorların mekanik verimleri, dört zamanlı motorların mekanik verimlerinden biraz daha azdır.

3.3.2.2.2. Termik (Efektif) Verim

Termik verim; yakıtın yanması sonucunda oluşan ısı enerjisine karşılık, motorun bu enerjiyi faydalı iş haline sokma oranıdır.

Yanma sonunda oluşan ısı enerjisinin büyük bir kısmının soğutma ve yağlama sistemi ile yanmış egzoz gazları tarafından motordan uzaklaştırıldığını biliyoruz. Bu nedenle ancak geriye kalan ısı motorlardan güce dönüşebilir. Örneğin bir dizel motorun ısı dağılımı şöyledir:

Silindirde yanan yakıtın oluşturduğu ısı miktarını 100 kabul edersek,

Tablo 3. 6 Bir dizel motorun ısı kayıpları

Dizel Motorun Isı Dağılımı	Dağılım oranı
Fren Beygir Gücü (Faydalı Güç)	37
Soğutma suyu Kaybı	27
Egzoz Gazları Kaybı	28
Sürtünmeden Kaybolan	8
Toplam	100

Termik verimin formülle ifadesi;

$$\eta_t = \frac{N_e * 632}{B * H_u} \quad [3.8]$$

Tablo 3. 7. Formül 3.8 açıklamaları

Simge	Tanım	Birim
N_e	Faydalı Güç	BG
632	1 BGS'nin Kcal olarak eş değeri	Kcal
B	Motorun 1 saatte harcadığı yakıt miktarı	Kg
H_u	Yakıtın yanma ısısı	kcal/kg

Not: Dizel yakıtın yanma ısısı 10000 ile 10500 kcal / kg' dır.

3.3.2.2.3. Hacimsel Verim

Aşırı doldurma olmayan bir motorda, emme zamanında silindire alınan havanın gerçek hacminin pistonun silindirde boşalttığı hacme oranı hacimsel verimi verir.

Hacimsel verimin formülle ifadesi:

$$\text{Hacimsel verim} = \frac{\text{Normal şartlarda silindire alınan hava hacmi}}{\text{Pistonun silindirde boşalttığı hacim}} \quad [3.9]$$

Genellikle normal devirle çalışan dört zamanlı motorların hacimsel verimi %80 civarındadır. Motorun devri yükseldikçe, supapların açık kalma zamanı kısılacağından bu verim %50 'ye kadar düşer.

3.3.2.2.4. Özgül Yakıt Sarfıyatı

Motorun bir beygir saat başına harcadığı yakıt miktarına, özgül yakıt sarfıyatı denir.

Formülü:

$$b_e = \frac{1 \text{ BG} * 632}{H_u * \eta_g} \quad \left(\frac{\text{gr}}{\text{BGS}} \right) \quad [3.10]$$

Tablo 3. 8. Formül 3.10 açıklamaları

Simge	Tanım	Birim
b_e	ÖYT	(gr / BGS)
632	1 beygir saatin kcal olarak ısı eş değeri	kcal
H_u	Yakıtın yanma ısısı	(kcal / kg)
η_γ	Genel tesir derecesi (harcanan yakıtın)	

Motorun yük durumuna göre değişen özgül yakıt sarfıyatı, en doğru olarak fren denemelerinde saptanır. Örneğin, tam gazdaki özgül yakıt sarfıyatı yarım gazdakinden daha azdır.

3.3.2.3. Test Düzenegi

Traktör üzerinde bulunan motorun performans testlerini kuyruk mili üzerinden Tablo 3.3.'de özellikleri verilen dinamometre ile otomatik yükleme yapılarak gerçekleştirildi. Otomatik yüklemede, traktör tam gaz konumunda çalıştırılmasının ardından dinamometre tarafından %75 oranında yüklenerek test çevrimi başlatılmıştır. Test sırasında, biyodizel oranının artması ile beraber 2250 d/d ve sonrasında motorda yığılma gözlemlenmiş, bundan dolayı daha üst devirlerdeki veriler tüm yakıtlarda elde edilememiştir. tablo ve grafikler yorumlanırken test devir aralığı 1150 d/d ve 2250 d/d olarak kabul edilmiştir.

Traktörlerde araç üstü testleri otomobillerden farklı olarak kuyruk mili olarak tanımlanan donanım üzerinden gerçekleştirilmektedir. Traktörlerde kuyruk mili, traktörün işlevini yerine getirebilmesi için ekipmanlara dairesel tahrik kuvveti sağlayan donanımdır. Hareketini traktörün modeli ve yapısına göre iki farklı şekilde alabilmektedir. Bunlar;

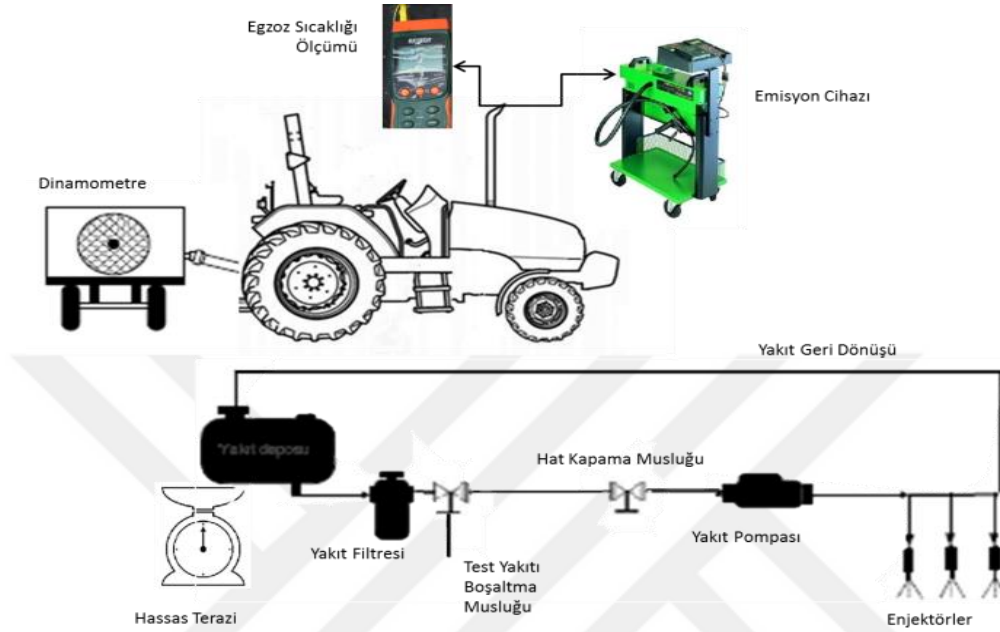
- Güç Çıkışı Bağımlı
- Güç Çıkışı Bağımsız olmak üzere iki çeşittir.

Bu iki sistemin birbirinden farkı ise;

- Eğer traktörün kuyruk mili çıkışı bağımlı ise traktör çalışsa dahi durağan halde ise kuyruk mili dönmemektedir. Ancak traktör hareket ederse kuyruk mili dönmektedir.
- Eğer kuyruk mili güç çıkışı bağımsız ise traktör durağan haldeyken de kuyruk mili dönmektedir.

Testimizde kullandığımız traktörümüzde güç çıkışı bağımsızdır. Bu durum bize

traktörümüzün tekerlekleri hareket etmeden sabit haldeyken bizim kuyruk mili üzerinden ölçüm yapmamıza imkân sağlamıştır. şekil 3.1’de test düzeneğimiz diyagram olarak çizilmiştir.



Şekil 3. 3. Deney Sistemi Diyagramı

Deneylerimizde yakıt tankı iptal edilerek sisteme ek bir yakıt tankı bağlantısı yapılmıştır. Bu bize test yakıtlarının değişimi esnasında motorun hava yapmasını engellememize imkân sağlamıştır.

Tablo 3. 9 Egzoz emisyon cihazının özellikleri

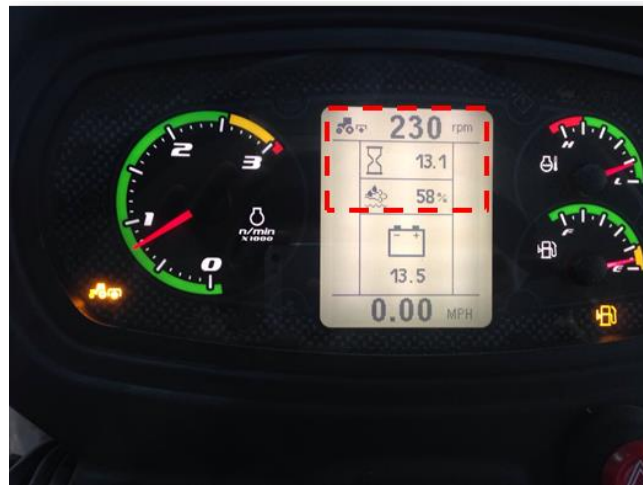
EUROGAS 8020 Emisyon Cihazı				
Yapılan Ölçüm	Ölçüm Methodu	Aralık	Duyarlılık	Ölçüm birimi
CO	IR Bench	0 – 14	0,01	% Vol.
CO ₂	IR Bench	0 – 18	0,01	% Vol.
HC	IR Bench	0 - 9999	1	ppm Vol
O ₂	Electrochemical Cell	0 – 25	0,01	% Vol.
NO	Electrochemical Cell	0 - 4000	1	ppm Vol
λ	Numarical Computing	0,5 - 1,5	0,001	---
Corrected CO	Numarical Computing	0 – 15	0,01	----
RPM	Induction Clamp	0 - 9990	10	min ⁻¹
Oil Temperature	Thermocouple	0 - 150	1	°C
Çevresel Çalışma Koşulları				
Çalışma Sıcaklığı		5 - 40 °C		
Atmosfer Basıncı		700 - 1100 hPa		
Bağıl Nem		<%90 doymamış		



Şekil 3. 4. Deney düzeneği

Egzoz emisyonlarının ölçülmesi esnasında bize emisyonların sıcaklıkla değişimini yorumlamamıza imkân sağlayan ölçüm cihazını egzoz çıkışına yerleştirerek düzenli olarak buradan sıcaklık değerlerini aldık. Emisyon cihazımızın da bağlantısını yaparak ölçümleri yaptık. Egzoz emisyon cihazımızın özellikleri Tablo 3.9.'da verilmiştir.

Traktör yüklemelerinde sağlıklı ölçümler alabilmek için, deney ölçümlerine geçmeden önce motor normal çalışma sıcaklığına ulaşana kadar çalıştırılmıştır. Traktörümüz kuyruk milinde 540 d/d alınacak şekilde gaz kolu ayarlanmıştır. Şekil 3.4'de kırmızı çizgiler ile belirtilen gösterge paneli üzerinden kuyruk mili devri izlenmiştir. Örnek olarak şekil 3.4'de 230 d/d olarak gösterilmektedir.



Şekil 3. 5. Gösterge panelinden kuyruk mili devrinin takip edilmesi

Yakıt tüketimi ve tork değerlerinin ölçülmesi aşağıda ayrıntılı şekilde özetlenmiştir. Her ölçüm öncesi traktör kapalı konuma getirilmiş, yakıt değişimi yapılmış ve tekrar çalıştırılmıştır. Ve yakıt değişimlerinde sistemdeki bir önceki test yakıtı bitene kadar çalıştırılmasının ardından yeni teste başlanılmıştır. Testler, OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) tarım ve orman traktörlerinin resmi testleri için uluslararası geçerliliği olan standart test Kod 2 (CODE2 - OECD Standart Code for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractor Performance) gereklilikleri dikkate alınmış. Code 2 ‘ye göre atmosferik basınç, hava nem oranı, hava sıcaklığı, motor hava giriş sıcaklığı, soğutucu sıcaklığı, motor yağ sıcaklığı ve yakıt sıcaklığı ölçülmelidir. Tablo 3.10.’da ölçülen değerler verilmiştir.

Tablo 3. 10. Ortalama atmosferik koşullar (Code2)

Ortalama Atmosferik Koşullar	
Sıcaklık	27 °C
Bağıl Nem	97 kPA
Basınç	%29
Maksimum Sıcaklık	
Soğutma Suyu (Radyatör Girişi)	73 °C
Motor Yağı	111 °C
Yakıt (Geri Dönüş)	44 °C
Hava Filtresi Girişi	35 °C

3.3.2.4. Deneysel Verilerin Hesaplanması

Kullanılan her yakıt türü için motor karakteristik değer ve grafiklerinin elde edilmesinde standart performans hesaplamaları kullanılmıştır. Yapılan denemelerde dinamometre ve diğer cihazlardan alınan veriler bilgisayar ortamında toplanarak yorumlanmıştır.

Deneylerde;

- Güç & Tork Değerleri
- Özgül Yakıt Tüketimi Değerleri
- Egzoz Emisyon Değerleri
- Egzoz Sıcaklık Değerleri kayıt altına alınmış ve hesaplanmıştır.

Özgül yakıt tüketim, hesaplanması için aşağıda Formül 3.1 ve 3.2 kullanılarak her devir ve yakıt için hesaplanmıştır.

$$bsfc = \frac{m_y \times 3600}{N_e \times \Delta t} \quad 3.11$$

bsfc: Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)

Δt : Zaman (sn)

N_e : Efektif Güç (kW)

m_y : Yakıtın Kütle Miktarı (kg veya gram)

$$m_y = V_y \times \rho_y \quad 3.12$$

V_y : Yakıtın Hacmi

ρ_y : Yakıtın Yoğunluğu

BÖLÜM IV

4. BULGU VE TARTIŞMALAR

4.1. Motor Performansı Deney Sonuçları

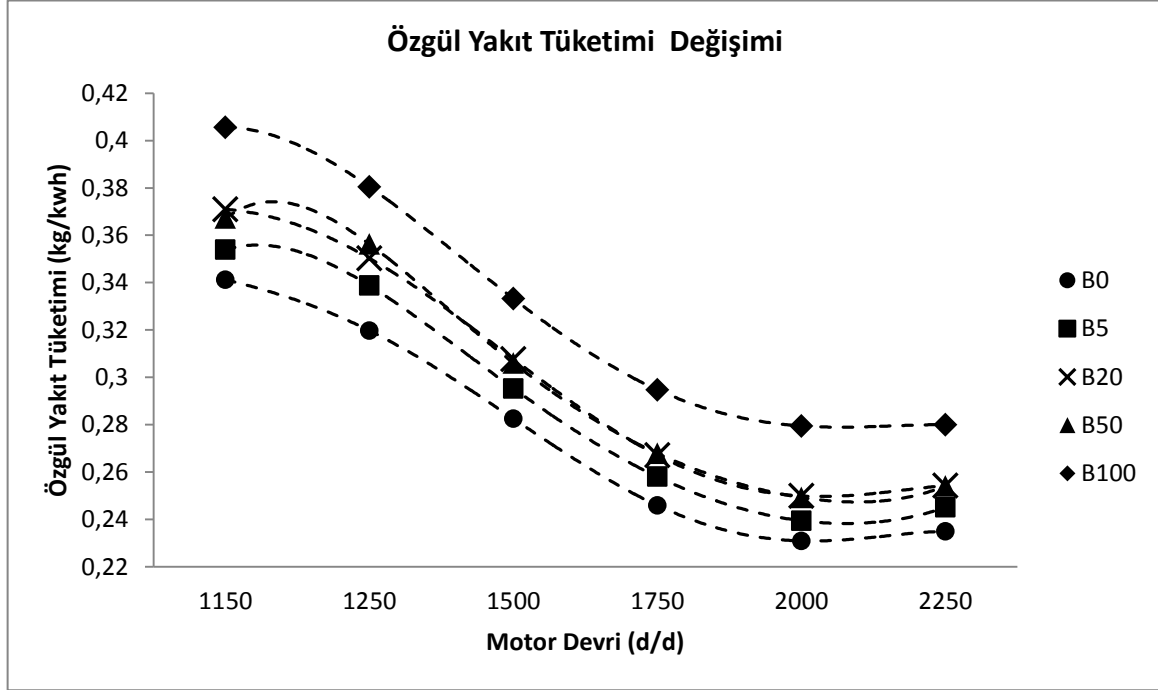
4.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi, güç başına tüketilen yakıt miktarı olarak tanımlanır. Yapılan deneysel çalışmada her yakıt için, 1 g aralıklarla ölçüm yapabilen hassas terazi ve kronometre kullanılmıştır. Şekil 4.1’de %75 kısmi yük altında (220 Nm) ve değişik devirlerde özgül yakıt tüketimi değişimi görülmektedir. Örneğin; 1500 d/d’deki motor testinde özgül yakıt tüketimi B0 için 282, B5 için 295, B20 için 307, B50 için 308 ve B100 için 333 g/kWh olarak hesaplanmıştır. Biyodizelin karışım içerisindeki yüzdesi ile ilişkili olarak özgül yakıt tüketiminde artış görülmektedir. Biyodizel ve karışımlarının özgül yakıt tüketiminin yüksek olmasının temel nedeni biyodizelin enerji içeriğinin dizel yakıtından düşük olmasıdır.

Ayrıca, biyodizel viskozite ve yoğunluk olarak dizele oranla daha yüksek değerlere sahiptir. Dizel motorlarında kullanılan yakıt pompaları hacimsel ölçüm yaparak silindirlere yakıt göndermektedir. Biyodizelin yoğunluğu motorine göre daha yüksektir. Bu durumda motorun çalışması esnasında püskürtülen yakıt miktarı hacimsel olarak aynı olmasına rağmen ağırlık olarak fark göstermektedir. Formül 3.1’de özgül yakıt tüketiminin belirlenmesinde yakıtın ağırlığı hesaplanmaktadır. Sonuç olarak, alt ısı değeri düşük olan biyodizel kullanımı sonucunda elde edilen özgül yakıt tüketimi fazla olmaktadır. Yine biyodizel ve motorinin özellikleri karşılaştırıldığında, biyodizelin gizli buharlaşma ısısı motorine göre daha yüksek olduğu görülecektir. Bu durum biyodizel yanma performansını olumsuz etkilemektedir. Bu da özgül yakıt tüketiminin artışına neden olmaktadır.

Maksimum momentin üretildiği 2000 d/d’da tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketimi azalma eğilimi göstermektedir. Bu durum, özgül yakıt tüketiminin, döndürme momenti ile ters orantılı olmasından kaynaklanmaktadır. Tarımsal uygulamalarda kullanılan kuyruk mili 540 d/d standart devri yakalandığında motor devri ortalama olarak 2200 d/d olmaktadır. Bu durumda, traktörün değişik yük ve ekipmanlarla kullanıldığı durumlarda optimum özgül yakıt tüketimi değerinin 2150 d/d ve 2250 d/d aralığında belirlenmesi uygun olacaktır. Bu devir aralığında minimum ÖYT değerini sağlayan biyodizel karışımının B20 (dizel

yakıtından sadece %1,1 fazla olan) olduğu belirlenmiştir. Ölçümlerde bakıldığında, özgül yakıt tüketiminde en büyük fark B50 ve B100 yakıtları arasında gözlemlenmiştir. Örneğin 1750 d/d'da B100, B50, B20 ve B5'in özgül yakıt tüketimleri, sırasıyla % 16,57, %8,19, %7,94 ve %4,86 oranda dizel yakıtına kıyasla daha fazladır.



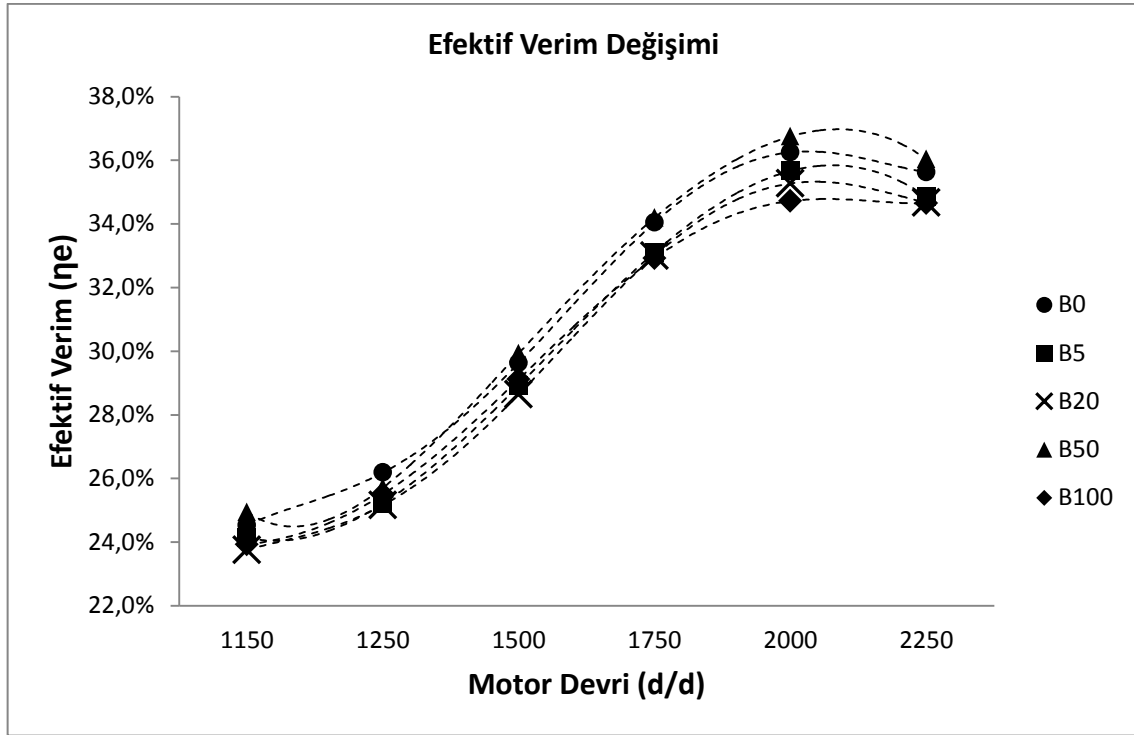
Şekil 4. 1. %75 yük ve değişik devirlerde özgül yakıt tüketimi değişimi

4.1.2. Efektif Verim

Efektif verim, motor milinden alınan işin, motora verilen toplam enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4.2.'de %75 kısmi yük ve değişik devirlerde efektif verim değişimleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde, maksimum efektif verimin B50 yakıtından minimum efektif verimin B100 yakıtından edildiği görülmektedir. Örneğin; 2250 d/d'daki motor testinde özgül yakıt tüketimi B0 için %35,63, B5 için %34,86, B20 için 34,66, B50 için %36,03 ve B100 için %34,65 olarak hesaplanmıştır. B50'den en yüksek efektif verim elde edilmesini, biyodizelin ısıl değerinin dizel yakıtından düşük olmasına ve B50'nin özgül yakıt tüketim değerlerinin tüm çalışma şartları için B0'a çok yakın olmasına bağlayabiliriz.

Tüm yakıtlar için maksimum efektif verim değerleri minimum özgül yakıt tüketimlerinin elde edildiği rejim hızında (2000 d/d) elde edilmiştir. Maksimum efektif verimin elde edildiği 2000 d/d'da B0, B5, B20, B50 ve B100'ün efektif verim değerleri, sırasıyla

%36,25, %35,76, %35,27, %36,75 ve 34,72 olarak hesaplanmıştır



Şekil 4. 2. %75 kısmi yük ve değişik devirlerde efektif verim değişimi

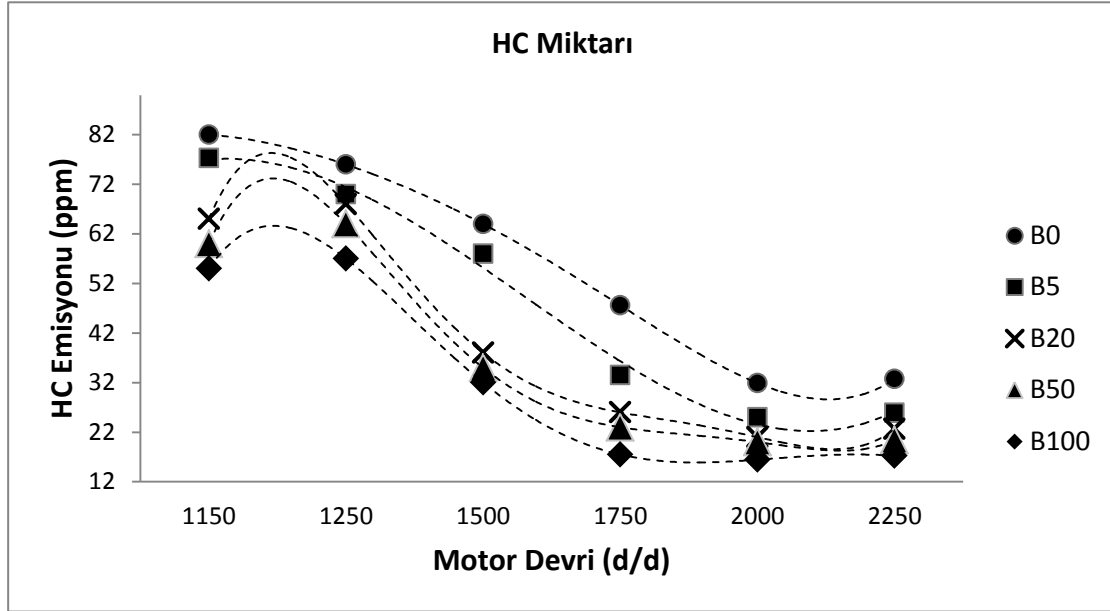
4.2. Egzoz Emisyon Karakteristiklerinin Karşılaştırılması

4.2.1. Hidrokarbon Emisyonu (HC)

Hidrokarbon emisyonu tam yanmanın gerçekleşmemesi nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.3.'de %75 kısmi yük ve değişik devirlerde HC emisyonu değerleri görülmektedir. Görüldüğü gibi, devirin yükselmesi ile birlikte tüm yakıtlar için HC emisyonunda azalma gözlemlenmiştir. Örneğin B5 yakıtı için HC emisyonu sırasıyla 1150 d/d'da 77, 1250 d/d'da 70, 1500 d/d'da 58, 1750 d/d'da 33, 2000 d/d'da 25 ve 2250 d/d'da 24 ppm olarak ölçülmüştür. Bunun temel nedeni, yüksek devirlerde silindir içi sıcaklığın artmasıyla, silindir cidarlarına doğru ve alev çekirdeğinin yayılamadığı bölgelerin küçülmesi ve dolayısı ile alev sönümünün minimum noktalara inmesidir.

Yanmamış HC emisyonu dizel yakıtına göre, %75 kısmi yük şartlarında tüm devirlerde biyodizel ve karışımların kullanılmasıyla elde edilen değerden daha düşük seviyede çıkmıştır. Örneğin; 1500 d/d'daki motor testinde HC emisyonu B0 için 82, B5 için 77, B20

için 65, B50 için 60 ve B100 için 55 ppm olarak ölçülmüştür. Biyodizel ve karışımlarının kullanımı ile yanmamış HC emisyonundaki azalmanın temel nedeni olarak, biyodizelin içeriğinde bulunan oksijenin zengin yakıt-hava karışım bölgelerinde yeterli oksitlenmeyi sağlaması gösterilebilir.



Şekil 4. 3. %75 kısmi yük ve değişik devirlerde HC emisyonu değişimi

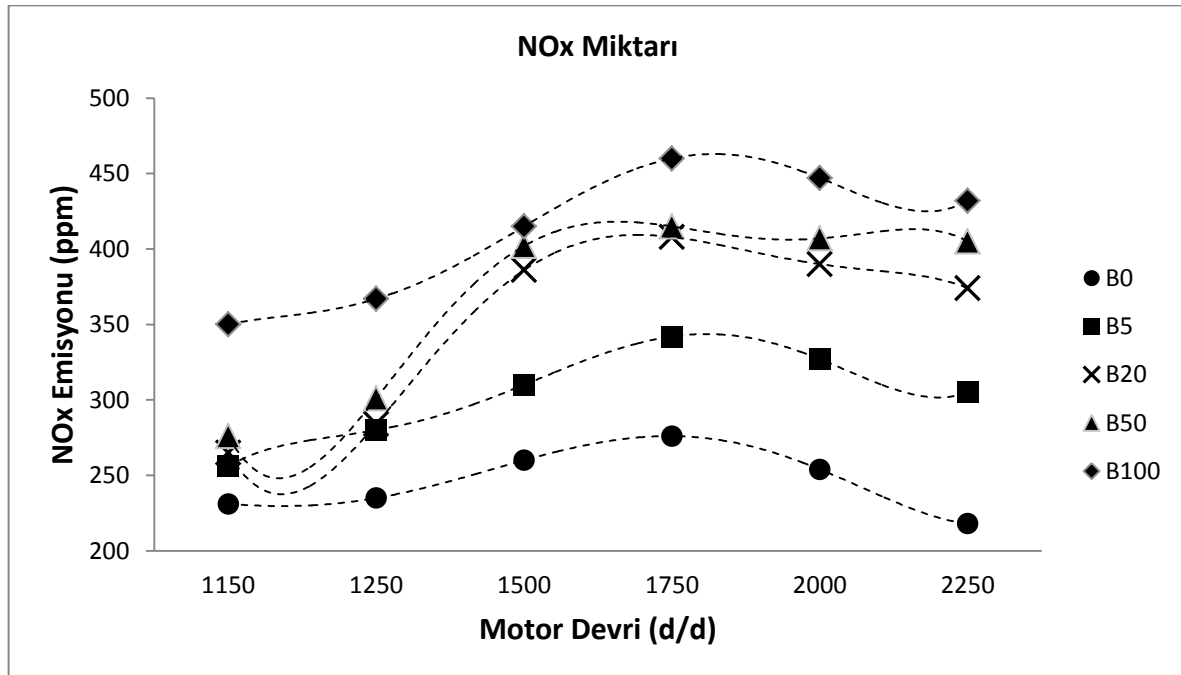
4.2.2. Azot Oksit Emisyonu (NO_x)

İçten yanmalı motorlarda NO_x emisyonu havanın içerisinde bulunan azotun yüksek sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girmesi sonucu meydana gelmektedir. Şekil 4.4.'te motor devrine bağlı olarak NO_x emisyonu değişimleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, 1750 d/d' da NO_x emisyonları maksimum değerine ulaşmış bu devir sayısının her iki tarafında ise NO_x emisyonları azalma eğilimi göstermiştir. Örneğin B20 yakıtı için NO_x değeri 1150 d/d'da 265, 1250 d/d'da 284, 1500 d/d'da 386, 1750 d/d'da 408, 2000 d/d'da 390 ve 2250 d/d'd 374 ppm olarak ölçülmüştür. Motorun rejim devir olan 1750 d/d'da tüm yakıtlar için yanma sonu sıcaklıklarının maksimum değere ulaşması NO_x emisyonlarının da en yüksek değerlere çıkmasına neden olmuştur. Tablo 4.1.'de %75 kısmi yük ve farklı devirler için egzoz sıcaklıkları görülmektedir.

Tablo 4. 1. %75 kısmi yük ve farklı devirler için egzoz sıcaklıkları

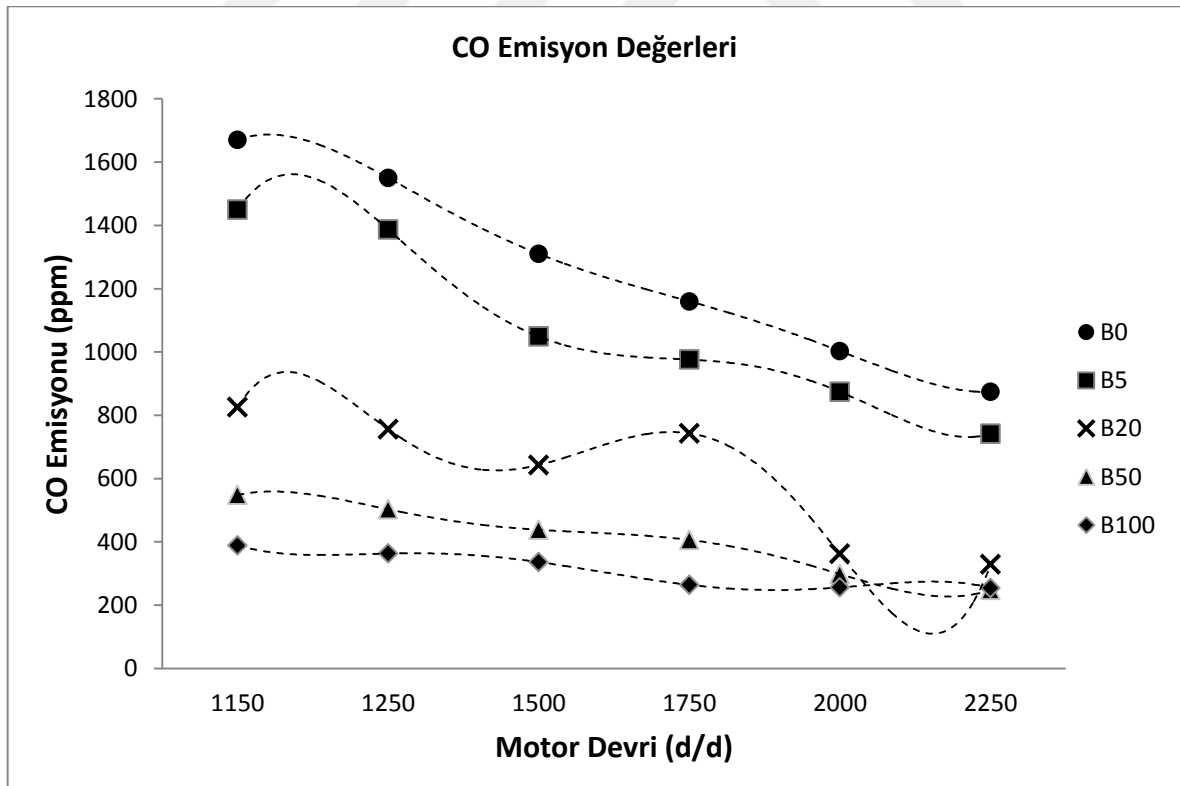
	Egzoz Sıcaklığı (°C)					
	1150	1250	1500	1750	2000	2250
B0	1230	1150	1094	1364	1200	1190
B5	910	1100	1019	1089	1065	1049
B20	786	596	632	896	854	761
B50	668	666	815	690	621	614
B100	444	490	490	656	617	408

Ortalama olarak, B100, B50, B20 ve B5 kullanımı ile NO_x emisyonunda dizel yakıtı göre sırasıyla %36,66, %29,16, %21,66 ve %18,66 artma olmuştur. Biyodizel içerisindeki oksijen miktarının fazla olmasından dolayı yanma iyileşmekte ve bunun sonucu olarak da NO_x miktarı artmaktadır. B50 yakıtı için yanmanın tam yanmaya daha yakın olması ve yanma sonu sıcaklıkların yüksek olması bu yakıt için NO_x emisyonun yüksek çıkmasını sağlamıştır.

**Şekil 4. 4. %75 kısmi yük ve değişik devirlerde NO_x emisyonu değişimi**

4.2.3. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. CO emisyonları yük ve hız değişimlerine büyük oranda duyarsız olup hava/yakıt oranına karşı daha duyarlı davranmaktadır. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır. Karışım zenginleştikçe, yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun tamamını CO₂ şeklinde yakacak oksijen bulunmadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Şekil 4.5.'te motor devrine bağlı olarak CO emisyonu değişimleri görülmektedir. Genel olarak, devirin yükselmesi ile birlikte tüm yakıtlar için CO emisyonu azalma eğilimi göstermiştir. Örneğin B50 yakıtı için HC emisyonu 1150 d/d'da 548, 1250 d/d'da 503, 1500 d/d'da 438, 1750 d/d'da 406, 2000 d/d'da 298 ve 2250 d/d'da 248 ppm olarak ölçülmüştür. CO emisyonlarının düşük devirlerde yüksek çıkması; düşük motor devirlerinde silindir cidarlarının yüksek hızlara nazaran daha soğuk olması, yanma odası basıncının düşük olması, hava hareketinin yetersiz kalması ve yanma hızının düşük değerde olması ile açıklanabilir.



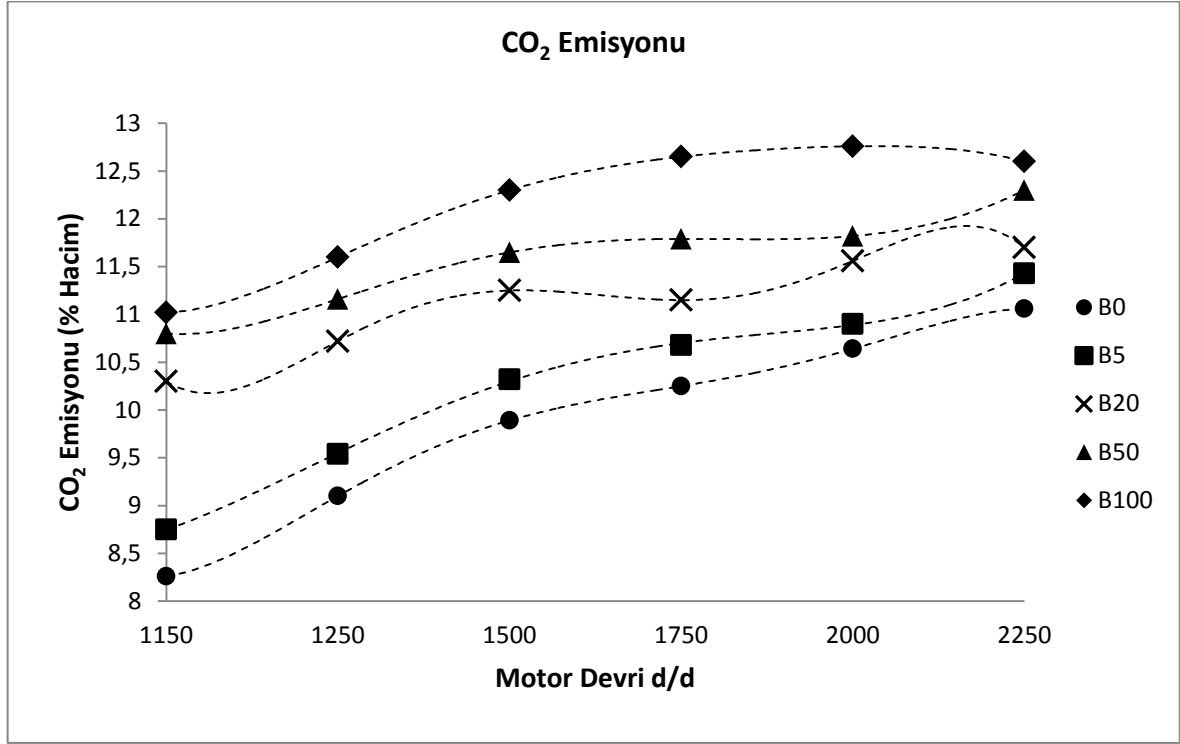
Şekil 4. 5. %75 kısmi yük ve değişik devirlerde CO emisyonu değişimi

Kısmi yük şartlarında tüm devirlerde biyodizel ve karışımların kullanılmasıyla elde edilmiş CO emisyonu dizel yakıtına göre daha düşük seviyede çıkmıştır. Ortalama olarak, B100, B50, B20 ve B5 kullanımı ile CO emisyonunda dizel yakıtına göre sırasıyla %17, %122, %214 ve %304 azalma olmuştur. Biyodizel yakıtının bünyesinde oksijen içermesi CO emisyonunun azalmasını temel nedenidir. Biyodizel kullanımıyla CO emisyonunun azalmasındaki diğer bir etken biyodizel yakıtının H/C oranının dizel yakıtından daha yüksek olmasıdır. H/C oranı arttıkça yanma kalitesi iyileşmekte buna bağlı olarak da CO emisyonları azalmaktadır

4.2.4. Karbondioksit (CO₂) Emisyonu

Son yıllarda yoğun şekilde tartışılan küresel ısınmaya neden gazların başında CO₂ gelmektedir. Egzoz ürünleri arasında bulunan CO₂ tam yanmayı ifade ettiğinden önemli bir parametredir. Şekil 4.6.' da motor devrine bağlı olarak CO₂ emisyonu değişimleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi motor devrine bağlı olarak CO₂ emisyonunda artış gözlemlenmiştir. Örneğin B100 yakıtı için CO₂ emisyonu 1150 d/d'da %8,26, 1250 d/d'da 9,1, 1500 d/d'da %10,4, 1750 d/d'da 10,75, 2000 d/d'da %10,95 ve 2250 d/d'da % 11,06 ppm olarak ölçülmüştür. Motorlarda devir sayısının artması, yanma odasında akışkan hareketlerini hızlandıracak ve türbülansı artıracaktır. Bunun sonucu olarak da daha iyi karışım sağlanacak ve alevin ilerlemesinden kaynaklanan sorunlar azalacaktır.

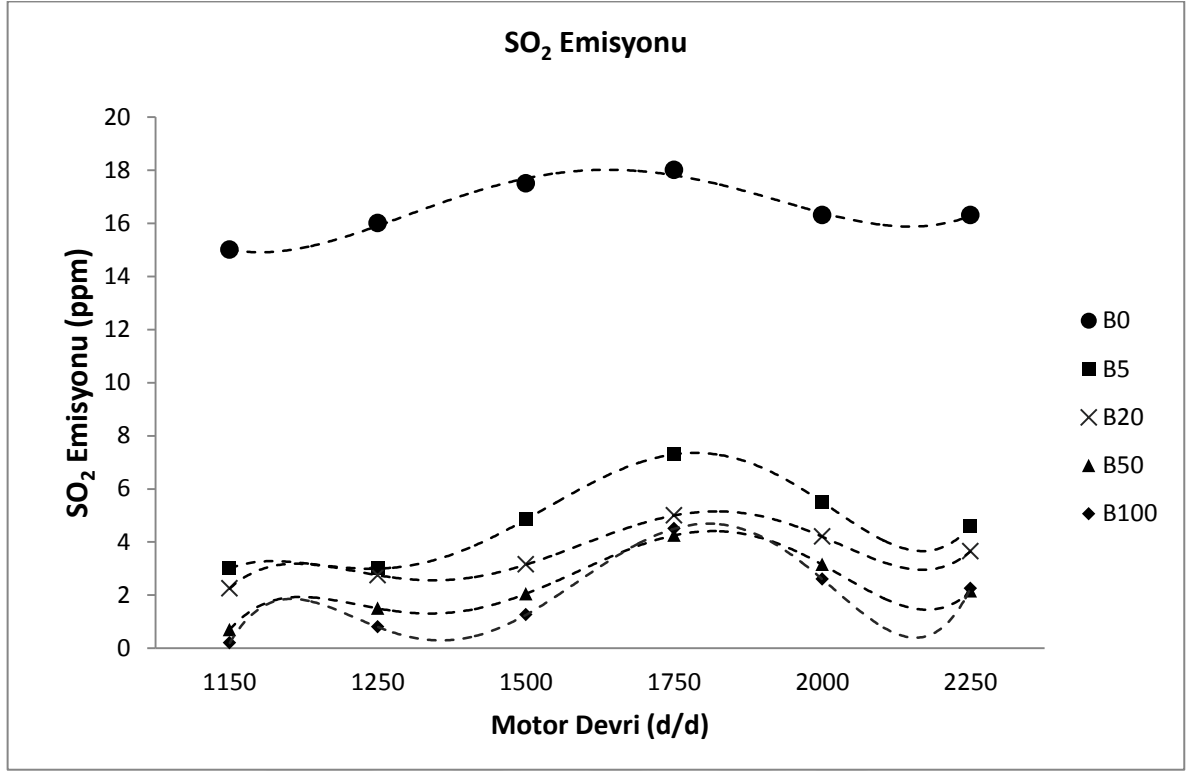
B100, B50, B20 ve B5 kullanımı ile ölçülen CO₂ emisyonunda dizel yakıtına göre ortalama olarak sırasıyla, %15.07, %11,80, %10,61 ve %10,01 oranında artma görülmüştür. Biyodizelin içerisindeki oksijen, oksijen-yakıt reaksiyonlarını desteklemekte bunun sonucu olarak da CO₂ emisyonları artmaktadır.



Şekil 4. 6. %75 kısmi yük altında ve değişik devirlerde CO₂ emisyonu değişimi

4.2.5. Kükürt-dioksit (SO₂) Emisyonu

Yakıt içerisinde kükürt miktarına bağlı olarak özellikle dizel motorlarda, yanma sonucu kükürtün oksijen ile birleşmesi sonucu SO₂ oluşmaktadır. Motorlu taşıtlarda SO₂ oluşumunu, kullanılan yakıtın içerisindeki kükürt oranını kontrol edilmesi veya ek sistemler kullanılması ile kontrol altına alınabilir. Bunun için zararlı olan bu emisyon EN 590 yakıt standartı ile kontrol altına alınmaktadır. Şekil 4.7.' de motor devrine bağlı olarak SO₂ emisyonu değişimleri görülmektedir. %75 kısmi yük şartlarında tüm devirlerde biyodizel ve karışımların kullanılmasıyla elde edilen yanmamış SO₂ emisyonu dizel yakıtına göre daha düşük seviyede çıkmıştır. Örneğin 2000 d/d'daki motor testinde SO₂ emisyonu B0 için %16,3, B5 için %5,5, B20 için %4,2, B50 için %3,15 ve B100 için %2,6 olarak ölçülmüştür. Biyodizel yakıtlar kükürt içemediklerinden dolayı SO₂ emisyonları bütün test devirlerinde B0 yakıtına oranla çok daha düşük çıkmıştır.



Şekil 4. 7. %75 kısmi yük ve değişik devirlerde SO₂ emisyonu değişimi

BÖLÜM V

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde toplumların hızla büyümesi ve gelişmesi tüm dünyada bulunan enerji kaynaklarımızın kullanımında kullanıcı sayısının artmasına neden olmuştur. Başka bir deyişle elimizde bulunan pastanın ortakları kalabalıklaşmış ve pastanın dilimleri her geçen gün küçülmektedir. Dünyanın son yüz yıl içerisinde yaşadığı toplumsal kriz ve savaşların temel nedeni enerji kavgasıdır ve her krizde enerjinin birincil kaynağı olan petrol ve petrol türevi ürünler, dışa bağımlı olan ülkeleri başta olmak üzere tüm toplumların yaşam standartlarını yani ekonomilerini büyük ölçüde etkilemekte hatta batışa sürüklemektedir. Yaşanan bu enerji rekabetinde toplumlar kendi enerji kaynaklarını bularak geliştirmek zorundadırlar. Fosil kökenli yakıtların kısıtlı olması, savaşta dışa bağımlılığı azaltmak gibi sebeplerden fosil kökenli yakıtlara alternatifleri, araştırmacılar sürekli araştırmaktadırlar. İkincil bir durumda, fosil kökenli yakıtların çevreye olan olumsuz etkileridir. Uzun yıllar doğada birikmesi toplumların yaşam sürelerini bile etkileyebilecek duruma gelmektedir. Bu durum bizim de çalışmamızın temelini oluşturan alternatif yakıtların ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Bu deneysel çalışmamızda, üç silindirli bir dizel motora sahip tarımsal amaçlı kullanılan bir traktörde farklı oranlarda biyodizel ile ticari amaçla piyasada bulunan dizel yakıtımız karıştırılarak beş farklı yakıt kullanılarak motor performans değerleri ve emisyon değerleri ölçülerek motorine alternatif olarak tarım ülkesi olan ülkemizde tarımsal faaliyetlerde bu yakıtların kullanılabilirliği üzerinde elde ettiğimiz veriler sunularak gerekli önerilerde bulunulmuştur.

Çalışmamızda dört zamanlı, sıvı soğutmalı, direkt püskürtmeli, üç silindirli, aşırı doldurmalı, TIER3 standartlarına sahip bir dizel motorda yakıt olarak standart motorin ve motorinin biyodizel ile farklı hacimsel oranlarda karıştırılması ile elde edilmiş dört farklı test yakıtı kullanılmıştır. Testler OECD – CODE 2 standartları gözetilerek gerçekleştirilmiştir. Test sırasında traktörün kuyruk milinden dinamometre ile yükleme yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Testler esnasında güç, tork, saatlik ve özgül yakıt tüketimi üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Ancak, konuya zenginlik katmak ve daha farklı bakış

açıları sunmak amacıyla emisyon ve egzoz sıcaklıkları da bu karakteristikler arasına dahil edilmiştir. Motorun ilk çalıştırılması sırasında test yakıtları ve motorin ile ilk çalıştırılması sırasında hiçbir sorun ile karşılaşılmamıştır.

Karışımların güç değerleri üzerine etkileri ticari amaçla satılan motorin ile elde edilen sonuçlar ile kıyaslanarak elde edilmiştir. B5 yakıtı ve B20 yakıtı, B0 yakıtının güç değerlerine yakın değerler elde etmiş, ancak B50 ve B100 yakıtları kullanılarak elde edilen güç değerlerinde fark edilir güç düşüşleri gözlemlenmiştir. Traktörün tarla faaliyetlerinde en fazla çalıştığı 1750 d/d'dan nominal devire kadar olan çalışma aralığında motora yükleme yapıldığında, test ortamında maksimum güç olan 52 kW değerlerine gelindiğinde B100 yakıtında motorda yığılma ve istenilen değerlerden uzaklaştığı tespit edilmiştir. B50 yakıtı ile gerçekleştirilen denemelerde ise güç kaybı ve karışım oranı göz önünde bulundurulduğunda motorine alternatif olarak sunulabilmektedir. B100 yakıtında karşılaşılan bu durum biyodizel oranının artması ve hatta sırf biyodizel olduğu göz önünde bulundurulduğunda, kinematik viskozite artışının ve alt ısı değerinin motorine göre düşmesi nedeniyle açıklanabilmektedir. Kinematik viskozitenin artması motorun emisyon ve tüketimini de etkileyen bir faktör olacaktır. Traktörün kullanım süresi ilerledikçe pompa ve yakıt sistemindeki aşınmalar artacak, biyodizelin kinematik viskozitesinden dolayı yakıtın pulverize olması da güçleşecektir ve bu durum performans kayıplarına neden olacaktır. Çünkü yakıtın viskozitesinin artmasıyla beraber motor içerisinde yakıtın dağılımı istenilen şekilde olmayacak bu durumda tam yanma gerçekleşmeyecektir. Bu durum zincirleme bir olay olarak motorun emisyon değerleri ve diğer performans değerleri üzerinde de olumsuz sonuçların elde edilmesine neden olmaktadır.

Özgül yakıt tüketimi sonuçları incelendiğinde biyodizel karışımları motora olan yüklemenin artmasıyla beraber istenilen gücün elde edilmesi sırasında değerlerde sıçramalara neden olmuştur. B5 ve B20 yakıtının tüketim değerleri %9,99 ve %7,07 oranında dizel yakıtı göre yüksek çıkmıştır. Motorine alternatif olarak gösterilebilir. Ancak tezin amacı doğrultusunda en yüksek alternatif yakıt karışımı ve motorine en yakın ÖYT değerinin elde edilmesi olarak sonuçları yorumladığımızda maksimum güçte %9,36 bir artış oranına sahip olan B50 yakıtının saatlik yakıt tüketimi de göz önünde bulundurulduğunda motorine alternatif yakıt olarak seçilebileceğini savunabiliriz.

Motor tork değişimleri incelendiğinde tüm devir ve yakıtlarda eş eğriler elde edilmiştir. B100 yakıtı haricindeki biyodizel karışımları motorine çok yakın değerlere ulaşmış ancak B100 yakıtında bir kopma oluşmuştur. Güç ölçümlerinde belirttiğimiz gibi yakıtın viskozitesi burada da bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyodizelin yakıtının kinematik viskozitesinin artmasıyla beraber bir tork kaybı yaşanacaktır. Ayrıca B100 yakıtı ile stabil bir rejimde motorun çalışmadığı da belirtilmelidir. Elde edilen sonuçlarda, biyodizel karışımlarının tamamında dizel yakıtı göre bir tork kaybı yaşandığı tespit edilmiştir. 1500 d/d'da, B20 yakıtı dışındaki yakıtlarda %1,43 oranı ile %0,27 oranında bir tork artışı elde edilmiştir. Ancak ortalamada biyodizel karışımları arasında, traktörün en verimli kullanım alanı olarak görülen 1750 d/d ile 2000 d/d aralığında en yüksek torku B50 yakıtının sağladığı tespit edilmiştir.

Saatlik yakıt tüketimi değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu durum alternatif yakıtımızın alt ısı değerinin düşük olmasıdır. B5 ve B20 yakıtında bu artış, B50 ve B100 yakıtına oranla daha düşüktür. Karışım oranı arttıkça yakıtın alt ısı değeri düşmektedir ve dolayısı ile elde edilecek enerji için harcanacak yakıt kütsel olarak artacaktır.

Deneysel çalışmalarımızda emisyon değerlerinde de farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılığın en temel sebebi biyodizelin kimyasal yapısında yer alan O_2 miktarının motorine oranla daha yüksek olmasıdır. O_2 miktarının artması zehirli gazların açığa çıkmasında engelleyici bir rol oynamakta bu durumda emisyon değerlerinin azalmasına yol açmaktadır. HC emisyonu biyodizel kullanımıyla azalma göstermiştir. Bunun temel nedeni olarak, biyodizelin içerisinde bulunan O_2 oranı nedeniyle silindir içerisinde alev sönüm noktalarının azalması ve C'nun tam anlamıyla yanmasına imkan vermesi olarak yorumlayabiliriz. Tüm yakıtlarda düşük motor devirlerinde yüksek HC oranlarının nedeni silindir içi hava hareketinin düşük olması, yüksek ÖYT değerleri, silindir içi basıncı düşmesi ve alt devirlerde yakıt atomizasyonunun zayıflamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca biyodizel kullanımı tutuşma gecikme süresini kısaltmaktadır. Bu durum da HC emisyonlarında azalmaya neden olmuştur.

Biyodizelin ÖYT değerlerinin motorine göre yüksek olması nedeniyle silindir içerisindeki O_2 konsantrasyonu artmıştır. Bu durumla beraber silindir içerisinde yanma bölgesi genişlemiş zincirleme olarak silindir içi sıcaklıklarda artış tespit edilmiştir. Bu durum motor

emisyon değerlerinden NO_x emisyonunda artışa sebep olmuştur. Literatürde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar tespit edilmiştir. NO_x emisyonlarının kontrol altına alınması için motor üzerinde farklı uygulamalar yapılabilmektedir. Bu yöntemler motorun çalışma parametrelerinden egzoz supabının çalışma zamanlamasının değiştirilmesi, EGR sisteminin kullanılması, katalitik konvektör kullanılması ve emisyonlar üzerine azot püskürtülmesi gibi yöntemlerdir. Bu çalışmamız içerisinde deneysel olarak bu yöntemler incelenmemiştir. NO_x emisyonlarının incelendiği bir çalışma konusu olarak elde alınarak sonuçları irdelenebilir.

Tüm devirlerde ve yakıt karışımlarında karbonmonoksit emisyonlarında azalış meydana gelmiştir. Bu azalmanın temel nedeni daha önceden belirtildiği gibi zengin O_2 konsantrasyonudur. Motor devrinin artmasıyla beraber CO emisyonlarında seyreden düşüş hızlanmıştır. Motor devrinin artmasıyla beraber motor içerisindeki döngüsel hareket artmakta zengin O_2 miktarı nedeniyle oksidasyonu hızlanmaktadır. Buna bağlı olarak motor emisyonu içerisindeki CO_2 oranı artmaktadır. Ancak nominal devire yaklaştıkça emisyon azalımı biraz daha sabit bir değerde seyretmiştir. Bu durum motor yüksek devirlerde volümetrik verinin azalması ve içerideki bir önceki çevrimden egzoz gazlarının tam olarak atılamaması nedeniyle içeride kalmasından kaynaklanmaktadır.

Biyodizel içerisinde kükürt bulunmaması nedeniyle yapılan ölçümlerde SO_2 emisyonunun çok düşük seviyelerde olduğu gözlenmiştir.

Deneyler sırasında elde edilen veriler ışığında bir sonraki çalışmalara yön vermesi ve alternatif yakıtların ticari olarak da motorinin yerini alabilmesi adına aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- Biyodizelin kinematik viskozitesinin yüksek olması nedeniyle soğuk hava şartlarında kullanılması sorun teşkil edebilecektir. Çalışmamız sırasında hava şartlarının optimum seviyede olduğu belirtilmelidir. Bu durumun sonraki çalışmalarda ve pratik hayatta problem oluşturulmaması için biyodizel yakıtlarının içerisine viskozitesini çalışma şartlarını etkilemeyecek şekilde kullanılacak katkı maddeleri ya da ön ısıtmalı uygulamalar araştırılmalıdır.
- Biyodizel motorine oranla bozunmaya karşı daha hassas bir yakıttır. Bu nedenle biyodizel üretimi ve araçlarda depolanması durumunda güneş ışığına maruz kalmadan, hava ve nem ile temas etmeden uygun şekilde depolanmalıdır.

- Biyodizelin araçların yakıt sistemlerinde ve yanma odasında artık maddeler bırakabilme olasılığı vardır. Sonraki çalışmalarda motorin ve biyodizel ile kullanılan motorların parçalarında oluşan kalıntı oranları (özellikle enjektörlerdeki kurumlanma) incelenmelidir.
- Biyodizelin elde edilmesinde atık bitkisel yağların kullanımı incelenmelidir. Ancak bu durumda atık bitkisel yağların viskozite sorunlarına dikkat edilmelidir. Bu atık yağların transesterifikasyon işlemine ya da diğer işlemler uygulanmadan direkt kullanılabilirliği araştırılmalıdır.
- Tarımsal politikaların gözden geçirilerek tarım için elverişli alanlara sahip ve ülkemizde kullanılmayan tarımsal alanların incelenerek bölgesel bazda enerji tarımı yapılması araştırılmalı ve özel sektör ile bu konuda iş birliği geliştirilmelidir. Özellikle petrol şirketleri enerji tarımı için çiftçilerle iş birliği geliştirmeli devlet politikaları ile bu işbirlikleri desteklenerek yeni iş imkânları doğurulmalıdır.
- Çevresel etkiler göz önünde bulundurulduğunda NO_x emisyonlarının biyodizel kullanımında kontrol altına alınabilmesi için yöntemlerin etkinliği ölçülebilecek çalışmalar yapılmalıdır.
- Kullanılmayan kamusal arazilerde enerji amaçlı tarımsal bitki üretimi araştırılmalıdır. Nadasa bırakılan tarımsal alanlarda bu dönemlerde enerji tarımına yönelik bitkilerin yetiştirilmesi konusunda tarım politikaları ile desteklenerek çiftçiler cesaretlendirilmelidir.

Bu sonuçlar ışığında bir tarımsal traktörde B50 yakıtı güvenli bir şekilde kullanılabilir. Özellikle enerjinin tarımsal alandan elde edilebileceğini gösteren bir çalışmanın traktör kullanılarak yapılması enerji tarımına dikkat çekmesi açısından önemlidir.

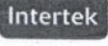
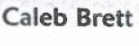
Ülkemizin gelişimi, dışa bağımlılığı ve yapılacak çalışmalarla refah seviyesinin artması için yağlık tohum üretimine elverişli olan ülkemizde enerji tarımına önem verilerek biyodizel kullanımı ve üretimi desteklenmelidir. Yasal düzenlemeler ve vergi politikaları biyodizelin, fosil kökenli yakıtlara alternatif olması için tekrar gözden geçirilmelidir.

6. EKLER

Ek-1 Kullanılan biyodizele ait kimyasal analiz sonuçları

Özellik	Birim	Ref. Sınır Değerleri		Ölçüm Belirsizliği	Ölçüm Değeri	Deney Standartı
		En Az	En Çok			
Yakıtın Kapalı Formülü					$C_{18,08}H_{34,86}O_2$	-
Yoğunluk	kg / m ³	860	900	± 0,037	883,9	TS EN ISO 12185
Viskozite	mm ² /s	3,5	5	± 0,038	4,01	TS 1451 EN ISO 3104
Toplam Kirlilik	mg/kg	-	24	± 0,180	2,7	TS EN 12662
Oksidasyon Kararlılığı	h	6	*	± 0,185	7	TS EN 14112
Parlama Noktası	C	101	*	± 0,376	188	TS EN ISO 3679
Alt Isıl Değeri	Mj/kg	*	*	±0,01	37,1	TS EN ISO 14214
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası	C	-	(+5) (Yaz)	± 0,160	4	TS EN 116
Karbon Kalıntısı (%10 Damıtma Kalıntısında)	% (m/m)		(-15) (Kış)	± 0,001	0,014	TS 6148 EN ISO 10370
Metanol	% (m/m)		0,3	± 0,000	0,01	TS EN 14110
Su	mg/kg		0,2	± 8,827	202	TS 6147 EN ISO 12937
Sülfatlanmış Kül	% (m/m)		500	± 0,358	0,004	TS 1985
Kükürt	mg/kg		0,02	± 0,091	3,05	TS EN ISO 20846
Fosfor	mg/kg		10	± 0,030	0,5	TS EN 14107
Sodyum	mg/kg		4	± 0,081	0,54	TS EN 14538
Potasyum	mg/kg		5	± 0,034	0,21	TS EN 14538
Kalsiyum	mg/kg		5	± 0,023	0,47	TS EN 14538
Magnezyum	mg/kg		120	± 0,024	0,31	TS EN 14538
Gliserit	Monogliserit	% (m/m)	0,2	± 0,052	0,544	TS EN 14105
	Digliserit	% (m/m)	0,2	± 0,024	0,097	TS EN 14105
	Trigliserit	% (m/m)	0,02		0	TS EN 14105
Gliserol	Serbest Gliserol	% (m/m)	0,25	± 0,013	0,006	TS EN 14105
	Toplam Gliserol	% (m/m)	-	± 0,043	0,159	TS EN 14105
Ester	% (m/m)	96,5		± 0,345	98,5	TS EN 14103
Asit Sayısı	mg KOH/g		0,5	± 0,004	0,41	TS EN 14104
Çoklu Doymamış Metil Esterleri	% (m/m)		1		0,008	TS EN 14103
Setan Sayısı		51			52,6	TS EN 15195
Bakır Şerit Korozyonu	derece	Sınıf 1	Sınıf 1		1A	TS 2741 EN ISO 2160

Ek-2 Kullanılan motorine ait kimyasal analiz sonuçları

   ITS. Caleb Brett/Deniz Survey S.A. İskenderun Laboratuvarı	TURKAK TURK AKREDITASYON KURUMU TURKISH ACCREDITATION AGENCY <i>tarafından akredite edilmiştir.</i> ITS Caleb Brett Deniz Survey A.S. İskenderun Laboratuvarı Cumhuriyet Cad. Kaptan M. Sedat Altan Binası No:100 Nardüzü / İskenderun Denev Raporu Test Report	 Test TS EN ISO/IEC 17025 AB - 0058 - T 1764 /12 -ISKLAB 06.09.2012 Rev.No / Tarih 0 / -
---	--	--

Motorin (Eurodizel) Analiz Raporu

Numune	Alınan	Yükümlünün Adı Soyadı / Unvanı				OMV Petrol Ofisi A.Ş.		
	Alanın	Adı Soyadı	Mert Demir		Unvanı	Kalite Kontrol Uzmanı		
	Alımının	Şirketi ve Adresi	Data Sistem İnsan Kay. Veri İşle. Hiz. A.Ş.					
		Yöntemi	TS EN 14275		Tarihi	19.07.2012		
Teslim	Edenin	Adı Soyadı	Mert Demir		Unvanı	Kalite Kontrol Uzmanı		
		Şirketi ve Adresi	Data Sistem İnsan Kay. Veri İşle. Hiz. A.Ş.					
	Tarihi ve Saati	27.08.2012 08:30		No	PO-1764/12-MOT(ED)			
Denev	Tarihi	04.09.2012				Rapor Tarihi	06.09.2012	
ÖZELLİK		ÖZELLİK KODU	BİRİM	REFERANS SINIR DEĞERLERİ EN AZ EN ÇOK		ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ	ÖLÇÜM DEĞERİ	DENEY YÖNTEMİ
Yoğunluk (vakum)		100	kg/m ³	820,0	845,0	± 0,034	829,0	TS EN ISO 12185
Viskozite (Akmazlık)		110	mm ² /s	2,00	4,50			TS 1451 EN ISO 3104/T1
Toplam Kirlilik		160	mg/kg	-	24	± 0,701	11,0	TS EN 12662
Oksidasyon Kararlılığı		170	ml/m ³	-	25			TS EN ISO 12205
Parlama Noktası		200	°C	55	-	± 0,650	65,0	TS EN ISO 2719
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası		210	°C	-	+5(Yaz) -15(Kış)	± 0,040	1	TS EN 116/AC
Damıtma	250 °C	311	% (V/V)	-	65	± 0,952	34,0	TS EN ISO 3405
	350 °C	312	% (V/V)	85	-	± 0,230	92,0	
	%95'te Sıcaklık	314	°C	-	360	± 0,203	357,0	
Karbon Kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)		330	% (m/m)	-	0,30			TS 6148 EN ISO 10370
Su		500	mg/kg	-	200	± 10,453	153,95	TS 6147 EN ISO 12937
Kül		510	% (m/m)	-	0,01			TS EN ISO 6245
Kükürt		540	mg/kg	-	10,0	± 0,153	6,5	TS EN ISO 20846
YAME		630	% (V/V)	-	7,0			TS EN 14078
Aromatik Hidrokarbonlar		710	% (m/m)	-	8,0			TS EN 12916
Setan sayısı		820	-	51,0	-			TS EN 15195
Setan indisi		830	-	46,0	-	± 0,259	56,2	TS EN ISO 4264
Yağlama Özelliği		840	µm	-	460			TS EN ISO 12156-1
Bakır şerit korozyonu		910	Derece	1	-			TS 2741 EN ISO 2160

Açıklamalar: Bu rapor 1 (bir) sayfadan oluşmaktadır ve laboratuvarın izni olmaksızın kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir. Sonuçlar analizi yapılan numuneye aittir. Denev sonuçlarına rapor tarihinden itibaren en geç 3 (üç) ay içinde itiraz edilebilir.

Mühür No : 12326

(Akredite Laboratuvar Yetkilileri tarafından doldurulup imzalanacaktır.)

Analiz Raporu tanzim yükümlülüğü olan

OMV Petrol Ofisi A.Ş.

'den alınan **Motorin (Eurodizel)** numunesinin, yukarıda

yer alan denev yöntemleri kullanılarak yapılan analiz sonucu, Teknik Düzenlemede yer alan özelliklere (

Uygun) olduğu tespit edilmiştir.

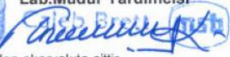
(Yükümlüler tarafından doldurulacak ve imzalanacaktır.)

Alınan akaryakıtın niteliği ve niceliği değiştirilmemiştir.

Bu analiz raporu tarihi ve

sayılı (faturalama/gümrük giriş beyanname/depo çıkış tutanağına) konu edilen akaryakıtı aittir.

Tuncay KAPAN
 Lab.Müdür Yardımcısı


 ITS. Caleb Brett/Deniz Survey S.A.

(I. Yeniden satışta yükümlüler tarafından doldurulup imzalanacaktır.)

Alınan akaryakıtın niteliği ve niceliği değiştirilmemiştir. Bu analiz raporu (.....) tarih ve (.....) sayılı (faturalama/depo çıkış tutanağına) konu edilen akaryakıtı aittir.

İMZA

(II. Yeniden satışta yükümlüler tarafından doldurulup imzalanacaktır.)

Alınan akaryakıtın niteliği ve niceliği değiştirilmemiştir. Bu analiz raporu (.....) tarih ve (.....) sayılı (faturalama/depo çıkış tutanağına) konu edilen akaryakıtı aittir.

İMZA

(Harmanlama'ya tabii tutulan petrolde doldurulacaktır.)

Harmanlanan Ürünün Adı	Harmanlama Oranı (% (V/V))
Akaryakıt harmanlama sonrasında teknik düzenlemelere uygundur.	

İMZA

Form No: KF-L 023

Yay.No:1

Rev.No / Tarih : 5 / 01.04.2009

Yayın Tarihi : 12.01.2008

KAYNAKLAR

1. Tüccar G. (2014). “Diesel engine emissions and performance from blends of citrussinensis biodiesel and diesel fuel”. Fuel Dergisi, Sayı 132, 7- 11
2. BP – 2014 Dünya Enerji İstatistikleri
3. Dünya Bankası İstatistikleri
4. Baydan E. H. (2007). “Biyometanol, Metil Ester Ve Dizel Yakıt Karışımlarının Dizel Motorlarda Kullanımının Motor Performansına Etkisinin Belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, S 1-3.
5. Nişancı S. (2007). “Biyodizel Yakıt Karışımlarının Performans Ve Emisyon Üzerine Etkilerinin Deneyisel Araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, S 59-61.
6. Kılıçaslan K. (2010). “İsobütanol-Dizel Karışımlarının Motor Performansı Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”
7. S. Imtenan, H.H. Masjuki, M. Varman, I.M. Rizwanul Fattah, H. Sajjad, M.I. Arbab (2015). “Effect Of N-Butanol And Diethyl Ether As Oxygenated Additives On Combustion - Emission - Performance Characteristics Of A Multiple Cylinder Diesel Engine” Energy Conversion and Management, Sayı 94, S 84 – 94
8. Haşımoğlu C. (2005). “Düşük Isı Kayıplı Bir Dizel Motorunda Biyodizel Kullanımın Performans Ve Emisyon Parametrelerine Etkisi”. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, S 105 – 110
9. Usta N., Can Ö., Öztürk E., (2005). “Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel Ve Etanolün Karşılaştırılması”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 11-3, 325 – 334
10. Özsezen N. A. (2007). “Atık Palmiye Yağından Üretilen Biyodizelin Motor Performans Ve Emisyon Karakterleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi” Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, S 139.
11. Özener O., Yüksek L., Ergenç T. A., Özkan M. (2014). “Effects Of Soybean Biodiesel On A DI Diesel Engine Performance, Emission And Combustion Characteristics”. Fuel Dergisi, Sayı 115, S 875 – 883.
12. Dobrucalı E. (2007). “Biyodizelin Bir Gemi Dizel Motorunun Performansına Olan Etkisinin Deneyisel Olarak İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, S 41 – 45
13. Demirci A, Gümüş M., Cayın C, Atmaca M., Binark K. A., Isıkan O. A., (2011). “Sıkıştırma İle Ateşlemeli Bir Motorda Biyodizel-Dizel Karışımlarının Egzoz Emisyonlarına Etkisi”. 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’11), Elazığ, Türkiye
14. Usta N., Can Ö., Öztürk E., (2005). “Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel Ve Etanolün Karşılaştırılması”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 11-3, 325 – 334
15. Pulkrabek W. W. (2003). “Engineering Fundamental Of The Internal Combustion Engine”, 2. Baskı, Prentice Hall, New Jersey. S16-17.
16. Anonim, (1999). TMMOB, Araçlarda LPG Dönüşümü, S24, 13-17, Ankara

17. İingür Y., Haksever R., (1998). “Benzinli Motorlarda Sıvılaştırılmış Petrol Gazının Performans Ve Emisyonlara Etkisinin Deneysel Analizi”, Politeknik Dergisi, Cilt: Sayı 3, S 67-76.
18. Sayın C., anakı M., Kılıçarslan İ., (2005) “Benzinli Bir Motorda Benzin + LPG Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi” , Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 21 (1-2), 117 – 127.
19. Yücesu S. H., (1991). “Doğal Gazın Benzin Motorlarında Kullanımı Amaca Uygun Gaz Karıştırıcının Tasarımı Ve İmalatı”, Gazi Üniversitesi Fen Bil. Ens. Doktora Tezi, Ankara, Türkiye. S 32-35.
20. Sezgin B., Bilen K., elik V. (2013). “Bir Dizel Motorun Doğal Gazla alışır Hâle Getirilmesi Ve Dönüřtürölmüř Motorun Performans Ve Egzoz Emisyonunun Deneysel Analizi”. Mühendis ve Makina, Cilt 54, Sayı 642, S. 41-51.
21. Speight, J., [2007] “Natural Gas A Basic Handbook”, Houston, Texas
22. Aytař N. E., (2014), “Doğalgazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı” Araştırma Makalesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul – Türkiye.
23. Demir A. (2004). “Alternatif Yakıtlar”. Konvoy dergisi.
24. Çetinkaya S., (2004). “Motorlu Araçlarda Doğal Gaz Dönüşümü”. Tesisat Dergisi, Sayı 81 S 14-31.
25. Karaman N., Akansu S. O., Albayrak B., (2007). “İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanılması”. Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 48 Sayı 569 S 10 – 15
26. Batmaz, İ. (2007). “Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıtta Hidrojen İlavesinin Motor Performansına Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi” Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakölteı Dergisi, Sayı 22 S 137-147.
27. Sperling, D. Deluchi, M.A. (1989). “Is Methanol the Transportation Fuel of the Future?”, Energy Magazine, Sayı 14 S469-482.
28. Short G. D., Antomol L. (1990). “Methanol İn Gasoline And Diesel Engines Enviromental Considerations” Proceedings Fueled The Intersociety Energy Conversion Engineering, 4, 326-330.
29. Korkmaz İ., (1996). “Benzin Ve Metanol Yakıtlı Buji Ateşlemeli Motorlarda Performans Ve Emisyon Karakteristiklerinin İncelenmesi” Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon - Türkiye.
30. Kulakoğlu T., (2009). “Dizel - Metanol Karışımı Kullanılan Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Perfomrans Ve Emisyonlara Etkisi”, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye. S 12.
31. Al-Hasan M., (2003). “Effect of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions”, Energy Conversion and Management, S 44, Sayfa 1547–61.
32. Jia, L.-W., Shen, M.-Q., Wang, J., Lin. M.-Q., (2005). “Influence Of Ethanol-Gasoline Blended Fuel On Emission Characteristics From A Four-Stroke Motorcycle Engine” Journal Of Hazardous Materials, A123 29-34.
33. Alakel H. (2008)., “Bir Dizel Motorda Biyodizel, Dizel Ve Etanolün Motor

34. Performansına Etkilerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay – Türkiye.
35. Can Ö., (2003) “Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Dizel Motor Performansı Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
36. Howell S. (1997), “U.S. Biodiesel Standards An Update Of Current Activities” Sae Paper 971684.
37. Ölçüm T., (2006). “Biyodizel Teknolojisi” , Yüksek lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul – Türkiye
38. Sayın, C., Gumus, M., Canakci, M.(2012) “Effect Of Fuel Injection Pressure On The Injection, Combustion And Performance Characteristics Of A Dı Diesel Engine Fueled With Canola Oil” Biomass and Bioenergy, In press(DOI:org/10.1016/j.biombioe.2012.07.016)
39. <http://www.astm.org/Standards> (Erişim Tarihi 03/05/2015)
40. Demirbaş A. (2003), “Biodiesel Fuels From Vegetable Oils Via Catalytic And Non Catalytic Supercritical Alcohol Transesterifications And Other Methods: A Survey, Energy” Conversion and Manegement, 44, 2093-2109
41. Ma F., Hanna M. A.(1999). “Biodiesel Production: A Review”, Bioresource Technology, 70, 1-15.
42. Anonim (1982), “Filtered Used Fryng Fat Powders Diesel Fleet”, J. Am. Org. Chem. Soc., 59, 780-781
43. L.C. Meher, D. Vidya Sagar, S. N. Naik,, (2006) “Technical Aspects Of Biodiesel Production By Transesterification” Renewable And Sustainable Energy Reviews , 10 248-268.
44. Acaroğlu M. (2007)., “Alternatif Enerji Kaynakları”, 2. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 355.
45. Alptekin E. Ve Çanakçı M., (2006), “Mühendis ve Makine”, Cilt47, Sayı 561, S10-15.
46. Ulusoy Y. Ve Alibaş K., (2002). “Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Teknik Ve Ekonomik Yönden İncelenmesi”, Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 16, 37-50
47. Çağatay, S., Kıymaz, T., Koç, A., Bölük, G., Bilgin, D., (2012). “Dünya Ve Türkiye Biyoenerji Piyasalarındaki Gelişmelerin Ve Potansiyel Değişikliklerin Türk Tarım Ve Hayvancılık Sektörleri Üzerindeki Etkilerinin Modellenmesi Ve Türkiye İçin Biyoenerji Politika Alternatiflerinin Oluşturulması.” Tarımsal Ekonomi Ve Politika Geliştirme Enstitüsü. Tepge Yayın No: 204
48. Yiğitoğlu, M., İnal, M., Gökgöz, M., (2014). “Alternatif Bir Enerji Kaynağı Olarak Biyoetanol”, Kırıkkale Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Bilimde Gelişmeler Dergisi [Http://Fef.Kku.Edu.Tr/Dergisitekodlar/3_Nolu_Makale.Pdf](http://Fef.Kku.Edu.Tr/Dergisitekodlar/3_Nolu_Makale.Pdf)
49. Ar, F., (2014). “Sosyo Ekonomik Kalkınmada Göz Ardı Edilemeyecek Potansiyel Planlı Enerji Tarımına Başlanmalı”, Tmmob Elektrik Mühendisleri Odası, http://www.emo.org.tr/ekler/4ee449117836706_ek.pdf?dergi=540 (Erişim:01.03.2015)

50. Ar, F., (2014) “Biyoeanol Kullanım Zorunluluğunun Türk Ekonomisine Yaratacağı Etkiler, Pankobirlik / Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/enerjikongresi12/89-DrFigenAr.pdf> (Erişim:01.03.2015)
51. S. R. Schill (2012), “Global oil production grows at slightly higher pace than ethanol”, <http://www.worldwatch.org/system/files/Ethanol%20Producer%20Magazine%20062712.pdf> (Erişim:10.03.2015)
52. Erdin, E., Şirin, G., Alten, A., 2002. “Biyokütle Enerjisi ve Avrupa Birliği”, <http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/biyoenerji2002.pdf> , (Erişim Tarihi: 10.03.2015).
53. EIA (Europe Information Administration – Enerji Bilgi Yönetimi – (2014) Avrupa Birliği Biyoyakıt Tüketimi, <http://www.eia.gov/Cfapps/%C4%B0pdbproject/Ied%C4%B1index3.Cfm?Tid=79&Pid=79&Aid=2>, (Erişim: 10.03.2015)
54. Dulkan, F., (2014). “AB Biyoyakıt Direktifi Ve Stratejisi” http://www.albiyobir.org.tr/files/img_etk/e06-1008-Sanayi-Bakanligi.ppt, (Erişim: 11.03.2015)
55. Eurostat, (2014). “Primary Production Of Renewable Energy” , <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00081&plugin=1> (Erişim:12.03.2015)
56. Anonim, (2014), “Türkiye Orman Kaynaklı biyokütle Potansiyeli” , http://www.eie.gov.tr/Yenilenebilir/Tur_Or_Kay_Biyo_Pot.Aspix (Erişim: 12.03.2015)
57. Epa,. Assessment And Standards Division (2002). “A Comprehensive Analysis Of Biodiesel İmpacts On Exhaust Emissions”, Epa, 420-S-02-001.
58. Zhang, Y. (2002), “Design And Economic Assesment Of Biodiesel Production From Waste Cooking Oil”, Ottawa, Canada
59. Ergeneman M., Arslan H., Mutlu M., “Taşıt Egzozundan kaynaklanan kirleticiler” 1. Baskı, Birsan Yayınevi, İstanbul 1998, S16.
60. Taylor, C. F., (1992) “The internal-combustion engine in theory and practice”, *The MIT Press*, 2: 20-30
61. İcingür Y., Balcı M, Çelikten İ. (1996), “Dizel motorlarında işletme parametrelerinin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenmesi” 1. Ulusal Ulaşım Sempozyumu, İstanbul Büyük Şehir Belediyesi, İstanbul 25-30.
62. Gill A. P. (1988), “Desing chocies for 1990’s low emissions diesel engines” SEA Paper, No:880350 1 -25
63. Borat O., Balcı M. Ve Sürmen A., (1995) “İçten yanmalı motorlar”, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, 1, 1-77
64. Ergeneman M., Arslan H., Mutlu M., “Taşıt Egzozundan kaynaklanan kirleticiler” 1. Baskı, Birsan Yayınevi, İstanbul 1998, S19.

65. Şimşek D. (2010). “Soya yağı metil esterinin değişik püskürtme basınçlarında dizel motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı Karabük – Türkiye.
66. Topgül T. (2000) “ Tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme avansı ve püskürtme basıncının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak analizi” Yüksek Lisans Tezi , Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara – Türkiye.
67. Anonim, (2015), “Regulation Requitments”,
https://www.deere.com/en_INT/services_and_support/emissions_information/regulation_requirements.page (Erişim: 12.03.2015)
68. Anonim (2015) “NonRoad Diesel Emissions Stadards”
<http://www3.epa.gov/otaq/nonroad-diesel.htm> (Erişim: 12.03.2015)

ÖZGEÇMİŞ

Murat KARABULUT, 1986’da Eskişehir’de doğdu. İlköğrenimini Eskişehir’de tamamladı. Eskişehir Anadolu Teknik Lisesi’nin, Uçak Bakım Teknisyenliği Gövde – Motor bölümünden 2004 yılında mezun oldu. Aynı yıl Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği bölümünü kazanarak lisans eğitimine başladı. 2008 yılında Marmara Üniversitesinden mezun oldu. 2013 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Makine Mühendisliği Programında Yüksek Lisans Eğitime başlamıştır. 2013 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesinden Mezun oldu. 2014 yılında “Mühendislik Tamamlama Programını” kazandı. Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümünden, 2015 yılında mezun olarak Otomotiv Mühendisi unvanını kazanmıştır. 4 Ocak 2010 yılından beri, Türk Traktör ve Ziraat Makineleri A.Ş. de Teknik Eğitim Uzmanı olarak çalışmaktadır.