

**PİRİNA YAĞINDAN FUZEL YAĞI İLE BİYODİZEL
ÜRETİMİ VE DİZEL MOTOR PERFORMANS VE
EMİSYONLARINA ETKİSİ**

**2015
DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

SALİH ÖZER

**PIRINA YAĞINDAN FUZEL YAĞI İLE BİYODİZEL ÜRETİMİ VE DİZEL
MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ**

Salih ÖZER

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2015**

Salih ÖZER tarafından hazırlanan “PİRİNA YAĞINDAN FUZEL YAĞI İLE BİYODİZEL ÜRETİMİ VE DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarız.

Doç. Dr. Abdurazzak AKTAŞ

.....

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 21/01/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Yakup SEKMEN (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU (GÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Abdurazzak AKTAŞ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Kamil ARSLAN (KBÜ)

.....

.../.../2015

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

Prof. Dr. Mustafa BOZ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

Salih ÖZER

ÖZET

Doktora Tezi

PİRİNA YAĞINDAN FUZEL YAĞI İLE BİYODİZEL ÜRETİMİ VE DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ

Salih ÖZER

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

Ocak 2015, 141 sayfa

Bu tez çalışmasında, zeytinyağı üretimi sırasında kalan küspeden elde edilen pirina yağının, atık bir alkol karışımı olan fuzel yağı eşliğinde üretilmesi ve dizel bir motorda kullanımının etkileri incelenmiştir. Pirina yağı zeytinyağı üretimi yapılan fabrikalarda kalan küspeden ekstraksiyon ile üretilen ikincil bir yağdır. Fuzel yağı ise şeker pancarından, şeker üretimi sırasında kalan küspeden etil alkol üretimi sırasında oluşan atık alkol karışımıdır. Biyodizel üretiminde kullanılacak bu iki hammaddenin ön işlemlerden geçirilmesi gereklidir. Bu amaçla ayrımsal damıtma yöntemi kullanılarak fuzel yağı içerisindeki su ayrıştırılarak saflaştırma işlemi yapılmıştır. Yüksek serbest yağ asidi (SYA) içeren yağlardan iki aşamalı olarak biyodizel üretildiği bilinmektedir. Pirina yağının titrasyon yöntemiyle asitlik değeri 42 mg KOH/g (%21 SYA) olarak tespit edilmiştir. SYA miktarının %1'in altına düşürülmesi için kütlece değişik sülfürik asit oranlarında 2 saat ve 65°C sıcaklıkta

reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Ön işlem adı verilen bu aşamada pirina yağının SYA değeri iki aşamada %1'in altına düşürülebilmektedir. Ön işlem sonucunda SYA miktarı iyileştirilen yağdan biyodizel üretimine geçilmiştir. Bu aşamada biyodizel üretimine etki eden parametrelerin tespiti için ön deneyler yapılmıştır. Bu çalışmalarda alkol çeşidi (etanol, metanol, bütanol ve fuzel yağı), alkol miktarı (6:1, 10:1, 15:1 ve 20:1), katalizör türü (sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit), katalizör miktarı (kütlece 0,5, 1, 1,5, 2, 3 ve %5), reaksiyon sıcaklığı (50, 55, 57, 60, 65 ve 70°C) reaksiyon süresi (1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5 ve 8 saat) gibi parametreler değiştirilerek biyodizel üretimindeki optimum şartlar aranmıştır. Elde edilen sonuçlar en ideal biyodizel üretiminin 65°C sıcaklıkta, 10:1 mol alkol (fuzel yağı /pirina yağı) kütlece %1'lik sodyum hidroksit (NaOH) katalizörü ile üç saatlik reaksiyon süresi sonucunda %78'lik verim ile yapılabildiğini göstermektedir. Motor deneylerinde kullanılmak üzere bu şartlarda biyodizel üretimi yapılmış ve analiz ettirilmiştir. Üretilen yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde yoğunluğunun, parlama noktasının, soğuk filtre tıkanma noktası, asit sayısı, iyot sayısı, linolenik asit metil esteri, karbon kalıntısı, setan sayısı ve akma noktası gibi önemli birçok özelliğinin standartları sağladığı görülmüştür. Sadece, EN ISO 3104 standardına göre 3,5-5 mm²/s aralığında olması gereken kinematik viskozitenin 6,208 mm²/s olduğu tespit edilmiştir.

İkinci aşamada; elde edilen biyodizelin tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorda performansı ile emisyonlara etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Performans ve emisyonların parametrelerinin daha detaylı olarak incelenmesi için silindir içi basınç değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Motor deneyleri tam yükte değişik motor hızlarında (1600, 2000, 2400, ve 2800 1/min) ve sabit devirde değişik motor yüklerinde (4,05, 7,9 ve 10,3 Nm) Dizel (%100 Dizel Yakıtı), B5 (%5 Biyodizel + %95 Dizel Yakıtı), B10 (%10 Biyodizel + %90 Dizel Yakıtı), B25 (%25 Biyodizel + %75 Dizel Yakıtı), B50 (%50 Biyodizel + %50 Dizel Yakıtı) ve B100 (%100 Biyodizel) yakıtları ile tekrarlanmıştır. Biyodizel-dizel yakıtı karışımları ve motor hızına bağlı yapılan deney sonuçları incelendiğinde; dizel yakıtına ilave edilen biyodizel miktarının artması ile birlikte motor gücü ve motor momentinde azalma, FÖET'de ise bir miktar artış tespit edilmiştir. NO_x emisyonunda dizel yakıtına göre azalma, HC, CO ve is emisyonlarında ise bir miktar artışın olduğu görülmüştür.

Biyodizel-dizel yakıtı karışımları ve motor yüküne bağlı yapılan deney sonuçları incelendiğinde; NO_x ve CO emisyonlarında her bir biyodizel oranında kısmi yüklerde düşüş yaklaşık tam yükte ise dizel yakıtına göre artış, is emisyonlarında ise B25 yakıt oranı hariç düşük ve orta yüklerde düşüşün olduğu görülmüştür. Ayrıca, dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte maksimum silindir basıncı azalmış ve maksimum basıncın oluştuğu °KMA değeri ÜÖN'ya doğru yaklaşmıştır. Basınç artış oranında hızlı bir artışın olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Biyodizel, fuzel yağı, ham pirina yağı, dizel motor, egzoz emisyonu.

Bilim Kodu : 708.3.026

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

BIODISEL PRODUCTION FROM POMACE OIL ALONG WITH FUSEL OIL AND THE EFFECT OF THE BIODISEL ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Salih ÖZER

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine Education

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

January 2015, 141 pages

In this study, production of pomace oil, obtained from pulp during production of olive oil, in accompanied with fusel oil, a mixture of waste alcohol, and the effect of utilization of pomace oil biodiesel as fuel on a diesel engine performance and emissions were investigated. The pomace oil is secondary oil produced with extraction from pulp in factories of olive oil. Production as for fusel oil, it is a mixture of waste alcohol formed during ethyl alcohol production from pulp of sugar beet. These two raw materials should be pretreated in the biodiesel production. For this reason, water inside fusel oil was distilled using distillation method. It is known how to produce biodiesel from oils having high free fatty acids (FFA) in two stage. The acidity value of pomace oil is determined as 42 mg KOH/g (%21 FFA) with titration method. In order to reduce FFA of pomace oil under 1%, the pomace oil is kept under a reaction along 2 hours and 65°C using various concentrations

sulphuric acid. In this pretreatment stage, the fact that FFA value was reduced less than 1% was fulfilled in two stage. The oil whose FFA value is reduced after pretreatment was preceded to biodiesel production phase. In this phase, preliminary experiments were conducted to establish parameters that affects the biodiesel production. In these studies, the optimum values in the production of biodiesel were established by changing parameters such as alcohol types (ethanol methanol, butanol and fusel), alcohol concentration (6:1, 10:1, 15:1 and 20:1), types of catalyzers (sodium hydroxide and potassium hydroxide), temperature (50, 55, 57, 60, 65 and 70°C) and time (1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5 and 8 h). According to results, the optimum biodiesel production was obtained with 78% efficiency at 65°C using 10:1 mol alcohol (fusel oil /pomace oil) and 1% sodium hydroxide (NaOH) catalyzer after three-hour reaction. This biodiesel was produced and analyzed to be used in engine experiments. When physical and chemical properties of the produced biodiesel was analyzed, it is established that the properties of newly-produced biodiesel met the standards in many aspects such as density, flammable point, cold filter plugging point, acid value, iodine value, linolenic acid methyl ester, carbon residue, cetane number and yield point. However, the kinematic viscosity was found higher, 6,208 mm²/s, than 3,5-5 mm²/s range, established by EN ISO 14214.

In the second phase, the newly-produced biodiesel was used in a single cylinder four-stroke cycle engine to investigate its effects on engine performance and emissions. In order to investigate emissions and performance parameters in more detail, pressure values inside cylinder was measured and recorded. The engine experiments were performed at full load various engine speeds (1600, 2000, 2400, and 2800 rpm) and constant engine speed at engine loads (4,05, 7,9 and 10,3 Nm) along with fuels prepared in ratios as following: diesel (100% diesel), B5 (5% biodiesel + 95% diesel), B10 (10% biodiesel + 90% diesel), B25 (25% biodiesel + 75% diesel), B50 (50% biodiesel + 50% diesel) and B100 (100% biodiesel).

According to results at the full load and various engine speed, together with increases biodiesel amount added to diesel fuel, engine power and engine moment reduced and a slight increase in SFC is detected. NO_x emissions decreased compared to biodiesel while HC and CO and smoke emissions increased moderately. According to result at

the constant engine loads and various load terms of biodiesel-diesel fuel mixtures, NO_x and CO emissions in line with each biodiesel ratio decreased under partial loads as they increased under full load compared to biodiesel, in smoke emissions, under low and average loads, a decrease was found, except for B25 ratio. Furthermore, addition of the biodiesel to diesel reduced maximum cylinder pressure and crank angle value of maximum pressure occurring approached top dead center (TDC). Besides, crank angle value increased in proportion to increasing pressure.

Keywords : Biodiesel, fusel oil, raw pomace oil, diesel engine, exhaust emission.

Science Code : 708.3.026

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren sayın hocalarım Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ, Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU ve Prof. Dr. Yakup SEKMEN'e sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Biyodizel retimi ile ilgili deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği ğretim yesi sayın hocam Prof. Dr. Metin GR'ye ve Muş Alparslan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi ğretim yesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa ER'e, motor deneylerinde yardımını esirgemeyen Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ğretim yesi Yrd. Doç. Dr. Erdinç VURAL'a ve Muş Alparslan niversitesi'ndeki araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Karabük Üniversitesi BAP birimine desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Sevgili eŐim Hatice ÖZER'e, oğlum Oğuz Kağan'a ve aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xx
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1. BİYODİZEL ÜRETİMİ	4
2.2. BİYODİZELİN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YAKIT OLARAK KULLANIMI	10
2.3. FUZEL YAĞI.....	15
BÖLÜM 3	16
ZEYTİN VE ZEYTİN ENDÜSTRİSİ	16
3.1. ZEYTİN VE TARİHİ.....	16
3.2. ZEYTİNDEN ELDE EDİLEN YAĞLAR VE ÇEŞİTLERİ.....	16
3.3. TÜRKİYE’DE ZEYTİN VE ENDÜSTRİSİ.....	17
3.4. PİRİNA VE PİRİNA YAĞI	22
3.4.1. Pirina Yağı Elde Edilme İşlemleri.....	23
3.5. ÜLKEMİZDE PİRİNA YAĞINDAN YEMEKLİK YAĞ ÜRETİLEMESİNİN NEDENLERİ	24

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	25
DİZEL MOTORLARINDA YANMA VE EMİSYONLARIN OLUŞUMU	25
4.1. DİZEL MOTORLARINDA YAKITIN PÜSKÜRTÜLMESİ VE YANMANIN BAŞLANGICI	25
4.2. DİZEL MOTORLARINDA YANMA VE YANMANIN BÖLÜMLERİ.....	31
4.2.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu.....	31
4.2.2. Ani Yanma Periyodu	33
4.2.3. Difüzyon Kontrollü Yanma Periyodu.....	34
4.2.4. Art Yanma Periyodu	34
4.3. DİZEL MOTORLARDAKİ EMİSYONLARIN OLUŞUMU	35
4.3.1. Partikül Madde ve Isı Emisyonları	36
4.3.2. Nitrojen Oksit (NO _x) Emisyonları	38
4.3.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları	41
4.3.4. Karbon Monoksit (CO) Emisyonları	44
BÖLÜM 5	45
MATERYAL VE METOT	45
5.1. BİYODİZEL ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER	45
5.2. FUZEL YAĞININ DAMITILMASINDA KULLANILAN MATERYALLER	48
5.3. ÜRETİLEN BİYODİZELİN YAKIT OLARAK KULLANILMASI.....	50
5.3.1. Deney Motoru	50
5.3.2. Deney Yakıtı.....	51
5.3.3. Motor Deney Düzenegi.....	52
5.3.4. Egzoz Gaz Analizörü ve Isı Ölçüm Cihazı	53
5.3.5. Silindir İçi Basınç Ölçüm Sensörü ve Parçaları	55
5.4. DENEY YÖNTEMLERİ	56
5.4.1. Fuzel Yağı ve Damıtılması	56
5.4.2. Biyodizel Üretimi	57
5.4.2.1. Biyodizel Üretiminde Örnek Hesaplamalar	62
5.4.3. Motor Deneyleri.....	64
5.4.3.1. Motor Momenti ve Motor Gücü	65

5.4.3.2. Yakıt Tüketimi, Fren Özgül Yakıt Tüketimi ve Özgül Enerji Tüketimi	66
5.4.3.3. Efektif Verim	67
5.4.3.4. Basınç Verilerinin Kaydedilmesi	67
5.4.3.5. Basınç Verilerinin Filtrelenmesi	68
5.4.3.6. Isı Yayılım Oranı Hesaplanması ve Yanma Analizi.....	68
BÖLÜM 6	73
BULGULAR VE TARTIŞMA	73
6.1. BİYODİZEL ÜRETİMİ.....	73
6.1.1. SYA Miktarının Tespit Edilmesi	73
6.1.2. SYA Miktarının İyileştirilmesi	73
6.1.3. Alkol Çeşidinin Biyodizel Üretimine Etkisi.....	75
6.1.4. Alkol Miktarının Biyodizel Üretimine Etkisi	75
6.1.5. Katalizör Türünün Biyodizel Üretimine Etkisi.....	76
6.1.6. Katalizör Miktarının Biyodizel Üretimine Etkisi	77
6.1.7. Reaksiyon Sıcaklığının Biyodizel Üretimine Etkisi	78
6.1.8. Reaksiyon Süresinin Biyodizel Üretimine Etkisi	79
6.2. MOTOR DENEYLERİ İÇİN BİYODİZEL ÜRETİMİ.....	80
6.3. BİYODİZEL ÜRETİMİNİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	81
6.4. PİRİNA YAĞI BİYODİZELİ-DİZEL YAKITI KARIŞIMLARININ DEĞİŞİK MOTOR HIZLARINDA PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARA ETKİSİ	84
6.4.1. Pirina Yağı Biyodizeli-Dizel Yakıtı Karışımlarının Değişik Motor Hızlarında Motor Performansına Etkisi.....	84
6.4.2. Pirina Yağı Biyodizeli-Dizel Yakıtı Karışımlarının Değişik Motor Hızlarında Egzoz Emisyonlarına Etkisi.....	88
6.5. PİRİNA YAĞI BİYODİZELİ-DİZEL YAKITI KARIŞIMLARININ DEĞİŞİK YÜKLERDE PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ	92
6.5.1. Pirina Yağı Biyodizeli-Dizel Yakıtı Karışımlarının Değişik Yüklerde Motor Performansına Etkisi.....	92
6.5.2. Pirina Yağı Biyodizeli-Dizel Yakıtı Karışımlarının Değişik Yüklerde Egzoz Emisyonlarına Etkisi.....	94
6.6. SİLİNDİR BASINÇ VERİLERİNİN ANALİZİ.....	98

Sayfa

6.6.1. Pirina Yağı Biyodizeli-Dizel Yakıtı Karışımlarının Değişik Motor Hızlarında Silindir Basıncına Etkisi	98
6.6.2. Pirina Yağı Biyodizeli-Dizel Yakıtı Karışımlarının Değişik Yüklerde Silindir Basıncına Etkisi	112
BÖLÜM 7	122
SONUÇ VE ÖNERİLER	122
KAYNAKLAR	128
ÖZGEÇMİŞ	141

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Türkiye’de zeytin üretiminin yapıldığı bölgeler	19
Şekil 3.2. Zeytinyağı üretim şeması	19
Şekil 3.3. Zeytinin kısımları.....	20
Şekil 3.4. Zeytin yağı fabrikaları ve illere göre dağılımı	20
Şekil 3.5. Pirinadan ham pirina yağı üretim şeması.....	23
Şekil 4.1. Dizel motorlarında yakıt huzmesinin oluşumu	27
Şekil 4.2. Yakıt huzmesinin silindir içerisinde ilerlemesi ve karışım oluşturma durumu	28
Şekil 4.3. Yanmanın zaman analizi ve motor hızına bağlı olarak değişimi.....	31
Şekil 4.4. Yanmanın süresi ve modellenmesi	32
Şekil 4.5. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yanma periyotları.....	33
Şekil 4.6. Ani ve difüzyon kontrollü yanma periyodunda yanmanın ve emisyonların oluşumu.....	36
Şekil 5.1. Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı.....	46
Şekil 5.2. Biyodizel üretiminde kullanılan cam malzemeler	47
Şekil 5.3. Hassas terazi.....	47
Şekil 5.4. Biyodizel üretim düzeneği	48
Şekil 5.5. Vigreux kolonlu ayrımsal damıtma test düzeneği	50
Şekil 5.6. Döner başlıklı dik ayrımsal damıtma düzeneği.	50
Şekil 5.7. Vakumlu ayrımsal damıtma düzeneği	51
Şekil 5.8. Deney motoru.....	51
Şekil 5.9. Deney düzeneğinin genel görünüşü ve şematik resmi.....	54
Şekil 5.10. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.....	55
Şekil 5.11. MRU oprans 1600 duman ölçer cihazı	55
Şekil 5.12. Silindir içi basınç ölçüm sensörü	56
Şekil 5.13. Osiloskop ve amplifikatör	57
Şekil 5.14. Ham pirina yağı temizleme düzeneği	59
Şekil 5.15. SYA belirlenmesinde yağ asitlerinin renk değiştirmesi.....	60
Şekil 5.16. Dinlendirilmeye bırakılmış yıkanmış biyodizel.....	62
Şekil 5.17. Biyodizel hava kabarcıklı yıkama düzeneği.	63

Sayfa

Şekil 5.18. Kullanılan sistemin kayıt ve takip ekranı.....	69
Şekil 5.19. Basınç verilerinin filtrelenmesi.....	69
Şekil 5.20. Isı yayılım oranı grafiği ve ısı yayılım oranının analizi.....	74
Şekil 5.21. Yanma analizi	72
Şekil 5.22. Yakıt hat basıncı analizi.....	72
Şekil 5.23. p_{mak} ve p_{mak} 'ın yeri.....	73
Şekil 6.1. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında motor momentine etkisi	86
Şekil 6.2. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarında değişik motor hızlarında motor gücüne etkisi.....	87
Şekil 6.3. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında FÖET'ye etkisi.....	88
Şekil 6.4. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında efektif verime etkisi.	89
Şekil 6.5. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında egzoz gazı sıcaklığına etkisi.....	89
Şekil 6.6. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında NOx emisyonlarına etkisi..	90
Şekil 6.7. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında HC emisyonlarına etkisi.....	91
Şekil 6.8. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında CO emisyonlarına etkisi.....	92
Şekil 6.9. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında is emisyonuna etkisi.....	92
Şekil 6.10. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde FÖET'ye etkisi.....	94
Şekil 6.11. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde egzoz gazı sıcaklığına etkisi.....	95
Şekil 6.12. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde HC emisyonlarına etkisi.	96
Şekil 6.13. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde NOx emisyonlarına etkisi.	97
Şekil 6.14. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde CO emisyonlarına etkisi..	98
Şekil 6.15. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde is emisyonuna etkisi.....	99
Şekil 6.16. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 1600 1/min'de silindir basıncına etkisi.....	101

Şekil 6.17. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 2000 1/min’de silindir basıncına etkisi.....	102
Şekil 6.18. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 2400 1/min’de silindir basıncına etkisi.....	103
Şekil 6.19. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 28000 1/min’de silindir basıncına etkisi.....	104
Şekil 6.20. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 1600 1/min’de ısı yayılım oranına etkisi.....	105
Şekil 6.21. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 2000 1/min’de ısı yayılım oranına etkisi.....	106
Şekil 6.22. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 2400 1/min’de ısı yayılım oranına etkisi.....	106
Şekil 6.23. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 2800 1/min’de ısı yayılım oranına etkisi.....	107
Şekil 6.24. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında silindir içi maksimum basınca etkisi.....	108
Şekil 6.25. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında p_{mak} ’ın yerine etkisi.....	108
Şekil 6.26. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında basınç artış oranına etkisi.....	109
Şekil 6.27. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında tutuşma gecikmesine etkisi.....	110
Şekil 6.28. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında püskürtme gecikmesine etkisi.....	111
Şekil 6.29. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında silindir içi ortalama gaz sıcaklığına etkisi.....	111
Şekil 6.30. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının silindir basıncına etkisi, (Me = 4,05 Nm, n = 2400 1/min).....	113
Şekil 6.31. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının silindir basıncına etkisi, (Me = 7,9 Nm, n = 2400 1/min).....	114
Şekil 6.32. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının silindir basıncına etkisi, (Me = 10,3 Nm, n = 2400 1/min).....	115
Şekil 6.33. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının ısı yayılım oranına etkisi, (Me = 4,05 Nm, n = 2400 1/min).....	116
Şekil 6.34. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının ısı yayılım oranına etkisi, (Me = 7,9 Nm, n = 2400 1/min).....	116
Şekil 6.35. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının ısı yayılım oranına etkisi, (Me = 10,3 Nm, n = 2400 1/min).....	117

	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.36. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde maksimum silindir basıncına etkisi.....	118
Şekil 6.37. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde p_{mak} 'ın yerine etkisi.....	119
Şekil 6.38. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde basınç artış oranına etkisi.....	120
Şekil 6.39. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde püskürtme gecikmesine etkisi.....	120
Şekil 6.40. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde tutuşma gecikmesine etkisi.....	121

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Zeytinyağı fabrikalarının illere göre dağılımı ve teknolojik alt yapıları	23
Çizelge 5.1. Biyodizel üretimi deneylerinde kullanılan kimyasal malzemeler.....	49
Çizelge 5.2. Deney motorunun teknik özellikleri	52
Çizelge 5.3. Deney yakıtının kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	52
Çizelge 5.4. Deney yakıtlarının hacimce içerikleri.....	53
Çizelge 5.5. Egzoz gaz analizörünün (Italo Plus) ve is ölçerin özellikleri (MRU OPTRANS 1600).	57
Çizelge 5.6. Fuzel yağı ve bileşikleri	58
Çizelge 5.7. Biyodizel üretim kimyasalları ve mol kütleleri	65
Çizelge 6.1. Ham pirina yağının ön iyileştirme işlemleri ve oranları	75
Çizelge 6.2. SYA miktarının iyileştirilmesinin sonuçları.	75
Çizelge 6.3. Alkol türünün biyodizel dönüşüm oranına etkisi.....	76
Çizelge 6.4. Fuzel yağı miktarının biyodizel dönüşüm oranına etkisi.....	77
Çizelge 6.5. Katalizör türünün biyodizel dönüşüm oranına etkisi	78
Çizelge 6.6. Katalizör miktarının biyodizel dönüşümüne etkisi.	79
Çizelge 6.7. Reaksiyon sıcaklığının biyodizel dönüşüm oranına etkisi.....	80
Çizelge 6.8. Reaksiyon sıcaklığının biyodizel dönüşüm oranına etkisi.....	81
Çizelge 6.9. Ham pirina yağı biyodizelinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$C_{20}H_{14}O_4$: Phenolphtholin
$C_6H_5CH_3$: Toluen
C_8H_8O	: Di etil eter
CaO	: Kalsiyum oksit
CH_3CH_2OH	: İzopropil alkol
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
F	: Motorun yük hücreğine uyguladığı kuvvet (N)
H ₂ SO ₄	: Sülfürik asit
HC	: Hidro karbon
HCL	: Hidro klorik asit
H _u	: Yakıtın alt ısı değeri (MJ/kg)
KOH	: Potasyum hidroksit
L	: Moment kolu (m)
M _A	: Maddenin mol kütlesi (g)
m _B	: Mol sayısı bulunacak maddenin miktarı (g)
M _e	: Motor momenti (Nm)
m _{yağ}	: Çözünen yağ miktarı (g)
<i>n</i>	: mol sayısı
n	: Motor devri (1/min)
NaOH	: Sodyum hidroksit
NO	: Azot monoksit
NO _x	: Azot oksit
p	: Silindir basıncı (Pa)
P _e	: Efektif motor gücü (kW)
sfc	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

SO₂ : Sülfür oksit
V : Silindir hacmi (m³)
V_{KOH} : Tüketilen KOH miktarı (mL)
V_h : Kurs hacmi
V_{YAĞ} : Çözünen yağ miktarı (mL)
z : Silindir sayısı
Δm : Tüketilen yakıt miktarı (g)
Δt : Belirli bir miktar yakıtın tüketilme süresi (s)
ṁ_y : Yakıt tüketimi (g/h)
Φ_n : Isı yayılım oranı (IYO) (kJ/°KMA)
ω : Açısal hız (rad/s)
θ : Krank mili açısı

KISALTMALAR

AÖN : Alt Ölü Nokta
B5 : Hacimce %5 Biyodizel + %95 Dizel Yakıtı karışımı
B10 : Hacimce %10 Biyodizel + %90 Dizel Yakıtı karışımı
B25 : Hacimce %25 Biyodizel + %75 Dizel Yakıtı karışımı
B50 : Hacimce %50 Biyodizel + %50 Dizel Yakıtı karışımı
B100 : Deneyleerde kullanılan %100 Biyodizel yakıtı
DIN : Deutsches Institut für Normung (Alman Standart Enstitüsü)
Dizel : Deneyleerde kullanılan %100 dizel yakıtı
EİE : Enerji İşleri Etüt İdaresi
FÖYT : Fren Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)
H/Y : Hava/Yakıt Oranı
HFK : Hava Fazlalık Katsayısı
İÇÖ : Isı Açığa Çıkış Oranı
IYO : Isı Yayılım Oranı
KMA : Krank Mili Açısı (°)
MÖ : Milattan Önce
MS : Milattan Sonra

- OPEC : Organization of Petroleum Exporting Countries (Petrol İhraç Eden Ülkeler Birliği)
- PO : Petrol Ofisi
- SYA : Serbest Yağ Asitleri
- TIÇO : Toplam Isı Açığa Çıkış Oranı
- ÜÖN : Üst Ölü Nokta
- YSYA : Yüksek Serbest Yağ Asidi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, sistemlere ya da makinalara iş yaptırabilme yeteneğidir. Makine ya da sistemler çalışmaları için bir enerji kaynağına ihtiyaç duyarlar. Enerjinin hali hazırda dünya üzerinde kullanılan birçok formu mevcuttur. Bilim insanları dünyada kullanılan enerji kaynaklarını tükenebilir ve yenilenebilir olarak iki grupta incelemektedirler [1,2]. Tükenen enerji kaynakları bir kereye mahsus kullanılan ve kullanım sonucunda başka hammaddelere dönüşen kaynaklardır. Dünya üzerinde en çok bilineni ise kömürdür. Sanayi devriminden beri insanlar kömürü çıkartarak işlemiş ve ısı enerjisi üretmek için yakarak kullanmışlardır. Gelişen bilim ve teknoloji ile insanlık bir başka değerli enerji kaynağı olarak petrolü çıkarmayı başarmış ve devletler enerji kaynağı olarak hızla petrol kullanmaya başlamışlardır. [3].

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler insanlığın hizmetine sunuldukça beraberinde konfor ve kolaylık getirmiştir. Öyle ki motorlu araçların geliştirilmesi ile insanlar çok uzun mesafeleri kolaylıkla kat etmeye başlamış mesafeler kısalmıştır. Motorlu araçların geliştirilmesi yeni motor türlerinin ortaya çıkmasına neden olmuş ve uçaklar kullanılmaya başlanmıştır. Uçaklarla kıtalar arası yolculuklar bile daha kolay hale gelmiştir. Ağır yük taşıyan gemilerin icat edilmesi ile kıtalar arası yük taşımacılığı gelişmiş ve ekonomik yaşam bu doğrultuda şekillenmiştir. Tüm bu gelişmeler motorlu araçların kullanımını günümüzde bir zorunluluk haline getirmiştir. Bu gelişmeler devam ederken motorlu taşıt sayısı hızla artmaya devam etmiş ve hayatın tüm aşamasında kullanılmaya başlanmıştır. Hızla artan taşıt sayısı beraberinde bazı sorunlar getirmiştir. Bu sorunların en başında hızla artan araç sayısına yetecek kadar yakıtın temini, taşıt yakıtlarının getirdiği ekonomik boyut, stratejik önem ve çevreye verdikleri etkilerdir. Petrol ve türevleri dediğimiz yakıtlar günümüzde artık sadece motorlu araçlarda değil elektrik üretiminden bahçemizde

kullandığımız küçük su motorlarında hatta çim biçme makinelerinde dahi kullanılmaktadır [4].

Ülkemizde tüketilen petrolün %92'sine yakını yurt dışından satın alınmaktadır [5]. Öyle ki günümüzde %92'lik petrol alımı ülkemiz ekonomisine her yıl ortalama 50 milyar dolar bir ek maliyet getirmektedir. Bu nedenle ülkemiz açısından yeni yenilenebilir ve milli kaynaklarla üretilebilen yakıtların üretiminin önemi giderek artmaktadır. Bu nedenle ülkemizde daha önceden sadece elektrik üretiminden sorumlu genel müdürlük düzeyindeki Enerji İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nün (EİE) adının Yenilenebilir Enerji İşleri Etüt İdaresi olarak değiştirilmesi ülkemizin bu konudaki tutumunu daha net sergilemektedir. İsmi değişen kurum ülkemizde örnek yenilenebilir enerji projelerini gerçekleştirmek ve kamuoyunu yenilenebilir enerji kaynakları hakkında aydınlatma faaliyetleri de yürütmektedir. Bunun yanında birçok üniversite yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırmasına yönelik ARGE merkezleri kurmuş ve ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliğini artırma çalışmaları yürütmektedir. Bu nedenle birçok firma yatırımlarını motorlu araçlarda kullanılan alternatif yakıtlar üzerine yapmaktadır. Alternatif yakıt kullanımının bir diğer boyutu da çevresel etmenlerdir. Motorlu taşıtların egzozlarından çıkan gazların çevreye verdiği zararların giderek önlenemez boyuta gelmesi ülkeleri çevreye duyarlı araçlar ya da yakıtlar üretmeye itmiştir. Avrupa Birliği 2015 yılına kadar kademeli olarak benzinin içerisine etanol ilavesini zorunlu kılmıştır [4, 5]. Motorlu araçların yakıtlarının gerek stratejik öneminden, gerek çevre duyarlılığı ve gerekse ekonomik boyutundan dolayı milli ve yenilenebilir kaynaklarla üretilmesi ve petrole alternatif olarak çeşitlendirilmesi önemlidir.

Bu nedenle üzerinde durulan konulardan birisi de artıkların değerlendirilerek yakıt üretilmesidir. Son yıllarda birçok tarım artığının biyoyakıt üretiminde kullanıldığı çalışmalar hız kazanmıştır. Tarımsal kökenli yakıtları iki grupta incelemek gereklidir. Bunlardan ilki tarımsal artıkların (mısır sapı, buğday sapı, şeker pancarı küspesi) fermantasyonu sonucunda üretilen alkol (etanol, metanol, bütanol, vb.) yakıtlarıdır. Diğer grup ise özel olarak yetiştirilen bitkilerin yağlarından elde edilen ya da artık olan hayvansal ve bitkisel yağların alkoller ile reaksiyonu sonucu elde edilen biyodizel yakıtlarıdır. Biyodizel dünya üzerindeki her türlü organik kökenli yağdan

üretimi yapılabilen bir sıvı yakıt türüdür. Yağ fabrikalarının yemeklik özelliği göstermeyen yağları, yemeklerde kullanılmış bitkisel ve hayvansal atık yağlar, deri fabrikalarının artık yağları, hayvan kesim yerlerinin artıkları, balık işletmelerinin artıkları hepsi içten yanmalı motorlar için yakıt olarak değerlendirilebilir nitelikte kaynaklardır. Burada temel amaç hangi kaynağın hangi üretim metodu ile değerlendirileceğinin seçilmesidir. İçten yanmalı motorlarda yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için tercih edilen yöntemler özetlenmeye çalışılmıştır. Bu yöntemler;

- Organik kökenli yağların dizel yakıtı ile karıştırılarak seyreltilmesi,
- Yağların alkollerle (etanol, metanol, bütanol vb.) karıştırılarak (mikro emülsiyon yöntemiyle) özelliklerinin iyileştirilmesi,
- Piroliz yöntemi (vakum ortamında yüksek sıcaklıkta işleme tabi tutulması) ile organik kökenli yağların yapısının dizel yakıtına yaklaştırılması,
- Transesterifikasyon yöntemi ile dizel yakıtına yakın yakıt elde edilmesi,
- Süper kritik yöntem ile biyodizel üretilmesi, [2-4,6].

Bu çalışmada, ülkemizde atık sınıfına giren zeytin küspesi yağı (ham pirina yağı) ve şeker pancarı küspesinin fermantasyon atığı olan fuzel yağı kullanılarak biyodizel üretilebilirliği ve üretilen yakıtın dizel bir motorda kullanılmasının sonuçları incelenmiştir. Bu amaçla ilk olarak biyodizel üretim parametrelerine etki eden (alkol çeşidi, alkol miktarı, katalizör çeşidi, katalizör miktarı, reaksiyon süresi ve reaksiyon sıcaklığı) parametreler değiştirilerek biyodizel üretimi gerçekleştirilmiş ve biyodizel üretimi için en uygun üretim koşulları tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen biyodizelin kimyasal ve fiziksel özellikleri tespit edilmiş, dizel yakıtına hacimce değişik oranlarda biyodizel (%5, %10, %25, %50) ilave edilerek ve saf olarak (%100 biyodizel) tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorunda değişik motor hızlarında (1600 1/min, 2000 1/min, 2400 1/min ve 2800 1/min) ve değişik motor yüklerinde (4,5 Nm, 7,9 Nm ve 10,3 Nm) deneyerek motor performansı (motor gücü, motor momenti, fren özgül enerji tüketimi, (FÖET), egzoz gaz sıcaklığı) ve motor emisyonları (NO_x, HC, CO, ve is) bakımından incelenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde bu çalışmaya ışık tutan benzer çalışmaların özeti verilmeye çalışılmıştır. Literatür taraması yapılırken, yüksek yağ asidi içeren yağlardan biyodizel üretimi, biyodizelin motorda kullanımı ve fuzel yağı ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

2.1. BİYODİZEL ÜRETİMİ

Bu kısımda biyodizel üretimi ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar verilmiştir.

Yüksek serbest yağ asidine (YSYA) sahip yağlardan biyodizel üretiminin yapılabilirliği Çanakçı tarafından araştırılmıştır. Yaptığı çalışmada %1'nin üzerinde SYA içeren yağlardan transesterifikasyon yöntemi kullanılarak doğrudan biyodizel üretiminde, sabunlaşan maddelerin fazlalaştığını ve yıkama işleminin sayısının artarak üretime ek bir maliyet getirdiğini bildirmiştir. Bu nedenle biyodizel üretimini iki aşamalı olarak gerçekleştirmiştir. İlk basamak YSYA sahip yağların SYA miktarının %1'nin (2 mg KOH/g) altına düşürülmesidir. SYA miktarının düşürme işlemini sülfürik asit metanol karışımı kullanılmış yağ ile 50-60°C sıcaklıkta ve 4 saat reaksiyona tabi tutarak gerçekleştirmiştir [6].

Atık kızartma yağlarının hammadde olarak kullanıldığı uygulamalarda SYA miktarının sınır değeri ön plana çıkmaktadır. Genel olarak atık kızartma yağlarının serbest yağ asitleri miktarının kütlece %2'nin üzerine çıktığı belirlenmiştir. Bu durumda alkali katalizör kullanımından önce serbest yağ asidi oranlarının azaltılması gerekmektedir. Bunun için tavsiye edilen yöntemlerden birisi, yağın sülfürik asitin katalizörlüğü eşliğinde metil alkol ile esterleştirilmesidir. Bu yöntem ile yağın içindeki serbest yağ asitleri miktarının %0,5 oranının altına indirilebileceği bildirilmiştir [7,8].

Çanakçı ve Gerpen, %9 ve %40 üzeri SYA içeren yağlardan biyodizel üretiminin gerçekleştirilmesi için 190 litrelik bir biyodizel üretim tesisi kurmuşlar ve SYA miktarının biyodizel üretim maliyetine etkisini incelemişlerdir. %9 ve %40 SYA içeren yağlardan transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilebilmesi için hazırladıkları pilot tesiste üç aşamalı bir üretim metoduyla biyodizel üretimini gerçekleştirebilmişlerdir. Bunun için ilk olarak yağın SYA miktarını azaltmak için hammaddeyi sülfürik asit ve metanol ile tepkimeye sokmuşlardır. Bu işlem sonunda SYA miktarının biyodizel üretimi için yeterli olmadığını gördüklerinde bu işlemi tekrarlamışlardır. Sonrasında yağın SYA miktarını azaltarak yağı NaOH katalizörü eşliğinde 55-60°C sıcaklıkta 4 kez reaksiyona sokarak biyodizel üretimini gerçekleştirebilmişlerdir. Yüksek SYA içeren atık yağlardan %96,7 varan verim ile biyodizel üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Fakat yağ asidi oranının artması ile biyodizel reaksiyonuna ilave edilen alkol miktarı ve biyodizeli saflaştırmak için kullanılan yıkama sayısı miktarının arttığını bildirmişlerdir [9].

El-Mashad vd. somon balığı yağından biyodizel üretimini incelemişlerdir. Elde ettikleri numunedeki somon balığı yağının SYA miktarını 12 mg KOH/g olarak belirlemişlerdir. Bu değerın transesterifikasyon yöntemi ile direk biyodizel üretimi için uygun olmadığını ifade eden araştırmacılar SYA miktarını düşürmek için yağı sülfürik asit ile tepkimeye sokarak yağın SYA miktarını 3 mg KOH/g civarına düşürmüşlerdir. İlk aşamada SYA miktarını düşürdükleri yağdan bazik katalizörlü transesterifikasyon tepkimesi ile biyodizel üretebilmişlerdir. Biyodizel üretiminde en iyi verimin 52±2°C'de 600 (1/min) karıştırma hızında hacimce %9,2 metanol ve kütlece %0,5 KOH ile gerçekleştirildiğini ve en verimli biyodizel dönüşümünün bu oranlarda olduğunu bildirmişlerdir [10].

Berchmans ve Hirata yüksek SYA içeriğine sahip Jatropha (hint fıstığı) tohumu yağından biyodizel üretimi üzerine çalışmışlardır. İncelemeleri sonucunda hint fıstığı tohumlarının yağının %15 SYA içerdiğini görmüşlerdir. Bu nedenle geliştirdikleri iki aşamalı biyodizel üretimi ile hint bitkisi tohumu yağından biyodizel üretimi gerçekleştirebilmişlerdir. İlk aşamada kütlece 0,60 metanol/hint tohumu yağı ve kütlece %1 H₂SO₄ ile 50°C sıcaklıkta bir saat boyunca yağı reaksiyona sokmuşlardır. Tepkime sonunda 2 saat dinlendirilen karışımda farklı katmanların oluştuğunu

bildirmişlerdir ve ikinci aşamaya geçmişlerdir. İkinci aşamada ise ilk aşamada reaksiyona tabi tuttıkları karışımı, kütlece 0,24 metanol/yağ ve kütlece %1,4 NaOH katalizörü ile 65°C sıcaklıkta iki saat daha tepkimeye sokmuşlardır. Tüm bu işlemlerden sonra biyodizel veriminin %90 düzeyinde olduğunu bildirmişlerdir [11].

Ramaraju ve Kumar, Punnakka bitkisi yağından biyodizel üretimini ve biyodizel üretimine etki eden parametreleri incelemişlerdir. Biyodizel üretiminde kullanılacak olan Punnakka bitkisinin yağının %19,8 SYA miktarına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bir asit ile reaksiyona soktukları yağın ilk aşama sonrasında SYA miktarının %19,8'den %2'ye indiğini görmüşlerdir. Bu aşamadan sonra biyodizel verimine etki eden alkol çeşidi, alkol miktarı, reaksiyon süresi ve reaksiyon sıcaklığı parametrelerinin biyodizel dönüşüm verimine etkilerini incelemişlerdir. Elde ettikleri en iyi koşulların kütlece %1 katalizör, 60°C sıcaklık ve hacimce %20 alkol oranı ile %92,5 oranında elde etmişlerdir [12].

Bojan vd. yaptıkları çalışmada YSYA içeren yağlardan biyodizel üretilebilirliğini incelemişlerdir. Transesterifikasyon yöntemini tercih ettikleri üretim şeklinde katalizör miktarını ve metanol miktarını değiştirerek optimum biyodizel reaksiyonu koşullarını tespit etmeye çalışmışlardır. Biyodizel üretim reaksiyonunda katalizör olarak KOH'i ve alkol olarak metanol kullanmayı tercih etmişlerdir. Optimum koşulların 60°C reaksiyon sıcaklığı, 6:1 mol metil alkol/yağ oranı ve kütlece %2,09 katalizör miktarında %80,1 verim ile elde ettiklerini bildirmişlerdir [13].

Gerpen tarafından YSYA içeren bitkisel ve hayvansal yağlardan heterojen katalizörlü biyodizel üretiminin nasıl yapılması gerektiğini anlattığı çalışmasında; SYA miktarının yaklaşık %5 kadar olduğu yağlardan doğrudan biyodizel üretiminin yapılabileceğini fakat reaksiyon için kullanılması gereken katalizör miktarının artırılması gerektiğini bildirmiştir. Artan katalizör miktarının ise sabunlaşmayı arttırdığı, bu sabunun biyodizel içerisinden arındırılması için daha fazla yıkama işleminin yapılması gerektiği ve bunun da maliyetleri arttırdığı söylenmiştir. Bu nedenle SYA miktarı yüksek yağlardan iki aşamalı biyodizel üretiminin daha etkili olduğunu ve biyodizel üretiminin bu şekilde yapılması gerektiğini önermiştir [14].

Chongkhong vd. YSYA sahip yüksek yağ asidine sahip palm yağından destilasyon yöntemi ile biyodizel üretilebilirliğini incelemişlerdir. Araştırmacılar bu yöntem ile optimum koşulları belirlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda en iyi verimin 100°C sıcaklıkta, 5,3/1 mol (alkol/yağ) oranında, kütlece %1 H₂SO₄ ile olduğunu ve biyodizel üretim veriminin %96'a kadar çıkabildiğini bildirmişlerdir [15].

Ramadhas vd. yüksek asit oranına sahip kauçuk tohumu yağından biyodizel üretimini ve biyodizel üretim parametrelerinin biyodizel verimine etkilerini incelemişlerdir. YSYA içeriğine sahip kauçuk tohumu yağlarını iki aşamalı bir üretim yöntemi ile biyodizele dönüştürmüşlerdir. İlk olarak kauçuk tohumu yağının asit miktarını tespit etmişlerdir. %17 SYA oranına sahip kauçuk tohumu yağının SYA miktarını %2'nin altına düşürmek için ilk olarak 70°C sıcaklıkta, kütlece %1,834 H₂SO₄ ve 8:1 mol (metil alkol/yağ) oranlarında 60 dakika boyunca reaksiyona tutarak yağın SYA miktarını %2'nin altına düşürmüşlerdir. %2'nin altına düşen yağdan doğrudan NaOH ve metanol yardımı ile biyodizel üretimini gerçekleştirmişlerdir. YSYA içeren kauçuk tohumu yağından %96'larda biyodizel dönüşümü verimi sağlayabilmişlerdir [16].

Dhara vd. YSYA içeriğine sahip neem tohumu yağından biyodizel üretilmesi ve dizel bir motorda kullanımının etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada bu tür yağların asidik katalizörlü reaksiyon ile iki aşamalı olarak biyodizele dönüştürülebildiğini ve katalizör olarak H₂SO₄ asidinin etkili olduğunu bildirmişlerdir [17].

Morsheda vd. kauçuk tohumu yağının biyodizel potansiyeli ve kauçuk tohumu yağından biyodizel üretimi ile ilgili araştırma yapmışlardır. Kauçuk tohumlarının yağlarını ekstraksiyon yöntemi ile %49 verimle elde ettiklerini bildirmişlerdir. Ayrıca kauçuk tohumları yağının ilk elde edilmesinden sonra geçen iki aylık sürede SYA miktarının %2'den %45'e kadar yükseldiklerini görmüşlerdir. %45 doğrudan biyodizel üretimi için uygun bir değer olmadığı için üç aşamalı üretim yöntemini seçmişlerdir. Bu nedenle YSYA içeren kauçuk tohumu yağının ilk olarak HCL asit ile tepkimeye sokmuş ve SYA miktarını iyileştirmeye çalışmışlardır. Daha sonra

NaOH katalizörü kullanarak biyodizel üretimine geçmişlerdir. En iyi sonuçların 60°C sıcaklıkta, 3/1 mol (metanol/kauçuk tohumu yağı) oranı ile 120 dakika reaksiyon süresi sonunda %98 oranında biyodizel dönüşüm verimi ile gerçekleştirdiklerini bildirmişlerdir [18].

Çanakçı, restoranlarda atık olarak ortaya çıkan yağlardan biyodizel üretimi yapılabilirliği üzerine bir araştırma yürütmüştür. Biyodizel üretiminde yağların SYA miktarının önemine vurgu yapmış ve özellikle 2 mg KOH/g asit miktarının, yağların biyodizele dönüştürülmesinde sabunlaşma miktarını arttırdığı için kritik bir ölçek olduğunu bildirmiştir. 2 mg KOH/g üzerinde asit içeren yağların doğrudan olarak yüksek verimde biyodizel üretiminin mümkün olmadığını bildirmiştir. Bunun için iki aşamalı bir üretim yönteminin kullanılması gerektiğini bildirmiştir. Bu iki aşamalı yöntemin ilk basamağının asidik katalizörü ile yağın SYA miktarının azaltılmasına yönelik olduğunu daha sonra asıl reaksiyona geçilmesi gerektiğini bildirmiştir. Uyguladığı bu yöntem ile SYA değeri %40'a kadar olan atık yağların bile rahatlıkla yüksek verimle biyodizel üretiminde kullanılabileceğini belirtmiştir [19].

Che vd. zeytin endüstrisinin bir yan ürünü olan pirina yağından biyodizel üretilebilirliğini ve SYA miktarını azaltacak optimum değerleri tespit etmeye çalışmışlardır. Pirina yağının yüksek SYA değerinden dolayı doğrudan biyodizel üretiminin yapılamadığını, bu nedenle biyodizel üretiminden önce yağın SYA miktarının düşürülmesi gerektiğini bildirmişlerdir. SYA miktarının iyileştirilmesi işlemi pirina yağını hacimce değişik alkol (metanol) oranları ve kütlece değişik H₂SO₄ katalizörü ile reaksiyona sokarak yapmışlardır. Böylelikle SYA miktarını düşürdükleri pirina yağının biyodizel üretiminde kullanılabileceğini ve zeytin endüstrisi için bir yan gelir olduğunu bildirmişlerdir. SYA miktarının düşürülmesinde verimine etki eden reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi, kütlece ilave edilen H₂SO₄ miktarının ve hacimce ilave edilen alkol miktarının oranının etkilerini incelemişlerdir. En iyi sonucun ise kütlece %1 H₂SO₄ ilavesi ile 50°C sıcaklıkta ve 0,40 m³/m³ (metil alkol/pirina yağı) oranında olduğunu belirtmişlerdir [20].

Çaynak vd. atık zeytin küspesi yağından biyodizel üretimi ve biyodizel üretimine etki eden reaksiyon verimlerini incelemişlerdir. İlk olarak zeytin küspesi yağını, H_2SO_4 katalizörü ile reaksiyona soktuklarını ve daha sonra NaOH katalizörü kullanarak biyodizel üretimini gerçekleştirdiklerini bildirmişlerdir. Zeytin küspesi yağından maksimum verim ile biyodizel dönüşümünün hacimce %30 alkol (metanol/yağ) oranında, $60^{\circ}C$ sıcaklıkta NaOH katalizörü ile 60 dakikalık reaksiyon sonunda elde edildiğini bildirmişlerdir [21].

Moghaddam vd. atık kızartma yağlarından biyodizel üretimi üzerine bir araştırma çalışması yürütmüşlerdir. Atık kızartma yağlarının SYA miktarının arttıkça doğrudan esterleştirme reaksiyonu ile biyodizel üretiminin başarılı olamadığını, bunun yerine iki aşamalı bir biyodizel üretim yönteminin tercih edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Bu nedenle ilk olarak %1, %2 ve %5 oranlarında H_2SO_4 katalizörü ile 12:1 metil alkol/atık yağ mol oranında 2 saat reaksiyona sokmuşlardır. Daha sonra NaOH katalizörü ile biyodizel üretimine geçmişlerdir. İki aşamalı biyodizel üretimi ile biyodizelin donma, akma ve bulutlanma noktalarının daha iyi değerlere sahip olduğunu bildirmişlerdir [22].

Hasuntree vd. restauranttaki kanalizasyon sistemine yerleştirilen atık yağ toplama sisteminden elde ettikleri yağlardan biyodizel üretilebilirliğini incelemişlerdir. Bu tür artıkların YSYA içerdiğini tespit eden araştırmacılar biyodizel üretiminin ancak iki aşamalı üretilebileceğini bildirmişlerdir. Bu nedenle atık yağları birinci aşamada 5:1 (metil alkol/yağ) mol ve kütlece %5 H_2SO_4 ile $60^{\circ}C$ sıcaklıkta 60 dakika reaksiyona sokmuşlar ve yağın asit miktarını tespit etmişlerdir. Bu işlem sonunda asit miktarının $60,38 \pm 2,22$ mg KOH/g'dan $11,60 \pm 1,60$ mg KOH/g'a düşürebildiklerini bildirmişlerdir. Ayrıca yaptıkları çalışma sonunda reaksiyona katılan sülfirik asit miktarının artırılmasının SYA miktarındaki azalmayı etkilemediğini fakat alkol miktarının artırılması ile birlikte SYA miktarının daha fazla azalma gösterdiğini belirtmişlerdir [23].

Kafadar, yaptığı doktora tezinde atık ya da doğal yollardan elde edilmiş yağlardan biyodizel üretiminde kullanılan parametrelerin biyodizel dönüşüm verimi ve biyodizelin özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yaptığı çalışma sonucunda

hangi yağ türü olursa olsun alkol/yağ oranı, katalizör türünün ve miktarının biyodizel yoğunluk, akma noktası, viskozite, donma noktası, yanma ısısı gibi temel özelliklerini doğrudan etkilediğini bildirmiştir [24].

Özalp, balık atıklarından yağ elde edilmesi ve bu yağdan biyodizel üretiminin yapılabilmesi üzerine yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında elde ettiği balık atık yağlarını rafine edilmiş kanola yağı ile karıştırarak ürettiği biyodizelde, kanola yağı ile karıştırmanın sonucunda daha az NaOH katalizörü kullanması gerektiğini görmüştür. Kanola yağı içerisine hacimce (%10, %20, %30, %40 ve %50) karıştırdığı balık atığı yağının artması ile ürettiği biyodizelin standartların dışına çıktığını da bildirmiştir. Özalp yaptığı çalışmada, en iyi sonucun %80 kanola yağı %20 balık atığı yağı, 6:1 mol (alkol/yağ) oranında ve kütlece %1,5 NaOH ile gerçekleştiğini belirtmiştir [25].

2.2. BİYODİZELİN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YAKIT OLARAK KULLANIMI

Bu bölümde biyodizelin içten yanmalı motorlarda kullanımının etkileri daha önce yapılan çalışmalar incelenerek araştırılmıştır.

Aktaş ve Sekmen, dört zamanlı tek silindirli bir dizel motoru biyodizel ile çalıştırmışlar ve motorun püskürtme avansının yakıt ekonomisine, motor performansına ve emisyonlara etkilerini incelemişlerdir. Dizel motoru 24,9, 26,6 ve 28,5 derece krank mili açısı ($^{\circ}$ KMA) püskürtme zamanlamalarında çalıştırarak deneylerini tekrarlamışlardır. Çalışma sonucunda püskürtme avansının 26,6 $^{\circ}$ KMA'ya ayarlanması ile motor momenti ve efektif güçte %6 artış ve özgül yakıt tüketiminde %8 iyileşmenin olduğu ve bunun yanında karbon monoksit (CO) ve hidro karbon (HC) emisyonlarında azalmaların olduğunu bildirmişlerdir [26].

Sekmen ve Aktaş, dört silindirli dört zamanlı dizel bir motorunda da 1400-2400 1/min motor hızı aralığında soya metil esteri ile yaptıkları çalışmada dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte motor gücünde düşüşün, özgül yakıt tüketiminde ise dizel yakıtına göre artışın olduğunu bildirmişlerdir. Motor gücündeki düşüşün ve

yakıt tüketimindeki artışın biyodizelin ısı değeri düşük olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Egzoz emisyonlarını da inceleyen araştırmacılar CO, HC, azot oksitler (NOx) ve duman emisyonlarında dizel yakıtına göre iyileşmelerin olduğunu bildirmişlerdir [27].

Usta vd. yaptıkları çalışmada sabun fabrikasında sabun üretimi sırasında arta kalan atıklardan biyodizel üretiminin yapılabilirliğini ve dizel bir motorda emisyon ve motor performansına etkilerini incelemişlerdir. Farklı yakıt (%82,5 dizel + %17,5 biyodizel) karışımları ve motorun farklı gaz kolu konumlarında motorun deneylerini tekrarlamışlardır. Dizel yakıtına ilave edilen biyodizel ile motor gücünde düşüşün, özgül yakıt tüketiminde artışın ve NOx emisyonları haricindeki emisyonlarda genel olarak bir değişimin olmadığını bildirmişlerdir [28].

Çanakçı ve Gerpen, YSYA içeren atık yağlardan ve soya yağından biyodizel üretimi ve dizel bir motorda kullanımının emisyon ve motor performansına etkilerini incelemişlerdir. Dizel yakıtına hacimce %20 oranında ilave ettikleri iki farklı biyodizelin motor gücünü düşürdüğünü, yakıt tüketimini arttırdığını is emisyonlarını azalttığı fakat NOx emisyonunlarını arttırdığını bildirmişlerdir [29].

Kannan ve Marappan, kanola yağı biyodizeli ve dietileter/su karışımlarının motor performansına ve motor emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Bunun için dizel yakıtı ve biyodizele hacimce %5, %10, %15 ve %20 oranlarında karıştırdıkları dietiletere ve aynı oranlarda su ilave edilmiş yakıtlarla deneylerini tekrarlamışlardır. %20 dietileter biyodizel karışımının motor performansını arttırdığını ve emisyonlar bakımında da en iyi sonuçların elde edildiğini bildirmişlerdir [30].

Dhar ve Agarwal, yaptıkları çalışmada Kaju bitkisinin yağından elde ettikleri biyodizeli kullanmışlardır. Motor deneylerini hacimce hazırladıkları %5, %10, %20, %50 ve saf olarak kullandıkları %100 biyodizel yakıtlarını sabit motor hızında ve değişik motor yüklerinde tekrarlamışlardır. %20 biyodizel oranı ile motor torkunda %10'luk bir artışın olduğunu fakat dizel yakıtına ilave edilen biyodizel miktarının artması ile birlikte motor torkunda düşüşün görüldüğünü bildirmişlerdir. Bu nedenle kaju bitkisinin biyodizelinin %20'ye kadar direkt püskürtmeli bir dizel motorunda

kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca dizel yakıtına hacimce ilave edilen biyodizel miktarının %20'nin üzerine çıkması ile birlikte yanmanın daha erken başladığı ve maksimum silindir basıncının azaldığını bildirmişlerdir [31].

Wail ve Khaled, atık bitkisel yağlardan elde ettikleri biyodizeli dizel yakıtına hacimce %5 ve %20 oranlarında karıştırarak bir dizel motorunda 1200 ile 1600 1/min motor hızlarında denemişlerdir. Biyodizel kullanımı ile fren özgül yakıt tüketiminde %5,95'lik bir artışın olduğunu, NO_x emisyonunun arttığını, CO ve HC emisyonlarının ise azaldığını bildirmişlerdir [32].

Qui vd. dizel bir motorda dizel yakıtı ve %100 kolza biyodizeli kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkilerini incelemişlerdir. Biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre silindir içi maksimum basıncın azaldığı ve tutuşma gecikmesi süresinin kısaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca, biyodizel kullanımı ile birlikte CO, NO_x, HC ve is emisyonların da azalmanın olduğunu tespit etmişlerdir [33].

Karabektaş, yaptığı çalışmada turbo şarjlı dört silindirli bir dizel motorunda biyodizel kullanımının motor performansına (motor gücü, motor moment, yakıt tüketimi ve efektif verim) ve motor emisyonlarına etkilerini incelemiştir. Motor deneylerini 1200 1/min ile 2400 1/min motor hızları arasında 200 1/min artırarak tekrarlamıştır. Bu koşullarda motoru turbolu ve turbosuz olarak çalıştırmış ve turbonun etkilerini de incelemiştir. Deney sonuçlarında turbolu ve doğal emişli motorda biyodizel ilavesi ile birlikte fren termik veriminin artmakta olduğunu fakat motor torkunun düştüğünü belirtmiştir. Ayrıca, biyodizel kullanımı ile NO_x emisyonlarının arttığı fakat CO emisyonlarının azaldığını bildirmiştir [34].

Jaichandar ve Annamalai, farklı silindir tipine sahip dizel bir motorda biyodizel kullanımının motor performansına ve emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Silindir içi basıncın da ölçüldüğü çalışmada ısı yayılım oranı hesaplanarak daha etkili bir yanma analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmada biyodizel kullanımı ile silindir içi maksimum basıncın arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca biyodizel kullanımı ile yanmanın daha erken başladığı ve maksimum basıncın üst ölü noktaya (ÜÖN) doğru kaydığını belirtmişlerdir [35].

Chauhan vd. kaju bitkisi yağından elde ettikleri biyodizeli (%5, %10, %20, %30) yakıt karışımları ve saf olarak (%100) kullanarak dizel bir motorda emisyon ve motor performansına etkilerini incelemişlerdir. Biyodizel kullanımı ile birlikte yanmanın erken başladığını, silindir içi maksimum basıncın azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca biyodizel oranının artması ile birlikte CO₂ ve NO_x emisyonlarının arttığını, CO, is ve egzoz gazı sıcaklığının ise azaldığını belirtmişlerdir [36].

Çelikten ve Arslan, kanola yağı ve soya yağı metil esterlerin dizel bir motorda emisyon ve performanslara etkilerini incelemişlerdir. Normal dizel yakıtı ile yukarıda belirtilen alternatif dizel yakıtları, 4 zamanlı ve 4 silindirli direkt püskürtmeli dizel motorunda denemişlerdir. Elde edilen sonuçlarda en yüksek motor performansının dizel yakıtı ile sağlandığını, daha sonra kanola ve soya yağı metil esterlerinin performans bakımından sıralandığını bildirmişlerdir. En düşük duman ve CO emisyon değeri kanola yağı metil esteri yakıtı ile elde edilmiştir. Ancak, normal dizel yakıtı NO_x değeri, kanola ve soya metil esterlerinkinden daha düşük çıkmıştır [37].

Hossain vd. evsel atık çamurundan elde ettikleri pirolitik yağ ile biyodizeli %20 ve %30 oranında karıştırmışlardır. Elde ettikleri karışımı dört zamanlı bir dizel motorunda denemişlerdir. Biyodizel ile harmanlanan yakıt karışımının dizel yakıtına göre CO ve NO_x emisyonlarında azalmaya, CO₂ emisyonlarında ise artışa neden olduğunu bildirmişlerdir [38].

Lee vd. farklı biyodizel tipleri ile yakıtın püskürtme mekanizmasını kontrol etmişlerdir. Tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorunda yaptıkları deneylerde biyodizel kullanımı ile yanmanın erken başladığını ve silindir içi basıncın azaldığını bildirmişlerdir [39].

Alptekin ve Çanakçı, beş yenilebilir bitkisel yağdan (ayçiçeği, soya fasulyesi, kanola, mısır ve pamuk) biyodizel üretimi yapmışlardır. Dizel yakıtına hacim bazında %2, %5, %10, %20, %50 ve %75 ilave ettikleri biyodizellerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiş ve motorda kullanılmalarının etkilerini bildirmişlerdir. Genel

olarak yaptıkları biyodizel oranlarında %20 ilavenin yakıtın kimyasal ve fiziksel özelliklerinde değişime neden olmadığını bildirmişlerdir [40].

Sayın vd. metanol-biyodizel ve dizel yakıtı karışımlarının motor performansına ve emisyonlara etkilerini incelemişlerdir. Tek silindirli bir dizel motorunda değişik enjektör püskürtme zamanlaması ve enjektör püskürtme basınçlarında deneylerini tekrarlamışlardır. Püskürtme zamanlamasının biyodizel kullanımı ile değiştiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle biyodizel kullanımında püskürtme zamanlamasının değiştirilerek motor performansının artırılabilceğini belirtmişlerdir. Ayrıca enjektör püskürtme basıncının orijinal değeri olan 200 bardan 220 bara artırılmasının emisyon ve motor performansına olumlu etkiler yaptığını bildirmişlerdir [41].

Büyükkaya, kolza tohumu yağından elde ettiği biyodizel ile hacimce %5, %20, %70 (biyodizel + dizel) yakıt karışımları ve %100 biyodizel yakıtını kullanarak motor performansı ve emisyonlarına etkilerini incelemiştir. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte motor gücünün düştüğünü fren özgül yakıt tüketiminin arttığını ve egzoz gazı sıcaklığının azaldığını bildirmektedir. Ayrıca HC, CO emisyonlarında azalma NOx emisyonunda artma olduğunu bildirmiştir [42].

Gümüş vd. biyodizel dizel karışımı ile çalışan dört zamanlı tek silindirli bir dizel motorunda motor performansı ve emisyonlara etkileri incelemişlerdir. Artan enjektör püskürtme basıncının %50 (%50 biyodizel, %50 dizel yakıtı) ve %100 biyodizel kullanımında CO₂, O₂ ve NOx emisyonlarında artma olduğunu fren özgül yakıt tüketiminde ise azalmanın olduğunu bildirmişlerdir [43].

Özener vd. soya fasulyesi yağından ürettikleri biyodizeli kullanarak %10, %20, %50 (dizel yakıtı +biyodizel) karışım oranları ve %100 biyodizel yakıtı ile dizel bir motorda motor performansı ve emisyonlara etkilerini incelemişlerdir. Silindir basıncını ölçerek daha gerçekçi bir yanma analizi yapmışlardır. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte yakıtın daha erken tutuşmaya başladığını ve yanmanın erken başladığını bildirmişlerdir. Ayrıca biyodizel ilavesi ile birlikte motor gücünde azalmanın olduğunu, özgül yakıt tüketiminin arttığını ve CO, HC emisyonlarının azaldığını fakat NOx ve CO₂ emisyonlarının ise arttığını bildirmektedirler [44].

2.3. FUZEL YAĞI

Bu kısımda fuzel yağı ile yapılan çalışmalar özetlenmektedir.

İçingür ve Calam, fuzel yağının buji ateşlemeli bir motorda kullanımının emisyonlara ve performansa etkilerini incelemişlerdir. Fuzel yağını herhangi bir işleme tabi tutmadan dört zamanlı tek silindirli buji ateşlemeli bir motorda benzinin içerisine hacimce %10, %20 ve %30 oranlarda karıştırarak deneylerini tekrar etmişler ve motor emisyonu ve motor performansı açısından kullanım sonuçlarını incelemişlerdir. Değişik motor hızlarında ve maksimum motor momentini veren ateşleme zamanında yapılan deneylerde, fuzel yağı ilavesi ile motor momentinde artış olmuş ve en yüksek artışı %30 yakıt karışımı ile %3,4 olarak elde edildiğini bildirmişlerdir. Bütün motor hızlarında özgül yakıt tüketimi, karışımdaki fuzel yağı miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. En yüksek artış %30 yakıt karışımı ile %7,7 olarak elde edilmiştir. NO_x emisyonları karışımlardaki fuzel yağı miktarına bağlı olarak azalırken, HC ve CO emisyonları artış göstermiştir [45].

Güvenç vd. fuzel yağından değerli alkollerin üretimi üzerinde çalışmışlardır. Fuzel yağının bir alkol bileşiği olduğunu bildirdikleri çalışmada fuzel yağının değerli alkoller içerdiğini göstermek için damıtma yolunu seçmişlerdir. Genel olarak fuzel yağının hacimce %20 civarında su içerdiğini bildirmişlerdir. Su miktarını azaltmak için ilk olarak fuzel yağını su tutuculardan geçirmiş ve sonrasında damıtma düzeneği ile damıtmışlardır. Damıtma düzeneğinde Vigros kolonu kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma izoamil asetat alkol üretiminin %82 verim ile üretildiğini göstermektedir [46].

Patil vd. fuzel yağının potansiyeli ve farklı alanlarda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla fuzel yağını damıtarak içeriğini belirlemeye çalışmışlardır. Yapılan çalışmada fuzel yağından değerli alkollerin üretiminin yapılabileceğini bildirmişlerdir [47].

BÖLÜM 3

ZEYTİN VE ZEYTİN ENDÜSTRİSİ

3.1. ZEYTİN VE TARİHİ

İlk ıslahının Samiler tarafından yapıldığı düşünülen zeytin bitkisinin anavatanın Mardin, Hatay, Suriye, Filistin ve Kıbrıs adasını içerisine alan bölge olduğu kabul edilmektedir. Bu bölgelerde yapılan arkeolojik kazılar zeytin yetiştiriciliğinin Milattan Önce (MÖ) 4000’li yıllara kadar dayandığını göstermektedir [48].

Zeytin bitkisine Oleacea familyasının bir üyesi olan *Olea europaea* L. da denilmektedir. Zeytin tüm dini temelli kitaplarda kutsal kabul edilmiştir. Dünyada en eski tarımı yapılan ağaçlardan birisi olarak zeytin bitkisi kabul edilmektedir. Zeytinin ilk kökeninin tam olarak bilinmemesine karşın *Oleaster Olea Sylvestris*’ler tarımı yapılan en eski zeytin türü olduğu bilinmektedir [49,50].

Zeytinin bir kültür bitkisine dönüşmesi, MÖ 4000’lerde gerçekleşmektedir. Zeytin meyvesinin sıkılıp yağının çıkarılması ve zeytinyağının değişik yerlerde kullanımının yaygınlaştırılması işlemi ise MÖ 3500-3000 yılları arasında gerçekleştirilmektedir. Günümüzde Akdeniz’de yapılan arkeolojik araştırmalar, zeytinciliğin yaygın olarak yapıldığını bulunan yağ presleri, saklanan kaplar, vazo ve fresklere yansıyan artistik çalışmalarla ortaya çıkarmıştır [51].

Günümüzde ülkemizin birçok yerinde yetiştirilen zeytin bitkisi endüstrisi ile birlikte büyük bir sektör olarak değer kazanmaktadır.

3.2. ZEYTİNDEN ELDE EDİLEN YAĞLAR VE ÇEŞİTLERİ

Zeytin meyvesinden mekanik işlemler ile elde edilen zeytinyağının farklı türleri aşağıda verilmektedir.

Naturel Zeytinyağı: Zeytin meyvesinden zeytinyağının doğal özelliklerinin değiştirilmeyecek bir sıcaklıkta pres yardımıyla mekanik işleme tabi tutularak elde edilen kendine özgü tat ve kokuda olan doğal olarak da tüketilebilen gıda maddesidir.

Rafine Zeytinyağı: Zeytinyağının yapısında değişikliğe yol açmayan mekanik olarak işlenmesi sonucunda serbest asitlik derecesi (oleik asit cinsinden) en çok %0,3 olan rengi daha çok sarıya yakın olan gıda maddesidir.

Riviera Zeytinyağı: Serbest asitlik derecesi (oleik asit cinsinden) en çok %1,5 olan zeytinyağına verilen isimdir. Genelde rafine zeytinyağı ile natürel zeytinyağının karıştırılması ile meydana gelirler.

Ham Pirina Yağı: Zeytinin işlenmesi sonucunda arkada kalan küspeden ekstraksiyon sonucunda elde edilen yağa verilen isimdir. Serbest asitlik derecesi (oleik asit cinsinden) yüksektir. Kokusu ağır ve rengi yeşil olan bu yağın doğrudan olarak tüketilmesi de sağlığa zararlıdır.

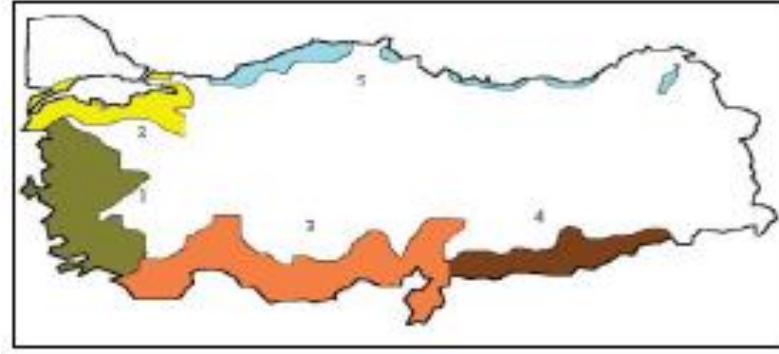
Pirina Yağı: Ham pirina yağının kimyasal yöntemlerle serbest asitlik derecesin azaltılması, kokusunun ve renginin giderilmesi sonucunda elde edilen yağdır. Bu yağlar sabun sanayinde ve kızartmalık yağ olarak da kullanılmaktadır [51,53].

3.3. TÜRKİYE'DE ZEYTİN VE ENDÜSTRİSİ

Zeytin ve zeytinyağı tarım ekonomisi açısından önemli bir sektör olup, nüfusun beslenmesi, tarıma dayalı sanayi sektörünün hammadde ihtiyacını karşılaması, potansiyel yapısı ile ihracata yaptığı katkı, istihdam sağlaması vb. nedenlerle ülkemizin ekonomik ve sosyal gelişmesinde önemli fonksiyonlar üstlenmektedir [52]. İklim özellikleri açısından seçicilik gösteren bir ürün olan zeytin Akdeniz havzası bitkisi niteliğinde olup, Türkiye'de sahip olduğu ekolojik koşullar nedeniyle zeytin tarımı açısından dünyadaki önemli ülkeler arasında yer almaktadır. Toplam 81 ilimizin %45'inde (36 il) zeytin üretimine rastlanmaktadır. Türkiye'de yaklaşık 778 bin hektar alanda 1,3 milyon ton üretim gerçekleştirilmektedir. Son 10 yıldaki fidan

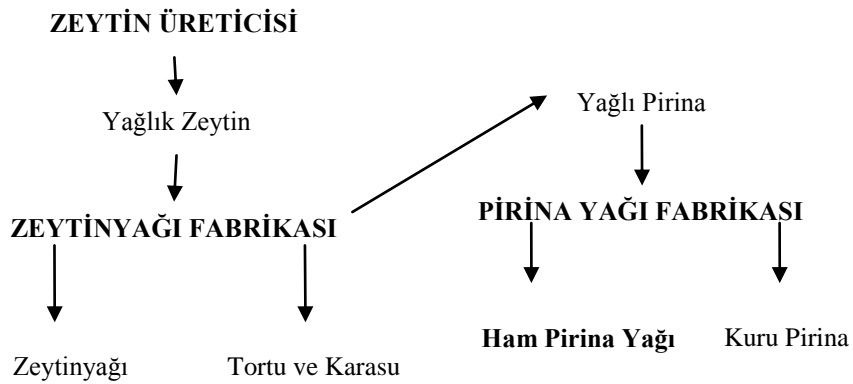
dikimleri ile Türkiye ağaç varlığının 153,723,057 adete ulaştığı bildirilmektedir [49-52].

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi ülkemizde zeytin yetiştiriciliği 5 bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler incelendiğinde Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü kıyı kesimleri olduğu görülmektedir. Fakat üretimin en büyük kısmı 1 nolu bölge çekmektedir [55-60].



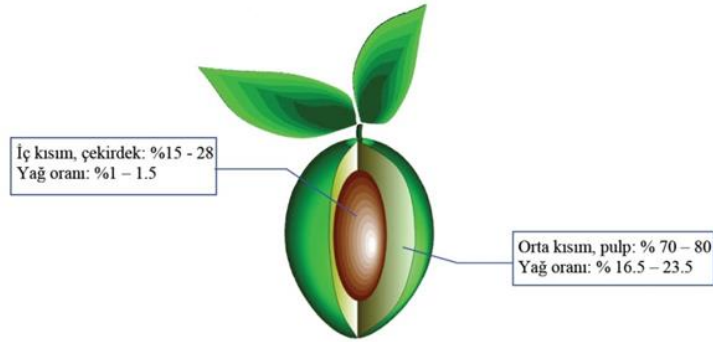
Şekil 3.1. Türkiye’de zeytin üretimin yapıldığı bölgeler [55-60].

Zeytin endüstrisi iki ana grupta incelenmektedir. Bunlar yemeklik gıda sektörü ve zeytinyağı üretimi endüstridir. Zeytinden zeytinyağı üretilmesi sırasında görülen işlemler Şekil 3.2’de görülmektedir. Hem modern hem de klasik işleme yöntemlerinde pirina çıkmaktadır. Fakat pirinadaki yağ miktarı zeytinyağı işleme yöntemine göre değişiklik göstermektedir.



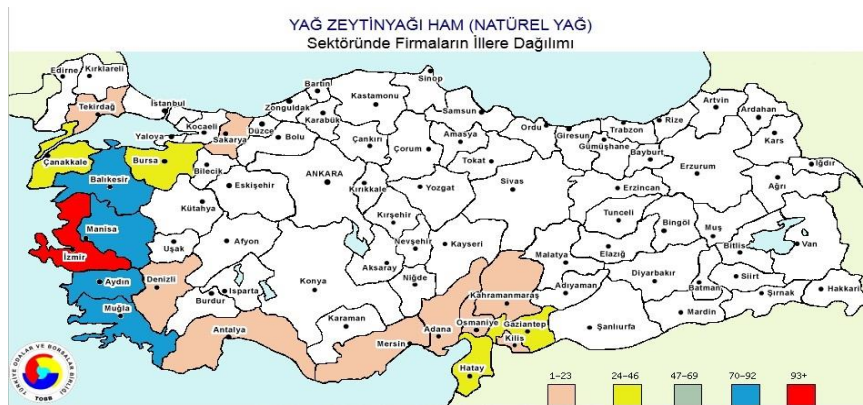
Şekil 3.2. Zeytinyağı üretim şeması [61-63].

Zeytin doğrudan tüketilemeyen bir meyvedir. Sofralarımızda tüketilebilmesi için belirli aşamalardan geçirilmesi gerekmektedir. Öncelikle üreticiden gelen zeytin sofralık ve yağlık olarak ayrılmaktadır. Sofralık zeytin temel bazı işlemlerden geçirilerek paketlenip satılabilirken, zeytinyağı üretiminde kullanılacak zeytinin fabrikalarda işlenmesi gereklidir [62,63]. Zeytinden yağ üretimi sırasında ürünün verimi birçok etkene bağlı olarak değişim göstermektedir. Bunlar zeytinin cinsi, toplanma şekli, toplanma zamanı ve yetiştiği ortam gibi faktörlerdir. Zeytin cinsine göre farklılık göstermesine rağmen Şekil 3.3’de gösterildiği gibi iki ana kısımdan oluşmaktadır. Zeytin meyvesinin en büyük kısmını oluşturan bölümü çekirdeğidir. Zeytinyağı üretimi sırasında zeytin çekirdeği, kabuk ve iç kısmı püre haline getirilen zeytinden yağ elde edilebilmektedir.



Şekil 3.3. Zeytinin kısımları [62,63].

Türkiye’de Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü kıyı illerimizde yetişen zeytinin sanayisi de aynı şekilde kıyı illerimizde yoğunluk göstermektedir. Şekil 3.4’de ülkemizde zeytinyağı üreten fabrikaların illere göre dağılımı verilmektedir.



Şekil 3.4. Zeytinyağı fabrikaları ve illere göre dağılımı [61,62].

Zeytinyağı üretiminde verimin artırılması çalışmaları Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının üzerinde durduğu bir konudur. Zeytinyağı verimi zeytinin cinsi, yetiştiği toprak ve iklim, toplanma şekli ve zamanı, taşıma şekli gibi değişken parametrelere bağlı olmakla beraber önemli bir değişken de zeytinyağı üretiminde kullanılan teknolojidir. Ülkemizde teknolojik altyapı yetersizliği verim ve zeytin ağacı başına alınan ürünün veriminin düşmesine neden olan etmenlerin başındadır.

Ülkemizde zeytinyağı fabrikalarının %90'nına varan kısmı tek fazlı üretim yapmaktadır. Çizelge 3.1'de bu fabrikaların dağılımları verilmektedir. Tek fazlı üretimde zeytinden zeytinyağı üretimi düşük verimle gerçekleşir. Elde edilen zeytin hamuru tek bir işlem ile pres edilir. İki fazlı sistemde önce zeytin hamuru bir mayalama ve pres sonra tekrar bir mayalama ve pres işlemine tabi tutulur. Bu nedenle tek fazlı üretim yöntemi verim olarak düşüktür. Bu da pirinada kalan yağın artmasına neden olmaktadır. Öyle ki tek fazlı üretimde pirinada kalan yağ miktarı %15'lere kadar çıkabilmektedir [58]. Pirinada kalan bu yağın ilk altı saat içinde işlenmesi, yemeklik zeytinyağı olarak kullanılmasında hayati öneme sahiptir. Geçen her saat pirinada bulunan SYA miktarını artırmaktadır. Yüksek SYA miktarına sahip ham pirina yağının ise yemeklik olarak kullanılması zorlaşmaktadır. Bu nedenle fabrikalar iki fazlı üretime geçmeye çalışmaktadır. İki fazlı üretimde hem zeytin karasuyu azalmakta hem de pirina da kalan yağ oranı %5-8'lere kadar düşüş göstermektedir. Ayrıca ikinci yağ üretimine de elverişli olan bu sistem ile yağ rekoltesi de yükseltilebilmektedir. Ülkemizde yeni yeni başlayan üç fazlı sistem ise zeytin karasuyunu azaltmak için geliştirilmiş ve hızla tercih edilmeye başlanmıştır. Burada gene zeytin küspesinin yağına müdahaleden çok, zeytinin işlenmesinde dışa çıkan karasuyunun azaltılması hedeflenmektedir.

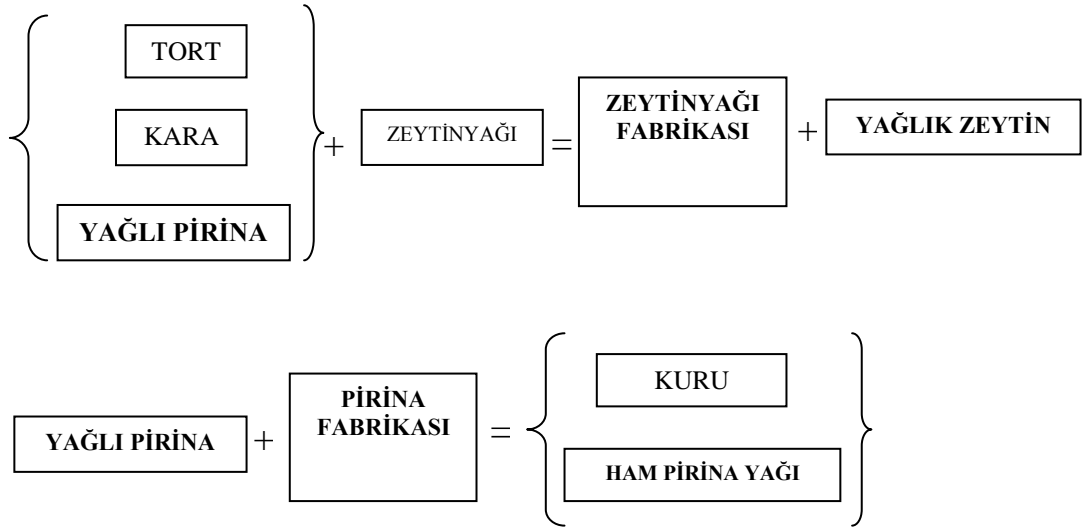
Çizelge 3.1'de zeytinyağı üretilen illerimizin listesi verilmektedir. Buna göre ülkemizde Sanayi Odasına Kayıtlı 622 fabrika mevcuttur. Fakat bu sayının kayıtsız işletmelerle birlikte 1000 civarında olduğu varsayılmaktadır. Bu fabrikaların %80'ne yakını 20 yıl ve üzeri işletilmektedir. 622 fabrikanın %90'nı tek fazlı üretim yapmaktadır. Pirinadan elde edilen ham pirina yağının kullanıldığı bir diğer alan da sabun sanayidir.

Çizelge 3.1. Zeytinyağı fabrikalarının illere göre dağılımı ve teknolojik alt yapıları [48-51].

İller	Fabrika Sayısı	Fabrikaların Yüzde Değeri (%)	Teknolojik Durumu (%)		
			1 Fazlı	2 Fazlı	3 Fazlı
İzmir	114	18,33	30	40	30
Tekirdağ	2	0,32	50	30	20
Çanakkale	29	4,66	65	10	25
Sakarya	1	0,16	100	0	0
Bursa	26	4,18	40	50	10
Balıkesir	91	14,63	30	40	30
Manisa	81	13,02	40	40	20
Aydın	78	12,54	35	45	20
Muğla	89	14,31	50	30	20
Denizli	1	0,16	100	0	0
Antalya	14	2,25	100	0	0
Mersin	17	2,73	100	0	0
Adana	1	0,16	100	0	0
Osmaniye	3	0,48	100	0	0
Hatay	44	7,07	60	10	30
K. Maraş	1	0,16	100	0	0
Gaziantep	24	3,86	90	10	0
Kilis	6	0,96	100	0	0
TOPLAM	622	100	40	40	20

Pirinayı alıp işleyen fabrikalar, zeytinyağı üreten fabrikaların olduğu illerde yoğunlaşmaktadır. Fakat sayı olarak zeytinyağı fabrikalarının %1'i kadardır. Toplamda 9 adet olan bu fabrikaların işleyebileceği günlük miktar ise toplam üretimin ancak %0,8'i kadardır [64,65].

Zeytinyağı üretimi bakımından yetersiz alt yapıya sahip olan ülkemizde pirinadan pirina yağı elde edilmesi yüksek maliyet ve yetersizliklerden dolayı tercih edilmemektedir. Bunun yerine pirina briketlenerek satışı yapılmaktadır. Şekil 3.5 pirinadan pirina yağının nasıl elde edildiğini şematik olarak açıklamaktadır. Burada pirinadan ilk elde edilen yağ ham pirina yağı denilmektedir. Yenilemeyecek kadar yüksek SYA miktarına ve ağır kokuya sahip olan yağın yemeklik olarak kullanılabilmesi için bazı kimyasal işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bu işlemler de ekstra maliyet gerektirmektedir.



Şekil 3.5. Pirinadan ham pirina yağı üretim şeması [60-65].

3.4. PİRİNA VE PİRİNA YAĞI

Zeytinin işlenmesi sonucunda arta kalan iki önemli maddeden birisi pirina ve diğeri de zeytin karasuyudur. Son yıllardaki gelişen teknoloji ile birlikte bu iki atık madde de işlevi olan maddelere dönüştürülebilmektedir.

Arta kalan ürün olan zeytin küspesi sanayi alanı ile birlikte önemli bir atıktır. Zeytinyağı fabrikalarında zeytinlerin sıkılmasından sonra arta kalan zeytin küspesine pirina (yağlı pirina); pirinada kalan yağın organik çözücülerle ekstraksiyon yolu ile bir miktar daha alınmasıyla elde edilen yağa pirina yağı, kalan pirinaya da yağsız pirina denilmektedir. Bu yağ elde eden fabrikaların çalışma şekilleri, kapasiteleri ve faaliyetlerinin tümü ise “pirina sanayi” olarak anılmaktadır. Zeytinyağı üretimi sırasında düşük maliyetle oldukça büyük miktarlarda elde edilebilen pirina; kükürt içermeyen alternatif yakıt olarak dikkate alınabilir. Pirinanın yan ürün olarak değerlendirilmeden atık madde olarak düşünülmesi çevre kirliliği açısından problemler yaratabilmektedir. Enerji üretiminde verimli ve uygun bir şekilde pirina kullanımı iki probleme birden çözüm sağlamaktadır;

- Temiz enerji üretimi,
- Zeytinyağı tesislerinin atığı olan bu maddenin tekrar kullanımı [66].

3.4.1. Pirina Yağı Elde Edilme İşlemleri

Pirinayı işleyecek fabrikalar zeytin hasat döneminde yoğun şekilde çalışmaktadırlar. İşlenecek pirinanın bazı özelliklere sahip olması pirinadan pirina yağı üretiminin verimini ve kalitesini değiştirebilmektedir. Temel olarak bakıldığında pirina içerisinde su, çekirdek ve pulp kısımları mevcuttur. Genel olarak yağ kalitesinin artması pirinada bulunan yağ oranının yüksek, nem oranının az olmasına bağlı olarak değişim gösterir.

Pirinadan, pirina yağının elde edilmesi işlemi için öncelikle pirinanın kurutulması ve sonrasında uygun bir yağ çözücü ile solventle ekstraksiyona tabi tutulması gerekmektedir.

100 kg pirinadan ortalama 8-11 kg pirina yağı ile 60-70 kg da yağsız kuru pirina elde edilir. Elde edilen pirina yağı, pirinanın hemen işlenmesi ve çıkan yağın rafine edilmesi şartıyla yemeklik olarak kullanılabilir.

Geleneksel hidrolik pres veya sürekli santrifüjleme işlemi uygulayan zeytinyağı fabrikalarından elde edilmesine bağlı olarak iki tip pirina tipi mevcuttur. Bu iki tip pirina sırasıyla %25-30 ve %45-55 nem içermeleri ile birbirinden ayrılmaktadır.

Diğer taraftan, zeytinden elde edilecek pirina ve yağ miktarı her ne kadar zeytin çeşidine, yağı işleme vb. durumlara bağlı ise de ortalama olarak 100 kg zeytinden 15-22 kg zeytinyağı ve 35-45 kg yağlı pirina elde edilebilmektedir [64-66].

Pirinanın rafinasyon aşamaları şunlardır:

- Zamkların uzaklaştırılması
- Asit Giderme (nötralizasyon)
- Renk giderme (dekolorizasyon)
- Koku Alma (deodorizasyon)
- Soğutma (vinterizasyon)
- Karıştırma

3.5. ÜLKEMİZDE PİRİNA YAĞINDAN YEMEKLİK YAĞ ÜRETİLEMESİNİN NEDENLERİ

Yağlı pirinadan elde edilen pirina yağı, zeytinyağı ile benzer özellikler göstermesine rağmen, ağır kokusu ve yeşil rengi ile zeytinyağından ayrı özellikte olduğu ilk görüşte anlaşılmaktadır. Hiçbir işlemde geçmeden yemeklik yağ olarak tüketilmesi sağlık açısından tehlikelidir. Yüksek yağ asidi değerine sahip yağların yemeklik yağ olarak kullanılmasında bazı işlemlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlemler yüksek maliyet girdisine neden olmaktadır. Bu nedenle yüksek yağ asidi içeren yağların, sabun sanayinde ya da kozmetik sektöründe kullanımı tercih edilmektedir. Pirina yağının asit oranı zeytinin cinsine, zeytinin dikili olduğu toprağa, zeytinin işleme teknolojisine, artık zeytin küspesinin işlenmesi için bekletilme zamanına bağlıdır [48,50,52,65,66].

Bu belirtilen nedenlerin yanı sıra aşağıdaki unsurlardan da artık zeytin küspesinden kaliteli ham pirina yağı elde edilememektedir.

- Zeytin hasat döneminin dört aylık bir süreye sıkışmış olması ve bu süre içinde artık zeytin küspesini işleyecek fabrikaların kapasitesinin yeterli olamaması.
- Zeytin üretiminin yoğun olarak yapıldığı bölgelerde pirina fabrikalarının yetersiz olması.
- Zeytinyağı fabrikalarının teknolojik alt yapısının yeterli düzeyde olmaması.
- Artık zeytin küspesini işleyen pirina fabrikalarının teknolojik alt yapısının yeterli düzeyde olmaması.
- Ülkemizde zeytinyağı üretiminin iç talebi karşılayacak düzeyde olması, pirina yağına ihtiyacın olmaması.
- Pirina yağının damak tadımıza uygun olmaması.
- Pirina yağının elde edilmesinin maliyetinin zeytinyağına eşdeğer olması.

BÖLÜM 4

DİZEL MOTORLARINDA YANMA VE EMİSYONLARIN OLUŞUMU

4.1. DİZEL MOTORLARINDA YAKITIN PÜSKÜRTÜLMESİ VE YANMANIN BAŞLANGICI

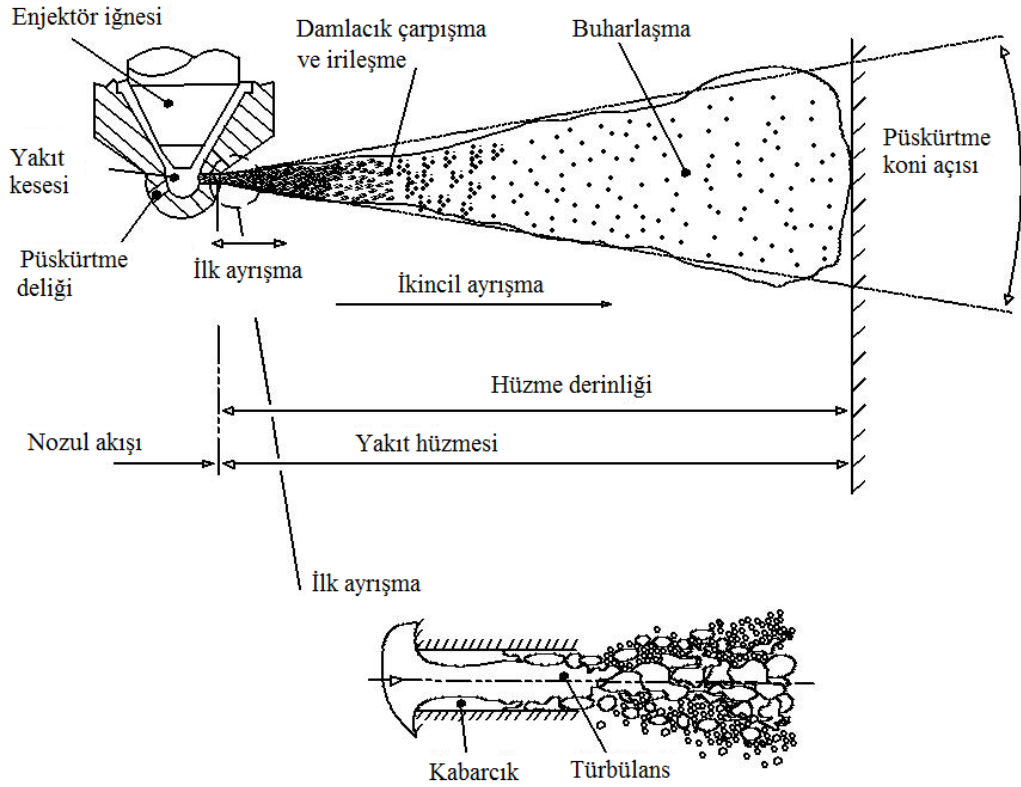
Dizel motorlarında yanmanın gerçekleşebilmesi için silindir içerisine alınan havanın sıkıştırılarak ısıtılması ve üzerine uygun miktarda yakıtın püskürtülmesi gerekmektedir. Püskürtme işleminden sonra tutuşma gecikmesi ve ardından yanma olayı gerçekleşir. Yakıtın ısınan hava üzerine yüksek basınçta, bir nozuldan (enjektör) püskürtülerek boşaltılması ile silindir içerisinde tutuşma gecikmesinden sonra ani bir yanma ve basınç yükselmesi meydana gelir. Bu olaya ani yanma safhası denir. Ani yanma safhasından sonra silindirler içerisinde kontrollü yanma ve kalan yakıtların yanmasına ise art yanma ismi verilmektedir [67,68].

Dizel motorlarından düzgün ve düzenli şekilde güç elde edilebilmesi yakıt püskürtme sisteminin düzenli olarak silindir içerisine yakıtı göndermesine bağlıdır. Genel olarak yakıt püskürtme sistemleri ön besleme pompası, yakıt boruları, yakıt filtresi, yakıt pompası ve enjektörlerden meydana gelmektedir. Tüm bu parçalar bir bütün halinde çalışarak aşağıdaki işlemleri gerçekleştirme görevini yerine getirmektedir.

- Silindirler içerisine sürekli yakıt temini sağlamak,
- Yakıt atomizasyonunu sağlamak,
- Motor yüküne ve motor hızına bağlı olarak silindirler içerisine yeterli miktarda yakıtı göndermek,
- Yakıtı doğru zamanda püskürtmek.

Yakıt sisteminin en önemli parçalarından birisi olarak kabul edilen enjektör, yakıt pompasının oluşturduğu yüksek basınçlı yakıt üzerindeki tekli ya da çoklu delikler

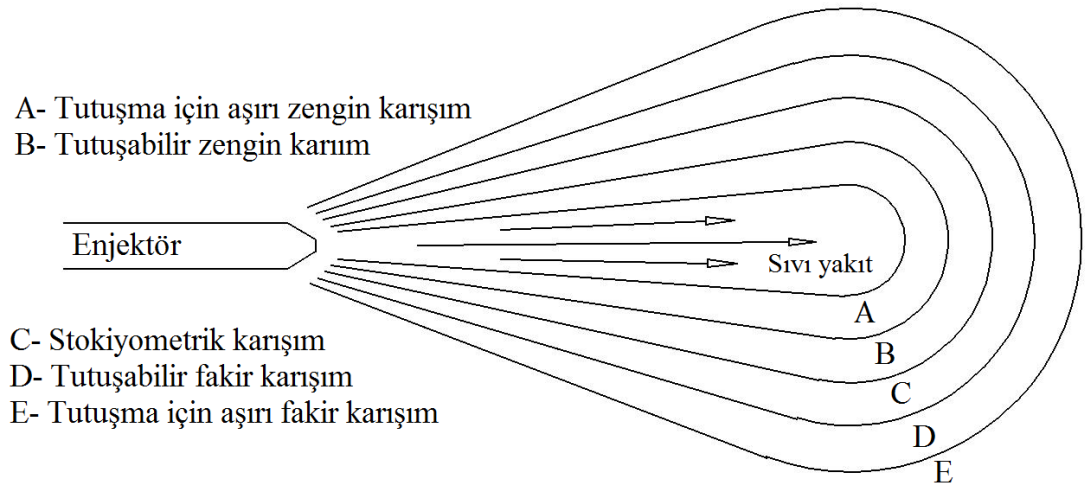
aracılığı ile püskürtmektedir. Bu deliklerin çapı 0,1 mm ile 1 mm arasında değişmektedir [67]. Enjektörler yakıtı hacimsel olarak ölçerek silindirler içerisine gönderir. Püskürtme esnasındaki yakıtın çapı enjektörü etkileyen püskürtme basıncına bağlı olarak değişmektedir. Silindir içerisine püskürtülen yakıtın hızı, yanma odasındaki art gazların basıncına, türbülansa ve yakıtın buharlaşma hızına bağlı olarak değişim göstermektedir. Yakıtın silindirlere püskürtülmesi esnasında yakıt demeti etrafında buharlaşma meydana gelir. Püskürtülen yakıt koni şeklinde ilerlerken yakıt demetinin merkezini sıvı haldeki yakıt parçacıkları oluşturur. Koni şeklindeki yakıt demetindeki yakıt parçacıklarının bozularak ilk tutuşmanın gerçekleştiği alana ilk ayrışma bölgesi denilmektedir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi ilk ayrışma esnasından yakıtın püskürtme açısının giderek arttığı durumda ikinci ayrışma safhası oluşmaktadır. Bu kısım yakıtın büyük bir kısmının ayrıştığı ve nüfuz derinliğinin giderek azaldığı kısımdır [68-71] .



Şekil 4.1. Dizel motorlarında yakıt huzmesinin oluşumu [68].

Yakıt hüzmesinin merkezindeki sıvı yakıt, hava-yakıt karışımından oluşan buhar tabakası tarafından çevrelenir. Sıvı yakıtın büyük bit kısmı yakıt hüzmesinin merkezinde yoğunlaşır.

Şekil 4.2’de yakıtın enjektörden püskürtüldükten sonra silindir içerisinde ilerlemesi ve hüzmesinin karışım oluşturma durumları görülmektedir.



Şekil 4.2. Yakıt hüzmesinin silindir içerisinde ilerlemesi ve karışım oluşturma durumu [72].

Yakıt hüzmesinin derinliği, enjektör nozulu ile yanma odası yüzeyleri arasındadır. Tam yük (uzun püskürtme periyodu) ve yüksek püskürtme basıncı veya erken püskürtme durumlarında yakıt hüzmesi silindir yüzeylerine çarpar ve silindir yüzeylerinde sıvı yakıt filmi oluşturur. Silindir duvarına çarpan yakıt hüzmesi silindir içerisinde yanmanın sıcaklığını düşürür ve HC ve is emisyonlarının oluşmasına neden olur. Çünkü silindir duvarındaki sıvı yakıt filminin buharlaşarak ideal hava/yakıt karışımının oluşması zorlaşır ve eksik yanma meydana gelir. Yakıt hüzmesinin derinliğinin çok kısa olması ise aşırı zengin karışımın oluşmasına ve dolayısı ile is ve HC emisyonlarının oluşmasına neden olur [72].

Dizel motorlarında kullanılan yakıtların fiziksel özelliklerinin (viskozite, yoğunluk, yüzey gerilmesi gibi) püskürtme karakteristikleri üzerine etkisi büyüktür. Özellikle yüksek viskoziteye sahip yakıtların kullanımında dizel motorlarında bazı

emisyonların arttığı bilinmektedir. Bunun temel sebebinin yüksek viskoziteli yakıtların kullanımı sonucunda enjektördeki yakıtın hava ile karışma hızının azalması ve atomizasyonun güçleşmesidir. Emisyonlardaki kötüleşmenin bir diğer sebebi ise yakıtın yoğunluğudur. Enjektörlerdeki silindirlere gönderilecek yakıt hacimsel olarak düzenlenmektedir. Bu nedenle artan yakıt yoğunluğu silindirlere gönderilen yakıt miktarını da artırmaktadır [72,73].

Emisyonları etkileyen bir diğer etmen de yakıtın yüzey gerilmesidir. Yüzey gerilmesi yakıt taneciklerinin birbirlerine olan yapışma meylini ifade eder. Bu nedenle yüzey gerilmesi yüksek yakıtlar, silindir içerisine püskürtme sonrasında yakıt taneciklerinin birbirlerine birleşerek daha büyük tanecikler oluşmasına neden olmaktadır. Taneciklerin birbirleri ile olan birleşmesi atomizasyonu etkileyerek yanmanın kötüleşmesine sebep olur [72].

Püskürtmenin sonuna doğru enjektör iğnesinin enjektör deliğini kapatarak yakıt akışının kısıması ile birlikte püskürtme hızı yavaşlar. Yakıt akışının azalması hüzm ekseninin bozulmasına sebep olur. Bu durum yakıt taneciklerinin boyutunu büyümesine ve yakıt atomizasyonun kötüleşmesine neden olur [68].

Genel olarak dizel motorlarında yakıtın silindir içerisine püskürtülmesinden sonra silindir içerisinde yanmanın bittiği ana kadar şu aşamalar meydana gelmektedir.

Atomizasyon: Püskürtülen yakıtın daha küçük yakıt zerreciklerine dönüştürülmesidir. Bu olay enjektörlerde meydana gelir. Bu olay sonunda silindirler içerisinde yakıt zerrecikleri daha hızlıdır.

Buharlaşma: Atomizasyon sonucunda küçük ebatlı yakıt zerreciklerine dönüşen yakıt taneciklerinin yanma odasındaki buharlaşma sürecidir. Yakıt taneciklerinin buharlaşma süreci, sıkıştırma başlangıcında silindir içerisine alınan havanın sıkıştırılması ile oluşan ısıyla yapılmaktadır. Püskürtülen yakıtın %90'ı püskürtmeden hemen sonra 0,001 saniyede buharlaşır. Yakıt hüzmesinde ilk buharlaşma başlarken, silindir içerisindeki sıcaklık aniden soğur. Bu durum silindir içerisindeki buharlaşma hızını direk olarak etkiler. Aniden düşen sıcaklık yakıt

hüzmesinin çekirdeğinden uzaklaştıkça buharlaşma durur. Bu durum ancak silindir içerisindeki ilave karışım ya da ısı artışı ile tekrar başlatılabilir.

Karışım oluşumu: Buharlaşma sürecinden sonra yakıt buharı silindir içerisinde yakıt/hava karışımı oluşturur. Ayrıca silindir içerisindeki yanma odası türbülansı ve yakıt püskürtme hızı karışım oluşturma sürecine yardım eder. Yakıtın ilk püskürtüldüğü anlarda yakıt hüzmesi etrafında oluşan hava/yakıt oranı dağılımı heterojendir. Bu durum eşdeğerlik oranının 1,8 (zengin) ile 0,8 (fakir) olduğu aralıklarda tutuşma başlar.

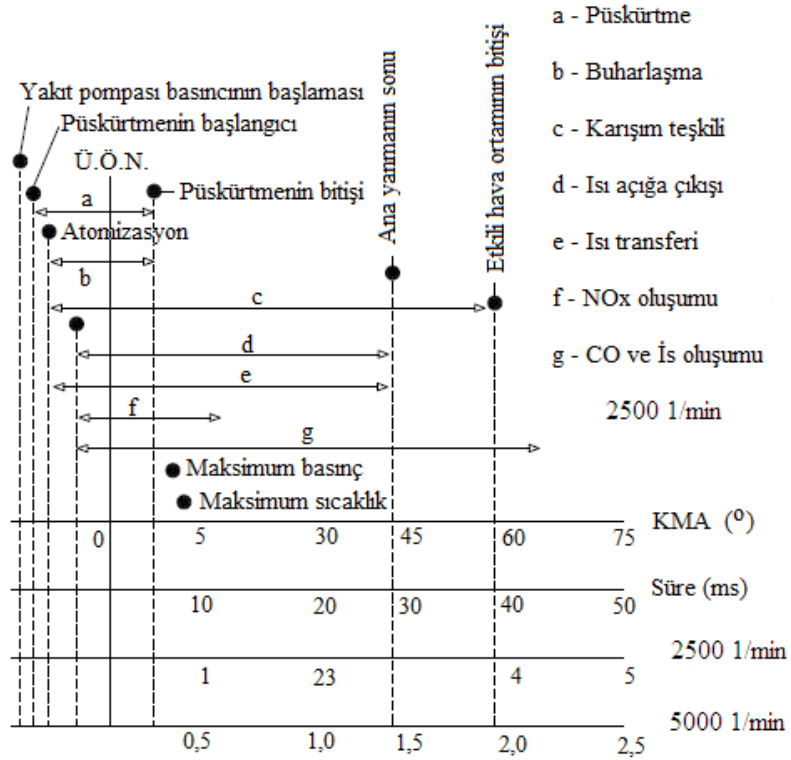
Dizel motorlarında gücün kontrolü, silindirler içerisine kısılmaksızın giren hava içerisine püskürtülen yakıt miktarı ile ayarlanmaktadır. Sıkıştırma sonunda yüksek basınçta silindir içerisine gönderilen yakıt zerrecikleri sıcak hava ile çarpışarak buharlaşır ve hava/yakıt karışımı oluşur. Tutuşabilir özellikteki hava/yakıt karışımı belli bir tutuşma gecikmesinden sonra aniden tutuşur ve alevler yanma odasından ilerler. İlk oluşan tutuşma hava/yakıt karışımını tutuşturarak karışımın tamamını kapsar ve silindir içerisindeki tüm yakıt zerrecikleri tutuşarak yanma olayı meydana gelir. Yanma, kendi kendine tutuşma ile başlar ve genişleme zamanının sonuna kadar devam eder [68].

Kendi kendine tutuşma: Püskürtmenin başlamasından 6-8 °KMA sonrasında buharlaşan yakıt zerrecikleri silindir içerisinde 1,8-0,8 eşdeğerlik oranları arasına geldiğinde kendi kendine tutuşmaya başlar. Bu evrede buharlaşmış yakıt zerreciklerinin kendi kendine tutuşarak silindir içerisinde hava sıcaklığını artırarak kararlı yanma safhasının oluşmasına öncülük eder.

Yanma: Yanmanın başladığı ilk anlardan sonra silindir içerisindeki eşdeğerlik oranının 1-1,5 arasında olduğu püskürtme bölgesinin yakıtça zengin kısımlarında yanma ani olarak başlar. Yanmanın başladığı bu ilk anlarda silindir içerisine püskürtülen yakıtın %70 - %95 buhar halindedir. Yanmanın bu kısmında silindir içerisinde birkaç noktadan yanma başlayarak yayılmaya devam eder. Püskürtmenin 0,02 saniyelerinde silindir içerisindeki basınç ve sıcaklık artışı maksimum seviyelere

ulaşır. Artan ani sıcaklık ve basınç artışı buharlaşma ve tutuşma süresini kısaltarak yanmayı daha da geliştirir.

Yanma sürecinin geri kalan bölümünde püskürtülen yakıtın hızı, atomizasyonu, buharlaşması uygun özelliklerdeki hava/yakıt oranı oluşturması ile kontrol edilir. Silindirlere toplam yanma süresi 40-50 °KMA kadar sürer ve bu kısmın ilk 20 °KMA kısmını yakıtın püskürtülmesi oluşturur. Dizel motorlarında silindirlere içerisindeki yanma bir kamera aracılığı ile filme alınır ve yavaşlatılarak izlenecek olunursa; yanma parametrelerinin motor hızı ile değiştiği görülecektir. Bu durum motor hızına göre motor gücünün ve yanma optimizasyonunun sağlanması için önemlidir [67,68].

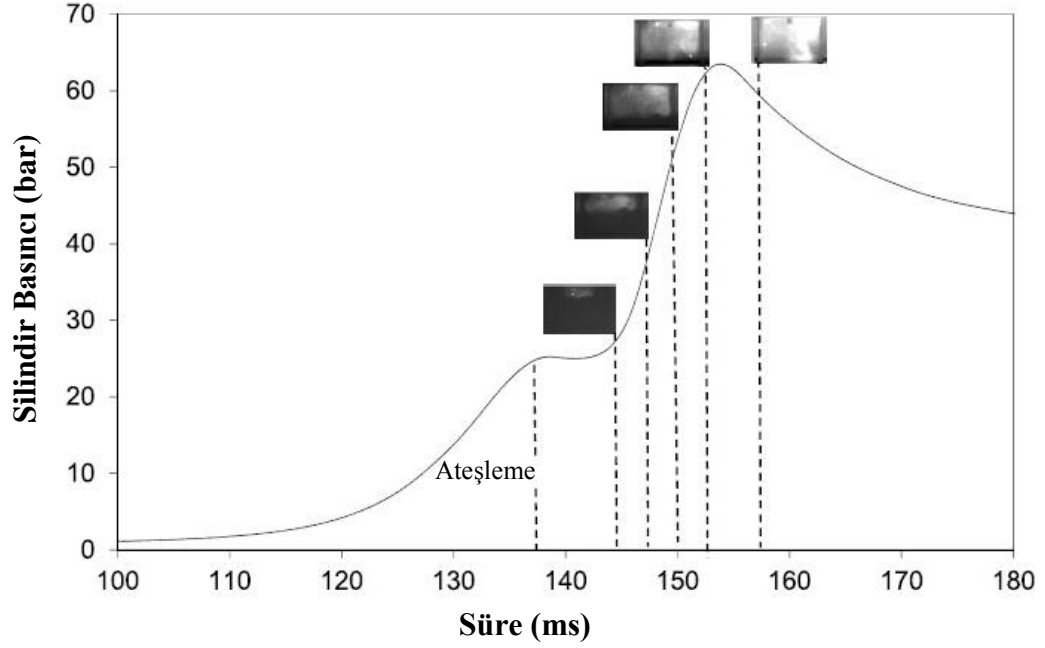


Şekil 4.3. Yanmanın zaman analizi ve motor hızına bağlı olarak değişimi [67,68].

Motor devrinin 250 1/min olduğu durumda toplam yanma süresi 50 milisaniye (ms) iken, 2500 1/min 5 ms ve 5000 1/min motor hızında ise 2,5 ms civarındadır. Yanma sürecinin zaman süreci incelendiğinde yakıtın enjektörden püskürtülme süresinin

artan motor hızı ile birlikte daha öne alındığı görülecektir. Ayrıca buna bağlı olarak maksimum sıcaklık ve basınç oluşumunun yeri de değişim göstermektedir.

Şekil 4.4’de yanmanın silindir içerisinde zamana bağlı olarak ne şekilde değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.4. Yanmanın süresi ve modellenmesi [73].

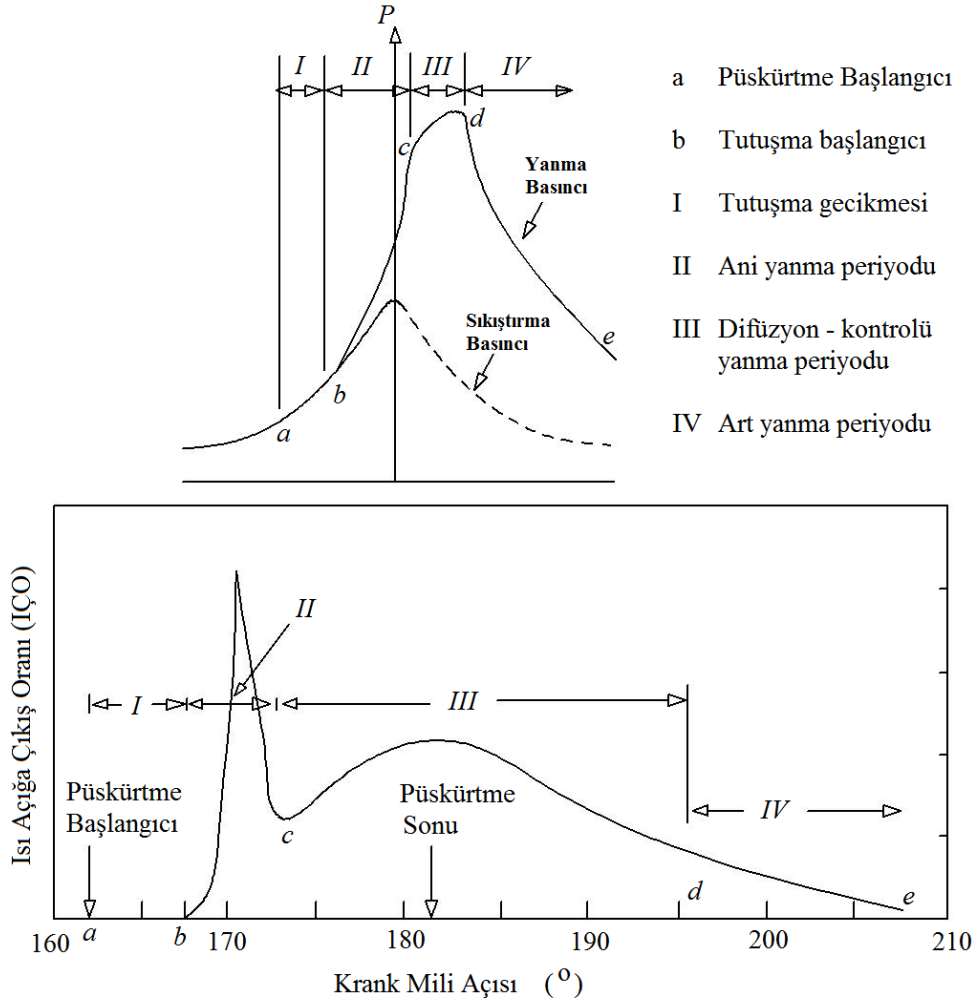
4.2. DİZEL MOTORLARINDA YANMA VE YANMANIN BÖLÜMLERİ

Dizel motorlarında yanma dört ana bölümden incelenmektedir.

4.2.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu

Yakıtın silindirlere püskürtülme zamanı yakıt hat basıncından veya enjektör iğnesinin kalkma miktarından tespit edilir. Tutuşmanın başlaması ısı açığa çıkış oranı (İÇÖ) veya silindir içi basınç eğrisinin ikinci türevinden tespit edilebilir. Yakıtın yanma odasına püskürtmesi ile tutuşmasının başlaması arasında geçen süre tutuşma gecikmesi olarak adlandırılır. Bu kısım şekil 5.5’de a-b bölgesi arasında kalan I nolu bölge ile ifade edilmektedir. Bu bölgede a püskürtme başlangıcını b ise tutuşmanın olduğu ilk kısmı ifade etmektedir. Şekil 4.5’e bakıldığında bu iki durum arasında

kalan bölgenin koşulları daha iyi anlaşılacaktır. Motorun emiş hattındaki koşullar (basınç, sıcaklık ve hız) ve yakıt hüzmelerinin oluşumunu etkileyen fiziksel faktörler tutuşma gecikmesini de etkiler. Bu değişkenler özellikle yanma odası ile yakıt püskürtme sisteminin tasarımına ve motorun çalışma koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.



Şekil 4.5. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yanma periyotları [73].

Yakıt hüzmelerinin oluşumunu büyük ölçüde etkileyen yakıt sistemi parametreleri, püskürtmenin zamanlaması (avansı), enjektör püskürtme basıncı, enjektörden püskürtülen yakıt miktarı, püskürtülen yakıtın püskürtülme hızı, püskürtme hüzmeleri şekli ve damlacık çapıdır. Motorun emiş veya dolgu koşulları ise yanma tasarımına, emme basıncına ve sıcaklığına, sıkıştırma oranına, püskürtme avansına, soğutma suyu ve yağlama sıcaklığına, motor hızına ve silindir içindeki atık gaz koşullarına

bağlıdır. Tutuşma gecikmesi, fiziksel ve kimyasal tutuşma gecikmesi olarak ikiye ayrılabilir. Fiziksel tutuşma gecikmesi, yakıtın püskürtülmesi ile yakıtın kimyasal reaksiyonlara başladığı koşullara ulaştığı zaman aralığıdır. Fiziksel tutuşma gecikmesi bölümünde püskürtülen yakıt atomize olur, buharlaşır, hava ile karışır ve kendi kendine tutuşma sıcaklığına ulaşır.

Fiziksel tutuşma gecikmesi, yakıtın türüne ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Hafif yakıtlarda fiziksel tutuşma gecikmesi az, ağır yakıtlarda ise fazladır. Fiziksel tutuşma gecikmesi, püskürtme basıncının artırılması, yüksek yanma sonu sıcaklıkları, yüksek türbülans ve atomizasyon ile azaltılabilir. Kimyasal tutuşma gecikmesi boyunca, reaksiyonlar yavaş başlar ve alevlenme veya tutuşma görülene kadar hızlanır. Genellikle, kimyasal tutuşma gecikmesi fiziksel tutuşma gecikmesinden daha büyüktür. Bununla birlikte, kimyasal tutuşma gecikmesi büyük oranda silindir içi sıcaklıklara bağlıdır. Yüksek silindir içi sıcaklıklarda, kimyasal tutuşma gecikmesi kısılır ve fiziksel tutuşma gecikmesi de daha küçük olabilir [68,71].

4.2.2. Ani Yanma Periyodu

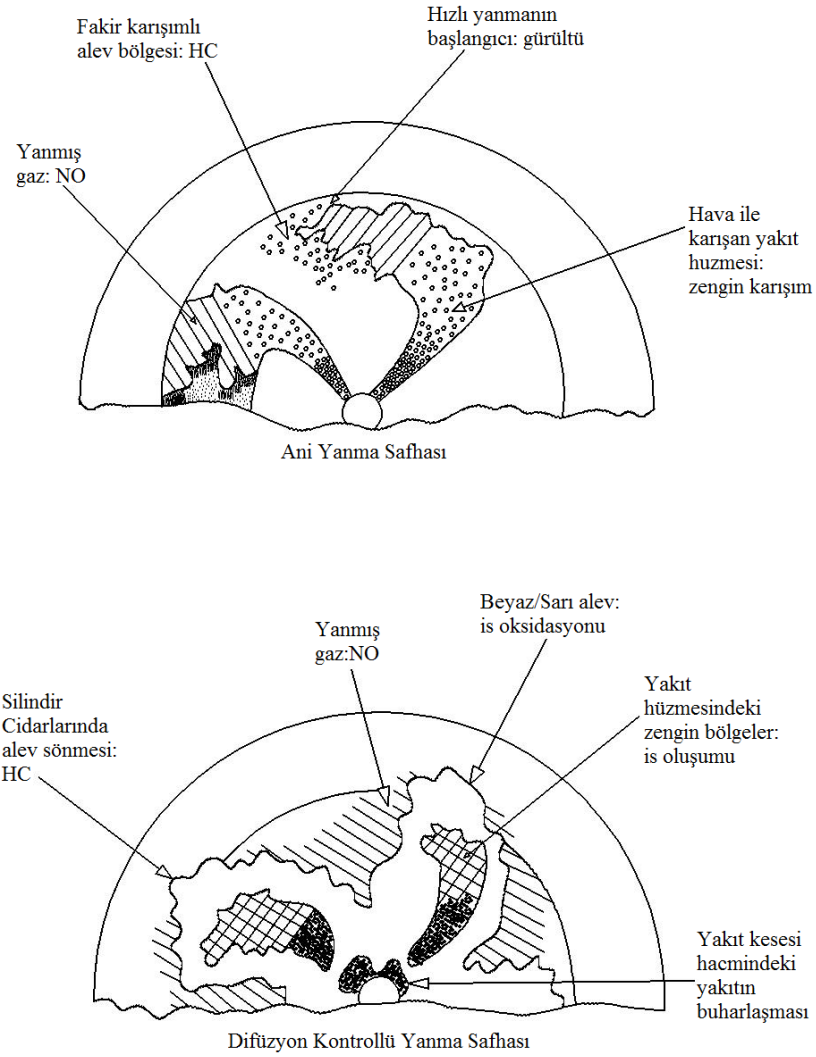
Yanma odasında tutuşmanın başlaması ile ısı yayılım oranının (IYO) maksimum değere ulaştıktan sonraki ilk çukur arasındaki süre ani yanma periyodu olarak adlandırılır. Ani yanma periyodunda, tutuşma gecikmesi periyodu boyunca tutuşabilir aralıkta karışım teşkili oluşturan yakıt-hava karışımının yanması hızlı bir şekilde gerçekleşir. Şekil 5.5'de II nolu bölge ani yanma periyodunu açıklayan bölgedir. Bu kısım b ve c bölgeleri arasındaki kısmı ifade eder. b bölgesi yanmanın ilk başladığı kısımdır. Bu ilk kıvılcımın ani olarak silindir içerisindeki tüm karışımı tutuşturması ile aniden yükselen basınç ve sıcaklığın düştüğü ilk an bize bu bölümün bitişini ifade etmektedir. IYO'nun maksimum olduğu yanma periyodu ani yanma periyodudur. Ani yanma periyodunda, silindir içi basıncı ve IYO'nun maksimum değeri büyük oranda tutuşma gecikmesine bağlıdır. Uzun tutuşma gecikmesi periyodunda, ani yanma periyodundan önce silindire püskürtülen yakıt miktarı birikir ve ani yanma periyodunda hızlı bir şekilde yanarak silindir basıncının ve IYO'nun arttırır. Bu durum yanma sonu sıcaklık ve basınçları ile birlikte basınç artış hızlarını da arttırır [71].

4.2.3. Difüzyon Kontrollü Yanma Periyodu

Şekil 5.5’de III bölgede gösterilen bu bölüm c kısmı ile başlamaktadır. c bölümü ani yanma safhasının bittiği kısımdır. d bölümü ise basınç azalmasının meydana geldiği bölümdür. Ani yanma periyodunda, tutuşma gecikmesi periyodu boyunca tutuşabilir aralıkta karışım teşkili oluşturan yakıt-hava karışımının yanması hızlı bir şekil gerçekleşir. Difüzyon kontrollü yanma periyodu, ani yanma periyodundan arta kalan yanmamış yakıt-hava karışım tarafından veya püskürtülmeye devam eden yakıt tarafından kontrol edilir. Difüzyon kontrollü yanma periyodu, ani yanma periyodunun bitimi ile başlar ve ısı yayılım oranının %90-95 olduğu zamana kadar veya genel bir yaklaşımla yanma sonu sıcaklıkların maksimum olduğu zaman kadar sürer [68,71].

4.2.4. Art Yanma Periyodu

Püskürtme periyodunun bitmesi ile yanma hemen bitmez yanma odasında arta kalan yanmamış veya eksik yanmış yakıt tanecikleri yanma odasında oksijenle temas ederek yanmaya başlar. Art yanma periyodu, difüzyon kontrollü yanma periyodunun bittiği ve maksimum yanma sonu sıcaklığının olduğu nokta civarında başlar ve genişleme zamanının bir kısmına kadar devam eder. Art yanma periyodunun İÇÖ, genişleme zamanına doğru azalarak gerçekleşir. Çünkü çok az miktardaki yanmamış yakıt is partikülleri veya zengin yanma ürünleri art yanma periyodunda ısı açığa çıkışı sağlar. Bu periyotta silindir içerisindeki ortalama gaz sıcaklıkları azalır. Şekil 5.6’da ani ve difüzyon kontrollü yanma periyodunda karışım teşkili, alevin oluşması ve ilerlemesi, yanmanın çeşitli emisyonlar üzerindeki etkisi gösterilmiştir genellikle, NO emisyonları ani yanma safhasında oluşurken, is emisyonları daha çok difüzyon kontrollü yanma periyodunda oluşur. Motor egzozunda görülen kirletici emisyonların oluşumu yanma periyotları ile doğrudan ilişkilidir.



Şekil 4.6. Ani ve difüzyon kontrollü yanma periyodunda yanmanın ve emisyonların oluşumu [68].

4.3. DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLARIN OLUŞUMU

Dizel emisyonları çoğunlukla çeşitli gaz karışımlarından, su buharlarından sıvı aerosollerden ve partikül maddelerden oluşur. Dizel egzoz emisyonları arasında tam yanma ürünleri (CO_2 , H_2O , NO_x , SO_2) ve eksik yanma ürünleri (CO , HC , is) bulunur. Bunlarla birlikte, dizel motorlarda kontrol altında tutulması gereken en önemli emisyonlar is ve NO_x emisyonlarıdır.

Yanma odasında hava-yakıt karışımının oluşumu hızlı. Hava/Yakıt (H/Y) oranı yanma sıcaklığı ve gazlarının yanma odasında kalış süreleri gibi parametreler emisyonların

oluşumunu değişik ölçülerde etkiler. Buji ile ateşlemeli motorların aksine dizel motorlarda karışımın teşkili ve yanma heterojen olarak gerçekleşir. Heterojen haldeki hava-yakıt karışımının yanma sonucu oluşan emisyonlar sadece yanma periyodunda ve genişleme zamanında değil aynı zamanda yanma odasında baskın olan genel şartlara bağlıdır. Tutuşma periyodu boyunca karışım teşkili, yakıtın tutuşma kabiliyeti, yanma odasında farklı sıcaklıklarda bekleme süresi, ve genel motor özellikleri emisyonların oluşumunda önemli rol oynarlar. Yanmanın erken safhalarında oluşan eksik yanma ürünleri genişleme zamanı sonuna kadar oksidasyona uğrayabilir. Yanmamış hidrokarbonların oksitleyici gazlar ile karışımı yüksek yanma odası sıcaklığı, oksidasyon süreci için yeterli zamanın olması tam yanmaya yardımcı olur [67].

4.3.1. Partikül Madde ve İs Emisyonları

Dizel motorlarında yanmamış yakıt ve silindir odasına karışan yağ kalıntıları is emisyonunun oluşmasına neden olur. Partiküller insanlar tarafından solunabilir boyuttadırlar. Partiküller iki bölümde incelenirler. Bunlar kuru kısım ve sıvı parçaların olduğu kısımdır. Kuru kısım genellikle is emisyonlarının tahmin edilmesinde kullanılır. Dizel egzozundan kaynaklanan partikül madde içerisindeki is miktarı değişkenlik göstermesine rağmen genellikle %40-50'den daha fazla orana sahiptir. Partikül maddenin diğer bileşenleri ise kısmi yanmış yakıt veya yağlama yağı, su, aşınmış metal parçacıkları ve sülfatlardan oluşur. Sülfürik asit/sülfat yüzdesi kabaca yakıt içerisindeki kükürt miktarına bağlı olarak değişir. Yanmamış yakıt ve yağlama yağı (yani çözünebilir organik kısım) yüzdesi ise motorun tasarımına ve işletme koşullarına göre değişiklik gösterir ve kütleli olarak %10-90 arasında olabilir [67].

Dizel motorlarda is, eksik yanmanın bir göstergesidir ve aşırı zengin hava/yakıt oranının veya kısmen buharlaşabilmiş yakıt taneciklerinin bir sonucudur. İs emisyonu, yüksek sıcaklıktaki yakıtça zengin bölgelerde buhar fazından katı faza geçiş sırasında çekirdekleşen yanmamış yakıtlardan oluşur. İs emisyonlarının olduğu bölgesel koşullara bağlı olarak, hidrokarbonlar veya diğer mevcut moleküller is taneciklerinin üzerine yoğunlaşır veya is tanecikleri tarafından absorbe

edilir. Sıvı veya gaz fazındaki hidrokarbonların katı is partiküllerine dönüşümü altı bölümde tanımlanır [68]. Bu bölümler;

Piroliz: yüksek sıcaklıkta yakıtın molekül yapısını değiştiren endotermik (çevresinden ısı olan) Reaksiyon sonucu ortaya çıkan ilk parçacıkların oluştuğu süreç is partiküllerinin oluşumunun başlangıcı olarak düşünülür.

Çekirdekleşme: Hidrokarbon gibi uçucu bileşenlerden oluşan nano partiküllerin veya çekirdeğin eş zamanlı olarak ortaya çıkmasıdır.

Yüzey Büyümesi: Çekirdekleşmiş is partikülünün yüzeyine madde ilavesi sürecidir.

Topraklaşma: Daha büyük küresel partiküllerin oluşumu için küçük küresel partiküllerin bir araya gelerek çarpışmasıdır.

Kümelenme: Zincir yapı benzeri büyük ana partikülleri oluşturmak için partiküllerin birbirleri ile yapışmasıdır.

Oksidasyon: İis partiküllerinin oluşum sürecindeki her bir bölüm, genellikle 1300 Kelvin'in (K) üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşir. Oksitleyici bileşenlerin olduğu ortamdaki is partikülleri yanarak CO, CO₂ ve H₂O gibi gazlaşmış ürünleri oluşturur.

Nihai is emisyonlarının oluşumu oksidasyon ve oluşum süreci arasındaki balansa bağlıdır. Motorun yükünün artırılması ile birlikte silindirlere gönderilen yakıt miktarı artmaktadır. Bu durum silindir içerisinde yakıtça zengin bölgelerdeki sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Motordaki iş oluşumu önemli ölçüde motor yüküne bağlıdır. Artan motor yükü ile birlikte yanma odasında difüzyonlu yanma periyodu boyunca tepkimeye girecek oksijen miktarı azalır, sıcaklıklar artar ve difüzyonlu yanma periyodu uzar. Artan difüzyonlu yanma periyodu ise is emisyonun oluşumuna yardım eder [70].

Yakıt püskürtme basıncının artışı, püskürtülen yakıtın hüzme uzunluğunu artırır. Ancak püskürtme basıncındaki gereğinden fazla artış püskürtülen yakıtın yanma

odası cidarlarına temas etmesini sağlayarak silindir içerisindeki Yakıt/hava karışımının düzensizleşmesine neden olur. Bu durum silindir içerisindeki tutuşmanın gecikmesine neden olmaktadır. Karışım teşkilindeki gecikme, tutuşma gecikmesinin ve yanma sürecinin uzamasına sebep olur. Karışım teşkilindeki gecikmeden dolayı is partiküllerinin oksidasyonu zorlaşır.

Soğuk çalışma koşullarında bazen çevrimlerin gerçekleşmesinden dolayı beyaz is oluşabilir. Bu durum buharlaşmaya çalışan yakıtın hava ile kısmen karışabildiğinin bir belirtisidir. Soğuk çalışma koşullarında silindir içi sıcaklıkların düşük oluşu püskürtülen yakıtın buharlaşmasını güçleştirir. Oluşan beyaz duman, çoğunlukla yanmamış hidro karbonlardan oluşur ve motor ısındıkça azalır. Bununla birlikte, püskürtme zamanının çok fazla geciktirilmesi, yanma odasındaki yakıtın tutuşma gecikmesinin çok uzun olması ve sıkışma oranının çok düşük olması da beyaz duman nedenleridir [72].

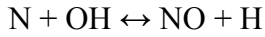
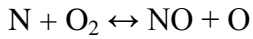
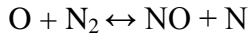
4.3.2. Nitrojen Oksit (NO_x) Emisyonları

NO_x, emisyonları çoğunlukla nitrojen monoksit (NO) ve nitrojen dioksitten (NO₂) oluşur. Bu iki bileşenin toplamı ise NO_x, emisyonları olarak adlandırılır. Genellikle, NO_x emisyonlarının %70-90 kısmını NO emisyonlarını oluşturur. NO_x emisyonları büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Bunun yanında silindir içerisindeki oksijenin konsantrasyonuna ve yanma süresine bağlıdır. Diğer önemli faktörler ise, püskürtme zamanı, yanma odasına alınan dolgunun sıcaklığı, türbülans, yakıt özellikleri vb. gibi parametrelerdir. Yapılan araştırmalara göre, NO_x emisyonların oluşumu büyük oranda ani yanma fazında gerçekleşmektedir. NO emisyonları, yanma periyodu boyunca yanmanın bir ürünü olarak oluşur ve daha sonra NO emisyonlarının bir kısmı NO_x emisyonlarına dönüşür [71].

Silindir içerisindeki yakıt-hava karışımının yanması ile nitrojen (N₂) ve oksijen (O₂) molekülleri N ve O şeklinde atomlarına ayrılır. N ve O atomları yanma odasında ve egzoz zamanında reaksiyona girerek NO_x emisyonlarını oluştururlar. Dizel motorlarda NO_x emisyonlarını oluşturan iki oluşum mekanizması mevcuttur. Bunlar [71]:

- Yanma odasındaki atmosferik nitrojenin oksidasyonu (termal NO_x-Zel'dovich mekanizması),
- Yakıt içeriğinde bulunan nitrojenin dönüşümü(yakıt NO_x veya organik NO_x).

Stokiyometrik yakıt-hava karışımlarına yakın fakir yanma boyunca NO oluşum reaksiyonları Zel'dovich mekanizması ile tanımlanmıştır. N₂ ve O₂ molekülleri yanma odasındaki belli sıcaklık ve basınçta N ve O şeklinde serbest atomlarına ayrışır ve tekrar NO oluşturmak için birleşirler. Basitleştirmiş reaksiyonlar aşağıda gibidir;



Bu dört ifade tersinirdir ve sadece stokiyometriğe yakın fakir yakıt-hava karışımlarında önemlidir. NO_x emisyonlarının oluşum hızı yüksek sıcaklığa ve nitrojenin yüksek sıcaklıkta kalma süresine bağlıdır. Genellikle 1800 K'den daha yüksek sıcaklıklarda, yanma odasındaki moleküller nitrojen (N₂) ve oksijen (O₂) atomik olarak N ve O şeklinde ayrışır ve ayrışma reaksiyonu şeritlerine katılırlar. NO oluşumu sıcaklıkla orantılıdır. NO emisyonlarının daha fazla oksitlenmesi ile NO₂ emisyonları oluşur. Yakıt içeriğindeki nitrojen tepkimeye dahil olduğunda organik NO_x oluşur. Nitrojen içerikli yakıt yandığında, nitrojenli bileşikler parçalanır ve serbest nitrojen oksitler ortaya çıkar. NO_x emisyonlarının oluşmasında ana etken silindirler içerisindeki artan hava fazlalığıdır [72].

NO_x emisyonlarının oluşumu genellikle, yanma odasındaki sıcaklık, basınç ve alev koşulları oluşan ürünlerin yanma odasında kalış sürelerine bağlıdır. Yanma odasında ısı açığa çıkışının başlamasından hemen sonra hızlı bir şekilde NO_x emisyonları oluşmaya başlar ve İÇÖ'nun sonunda NO_x oluşumu yavaşlar. Çünkü silindir içerisinde bulunan yanmış gazlar yanmamış yakıt tanecikleri ile karışarak sıcaklık düşer.

NOx emisyonlarını azaltmanın en etkili yolu Egzoz Gaz Resirkülasyonu (EGR) veya püskürtmenin geciktirilmesi yardımı ile silindir basınçlarını azaltmaktır. Ayrıca değişken supap zamanlaması ve harici sistemler (katalitik konvertör gibi) NOx emisyonlarının azaltılmasında etkili olarak kullanılır [67]

Püskürtme zamanının optimum bir noktadan sonra öne alınması veya geciktirilmesi tutuşma gecikmesini artırır. Yakıt püskürtme zamanının öne alınması (avansın artırılması) genellikle tutuşma gecikmesini artırır. Yakıtın daha önce püskürtüldüğü durumda, sıkıştırma basıncı ve sıcaklığı düşüktür. Bu tutuşma gecikmesini artırır. Artan tutuşma gecikmesi, silindire püskürtülen yakıtın hava ile karışması için daha uzun bir zaman dilimi sağlar. Ayrıca tutuşma gecikmesinin uzaması, püskürtülen yakıtın büyük bir kısmının ani yanma periyodunda birikmesine ve yanmasına, dolayısı ile ani yanma periyodunun uzamasına sebep olur. NOx emisyonlarının oluşumu büyük oranda ani yanma periyodu ile ilişkilidir. Diğer taraftan püskürtme zamanının geciktirmesi ile tutuşma gecikmesi azalma yönünde eğilim gösterir. Azalan tutuşma gecikmesi ani yanma periyodunu azaltır ve NOx emisyonlarının oluşumu da azalır [67].

Artan püskürtme basıncı, yanma odasına püskürtülen yakıtın atomizasyonunu iyileştirir. İyileşen atomizasyon, yakıt taneciklerinin daha küçük parçalara ayrışmasına ve yanma veriminin artmasına, daha yüksek ısı çıkış oranının oluşmasına ve yüksek yanma sonu sıcaklıklarına sebep olur. Bu durum NOx emisyonlarını artırmaktadır.

Yakıt püskürtme basıncı yanma odasına püskürtülen yakıtın setan sayısındaki artış, püskürtülen yakıtın tutuşmasını ve buharlaşmasını kolaylaştırır. Sonuç olarak, yüksek setanlı yakıtlar daha kısa ani yanma periyoduna sebep olurlar ve NOx emisyonlarını azaltırlar. Düşük setanlı yakıtlarda, tutuşma gecikmesi genellikle uzundur ve yanma başladığında fakir alev bölgesinde daha fazla yakıtın birikmesine de sebep olurlar. Ani yanma safhasında biriken yakıt, yüksek hızla aniden yanar ve yanma sonu sıcaklıklarını artırır. Bu durumda ani yanma safhasındaki fakir alev bölgesinde NOx oluşumu artar.

Doğal emişli motorlarda, motor yükünün artırılması ile birlikte silindirlere gönderilen yakıt miktarı ve dolayısıyla yakıt/hava oranı da artar. Artan yakıt/hava oranı, yanma odasında daha fazla İÇÖ sağlarken sıcaklıkları da artırır. Yakıt/hava oranındaki artış NOx emisyonlarının artışı da etkiler.

4.3.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Dizel motordaki HC emisyonları, parçalanmış yakıt moleküllerinden veya yağlama yağından oluşur. HC emisyonları, tutuşma gecikme periyodu boyunca, zengin yakıt/hava oranlarının bir sonucu olarak veya karışım teşkili sırasında tutuşmayan yakıt moleküllerinden oluşur. Tutuşma gecikmesinden sonra püskürtülen yakıt, yakıtın ve piroliz ürünlerin hava ile karışmasını yavaşlatır. Bu durum, eksik yanma ve HC emisyonlarının oluşumuna sebep olan karışımın aşırı zenginleşmesine ve yanma ürünlerinin soğumasına yol açar. Düşük yükte ve yakıtça zengin karışimli motor çalışması boyunca HC emisyonları oldukça önemlidir. HC oluşumunun esas kaynağı, yanma odasındaki karışımın tutuşamayacak kadar fakir olduğu reaksiyon bölgesi çevresindedir [67].

HC emisyonlarının oluşumu, özellikle motor yüküne, yanma odasındaki koşullara, hava emiş (doğal emişli veya aşırı doldurmalı) ve yakıt sistemine bağlıdır. Yanmamış hidrokarbon oluşumunun mekanizması, yavaş buharlaşma hızının ve yanma için zengin olan karışımın kombinasyonunun bir sonucudur. Yakıtın buharlaşma hızı ve yanma odasındaki yakıt/hava oranının oluşma durumu karışım teşkilinin sonundaki (püskürtmenin sonu) iri yakıt taneciklerinin hava ile karışamamasından kaynaklanır. Genellikle HC emisyonları, soğuk alev bölgesi, püskürtülen yakıtın çekirdeği, silindir cidarları ile temas eden bir kısım yakıt, püskürtme hüzmesi uzunluğu ve art püskürtme ile ilgilidir. Ayrıca, yakıt özellikleri, motor tasarımı ve motora ait işletme parametreleri HC emisyonlarının oluşumunda etkilidir [67].

Doğal emişli dizel motorlarda, hacimsel verimdeki küçük değişimler ihmal edildiğinde, her çevrimde silindirlere alınan hava kütlesi yaklaşık sabittir. Sabit bir motor hızında güç artışı sağlamak için püskürtülen yakıt miktarının artırılması

gerekir. Çok silindirli motorlarda enjektörler arasındaki püskürtme ile ilgili farklılıklar, silindirler arasında gaz basıncı ve sıcaklık değişimlerine, silindirlere gönderilen yakıt miktarı değişimlerine ve püskürtme süresi değişimlerine sebep olabilir. Ayrıca, tutuşma gecikmesi boyunca silindirlere püskürtülen yakıt hava ile karışır ve H/Y oranlarının çok geniş bir aralıkta değişimine sebep olur. Bu karışım oranlarının bir kısmı tutuşmak ve kararlı bir yanmaya dönüşmek için çok fakir, bir kısmı stokiometrik orana yakın ve tutuşmaya hazır, diğer bir kısmı ise çok zengin ve buharlaşması ve karışım teşkil hızı çok düşük olabilir [67].

Tutuşma başlangıcında, büyük olasılıkla stokiometrik karışıma yakın karışımlar yanar. Şayet silindir cidarlarına yakın bölgelerde alev sönmesi olmaz veya etraftaki hava ile aşırı karışımından dolayı bölgesel hava/yakıt oranı hızlı bir şekilde düşmez ise yanma sürer. Aşırı fakir karışımlarda ise yanma odasında ilave buharlaşmış yakıt ve karışımla karşılaşan yanma prosesi devam eder. Bu durum, püskürtme periyodunun sonuna doğru oluşan iri tanecikli yakıt molekülleri için de geçerlidir. İri yakıt taneciklerinin buharlaşması, karışım oluşturması ve yanma sürecine katılması için yanma odasında ilave ve yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyacaktır. Yanma odasında püskürtülen yakıtın çoğunun yanması için buharlaşma, karışım oluşma ve yanma hızının yeterli düzeyde olması gerekir. Aksi durumda egzozda aşırı derecede yanmamış hidrokarbon görülür. Yanmanın başlaması ile püskürtülen yakıt piroliz olur ve hava ile karışarak oksitlenme hızı artar. Sonuç olarak tam yanma sağlanır. Ancak, piroliz ve oksidasyon hızını yavaşlatan şartlar lokal olarak zengin karışımlara ve eksik yanmaya sebep olacağından HC emisyonlarının oluşumunu artırır. Tutuşma gecikmesi öncesi ve sonrası şartlar HC emisyonlarının oluşumu ve yanmanın kararlı hale gelmesi açısından önem teşkil eder.

Rölanti ve düşük yük koşullarında, püskürtülen yakıt yanma odası cidarlarına ulaşamaz ve enjektör ile piston yüzeyi arasındaki boşlukta yanar. Ayrıca, püskürtülen yakıtın çekirdeğindeki yakıt konsantrasyonu oldukça düşüktür. Bu durumda yanmamış hidrokarbonlarının oluşumu yanma alevi ile yanma odası cidarı arasında kalan soğuk alev bölgesinde kaynaklanır. Yanmanın devam ettiği ve alevin ilerlediği sırada bu bölgedeki sıcaklık artışı oldukça düşüktür ve bu yüzden oksidasyon hızı da düşük seviyededir. Alev ile yanma odası cidarı arasında ilerleyen

alevin önündeki yakıt molekülleri konsantrasyonunu düşük olmasından dolayı reaksiyon hızları daha da düşer. Bu bölgede oluşan hidrokarbonların toplam püskürtülen yakıtta oranı özellikle rölanti koşullarında çok yüksektir. Motor yükü arttırıldığında azalan hava yakıt oranı püskürtülen yakıtın silindir cidarlarına kadar ilerlemesine sebep olur ve yakıt hüzmesinin çekirdeğindeki yakıt konsantrasyonu daha yüksektir bu durumda HC emisyonlarının oluşumu artar. Ancak yanma odasındaki yeterli oksijen artan sıcaklıklarla beraber oksidasyon hızlarını artırır [68,70].

Tam yük veya aşırı yük koşullarında daha fazla azalan H/Y oranı, yanma odası cidar çevresinde ve yakıt hüzmesinin merkezinde oluşan HC emisyonlarını artırır. Bu durumda yanma odasındaki yetersiz oksijen, oluşan yüksek sıcaklıklara rağmen, lokal olarak yüksek yakıt/hava oranı bölgesinde oksidasyon reaksiyonlarını kısıtlar. Ayrıca hidrokarbon emisyonlarının moleküler yapısı, hava/yakıt oranının değişmesi ile de değişebilir. Rölanti ve düşük motor yüklerinde, dizel motorların ürettiği HC emisyonları alevin dış yüzeyi ile yanma odası cidarı arasındaki soğuk alev bölgesi ile ilişkilidir ve çoğunlukla orijinal yakıt moleküllerinden oluşur. Yüksek motor yüklerinde ise HC emisyonlarının çoğu yakıt hüzme çekirdeğindeki ve yanma odası cidarlarına yakın sınırlardaki yakıt moleküllerinden oluşur. Yanma odası cidarlarında sıcaklık kısmen yüksektir ve orijinal yakıt moleküllerinin ayrışmasına sebep olur. Çünkü, yakıt hüzme çekirdeğinde ve yanma odası cidarlarına yakın sınırlarda hava/yakıt oranı genellikle zengindir ve hidrokarbon radikalleri ile ara bileşikler arasında bazı birleşme reaksiyonlarının oluşması olasılığı yüksektir. Bu yüksek olasılık HC emisyonlarının oluşmasını hızlandırmaktadır. Aynı zamanda, radikallerin ve hidrokarbon bileşiklerinin birleşme reaksiyonları süreci, orijinal yakıt moleküllerinden farklı yapıya sahip çeşitli bileşikler de oluşturulabilir.

Aşırı doldurmalı sistemlerde, silindirlere alınan artmış hava kütlesi ile orantılı olarak püskürtülen yakıt miktarı ve dolayısı ile motor çıkış gücü de artar. Aşırı doldurmalı motorlarda emme manifoldundaki hava hızı doğal emişli motorlara göre daha yüksektir. Bu durum silindirlerdeki karışım oluşumunu ve hızını artırır. Karışım hızındaki artış ise reaksiyon ve oksidasyon hızını artırarak, yanma sıcaklıklarının artışı sağlar ve HC emisyonlarının konsantrasyonlarını azaltır [69].

Yakıt püskürtme basıncının artırılması yakıtın atomizasyonunu artırır. Bu durum karışım teşkil hızını ve karışımın oluşmasını iyileştirerek tam yanmaya yardımcı olur ve HC emisyonlarını azaltır. Ancak, yakıt püskürtme basıncının gereğinden fazla artışı HC emisyonlarının oluşumuna büyük katkı sağlayan alev sönme bölgelerini de aşırı derecede genişletir. Optimum püskürtme zamanının öncesinde veya sonrasında yakıtı püskürtmek HC emisyonlarını artırır. Bu durum tutuşma gecikmesi periyodu ile ilgilidir. Püskürtme zamanını çok öne almak veya çok geciktirmek tutuşma gecikmesini artırır. Artan tutuşma gecikmesi ile birlikte daha fazla yakıt buharlaşır ve küçük yakıt tanecikleri yanma odasındaki sirkülasyon yardımı ile uzaklara taşınır. Bu sebeple daha geniş soğuk alev bölgeleri oluşur ve HC emisyonları artar. HC emisyonlarını arttıran diğer bir sebep de yanma odası yüzeylerine çarpan yakıt tanecikleridir [67].

4.3.4. Karbon Monoksit (CO) Emisyonları

CO emisyonları, hidrokarbon yakıtlarının eksik yanması sonucu oluşan bir üründür. Yanma odasında yeterli oksidantın ve düşük sıcaklığın sebep olduğu eksik yanma ile CO emisyonları oluşur. Yanmanın sonuna doğru oluşan CO emisyonları, değişik oksidantlarla birleşme tepkimesine girerek CO₂ emisyonlarına dönüşürler. Düşük yanma odası sıcaklığı ve yetersiz oksidant seviyesinden dolayı gerçekleşemeyen birleşme tepkimeleri, CO emisyonlarının artmasına neden olur.

Yakıtça zengin karışımlar daha çok CO üretir. Ancak dizel motorlar yüksek hava fazlalığı ile çalıştığından CO emisyonları oldukça düşüktür. Dizel motorlardaki yanmanın her safhasında, yüksek yanma sıcaklığı, oksijen miktarının fazlalığı, karışım teşkil hızının yüksek oluşu CO emisyonlarının oksidasyonuna yardım eder [70].

BÖLÜM 5

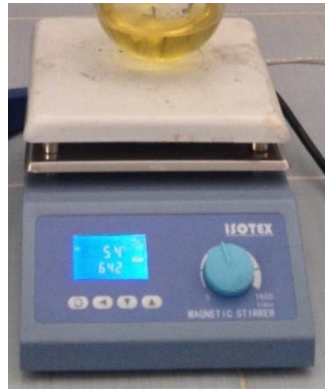
MATERYAL VE METOT

Bu bölümde deneylerin gerçekleştirilmesinde kullanılan deney araçları deney yöntemleri ve metotları ayrı ayrı ele alınmıştır.

5.1. BİYODİZEL ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER

Biyodizel üretimi ile ilgili deneyler Muş Alparslan Üniversitesi kimya, biyoloji laboratuvarında ve Meslek Yüksekokulunun gıda laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Biyodizel üretimi için dört adet manyetik karıştırıcılı ısıtıcı, çeşitli boylarda cam beher ve cam balonlar, çeşitli boyutlarda geri soğutucular, iki boyunlu reaktörler, huniler, dereceli damlalıklar, çeşitli ebatlarda ayırma hunileri ve hassas terazi kullanılmıştır. Biyodizel üretiminde kullanılan malzemeler Şekil 6.1a ve Şekil 6.1b; Şekil 6.2a, 6.2b, 6.2c, 6.2d, 6.2e, 6.3a, 6.3b’de verilmektedir. Deneylerin tümünde kullanılan kimyasal maddeler Çizelge 6.1’de verilmektedir.



Şekil 5.1. Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı.



Şekil 5.2. Biyodizel üretiminde kullanılan cam malzemeler.

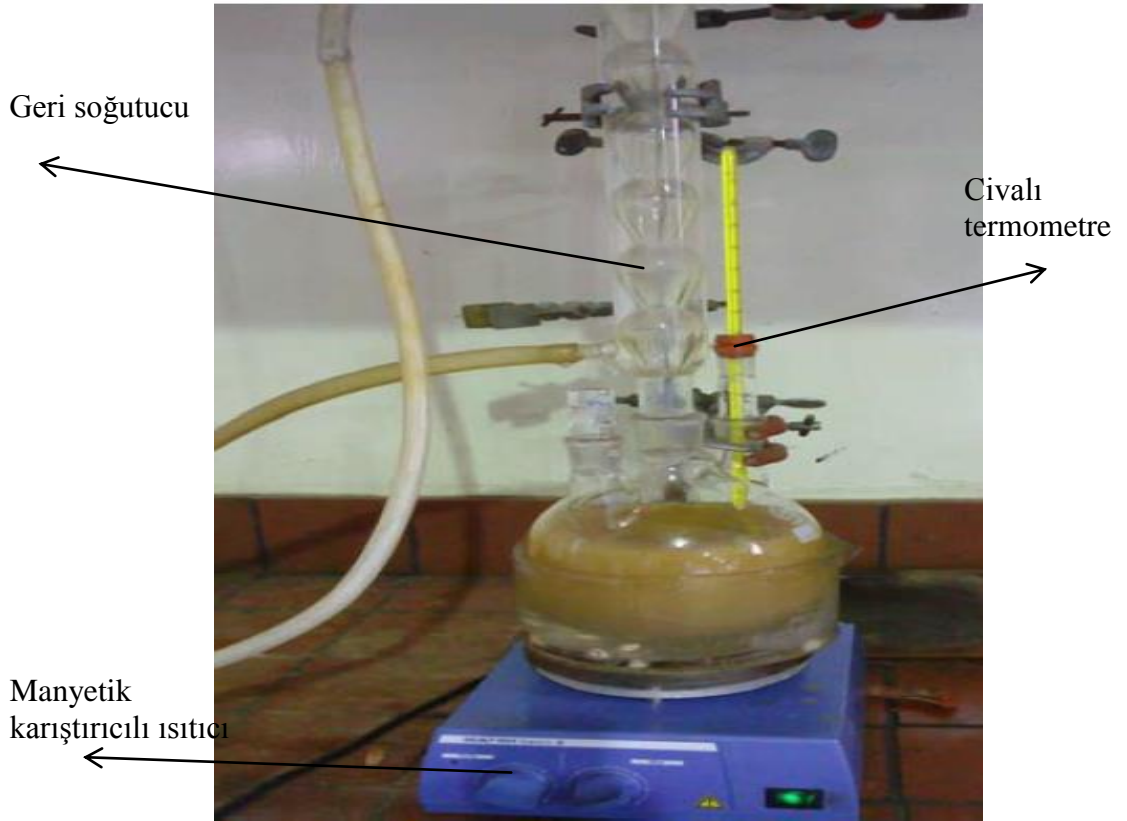


Şekil 5.3. Hassas terazi.

Çizelge 5.1. Biyodizel üretimi deneylerinde kullanılan kimyasal malzemeler.

Malzemenin Adı	Kimyasal Yapısı	Saflik Derecesi (%)
Metanol	CH ₃ OH	99,6
Etanol	C ₂ H ₅ OH	99,8
Sülfürik asit	H ₂ SO ₄	96
Hidro klorik asit	HCL	98
Potasyum hidroksit	KOH	98
Sodyum hidroksit	NaOH	98
Toluen	C ₆ H ₅ CH ₃	98
İzopropil alkol	CH ₃ CH ₂ OH	98
Dietil eter	C ₈ H ₁₈ O	98
Phenolphthalein	C ₂₀ H ₁₄ O ₄	99,6

Biyodizel üretimi için Şekil 5.4’de verilen deney düzeneği kullanılmıştır.

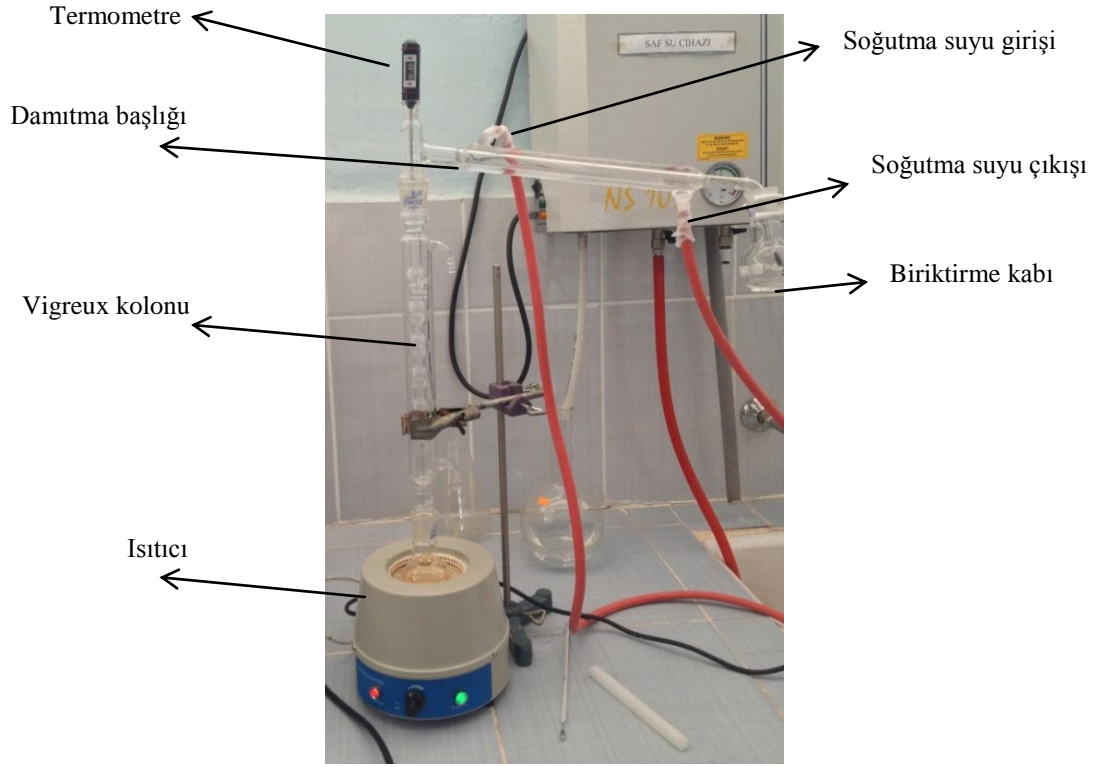


Şekil 5.4. Biyodizel üretim düzeneği.

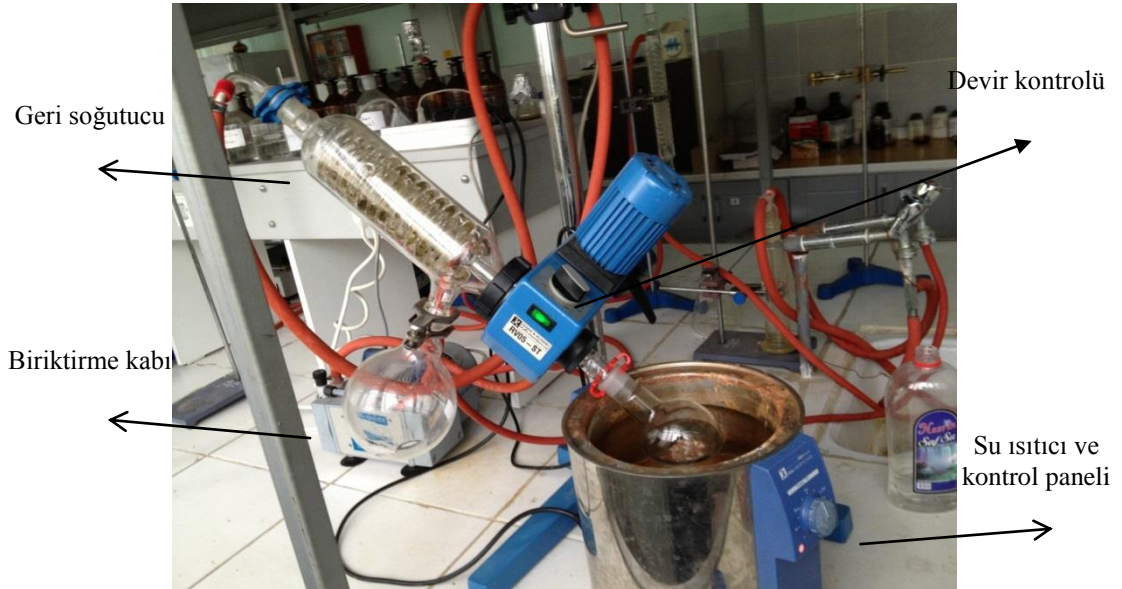
5.2. FUZEL YAĞININ DAMITILMASINDA KULLANILAN MATERYALLER

Önceki çalışmalarda biyodizel üretiminde kullanılacak malzemelerin bünyesinde %1'in üzerindeki suyun biyodizel üretim reaksiyonunun verimini etkilediği bildirilmiştir [45-47]. Bu nedenle fuzel yağının bünyesinde bulunan suyun uzaklaştırılması gereklidir. Bu işlem için damıtma yöntemi kullanılmıştır.

Damıtma sıvıların kaynama noktalarının farklılığı kullanılarak yapılan bir saflaştırma yöntemidir. Bu yöntem ile farklı sıvı karışımlarının ayrıştırılması yapılabilmektedir. Teknik olarak tanımlamak gerekirse bir sıvıyı önce buharlaştırıp, sonra soğutarak yoğunlaştırma ve saflaştırılmış olarak bir toplama kabında toplama işlemine “damıtma” denir. Damıtma sıvıların saflaştırılmalarında ve sıvı karışımlarının ayrılmalarında kullanılan en temel yöntemdir. Fuzel yağının saflaştırılmasında üç farklı deney düzeneği kullanılmaktadır. Genel olarak hepsi damıtma işleminin yapılmasında kullanılmaktadır (Şekil 5.5, 5.6 ve 5.7). Deneylerde Fuzel yağının damıtılmasında Şekil 5.5'teki yöntem kullanılmıştır. Deneylerde fuzel yağının saflık miktarının artırılması için damıtma işlemi üçer kez tekrarlanmıştır.



Şekil 5.5. Vigreux kolonlu ayrımsal damıtma düzeneği.



Şekil 5.6. Döner başlıklı dik ayrımsal damıtma düzeneği.



Şekil 5.7. Vakumlu ayrımsal damıtma düzeneği.

5.3. ÜRETİLEN BİYODİZELİN YAKIT OLARAK KULLANILMASI

Ham pirina yağından fuzel yağı ile elde edilen biyodizelin motorda kullanılması deneylerinde kullanılan materyaller aşağıdaki bölümde açıklanmaktadır.

5.3.1. Deney Motoru

Deneylerde, tek silindirli dört zamanlı direkt püskürtmeli dizel motor kullanılmıştır. Şekil 5.8’de motorun resmi ve Çizelge 5.2’de motorun teknik özellikleri yer almaktadır.



Şekil 5.8. Deney motoru.

Çizelge 5.2. Deney motorunun teknik özellikleri.

Markası	(4 zamanlı direkt püskürtmeli, dizel motor)
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	78
Strok (mm)	62
Sıkıştırma oranı	18 /1
Maksimum güç (kW)	5
Supap düzenlemesi	Üstten kamlı, 2 supaplı
Maksimum motor devri (1/min)	3000
Yakıt püskürtme zamanı [ÜÖN önce (°KMA)]	30°
Enjektör açılma basıncı (bar)	200±5

5.3.2. Deney Yakıtı

Deneyleerde, dizel yakıtı ve pirinadan fuzel yağı ile üretilen biyodizel kullanılmıştır. Dizel yakıtı Türk Standartları Enstitüsünün TS EN 590 standardına uygun bir yakıt olup Euro 2, 3, 4 ve 5 normundaki tüm motor tipleri için uygundur. Deneyde kullanılan yakıtın özellikleri Çizelge 5.3’de verilmektedir. Ayrıca, biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri TÜBİTAK-MAM’da yaptırılmıştır.

Çizelge 5.3. Deney yakıtının kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Özellikler	Birimi	Değeri
Yoğunluk	kg/m ³ , 15°C’de	828
Kinematik viskozite	mm ² /s, 40°C’de	2,6
Parlama noktası	°C	60
Su içeriği	mg/kg	218,1
Soğukta filtre tıkama noktası	°C	-5
Setan sayısı		54,2
Alt ısııl değer	MJ/kg	43,76

Ayrıca deneyleerde kullanılan yakıt karışımları hacimce hazırlanmıştır. Hazırlanan yakıtların içerikleri Çizelge 5.4’de verilmektedir.

Çizelge 5.4. Deney yakıtlarının hacimce içerikleri.

Yakıtlar	Biyodizel yakıtı içeriği (%)	Dizel yakıtı içeriği (%)
Dizel	0	100
B5	5	95
B10	10	90
B25	25	75
B50	50	50
B100	100	0

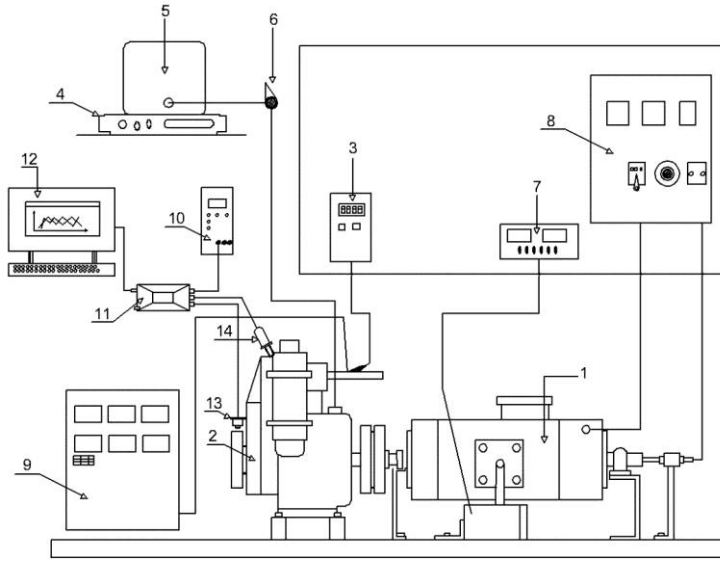
5.3.3. Motor Deney Düzenegi

Deneyleerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW güç emme kapasitesine sahip elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre hem marş yapabilme hem de güç emme işlevini yerine getirmektedir. Deney seti, motorun döndürme kuvvetini, motor hızını ve egzoz gazı sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır. Egzoz gazı sıcaklığı TES marka diital termometre ve 1320 typ-K tip termoçift kullanılmıştır. Ölçüm egzoz çıkışından 60 cm uzaklıkta susturucusu olmayan bir egzozda egzoz yoluna açılan bir delik vasıtası ile gerçekleştirilmiştir. Yakıt tüketim ölçümü 0,1 g hassasiyetinde terazi kullanılarak 10 g yakıt tüketiminin saniye cinsinden süresi ölçülerek kayıt altına alınmış ve hesaplanmıştır.

Deney düzeneginin genel görünümü ve şematik görünümü Şekil 5.9a ve 5.8b'de verilmiştir.



(a)



(b)

1. Motor dinamometresi 2. Motor volanı 3. Egzoz gazı sıcaklık ölçer 4. Hassas terazi
 5. Yakıt deposu 6. Yakıt vanası 7. İndikatör 8. Kontrol paneli 9. Egzoz gaz analizörü
 10. Amplifikatör 11. Osiloskop 12. Bilgisayar 13. Konum sensörü 14. Basınç sensörü

Şekil 5.9. Deney düzeneğinin a) genel görünüşü ve b) şematik resmi.

5.3.4. Egzoz Gaz Analizörü ve İis Ölçüm Cihazı

Deney motorunun egzoz emisyonları ölçümü için Italo Plus marka egzoz gaz analizörü ve MRU oprans 1600 duman ölçer cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.10 ve 5.11). Egzoz gaz analizörü ile NO_x, HC, CO, CO₂, ve O₂ emisyonlarını ölçebilmek mümkündür. Bununla birlikte dizel motorları için de aynı değişkenler ve is emisyonları belirlenebilmektedir. Çizelge 5.11'de MRU Oprans 1600 is emisyon cihazının teknik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.



Şekil 5.11. MRU oprans 1600 duman ölçer cihazı.

Çizelge 5.5. Egzoz gaz analizörünün (Italo Plus) ve is ölçerin (MRU 1600) özellikleri.

Ölçüm	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO (% hacimsel)	0-10,00	$\pm 0,06\%$
CO ₂ (% hacimsel)	0-20,00	$\pm 0,5\%$
NO _x (ppm)	0-2000	± 5
HC (ppm)	0-50000 n-hexan	± 12
O ₂ (% hacimsel)	0-21	$\pm 0,1$
Duman koyuluğu (%)	0-100	$\pm 2\%$

5.3.5. Silindir İçi Basınç Ölçüm Sensörü ve Parçaları

Deney motorunun silindir içi basınç ölçümü için Kistler marka type 4065A2 modeli ile 200 bar'a kadar ölçüm yapabilen silindir içi basınç sensörü (Şekil 5.12) ve basınç değerini sinyale dönüştüren Kistler'in 5011 model amplikatörü (5.13) kullanılmıştır. Deneyleerde basınç sensöründen gelen elektrik sinyalleri Pico marka ADC-212 model osiloskop ile bilgisayara aktarılarak silindir içi basınç değerleri takip edilmiş ve kayıt altına alınmıştır. Yakıt hat basıncı yakıt pompasından enjektöre yakıt taşıyan yakıt borusunun üzerinden ölçülmüştür. Silindir içi basınç ölçümünde kullanılan sensör ile kayıt altına alınmıştır. Motorun ÜÖN'sının pozisyonun belirlenmesi ve krank mili dönme açısının tespit edilmesi için motor volanı üzerine bir adet indüktif konum sensörü bağlantısı yapılmıştır.



Şekil 5.12. Silindir içi basınç ölçüm sensörü.



Şekil 5.13. Osiloskop ve amplifikatör.

5.4. DENEY YÖNTEMLERİ

5.4.1. Fuzel Yağı ve Damıtılması

Fuzel yağı ismi sebebiyle yağ olarak bilinmesine rağmen, aslında bünyesinde birçok değerli alkolü barındıran bir alkol bileşiğidir. Şeker fabrikalarında şeker pancarından şeker üretiminin son basamağında elde edilen şlempeden (Şeker küspesinin sulu halidir) alkol etil yâda metil alkol üretimi sırasında oluşan yüksek moleküllü bir atık alkol bileşiğidir. Zengin bir amil alkol kaynağıdır. Rengi koyu ve kokusu keskindir. Ülkemizde şeker fabrikalarının alkol üreten bölümlerinde üretimi yapılmaktadır. Günümüzde ise Türkiye Cumhuriyeti Şeker Fabrikaları A.Ş. bünyesinde bulunan tek fuzel yağı üretim birimi Eskişehir Şeker Fabrikası, Alkol Üretim A.Ş'dir. Fabrika enerji ihtiyacının bir kısmını fuzel yağından sağlamaktadır. Fuzel yağı solvent ve boya üretiminde de kullanılan bir atıktır [46].

Fuzel yağının bileşimi ve miktarı, fermentasyonla alkol üretim prosesinde kullanılan karbon kaynağının türü ve hazırlanma metodu ile fuzel yağının fermentasyon karışımından ayırma yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Fuzel yağı başta izo amil olmak üzere birçok değerli alkol çeşidini bünyesinde barındırmaktadır. Çizelge 5.6'da fuzel yağının bünyesindeki alkoller verilmektedir. Ülkemizde son yıllarda artan alkol üretimi ile birlikte fuzel yağı miktarında da artma beklenilmektedir. Üretilen her 100 litre alkol için 0,4-0,7 litre arasında bir fuzel yağı atığı ortaya çıkmaktadır [45-47].

Çizelge 5.6’da bakıldığında fuzel yağının bünyesinde bulunan bu alkollerin daha önceleri içten yanmalı motorlarda ya da biyodizel üretiminde kullanılan yağlar olduğu göze çarpmaktadır. Bu nedenle bu atık alkol bileşiklerinin biyodizel üretiminde kullanılması önemli bir kaynağın heba olmasının ve daha değerli bir biçimde kullanılması açısından önemlidir.

Çizelge 5.6. Fuzel yağı ve bileşikleri [45-47].

Bileşen	Kimyasal Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kaynama Noktası (°C)	Hacimsel %	Kütlesel %
i-amil alkol	C ₅ H ₁₂ O	88,14	0,81	131	64	62
i-bütül alkol	C ₄ H ₁₀ O	74,12	0,802	108	17	16
n-bütül alkol	C ₄ H ₁₀ O	74,12	80,098	117	0,8	0,7
n-propil alkol	C ₃ H ₈ O	60	80,34	97	0,7	0,7
etanol	C ₂ H ₆ O	46	0,789	78	10	9

Fuzel yağının damıtılmasında farklı kaynama noktası olan sıvıların ayrıştırılmasında kullanılan ayırmsal damıtma yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla daha önce belirtildiği gibi Vigreux kolonlu damıtma test düzeneği kullanılmıştır. Bu amaçla kullanılan düzeneklerde cam kaba konulan fuzel yağı diğer uçtan sıvı halde saf olarak alınmıştır.

5.4.2. Biyodizel Üretimi

Biyodizel üretimi için transesterifikasyon yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem ticari amaçlı biyodizel üreticilerinin de sık olarak tercih ettiği bir yöntemdir. Bu yöntem ile biyodizel üretiminde bir yağ alkol ile tepkimeye sokularak biyodizel üretilmesi sağlanmaktadır. Ticari olarak kullanılan metanol ucuz olduğu için sık tercih edilmektedir. Biyodizel üretimi komplike bir işlemdir. Öncelikle yağ bir alkol ile tepkimeye girerken reaksiyon hızının artması ve dönüşüm veriminin yüksek olması için katalizör kullanılmaktadır.

Biyodizel üretiminde üretimin kalitesini ve üretilen biyodizelin verimini etkileyen bir başka etmen de kullanılan hammaddenin SYA miktarıdır. Bu nedenle SYA

miktarının tespit edilmesi ve SYA miktarına bağılı bir üretim yönteminin tercih edilmesi gerekir.

Dünyada biyodizel üretiminin birçok çeşidi mevcuttur. Bu çeşitlenme reaksiyonda kullanılacak olan ham maddenin SYA miktarına göre değişiklik göstermektedir. Özellikle SYA miktarı yüksek yağlarda biyodizel üretimi iki aşamalı olarak yapılmaktadır. Birinci aşamada asit katalizörü ile SYA miktarı düşürülmektedir.

Biyodizel üretim aşamaları aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir.

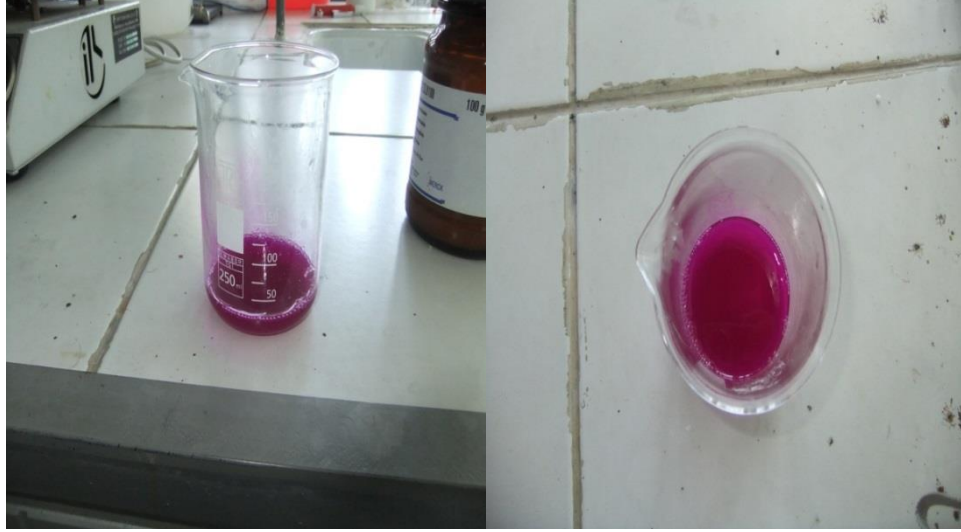
Ham pirina yağının temizlenmesi: Ham pirina yağının içerisindeki partiküllerin temizlenmesi için bir yakıt filtresinden süzülmesi gerekmektedir. Bu işlem için Şekil 5.14'de verilen düzenek kullanılmıştır. 5 µm süzme özelliğine sahip bir filtreden 5 kez süzülen yağ içerisindeki partiküller temizlenmiştir.



Şekil 5.14. Ham pirina yağı temizleme düzeni.

Ham Pirina Yağının SYA Miktarının Tayini: SYA tayininde yağ asitleri bazik bir karışım ile etkisiz hale getirilmektedir. Bu nedenle işlemlerin ilk başında yağ iyi bir çözücüde çözülür, sonrasında ise bazik çözelti ile yağ asitleri etkisiz hale getirilmeye

çalışılır. Bazik çözelti çözülmüş yağ moleküllerinin üzerine damlatıldığında pembe bir renge dönüşür. Şekil 5.15’de yağın renk dönüşümü gösterilmektedir.



Şekil 5.15. SYA belirlenmesinde yağ asitlerinin renk değişimi.

SYA miktarının tespit edilmesinde üç yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada 1. yöntem ile SYA miktarı tayini yapılmıştır. Bu yöntemler;

1. Yöntem: AOSC OFFICIAL 3A–63 olarak isimlendirilen bu metotta çözücü olarak İzopropil alkol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) ve Toluen ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$) kullanılmaktadır. %50 oranında izopropil alkol ve %50 oranında toluen kimyasalları yağı çözmek için karıştırılarak kullanılır. Burada çözülmek istenilen yağın miktarı önemlidir. Bazik çözelti olarak damıtılmış suda 0,1 Normal (N) Potasyum Hidroksit (KOH) çözeltisi hazırlanır. Bu çözelti asidik bir çözeltidir. 0,1 potasyum hidroksit çözeltisinin asitliğini azaltmak için izopropil alkol içinde kütlece %1’lik olarak hazırlanan Phenolphthalein ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$) çözeltisi kullanılır. Hazırlanan bu çözelti ölçülü bir buret ile çözülmüş yağın içerisine damlatılarak Şekil 5.15’de gösterilen renge dönmesi sağlanır. Kalıcı bir pembe renk aldığı anda tüketilen çözelti miktarı yazılarak Eşitlik 5.1’den serbest yağ asitliği değeri bulunur.

$$\% \text{ Serbest Yağ Asiti Değeri} = \frac{V_{\text{KOH}} * 56,1}{V_{\text{YAĞ}}} \quad (5.1)$$

V_{KOH} : Tüketilen KOH miktarı (mL)

$V_{\text{YAĞ}}$: Çözünen yağ miktarı (mL)

2. Yöntem: Yemelik bitkisel yağlar muayene metotları - TS 894, “Yemelik zeytinyağı ve pirina yağı –TS 341“ ve “Yemelik zeytinyağı –Muayene ve deney yöntemleri” - TS 342 standartlarına göre belirlenen bu metotta çözücü olarak etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) – dietil eter ($\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$) ve reaktif olarak da etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) – potasyum hidroksit (KOH) karışımı kullanılmaktadır. Çözücüler eşit oranlarda karıştırılmış ve bir önceki yöntemde de olduğu gibi potasyum hidroksit çözeltisi ile titre edilmiştir. Kalıcı bir pembe renk kalana kadar devam eden bu işlemden sonra Eşitlik 5.2’de ifade edilen değerler ile SYA miktarı bulunmuştur.

$$\% \text{ SYA miktarı} = \frac{V_{\text{KOH}}}{m_{\text{yağ}}} \times 2,8 \quad (5.2)$$

V_{KOH} : Titrasyonda harcanan KOH çözeltisi (mL)

$m_{\text{yağ}}$: Çözünen yağ miktarı (g)

3. Yöntem: Bu yöntemde çözücü olarak izopropil alkol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) ve dietileter ($\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$) karışımı kullanılmaktadır. 2. yöntemden tek farkı çözücülerin farklı olmasıdır. SYA tayininde sonraki kısımlar 2. yöntem ile aynıdır.

Yukarıda tespit edilen 3 yöntem ile belirlenen SYA miktarına bağlı olarak biyodizel reaksiyonlarında kullanılacak alkol ve katalizör miktarı ile reaksiyona sokulacak asit miktarının hesaplama işlemleri yapılmaktadır.

Biyodizel Reaksiyonu: Biyodizel reaksiyonu için Bölüm 5.1’de verilen deney düzeneği kullanılmıştır. Hassas terazi ile ölçülen malzemeler reaksiyon kabına konularak manyetik karıştırıcılı ısıtıcıda karıştırılmıştır.

Biyodizel reaksiyonuna etki eden parametrelerden reaksiyon sıcaklığı, alkol çeşidi, alkol miktarı, katalizör çeşidi, katalizörün miktarı ve reaksiyon süresinin etkilerinin biyodizel dönüşüm verimine etkileri incelenmiştir. Üretilen biyodizellerin dönüşüm veriminin hesaplanmasında aşağıda verilen Eşitlik 5.3 ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Biyodizel Dönüşüm Oranı (\%)} = \frac{\text{reaksiyona giren pirina yağı (g)}}{\text{elde edilen biyodizel miktarı (g)}} \times 100 \quad (5.3)$$

Biyodizelin Yıkaması: Elde edilen biyodizel ilk olarak dinlendirme işlemine tabi tutulmaktadır. Yıkama işlemi ile biyodizelin içerisindeki alkoller uzaklaştırılmaktadır. Yıkama işlemi için iki yol kullanılmıştır.

Birinci yol su ile yıkama yöntemidir. Bu yöntemde üretilen biyodizel bir kaba alınarak üzerine hacimce 1,5 katı oranında 50°C sıcaklıkta damıtılmış su ilave edilir. Bu yöntemde biyodizel bir devir daim pompası ile sürekli olarak karıştırılarak su ile tam olarak yıkanması sağlanmış olunur. Bu işlem sonunda yıkanmış biyodizel bir ayırma hunisine alınarak dinlendirilmeye bırakılır (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Dinlendirilmeye bırakılmış yıkanmış biyodizel.

İkinci yol ise hava kabarcıklı yıkama yöntemidir. Üretilen biyodizel bir kaba alınarak bir hava pompasından sürekli olarak hava üflenir ve biyodizelin su ile tam olarak karışması aynı zamanda havalandırma işlemi yapılmış olunur. Bu yöntemin deneysel düzeneği Şekil 5.17’de verilmektedir.



Şekil 5.17. Biyodizel hava kabarcıklı yıkama düzeneği.

Biyodizelin Kurutulması: Yıkama ve dinlendirme sonrasında ayrılan biyodizelin içerisinde kalan suyun kurutulması gereklidir. Bu işlem için bir manyetik karıştırıcı ısıtıcı yeterli olacaktır. Bunun için biyodizel bir kaba alınır ve suyun buharlaşacağı sıcaklık olan 110°C sıcaklığa kadar ısıtılarak karıştırılır ve suyun biyodizelden uzaklaştırılması sağlanır.

Biyodizelin Filtrelenmesi: Elde edilen biyodizel son olarak 5 µm boyutundaki bir filtreden geçirilerek depolama işlemi yapılır. Sonra üretilen biyodizelin kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenir.

5.4.2.1. Biyodizel Üretiminde Örnek Hesaplamalar

Kullanılan biyodizel dönüşüm oranları ham pirina yağının SYA miktarına göre değişim göstermektedir. Bölüm 5.4.2’de ifade edilen yöntemlerle hesaplanan SYA miktarı ham pirina yağının içerisindeki Oleik asit miktarı ile ölçülmektedir. Bu kısımda ifade edilen SYA miktarı ölçülen oleik asit miktarın yarısıdır [6,9,14].

Hesaplanan ve ölçülen bu SYA miktarına göre biyodizel üretimi gerçekleştirilmektedir. Örneğin yağın ölçülen asit miktarı 20 mg KOH/g olsun. Bu duruma göre, 100 g yağda 10 g SYA miktarı vardır demektir. Bu durumda bilinmesi gereken iki kısım Oleik asidin ve kullanılacak alkolün kütleli değerleridir. Çizelge 5.7’de deneyde kullanılan kimyasal malzemelerin özellikleri verilmektedir.

Çizelge 5.7. Biyodizel üretim kimyasalları ve mol kütleleri.

İsmi	Formülü	Mol Kütle (g/mol)
Oleik Asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH} = \text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	280
Etil Alkol	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	46
Metil Alkol	CH_4O	32
Sülfürik Asit	H_2SO_4	98
Potasyum Hidroksit	KOH	56
Fuzel Yağı*	--	108

* Fuzel yağının kimyasal formülü ve mol kütleleri üretimi yapılan hammaddenin cinsine göre değişiklik gösterir.

Pirina yağında SYA miktarı yağın içerisindeki oleik asit miktarını göstermektedir. Bu nedenle mol sayısının hesaplanmasında aşağıdaki gibi bir formül uygulanabilmektedir.

M_A : Maddenin mol kütle (g)

m_B : Mol sayısı bulunacak maddenin miktarı (g)

n : mol sayısı

$$n = m_B/M_A \text{ (mol)} \quad (5.4)$$

Yağdaki Oleik asidin mol oranını bulunması;

$$10 \text{ (g SYA)} / (280 \text{ g/g}) = 0,035 \text{ mol}$$

Biyodizel üretiminde 10:1 oranında alkol kullanılacaksa reaksiyona sokulması gereken alkol miktarı;

$$0,035 \times 20 \text{ mol} = 0,7 \text{ mol alkol kullanılmalıdır.}$$

0,7 mol alkolün g olarak değerinin bulunması içinse Çizelge 5.6'den alınarak hesaplanmalıdır.

Burada 100 g pirina yağı için;
 $0,7 \text{ (mol)} \times 46 \text{ (g/mol)} = 32,2 \text{ g}$

kullanılması gerektiği bulunmuş olur.

Kullanılacak katalizör miktarı hesaplamasında eğer kullanılacak katalizör %2 alınır;

$10 \text{ g} \times 0,02 = 0,2 \text{ g}$ bulunur.

5.4.3. Motor Deneyleri

Motor deneyleri farklı motor hızlarında ve farklı motor yüklerinde her bir yakıt karışımı için tekrarlanmıştır. İlk olarak motorun yağlama yağı ve yakıt enjeksiyon sisteminin (püskürtme basıncı ve avansı) değerleri katalog değerleri ile karşılaştırılarak kontrol edilmiştir.

Motor çalışmaya başladıktan sonra yaklaşık 3 dakika yüksüz durumda çalıştırılarak ısınması sağlanmıştır. Tüm çalışma koşullarında ölçüm alınmadan önce motorun yaklaşık 1 dakika kararlı çalışması beklendikten sonra veriler kaydedilmiştir. İlk yapılan deneyler tam yükte değişik motor hızlarında ve değişik biyodizel/dizel yakıtı karışımlarında yapılmıştır. Bunun için motorun gaz kolu maksimum seviyeye getirilmiştir. Bu durumda düzgün çalışma devri olan 3000 1/min dinamometrenin motor hızı kontrol panelinden gözlemlenmiştir. Düzenli çalışma devri elde edildiğinde motor dinamometresinin kontrol paneli üzerinden motor yüklenerek 1600, 2000, 2400 ve 2800 1/min olacak şekilde yüklenerek her defasında motorun döndürme kuvveti, yakıt tüketimi, egzoz gazı emisyonu, egzoz gazı sıcaklığı, ve basınç değerleri kayıt altına alınmıştır. Maksimum motor torkunun elde edildiği devir 2400 1/min olarak tespit edilmiştir. Bu deneylerin tamamlanmasından sonra sabit hız değişik motor yüklerinde deneyler tekrarlanmıştır. Bu motor deneyleri ise maksimum tork devri olan 2400 1/min'de 4,05 Nm, 7,9 Nm ve 10,3 Nm motor yüklerinde tekrarlanmıştır.

Deneyleer sırasında istenilen motor yükü ve motor hz değerlerinin elde edilmesinden sonra motorun düzgün çalışma koşullarına gelmesi için yaklaşık bir dakika beklenilmiş ve sonrasında ilk olarak silindir içi basıncı, yakıt hat basıncı, yakıt tüketim süresi, egzoz gazı sıcaklığı ve emisyon değerleri kayıt altına alınmıştır. Daha sonrasında alınan basıncı değerleri MATLAB ve ORİGİN LAB programı kullanılarak işlenmiş ve grafikler elde edilmiştir.

5.4.3.1. Motor Momenti ve Motor Gücü

Deneyleerde llen değerler motor parametrelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Parametrelerin başında motor momenti (M_e) gelmektedir. Motor momenti Eşitlik 5.5 yardımı ile bulunmaktadır.

$$M_e = F \times L \quad (5.5)$$

Burada;

M_e : Motor momenti (Nm)

F : Motorun yük hücresine uyguladığı kuvvet (N)

L : Motor dönme ekseninin merkezine uzaklığı (m)

Motorun ürettiği gücü ise Eşitlik 5.6 ile hesaplanmaktadır.

$$P_e = M_e \times \omega = M_e \times 2 \times \pi \times n / 60 \quad (5.6)$$

Burada;

M_e : Motor momenti (Nm)

n : Motor devri (1/min)

P_e : Motor efektif gücü (kW)

ω : Açısal hız (rad/s)

5.4.3.2. Yakıt Tüketimi, Fren Özgül Yakıt Tüketimi ve Özgül Enerji Tüketimi

Motor deneyleri sırasında ölçülen değerler ile motorun yakıt tüketimi ve özgül enerji tüketimi değerleri hesaplanabilmektedir. Yakıt tüketimi Eşitlik 5.7’de verilmektedir.

$$\dot{m}_y = \Delta m \times 3600 / \Delta t \quad (5.7)$$

Burada;

Δm : Tüketilen yakıt miktarı (g)

Δt : Yakıtın harcanma süresi (s)

\dot{m}_y : Yakıt tüketimi (g/h)

Fren özgül yakıt tüketimi, yakıt tüketiminden farklı olarak bir saat boyunca bir kW’lık iş yapabilmek için harcanması gereken yakıt miktarını ifade eden bir değerdir. Bu nedenle bu değer Eşitlik 5.8’de verilen eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$sfc = \dot{m}_y / P_e \quad (5.8)$$

Burada;

sfc : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

Özgül enerji tüketimi, yakıt tüketiminden farklı olarak bir saat boyunca bir kW’lık iş yapabilmek için harcanması gereken enerji miktarını ifade eden bir değerdir. Bu nedenle bu değer Eşitlik 5.9’da verilen eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$FÖET = (H_u \times sfc) / 1000 \quad (5.9)$$

Burada;

H_u : Yakıtın alt ısıl değeri (MJ/kg)

5.4.3.3. Efektif Verim

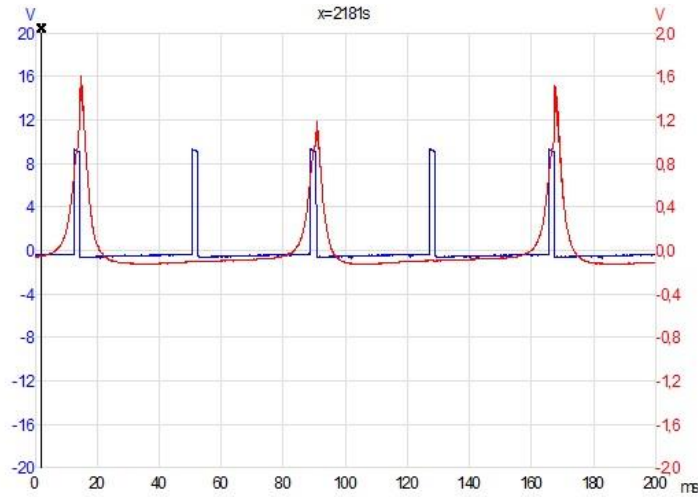
Efektif verim, motor milinden elde edilen (birim zamandaki) işin silindire verilen birim zamandaki enerjiye oranı şeklinde tarif edilir ve iş veya güç oranları cinsinden yazılırsa,

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_T} = \frac{W_e/t}{Q_T/t} = \frac{P_e}{\dot{m}_y * H_u} \quad (5.10)$$

elde edilmiş olunur.

5.4.3.4. Basınç Verilerinin Kaydedilmesi

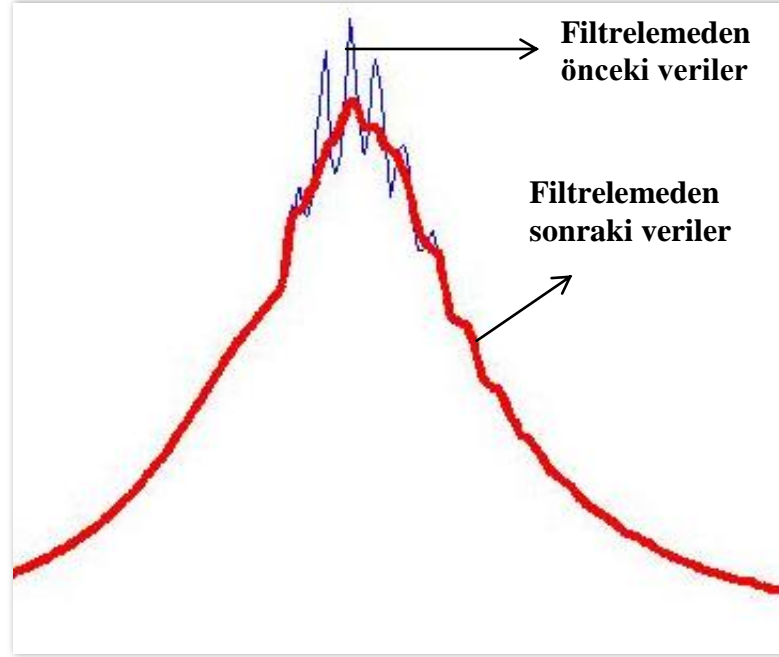
Basınç verileri anlık olarak osiloskop üzerinden bilgisayara aktarılarak kayıt altına alınmıştır. Deneylerde Pico marka osiloskop kullanılmıştır. Osiloskopun bilgisayar takip ve kayıt ekranı Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18. Kullanılan sistemin kayıt ve takip ekranı.

5.4.3.5. Basınç Verilerinin Filtrelenmesi

Bu tür basınç ölçme yönteminde ölçme verileri titreşimli olduğu için verilerin filtrelenerek düzeltilmesi gerekmektedir. Bu işlem için Origin programı kullanılmıştır. Şekil 5.19'da filtrelemeden önce ve sonraki veriler gösterilmektedir.



5.19. Basınç verilerinin filtrelenmesi.

5.4.3.6. Isı Yayılım Oranı Hesaplanması ve Yanma Analizi

Bu kısımda ısı yayılım oranının (IYO) ve yanma karakteristiklerinin (maksimum silindir basıncı ve yeri, basınç artış hızı, püskürtme gecikmesi, tutuşma gecikmesi ve silindir içerisindeki ortalama gaz sıcaklığının) nasıl bulunduğu anlatılmaktadır.

Isı yayılım oranı termodinamiğin 1. kanunu kullanılarak yapılan tek boyutlu bir yanma analiz metoduna göre bulunmaktadır. Bu analiz işleminde bazı sabit değerler kabul edilerek işlemler yapılmaktadır. Burada;

- Hava/yakıt karışımı ideal gaz kabul edilir.
- Yanma işlemi boyunca dolguda değişim olmadığı kabul edilmektedir.

- Üretilen enerji aynı zamanda silindirlere etkileyen enerji olarak kabul edilir.

Bu kabuller neticesinde Eşitlik 5.11 kullanılarak IYO hesaplanabilmektedir [75,76].

$$\Phi_n = [k/(k-1) p dV/d\theta + 1/(k-1) V dp/d\theta] \quad (5.11)$$

Burada;

Φ_n : Isı yayılım oranı (IYO) (kJ/°KMA)

p : Silindir basıncı (Pa)

V : Silindir hacmi (m³)

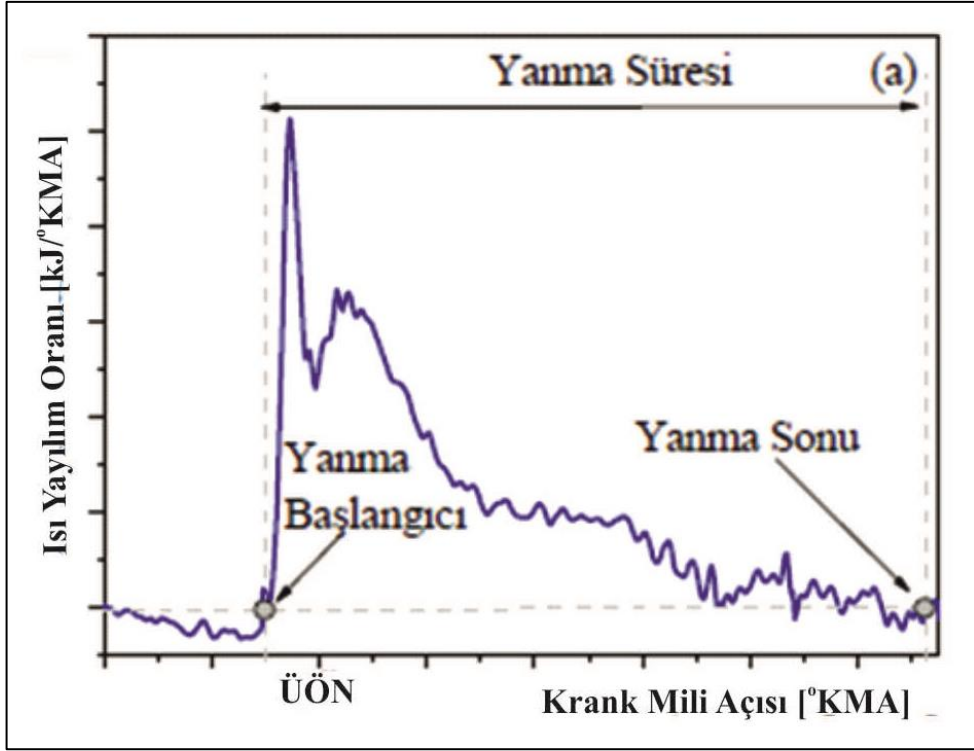
θ : Krank mili açısı

k : 1,35

Isı yayılım oranının hesaplanmasından sonra elde edilen grafik ile yanmanın daha detaylı analizi yapılmıştır. Şekil 5.20'de IYO ve IYO'nun analizi görülmektedir. Bu kısımda toplam yanma süresi tespit edilmiştir.

Yanmanın daha detaylı incelenebilmesi için IYO'nun integrali alınarak başka bir yanma eğrisi daha elde edilmektedir. Elde edilen bu yanma eğrisinin oluşturduğu grafik toplam ısı yayılım oranı ismiyle (TIYO) ifade edilmektedir. Bu iki grafiğin hizalanması ve üst üste getirilmesi ile birlikte yanma analizi daha detaylı olarak gerçekleştirilebilmektedir. TIYO, Eşitlik 5.11'in integrali alınarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 5.12) [68,75-77].

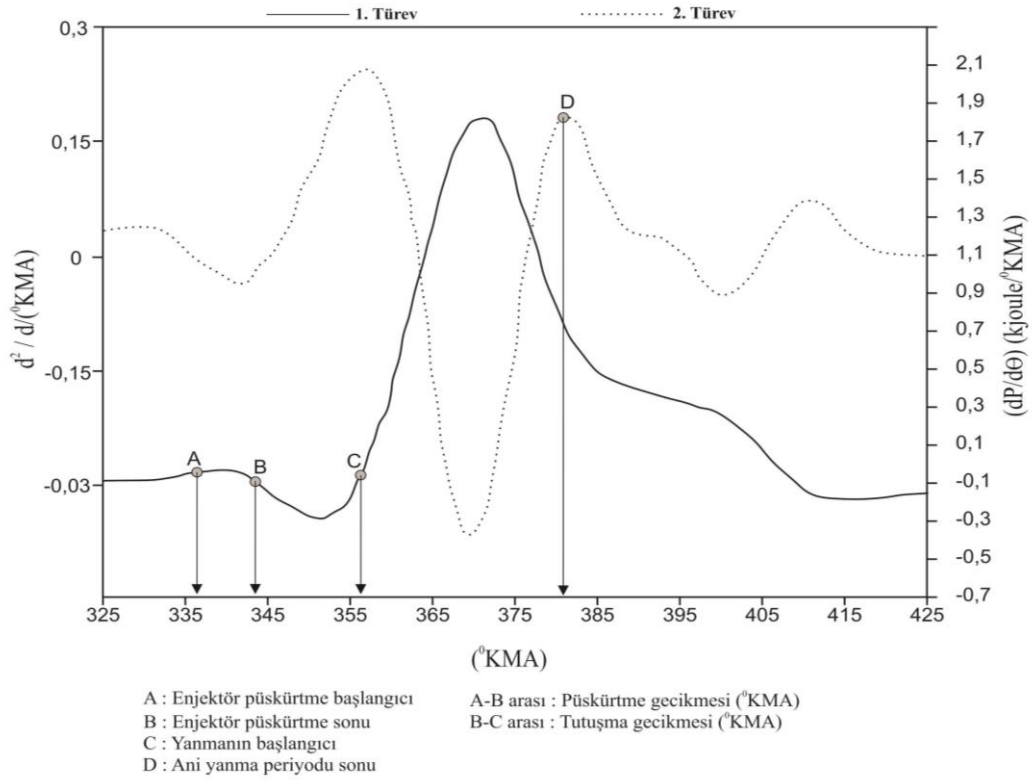
$$TIYO = \int [k/(k-1) p dV/d\theta + 1/(k-1) V dp/d\theta] \quad (5.12)$$



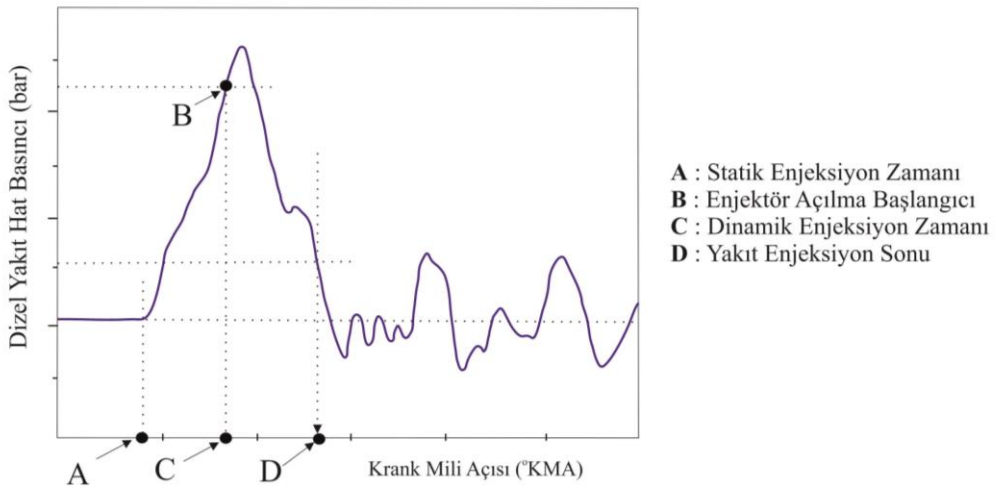
Şekil 5.20. Isı yayılım oranı grafiği ve ısı yayılım oranının analizi [75].

Şekil 5.21’de de görüldüğü gibi grafik üzerindeki noktaların karşılığına denk gelen değerler grafik üzerinde incelenerek püskürtme gecikmesi, tutuşma gecikmesi, yanmanın başlangıcı ve yanmanın bitiş süreleri tespit edilebilmektedir.

Şekil 5.22 yakıt hat basıncını ifade etmektedir. Yakıt hat basıncı yanmanın toplam süresinin tespit edilmişinde kullanılmaktadır. Bu basınç grafiği üzerinden yakıtın silindirlere hangi zaman diliminde püskürtülmeye başlandığı $^\circ\text{KMA}$ cinsinden görülmüştür.

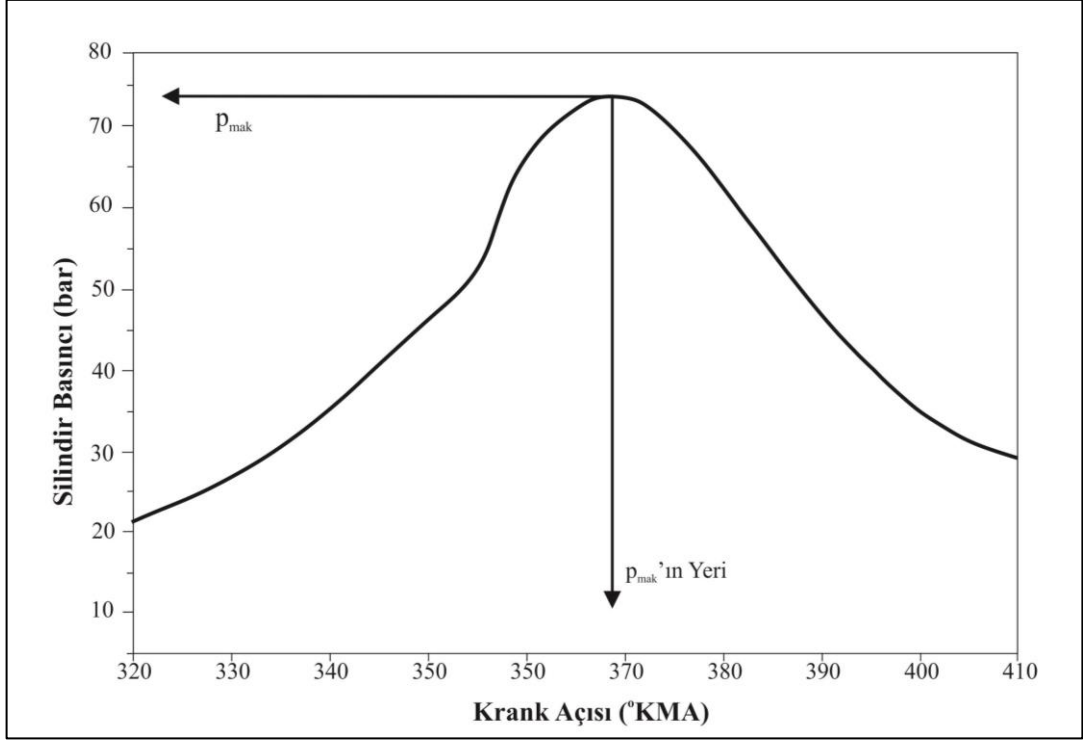


Şekil 5.21. Yanma analizi.



Şekil 5.22. Yakıt hat basıncı analizi [76,77].

Şekil 5.23’de silindir içerisindeki maksimum basınç ve yeri $^\circ\text{KMA}$ ’ya göre silindir içi basınç değişiminden tespit edilmektedir. Silindir basınçlarının yorumlanmasında özellikle yerinin ve zamanın tespitinde bu kısımdan yararlanılmıştır. Özellikle maksimum silindir basıncın meydana geldiği anın tespit edilmesinde bu kısımdan yararlanılmaktadır.



Şekil 5.23. p_{mak} ve p_{mak} 'ın basıncının yeri.

BÖLÜM 6

BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. BİYODİZEL ÜRETİMİ

Biyodizel üretiminde reaksiyon sıcaklıklarının, katalizör ve alkol miktarının, alkol ve katalizör çeşidinin, biyodizel reaksiyon sürelerinin etkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle pirina yağından biyodizel üretiminin optimum koşulların bulunması için verilen tüm bu parametreler değiştirilerek deneyler tekrarlanmıştır. Belirlenen optimum değerler ile biyodizel üretimi yapılmıştır.

6.1.1. SYA Miktarının Tespit Edilmesi

Bölüm 5.4.2’de belirtilen yöntemlerle biyodizel üretilecek ham pirina yağının asit miktarının 42 mg KOH/g (SYA miktarı %21) olduğu tespit edilmiştir. Biyodizel üretimi iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

6.1.2. SYA Miktarının İyileştirilmesi

SYA miktarı %1’den yüksek yağlarda öncelikle SYA miktarının %1’nin altına düşürülmesi gereklidir. Bu nedenle pirina yağı bir alkol (metanol, etanol, bütanol vb.) ve asit (sülfirik asit ya da hidroklorik asit) ile tepkimeye sokularak SYA miktarı kontrol edilmektedir. Yapılan çalışmalar SYA miktarının asidik katalizörlerle reaksiyon sonrasında azaldığını göstermektedir. Bu nedenle Çanakçı’nın çalışması referans alınarak ham pirina yağı sülfirik asit (H_2SO_4) ve hidroklorik asit (HCL) ile tepkimeye sokulmuştur [18].

Hassas terazi ile ölçülen malzemeler manyetik karıştırıcılı bir ısıtıcıda 2 saat reaksiyona tabi tutulmuş ve her reaksiyon sonrasında SYA miktarı tespit edilmiştir.

Bu işlemlerin sonucunda biyodizel üretimine geçilebilecek %1'lik SYA değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Tüm ön deneylerde yüksek SYA miktarına sahip ham pirina yağı için iki aşamalı bir yöntem ile SYA miktarı istenilen değere düşürülmüştür.

SYA miktarının azaltılmaya çalışıldığı ön işlem bölümünde en ideal oranlar kütlece %1 H₂SO₄, 20:1 mol oranında damıtılmış fuzel yağı (alkol)/yağ (mol/mol) olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.1'de ön işlem için tekrarlanan aşamalar verilmektedir. Çizelge 6.2'de ise ön işlem sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. Ham pirina yağının ön iyileştirme işlemleri ve oranları.

Alkol	Alkol /Yağ Mol Oranı	Katalizör Türü	Katalizör Miktarı (Kütlese %)
Etanol			
Metanol	6:1, 10:1, 20:1, 40:1	H ₂ SO ₄	0,5, 1, 1,5, 3, 5, 10
Bütanol			
Fuzel yağı			

* Reaksiyon süresi 2 saat ve reaksiyon sıcaklığı 65°C'dir.

Çizelge 6.2. SYA miktarının iyileştirilmesinin sonuçları.

Alkol	Alkol /Yağ Mol Oranı	Katalizör Türü	Katalizör Miktarı (Kütlese %)	Aşama Sayısı
Etanol	10:1		0,5	2
Metanol	6:1	H ₂ SO ₄	0,5	2
Bütanol	10:1		1	2
Fuzel Yağı	20:1		3	2

* Reaksiyon süresi 2 saat ve reaksiyon sıcaklığı 65°C'dir.

6.1.3. Alkol Çeşidinin Biyodizel Üretimine Etkisi

Yapılan çalışmalar biyodizel reaksiyonlarında alkol çeşitlerinin kullanımının reaksiyon verimine ve üretilen biyodizelin özelliklerine etki ettiğini göstermektedir [78]. Bu nedenle bu kısımda reaksiyonda etanol (etil alkol), metanol (metil alkol), bütanol (bütil alkol) ve fuzel yağı kullanılmıştır.

SYA miktarı %1'nin altına düşürülen ham pirina yağı üç boyunlu reaktöre alınarak manyetik karıştırıcılı bir ısıtıcıda reaksiyona tabi tutulmuştur. Biyodizel üretiminde 10:1 mol oranında (alkol/yağ), katalizör olarak kütlece %1'lik NaOH ile 65°C sıcaklıkta 3 saat reaksiyona tabi tutulmuştur. Alkol çeşidinin etkisinin incelendiği reaksiyonlarda verilen değerler maksimum biyodizel üretim verimi göz önüne alınmıştır.

Çalışmanın bu kısmı biyodizel dönüşüm verimliliği açısından metanolün daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca etanol ile %83, bütanol ile %81 ve fuzel yağı ile %78'lik bir biyodizel dönüşüm verimi elde edilmiştir (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3. Alkol türünün biyodizel dönüşüm oranına etkisi.

Alkol Cinsi	Biyodizel Dönüşüm Oranı (%)
Metanol	85
Etanol	83
Bütanol	81
Fuzel Yağı	78

* Kütlece %1'lik NaOH katalizörü ve 65°C sıcaklıkta 3 saatlik reaksiyon.

6.1.4. Alkol Miktarının Biyodizel Üretimine Etkisi

Alkol çeşitlerinin yanında reaksiyona katılan alkol miktarının da biyodizel dönüşüm oranına etkisi olduğu bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışmada 6:1, 10:1, 15:1, 20:1 (alkol/yağ) mol oranlarında alkol kullanılmıştır.

SYA miktarı %1'nin altına düşürülen ham pirina yağı üç boyunlu reaktöre alınarak manyetik karıştırıcı bir ısıtıcıda reaksiyona tabi tutulmuştur. Biyodizel üretiminde katalizör olarak kütlece %1'lik NaOH ile 65°C sıcaklıkta 3 saat reaksiyona tabi tutulmuş ve biyodizel dönüşümüne etkisi incelenmiştir.

Çalışma sonuçları göstermektedir ki; reaksiyona katılan alkol miktarının artması ile birlikte biyodizel dönüşüm verimliliği artmaktadır. Örneğin fuzel yağı ile 6:1 mol oranı ile %59, 10:1 mol oranı ile %78, 15:1 mol oranı ile %79, 20:1 mol oranı %80 biyodizel dönüşüm verimi elde edilmiştir (Çizelge 6.4).

Çizelge 6.4. Fuzel yağı miktarının biyodizel dönüşüm oranına etkisi.

Alkol Miktarı (mol alkol/mol yağ)	Biyodizel Dönüşüm Oranı (%)
6:1	59
10:1	78
15:1	79
20:1	80

Biyodizel reaksiyonlarında fazladan alkol kullanmak reaksiyon verimini bir miktar artırıyor olsa da ideal alkol miktarını kullanmak önemlidir. Çünkü fazla miktarda alkol kullanımında biyodizelin yıkama süreci artmaktadır.

6.1.5. Katalizör Türünün Biyodizel Üretimine Etkisi

Biyodizel üretiminde kullanılan katalizörler biyodizel reaksiyonun verimine, reaksiyon süresine doğrudan etki ettiği bilinmektedir. Bu nedenle KOH ve NaOH katalizörleri kullanılarak etkileri incelenmiştir.

Biyodizel üretiminde alkol olarak 10:1 mol oranında (alkol/yağ) fuzel yağı ve katalizör olarak kütlece %1 oranında KOH ve NaOH ile 65°C sıcaklıkta ve 3 saat reaksiyon sonucundaki değerler incelenmiştir (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5. Katalizör türünün biyodizel dönüşüm oranına etkisi.

Katalizör Türü	Biyodizel Dönüşüm Oranı (%)
KOH	59
NaOH	78

* Alkol olarak fuzel yağı kullanılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda katalizör türünün biyodizel üretiminde biyodizel dönüşüm hızına etki ettiği görülmüştür. KOH katalizörünün kullanıldığı reaksiyonda biyodizel dönüşüm süresi uzarken, NaOH katalizörünün kullanıldığı reaksiyonda ise reaksiyon süresinin KOH katalizörlü reaksiyona göre daha kısa sürede bittiği tespit edilmiştir. Ayrıca katalizör olarak KOH kullanımında verimin artması için kullanılması gereken KOH miktarının artması gerektiği tespit edilmiştir.

Ham pirina yağı eşit miktarda farklı katalizör ile 65°C sıcaklık, 3 saatlik reaksiyon süresi sonunda en iyi verim %78 ile NaOH elde edilmiştir.

6.1.6. Katalizör Miktarının Biyodizel Üretimine Etkisi

Biyodizel üretiminde katalizör çeşidinin yanında katalizör miktarının da etkisi önemli bir parametredir. Bu nedenle bir üst bölümde tercih edilen NaOH katalizörünün kütlece %0,5, 1, 1,5, 3 ve 5 oranlarında reaksiyona katılarak etkileri incelenmiştir.

Biyodizel üretiminde alkol olarak 10:1 mol oranında (alkol/yağ) fuzel yağı ve katalizör NaOH kullanılmış 65°C sıcaklıkta ve 3 saat reaksiyon sonucundaki değerler incelenmiş ve en iyi sonuç kütlece %1 NaOH ile elde edilmiştir (Çizelge 6.6).

Çizelge 6.6. Katalizör miktarının biyodizel dönüşümüne etkisi.

Katalizör Miktarı (Kütlece (%))	Biyodizel Dönüşüm Oranı (%)
0,5	65
1	78
1,5	78
2	78
3	79
5	79

Çizelge 6.6'da görüldüğü gibi katalizör miktarının artması ile birlikte biyodizel dönüşüm oranında çok az bir iyileşme görülmektedir. Bunun yanında reaksiyona katılan katalizör miktarının artması ile birlikte biyodizelin yıkama aşamasının uzadığı tespit edilmiştir.

6.1.7. Reaksiyon Sıcaklığının Biyodizel Üretimine Etkisi

Bu bölümde biyodizel üretiminde reaksiyon sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Bu nedenle $\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklık hassasiyetindeki kontaktörlü manyetik karıştırıcılı ısıtıcıda biyodizel üretim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon 50, 55, 57, 60, 65, 70 ve 75°C sıcaklıklarda tekrarlanmıştır.

Biyodizel üretiminde alkol olarak 10:1 mol oranında (alkol/yağ) fuzel yağı ve katalizör olarak kütlece %1'lik NaOH kullanılmış her bir sıcaklıkta, 3 saatlik reaksiyon sonucundaki değerler incelenmiştir.

Alkol olarak fuzel yağının kullanıldığı bu bölümde optimum sıcaklık değeri tespit edilmeye çalışılmış ve sıcaklık değerinin 65°C 'ye kadar artırılması ile biyodizel dönüşüm veriminin arttığı tespit edilmiştir. 65°C üzerindeki sıcaklıklarda ise biyodizel dönüşüm veriminde azalma görülmektedir (Çizelge 6.7).

Çizelge 6.7. Reaksiyon sıcaklığının biyodizel dönüşüm oranına etkisi.

Reaksiyon Sıcaklığı (°C)	Biyodizel Dönüşüm Oranı (%)
50	65
55	68
57	70
60	76
65	78
70	71

* Alkol olarak fuzel yağı kullanılmıştır.

6.1.8. Reaksiyon Süresinin Biyodizel Üretimine Etkisi

Biyodizel üretiminde reaksiyon süresi son derece önemlidir. Reaksiyonun kısa sürmesi kimyasal dönüşümlerin tam olarak gerçekleşmesinin önüne geçmektedir. Bu da hem üretilen biyodizelin kimyasal ve fiziksel özelliklerini hem de üretilen biyodizelin dönüşüm verimini etkilemektedir. Bir diğer faktör de reaksiyonun tamamlanmasına rağmen devam ettirmektir. Bu ise enerji ve işçilik giderlerini arttırmaktadır. Bu nedenle optimum sıcaklık değerini tespit etmek önemlidir. Bu nedenle 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5 ve 8 saat olmak üzere reaksiyon süreleri ile deneyler tekrarlanmıştır.

Biyodizel üretiminde alkol olarak 10:1 mol oranında (alkol/yağ) fuzel yağı ve katalizör olarak kütlece %1'lik NaOH kullanılmış 65°C, belirtilen reaksiyon sürelerindeki reaksiyon sonuçları incelenmiştir.

Tekrarlanan biyodizel üretiminde elde edilen veriler Çizelge 6.8'de verilmektedir. Verilen değerler göz önünde bulundurulduğunda sürenin artması ile biyodizel veriminin değiştiği fakat belirli bir noktadan sonra sürenin daha da arttırılması ile birlikte biyodizel dönüşüm oranında değişimin olmadığı görülmektedir. Bu da sürenin belli bir aşamadan sonra etkisinin azaldığını göstermektedir.

Çizelge 6.8. Reaksiyon sıcaklığının biyodizel dönüşüm oranına etkisi.

Reaksiyon Süresi (saat)	Biyodizel Dönüşüm Oranı (%)
1	35
1,5	58
2	65
2,5	71
3	78
3,5	78
4	79
4,5	79
8	79

6.2. MOTOR DENEYLERİ İÇİN BİYODİZEL ÜRETİMİ

Ön biyodizel üretim deneylerinden elde edilen veriler ile motor deneylerinde kullanılacak biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle optimum koşullar;

Reaksiyon sıcaklığı : 65°C
Alkol türü : Fuzel yağı (g)
Alkol miktarı : 10:1 (alkol/yağ) (mol/mol)
Katalizör türü : NaOH (g)
Katalizör miktarı : % 1(kütlece)
Reaksiyon süresi : 3 (saat)

olarak belirlenmiştir.

Yukarıdaki koşullarda motor deneylerinde kullanılmak üzere biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyodizelin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin tespiti TÜBİTAK-MAM'da yaptırılmıştır (Çizelge 6.9).

Çizelge 6.9. Ham pirina yağı biyodizelinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Analiz	Birimi	HPYB	Standart	Analiz Metodu
Yoğunluk	kg/m ³	886,1	860-900	EN ISO 12185
Kinematik Viskozite (40°C)	mm ² /s	6,208	3,5-5	EN ISO 3104
Parlama noktası	°C	172,5	≥120	EN ISO 3679
Soğuk filtre tıkkama noktası	°C	-4	-	EN 116
Asit sayısı	mg KOH/g	0,13	≥0,5	EN 14106
İyot sayısı	g iyot/100 g	88	≤130	EN 14111
Linolenik asit metil esteri	%(m/m)	1	-	EN 14103
Karbon kalıntısı	%(m/m)	0,39	0,4	EN ISO 10370
Setan sayısı	-	58	-	EN ISO 5165
Akma noktası	°C	-6	0	ISO 3016
Net yanma ısı	MJ/kg	39,58	35	ASTM D 240

Analiz sonuçları incelenmiş ve elde edilen biyodizelin genel olarak motorlarda kullanılabilir standart aralığında olduğu görülmüştür. Çizelge 6.9’da verilen ham pirina yağı biyodizelinin (HPYB) kısaltılmış şeklini ifade etmektedir.

6.3. BİYODİZEL ÜRETİMİNİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

HPYB’nin kimyasal ve fiziksel özelliklerini dizel yakıtı ile karşılaştırarak dizel motorlarında kullanılmasının uygun olup olmadığını anlamak mümkündür.

Yoğunluk: Dizel motorlarında kullanılacak biyodizel yakıtının yoğunluğunun 15°C sıcaklıkta EN ISO 12185 standartlarına göre 860-900 kg/m³ arasında olması beklenilmektedir. Elde edilen biyodizelin yoğunluğu 886,1 kg/m³ tespit edilmiştir. Bu değer istenilen standart aralığında olduğu görülmektedir.

Kinematik Viskozite: Dizel motorlarında kullanılacak biyodizel yakıtının kinematik viskozite değerinin 40°C sıcaklıkta EN ISO 3104 standartlarına göre Türkiye koşullarında 3,5 ile 5 mm²/s değer aralığında olması gerekmektedir. Üretilen biyodizelin viskozite değerinin standartlar üzerinde olduğu görülmektedir. Fakat

üretile biyodizelin kinematik viskozite değeri Amerika ve Avrupa'daki biyodizel standartlarına uygun olduğu görülmektedir [78].

Parlama Noktası: Biyodizelin parlama noktasının EN ISO 3679 standartlarına göre minimum 120°C olması beklenilmektedir. Elde edilen biyodizelin parlama noktasının sıcaklığı 172,5°C tespit edilmiştir. Bu değeri standartları sağlamaktadır.

Soğukta Filtre Tıkama Noktası: bu değeri üretilen biyodizelin motorlarda kullanılabilmesi için önemli bir parametredir. Bu değeri mevsimlere göre değışiklik göstermektedir. EN ISO 116 standardına göre biyodizelin yaz döneminde (1 Nisan-30 Eylül (± 15)) 0-5°C, kış döneminde ise (1 Ekim – 31 Mart (± 15)) -5, - 15°C, olması beklenilmektedir. Üretilen biyodizelin -4 olan özelliği yaz aylarında kullanılabilceğini göstermektedir.

Asit Sayısı: Biyodizelin içeriğinde asit miktarı motorun demir parçaları ile tepkimeye girerek zarar veren bir etmendir. Bu nedenle biyodizelin bu değeriinin standartlar arasında olması gerekmektedir. EN 14104 standartlarına göre biyodizelin asit içeriğinin en çok 0,5 mg KOH/g olması gerekmektedir. Üretilen biyodizelin asit değeriinin 0,13 mg KOH/g olduğu ve bu değeriin standartlar arasında olduğu görülmektedir.

İyot Sayısı: Biyodizel yakıtlarında iyot sayısı EN 14111 standardı ile ölçülmektedir. Biyodizel yakıtlarında iyot sayısının 120 g iyot/100 g düşük olması beklenilmektedir. Elde edilen biyodizel yakıtının iyot değeri 88 g iyot/100 g değeri standartlar arasındadır.

Linolenik Asit Metil Esteri: Biyodizel yakıtlarında linonenik asit metil esteri EN 14103 standardı ile ölçülmektedir. Biyodizel yakıtlarında linonenik asit metil esteri miktarının kütlece maksimum %12 (m/m) değeriini geçmemesi gerekmektedir. Elde edilen biyodizel yakıtının linonenik asit metil esteri %1 (m/m) değeri ile standartlar aralığındadır.

Karbon Kalıntısı: Biyodizel yakıtlarında karbon kalıntısı değeri EN ISO 10370 standardı ile ölçülmektedir. Biyodizel yakıtlarında karbon kalıntısı miktarının kütlece maksimum %0,45 (m/m) değerini geçmemesi gerekmektedir. Elde edilen biyodizel yakıtının karbon kalıntısı %0,39 (m/m) değeri ile standartlar aralığındadır.

Setan Sayısı: Biyodizel yakıtlarında setan sayısı değeri EN ISO 5165 standardı ile ölçülmektedir. Biyodizel yakıtlarında setan sayısının minimum 51 olması beklenilmektedir. Elde edilen biyodizel yakıtının setan sayısının 58 olması standartlar aralığında olduğunu göstermektedir.

Akma Noktası: Biyodizel yakıtlarında akma noktası değeri TS 1233 ISO 3016 standartları ile ölçülmektedir. Bu değerlerde soğukta filtre tıkama noktası değeri gibi mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Biyodizelin akma noktası sıcaklığı değeri ülkemizde kullanılabilir değerler arasındadır.

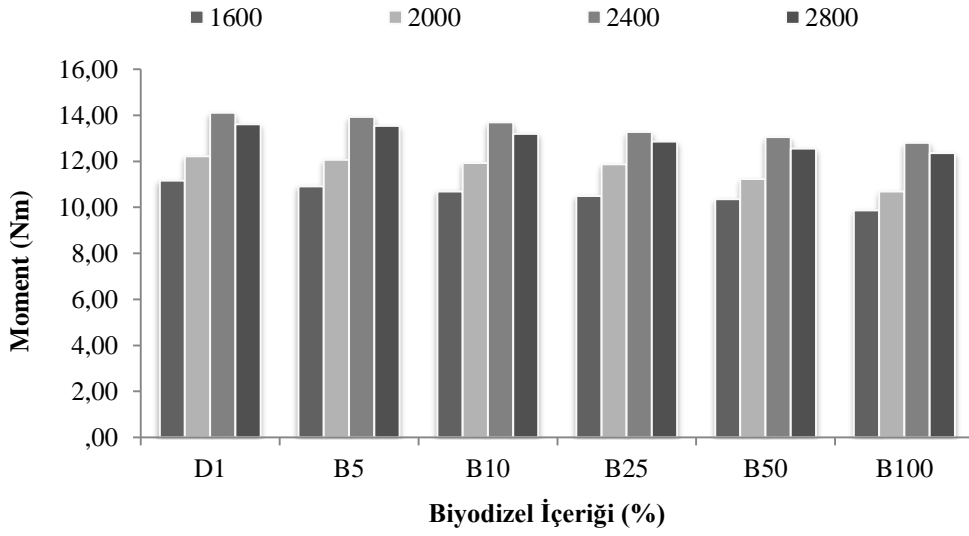
Net Yanma Isısı: Biyodizel yakıtlarında net yanma ısısı değeri ASTM D 240 standartları ile ölçülmektedir. Biyodizellerde net yanma ısısının bir alt ya da üst değeri yoktur. Fakat net yanma ısısı ne kadar yüksek bir değerde olursa o kadar yanması sonucu oluşan ısı yüksek ve biyodizelin kullanılması ile elde edilecek iş yüksek olur. Net yanma ısısının dizel yakıtından düşük olması aynı işin elde edilmesi için kullanılması gereken yakıt miktarını da yükseltecektir. Motor deneylerinde kullanılan dizel yakıtının net yanma ısısı değeri 43,76 MJ/kg'dır. Elde edilen biyodizelin net yanma ısısı ise 39,58 MJ/kg'dır. Biyodizelin ısı değeri dizel yakıtından %9,2 değerinde azdır.

6.4. PİRİNA YAĞI BİYODİZELİ-DİZEL YAKITI KARIŞIMLARININ DEĞİŞİK MOTOR HIZLARINDA PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

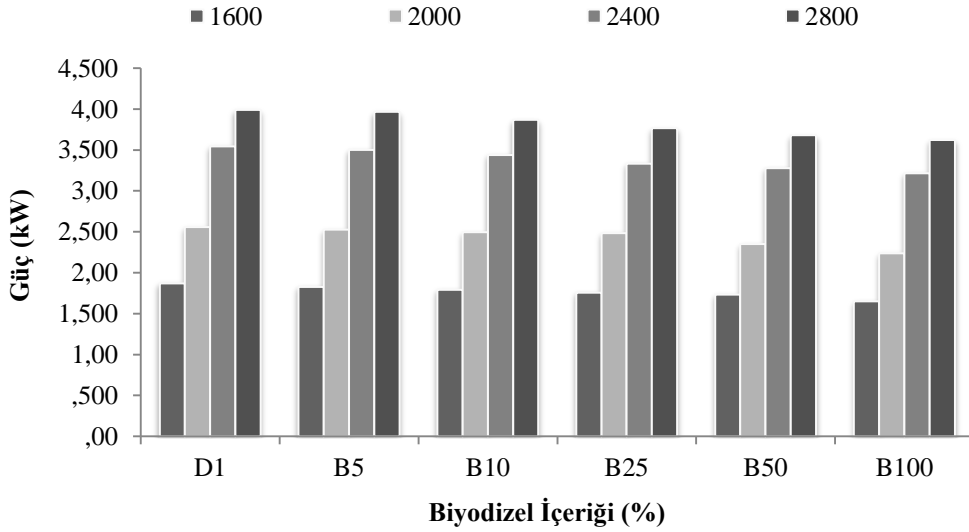
6.4.1. Pirina Yağı Biyodizeli-Dizel Yakıtı Karışımlarının Değişik Motor Hızlarında Motor Performansına Etkisi

Bu bölümde dizel yakıtının içerisine ilave edilen pirina yağı biyodizelinin motor hızına bağlı olarak motor performans parametrelerine etkileri incelenmiştir.

Dizel yakıtına biyodizel ilavesinin motor hızı ile değişiminin etkisinin motor momentine ve motor gücüne etkisi Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilmektedir. Dizel yakıtının içerisine biyodizel ilavesi ile birlikte motor momentinde düşüş olduğu tespit edilmiştir. Bunun temel sebebi yakıtların ısı değerleridir. Motor hızının artması ile birlikte motor gücünde ve motor momentinde artma görülmektedir. Düşük motor hızlarında, yakıtların karışım oluşturma hızını etkileyen yakıt püskürtme hızı yüksek viskoziteli yakıtlar için düşüktür. Bu durum motor torkunu ve motor gücünü olumsuz etkilemektedir. Motor gücü arttıkça silindir içerisindeki yakıtın sıcaklığı ve yakıtın silindir içerisine nüfuz etmesi arttığı için motor gücünde ve motor torkunda artış görülmektedir. Bu nedenle dizel yakıtına biyodizel ilave ettikçe ısı değerinin orantılı olarak azalmasına rağmen motor torkundaki ve motor gücündeki düşüş orantılı değildir. Dizel yakıtına ilave edilen biyodizel ile yakıt karışımının setan sayısının artışının yanmayı olumlu olarak iyileştirdiği düşünülmektedir. Motor gücünde ve motor torkunda B100 yakıtı ile düşük motor hızlarında (1600 1/min) yaklaşık olarak %6, orta motor hızlarında (2000 1/min) %4,8 ve maksimum motor hızında ise %5,2’lik bir düşüş görülmektedir. Bu düşüş miktarı dizel yakıtına ilave edilen biyodizel miktarının artması ile artış göstermektedir. Motor gücünde ve motor momentinde en büyük düşüş ise B100 yakıtı ile tespit edilmiştir. Motor momentindeki ve motor gücündeki bu düşüş literatürdeki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir [79,80].



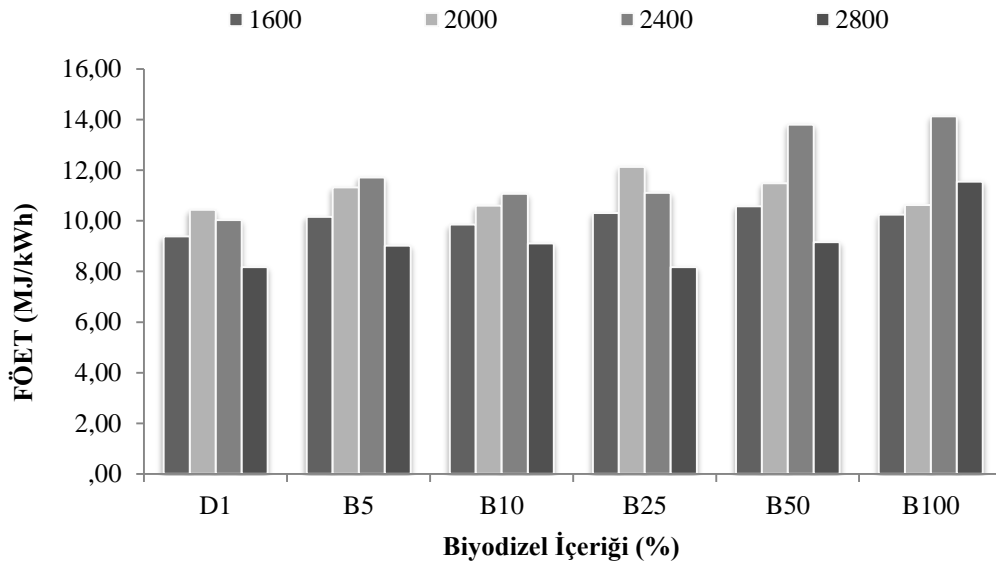
Şekil 6.1. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında motor momentine etkisi.



Şekil 6.2. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında motor gücüne etkisi.

Dizel yakıtına biyodizel ilavesinin motor hızı ile değişiminin fren özgül enerji tüketimi (FÖET) etkisi Şekil 6.3'de verilmektedir. FÖET farklı yakıt türlerinin kullanıldığı motor testlerinde yakıt ekonomisinin karşılaştırılmasında kullanılan önemli bir parametrelerdir. FÖET, bir motorun kW'lık güç elde etmesi için harcadığı enerjiyi ifade etmektedir. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte FÖET'de artış görülmektedir. Bunun temel sebebi biyodizelin alt ısıl değerinin düşük olmasıdır. Dizel yakıtının içerisine biyodizel ilavesi ile birlikte yakıt karışımının ısıl değeri

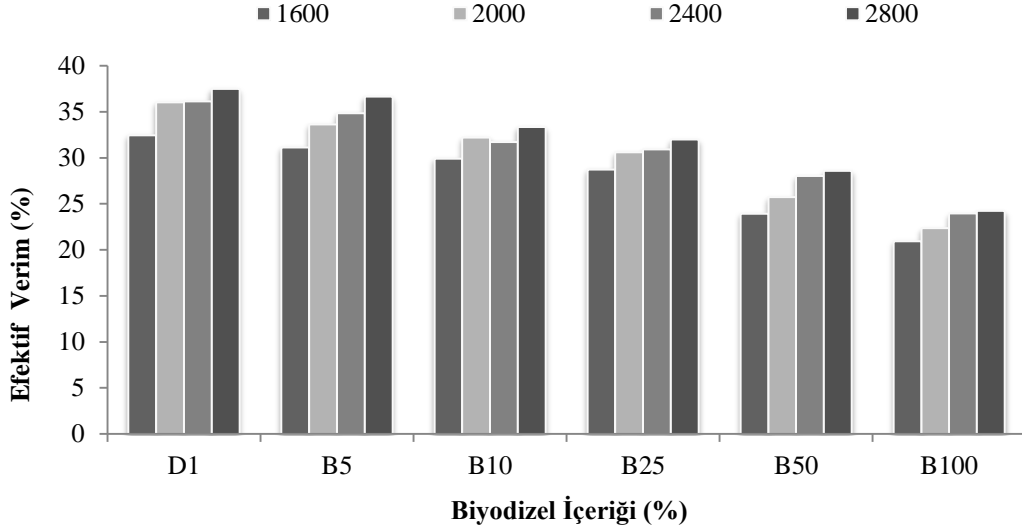
düşmektedir. Bu nedenle dizel yakıtının içerisine katılan biyodizel miktarı arttıkça aynı işin yapılabilmesi için silindirler içerisine daha fazla yakıt karışımının gönderilmesi gereklidir. B100 yakıtı ile maksimum tork devri olan 2400 1/min motor hızında yaklaşık %%16'lık bir FÖET artışı tespit edilmiştir. Silindirler içerisine gönderilen yakıt miktarı da daha fazla yakıtın yanması demektir. Deney sonuçları Ranzo vd. ve Zu vd.'ın yaptığı çalışmaların sonuçları ile benzerlik göstermektedir [81,82].



Şekil 6.3. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında FÖET'ye etkisi.

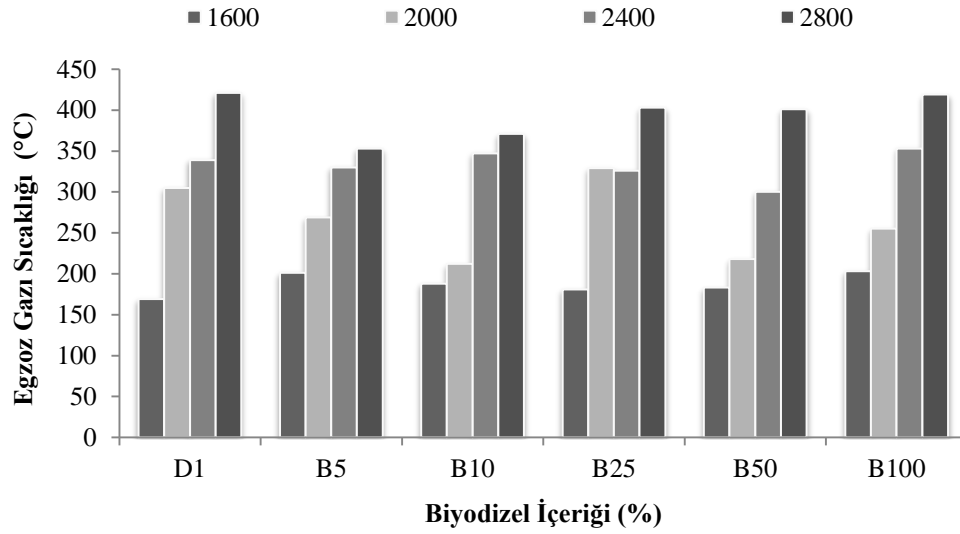
Motor hızının ve biyodizel içeriğinin efektif verim üzerine etkisi Şekil 6.4'de verilmektedir. Efektif verim silindir içerisine alınan yakıtın ne kadarının yararlı işe dönüştürüldüğünü ifade eden bir terimdir. Hesaplama yöntemi ile bulunan bu değer yakıtların karşılaştırılmasında önemli bir parametredir. Motor devrinin artması ile efektif verim artmaktadır. Ayrıca dizel yakıtına ilave edilen biyodizel oranının artması ile birlikte efektif verim düşüş göstermektedir. Dizel yakıtına ilave edilen biyodizel ile silindir içerisine alınan yakıtın ısıl değeri, yoğunluğu ve viskozite değerleri değişmektedir. Bu değerler silindirler içerisine alınan yakıtların yanma değerlerini değiştiren önemli parametrelerdir. Bu nedenle dizel yakıtına ilave edilen biyodizel yakıt karışımının viskozite ve yoğunluğunu arttırmakta ve yanmayı kötüleştirerek

efektif verimi düşürmektedir. Efektif verimdeki en yüksek düşüş B100 yakıtı ile %20 düzeyinde olduğu görülmüştür [83-86].



Şekil 6.4. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında efektif verime etkisi.

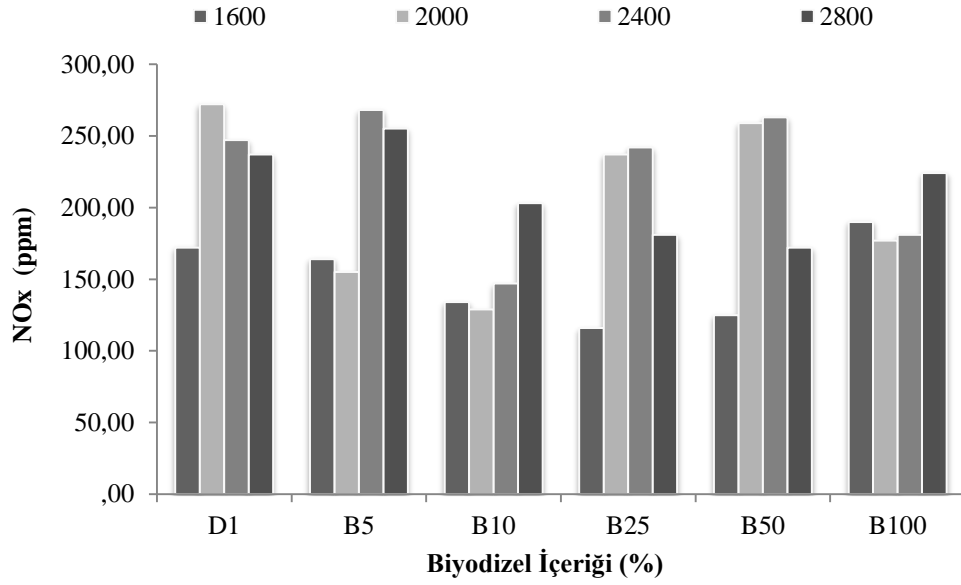
Motor hızının ve dizel yakıtına ilave edilen biyodizel içeriğinin egzoz gazı sıcaklığına etkisi Şekil 6.5’de verilmektedir. Egzoz gazı sıcaklıkları silindir içerisindeki yanmanın bir göstergesidir. Silindir içerisindeki yanma sonunda egzoz gazları ile birlikte atılan ısı çoğu kez yakıtların yanması ile ilgili fikir sahibi olunmasını sağlamaktadır. Motor devrinin artması ile birlikte egzoz gazı sıcaklığıda artmaktadır ki bu durumun devirin artmasıyla sürenin kısılması sonucu yanmanın egzaza sarkamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Genel olarak bakıldığında biyodizel oranı arttıkça dizel yakıtına göre egzoz gaz sıcaklığında B25 yakıtına kadar kayda değer bir değişiklik görülmemiştir. B50 ve B100 yakıtında ise orta hızlarda bir miktar düşmenin olduğu tespit edilmiştir. Biyodizel ilavesi ile birlikteki bu düşüşün yakıt karışımlarındaki ısıl değer düşüyor olması ile açıklamak mümkündür [87-90]. B100 yakıtındaki egzoz gazı sıcaklığının artmasının ise yanmanın uzayarak egzozu sarktığı için arttığı düşünülmektedir [91-93].



Şekil 6.5. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında egzoz gazı sıcaklığına etkisi.

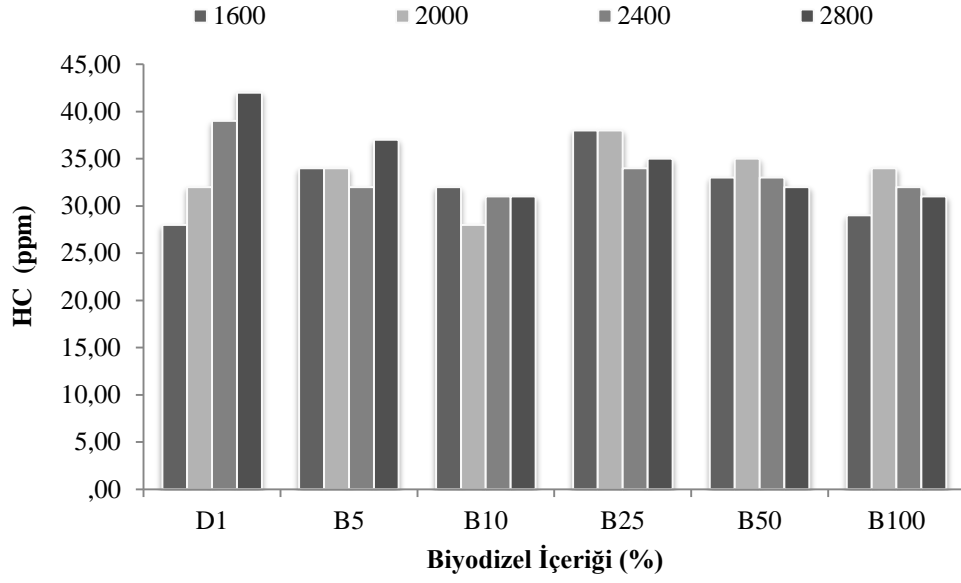
6.4.2. Pirina Yağı Biyodizeli-Dizel Yakıtı Karışımlarının Değişik Motor Hızlarında Egzoz Emisyonlarına Etkisi

Motor hızının ve biyodizel içeriğinin NOx emisyonlarına etkisi Şekil 6.6'da verilmektedir. Dizel motorlarında NOx emisyonları istenmeyen fakat oluşmasına mani olunamayan emisyonlardır. Özellikle NOx emisyonu bakımından içten yanmalı motorlarda biyodizel kullanımı önemli bir dezavantajdır. NOx emisyonu yüksek sıcaklıklarda hava içerisinde bulunan azot gazlarının oksitlenmesi ile oluşmaktadır. Bazı çalışmalarda dizel motorlarında biyodizel kullanımı ile NOx emisyonlarında artış [94,95] bazı çalışmalarda ise azalmanın olduğu bildirilmektedir [96,97]. Bu çalışmada düşük ve orta hızlarda B25 yakıtına kadar düştüğü B25'den itibaren tekrar artmaya başladığı B100 yakıtı ile dizel yakıtıyla hemen hemen aynı seviyede olduğu tespit edilmiştir. NOx emisyonlarındaki en fazla azalma miktarı %45 ile B5 yakıtında 2000 1/min motor hızında olduğu görülmüştür. B25 yakıtına kadar NOx emisyonlarının düşme eğilimi göstermesinin sebebinin yanma sıcaklığının düşük ve B25 yakıtından itibaren NOx emisyonunun artmasının sebebinin ise yanma sıcaklığının artması ile ortamda bolca oksijen bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



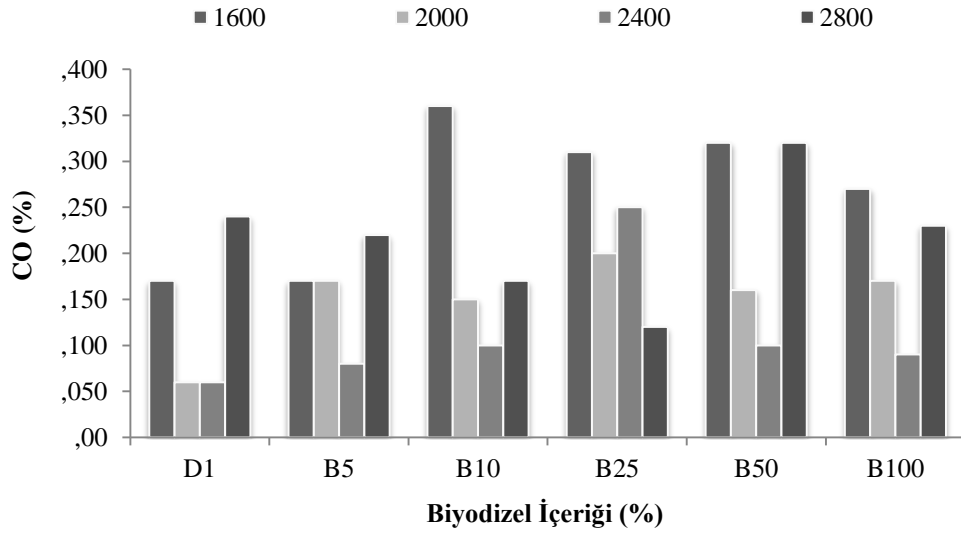
Şekil 6.6. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında NOx emisyonlarına etkisi.

Motor hızının ve biyodizel içeriğinin HC emisyonlarına etkisi Şekil 6.7'de verilmektedir. Dizel motorlarında HC emisyonları benzinli motorlara göre oldukça düşüktür. İçten yanmalı motorlarda HC emisyonları yanmayan yakıt varlığını göstermektedir. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte genel olarak düşük motor hızlarında (1600 1/min ve 2000 1/min) HC emisyonlarında artma, motor hızının (2400 1/min ve 2800 1/min) artmasıyla birlikteyse HC emisyonlarında dizel yakıtına göre bir miktar azalma görülmektedir. Düşük motor hızlarındaki HC emisyonlarının artış sebebi silindir içerisindeki türbülansın az olması, yakıtın viskozite değerinin yüksek olması ve yakıtın ısı değerinin az olması ile açıklanmaktadır. Motor hızının artması ile birlikte silindir içerisindeki HC emisyonlarındaki iyileşme ise biyodizel içerisindeki oksijen miktarının yanmayı kısmen iyileştirmesi ile açıklanmaktadır. Çalışmanın sonuçları literatürdeki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir [98-101].



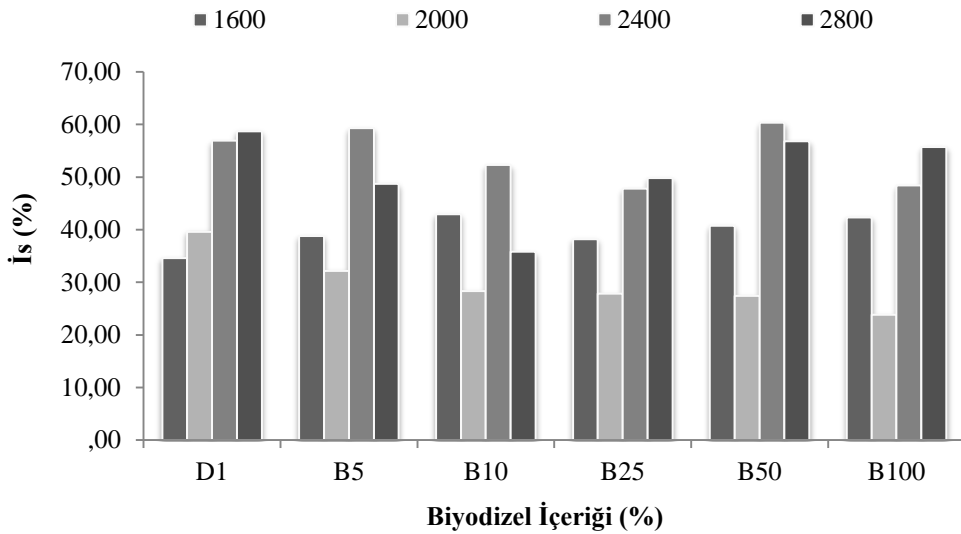
Şekil 6.7. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında HC emisyonlarına etkisi.

Motor hızının ve biyodizel içeriğinin CO emisyonlarına etkisi Şekil 6.8'de verilmektedir. CO emisyonları eksik yanmanın bir ürünüdür. Genel olarak bakıldığında 2800 1/min motor hızlarında B5, B10 ve B25 yakıtları ile CO emisyonunda düşüş, B50 ve B100 yakıtlarında ise dizel yakıtına göre artış görülmektedir. 1600 ve 2000 1/min motor hızlarında ise tüm yakıt karışımlarında CO emisyonlarında artış tespit edilmiştir. Dizel yakıtına ilave edilen biyodizel ile yakıtın viskozite değeri artmaktadır. Artan viskozite değerinin silindir içerisindeki yanmayı kötüleştirerek CO emisyonlarının artışına neden olduğu düşünülmektedir. Literatürdeki benzer çalışmalarla sonuçlar örtüşmektedir [102-105].



Şekil 6.8. Pirina yağı biodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında CO emisyonlarına etkisi.

Motor hızının ve biodizel içeriğinin is emisyonuna etkisi Şekil 6.9’da verilmektedir. Biodizel ilavesi ile birlikte 1600 1/min motor hızı haricinde genel olarak is emisyonlarında azalma görülmektedir. 1600 1/min motor hızındaki bu artışın düşük motor hızlarında silindir içerisindeki düşük türbülansa bağlı olduğu düşünülmektedir. B100 yakıtında maksimum moment devrinde ise %5 azalma olduğu tespit edilmiştir. Deney sonuçları literatürdeki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir [108,109].



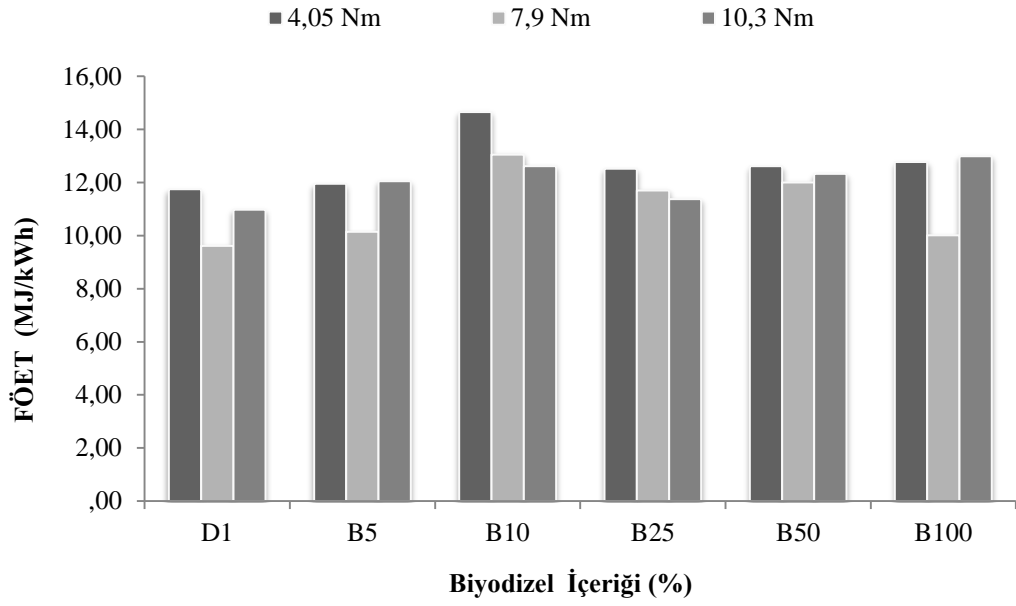
Şekil 6.9. Pirina yağı biodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında is emisyonuna etkisi.

6.5. PİRİNA YAĞI BİYODİZELİ-DİZEL YAKITI KARIŞIMLARININ DEĞİŞİK YÜKLERDE PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Dizel motorlarında motor yükü silindir içerisine gönderilen yakıt miktarı ile ayarlanmaktadır. Dizel motorlarında motor yükünün etkisinin incelenmesi deneyi motor hızını ve motorun ürettiği torku sabit tutarak farklı yakıtların farklı miktarlarını püskürtmek gerektiği gerçeği nedeniyle yapılmaktadır. Bu sayede aynı motor hızında ve aynı motor torku elde edilmesi için silindirler içerisine gönderilen yakıtların karşılaştırılması yapılabilmektedir. Motor yükü deneyleri motorun maksimum torkunun elde edildiği 2600 1/min motor hızında 4,05 Nm, 7,9 Nm ve 10,3 Nm motor torklarında D1, B5, B10, B25, B50 ve B100 yakıtları için tekrarlanmıştır

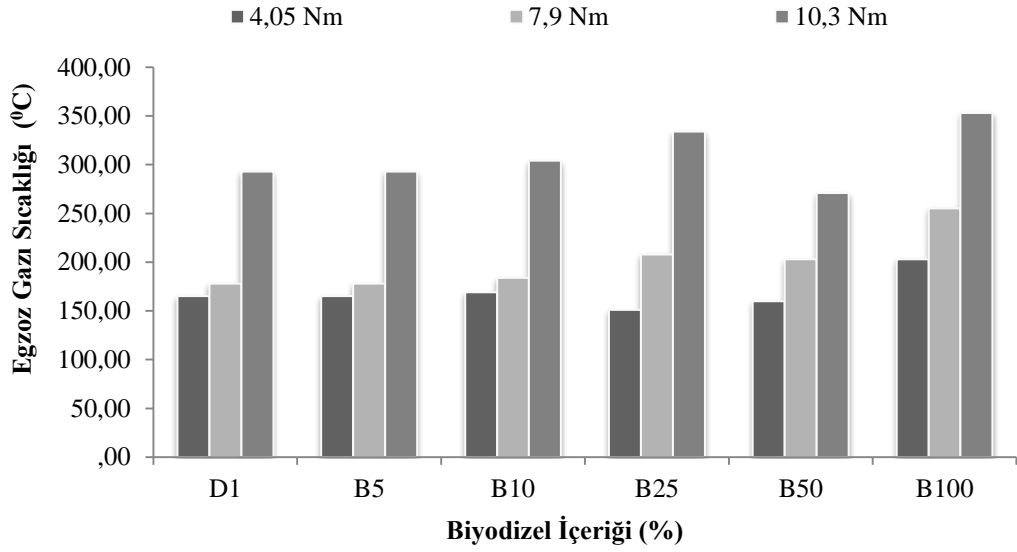
6.5.1. Pirina Yağı Biyodizeli-Dizel Yakıtı Karışımlarının Değişik Yüklerde Motor Performansına Etkisi

Bu bölümde performans parametleri olarak FÖET ve egzoz gaz sıcaklığı bulguları tartışılmıştır. Motor yükünün ve biyodizel içeriğinin FÖET'ye etkisi Şekil 6.10'da verilmektedir. Motor yükünün 4,05 Nm olduğu durumlarda FÖET yüksektir. Fakat motor yükünün 7,9 Nm olduğu durumda FÖET'de azalma görülmektedir. Silindir içerisine alınan yakıtın daha verimli yandığı ve bu nedenle FÖET'nin azaldığı görülmüştür. Silindir içerisine alınan yakıt miktarının daha da artması ile birlikte yanmanın kötüleştiği düşünülmektedir. B10 yakıtından itibaren FÖET'nin dizel yakıtına göre yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin biyodizel yakıtının viskozite değerinin yüksek olması ve ısı değerinin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [110-115].



Şekil 6.10. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde FÖET'ye etkisi.

Motor yükünün ve biyodizel içeriğinin egzoz gazı sıcaklığının etkisi Şekil 6.11'de verilmektedir. Egzoz gazı sıcaklığı silindirler içerisinde yakılan yakıtın yanma sonu ısısının bir göstergesidir. Motor yükünün artırılması ile birlikte silindirler içerisine alınan yakıt miktarı arttığı için silindir içerisindeki yanma sonu sıcaklığının da yükselmesi beklenilmektedir. Bu da egzoz gazı sıcaklığının yükselmesini sağlamaktadır. Yapılan çalışmaların bazılarında dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte egzoz gazı sıcaklığının arttığını [116] gösterirken bazı çalışmalarda [117-120] azaldığı bildirilmektedir.

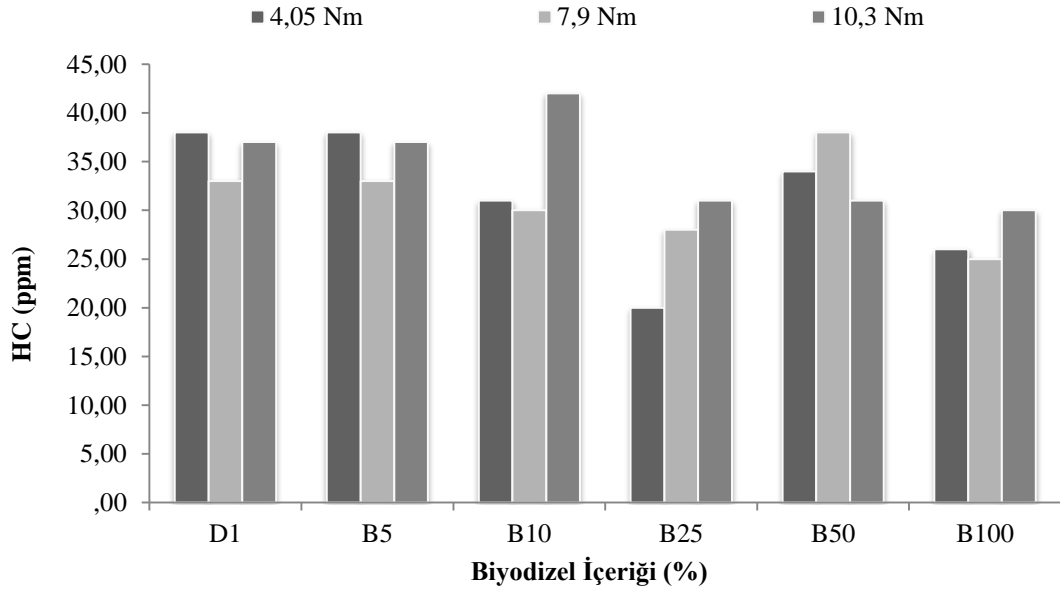


Şekil 6.11. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde egzoz gazı sıcaklığına etkisi.

6.5.2. Pirina Yağı Biyodizeli-Dizel Yakıtı Karışımlarının Değişik Yüklerde Egzoz Emisyonlarına Etkisi

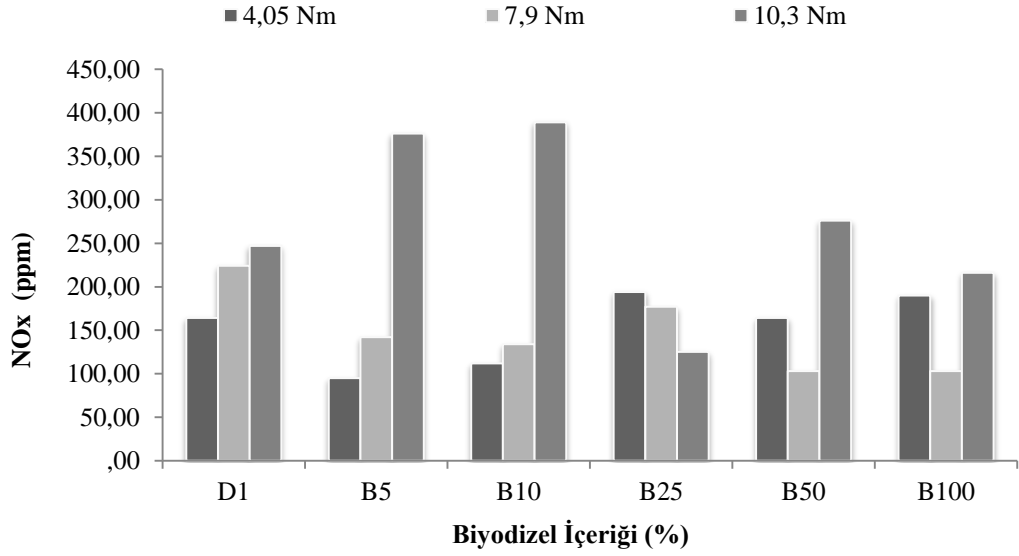
Bu bölümde emisyon parametreleri olarak HC, NO_x, CO ve is verileri motor yüküne ve dizel yakıtına ilave edilen biyodizel oranına göre tartışılmıştır.

Motor yükünün ve biyodizel içeriğinin HC emisyonlarına etkisi Şekil 6.12'de verilmektedir. Genel olarak dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte HC emisyonlarında azalmanın olduğu görülmektedir. HC emisyonlarındaki en fazla düşme B25 yakıtı ile 4,05 Nm motor yükünde görülmektedir. HC emisyonlarındaki azalmanın sebebinin yakıt karışımlarının artan setan sayısı ve yakıtın oksijen içeriğinin artması olduğu düşünülmektedir. B100 yakıtı ile 10,3 Nm yükte bu düşüşün %18,2 oranında olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar literatürdeki çalışmalarını ile benzerlik göstermektedir [119-121].



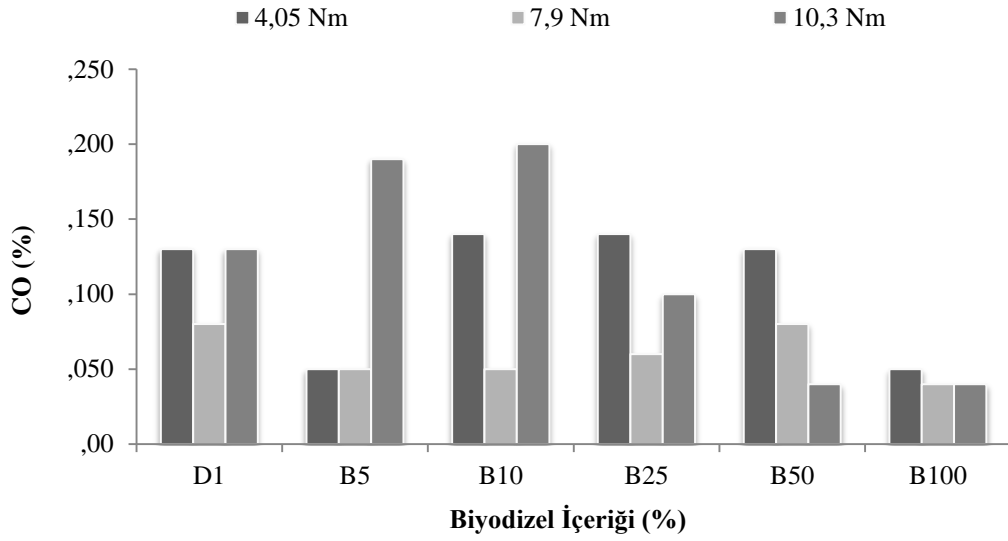
Şekil 6.12. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde HC emisyonlarına etkisi.

Motor yükünün ve biyodizel içeriğinin NOx emisyonlarına etkisi Şekil 6.13’de verilmektedir. Dizel motorlarında motor yükünün artırılması silindirler içerisine alınan yakıt miktarının artırılması ile sağlanmaktadır. Silindirler içerisinde yanan yakıt miktarının artması ise yanma sonu sıcaklığını arttırdığı için NOx emisyonlarında artış göstermektedir. Bu nedenle 10,3 Nm motor yükünde NOx emisyonlarında bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir. Düşük motor yüklerinde ise her bir yakıt karışımında NOx emisyonlarında azalma görülmektedir. Tam yükte ise NOx emisyonlarında ise diel yakıtına göre artış olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda bunun birkaç sebebinin olduğu ifade edilmiştir. Gerekçelere genel olarak bakıldığında biyodizel ilavesi ile birlikte azalan ısıl değer in yanma sonu sıcaklığını düşürdüğü sonucu çıkmaktadır [120,121].



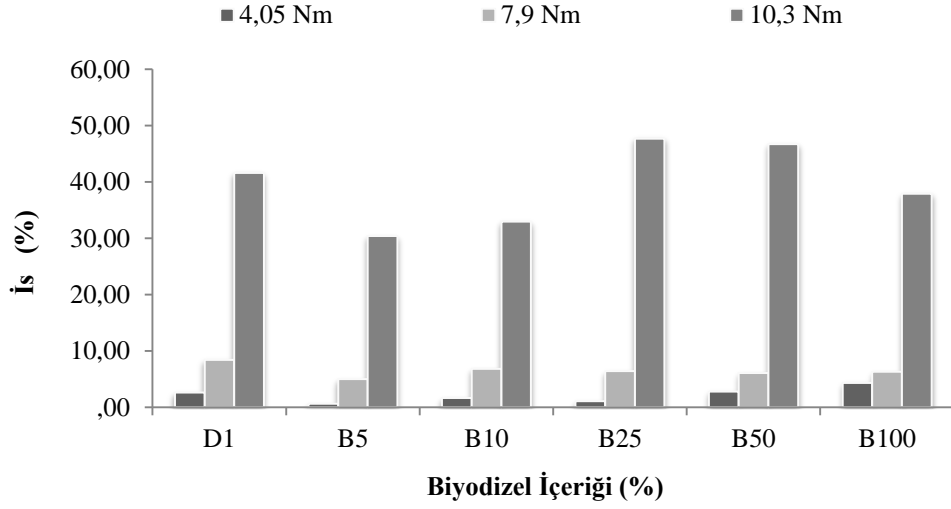
Şekil 6.13. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde NOx emisyonlarına etkisi.

Motor yükünün ve biyodizel içeriğinin CO emisyonlarına etkisi Şekil 6.14’de verilmektedir. CO emisyonları hidrokarbonların eksik yanması sonucu oluşan bir egzoz emisyonudur. CO emisyonları içten yanmalı motorlarda düşük sıcaklığın ve oksijen oranının yetersiz olduğu durumlarda oluşmaktadır. Dizel motorlar yüksek hava oranları ile çalıştıkları için CO emisyonları oldukça düşüktür. Genel olarak bakıldığında dizel yakıtına ilave edilen biyodizel miktarının artmasına bağlı olarak CO emisyonunda kısmi yüklerde düşüş, yaklaşık tam yükte ise dizel yakıtına göre bir miktar artmıştır. Bilindiği gibi biyodizel oksijen miktarı bakımında zengin bir yakıttır. Bu nedenle biyodizel içerisindeki oksijen miktarının yanma sonundaki toplam oksijen miktarını değiştirdiği ve silindirler içerisindeki CO emisyonunu azalttığı düşünülmektedir. Çalışmanın sonuçları literatürdeki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir [122-127].



Şekil 6.14. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde CO emisyonlarına etkisi.

Motor yükünün ve biyodizel içeriğinin is emisyonuna etkisi Şekil 6.15’de verilmektedir. Motor yükünün artması ile birlikte her karışım oranında is emisyonlarında artış görülmektedir. Dizel motorlarında is emisyonları eksik yanmanın bir ürünüdür ve aşırı zengin karışımlarda veya kısmen buharlaşabilen yakıt taneciklerinin sonucunda ortaya çıkmaktadır. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte is emisyonlarında düşük motor yüklerinde düşme görülmektedir. B25, B50 ve B100 yakıtlarında ise 10,3 Nm motor yükünde ise bir miktar artış görülmektedir. Çalışmanın sonuçları literatürdeki [128-130] çalışmaları ile benzerlik göstermektedir. Motor yükünün ve yakıt karışımındaki biyodizel miktarının artması ile birlikte is miktarının arttığı görülmektedir. Bunun nedeninin yakıtının yüksek viskozite değerinin yakıtın püskürtülmesi esnasında silindir yüzeylerine çarparak is oluşumunu arttırdığından kaynaklı olduğu düşünülmektedir [131].



Şekil 6.15. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde is emisyonuna etkisi.

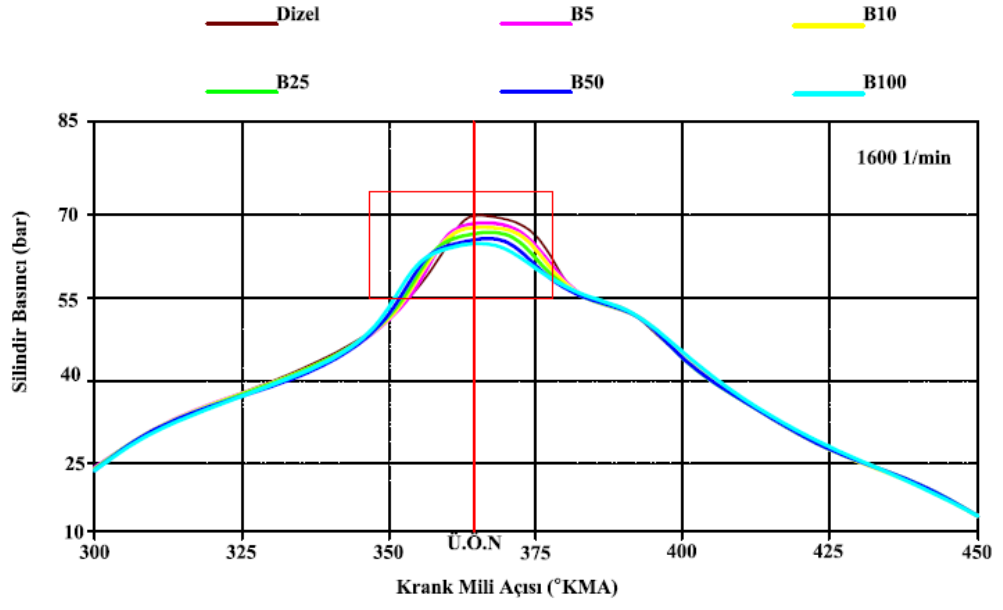
6.6. SİLİNDİR BASINÇ VERİLERİNİN ANALİZİ

6.6.1. Pirina Yağı Biyodizeli-Dizel Yakıtı Karışımlarının Değişik Motor Hızlarında Silindir Basıncına Etkisi

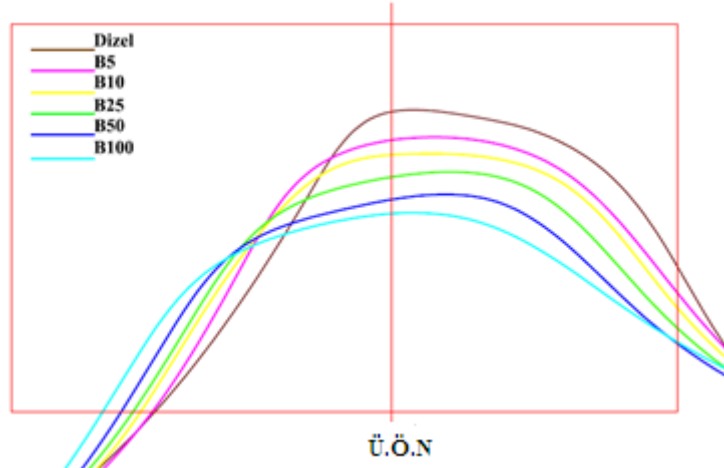
Yapılan motor deneylerinin sonucu incelendiğinde dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte genel olarak dizel yakıtına benzer yapıda silindir gaz basıncı değişimi meydana geldiği görülmektedir. Dizel motorlarında maksimum basınç bölgesi ve maksimum basıncın oluştuğu nokta yakıtın setan sayısı, buharlaşma ısısı, tutuşma noktası ve yakıtın viskozite değerleriyle değişim göstermektedir. Tüm basınç eğrilerinin analizi sonucunda, dizel yakıtına biyodizel ilavesi arttıkça dizel yakıtına göre maksimum basıncın daha erken elde edildiği tespit edilmiştir. Dizel yakıtına biyodizel ilave edilmesi ile birlikte maksimum silindir basıncında düşme görülmektedir. Saf dizel yakıtı ile 2400 1/min'da 364 °KMA açısında meydana gelen p_{mak} biyodizel artması ile ÜÖN'ye doğru yaklaşmakta ve B100 yakıtı ile yaklaşık 360 °KMA'sında gerçekleşmektedir. Vuruntulu yanmanın bir göstergesi olan basınç artış oranının biyodizel orana bağlı olarak arttığı ancak vuruntu sınırı olan 10 bar/°KMA değerinin altında kaldığı görülmüştür. Silindir içi basınç değerlerinden yararlanılarak ortaya konulan yanma analizi ile; B100 yakıtı ile maksimum motor momentinde basınç artış oranının 8,9 bar/°KMA'na kadar yükseldiği, p_{mak} 'ın yerinin biyodizel

oranı ve motor hızının artmasına bağlı olarak ÜÖN'ye yaklaştığı tespit edilmiştir. Bu durumun daha çok kullanılan biyodizelin setan sayısının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünölmektedir [132-136].

Şekil 6.16, 6.17, 6.18 ve 6.19'da pirina yağı biyodizel oranının ve tam yük konumunda değişik motor hızının silindir basıncına etkisi verilmektedir. 1600, 2000, 2400, 2800 1/min en yüksek silindir basıncı dizel yakıtı ile elde edilmiştir [135]. İçten yanmalı motorlarda motor hızının artması ile birlikte sürtünmenin artması, volumetrik verimin düşmesi, silindir içerisine alınan yakıtın yanması için sürenin kısılması, art gazların etkisi gibi nedenler motor gücünün ve motor momentinin düşmesine neden olmaktadır [137]. Elde edilen deney sonuçları da literatürdeki bu çalışılmalar ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca yanmanın başlangıcının değişmesi ile birlikte maksimum basıncın daha erken oluşması da motor gücünü etkileyen önemli bir etmendir. Elde edilen deney sonuçları literatürdeki çalışılmalar ile benzerlik göstermektedir [138-140].

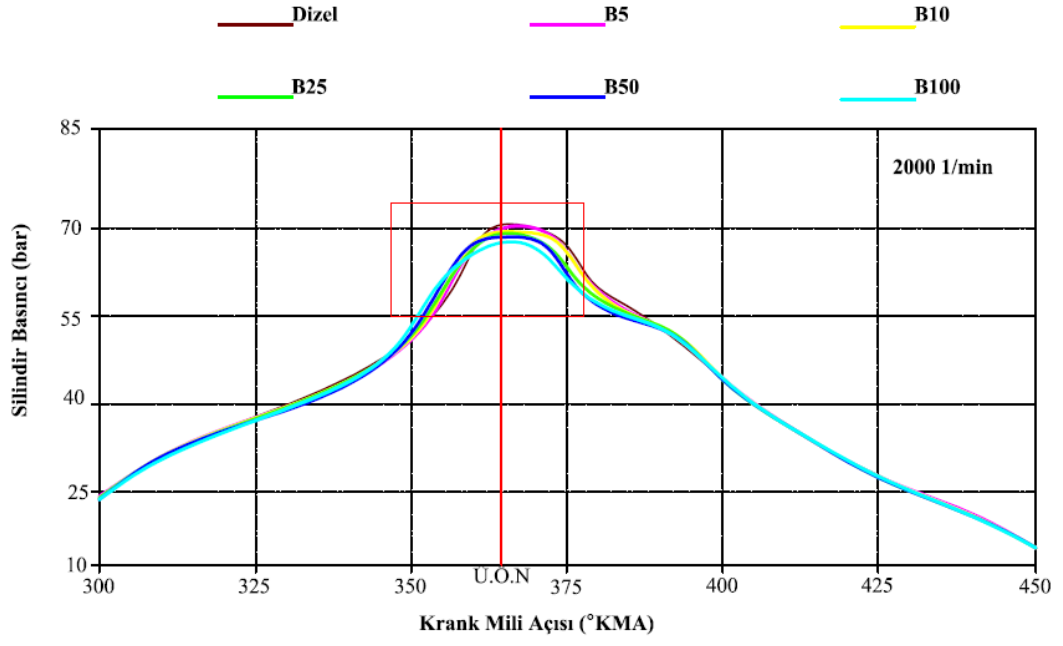


(a)

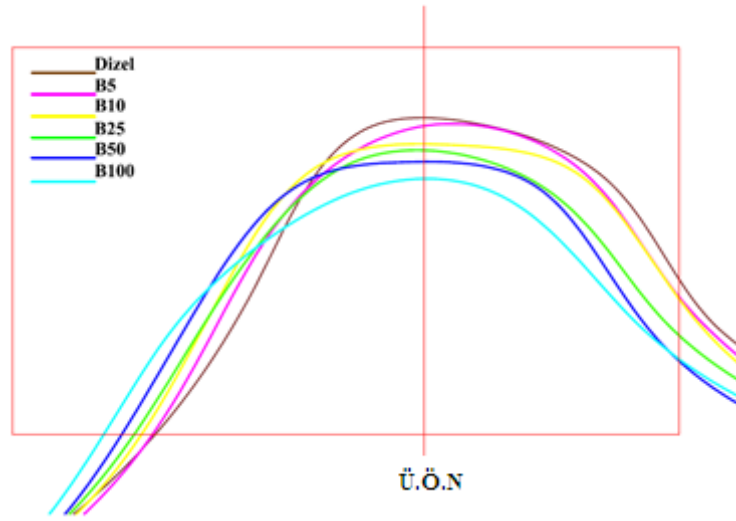


(b)

Şekil 6.16. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 1600 1/min'de silindir basıncına etkisi.

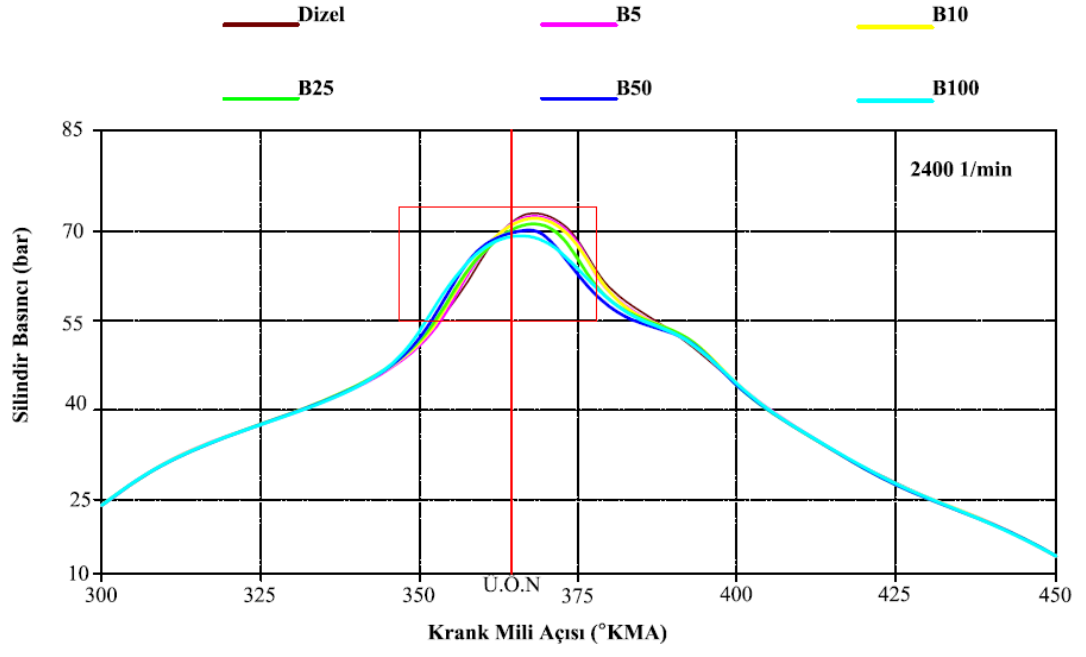


(a)

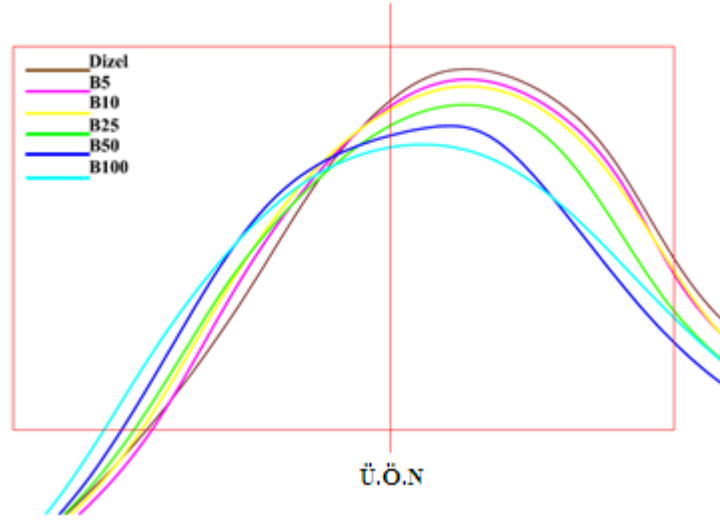


(b)

Şekil 6.17. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 2000 1/min'de silindir basıncına etkisi.

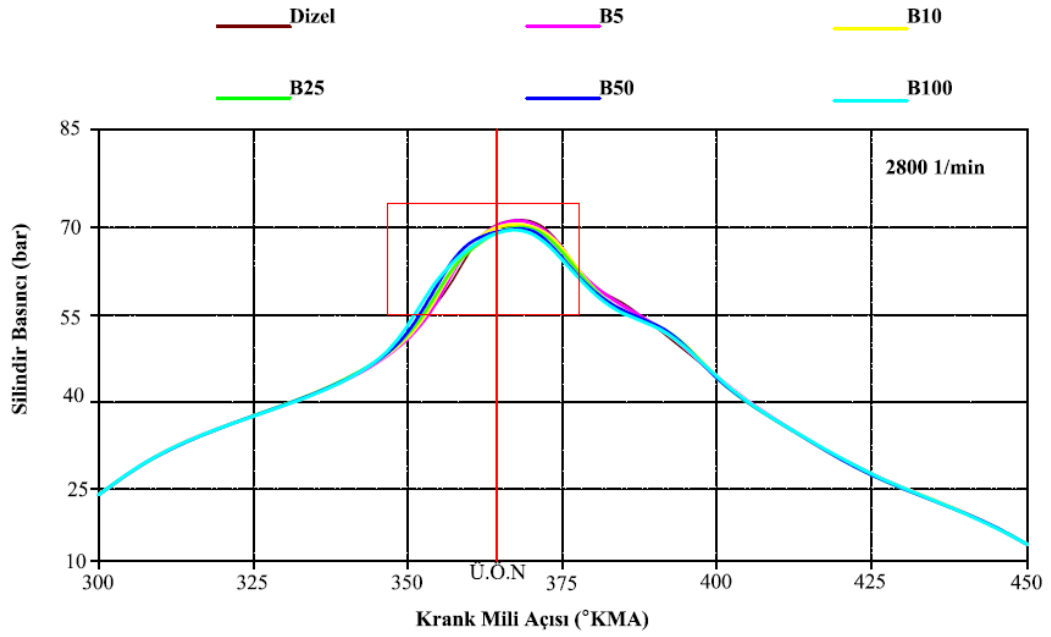


(a)

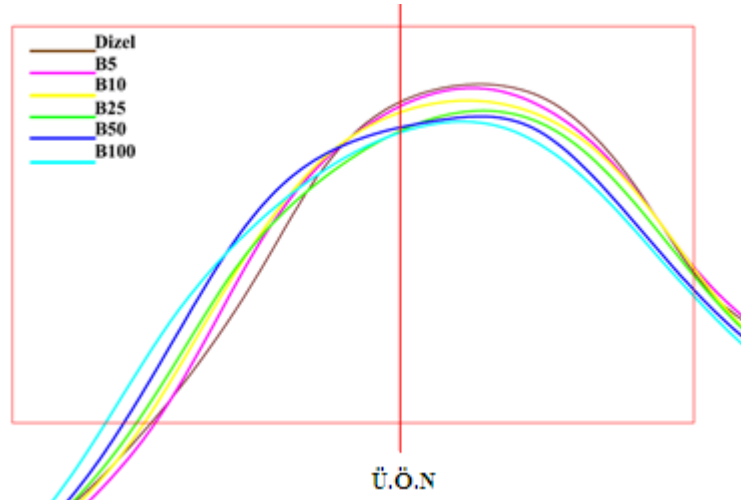


(b)

Şekil 6.18. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 2400 1/min'de silindir basıncına etkisi.



(a)



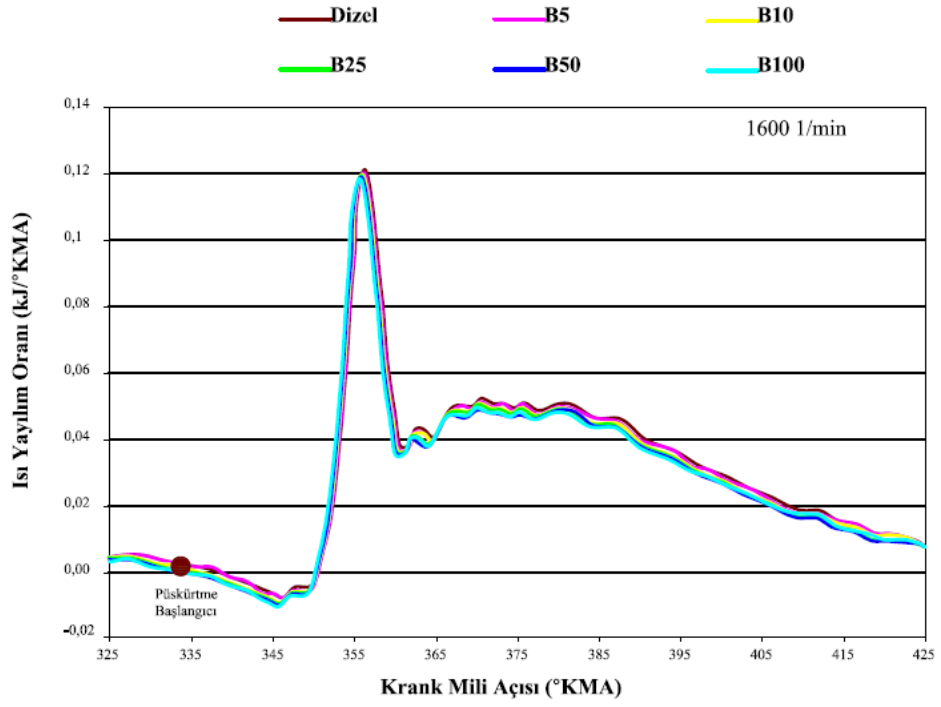
(b)

Şekil 6.19. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 2800 1/min'de silindir basıncına etkisi.

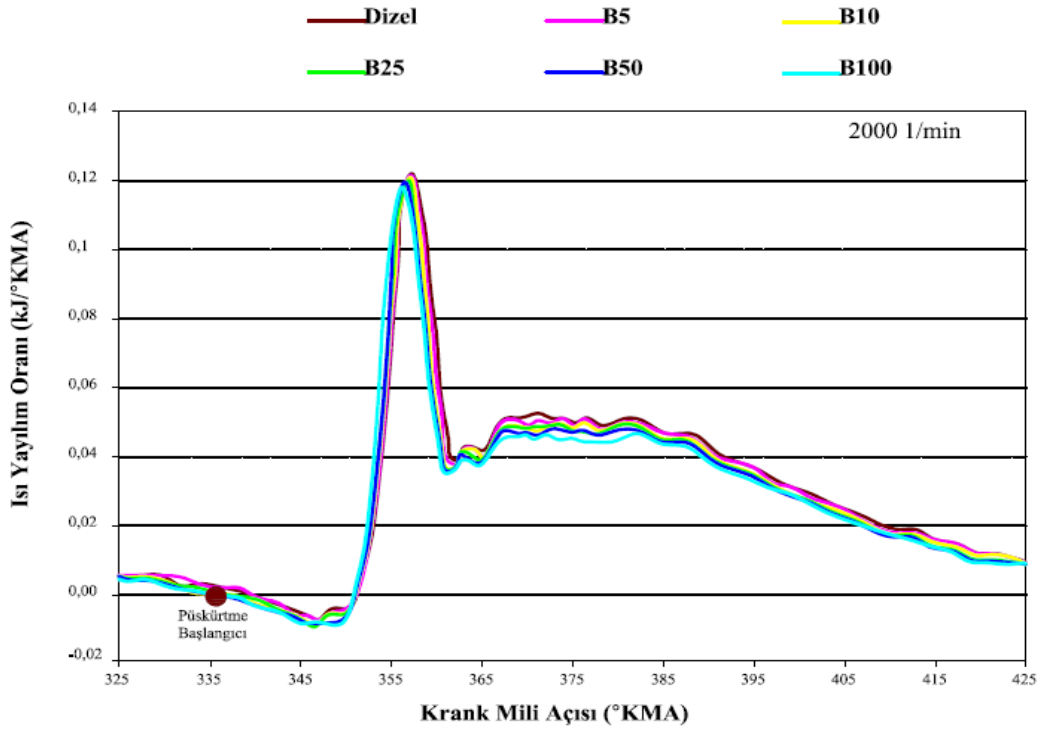
Şekil 6.20, 6.21, 6.22 ve 6.23'de biyodizel oranının ve motor hızının ısı yayılım oranına etkisi verilmektedir. Isı yayılım oranı silindir içerisinde meydana gelen yanmanın incelenmesi için kullanılan bir hesaplama yöntemidir. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte dizel motorlarındaki yakıtın silindirler içerisinde daha erken püskürtüldüğü yapılan çalışmalarda görülmektedir [26]. Silindir içerisine daha

erken püskürtülen yakıt silindir içerisinde daha erken yanmaya başlamaktadır. Bunun sonucunda da ısı yayılımı daha erken tamamlanmaktadır. Biyodizel ilavesi ile birlikte ısı dağılımındaki tepe noktasının dizel yakıtına göre biraz daha genişliyor olması, biyodizel kullanımı ile viskozite, yoğunluk değerlerinin yüksek olmasından dolayı yanmanın uzamasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Isı dağılım başlangıcından önce, ısı dağılımının negatif değerde seyretmesi, püskürtülen yakıtın buharlaşması için ortamdan ısı çekmesi sonucu silindir içerisindeki enerji değerinin düşmesinden kaynaklanmaktadır.

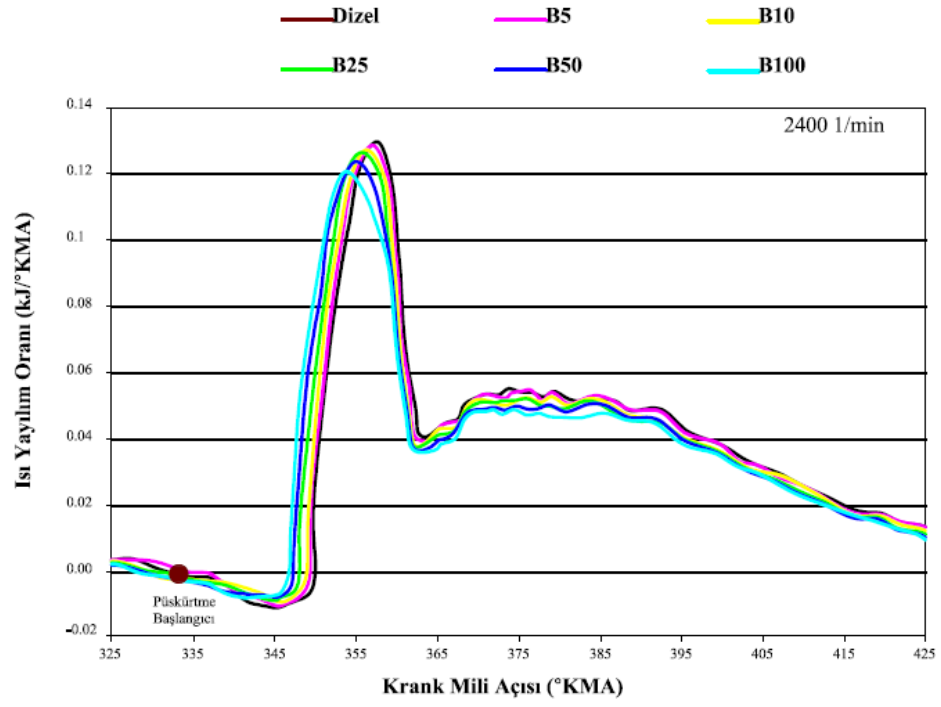
Motor hızının artması ile birlikte ısı yayılım oranının tepe noktasının üst ölü noktaya yaklaştığı görülmektedir. 2400 1/min motor hızına kadar °KMA başına ısı miktarı artış gösterirken motor devrinin daha da arttırılması ile birlikte ısı yayılım oranı miktarı düşme göstermektedir. Bu durumun artan motor hızı ile birlikte motorda sürtünmenin artması, silindir içerisindeki volumetrik verimin düşmesi, yanma sonu gazlarının etkisi ve yanma için gereken sürenin azalması gibi değerlere bağlı olarak düştüğü düşünülmektedir. B100 yakıtı ile ısı yayılım oranı değerleri yaklaşık olarak 1600 1/min'de 0,10 kJ/°KMA, 2000 1/min'de 0,11 kJ/°KMA, 2400 1/min'de 0,12 kJ/°KMA 0,10 kJ/°KMA olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın sonuçları literatürdeki çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir [141-147].



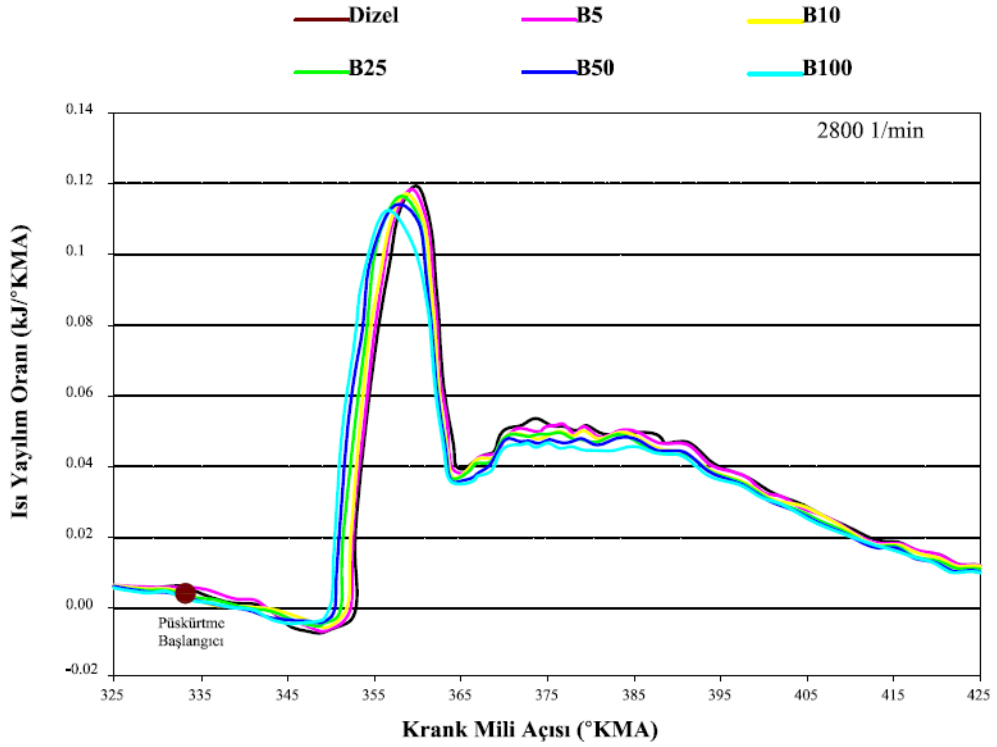
Şekil 6.20. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 1600 1/min’de ısı yayılım oranına etkisi.



Şekil 6.21. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 2000 1/min’de ısı yayılım oranına etkisi.

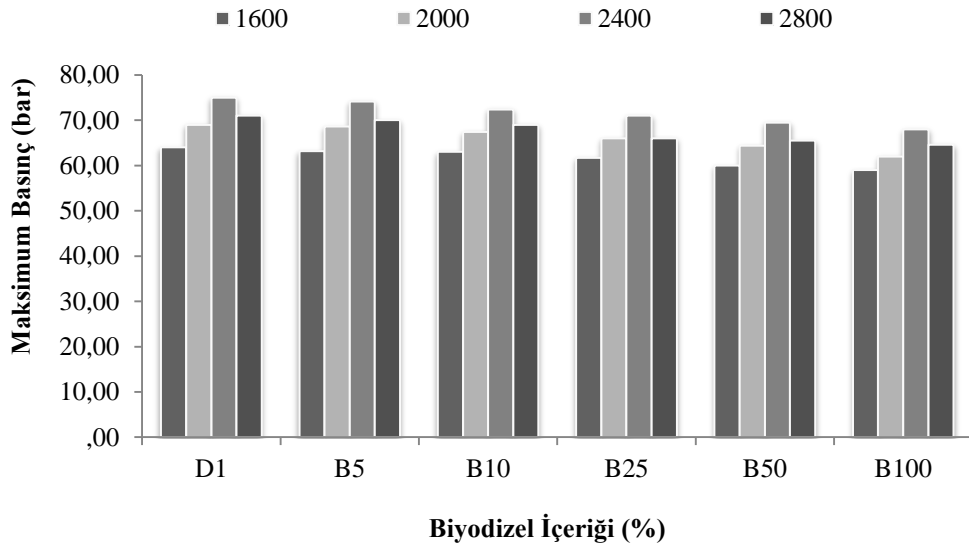


Şekil 6.22. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 2400 1/min ısı yayılım oranına etkisi.



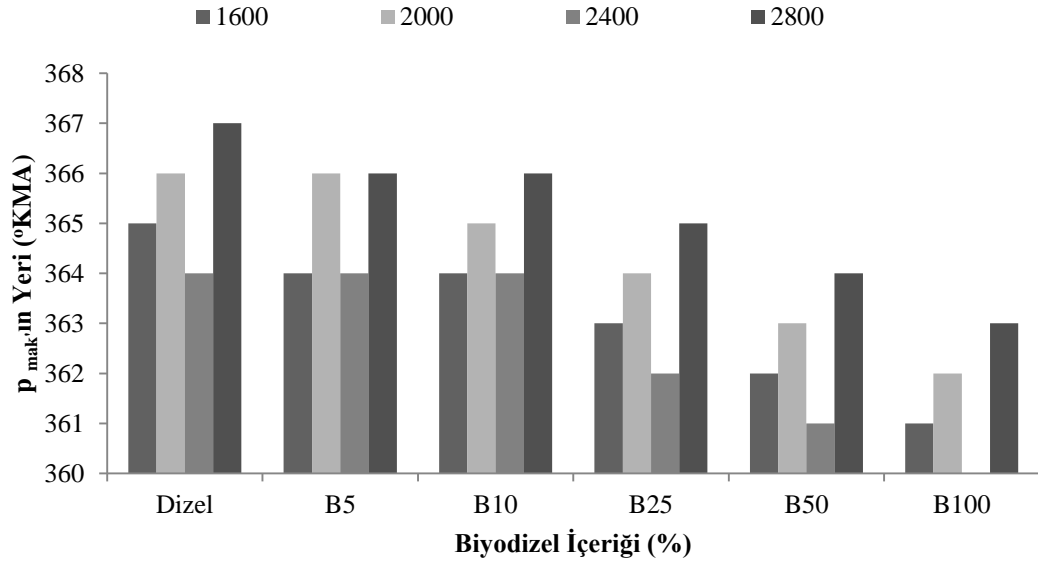
Şekil 6.23. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının 2800 1/min'de ısı yayılım oranına etkisi.

Şekil 6.24’de biyodizel oranının ve motor hızının silindir içi maksimum basınca etkisi verilmektedir. Silindir içerisindeki maksimum basıncı belirleyen etken silindir içerisindeki tutuşma için bekleyen yakıt miktarı, yanma hızı, yakıtın ısı değeri, buharlaşma ısısı ve tutuşma gecikmesi parametreleridir. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte yakıt karışımının ısı değerindeki azalma ve viskozite değerindeki artış maksimum basıncın azalmasındaki etkenler arasındadır. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte silindir içi maksimum silindir basıncı azalma göstermektedir [148].



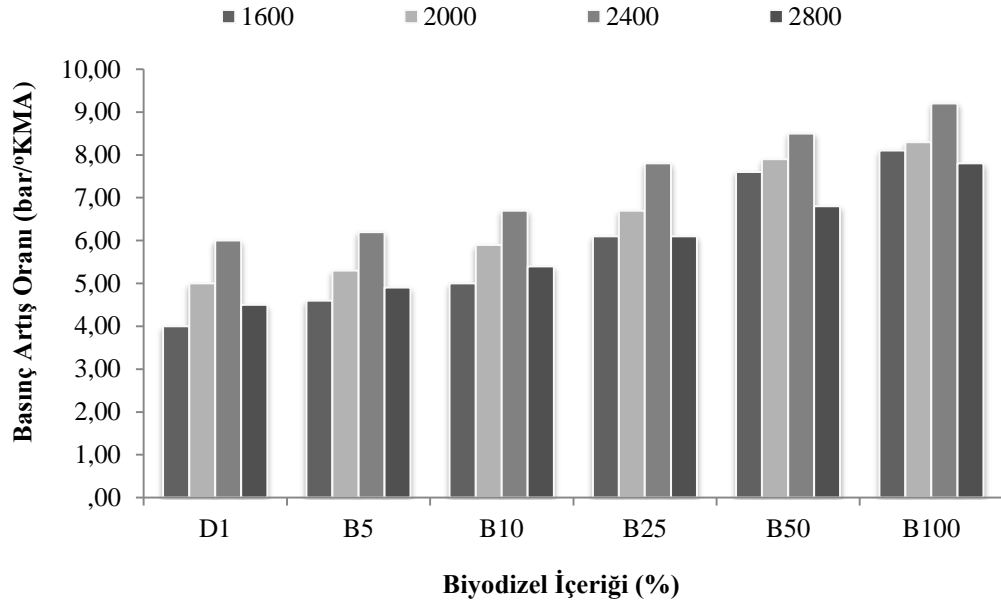
Şekil 6.24. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında silindir içi maksimum basınca etkisi.

Şekil 6.25’de p_{mak} ’ın yerinin biyodizel ilavesi ile değişimi gösterilmektedir. Dizel yakıtıyla, örneğin 2400 1/min’de yaklaşık olarak 364 °KMA’da gerçekleşen p_{mak} ’ın biyodizel oranı arttıkça ÜÖN’ye yaklaştığı ve B100 yakıtı ile yaklaşık ÜÖN’de gerçekleştiği görülmektedir. Biyodizel oranı arttıkça maksimum basıncın ÜÖN’ye yakın gerçekleşmesi setan sayısının yüksek olması nedeniyle daha hızlı yanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir [148,149].



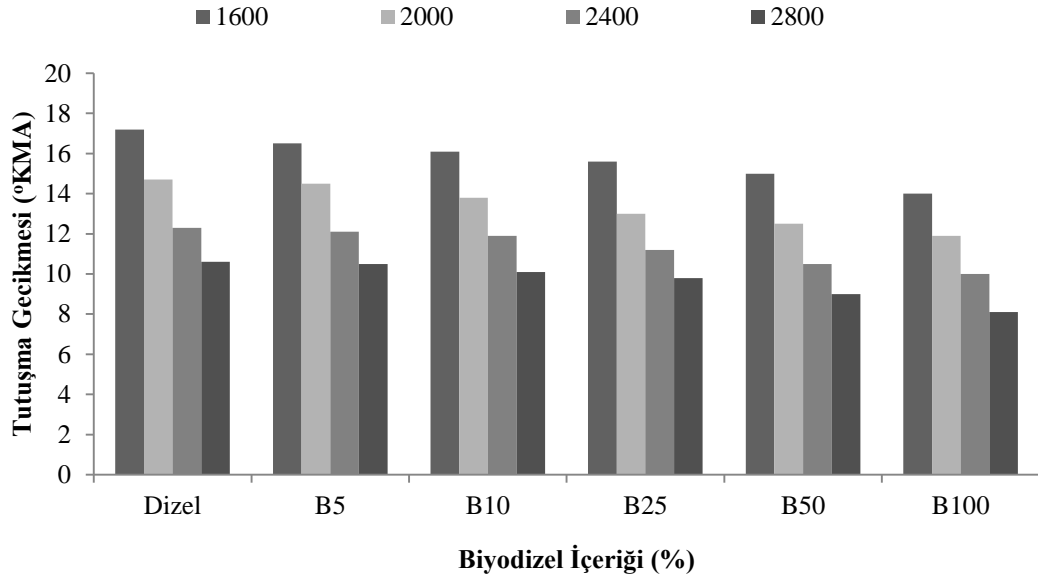
Şekil 6.25. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında p_{mak} 'ın yerine etkisi.

Şekil 6.26 dizel yakıtına ilave edilen biyodizelin basınç artış oranına etkisini göstermektedir. Basınç artış oranı, yanmanın ani olarak başladığı ve basıncın yükseldiği devre olan bölümdür. İçten yanmalı motorlarda aşırı vuruntu silindir içerisindeki basıncın ani olarak 10 bar/°KMA değerini aşması ile oluşmaktadır [75,146]. Şekil 6.26'da da görüldüğü gibi biyodizel ilavesi ile birlikte dizel motor aşırı bir vuruntu altında çalışmamıştır. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte basınç artış oranı artmaktadır. Hızlı basınç artış oranının biyodizelin oksijen içermesi, setan sayısının yüksek olmasının tutuşmadan sonraki bölgede de hızlı yanmaya devam etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha önce tartışılan p_{mak} 'ın dizel yakıtına göre ÜÖN'ya yakın gerçekleşmesi de bu durumu desteklemektedir. Genel olarak motor hızına bağlı olarak basınç artış oranının değişimine bakıldığında her bir yakıt durumunda motor hızı arttıkça basınç artış oranının arttığı görülmektedir. Bu durum hız arttıkça yanma süresinin kısılması sonucu yanmanın ÜÖN'den sonraya sarkmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan çalışmada literatüre benzer sonuçlar elde edilmiştir [147].



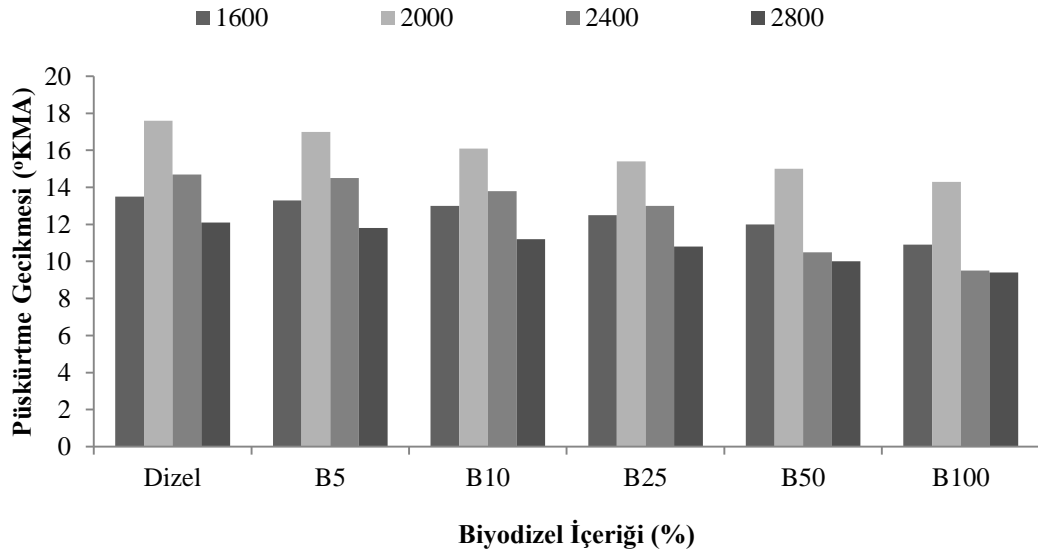
Şekil 6.26. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında basınç artış oranına etkisi.

Şekil 6.27’de tutuşma gecikmesi değerinin dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile değişimi gösterilmektedir. Tutuşma gecikmesi yakıtın silindirlere püskürtülmesinden ilk kıvılcımın meydana gelerek basıncın yükseldiği ana kadar geçen süredir. Bu süre silindir içerisine alınan yakıtın özellikleri ve silindir içerisinde yakıt ile havanın meydana getirdiği karışımın durumuna göre değişim göstermektedir [148]. Biyodizel oranı arttıkça tutuşma gecikmesi süresinde azalma meydana gelmektedir. Bu durum yakıt karışımındaki oksijen miktarı ve kullanılan yakıtın setan sayısı ile doğrudan orantılıdır. Bilindiği gibi biyodizeller oksijenden içermektedir. Dolayısı ile yapılan çalışmalar oksijence zengin ve yüksek setanlı yakıtların tutuşma gecikmesini etkilediğini ortaya koymaktadır. Çalışmanın sonuçları literatürdeki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir [149,150].



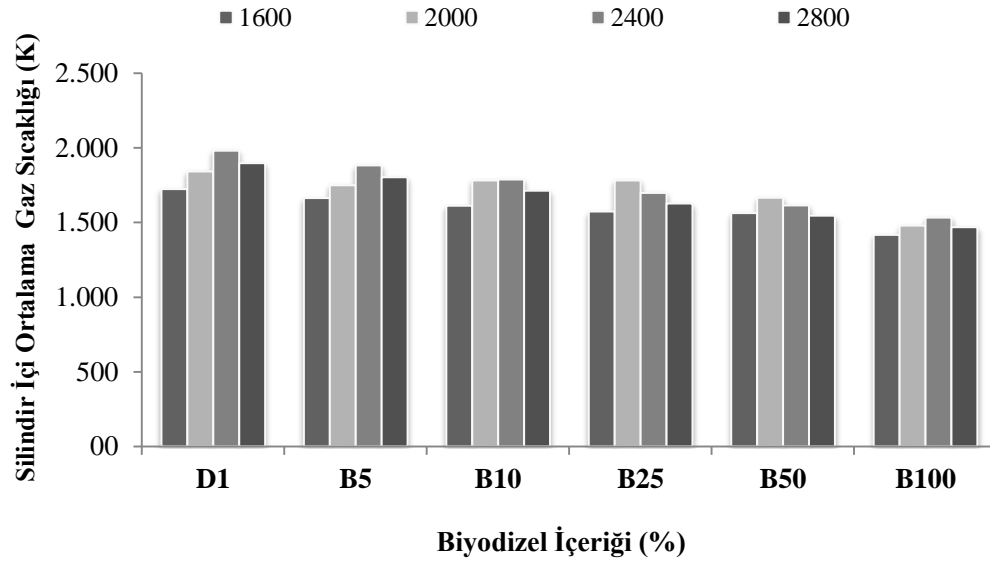
Şekil 6.27. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında tutuşma gecikmesine etkisi.

Şekil 6.28’de dizel yakıtına biyodizel ilavesinin püskürtme gecikmesine etkisi görülmektedir. Tutuşma gecikmesi süresi biyodizel ilavesi ile birlikte °KMA cinsinden azalma eğilimi göstermektedir. En fazla azalmanın B100 yakıtı ile gerçekleştiği görülmüştür. B100 yakıtı ile 1600 1/min’da 3,2 °KMA, 2000 1/min’da 2,8 °KMA, 2400 1/min’da 2,3 ve 2800 1/min’da 2,5 °KMA kadar tutuşma gecikmesi süresinin azaldığı görülmüştür. Biyodizelin oksijen içermesi ve setan sayısının yüksek olmasının tutuşma gecikmesini kısalttığı düşünülmektedir. Deney sonuçları literatürdeki çalışma ile benzerlik göstermektedir [151].



Şekil 6.28. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında püskürtme gecikmesine etkisi.

Şekil 6.29’da dizel yakıtına biyodizel ilavesinin silindir içi maksimum ortalama gaz sıcaklığına etkisi verilmektedir. Silindir içerisindeki ortalama gaz sıcaklığı değeri yanmanın bir göstergesidir. dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte yakıt karışımının ısıl değeri azalmaktadır. Bu durum yanma sonu sıcaklığını direk olarak etki etmekte ve silindir içerisindeki maksimum ortalama gaz sıcaklığı değerini düşürmektedir [145].



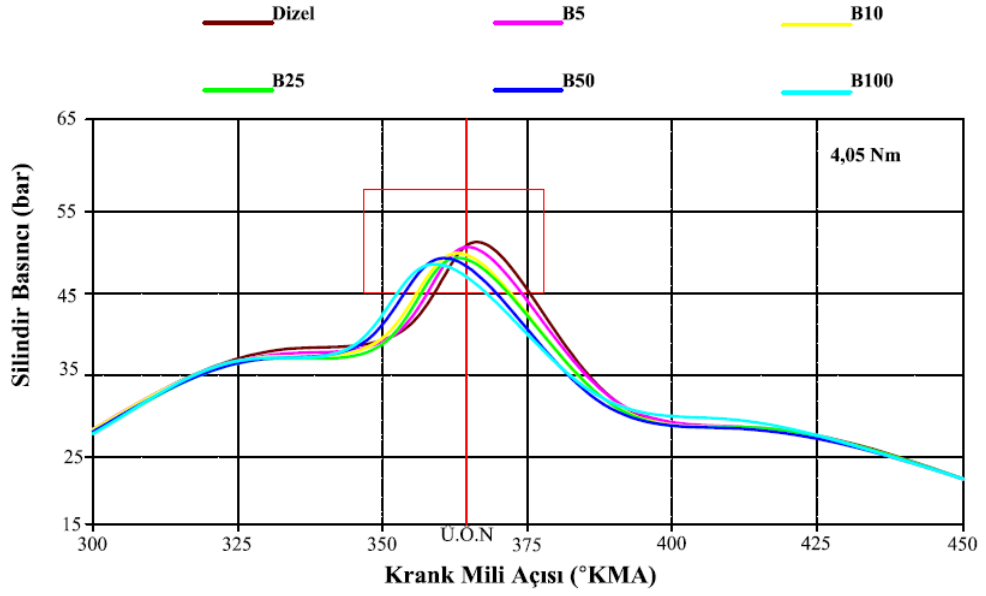
Şekil 6.29. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik motor hızlarında silindir içi ortalama gaz sıcaklığına etkisi.

6.6.2. Pirina Yağı Biyodizeli-Dizel Yakıtı Karışımlarının Değişik Yüklerde Silindir Basıncına Etkisi

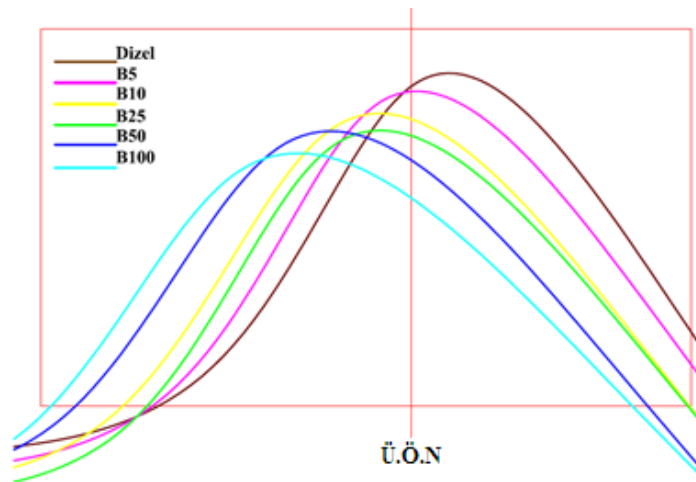
Sabit yük deneyleri maksimum motor torkunun elde edildiği 2400 1/min'da, 4,05 Nm, 7,9 Nm ve 10,3 Nm motor yüklerinde her bir yakıt karışımı için tekrarlanmıştır.

Şekil 6.30, 6.31 ve 6.32'de biyodizel içeriğinin ve motor yükünün silindir basıncına etkisi verilmektedir. Dizel motorlarında motor yükü silindir içerisine gönderilen yakıt miktarı (motorun gaz kolu değiştirilerek) ile ayarlanmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde maksimum silindir basıncının olduğu motor devri olan 2400 1/min sabit tutularak silindir içerisine farklı miktarlarda yakıt gönderilerek motor deneyleri tekrarlanmıştır. Silindir içerisine gönderilen biyodizel miktarının artması ile birlikte yanmanın daha erkene alındığı görülmektedir. Bunun yanında biyodizel ilavesi ile birlikte silindir basıncında azalma görülmektedir. Maksimum tork devrinin elde edildiği 2400 1/min motor hızında 4,05 Nm, 7,9 Nm ve 10,3 Nm motor yüklerinde dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte; p_{mak} 'ın azaldığı görülmektedir. En fazla azalma B100 yakıtı ile 10,3 Nm motor momentinde %12 ile elde edilmiştir. Maksimum basıncın elde edildiği B100 yakıtı ile 10,3 Nm motor momentinde p_{mak} 'ın yeri yaklaşık olarak 361 °KMA'ya denk gelen noktada gerçekleşmiştir. Basınç artış

oranı motor yükünün artması ile birlikte artış göstermektedir. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikteyse bu artış daha fazla artarak B100 yakıtında 8,2 bar/°KMA'ya ulaşmaktadır. Püskürtme gecikmesinin motor yükünün artması ile birlikte azaldığı ve dizel yakıtına ilave edilen biyodizel miktarının artması ile birlikte daha fazla azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür. En fazla azalma oranı B100 yakıtı ile 10,3 Nm motor momentinde 4,3 °KMA ile elde edilmiştir [72,73,144].

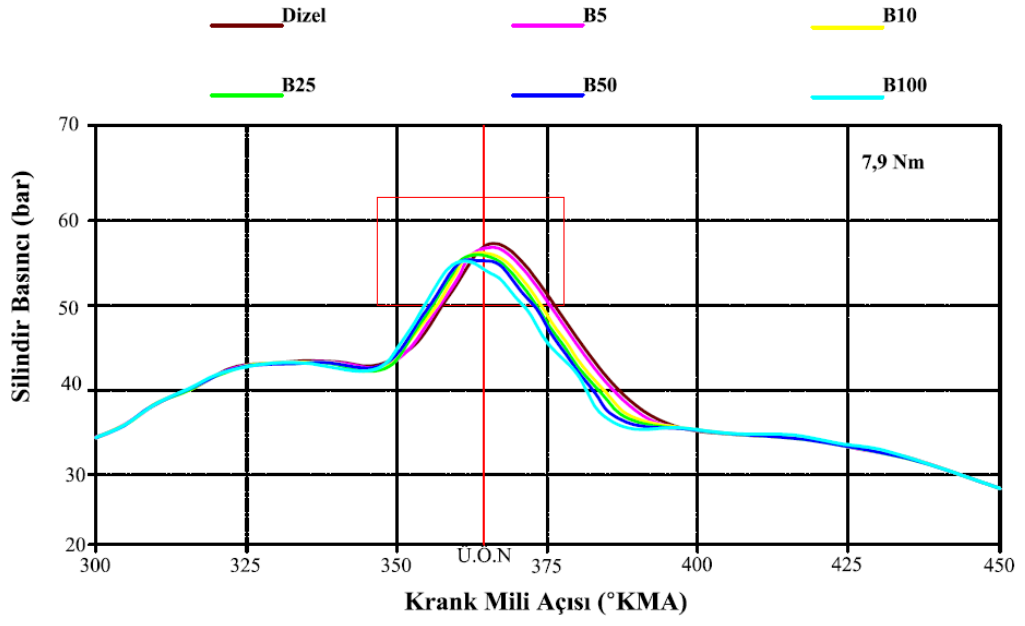


(a)

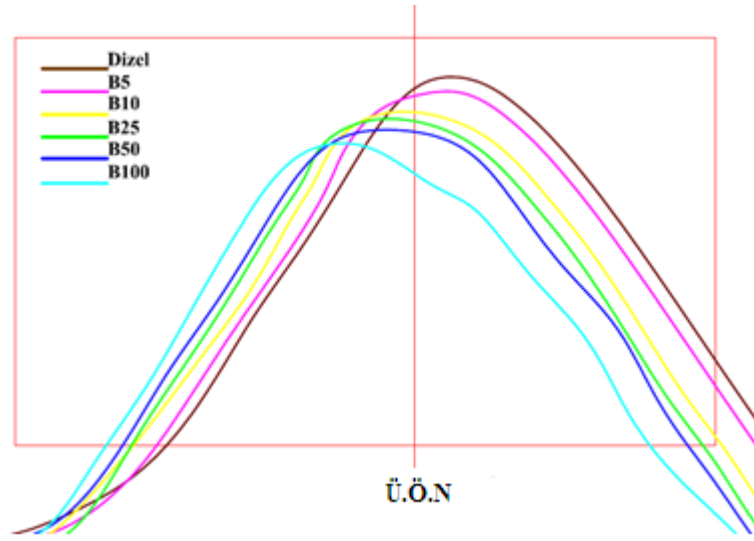


(b)

Şekil 6.30. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının silindir basıncına etkisi, (Me = 4,05 Nm, n = 2400 1/min).

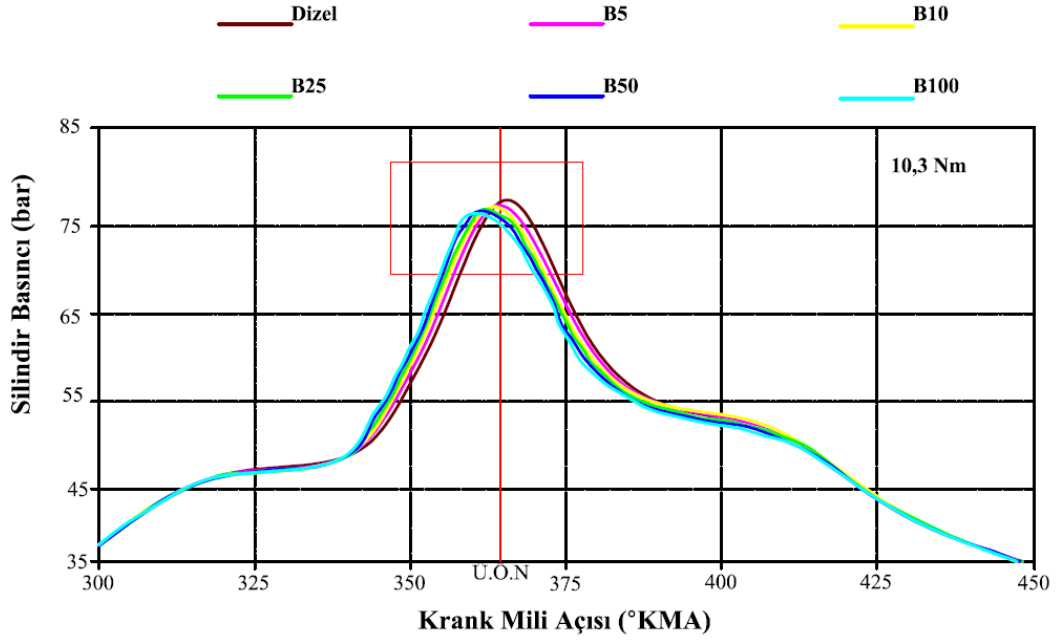


(a)

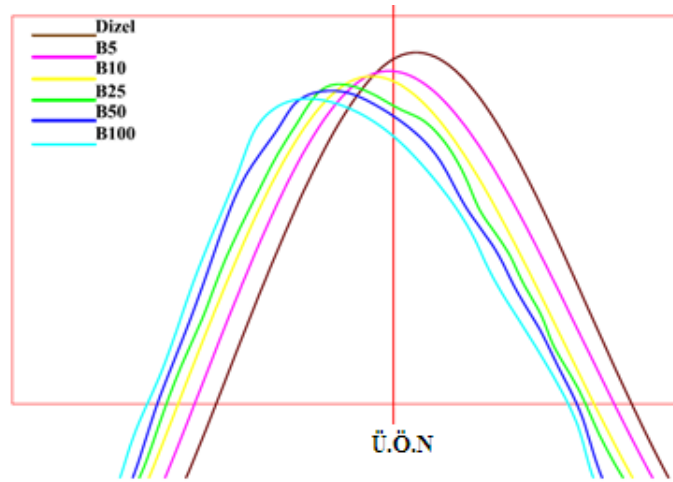


(b)

Şekil 6.31. Biyodizel/dizel yakıtı karışımlarının silindir basıncına etkisi, ($M_e = 7,9$ Nm, $n = 2400$ 1/min).



(a)

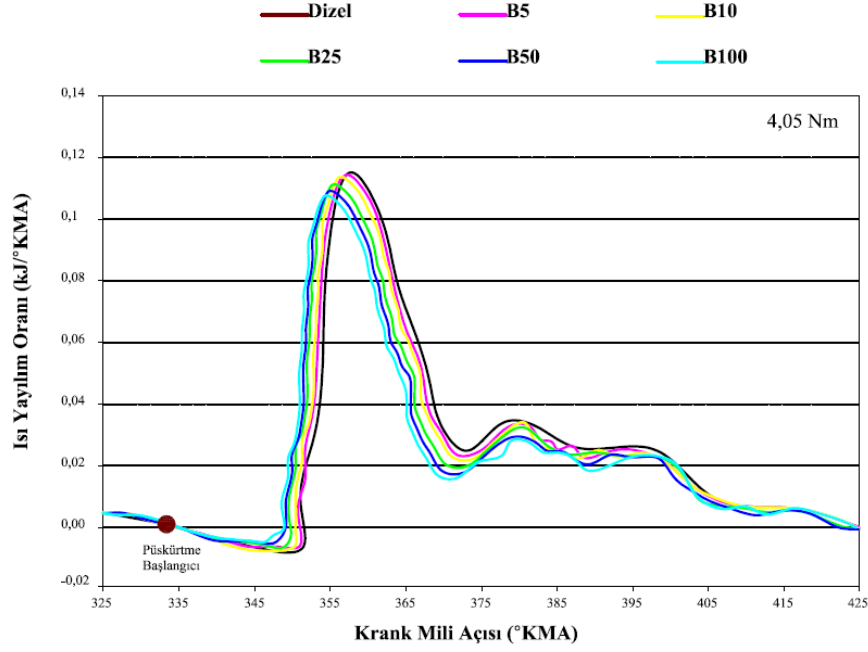


(b)

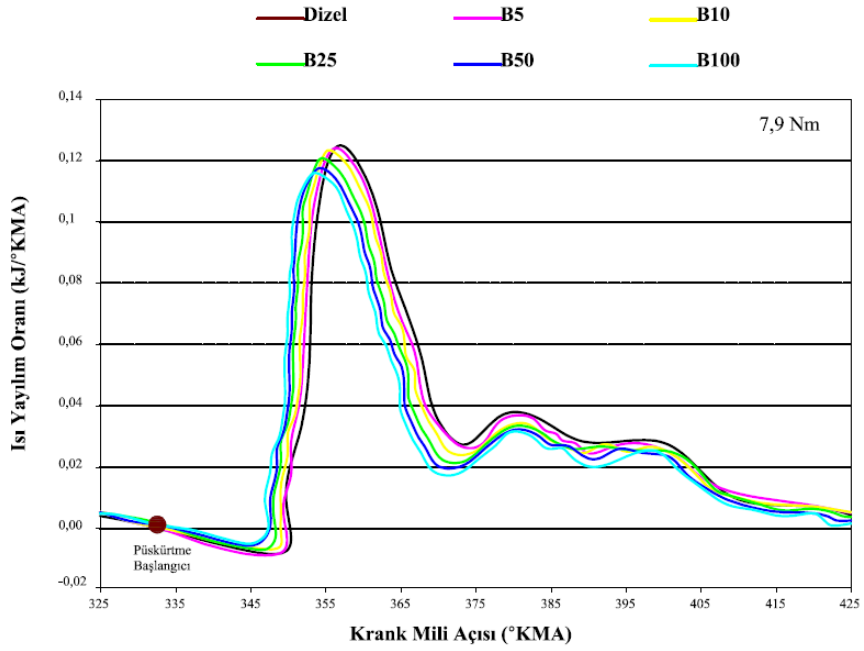
Şekil 6.32. Biyodizel/dizel yakıtı karışımlarının silindir basıncına etkisi, ($M_e = 10,3$ Nm, $n = 2400$ 1/min).

Şekil 6.33, 6.33 ve 6.34’de sabit motor hızı ve yükünde biyodizel oranının ve motor yükünün ısı yayılım oranına etkisi verilmektedir. Isı yayılım oranı incelendiğinde, her bir yakıt kullanımı ile elde edilen ön yanma safhalarının krank açısı cinsinden hemen hemen aynı bölgelerde gerçekleştiği görülmektedir. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte yakıt karışımlarının bünyesinde bulunan oksijenin yanma hızını arttırarak yakıtın ani olarak tutuşmasını sağladığı ve yakıtın ani olarak yandığı

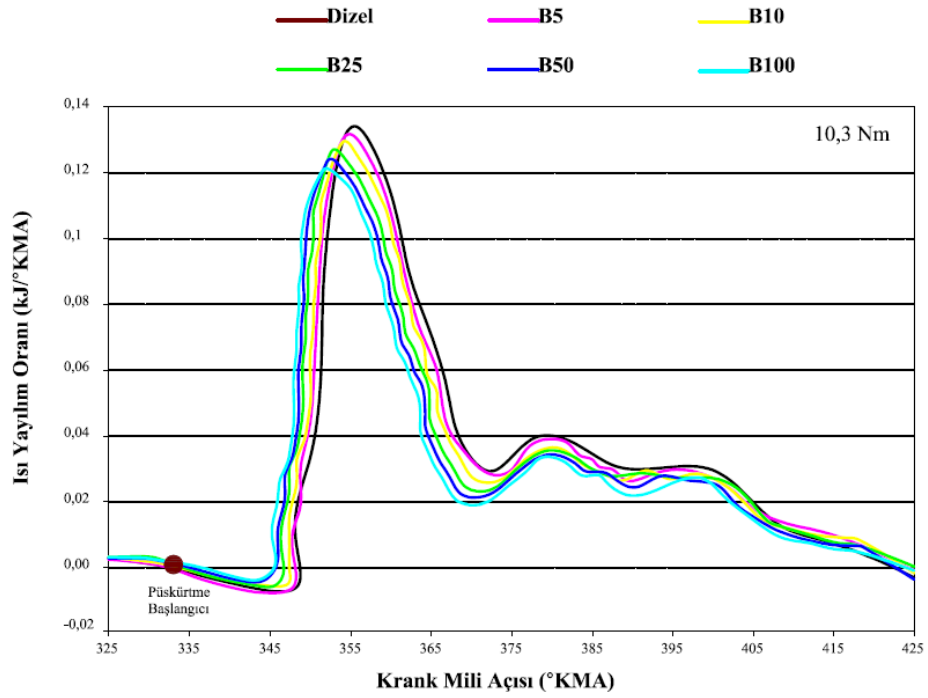
düşünülmektedir. Sonuçlar literatürdeki çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir [152].



Şekil 6.33. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının ısı yayılım oranına etkisi, (Me = 4,05 Nm, n = 2400 1/min).

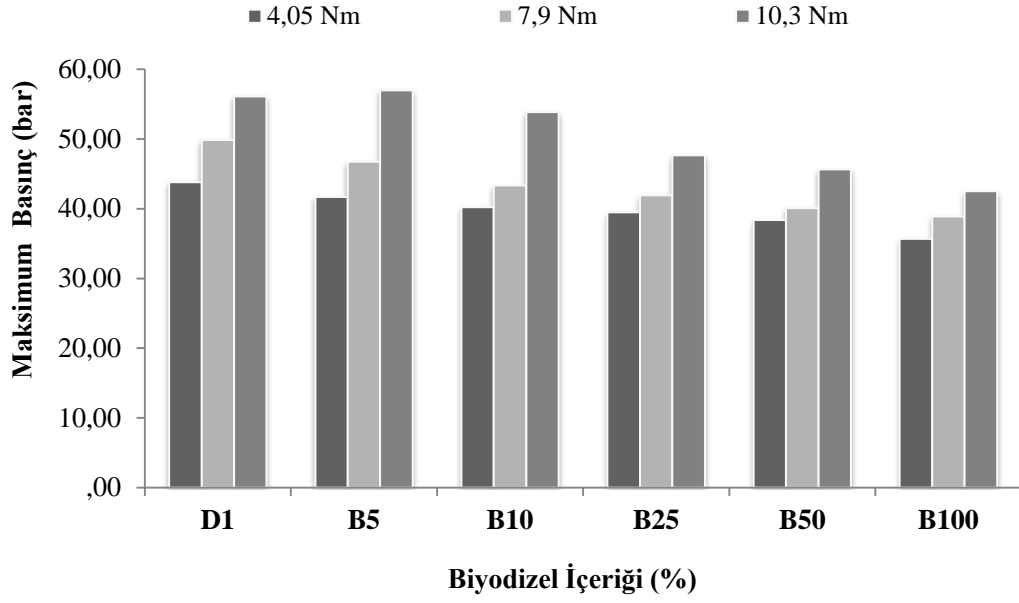


Şekil 6.34. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının ısı yayılım oranına etkisi, (Me = 7,9 Nm, n = 2400 1/min).



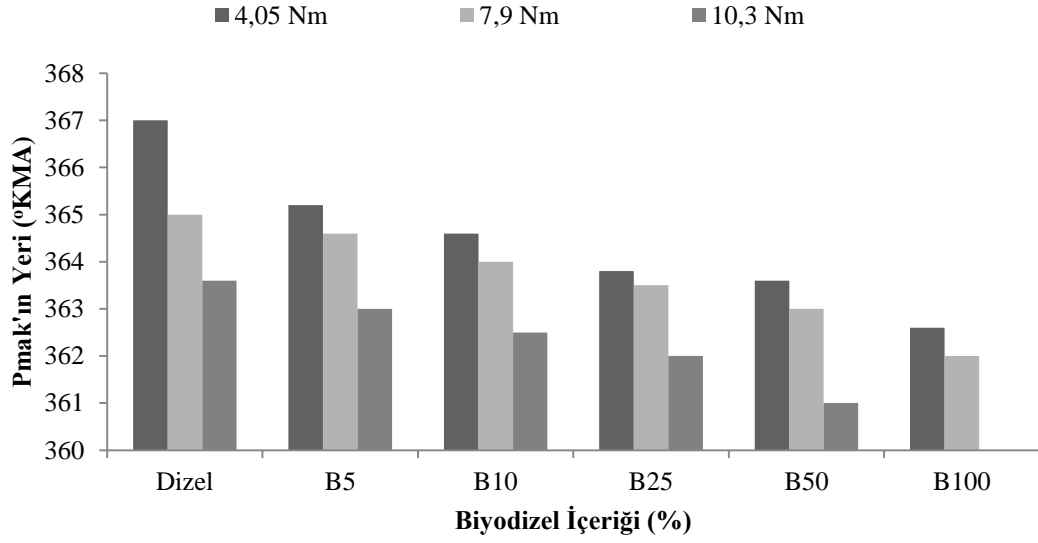
Şekil 6.35. Biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının ısı yayılım oranına etkisi, (Me = 10,3 Nm, n = 2400 1/min).

Şekil 6.36’da değişik motor yüklerinde ve dizel yakıtına biyodizel ilavesinin maksimum silindir basıncına etkisi verilmektedir. Dizel motorlarında motor yükü silindire gönderilen yakıt miktarı ile ayarlanmaktadır. Motor yükünün artırılması ile birlikte silindirlere gönderilen yakıt miktarı artmaktadır. Buda yanma sonunda oluşan maksimum silindir basıncını artırmaktadır. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikteyse yakıt karışımlarının ısı değeri azaldığı için yanma sonu basıncı azalmaktadır. Çalışmanın sonuçları literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir [150,151].



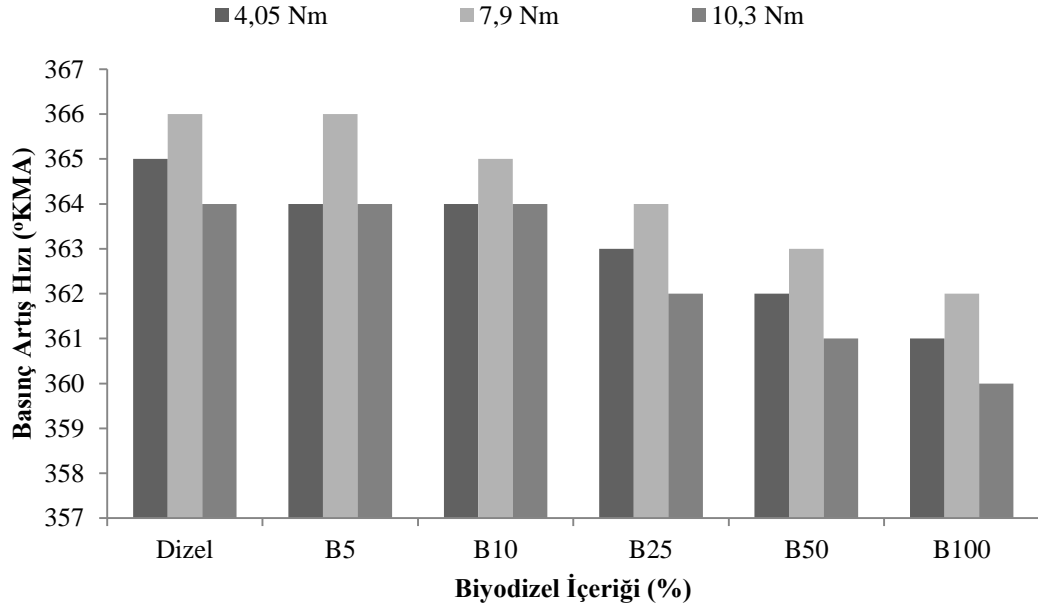
Şekil 6.36. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde maksimum silindir basıncına etkisi.

Şekil 6.37’de biyodizel ilavesinin ve motor yükünün p_{mak} ’ın yerine etkisi verilmektedir. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte p_{mak} ’ın yeri daha erkene kaymaktadır. Dizel motorlarında motor yükü silindir içerisine gönderilen yakıt miktarı ile alakalıdır. Biyodizel oranı arttıkça maksimum basıncın ÜÖN’ya yakın gerçekleşmesi setan sayısının yüksek olması ve biyodizel yakıtının daha hızlı yanmasından dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. Her bir yakıt için yük arttıkça dizel yakıtı 10,3 Nm yükte yaklaşık 363,5 °KMA gerçekleşen maksimum basınç biyodizel yakıt oranı arttıkça ÜÖN’ya daha yakın gerçekleşmekte ve hatta B100 yakıtı ile tam ÜÖN’de gerçekleştiği tespit edilmiştir [153].



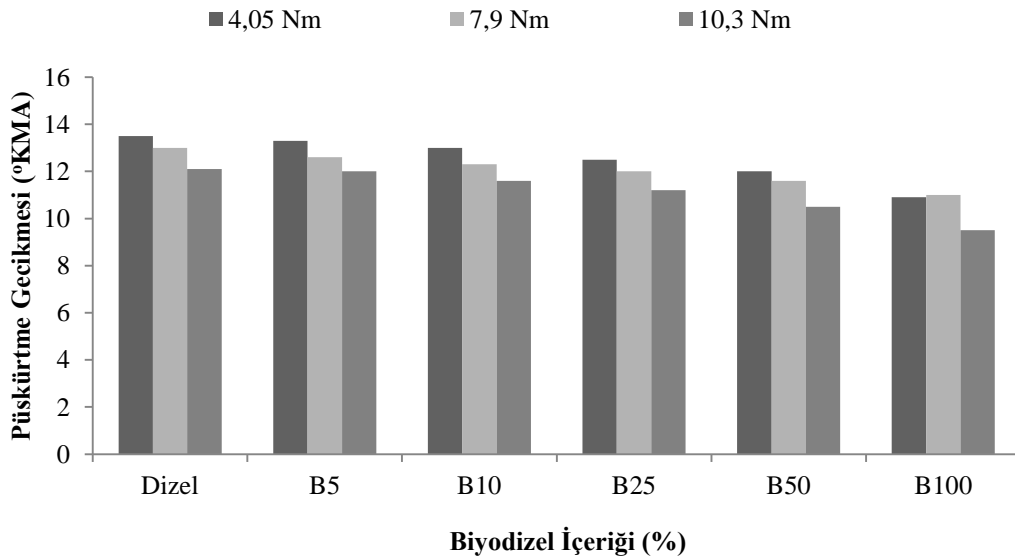
Şekil 6.37. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde p_{mak} 'ın yerine etkisi.

Şekil 6.38'de biyodizel ilavesinin ve motor yükünün basınç artış oranına etkisi verilmektedir. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte basınç artış oranında bir artış söz konusudur. Bu durumun dizel yakıtına katılan biyodizelin, yakıt karışımının setan sayısını artırması ve biriken yakıtın ani olarak tutuşarak basınç artış oranını arttırması ile oluştuğu düşünülmektedir. Motor yüküne bağlı olarak basınç artış oranının değişimi ise yakıtın bazı özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Motor yükünün artması ile birlikte silindirler içerisine gönderilen yakıt miktarı artmaktadır. Bu durum silindir içerisinde ani yanma miktarını arttırarak $^{\circ}KMA$ başına düşen basınç miktarını arttırmaktadır. Çalışmanın sonuçları literatürdeki çalışma ile benzerlik göstermektedir [154].



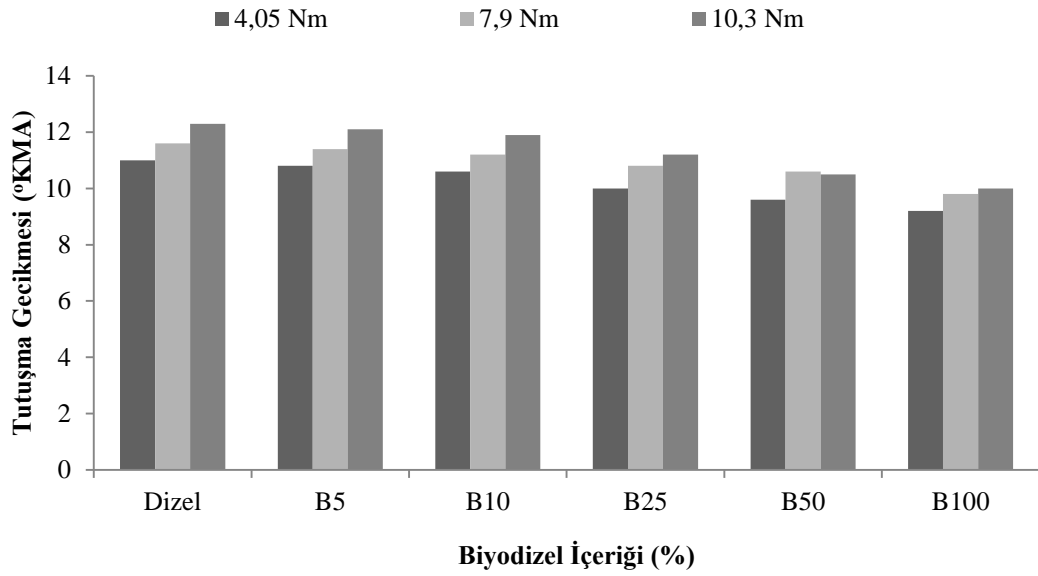
Şekil 6.38. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde basınç artış oranına etkisi.

Şekil 6.39'da biyodizel ilavesinin ve motor yükünün püskürtme gecikmesine etkisi verilmektedir. Biyodizel ilavesi ile birlikte püskürtme gecikmesi süresi kısalmaktadır. Yapılan çalışmalar yüksek yoğunluk değerine sahip yakıtların dizel motorlarının pompalarında kullanılması ile püskürtmenin avanslı bir değer ile gerçekleştiğini göstermektedir [152].



Şekil 6.39. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde püskürtme gecikmesine etkisi.

Şekil 6.40’da tutuşma gecikmesi değerinin dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile değişimi gösterilmektedir. Tutuşma gecikmesi yakıtın silindirlere püskürtülmesinden ilk kıvılcımın yanarak basıncın yükseldiği ana kadar geçen süredir. Bu süre silindir içerisine alınan yakıtın özellikleri ve silindir içerisinde yakıt ile havanın meydana getirdiği karışımın durumuna göre değişim göstermektedir [151]. Biyodizel ilavesi ile birlikte tutuşma gecikmesi süresinde azalma meydana gelmektedir. Bu durum yakıt karışımındaki oksijen miktarı ve setan sayısından kaynaklanmaktadır. Çalışmanın sonuçları literatürdeki çalışma ile benzerlik göstermektedir [155].



Şekil 6.40. Pirina yağı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının değişik yüklerde tutuşma gecikmesine etkisi.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı piyasada pek değerlendirilmeyen ham pirina yağından biyodizel üretiminin geliştirilmesi ve dizel motor yakıtı olarak kullanılmasının motor performansına ve emisyonlarına etkisini araştırmaktır. Ayrıca diğer çalışmalardan farklı olarak, bu biyodizel üretiminde bir çeşit akol karışımı olan fuzel yağı kullanılmıştır. Elde edilen belli başlı sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

Ham pirina yağının biyodizele dönüştürülebilmesi için yüksek olduğu bilinen SYA değerinin %1'nin altına düşürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle biyodizel üretimi iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamasında SYA değerini düşürmek için ham pirina yağına kütlece %0,5, %1, %1,5, %3, %5 ve %10 oranlarında H₂SO₄ ve HCL asit ile değişik mol oranlarında (6:1, 10:1, 20:1 ve 40:1) alkoller (Etanol, metanol, bütanol ve fuzel yağı) ve ham pirina yağı reaksiyona tabi tutulmuştur. SYA miktarının %1 asit düzeyine düşürülmesi için bu işlemin iki kez tekrarlanması gerektiği görülmüştür. Bu işlem için kullanılan bütün alkol çeşitleri ve mol oranlarında birçok farklı değer elde edilmiştir. Bu çalışmada biyodizel üretimi için kullanılan ham pirina yağının SYA oranı kütlece %1 H₂SO₄ oranında 20:1 damıtılmış fuzel yağı (alkol)/yağ (mol/mol) oranı ile elde edilmiştir.

Birinci aşamada SYA miktarı azaltılan ham pirina yağından biyodizel üretimine etki eden, alkol çeşidinin, alkol miktarının, katalizör çeşidinin, katalizör miktarının, reaksiyon sıcaklığının ve reaksiyon süresinin etkisi incelenmiş ve sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

Alkol çeşitlerinin biyodizel üretim verimine etkisinin araştırılması için metanol, etanol bütanol ve fuzel yağı ile reaksiyonlar tekrarlanmıştır. Aynı mol oranlarında %1 NaOH katalizörü, 65°C sıcaklıkta 3 saatlik reaksiyon sonunda metanol ile %85,

etanol ile %83, bütanol ile %81 ve fuzel yağı ile %78'lik bir dönüşüm oranı elde edilmiştir.

Alkol miktarının biyodizel üretim verimine etkisinin araştırılması için %1 NaOH katalizörü, 65°C sıcaklık, 3 saatlik reaksiyon şartlarında metanol, etanol bütanol ve fuzel yağı 6:1, 10:1, 15:1 ve 20:1 alkol/yağ (mol/mol) ile oranlarında tekrarlanmıştır. Reaksiyona katılan alkol miktarının artması ile birlikte biyodizel veriminin arttığı tespit edilmiştir. Örneğin fuzel yağı ile 6:1 mol oranı ile %59, 10:1 mol oranı ile %78, 15:1 mol oranı ile %79, 20:1 mol oranı %80 biyodizel dönüşüm verimi elde edilmiştir.

Katalizör türünün biyodizel üretim verimine etkisinin araştırılması için KOH ve NaOH kullanılarak deneyler tekrarlanmıştır. KOH kullanımı ile reaksiyon süresinin uzadığı tespit edilmiştir. Fakat NaOH ile daha reaksiyonun ilk başlarında bile biyodizelin dönüştüğü gözlemlenmiştir. Ham pirina yağı eşit miktarda farklı katalizör ile 65°C sıcaklık, 3 saatlik reaksiyon süresi sonunda en iyi verim %78 ile NaOH elde edilmiştir.

Katalizör miktarının da biyodizel dönüşümü üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle katalizör olarak kütlece %0,5, %1, %1,5, %3 ve %5 oranlarda NaOH kullanılmış ve en iyi sonuç kütlece %1 NaOH ile elde edilmiştir.

Biyodizel üretiminde reaksiyon sıcaklığının optimum koşullarının tespiti hem zaman hem de üretim maliyetleri açısından önemli bir parametredir. Bu nedenle reaksiyona giren ham maddelerin çeşidi ve miktarı sabit kalmak koşuluyla reaksiyon sıcaklığı, 50, 55, 57, 60, 65, 70 ve 75°C arasında değiştirilerek reaksiyon tekrarlanmış ve biyodizel dönüşüm verimi incelenmiştir. Sonuçlar 65°C sıcaklığın reaksiyon verimi için yeterli ve etkili olduğunu göstermektedir.

Reaksiyonun yarıda kalması da, reaksiyonun tamamlanmasına rağmen işlemin devam etmesi de maliyetleri artıracığından optimum reaksiyon süresinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle %1 NaOH katalizörü, 65°C sıcaklıkta 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5 ve 8 saat süresince reaksiyon tekrar edilmiş ve her

defasında biyodizel dönüşüm verimleri incelenmiştir. 3 saatlik reaksiyon süresinden sonrasında biyodizel dönüşüm verimi üzerinde artık önemli bir artış olmadığı gözlemlenmiştir.

Tüm bu çalışmalar sonrasında atık fuzel yağı ile 65°C sıcaklıkta ile 10:1 (alkol/yağ) (mol/mol) oranında, kütlece %1 (kütlece) NaOH ile 3 saatlik bir reaksiyon ile biyodizel üretilmiştir. Bu koşullarda üretilen biyodizelin TÜBİTAK-MAM'da analizleri yaptırılmıştır. Üretilen yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde yoğunluğunun, parlama noktasının, soğuk filtre tıkama noktası, asit sayısı, iyot sayısı, linolenik asit metil esteri, kabon kalıntısı, setan sayısı, akma noktası net yanma ısısı gibi önemli birçok özelliği standartları sağladığı görülmüştür. Sadece, EN ISO 3104 standardına göre 3,5-5 mm/s² aralığında olması gereken kinematik viskozitenin 6,208 mm/s² olduğu tespit edilmiştir.

Üretilen biyodizelin tek silindirli bir dizel motorda, farklı biyodizel/dizel yakıtı karışım oranlarında (D100, B5, B10, B25, B50) ve saf olarak B100 yakıtıyla, farklı motor devirlerinde (1600 1/min, 2000 1/min, 2400 1/min ve 2800 1/min) ve farklı motor yüklerinde (4,05Nm, 7,9Nm ve 10,3Nm) yakıt olarak kullanılmasının performans ve emisyonlara etkisinin araştırılmasıyla elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Tam yük, değişik motor hızlarında ve değişik biyodizel/dizel karışımlarının etkisine bakıldığında, biyodizel oranı arttıkça, motor momentinde ve gücünde düşüş, FÖET'de ise artış görülmüştür. B100 yakıtı ile motor momenti ve gücünde yaklaşık %5,8 oranında düşüş olduğu, FÖET'de ise bir miktar artış olduğu görülmüştür. Tork ve güçteki azalma büyük oranda biyodizelin yakıtının ısı değerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca biyodizel oranının %5'e (B5) çıkartılmasıyla efektif verimde %6 ve biyodizel oranının %100 (B100) çıkartıldığında verimin ise %21 düştüğü ve egzoz gazı sıcaklığında da önemli bir değişim olmadığı tespit edilmiştir.

Dizel motorlardan kaynaklanan önemli emisyonlardan biri olan NOx emisyonunun tam yük, değişik motor hızlarında biyodizel oranının artmasıyla, NOx emisyonlarının B25

yakıtında orta hızlara kadar azaldığı, sonrasında B25 ve B50’de de orta hızlarda arttığı B100’de ise genel olarak yaklaşık dizel seviyesinde kaldığı görülmüştür. %100 biyodizelde NOx’in dizel seviyesinde kalmasının biyodizelin ısıl değerinin düşük olması sonucu silindir içi sıcaklığın düşmesinin sebep olduğu düşünülmektedir. HC ve CO emisyonları ise biyodizel oranı arttıkça bir miktar artmıştır. İS emisyonu genel olarak azalmıştır. B100 yakıtında maksimum moment devrinde ise %5 azalma olduğu tespit edilmiştir.

2400 1/min sabit motor hızında değişik yüklerde (4,05 Nm, 7,9 Nm ve 10,3 Nm) biyodizel/dizel karışım oranının etkisine gelince; dizel yakıtına ilave edilen biyodizel miktarı arttıkça B10 yakıtına kadar FÖET arttığı biyodizel oranı daha da arttıkça FÖET azaldığı görülmüştür. Bunun temel sebebinin yakıtın buharlaşma ısının ve viskozite değerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Egzoz gaz sıcaklığında genel olarak bir miktar artış olmuştur.

2400 1/min sabit motor hızında değişik yüklerde (4,05 Nm, 7,9 Nm ve 10,3 Nm) biyodizel/dizel karışım oranının etkisine gelince; biyodizel oranı arttıkça, HC emisyonlarının düştüğü ve B100 yakıtı ile 10,3 Nm yükte bu düşüşün %18,2 oranında olduğu tespit edilmiştir. NOx emisyonu ise her bir biyodizel oranında kısmi yüklerde düşüş yaklaşık tam yükte ise dizel yakıtına göre artmıştır. Yaklaşık tam yükte NOx emisyonunun artmasının bu yükte oksijen içeren biyodizel miktarının artmış olması ve yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. CO emisyonları da her bir biyodizel oranında kısmi yüklerde düşüş, yaklaşık tam yükte ise dizel yakıtına göre bir miktar artmıştır. İS emisyonları B25 yakıt oranı hariç düşük ve orta yüklerde düşmüştür yaklaşık tam yükte artma göstermiştir.

Tam yük, değişik motor hızlarında ve değişik biyodizel oranlarında yapılan yanma analizinde ortaya çıkan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Hem kendi başına hem de yanma analizinin yapılmasında temel parametre olan silindir içi basınç biyodizel oranı arttıkça bir miktar azalmaktadır. Saf dizel yakıtı ile 2400 1/min’da 364 °KMA açısında meydana gelen p_{mak} biyodizel artması ile ÜÖN’ye doğru yaklaşmakta ve B100 yakıtı ile yaklaşık 360 °KMA’da gerçekleşmiştir. Vuruntulu yanmanın bir göstergesi olan basınç artış oranının biyodizel orana bağlı olarak arttığı ancak vuruntu

sınırı olan 10 bar/°KMA değerinin altında kaldığı görülmüştür. Silindir içi basınç değerlerinden yararlanılarak ortaya konulan yanma analizi ile; B100 yakıtı ile maksimum motor momentinde basınç artış oranının 8,9 bar/°KMA'ya kadar yükseldiği, p_{mak} 'ın yerinin biyodizel ilavesi ve motor hızına bağlı olarak ÜÖN'ye yaklaştığı ve motor devrinin artması ile birlikte maksimum basıncın yerinin erken oluştuğu, biyodizel ilave edilmesi ile birlikte bu erkene alınma durumunun daha da öne kaydığı görülmektedir. Tutuşma gecikmesi süresi biyodizel ilavesi ile birlikte °KMA cinsinden azalma eğilimi göstermektedir. En fazla azalmanın B100 yakıtı ile gerçekleştiği görülmüştür. B100 yakıtı ile 1600 1/min'de 3,2 °KMA, 2000 1/min'de 2,8 °KMA, 2400 1/min'de 2,3 ve 2800 1/min'de 2,5 °KMA kadar tutuşma gecikmesi süresinin azaldığı görülmüştür. Yoğunluk oranı yüksek yakıtların avanslı olarak püskürtüldüğü bilinmektedir. Bu nedenle püskürtme gecikmesi süresi biyodizel ilavesi ile birlikte azalma eğilimi göstermiştir. Biyodizel ilavesi ile birlikte silindir içi maksimum ortalama gaz sıcaklığında genel bir azalma görülmüştür.

Maksimum tork devrinin elde edildiği 2400 1/min motor hızında 4,05 Nm, 7,9 Nm ve 10,3 Nm motor yüklerinde dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte; p_{mak} 'ın azaldığı görülmektedir. En fazla azalma B100 yakıtı ile 10,3 Nm motor momentinde %12 ile elde edilmiştir. Maksimum basıncın elde edildiği B100 yakıtı ile 10,3 Nm motor momentinde p_{mak} 'ın yeri yaklaşık olarak 361 °KMA'ya denk gelen noktada gerçekleşmiştir. Basınç artış oranı motor yükünün artması ile birlikte artış göstermektedir. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikteyse bu artış daha fazla artarak B100 yakıtında 8,2 bar/°KMA'ya ulaşmaktadır. Püskürtme gecikmesinin motor yükünün artması ile birlikte azaldığı ve dizel yakıtına ilave edilen biyodizel miktarının artması ile birlikte daha fazla azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür. En fazla azalma oranı B100 yakıtı ile 10,3 Nm motor momentinde 4,3 °KMA ile elde edilmiştir.

Bu tez çalışması sırasında gerçekleştirilen deneyler sırasında karşılaşılan güçlükler ve ileriki çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunabilir.

Ham pirina yağından biyodizel üretimi için farklı üretim yöntemleri olan (enzimlerle üretim) yöntemi denenebilir. Fuzel yağı ile farklı ham madde kaynakları reaksiyona tabi tutularak biyodizel üretimi üzerine araştırmalar genişletilebilir.

Motor deneylerinde motorun değişik parametrelerinin (enjektör püskürtme basıncı, enjektör püskürtme zamanlaması) motor gücüne ve emisyonlarına etkileri de incelenebilir. Elde edilen dizel yakıtı su soğutmalı ve dört silindirli dizel bir motorda denenerek motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi araştırılabilir.

Yanmanın daha detaylı incelenmesi için silindir içi basınç ölçümlerinin yanında yanma odasının hızlı resim çeken aparatlarla resmi çekilerek yanma analizi gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Çağal, F. E., “Biyokütle enerjisi potansiyelinin Türkiye açısından değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul (2009).
2. Acaroğlu, M., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, *Nobel Yayın ve Dağıtım*, Ankara (2007).
3. Akova, İ., “Alternatif Enerji Kaynakları”, *Nobel Yayın ve Dağıtım*, Ankara (2008).
4. Avcıoğlu, O. A., Türker, U., Atasoy, D. ve Koçtürk, D., “Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler Biyoyakıtlar”, *Nobel Yayın ve Dağıtım*, Ankara (2011).
5. İnternet: Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (PIGM), “Türkiye’de Petrol ve Doğal Üretim Faaliyetleri”, <http://www.pigm.gov.tr/uretim.php> (2014).
6. Çanakçı, M., “Production of biodiesel from feedstock’s with high free fatty acids and its effect on diesel engine performance and emissions”, Doctor Of Philosophy, *Iowa State University*, ABD (2001).
7. Zhang, Y., Dube, M. A., McLean, D. D. and Kates, M., “Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment”, *Bioresource Technology*, 89: 1-16 (2003).
8. Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H., “Review: biodiesel fuel production by transesterification of oils”, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92 (5): 405-416 (2001).
9. Çanakçı, M. and Gerpen, V. J., “A pilot plant to produce biodiesel from high free fatty acid feedstocks”, *SAE*, No: 016049 (2001).
10. El-Mashad, H. M., Zhang, R. and Bustillos-Avena, J. R., “A two-step process for biodiesel production salmon oil”, *Biosystems Engineering*, 99 (2): 220-227 (2008).
11. Berchmans, J. H. and Hirata, S., “Biodiesel production from crude jatropha curcas L. seed oil with a high content of free fatty acids”, *Bioresource Technology*, 99 (6): 1716-1721 (2008).
12. Ramaraju, A. and Kumar, A., “Biodiesel development from high free fatty acid punnakka oil”, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6 (4): 1-6 (2011).

13. Bojan, S. G., Chelladurai, S. and Durairaj, S. K., “Batch type synthesis of high free fatty acid jatropha curcus oil biodiesel- india as supplying country”, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6 (8): 73-78 (2011).
14. Gerpen, V. J., “Biodiesel processing and production”, *Fuel Processing Technology*, 86 (10): 1097-1107 (2005).
15. Chongkhong, S., Tongurai, C., Chetpattananondh, P. and Bunyakan, C., “Biodiesel production by esterification of palm fatty acid distillate”, *Biomass and Bioenergy*, 31 (8): 563-568 (2007).
16. Ramadhas, A. S., Jayaraj, S. and Muraleedharan, C., “Biodiesel production from high FFA rubber seed oil”, *Fuel*, 84 (4): 335-340 (2005).
17. Dhara, A., Kevinb, R. and Agarwala, K. A., “Production of biodiesel from high-FFA neem oil and its performance, emission and combustion characterization in a single cylinder DIC engine”, *Fuel Processing Technology*, 97: 118–129 (2012).
18. Morsheda M., Ferdousa, K., Khana, M. R., Mazumdera, M. S. I., Islama, M. A. and Uddina, M., “Rubber seed oil as a potential source for biodiesel production in Bangladesh”, *Fuel*, 90 (10): 2981-2986 (2011).
19. Çanakçı, M., “The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks”, *Bioresource Technology*, 98 (1): 183–190 (2007).
20. Che, F., Sarantopoulos, I., Tsoutsos, T. and Gekas, V., “Exploring a promising feedstock for biodiesel production in Mediterranean countries: A study on free fatty acid esterification of olive pomace oil”, *Biomass and Bioenergy*, 36: 427-431 (2012).
21. Çaynak, S., Gürü, M., Biçer, A., Keskin, A. and İcingür, Y., “Biodiesel production from pomace oil and improvement of its properties with synthetic manganese additive”, *Fuel*, 88 (3): 534-538 (2009).
22. Moghaddam, N. A., Tahvildari, K. and Taghvaie, S., “Trans-Esterification for production of biodiesel from waste frying oil (WFO)”, *International Journal of Chemical and Biological Engineering*, 3 (3): 119-123 (2010).
23. Hasuntree, P., Toomthong, V., Yoschoch, S. and Thawornchaisit, U., “The potential of restaurant trap grease as biodiesel feedstock”, *Songklanakarın Journal Science Technology*, 33 (5): 525-530 (2011).
24. Kafadar, B. A., “Yağlardan biyodizel eldesine etki eden faktörlerin araştırılması”, Doktora Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır (2011).
25. Özalp, B. H., “ Balık artıklarından yağ eldesi ve biyodizel üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya (2011).

26. Aktaş, A. ve Sekmen, Y., “Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (1): 199-206 (2008).
27. Sekmen, Y. ve Aktaş, A., “Soya yağı metil esterinin dizel motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 11 (3): 249-254 (2008).
28. Usta, N., E. Öztürk, Can, Ö., Conkur, E. S., Nas, S., Çon, A. H., Can, A. C., and Topçu, M., “Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a Diesel engine”, *Energy Conversion and Management*, 46: 741–755 (2005).
29. Canakçı M. and Gerpen, V. J., “Comparison of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow grease biodiesel, and soybean oil biodiesel”, *American Society of Agricultural Engineers*, 46 (4): 937-944 (2006).
30. Kannan, K. T. and Marappan, R., “Comparative study of performance and emission characteristics of a diesel engine fueled by emulsified biodiesel/diethyl ether blended biodiesel”, *Journal of Applied Sciences*, 11 (6): 2961-2967 (2011).
31. Dhar, A. and Agarwal, A. K., “Performance, emissions and combustion characteristics of Karanja biodiesel in a transportation engine”, *Fuel*, 119: 70-80 (2014).
32. Wail M. A. and Khaled S. A., “Performance of diesel engine fuelled by a biodiesel extracted from a waste cooking oil”, *Energy Procedia*, 18: 1317–1334 (2012).
33. Qi, D.H., Geng, L. M., Chen, H., Bian, Y.Z.H., Liu, J. and Ren, X. C. H., “Combustion and performance evaluation of a diesel engine fueled with biodiesel produced from soybean crude oil”, *Renewable Energy*, 34: 2706–2713 (2009).
34. Karabektas, M., “The effects of turbocharger on the performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with biodiesel”, *Renewable Energy*, 34: 989–993 (2009).
35. Jaichandar, S. and Annamalai, K., “Combined impact of injection pressure and combustion chamber geometry on the performance of a biodiesel fueled diesel engine”, *Energy*, 55: 330-339 (2013).
36. Chauhan, B. S., Kumar, N., Cho, H. M. and Lim, H. C., “A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with Karanja biodiesel and its blends”, *Energy*, 56: 1-7 (2013).
37. Çelikten, İ. ve Arslan, M. A., “Dizel yakıtı, kanola yağı ve soya yağı metil esterlerinin direkt püskürtmeli bir dizel motorunda performans ve emisyonlarına

- etkilerinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (4): 829-836 (2008).
38. Hossain, A. K., Ouadi, M., Siddiqui, S.U., Yang, Y., Brammer, J., Hornung, A., Kay, M. and Davies P. A., “Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of an indirect injection multi-cylinder CI engine fuelled by blends of de-inking sludge pyrolysis oil with biodiesel”, *Fuel*, 105: 135–142 (2013).
 39. Lee, C. S. and Park, S. W., “An experimental and numerical study on fuel atomization characteristics of high-pressure diesel injection sprays”, *Fuel*, 81: 2417–2423 (2002).
 40. Alptekin, E. and Çanakçı, M., “Characterization of the key fuel properties of methyl ester–diesel fuel blends”, *Fuel*, 88: 75–80 (2009).
 41. Sayın, C., Özese, A. N. and Çanakçı, M., “The influence of operating parameters on the performance and emissions of a DI diesel engine using methanol-blended-diesel fuel”, *Fuel*, 89: 1407–1414 (2010).
 42. Büyükkaya, E., “Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics”, *Fuel*, 89: 3099–3105 (2010).
 43. Gümüş, M., Cenk S. and Çanakçı, M., “The impact of fuel injection pressure on the exhaust emissions of a direct injection diesel engine fueled with biodiesel–diesel fuel blends”, *Fuel*, 95: 486–494 (2012).
 44. Özener, O., Yüksek, L., Ergenç, A. T., and Özkan, M., “Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics”, *Fuel*, 115: 875–883 (2014).
 45. İçingür, Y., ve Calam, A., “Fuzel yağı benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (1): 143-149 (2012).
 46. Güvenç, A., Aydoğan, Ö., Kapucu, N., ve Mehmetoğlu, Ü., “Fuzel yağından izoamil asetat üretimi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (4): 801-808 (2007).
 47. Patil, A. G., Koolwal, S. M., and Butala, H. D., “Fusel oil: composition, removal, and potential utilization”, *International Sugar Journal*, 104: 1238, 51– 58 (2002).
 48. Öztürk, F., Yalçın, M., and Dıraman, H., “Türkiye zeytinyağı ekonomisine genel bir bakış” *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 12 (2): 35-5 (2009).
 49. Türkekul, B., Gençler F. F., ve Yıldız Ö., “Uluslararası zeytinyağı piyasalarındaki son gelişmeler: Türkiye fırsatları”, *Ulusal Zeytin Kongresi*, 16-23, İzmir, Türkiye (2011).

50. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, “Zeytin ve zeytinyağı raporu”, *Teşkilatlandırma Genel Müdürlüğü*, Ankara (2010).
51. İnternet: Akdeniz İhracatçılar Birliği, “Zeytin ve Zeytinyağı İstatistiği Raporu”, <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-106.pdf> (2014).
52. Tunalıoğlu, R. ve Karahocagil, P., “Türkiye’de zeytinyağı ve sofralık zeytin”, *Türkiye I. Zeytinyağı ve Sofralık Zeytin Sempozyumu*, No:112, İzmir, Türkiye (2010).
53. İnternet: Türkiye Zeytincilik Araştırma Enstitüsü (ZAE), “Zeytin ve Endüstrisi”, <http://www.zae.gov.tr/index.php/projeler/devam-eden-projeler.html> (2014).
54. Tunalıoğlu, R., “Pirina yağı”, *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü*, 5 (12): 12-19 (2004).
55. Tunalıoğlu, R. ve Karahocagil, P., “Zeytinyağı, sofralık zeytin ve prina yağı tahmin ve durum raparı”, *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü*, Ankara (2008).
56. Tunalıoğlu, R., ve Armağan, G., “Aydın ilindeki zeytinyağı fabrikalarında elde edilen yan ürünlerin tarım-sanayi ve çevre ilişkileri boyutunda değerlendirilmesi”, *Türkiye 8. Tarım Kongresi*, 135-143, Bursa, Türkiye (2008).
57. İnternet: Türkiye Büyük Millet Meclisi (TBMM), “Zeytin Ve Zeytinyağı İle Diğer Bitkisel Yağların Üretiminde Ve Ticaretinde Yaşanan Sorunların Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan (10/27, 34, 37, 40, 102) Esas Numaralı Meclis Araştırması”, <http://www.tbmm.gov.tr/sirasayi/donem23/yil01/ss296.pdf> (2014).
58. İnternet: Dünya Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), “Dünya Zeytin Tarım Üretim İstatistikleri”, <http://www.fao.org/countryprofiles/iso3list.asp?lang=en#T> (2014).
59. Özışık, S., “Türkiye’de zeytincilik sektörünün mukayese analizi”, *Ulusal Zeytin Kongresi*, 1-15, Türkiye/İzmir (2011).
60. İnternet: Güney Ege Kalkınma Ajansı (GEKA), “Zeytinyağından Potansiyel Hedefler ve Araştırmaları”, http://www.geka.org.tr/yukleme/dosya/DFD-010-055%20AYSO%20Zeytinyagi_pazar_arastirmasi.pdf (2014).
61. Bülbül, E., “Her Yönüyle Zeytincilik”, *İnkılap Yayınevi*, Ankara (2007).
62. Kayahan, M. ve Tekin, A., “Zeytinyağı Üretim Teknolojisi”, *Gıda Yayınları*, Ankara (2009).
63. Gögüş, F., Özkaya, T. M. ve Ötleş, S., “Zeytinyağı”, *Eflatun Yayınları*, Ankara (2008).

64. İnternet: Akın, S., “Biyokütle Olarak Pirinanın Enerji Üretiminde Kullanılması” http://www.emo.org.tr/ekler/17c99c4861918e5_ek.pdf (2014).
65. İnternet: Zeytincilik Araştırma Enstitüsü (ZAE), “Zeytinyağı Teknolojisi/Zeytinyağı Yan Ürünleri”, <http://www.zae.gov.tr/zeytinyagi/7.asp> (2014).
66. Kurtuluş, E., “Prinanın bir yakıt olarak kullanımı ve eldesi”, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Yayın No: E/2003/330, İstanbul (2003).
67. Kutlar, A. O., Ergneman, M., Arslan, M. ve Mutlu, M., “Taşıtlardan egzozundan kaynaklanan kirleticiler”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul (1998).
68. Heywood, J., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, *Mc Graw-Hill*, New York (1988).
69. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara (1992).
70. İnternet: Jafarmadar, S., “The Effect Of Split Injection On The Combustion and Emissions In DI And IDI Diesel Engines”, <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/44440.pdf> (2014).
71. Matsson, A., and Andersson, S., “The effect of non-circular nozzle holes on combustion and emission formation in a heavy duty diesel engine,” *SAE Technical Paper* No: 2002-01-2671 (2002).
72. Beck, N. J., Uyehara, O. A., and Johnson, W. P., “Effects of fuel injection on diesel combustion”, *SAE Transactions Paper* No: 880299 (1988).
73. İnternet: Lejda, K., Wos, P., “Internal Combustion Engines”, Croatia, Poland, <http://dx.doi.org/10.5772/2806> (2014).
74. Aslan, R. Sürmen, A. ve Karamangil, İ. M., “Motor Termodinamiği”, *Alfa Aktüel Yayınevi*, Ankara (2000).
75. Can, Ö., “Bir DI dizel motorda etanol ön karışimli kısmi-HCCI uygulamasının yanma ve emisyonlar üzerine etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2012).
76. Özkaynak, S., “Dizel ve biyodizel yakıtının dizel motorundaki silindir içi basınç değişimine bağlı ısı yayılımının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).
77. Olsen, A. R., “Analysis and simulation of the rate of heat relase in diesel engines”, *Norwegian University of Science and Technology* (2013).

78. Ögüt, H., ve Oğuz, H., “Biyodizel: Üçüncü Milenyum Yakıtı”, *Nobel Yayın ve Dağıtım*, Ankara (2006).
79. Yılmaz, N., “Effects of intake air preheat and fuel blend ratio on a diesel engine operating on biodiesel–methanol blends”, *Fuel*, 94: 444–447 (2012).
80. McCarthy, P., Rasul M., G., and Moazzem, S., “Analysis and comparison of performance and emissions of an internal combustion engine fuelled with petroleum diesel and different bio-diesels”, *Fuel*, 90: 2147–2157 (2011).
81. Randazzo, M. L., and Sodre, J. R., “Cold start and fuel consumption of a vehicle fuelled with blends of diesel oil–soybean biodiesel–ethanol”, *Fuel*, 90: 3291–3294 (2011).
82. Zhu, L., Cheung, C. S., Zhang, W. G., and Huang, Z., “Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends”, *Fuel*, 90: 1743–1750 (2011).
83. Silitonga, A. S., Masjuki, H. H., Mahlia, T. M. I., Ong, H. C., and Chong, W. T., “Experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with Ceiba pentandra biodiesel blends”, *Energy Conversion and Management*, 76: 828-836 (2013).
84. Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Mofijur, M. J., Abedin I. M., and Rizwanul, F., “Effect of antioxidant on the performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with palm biodiesel blends”, *Energy Conversion and Management*, 79: 265-272 (2014).
85. Büyükkaya, E., Benli S., Karaaslan, S., and Gürü, M., “Effects of trout-oil methyl ester on a diesel engine performance and emission characteristics”, *Energy Conversion and Management*, 69: 41–48 (2013).
86. Basha, S. A., and Raja, G. K., “A review of the effects of catalyst and additive on biodiesel production, performance, combustion and emission characteristics” *Renewable Sustain Energy*, 16: 711–717 (2012).
87. Jinlin, X., “Combustion characteristics, engine performances and emissions of waste edible oil biodiesel in diesel engine”, *Renewable and Sustainable Energy*, 23: 350-365 (2013).
88. Yang, Y., Brammer, J. G., Samanya, J., Hossain, A. K., and Hornung, A., “Investigation into the performance and emissions of a stationary diesel engine fuelled by sewage sludge intermediate pyrolysis oil and biodiesel blends”, *Energy*, 62: 269-276 (2013).
89. Mohamed, S. S., “Emissions, performance and cylinder pressure of diesel engine fuelled by biodiesel fuel”, *Fuel*, 112: 513-522 (2013).

90. Kado, N. Y., and Kuzmick, P. A., “Bioassay analyses of particulate matter from a diesel bus engine using various biodiesel feedstock fuels”, *National Renewable Energy Lab*, NREL/SR-510-31463, ABD (2003).
91. Yasin, M., Mat, H., Yusaf, T., Mamat, A., and Fitri, Y., “Characterization of a diesel engine operating with a small proportion of methanol as a fuel additive in biodiesel blend”, *Applied Energy*, 114: 865-873 (2014).
92. Koç, A. B., and Abdullah, M., “Performance of a 4-cylinder diesel engine running on tire oil-biodiesel–diesel blend”, *Fuel Processing Technology*, 118: 264-269 (2014).
93. Palash, S. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Arbab, M. I., and Masum, B. M., Sanjid, A., “Impacts of NOx reducing antioxidant additive on performance and emissions of a multi-cylinder diesel engine fueled with Jatropha biodiesel blends”, *Energy Conversion and Management*, 77: 577-585 (2014).
94. Sayın, C., Gümüş, M., and Çanakçı, M., “Influence of injector hole number on the performance and emissions of a DI diesel engine fueled with biodieselediesel fuel blends”, *Applied Thermal Engineering*, 61: 121-128 (2013).
95. Sayın, C., Gümüş, M., and Çanakçı, M., “Effect of fuel injection timing on the injection, combustion and, performance characteristics of direct injection (DI) diesel engine fueled with canola oil methyl ester-diesel fuel blend”, *Energy Fuel* 24 (5): 3199-3213 (2010).
96. Özsezen A. N., Çanakçı, M., Türkcan A., and Sayın, C., “Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters”, *Fuel*, 88 (4): 629-636 (2009).
97. Söyler, H., “JP-8 ve biyodizel karışımlarının sıkıştırma ile ateşlemeli motorda yakıt olarak kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2011).
98. Eryılmaz, D., “Hardal yağı biyodizelinde farklı karışım oranlarının dizel motorlarda performans etkisi” Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 108-114 (2009).
99. Kalam, M. A., and Masjuki, H. H., “Biodiesel from palm oil an analysis of its properties and potential”, *Biomass and Bioenergy*, 23 (6): 471-479 (2002).
100. Huang, J., Wang, Y., Li, S., Roskily, A., Yu, H., and Li, H., “Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol–diesel blends”, *Applied Thermal Engineering*, 29: 2484-2490 (2009).
101. Qiang, Z., Junhua, F., Jian, Z., and Zhen, H., “Effects of ethanol diesel biodiesel blends on combustion and emissions in premixed low temperature combustion”, *Applied Thermal Engineering*, 54: 541-548 (2013).

102. Sanjid, A., Masjuki H. H., Kalam, S. M., Rahman, A., and Palash, S. M., "Production of palm and jatropha based biodiesel and investigation of palm-jatropha combined blend properties, performance, exhaust emission and noise in an unmodified diesel engine", *Journal Cleaner Production*, 65: 295-303 (2014).
103. Qi, D. H., Chen, H., Geng, L. M., and Bian, Y. Z., "Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine", *Renewable Energy*, 16: 1252-1258 (2011).
104. Öner, C., and Altun, Ş., "Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine", *Applied Energy*, 86: 2114-2120 (2009).
105. István, B., and Adrian, I. T., "Key fuel properties of biodiesel-diesel fuel-ethanol blends", *SAE*, No: 2009-01-1810 (2009).
106. Bertoli, C., and Alessio, J. D., Giacomo D. N., Lazzaro, M., Massoli, P., Moccia, V., "Running light-duty DI diesel engines with wood pyrolysis oil", *SAE* No: 2000- 01-2975 (2000).
107. Altın, R., Çetinkaya, S., and Yücesu, H. S., "The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines", *Energy Conversion and Management*, 42: 529-538 (2001).
108. Prakash, R., Singh, R. K., and Murugan, S., "Utilization of biomass based fuel in a naturally aspirated diesel engine", *Procedia Engineering*, 51: 501-507 (2013).
109. Bertoli, C., Alessio, J. D., Giacomo D. N., Lazzaro, M., Massoli, P., and Moccia, V., "Running light-duty DI diesel engines with wood pyrolysis oil", *SAE* No: 2000- 01-2975 (2000).
110. Jaichandar, S., and Annamalai, K., "Effects of open combustion chamber geometries on the performance of pongamia biodiesel in a DI diesel engine", *Fuel*, 98: 272-279 (2012).
111. Yilmaz, N., Francisco, M., Vigil, A., Burl, D., and Tariq, D., "Investigation of CI engine emissions in biodiesel-ethanol-diesel blends as a function of ethanol concentration", *Fuel*, 115: 790-793 (2014).
112. Büyükkara, E., "Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics", *Applied Energy*, 89: 3099-3105 (2010).
113. Soham, C., and Ramkrishna, S., "Fuel properties, engine performance and environmental benefits of biodiesel produced by a green process", *Applied Energy*, 105: 319-326 (2013).

114. Hazar, H., “Cotton methyl ester usage in a diesel engine equipped with insulated combustion chamber”, *Applied Energy*, 87: 134-140 (2010).
115. Devan, P. K., and Mahalakshmi, N. V., “A study of the performance, emission and combustion characteristics of a compression ignition engine using methyl ester of paradise oil–eucalyptus oil blends”, *Applied Energy*, 86: 675-680 (2009).
116. Wirawan, S. S., Armansyah, H. T., Martin, D., and Hiroshi, N., “The Effect of palm biodiesel fuel on the performance and emission of the automotive diesel engine”, *Agricultural Engineering International*, 7: 1-10 (2008).
117. Huang, J., Wang, Y., Qin, J., and Roskilly, A. P., “Comparative study of performance and emissions of a diesel engine using Chinese pistache and jatropha biodiesel”, *Fuel Processing Technology*, 91: 1761-1767 (2010).
118. Çanakçı, M., Özsezen, A. N., Arcaklıoğlu, E., and Erdil, A., “Prediction of performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with biodiesel produced from waste frying palm oil”, *Expert Systems with Applications*, 36: 9268–9280 (2009).
119. Jincheng, H., Yaodong, W., Jian-bin, Q., and Anthony, P., “Comparative study of performance and emissions of a diesel engine using Chinese pistache and jatropha biodiesel”, *Fuel Processing Technology*, 91: 1761-1767 (2010).
120. Rakopoulos, C. D., Rakopoulos, D. C., Hountalas, D. T., Giakoumis, E. G., and Andritsakis, E. C., “Performance and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with bio-diesel of sunflower or cottonseed oils derived from Greek feedstock”, *Fuel*, 87: 147-157 (2008).
121. Rakopoulos, C. D., Rakopoulos, D. C., Hountalas, D. T., Giakoumis, E. G., and Andritsakis, E. C., “Comparative performance and emissions study of a direct injection Diesel engine using blends of Diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins”, *Energy Conversion and Management*, 47: 3272–3287 (2006).
122. Pi-qiang, T., Zhi-yuan, H., Di-ming, L., and Zhi-jun, L., “Exhaust emissions from a light-duty diesel engine with Jatropha biodiesel fuel”, *Energy*, 19: 356-362 (2012).
123. Jo-Han, N., Hoon, K. N., and Suyin, G., “Engine-out characterisation using speed–load mapping and reduced test cycle for a light-duty diesel engine fuelled with biodiesel blends”, *Fuel*, 90: 2700-2709 (2011).
124. Qi, D. H., Chen, H., Geng, L. M., and Bian, Z. H., “Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends”, *Energy Conversion and Management*, 51: 2985-2992 (2010).

125. Elango, T., and Senthilkumar, T., “Combustion and emission characteristics of a diesel engine fuelled with jatropha and diesel oil blends”, *Thermal Science*, 15 (4): 1205-1214 (2011).
126. Pedro, B., John, A., and Andrés, A., “Effect of altitude and palm oil biodiesel fuelling on the performance and combustion characteristics of a HSDI diesel engine”, *Fuel*, 88: 725–731 (2009).
127. Gümüş, M. “A comprehensive experimental investigation of combustion and heat release characteristics of a biodiesel (hazelnut kernel oil methyl ester) fueled direct injection compression ignition engine”, *Fuel*, 89: 2802–2814 (2010).
128. Xin, W., Yunshan, G., Linxiao, Y., and Xiangyu, F., ”Comparison of combustion characteristics and brake thermal efficiency of a heavy-duty diesel engine fueled with diesel and biodiesel at high altitude”, *Fuel*, 107: 852-858 (2013).
129. Büyükkaya, E., ”Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics”, *Fuel*, 89: 3099–3105 (2010).
130. Atul, D., and Avinash, K. A., “Performance, emissions and combustion characteristics of Karanja biodiesel in a transportation engine”, *Fuel*, 119: 70–80 (2014).
131. Banapurmatha, N. R., Tewari, P. G., and Hosmath, R. S., “Performance and emission characteristics of a DI compression ignition engine operated on honge, jatropha and sesame oil methyl esters”, *Renewable Energy*, 33 (9): 1982–1988 (2008).
132. Anand, K., Sharma, R. P., and Mehta, P. S., “Experimental investigations on combustion, performance and emissions characteristics of neat karanja biodiesel and its methanol blend in a diesel engine”, *Biomass and Bioenergy*, 5: 533–541 (2011).
133. Çetinkaya, S., “Termodinamik”, *Nobel Yayınevi*, Ankara (2004).
134. Sahoo, P. K., and Das, L. M., “Combustion analysis of Jatropha, Karanja and Polanga based biodiesel as fuel in a diesel engine”, *Fuel*, 88: 994–999 (2009).
135. Ballesteros, R., Guillen-Flores, J., and Martinez, J. D., “Carbonyl emission and toxicity profile of diesel blends with an animal-fat biodiesel and a tire pyrolysis liquid fuel”, *Chemosphere*, 96: 155–166 (2014).
136. Sayın, C., Gümüş, M., and Çanakçı, M., “Effect of fuel injection pressure on the injection, combustion and performance characteristics of a DI diesel engine fueled with canola oil methyl esters-diesel fuel blends”, *Biomass and Bioenergy*, 46: 435-446 (2012).

137. Selim, M. E., Radwan, M. S., and Elfeky, S. S., “Combustion of jojoba methyl ester in an indirect injection diesel engine”, *Renewable Energy*, 28 (9): 1401-1420 (2003).
138. Ren, Y., Huang, Z., Miao, H., Di, Y., Jiang, D., and Zeng, K., “Combustion and emissions of a DI diesel engine fuelled with diesel-oxygenate”, *Fuel*, 87 (12): 2691-26977 (2008).
139. Kumar, M. S., Ramesh, A., and Nagalingam, B., “An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine”, *Biomass and Bioenergy*, 25 (3): 309-318 (2003).
140. Huang, Z. H., Lu, H. B., Jiang, D. M., Zeng, K., Liu, B., and Zhang, J. Q., “Combustion characteristics and heat release analysis of a compression ignition engine operating on the diesel-methanol blends”, *Perl India Mechanical Engineering*, 218 (9): 1011-1124 (2004).
141. Çanakçı, M., “Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel”, *Bioresource Technology*, 98: 1167–1175 (2007).
142. Yuan, C. L., Kuo, H. H. and Chung, B. C. “Experimental investigation of the performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fueled with waste cooking oil biodiesel/ultra-low sulfur diesel blends”, *Energy* 36 (1): 241-248. (2011).
143. Ski, L. C., Wook, P. S., and Kwon, S., “An experimental study on the atomization and combustion characteristics of biodiesel-blended fuels”, *Energy & Fuels*, 19: 2201–2208 (2005).
144. Prakash, R., Singh, R. K., and Murigan, S., “Experimental investigation on a diesel engine fueled with bio-oil derived from waste woodebiodiesel emulsions”, *Energy*, 55: 610-618 (2013).
145. Parabbu, L., Kumar, S. S., Prabhahar, M., and Rajan, K., “Combustion, performance and emission characteristics of diesel engine with neem oil methyl ester and Its diesel blends”, *American Journal of Applied Sciences*, 10 (8): 810-818 (2013).
146. Kim, D. S., Kim Y. M. and Lee, C. S., “Combustion and emission characteristics of partial homogeneous charge compression ignition engine”, *Combustion Science and Technology*, 177: 107-125 (2005).
147. Gvidonas, L., Stasys, S., and Marius, M., “The effect of ethanol–diesel–biodiesel blends on combustion, performance and emissions of a direct injection diesel engine”, *Energy Conversion and Management*, 79: 698-720 (2014).

148. Balcı, M., Borat, O., ve Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar Cilt:1”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara (1994).
149. El-Kasaby, M., and Nemit-allah, M. A., “Experimental investigations of ignition delay period and performance of a diesel engine operated with Jatropha oil biodiesel”, *Alexandria Engineering Journal*, 52: 141-149 (2013).
150. Saravanan, S., Nagarajan, G., and Sampath, S., “A correlation for the ignition delay of a CI engine fuelled with diesel and biodiesel”, *International Journal of Green Energy*, 11: 542-557 (2014).
151. Battistoni, M., and Grimaldi, N. C., “Numerical analysis of injector flow and spray characteristics from diesel injectors using fossil and biodiesel fuels”, *Applied Energy*, 97: 656-666 (2012).
152. Feilong L., Gehan A. J., and Soliman, A., “ An experimental study on engine Dynamics model based in-cylinder pressure estimation”, *SAE*, No: 2012-01-0896 (2012).
153. How, H. G., Masjuki, Y. H., Kalam, H. H., and Teoh, M. A., “An investigation of the engine performance, emissions and combustion characteristics of coconut biodiesel in a high-pressure common-rail diesel engine”, *Energy*, 69: 749-759 (2014).
154. Chiu, C. W., Schumacher, L. G., and Suppes G. J., “Impact of cold flow improvers on soybean biodiesel blend”, *Biomass Bioenergy*, 27: 485-91 (2004).
155. Gunfeel, M., Yonggyu, L., Kyonam, C., Dongsoo, J., “Emission characteristics of diesel, gas to liquid, and biodiesel-blended fuels ina diesel engine for passenger cars”, *Fuel*, 98: 3840-3846 (2010).

ÖZGEÇMİŞ

Salih ÖZER Aydın doğumludur. Aydın Efeler Lisesi'ni bitirmiştir. 2004 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği programına yerleşmiş 2008 yılında bu programdan mezun olmuştur. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlayarak 2010 Şubat ayında mezun oldu ve aynı yıl aynı programın doktora eğitimine başladı. 2011 yılında Muş Alparslan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Otomotiv Programında öğretim görevlisi olarak görev yapmaya başladı. Halen aynı üniversitede görev yapmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Muş Alparslan Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu,
Muş/Merkez.

E-posta : sallih@hotmail.com