

**BİR DİZEL MOTORDA ATIK BİYODİZEL KULLANIMININ YANMA
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ**

Mehmet AFŞAR

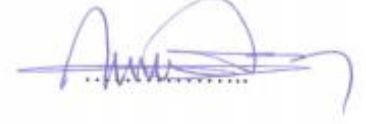
**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2015**

Mehmet AFŞAR tarafından hazırlanan “BİR DİZEL MOTORDA ATIK BİYODİZEL KULLANIMININ YANMA KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ” başlıklı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 15/06/2015

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan: Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Osman EMİROĞLU (AİBÜ)

İmzası



.../.../2015

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

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

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.”

Mehmet AFŞAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİR DİZEL MOTORDA ATIK BİODİZEL KULLANIMININ YANMA KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

Mehmet AFŞAR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Haziran 2015, 77 sayfa

Bu çalışmada atık biyodizelin bir dizel motorda alternatif yakıt olarak kullanılmasının yanma karakteristikleri, performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel olarak dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir motor kullanılmıştır. Test motoru, dizel yakıtı ve saf biyodizel yakıtları ile sabit bir hızda ve farklı yüklerde test edilmiştir. Test sonuçlarına göre, biyodizel kullanımı ile silindir basıncı, basınç artış hızı, ısı açığa çıkış oranı ve ortalama yanma sıcaklığının azaldığı, toplam yanma süresinin uzadığı belirlenmiştir. Biyodizel ile çalışmada dizel yakıtına göre fren özgül yakıt tüketiminde %3 artış, fren özgül enerji tüketiminde %5 azalma elde edilmiştir. Ayrıca, NO_x, CO ve is emisyonlarında dizel yakıtına göre sırasıyla %17, %33 ve %31 oranlarında azalma, HC emisyonunda ise %24 oranında artış tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Atık biyodizel, yanma analizi, ısı yayılım analizi, dizel motor.

Bilim Kodu : 914.3.026

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF WASTE OIL BIODIESEL USAGE IN DIESEL ENGINE ON COMBUSTION CHARACTERISTICS

Mehmet AFŞAR

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Haziran 2015, 77 pages

In this study, the effect on combustion characteristics, performance and emissions use of the waste oil biodiesel fuel in the diesel engine were investigated experimentally. In the tests, four stroke, single cylinder, direct injection diesel engine were used. The engine was tested with diesel fuel and biodiesel fuel at different loads and at a constant speed. The combustion characteristics of the test engine were analysed in detail. According to the test results, the usage biodiesel decreased the in-cylinder pressure, pressure rise rate, net heat release rate, average combustion temperature and, extended the total combustion periods. When compare to diesel fuel, it was determined that an increase of 3% in brake specific fuel consumption and a decrease of %5 in brake specific energy consumption with biodiesel fuel. Moreover, NO_x, CO, and smoke emissions were reduced about %17, % 33 and % 31 while HC emissions %24 were decreased, respectively.

Key Words : Waste oil biodiesel, combustion analysis, heat release analysis,
diesel engine.

Science Code : 914.3.026

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimin boyunca ve bu tezin her aşamasında, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e, ve bana her konuda yardımcı olan, özellikle tez çalışmasında benimle birlikte mesai harcayan değerli arkadaşım Dr. Oğuzhan DOĞAN'a, özellikle tez yazımı esnasında yardımları gördüğüm Arş. Gör. Mustafa AYDIN'a ve Otomotiv Anabilim Dalı Hocalarıma teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan eşim Ferda Hanım'a ve bu çalışmalar esnasında kendilerine vakit ayıramadığım çocuklarım Mustafa, Yavuz ve Semih'e, kıymetli Anne ve Babama teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISATMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3	11
DİZEL MOTORLARDA YAKIT ÖZELLİKLERİ.....	11
3.1. DİZEL MOTORLARDA YAKIT ÖZELLİKLERİNİN EMİSYON VE PERFORMANSA ETKİLERİ	11
3.1.1. Setan Sayısı	11
3.1.2. Yakıtın Kükürt İçeriği	12
3.1.3. Distilasyon Özelliği.....	13
3.1.4. Yakıtın Yoğunluğu.....	14
3.1.5. Yakıtın Viskozitesi.....	15
3.1.6. Parlama Noktası	16
3.1.7. Soğuk Akış Özellikleri.....	17

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	18
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLARIN OLUŞUMU	18
4.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA	18
4.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLARIN OLUŞUMU	23
4.2.1. Partikül Madde ve Is Emisyonları.....	24
4.2.2. Azot Oksit (NO _x) Emisyonları	24
4.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları	25
4.2.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları	26
BÖLÜM 5	27
ATIK BİTKİSEL YAĞLARIN DİZEL MOTORLARDA KULLANIMI VE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	27
5.1. BİTKİSEL YAĞLAR VE ÖZELLİKLERİ	27
5.2. ATIK BİTKİSEL YAĞLAR VE ÜLKEMİZDEKİ DURUMU	30
5.2.1. Atık Yağların Çevresel Etkileri.....	31
5.3. BİTKİSEL ATIK YAĞLARIN DOĞRUDAN ALTERNATİF MOTOR YAKITI OLARAK KULLANILMASI	31
5.4. BİYODİZEL ÜRETİMİ.....	32
BÖLÜM 6	33
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
6.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI.....	33
6.2. DENEY DONANIMI.....	33
6.2.1. Motor Test Dinamometresi	34
6.2.2. Deney Motorunun Özellikleri	35
6.2.3. Deney Yakıtları	36
6.2.4. Emisyon ve Is Ölçüm Ünitesi	36
6.2.5. Yakıt Tüketimi Ölçüm Ünitesi.....	37
6.2.6. Silindir İçi ve Yakıt Hat Basıncının Ölçümü	39
6.3. DENEYLERİN YAPILIŞI.....	40
6.3.1. Motor Deneyleri	40

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7	41
DİZEL MOTORLARDA YANMA ANALİZİ.....	41
7.1. MOTOR HACMİNİN ANLIK DEĞİŞİMİ	41
7.2. SİLİNDİR BASINÇ ANALİZİ.....	42
7.3. ISI AÇIĞA ÇIKIŞ ORANININ (İÇÖ) VE YANMA PERİYOTLARININ ANALİZİ.....	44
BÖLÜM 8	50
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	50
8.1. MOTOR YÜKÜNÜN ETKİSİ	50
8.1.1. Motor Performansı	50
8.1.2. Egzoz Emisyonları	53
8.1.3. Yanma Karakteristikleri	55
BÖLÜM 9	64
SONUÇ VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	67
EK AÇIKLAMALAR A. DENEY SONUÇLARI.....	74
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.1. Dizel motorlarda karışım teşkili ve yanmanın zaman ölçeği.....	20
Şekil 4.2. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yanma periyotları.....	21
Şekil 5.1. Yağ asidinin gliserinle esterleşmesi.....	28
Şekil 5.2. Basit ve karışık trigliserid	28
Şekil 5.3. Biyodizel üretim aşamaları	32
Şekil 6.1. Deneş düzeneğinin şematik görünümü.....	33
Şekil 6.2. Deneş düzeneğinin genel görünümü.	34
Şekil 6.3. Motor testlerinde kullanılan dizel motorun genel görünümü.	36
Şekil 6.4. Egzoz gaz analiz cihazının genel görünümü.....	37
Şekil 6.5. Opaşitemetrenin genel görünümü.	37
Şekil 6.6. Testlerde kullanılan hassas terazi.	38
Şekil 6.7. Sensörlerin genel görünüşleri.	40
Şekil 6.8. TFX yazılımının ekran görüntüsü.....	40
Şekil 7.1. İçten yanmalı motorlarda krank-biyel mekanizması.	41
Şekil 7.2. Silindir hacminin anlık değışimi.	42
Şekil 7.3. Çevrimden çevrime oluşan farklılıklarının değışimi.	43
Şekil 7.4. Basınç artış hızının değışimi.	44
Şekil 7.5. Hesaplanan yanma parametrelerinin özet grafığı.	47
Şekil 7.6. Püskürtme başlangıcının belirlenmesi.	47
Şekil 7.7. Silindir içi ortalama gaz sıcaklığının değışimi.....	49
Şekil 8.1. Motor yükünün ve test yakıtlarının FÖYT'e etkisi	50
Şekil 8.2. Motor yükünün ve test yakıtlarının FÖET'e etkisi	51
Şekil 8.3. Motor yükünün ve test yakıtlarının Efektif Verim'e etkisi.....	52
Şekil 8.4. Motor yükünün ve test yakıtlarının EGS'a etkisi	52
Şekil 8.5. Motor yükünün ve test yakıtlarının NO _x 'e etkisi.....	53
Şekil 8.6. Motor yükünün ve test yakıtlarının HC'ye etkisi	54
Şekil 8.7. Motor yükünün ve test yakıtlarının CO'ya etkisi	54
Şekil 8.8. Motor yükünün ve test yakıtlarının İs'e etkisi	55

Sayfa

Şekil 8.9. Motor yükünün ve test yakıtlarının silindir basıncına etkisi.....	56
Şekil 8.10. Motor yükünün ve test yakıtlarının silindir basıncına etkisi.....	56
Şekil 8.11. Motor yükünün ve test yakıtlarının P_{maks} 'a etkisi	57
Şekil 8.12. Motor yükünün ve test yakıtlarının P_{maks} yerine etkisi	57
Şekil 8.13. Motor yükünün ve test yakıtlarının Basınç Artış Hızına etkisi.....	58
Şekil 8.14. Motor yükünün ve test yakıtlarının İÇO'ya etkisi	59
Şekil 8.15. Motor yükünün ve test yakıtlarının İÇO'ya etkisi	59
Şekil 8.16. Motor yükünün ve test yakıtlarının İÇOmaks'a etkisi.....	60
Şekil 8.17. Motor yükünün ve test yakıtlarının püskürtme gecikmesine etkisi	60
Şekil 8.18. Motor yükünün ve test yakıtlarının tutuşma gecikmesine etkisi	61
Şekil 8.19. Motor yükünün ve test yakıtlarının ani yanma periyoduna etkisi.....	61
Şekil 8.20. Motor yükünün ve test yakıtlarının difüzyonlu yanma periyoduna etkisi	62
Şekil 8.21. Motor yükünün ve test yakıtlarının toplam yanma süresine etkisi	62
Şekil 8.22. Motor yükünün ve test yakıtlarının ortalama yanma sıcaklığına etkisi ...	63
Şekil 8.23. Motor yükünün ve test yakıtlarının ortalama yanma sıcaklığına etkisi ...	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Dünya petrol rezervleri	2
Çizelge 5.1. Ülkemizde yetiştirilen bitkisel yağlar	29
Çizelge 5.2. Motorin ve bitkisel yağların yakıt özellikleri.....	29
Çizelge 5.3. Ülkemizde kullanılmış kızartma yağı toplama bilgileri.....	30
Çizelge 6.1. Motor özellikleri	35
Çizelge 6.2. Deney yakıtlarının özellikleri	36
Çizelge 6.3. Egzoz gaz analizörü ve opasimetre özellikleri.....	37
Çizelge 6.4. Sensör özellikleri	39
Çizelge EK A.1. D100 yakıtı motor performans ve emisyon ölçüm sonuçları.....	75
Çizelge EK A.2. B100 yakıtı motor performans ve emisyon ölçüm sonuçları.....	75
Çizelge EK A.3. D100 yakıtı yanma parametreleri	76
Çizelge EK A.4. B100 yakıtı yanma parametreleri.....	76

SİMGELER VE KISATMALAR DİZİNİ

SİMGELER

B_e	: Saatteki yakıt tüketimi (kg/h)
be	: Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)
Me	: Etkin Motor Momenti (Nm)
Pe	: Etkin Motor Gücü (kW)
n	: Motor Devri (d/d)
CO	: Karbon Monoksit
CO ₂	: Karbon Dioksit
NO _x	: Azot Oksit
HC	: Hidrokarbon
cSt	: Sentistok
C/H	: Karbon/Hidrojen Oranı
FÖET	: Fren Özgül Enerji Tüketimi
FÖYT	: Fren Özgül Yakıt Tüketimi
g	: Gram
Hz	: Herz
İÇÖ	: Isı Açığa Çıkış Oranı
İÇÖ _{maks}	: Maksimum İÇÖ
kHz	: Kiloherz
MJ	: Mega-joule
ppm	: Milyonda bir parça
v/v	: Hacimsel yüzde

KISALTMALAR

A.Ö.N	: Alt Ölü Nokta
AID	: Alt Isıl Değer
API	: Amerikan Petrol Enstitüsü
ASTM	: American Society for Testing and Materials
B100	: Hacimsel Olarak %100 Biyodizel Yakıtı
BY	: Bitkisel Yağlar
D100	: Hacimsel Olarak % 100 Dizel Yakıt
EGR	: Egzoz Gaz Resirkülasyonu
EGS	: Egzoz gaz sıcaklığı
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
KMA	: Krank Mili Açısı
KMA90	: Toplam ısı açığa çıkış oranının %90'nına karşılık gelen krank mili açısı
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
PAH	: Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
P_{cyl}	: Çevrim basıncı
PKDY	: Petrol Kökenli Dizel Yakıtı
PM	: Partikül Madde
P_{maks}	: Maksimum silindir basıncı
P_{ref}	: Emme supabının kapandığı noktadaki çevrim basıncı
Q_n	: Isı açığa çıkış oranı (IÇO)
r	: Biyel kolu uzunluğu
R	: İdeal gaz sabiti
S	: Kurs boyu
SI	: Setan İndisi
SO	: Sıkıştırma oranı
SO ₂	: Kükürt dioksit
SO _x	: Kükürt oksit

TG	: Tutuşma Gecikmesi
TIÇO	: Toplam Isı Açığa Çıkış Oranı
T _{ref}	: Emme supabının kapandığı noktadaki referans sıcaklık
t _y	: Süre
Ü.Ö.N	: Üst Ölü Nokta
V	: Toplam motor hacmi
V _c	: Yanma odası hacmi
V _{cyl}	: Anlık silindir hacmi
V _{ref}	: Emme supabının kapandığı noktadaki silindir hacmi
W	: Sistem sınırı tarafından yapılan iş
η _e	: Efektif verim
θ	: Krank mili açısı
ρ _y	: Yakıt yoğunluğu
ω	: Açısal hız

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Her geçen gün insanoğlunun enerjiye olan ihtiyacı, nüfusun ve sanayileşmenin büyümesinden dolayı hızlı bir şekilde artmaktadır. Son 200 yılı dikkate aldığımızda petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil kökenli yakıtlar bu ihtiyacın temel kaynağını oluşturmaktadır. Maalesef dünyamız halen enerji ihtiyacının %85 gibi büyük bir kısmını fosil kökenli yakıtlardan (petrol, doğalgaz ve kömür) karşılamaktadır. Dünyada kullanılan fosil kökenli yakıtlar içinde birinci sırada petrol, daha sonra doğalgaz ve kömür gelmektedir. Petrolün toplam enerji tüketimi içerisindeki oranı da sürekli artış göstermektedir [1].

Enerji ihtiyacının önemli bir kısmının fosil yakıtlardan karşılanması, mevcut rezervlerin daha hızlı azalmasına ve dolayısı ile fiyatlarının artmasına sebep olmaktadır. Günümüz petrol rezervlerinin 50-60 yıl kaldığı tahmin edilmektedir. Petrol rezervlerinin giderek azalması, alternatif yakıtların araştırılmasını kaçınılmaz hale getirmiştir [2].

Birçok ülke enerji ihtiyacı bakımından, başka ülkelere bağımlı durumdadır. Enerji, Dünya siyasetine yön veren, ülkelerin sınırların çizilmesini sağlayan, ülkelerin ekonomik gelişmişlik göstergesi olan en temel unsurdur. Bu sebeple ülkeler arası diplomatik ilişkilerde enerji ihtiyacı öncelikli konuları arasındadır.

Çizelge 1.1.'de milyar varil cinsinden dünya petrol rezervleri verilmiştir. Dünyanın en fazla petrol rezervine sahip bölgesi %47,9 ile Ortadoğu'dur. Ortadoğu'yu %33,1 ile Amerika, %8,8 ile Avrupa-Asya ve %7,7 ile Afrika takip etmektedir.

Çizelge 1.1. Dünya petrol rezervleri [3].

Bölgeler	% Oran	Miktar (Milyar Varil)
Avrupa-Asya	8,8	148,53
Afrika	7,7	129,97
Asya Pacific	2,5	42,20
Amerika	33,1	558,70
Ortadoğu	47,9	808,50
Genel Toplam	100	1687,9

Enerji kaynakları, primer enerji kaynakları ve sekonder enerji kaynakları olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Primer enerji kaynakları petrol, kömür, doğalgaz gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Sekonder enerji kaynakları ise güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Potansiyeli mevcut olan ve teknolojik gelişmelere paralel olarak yeni faydalanılabilen enerji kaynaklarına “yeni”, tükenmeyen veya eksilmeyen kaynaklara da “yenilenebilir” enerji kaynakları denilmektedir [4].

Ülkeler bir taraftan yenilenebilir ve çevreci alternatif enerji kaynaklarını araştırır iken bir yandan da, ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılamak zorundadır. Ülkelerin enerji ihtiyacı ise genelde, uygarlık düzeyi ve yaşam standartları, kullanılan teknolojinin seviyesi, iklim şartları vb. ile bağıntılı olarak değişmektedir.

Ulaşım sektöründe enerji kaynağının büyük bir kısmı fosil kökenli yakıtlarla sağlanmaktadır. Fosil kökenli yakıtlar genellikle petrol ürünlerinden oluşmaktadır. Yakıt fiyatlarının sürekli artması ve emisyon standartlarının değişimi taşıtlarda temiz alternatif yakıt kullanımını gerektirmektedir. Yolcu ve yük taşımacılığında dizel motorlu taşıtlar önemli bir yere sahiptir. Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak biyodizel, doğalgaz, LPG ve alkoller kullanılmaktadır. Bitkisel ürünlerden ve atık yağlardan elde edilebilen biyodizel, dizel motorlarda kullanıldığında egzoz emisyonlarında azalma elde edilebilmektedir. Atık yağlardan biyodizel üretimi, maliyetinin düşük olmasının yanında atık yağların çevreye verdiği olumsuz etkilerin ortadan kalkmasına da büyük fayda sağlamaktadır. Aksi halde atık yağlar çevreye bilinçsiz bir şekilde atılmaktadır bu da büyük bir çevre felaketine yol açmaktadır.

Özellikle sanayi ve evlerimizde kullandığımız yağların, logar ve lavabolar vasıtası ile atılması ve doğaya karışması neticesinde tam bir çevre felaketi yaşanmaktadır. Atık yağlar toprağa döküldüğü zaman toprağın yapısını bozar. Bitkilere zarar verir. Verim kaybına neden olur. Ayrıca lavaboya dökülen atık yağlar dren sistemine sıvanarak zamanla kanalizasyon sistemini daraltarak tıkanmasına da sebep olmaktadır. Ayrıca evsel atık sularının içinde bulunan yağları, biyolojik olarak arıtmak mümkün değildir. Çöpe dökülen atık yağlar, çöp depolama alanında sık sık yangınların çıkmasına neden olmaktadır. Çöpe atıldığında, önce toprağa ardında da yağmur suları ile yeraltı temiz su kaynaklarına ulaşarak kirliliğe neden olmaktadır. Yağlar suların yüzeyini kaplar ve havadan suya oksijen transferini önler. Zamanla su bozularak, oksijenin tükenmesini hızlandır ve suda yaşayan canlıların ölmesine sebep olurlar. Aynı zamanda denizlerde denizanası oluşumunu artırarak, deniz kirliliğini hızlandırır. Bir litre atık yağ bir milyon litre suyu kirletmektedir. Bu denli büyük çevre felaketlerine sebep olabilecek atık yağların çevreye atılmasını hükümetler yasalar la, belediyeler atık yağ alıp yerine kullanılmamış bitkisel yağ vermek sureti ile atık yağların yukarıdaki zararlarını azaltıcı faaliyetlerde bulunmaktadır. Atık su kirliliğinin kaynağını büyük oranda yine atık bitkisel ve hayvansal yağlar oluşturmaktadır [5].

Fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar, biyodizel yakıtla oranla daha fazladır. Başlıca zararlı emisyonlar olarak; CO, NO_x, CO₂, HC ve is emisyonlarını sayılabilir. Bu emisyonlardan NO_x hariç olmak üzere, diğer emisyonlar biyodizel kullanımını ile düşürülebilmektedir. Bunun düşüşün en önemli etkenlerinden birisi biyodizelin kimyasal yapısında bulunun oksijendir.

Atık biyodizel, dizel motorların sistemlerinde herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmadan kullanılabilen bir alternatif yakıt türüdür.

Bu çalışmada atık yağdan elde edilen biyodizelin, tek silindirli dört zamanlı direkt püskürtmeli bir dizel motorda, yanma karakteristiklerine ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde biyodizel yakıtların, dizel motorlarda kullanılması ile ilgili birçok çalışma yapıldığı görülmüştür.

Çetinkaya ve Karaosmanoğlu tarafından yapılan çalışmada, atık kızartma yağlarından elde edilen biyodizelin jeneratör motorunda, performans ve gürültü emisyonlarını incelenmesi hedeflenmiştir. Farklı motor yüklerinde atık kızartma yağlarından elde edilen biyodizelin ile D2 dizel yakıtı için güç grafiği, yakıt tüketimi, emisyon değerleri, egzoz sıcaklığı, yağ sıcaklığı ve basıncı gibi dizel motoru performans parametreleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kullanılmış yemeklik yağ kökenli biyodizelin, sulama amaçlı tarımsal alanlarda ve sabit tesislerde kullanıma uygun alternatif çevre dostu jeneratör yakıtı olduğunu ayrıca gürültü emisyonlarının ise dizelden daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır [6].

Özsezen ve Çanakçının yaptığı bir çalışmada, atık palmyeden elde edilen biyodizel ve kanola yağından elde edilen biyodizelin performans, yanma ve püskürtme karakteristikleri dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Performans, yanma ve püskürtme karakteristiklerini belirlemek için, 6 silindirli, doğal emişli ve direkt püskürtmeli bir dizel motorda, 1000, 1500, 2000 d/d sabit motor hızlarında tam yük testleri gerçekleştirilmiştir. Test motorunda, atık palmyeden elde edilen biyodizel, kanola yağından elde edilen biyodizele göre motor gücünde ve ısıl verimde ortalama %2 oranında azalma meydana gelirken, özgül yakıt tüketiminde ortalama %6 oranında artış olmuştur. Atık biyodizellerin ve dizelin silindir gaz basıncı, ısı dağılımı ve yakıt hattı basınç grafikleri incelendiğinde, motorda meydana gelen mekanik yüklemeler açısından, yakıtların yanma grafiklerinin birbirlerine benzer olduğu görülmüştür. Bununla beraber, atık biyodizel kullanımı, dizel yakıtı göre ön yanma safhasını daha erken başladığı, tutuşma gecikmesinin daha kısaldığı ve maksimum silindir gaz

basıncı bölgesinin üst ölü noktaya (ÜÖN) biraz daha yaklaştığı belirlenmiştir. Ayrıca atık biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre, yakıt sevk başlangıcının daha erken başladığı da tespit edilmiştir. Atık biyodizelin kullanımı ile değişen püskürtme ve yanma karakterleri ve atık biyodizelin yakıt özellikleri; hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve duman koyuluğu emisyonlarında azalma meydana getirirken, NO_x emisyonlarında ise kısmen artışa neden olmuştur [7].

Behçet ve Çakmak tarafından yapılan çalışmada dizel bir motorda balık yağından elde edilen biyodizel karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Yapılan incelemelerde biyodizel miktarı arttıkça dizel yakıtına göre motor momenti, motor gücü, SO₂ ve CO emisyonunda azalma meydana gelirken özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı ve NO_x emisyonunda artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Balık yağından elde edilen biyodizelin dizel yakıtına benzer özellikler gösterdiği ve bu sebeple egzoz emisyonlarını azaltıcı yönde etkilerinden dolayı dizel yakıtına alternatif bir yakıt olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir [8].

Alpgiray'ın yaptığı yüksek lisans çalışmasında, kanola yağından elde edilen biyodizelin tek silindirli bir dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkileri incelenmiştir. Direkt püskürtmeli, doğal emişli, 4 zamanlı bir dizel motor kullanılmıştır. Araştırmada çalışmalar iki ana bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde kanola yağı dizel yakıtına hacimsel olarak % 20, 40, 60, 80 oranlarında karıştırılarak seyreltilmiş, daha sonra emisyon ve motor denemeleri yapılmıştır. İkinci bölümde ise, %100 kanola yağından elde edilen yakıt ile motor denemeleri gerçekleştirilmiştir. Denemelerde devir sayılarına bağlı olarak, dönme momenti, emisyon değerleri ve yakıt tüketim değerleri ölçülmüştür. Özgül yakıt tüketimleri ve motor performans değerleri hesaplanmıştır. Kanola yağı kullanımı ile motor momenti ve gücünde dizel yakıtına kıyasla az da olsa düşüşlerin meydana geldiği belirlenmiştir. Kanola yağı ile yapılan testlerde duman koyuluğunun dizel yakıtına oranla daha yüksek olduğu, belirlenmiştir. Karışımli ve metil ester yakıtların CO₂ ve CO değerlerinin dizel yakıtından daha düşük çıktığı, karışımların içerisine katılan yağ oranına bağlı olarak egzoz gazı içerisinde bulunan O₂ miktarının fazla olmamakla beraber bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak kanola yağı metil esterinin dizel yakıtına daha yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür [9].

Sugözü vd. yaptıkları çalışmada, atık motor yağlarını toz, metal parçacıkları, kükürt ve su gibi maddelerden arıtarak, dizel motorlarında kullanılabilir yakıt elde etmişler ve bu yakıtın motor performansı ve egzoz emisyonu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. %5, %10, %15 atık motor yağı ve motorini, dizel bir motorda kullanarak, motor performans ve egzoz emisyonları bakımından karşılaştırmışlardır. Test sonuçlarına göre, atık motor yağından yaklaşık % 10 oranında dizel motorlarda kullanılabilir dizel benzeri yakıt elde etmişlerdir. Testler 1200-2400 d/d ve tam yük pozisyonunda dizel yakıtına %5, %10, %15 oranlarda atık motor yağı katılarak yapılmıştır. Yapılan testlerin sonucunda motor performansının düştüğü, tork ve efektif gücün dizel yakıtına göre daha düşük, özgül yakıt tüketiminin ise daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen karışım yakıtlarının CO ve NO_x emisyon değerlerinin dizel yakıtına göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir [10].

Behçet vd. yaptıkları çalışmada, atık kızartma yağı metil esterinin dizel motorunda, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Çalışmalar değişik karışım oranlarında ve motor hızlarında yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen motor momenti ve efektif motor gücü dizel yakıtından biraz düşük, yakıt tüketimi ise fazla çıkmıştır. Aynı devirlerde elde edilen değerler birbirine yakın çıkmıştır. Emisyon deneylerinde ise, NO_x ve O₂, metil ester karışımlarında dizel yakıtından daha yüksek çıkmıştır. HC, CO₂ ve CO emisyonları metil ester karışımlarında daha düşük seviyelerinde kalmıştır. Motor emisyonlarında metil ester karışımları genel olarak çevreye daha az zararlı olduğu belirlenmiştir [11].

Sekmen yaptığı çalışmada karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterlerinin bir dizel motorda yakıt olarak kullanılabilirliği araştırmıştır. Testler değişik motor devirlerinde ve değişik karışım oranlarında gerçekleştirilmiştir. Karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterlerinin ısı değerinin düşük olmasından dolayı moment ve efektif güçte azalma, özgül yakıt tüketiminde artma gözlemlenmiştir. Karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterlerinin karışımları motorda kullanıldığında, egzoz gaz sıcaklıkları dizel yakıtına göre biraz daha yüksek olarak ölçülmüştür. CO ve HC emisyonları ile duman koyuluğunda azalma elde edilirken, silindir sıcaklıklarının artması ve biyodizelin oksijen içeriği nedeniyle NO_x emisyonlarında artış gözlemlenmiştir [12].

Sekmen ve Aktaş yaptıkları çalışmada, soya yağı metil esterinin dizel bir motor da kullanımının performans ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Testler tam yükte ve değişik devirlerde yapılmıştır. Testlerin sonucunda biyodizelin ısıl değerinin düşük olmasından dolayı efektif güçte azalma, özgül yakıt tüketiminde artış belirlenmiştir. Biyodizel ile çalışmada egzoz gaz sıcaklığı dizel yakıtla oranla daha düşük olarak ölçülmüştür. Ayrıca CO, HC ve NO_x emisyonları ile duman koyuluğunda azalma gözlemlenmiştir [13].

Oğuz tarafından yapılan çalışmada dizel yakıtı ayçiçeği yağı karışımlarının belirli oranlarda hacimsel olarak karıştırılarak, dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Ayçiçeği yağı dizel yakıtına hacimsel olarak % 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 oranlarında karıştırılmış ve elde edilen bu yakıtlar 4 zamanlı, 3 silindirli, 43 kW gücünde John Deere 3179 DF dizel bir motorunda denenmiştir. Testlerde yakıt tüketimi, moment, güç, duman koyuluğu ve HC, CO, CO₂ olarak gaz emisyonları incelenmiştir. Testlerin sonucunda rafine edilmiş ayçiçeği yağı ile dizel yakıtı karışımları dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, motor performansında önemli oranlarda değişme olmadığı belirlenmiştir [14].

Ceviz vd. yaptıkları çalışmada beş farklı bitkisel yağdan üretilen biyodizeller ile dizel yakıtını motor performansı ve emisyon karakteristikleri bakımından karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, fındık-ayçiçek yağı karışımı metil esterleri, soya yağı metilesteri, ayçiçek kızartma metilesteri, mısır kızartma metilesteri, fındık yağı metilesterleri ile dizel yakıtı bir dizel motorda 1000, 1250, 1500, 1750, 2000 ve 2250 d/d motor devrinde çalıştırmışlardır. Test sonuçlarına göre biyodizel yakıtlarının, dizel yakıtına göre motor gücünde belli oranlarda düşmeye sebep olduğu, bu durumun ise biyodizel yakıtın dizel yakıtına göre daha düşük ısıl değere sahip olmasından kaynaklandığı belirtmişlerdir. Aynı motor devirlerinde özgül yakıt tüketiminin de belli oranlarda arttığını araştırmışlardır. Biyodizel yakıtları ile çalışmada, dizel yakıtla göre HC ve CO₂ emisyonunun azaldığını, çok az bir miktarda CO emisyonunda artış olduğunu, beş farklı metil esterleri arasında ise; en yüksek performans ve en düşük emisyon seviyesinin fındık yağı metil esteri ile elde edildiğini belirtmişlerdir [15].

Ulusoy vd. yaptıkları çalışmada; atık yemeklik yağlardan biyodizel üretmişlerdir. Ürettikleri biyodizeli TOFAŞ otomotiv fabrikasında dizel bir motorlu taşıtta şasi dinamometresi kullanarak test etmişlerdir. Testlerin sonucunda, biyodizel kullanımının 2 numaralı dizel yakıtına göre tekerlek gücünde %2,03'lük, tekerlek momentinde %3,35'lik, ivmelenme test sonuçlarında, 40 km/saat'ten 100 km/saat'e hızlanmada %7,32'lik, 60 km/saat'ten 100 km/saat'e hızlanmada %8,59'luk bir azalma meydana getirdiğini, emisyon testlerinde ise biyodizel kullanımı ile CO, yanmamış HC, PM emisyonunda 2 numaralı dizel yakıtına göre sırasıyla %8,59, %30,66, %63,33 azalma olurken CO₂ emisyonunun %2,62, NO_x emisyonunun %5,03 arttığını gözlemlemişlerdir. Yapılan testlerde biyodizel, 2 numaralı dizel yakıtına göre %2,43 daha az yakıt tüketimi sağlamıştır [16].

Doğan tarafından yapılan doktora çalışmasında, çalışmada, atık taşıt lastiklerinden elde edilen pirolitik yakıtın dizel motorda kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Motor testleri ise iki aşamada yapılmıştır. Doğal emişli, tek silindri dizel bir motorda yapılmış ve lastik pirolitik yakıt dizel motora %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında karıştırılarak değişik yük (%25, %50, %75, %100), değişik hız (1400, 2000, 2600, 3200 d/d) ve farklı püskürtme basınçlarında (185, 205, 225, 245 bar) test edilmiştir. Motor hızının ve yakıt türünün tork, güç, FÖET, efektif verim, NO_x, HC, CO ve is emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca motor hızı ve yakıt türünün yanma karakteristiklerine etkisi detaylı olarak irdelenmiştir. İkinci aşamada; motor testleri sabit motor hızında (3400 d/d), farklı yüklerde (%25, %50, %75, %100) ve değişik yakıt püskürtme basınçlarında (185, 205, 225, 245 bar) gerçekleştirilmiştir. Motor yükü, yakıt türü ve yakıt püskürtme basıncının yanma karakteristikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tam yük ve farklı hızlardaki motor çalışması performans açısından değerlendirildiğinde, test yakıtlarının lastik pirolitik yakıt içeriğini %80'e kadar artırmak genellikle motor gücünü önemli ölçüde etkilememiştir. Ancak, test yakıtlarının lastik pirolitik yakıt içeriğini daha fazla artırmak motor gücünü azaltmıştır. Deney sonuçları emisyonlar açısından değerlendirildiğinde, test yakıtlarının lastik pirolitik yakıt içeriğinin %60'a kadar artırılması motorun ürettiği NO_x emisyonlarını önemli ölçüde etkilememiştir. Bununla birlikte, test yakıtlarının lastik pirolitik yakıt içeriğinin %40'a kadar artırılması özellikle düşük hızlı motor çalışmasında HC emisyonlarını iyileştirirken

%40'tan daha fazla lastik pirolitik yakıt ilavesi ile HC emisyonları artış göstermiştir. Düşük ve orta hızlı motor çalışmasında, test yakıtlarının artan lastik pirolitik yakıt içeriği CO emisyonlarını azaltırken, yüksek hızlı motor çalışmasında ise CO emisyonlarının artışına sebep olmuştur [17].

Çanakçı yaptığı çalışmada No1 ve No2 olarak adlandırdığı iki farklı dizel yakıtı ve soya fasulyesinden elde edilen biyodizel yakıtını emisyonlar ve yanma karakteristikleri açısından karşılaştırmıştır. Dört silindirli bir dizel motorunu 1400 d/d sabit devirde tam yükte çalıştırmıştır. Deneysel çalışma sonucunda No 2 yakıtı ile kıyaslandığında biyodizelin PM, CO ve yanmamış HC emisyonlarını azaltırken NO_x emisyonunu %11,2 oranında arttırdığını ifade etmiştir. Ayrıca, biyodizelin düşük ısıl değerinden dolayı yakıt tüketimini de %13,8 oranında arttırdığını ifade etmiştir. No 1 yakıtı ile kıyaslandığında ise daha iyi emisyon değerleri verdiğini ve NO_x emisyonunu %16,1 oranında özgül yakıt tüketimini de %1,2 oranında azalttığını belirtmiştir [18].

Yoon et al. biyogaz-biyodizel çift yakıtlı dizel motorunda çift yakıtlı yanma karakteristiğini yanma performansı ve egzoz emisyonu üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmalarında yanma ve emisyon karakteristiklerini incelemek için tek silindirli bir dizel motorunu tek yakıtlı (dizel-biyodizel) ve çift yakıtlı (biyogaz–dizel ve biyogaz-biyodizel) yanma modlarında çalıştırmışlardır. Çalışma sonunda değişik yüklerde biyodizel ve dizel yakıtlarının tek yakıtlı yanma modunda benzer yanma karakteristiği gösterdiğini belirtmişlerdir. Çift yakıt modunda ise düşük yüklerde biyogaz-biyodizel yakıtı için maksimum yanma basıncı ve ısı değişiminin biyogaz-dizel yakıtına göre oldukça düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca biyodizel yakıtının setan numarasının büyük olmasından dolayı biyogaz-biyodizel yakıtının diğer çift yakıtlarla kıyaslandığında tutuşma gecikmesinin azalma eğiliminde olduğunu ifade etmişlerdir [19].

Lin et al. çalışmalarında restoranlardan elde edilen atık pişirme yağından transesterifikasyon yöntemini kullanarak ürettikleri biyodizel dizel yakıt karışımının yanma karakteristiğini incelemiştir. Çalışmalarında dizel motorunu saf dizel, biyodizel-dizel yakıtları ile çalıştırmışlardır. Bütün motor hızlarında B20 yakıtının en

düşük CO emisyonu, B50 yakıtının ise 2000 d/d motor devri dışında en fazla CO₂ emisyonu ürettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca biyodizel ve dizel/biyodizel yakıtlarının NO_x emisyonlarının yüksek olduğunu, biyodizel oranı arttıkça PM emisyonlarının arttığını, en yüksek PM emisyonunun B100 yakıtı ile elde edildiğini ve optimum yakıt karışımlarının B20 ve B50 olarak belirlendiğini ifade etmişlerdir [20].

Özer çalışmasında, iki farklı pişirme yağından elde ettiği biyodizeli %5 ve %10 oranında No2 dizel yakıtı ile karıştırmış ve tek silindirli dört zamanlı doğal emişli dizel motorunda dört farklı yük altında 2200 d/d motor devrinde test etmiştir. Detaylı yanma ve performans analizi sonucunda, daha erken enjeksiyon başlangıcına rağmen yüksek setan numarasından dolayı daha erken tutuşan biyodizel ilavesinin tüm motor yüklerinde tutuşma gecikmesini azalttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca biyodizel ilavesinin maksimum yanma basıncı ve ısı yayılımını azaltırken yanma periyodunu arttırdığını gözlemlemişlerdir [21].

Parthasarathi et al. yaptıkları çalışmada dizel-ethanol-süfaktan karışımının dizel motorunda yakıt olarak kullanılmasının yanma karakteristiğine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında tek silindirli, doğal emişli, su soğutmalı açık yanma odalı DI kirloskar TVI motorunda saf dizel ve dizel-ethanol-süfaktan karışımını 220 kgf/cm² enjeksiyon basıncında 1500 d/d sabit devirde değişik yük koşullarında test etmişlerdir. D50-E40 yakıt karışımında silindir basıncı ve ısı yayılımını 76 bar and 152 kJ/m³ olduğunu, bu değerlerin saf dizel ve diğer yakıt karışımlarına göre daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir [22].

BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARDA YAKIT ÖZELLİKLERİ

3.1. DİZEL MOTORLARDA YAKIT ÖZELLİKLERİNİN EMİSYON VE PERFORMANSA ETKİLERİ

Dizel yakıt; parafin, nafta ve aromatik gibi hidrokarbonlardan oluşan karmaşık bir hidrokarbon karışımıdır. Bunun yanında dizel yakıtın yapısında doğal halde organik kükürt mevcuttur. Ticari olarak satışı yapılan dizel yakıtın nihai özellikleri, rafine işlemlerine ve ham petrolün yapısına bağlı olarak değişiklikler gösterir. Dizel motorların performansı, yanma verimi ve emisyonları yakıt özelliklerine, kompozisyonuna, kalitesine ve motorun çalışma parametrelerine bağlı olarak değişir. Dizel motorlar, önemli ölçüde is ve NO_x emisyonu üretir. Özellikle is emisyonlarının azaltılması birincil derecede önem taşır.

Dizel yakıt, ham petrolün distilasyonundan elde edilir ve kaynama noktası 180 °C-370 °C arasında değişen hidrokarbonlardan oluşur [23]. Yakıt kimyası ve özellikleri, motorun emisyon ve performansını etkileyen en önemli unsurdur. Örneğin, yüksek C/H oranına sahip yakıt düşük C/H oranına sahip yakıtla göre, çift bağlı karbon içeren yakıtlar tek bağlı karbon içeren yakıtlara göre daha fazla is emisyonu üretmeye meyillidirler [24]. Ayrıca is emisyonlarını etkileyen en önemli değişkenler yakıtın karbon ve oksijen içeriği, yoğunluğu ve viskozitesidir [25]. Hiç karbon içermeyen H₂ yakıt olarak kullanıldığında ürettiği is emisyonları neredeyse sıfırdır. Alkol gibi oksijence zengin yakıtlar ise is ve CO emisyonlarını önemli ölçüde azaltırlar.

3.1.1. Setan Sayısı

Setan sayısı, yakıtın tutuşmaya karşı meylini ifade eder. Dizel motorlarda özellikle tutuşma gecikmesi üzerine önemli bir etkiye sahiptir. En iyi tutuşma meyli gösteren

setanın (n-hexadecane) setan sayısı 100'dür. Bunun yanında, heptametilnona'nın setan sayısı 15'tir [26].

Yakıtın setan sayısı, yakıtın aromatik içeriği ve yoğunluğu ile de ilişkilidir. Yakıtın aromatik içeriği düşerken yoğunluğu da düşer ve genellikle setan sayısı artar. Setan indisi ise yakıtın distilasyon (uçuculuk) ve yoğunluk özelliklerinden yararlanılan bir setan sayısı tahminidir.

Setan sayısı ve setan indisi arasındaki ilişki rafinasyon yöntemlerine ve yakıt bileşimlerine göre değişir. Yakıtın kendi kendine tutuşmasını kolaylaştıran setan artırıcı katkıları setan sayısını artırmak için kullanılabilir. Ancak setan artırıcı katkıları, setan indisini değiştirmezler.

Yüksek setanlı yakıt tutuşma gecikmesi periyodunu kısaltır, yakıtın daha kolay tutuşmasını ve daha temiz yanmasını sağlar, yanma gürültüsünü azaltır ve emisyonları etkiler. Aynı zamanda, dizel motorun soğuk havada ilk çalışmasını kolaylaştırır [27-30].

3.1.2. Yakıtın Kükürt İçeriği

Kükürt, ham petrolün içerisinde doğal halde bulunur ve rafineri işlemleri süresince kabul edilebilir seviyelere çekilir. Dizel yakıt içerisindeki kükürt, is emisyonlarının oluşumunu kolaylaştırır ve taşıt emisyon kontrol ekipmanlarının performansını etkiler. Bu yüzden yakıtın kükürt içeriği CO, HC ve NO_x emisyonlarını da dolaylı olarak etkiler. Kükürt içeriği 500 ppm'e kadar olan dizel yakıtlar genellikle kükürtlü yakıt olarak tanımlanır. 50 ppm ve daha az kükürt içeriğine sahip dizel yakıtlar düşük kükürtlü yakıt olarak adlandırılırlar. Kükürtsüz yakıt ise 10 ppm'den daha az kükürt içeriğine sahip yakıtları ifade eder.

Yakıtın kükürt içeriği, is emisyonlarını doğrudan etkilerken CO, HC ve NO emisyonları üzerine bir etkisinin olmadığı ifade edilmiştir [31]. Bir başka çalışmada ise yakıtın kükürt içeriğinin azaltılması is, CO, HC ve azda olsa NO_x emisyonlarını azaltmıştır [32]. Düşük kükürtlü dizel yakıt ile yapılan motor deneylerinde is, CO ve

NO_x emisyonları iyileşme gösterirken, HC emisyonlarının bir miktar arttığı ifade edilmiştir [33]. Bundan başka, yakıtın kükürt içeriğinin artışının SO₂ ve CO emisyonlarını artırdığı ifade edilmiştir [34].

3.1.3. Distilasyon Özelliği

Distilasyon, yakıtın kaynama noktası ile ilgilidir ve yakıtın kaynama sıcaklıklarının aralıklarını ifade eder. Distilasyon eğrisi, yakıtın uçuculuğunu gösterir. T90, distilasyonu yapılan yakıt örneğinin hacimsel olarak %90'nın buharlaştığı sıcaklıktır. Dizel yakıtlar için en önemli distilasyon özelliği, distilasyon aralığının en üst ucundaki sıcaklıktır (T85, T90, T95 gibi). Distilasyon sıcaklığının en üst ucu, ağır hidrokarbonların ve aromatiklerin bir göstergesidir. Distilasyon karakteristikleri, yakıt bileşenlerini etkilediği gibi, yakıtın yoğunluğu, viskozitesi ve setan indisi gibi parametreleri de etkiler. Yakıt kalitesinin kontrolü için distilasyon karakteristiği önemlidir.

Yakıt içerisindeki ağır hidrokarbonlar, yakıtın yanma odasında buharlaşmasını ve tutuşmasını zorlaştırır. Bu durum özellikle is emisyonlarının oluşumunda etkilidir. En yüksek distilasyon sıcaklığının azaltılması, yakıt içeriğindeki ağır hidrokarbonları azaltırken yakıtın motorda daha temiz yanmasına yardım eder. Bunun yanında yakıtın viskozitesi ve yoğunluğu da azalır. Ayrıca, T10 sıcaklığı da motorun soğuk havalarda ilk çalıştırılması üzerine etkilidir.

Yakıtın distilasyon sıcaklığının en üst noktası motor performansı ve emisyonlar açısından büyük önem taşır. Yakıtın distilasyon başlangıç ve bitiş sıcaklıklarının yüksek olması, NO, CO, HC ve is emisyonlarını artırırken, yakıt tüketimini de artırdığı ifade edilmiştir [31, 35, 36]. Bir başka çalışmada ise distilasyon bitiş sıcaklıklarının yüksek olması, yakıt içerisindeki kaynama noktası yüksek olan ağır hidrokarbonları da artırır ve ağır hidrokarbonların ısı açığa çıkış oranlarının veya ısı dağılımlarının yüksek olmasından dolayı motor gücünü de artırdığı ifade edilmiştir [32].

T90 sıcaklığı yüksek yakıtlar, silindir içerisinde buharlaşmak için daha fazla enerjiye gereksinim duyarlar. Silindir içerisine püskürtülen yakıt, buharlaşmak için gerekli enerjiyi sağlarken geçen sürede püskürtme hızının da yardımı ile silindir iç yüzeylerine ulaşır ve silindir yüzeylerini ıslatır [24]. Bu durum, yakıt ve havanın silindir içerisinde karışmasını olumsuz etkilerken özellikle is ve HC emisyonlarını artırır.

3.1.4. Yakıtın Yoğunluğu

Yoğunluk, yakıtın birim hacminin kütlesini ifade eder. Yoğunluk değeri sıcaklığa bağlıdır ve 15 °C referans sıcaklıkta verilir. Yakıt yoğunluğu, yakıtın enerji içeriğinin bir göstergesi olarak da sayılabilir. Genellikle yüksek yoğunluklu yakıt, yüksek enerji içeriğine sahiptir. Yakıtın özgül ağırlığı ise yakıtın yoğunluğu ile ilişkilidir ve aynı hacimdeki yakıt ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı şeklinde ifade edilir. API gravitesi ise Amerikan Petrol Enstitüsü'nün geliştirdiği bir ölçüdür ve özgül ağırlıkla ters orantılıdır. Dizel yakıt, çeşitli yoğunlukta ve moleküler ağırlıktaki birçok hidrokarbon bileşimlerinin karışımlarından oluşur ve yakıtın toplam yoğunluğu yakıt bileşiminin bir fonksiyonudur. Bu nedenle, yoğunluk özellikle setan sayısı, aromatik içerik ve viskozite karakteristikleri gibi değişkenlerle ilişkilidir.

Genellikle yakıt yoğunluğu, püskürtme zamanını, motor gücünü, yakıt tüketimini, yakıt/hava oranını ve is emisyonlarını etkiler. Ancak is emisyonları üzerine etkisi daha fazladır [32, 37, 38].

Dizel motorlarda silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarı yakıt pompası tarafından hacimsel olarak ölçülür. Bu yüzden, silindire gönderilen yakıt miktarını hacimsel olarak ölçen yakıt sistemleri için, yakıt yoğunluğundaki değişim yanma odasına püskürtülen yakıtın enerji içeriğinde değişime sebep olur. Çünkü silindire gönderilen yakıtın enerji içeriği, püskürtülen yakıtın kütlesi ile orantılıdır. Bu yüzden yüksek yoğunluklu yakıtlar ortalama indike basıncı artırır [37]. Bunun yanında, yakıtın yoğunluğu artırıldığında, püskürtülen yakıtın hüzmeye uzunluğuna karşı bir direnç oluşur, yakıt tanecikleri silindir içerisinde yavaş ilerler ve yakıtın silindir içerisindeki

hüzme uzunluğu kısalır [39]. Bu durum püskürtülen yakıtın silindir içerisinde hava ile karışmasını ve buharlaşmasını zorlaştırır [40].

Dizel yakıtın yoğunluğunun artışı silindire püskürtülen yakıtın kütlesini artıracığından yakıt/hava oranını zenginleştirir ve is emisyonlarının artmasına sebep olur. Ayrıca, yakıt/hava oranının etkilediği bazı emisyonlar da (is, CO, CO₂ gibi) yakıt yoğunluğundan etkilenir. Bunun yanında, motor çıkış gücü de yakıt yoğunluğunun artışı ile birlikte artış gösterir. Ancak, sabit bir motor çıkış gücü için (silindire püskürtülen yakıt miktarı sabit ayarlandığında), yakıt yoğunluğunun azalması hacimsel olarak tüketilen yakıt miktarını artırır. Ayrıca, düşük yoğunluklu yakıt motor gücünde düşüşe sebep olur. Dizel motorlarda, özellikle tam yük koşullarında is emisyonları oluşur. İs oluşumu genellikle aşırı zengin yakıt karışımlarından veya yakıt ve havanın tam olarak karışamamasından kaynaklanır. Dizel motorlardaki is sınırının yakıt pompası üzerinden sınırlandırılması maksimum motor gücünü de sınırlar [20, 41-45].

3.1.5. Yakıtın Viskozitesi

Viskozite, yakıtın akmaya karşı gösterdiği direncin ve iç sürtünmelerinin bir ölçüsüdür ve dizel yakıt pompası ile enjeksiyon sisteminin performansını etkiler. Dolayısı ile yakıt viskozitesi motor performansını ve emisyonları da etkiler [39]. Viskozite, dinamik ve kinematik olmak üzere ikiye ayrılır. Dinamik viskozite birbirinden birim uzaklıktaki (m) iki düzlem arasında bulunan birim alandaki (m²) sıvı tabakasının birim m/s² ivme ile hareket etmesi için gerekli olan Newton kuvvetidir. Kinematik viskozite ise dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır ve yakıtların viskozitelerini ifade etmek için kullanılır. Kinematik viskozitenin birimi Santistok (cSt) olup, 1 cSt= 1 mm/s'dir ve ASTM D-88'e göre 40 °C'de ölçülür [46].

Yakıtın viskozitesini, yakıtın distilasyon özellikleri, yoğunluğu, sıcaklığı ve soğuk akış özellikleri gibi değişkenler belirler. Sıvı yakıtların viskozitesi, yakıtın atomizasyon kalitesini, yakıt taneciklerinin çaplarını ve yakıt taneciklerinin silindir içerisinde ilerleme hızını etkiler ve yüksek viskoziteli yakıtlar yakıt pompasının da zorlanmasına sebep olurlar [21]. Dizel motorda yakıtın atomizasyon kalitesi yakıtın

viskozitesine, yoğunluğuna ve yüzey gerilmesine bağlıdır. Bununla birlikte yüksek yakıt viskozitesi, püskürtme, atomizasyon ve yakıtın hava ile karışmasını olumsuz yönde etkiler [47].

Yüksek viskozite yakıtın akış hızını, huzme derinliğini ve püskürtme açısını azaltır, ve yetersiz yakıt akışına neden olmakla birlikte yakıt pompasının düzgün çalışmasına engel olabilir [20, 48]. Yüksek viskoziteli yakıtların püskürtülmesi zorlaşır. Yüksek viskoziteli yakıtlar, yakıtın atomizasyon kalitesini düşürdüğünden dolayı tutuşma gecikmesini uzatırlar [49]. Bunun yanında, yakıt viskozitesi daha da artırıldığında silindire püskürtülen yakıtın tanecik çapları büyür ve büyük yakıt taneciklerinin yavaş yanmasından dolayı motor performansı olumsuz etkilenir [50]. Düşük viskozite ise, yakıt pompası içerisindeki elemanlarda yakıt kaçaklarını artırır ve silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarında azalmaya sebep olur. Bu durum emisyonları ve motor performansını etkiler. Ayrıca düşük viskozite tutuşma gecikmesinin kısılmasına yardım eder ancak yakıtın yağlama özelliğini de azaltacağından yakıt sisteminde aşınmalara sebep olabilir [32].

3.1.6. Parlama Noktası

Yakıtın parlama noktası, yakıtın yanması ve buharlaşma özelliği ile ilgili olduğu kadar güvenli bir şekilde depolanması ve taşınması ile de ilgilidir. Parlama noktası, yakıt bir kap içerisinde alttan ısıtılırken üstündeki yakıt buharına bir alev kaynağı maruz bırakıldığında tutuşabileceği en düşük sıcaklıktır. Yakıtın hem alevlenme hem de uçuculuk özelliğinin bir göstergesidir [20]. Yüksek parlama noktasına sahip yakıtlar daha az uçucu iken, düşük parlama noktasına sahip yakıtlar daha çok uçucu olarak bilinir [51]. Birçok dizel motorda yakıtın bir kısmı, yakıt basınç regülâtöründen dolayı yakıt deposuna tekrar döner. Bu durum, özellikle soğuk havalarda motordan dönen yakıtın sıcaklığını artırarak yakıtın jelleşmesini engeller. Fakat sıcak havalarda, yakıt tankının sıcaklığı motordan geri dönen yakıt tarafından bir miktar artırılır. Böyle bir durumda yakıt deposu içerisindeki yakıt hacmi az ise yakıtın parlama noktası baskın hale gelir [52].

3.1.7. Soğuk Akış Özellikleri

Dizel yakıt yüksek oranda parafin içerir. Yakıt soğutulduğunda, yakıt içerisindeki parafinler wax kristalleri şeklinde görünmeye başlarlar. Yakıtın bulutlanma noktası, ilk wax kristallerinin yakıt içerisinde gözlemlenmeye başladığı en düşük sıcaklığı ifade eder. Yakıt soğutulmaya devam edildiğinde, yakıtın hala akmaya devam edebildiği en düşük sıcaklığa akma noktası denir. Bu durum yakıtın pompalanmasını zorlaştırır ve filtrelerin tıkanmasına sebep olabilir. Özellikle düşük kükürtlü dizel yakıtların bulutlanma ve akma noktası daha yüksektir [52].

BÖLÜM 4

DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLARIN OLUŞUMU

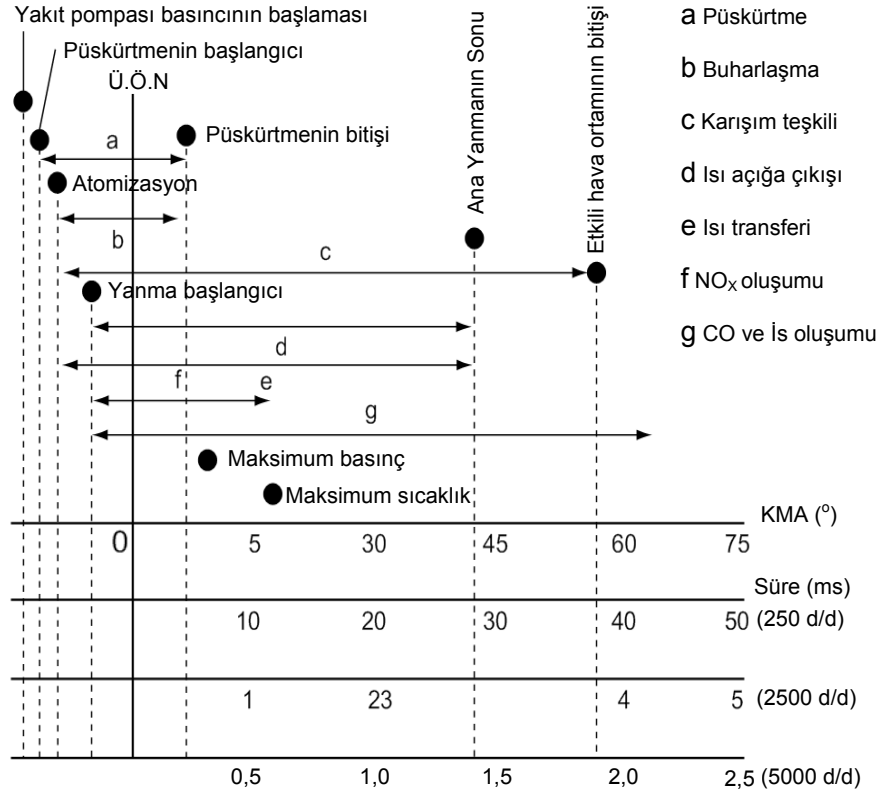
4.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA

Dizel motorda güç artışı, motora emilen hava kısılmaksızın yanma odasına püskürtülen yakıt miktarı ile kontrol edilir. Dizel motorlarda, sıkıştırma ile sıcaklığı artan havanın ardından yakıt yüksek basınçta yanma odasına püskürtülür. Yanma odasına yüksek basınçta püskürtülmüş yakıt, küçük yakıt tanecikleri veya yakıt buharı şeklinde hava ile karışır. Sıkıştırılmış hava, yanma odasındaki püskürtülmüş yakıt taneciklerini ısıtır ve buharlaşma gerçekleşir. Buharlaşan yakıt yanma odasındaki mevcut oksijenle karışarak karışımı oluşturur. Tutuşabilir özellikte uygun hava/yakıt oranı oluşturan karışım belli bir tutuşma gecikmesinden sonra birkaç yerden aniden tutuşur ve alevler yanma odasında ilerler. Oluşan alev cephesi ilerlerken, yanmamış yakıt tanecikleri de buharlaşır ve reaksiyona dâhil edilir. İfade edilen bu yanma olayları, karışım teşkilinden sonra kendi kendine tutuşma ile başlar ve genişleme zamanının sonuna kadar devam eder.

Kendi kendine tutuşma: Püskürtmenin başlamasından 6–8 derece sonra buharlaşmış yakıt, karışım teşkili sağlanarak kendi kendine tutuşmaya başlar. Püskürtülen yakıt hızı etrafındaki eşdeğerlik oranının 1,8 (zengin) ile 0,8 (fakir) olduğu aralıklarda yanma gerçekleşir [53, 54]. İS oksidasyonundan ve büyük hidrokarbon moleküllerinin ayrışmasından oluşan ikincil reaksiyonlar yardımı ile yanma devam eder. Yanma odasındaki yüksek hava sıcaklığından kaynaklanan bu reaksiyonlar ekzotermiktir (ısı veren) ve yanma odasındaki hava sıcaklığını daha fazla artırır. Bu durum kararlı yanma sürecine öncülük eder.

Yanma: Püskürtülen yakıtın kendi kendine tutuşmasından sonra, eşdeğerlik oranının 1-1,5 arasında olduğu püskürtme hüzmesinin yakıtça zengin bölgelerindeki birkaç noktada yanma ani olarak başlar. Yanmanın başladığı anda, yanma odasında püskürtülen yakıtın %70-%95'i buhar halindedir. Yanma odasında yanma başladığında, birçok tutuşma noktasından dolayı oluşan çoklu alev bölgeleri yanma odasında yayılırken, tutuşmanın başlamadığı bölgelerdeki gaz karışımlarını tüketir. Bu durumda, yanma odasındaki sıcaklık ve basınçlarda ani artışlar gözlenir. Yanma odası sıcaklığının ve basıncının artışı, yanma odasındaki yanmamış bölgelerde bulunan yakıt parçacıklarının sıcaklığını ve basıncını da artırarak buharlaşma ve tutuşma süresini kısaltır ve yanmayı daha da geliştirir. İlk tutuşmanın başlamasından sonra, silindire yakıt püskürtülmesine devam edilir. Yanma sürecinin geri kalan kısmı püskürtülen yakıtın hızı, atomizasyonu, buharlaşması ve uygun özellikte hava/yakıt oranı oluşturulması ile kontrol edilir. Yakıtın püskürtülmesi ile kontrol edilen bu yanma sürecinde, silindir basıncı artış hızı ani yanma periyoduna göre daha yavaştır. Toplam yanma süreci yaklaşık 40–50 derece sürer ve bu sürecin 20 dereceden daha fazlalık kısmı yakıtın püskürtülmesini kapsar [54]. Çünkü bazı yakıt partiküllerinin hava ile karışarak uygun özellikte tutuşabilir bir hava-yakıt karışımı oluşturması biraz zaman alır. Bu yüzden yanma genişleme zamanında sona erer.

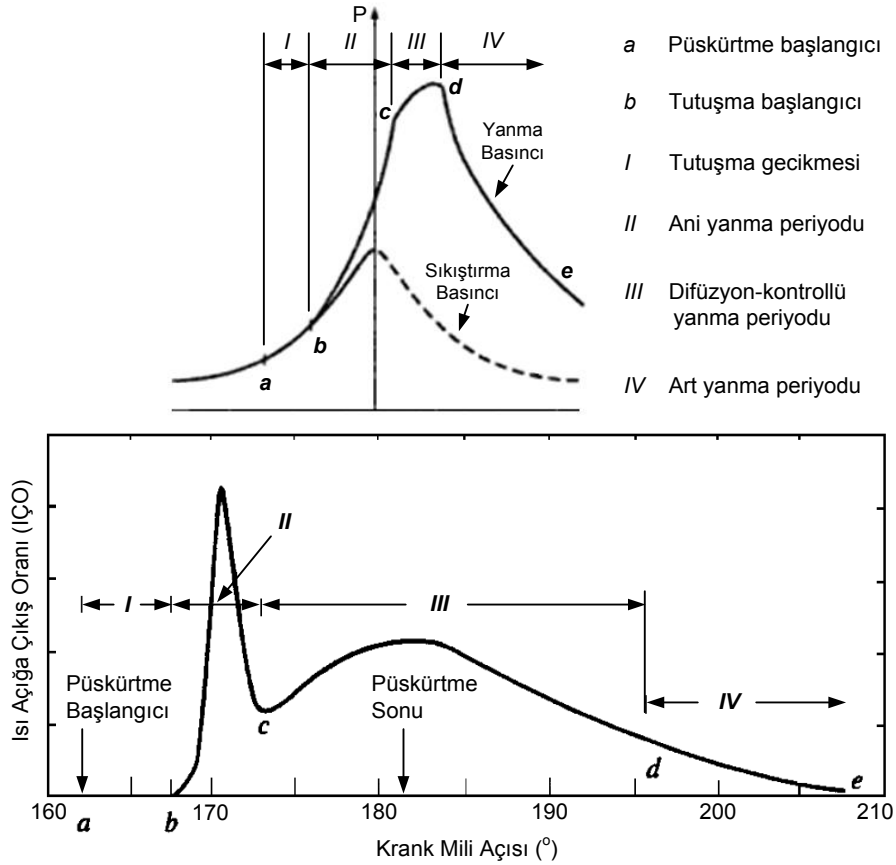
Yanma odasında karışım teşkili, maksimum sıcaklık-basıncın oluşumu ve yanmanın zaman ölçeği Şekil 4.1'de verilmiştir. Yanma olaylarının periyotları, silindir içi sıcaklık ve basınçların etkisi ihmal edildiğinde, krank mili açısı cinsinden bütün motor hızları için yaklaşık aynıdır. Zaman ölçeğinde değerlendirildiğinde ise motor hızının artışı ile birlikte yanma olaylarının periyotlarının değiştiği görülür. Bu durum, motor hızına bağlı olarak optimum performans ve emisyon parametrelerini yakalamak için önemlidir.



Şekil 4.1. Dizel motorlarda karışım teşkili ve yanmanın zaman ölçeği [55].

Isı Açığa Çıkış Oranına (İÇÖ) ve silindir basıncına bağlı olarak yanma periyotları Şekil 4.2’de verilmiştir. Dizel motorlarda yanma dört aşamadan oluşur. Bunlar;

Tutuşma gecikmesi periyodu: Yakıtın silindirlere püskürtülme zamanı yakıt hat basıncından veya enjektör iğnesinin kalkma miktarından tespit edilir. Tutuşmanın başlaması ise İÇÖ’den veya silindir içi basınç eğrisinin ikinci türevinden tespit edilebilir.



Şekil 4.2. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yanma periyotları [56].

Yakıtın yanma odasına püskürtülmesi ile tutuşmanın başlaması arasında geçen süre tutuşma gecikmesi olarak adlandırılır (Şekil 4.2, a-b arası). 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 bağlıdır. Yakıt hüzmelerinin oluşumunu büyük ölçüde etkileyen yakıt sistemi parametreleri; püskürtmenin zamanlaması (avansı), püskürtmenin basıncı, miktarı, hızı, hüzmeye şekli ve damlacık çapıdır. Motorun emiş veya dolgu koşulları ise yanma odası 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 gecikmesinden daha küçük olabilir. Buji ile ateşlemeli motorların tutuşma gecikmesi, sıkıştırma ile ateşlemeli motorların kimyasal tutuşma gecikmesine yaklaşık eşittir. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorların çoğunda, tutuşma gecikmesi püskürtme periyodundan daha kısadır [57].

Ani yanma periyodu: Yanma odasında tutuşmanın başlaması ile İÇÖ'nün maksimum değerine 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 gerçekteşir (şekil 4.2, b-c arası). İÇÖ'nün maksimum olduğu yanma periyodu ani yanma periyodudur. Ani yanma periyodunda, silindir içi basıncın ve İÇÖ'nün 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 basıncını ve İÇÖ'yu artırır. Bu durum yanma sonu sıcaklık ve basınçları ile birlikte basınç artış hızlarını da artırır.

Difüzyonlu yanma periyodu: Ani yanma periyodunda, tutuşma gecikmesi periyodu boyunca tutuşabilir aralıkta karışım teşkili oluşturan yakıt-hava karışımının yanması hızlı bir şekilde gerçekteşir. Difüzyonlu yanma periyodu, ani yanma periyodundan arta kalan yanmamış yakıt-hava karışımı tarafından veya püskürtülmeye devam edilen yakıt tarafından kontrol edilir. Difüzyonlu yanma periyodundaki İÇÖ bazen, İÇÖ grafiğinde ikinci pik noktasına ulaşarak kendini gösterebilir ancak ani yanma periyodundaki maksimum İÇÖ'dan (İÇÖmaks) daha düşüktür. Difüzyonlu yanma periyodu, ani yanma periyodunun bitimi ile başlar ve toplam ısı açığa çıkış oranının

(TIÇO) %90–%95 olduğu zamana kadar veya genel bir yaklaşımla yanma sonu sıcaklıklarının maksimum olduğu zamana kadar sürer [56].

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, difüzyonlu yanma periyodunun bittiği ve maksimum yanma sonu sıcaklığının olduğu nokta civarında başlar ve genişleme zamanının bir kısmına kadar devam eder. Art yanma periyodundaki IÇO, genişleme zamanına doğru azalarak gerçekleşir. Çünkü çok az miktardaki yanmamış yakıt ve is partikülleri veya zengin yanma ürünleri art yanma periyodunda ısı açığa çıkışı sağlar. Bu periyotta silindir içerisindeki ortalama gaz sıcaklıkları azalır [56].

4.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLARIN OLUŞUMU

Dizel emisyonları çoğunlukla çeşitli gaz karışımlarından, su buharından, sıvı aerosollerden ve partikül maddelerden oluşur. Dizel egzoz emisyonları arasında tam yanma ürünleri (CO₂, H₂O, NO_x, SO₂) ve eksik yanma ürünleri (CO, HC, is) bulunur. Bununla birlikte, dizel motorlarda kontrol altında tutulması gereken en önemli emisyonlar is ve NO_x emisyonlarıdır.

Yanma odasında hava-yakıt karışımının oluşma hızı, hava/yakıt oranı, yanma sıcaklığı ve gazların yanma odasında kalış süreleri gibi parametreler emisyonların oluşumunu değişik ölçülerde etkilerler. Buji ile ateşlemeli motorların aksine dizel motorlarda karışımın teşkili ve yanma heterojen olarak gerçekleşir. Heterojen haldeki hava-yakıt karışımının yanması sonucu oluşan emisyonlar sadece yanma periyoduna ve genişleme stroğuna değil aynı zamanda yanma odasında baskın olan genel şartlara da bağlıdır. Tutuşma periyodu boyunca karışım teşkili, yakıtın tutuşma kabiliyeti, yanma odasında farklı sıcaklıklarda bekleme süresi, genişleme periyodu ve genel motor özellikleri emisyonların oluşumunda önemli rol oynarlar. Esas itibarıyla, farklı türdeki emisyonların egzozdaki konsantrasyonları emisyonların oluşumlarının bir sonucudur. Yanmanın erken safhalarında oluşan eksik yanma ürünleri genişleme stroğu sonuna kadar oksidasyona uğrayabilir. Yanmamış hidrokarbonların oksitleyici

gazlar ile karışımı, yüksek yanma odası sıcaklığı, oksidasyon süreci için yeterli zamanın olması tam yanmaya yardımcı olur [58, 59].

4.2.1. Partikül Madde ve İs Emisyonları

Çoğunlukla yanmamış yakıt ve yağlama yağından kaynaklanan bazı organik bileşenlerin yanma sonucu ortaya çıkan karbon içerikli materyaller (is) tarafından absorbe edilmesi ile dizel partikül madde emisyonları oluşur. Partikül maddenin boyutları 20 nm ila 10 µm arasında olduğundan aynı zamanda solunabilir özelliktedir. Partikül maddenin bir kısmı çözünebilir kısım diğer kısmı ise çözünmez veya kuru kısım olarak bilinir. 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 [60].

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.

4.2.2. Azot Oksit (NO_x) Emisyonları

NO_x emisyonları çoğunlukla azot monoksit (NO) ve azot dioksitten (NO₂) oluşur. Bu iki bileşenin toplamı ise NO_x emisyonları olarak adlandırılır. Genellikle, NO_x emisyonlarının %70-%90'lık kısmını NO emisyonları oluşturur. NO_x emisyonları büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Bunun yanında oksijenin lokal 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 NO₂ emisyonlarına dönüşür [59, 60].

NO_x emisyonlarının oluşumu genellikle, yanma odasındaki sıcaklık, basınç, 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 IO'nun sonunda NO_x oluşumu yavaşlar. Çünkü silindir içerisinde bulunan yanmış gazlar yanmamış yakıt tanecikleri ile karışarak sıcaklıklar düşer.

NO_x 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) NO_x emisyonlarının azaltılmasında etkili olarak kullanılır [44, 60].

4.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Dizel motorlardaki HC emisyonları, parçalanmış yakıt moleküllerinden veya yağlama yağından oluşur. HC emisyonları, tutuşma gecikmesi periyodu boyunca, zengin yakıt/hava oranlarının bir sonucu olarak veya karışım teşkili sırasında tutuşamayan yakıt moleküllerinden oluşur. Tutuşma gecikmesinden sonra püskürtülen yakıt, yakıtın ve piroliz ürünlerinin 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 zengin karışımlı çalışan motorlarda HC emisyonları oldukça fazladır. HC oluşumunun esas kaynağı, yanma odasındaki karışımın tutuşamayacak kadar fakir olduğu reaksiyon bölgesi çevresindedir [60].

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 aşırı zengin olan karışımın kombinasyonunun bir sonucudur. Yakıtın buharlaşma hızı ve yanma odasındaki yakıt/hava oranının durumu karışım teşkilinin hızını önemli ölçüde etkiler.

HC emisyonları genel olarak, karışımın teşkili sırasındaki veya 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 [60].

4.2.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları

CO emisyonları, hidrokarbon yakıtlarının eksik yanması sonucu oluşan bir üründür. Yanma odasında yetersiz oksidantın ve düşük sıcaklığın sebep olduğu eksik yanma dolayısı 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 emisyonu üretirler. Ancak, dizel motorlar 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 [60].

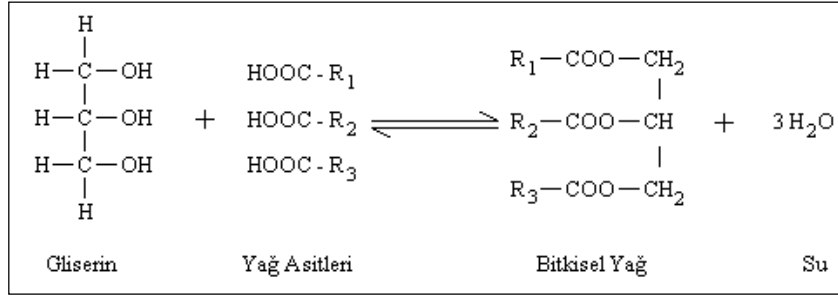
BÖLÜM 5

ATIK BİTKİSEL YAĞLARIN DİZEL MOTORLARDA KULLANIMI VE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

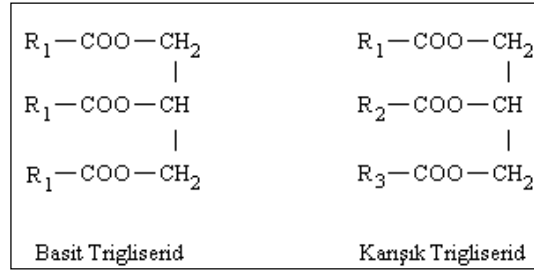
Günümüz dünyasında değişen ve gelişen teknoloji araç sayısındaki hızlı artış petrol kökenli yakıtların sınırlılıkları ve çevreye vermiş olduğu zararlar düşünüldüğünde yenilebilir enerjiye hızlı bir dönüş olması düşünülmektedir. Biyodizeller petrol kökenli yakıtlarda karşılaştırıldığı zaman emisyon değerleri daha düşüktür yani çevreyi ve insan sağlığını daha az tehdit etmektedir. Biyodizel yakıtlar bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilir. Günümüzde biyodizel yakıtların yaygın olarak kullanılmamasının sebebi üretim maliyetinin yüksek olmasıdır. Bu aşamada atık yağlardan üretilen biyodizel büyük önem arz etmektedir. Çünkü üretim maliyeti çok düşüktür. Ayrıca atık yağlardan biyodizel üretmek iki türlü çevreye katkı sağlamaktadır. Birincisi emisyon değerlerinin dizel yakıtına göre daha düşük olması, ikincisi de atık yağın, çevreye direk atılarak toprağı ve suyu zehirlemesinin önlenmesidir. Biyodizel yakıtın diğer bir artı yönü ise dizel motorların yapısında kapsamlı bir değişikliğe gitmeden kullanılabilir olmasıdır.

5.1. BİTKİSEL YAĞLAR VE ÖZELLİKLERİ

Bitkisel yağlar, bazı tarımsal ürünlerin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi sonucu elde edilir. Petrol esaslı yağlardan farklı bir kimyasal yapıya sahiptir. Yağ asitlerinin (R-COOH) gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Bir başka ifade ile trigliserid olarak adlandırılmaktadır. Yağ asidinin gliserinle esterleşmesinin kimyasal denklemi Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de görülmektedir [61].



Şekil 5.1. Yağ asidinin gliserinle esterleşmesi [61].



Şekil 5.2. Basit ve karışık trigliserid [61].

Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak ortaya çıkmasındaki esasları;

1. Ürünlerin çevre dostu olması
2. Yenilenebilir ve çiftçi tarafından üretilmesi
3. Doğaya serbest bırakıldığında biyolojik olarak kolayca parçalanma, ayrışabilme yeteneğinin olması olarak sıralanabilmektedir [62].

Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi ülkemizin zengin biyokütle kaynaklarına sahip bir tarım ülkesi olduğu göz önünde bulundurulursa, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif motor yakıtı üretiminde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılmasının yaygınlaşması durumunda yağ bitkilerinin üretiminin artırılması imkânı her an mevcuttur. Günümüzde bitkisel yağların fiyatı, dizel yakıtın fiyatından daha pahalı olmasına rağmen, kullanımının yaygınlaşması halinde fiyatı daha da düşecektir. Ayrıca herkesin özen göstermesi gereken çevrenin korunması hususunda bitkisel yağlar, organik kökenli olması nedeniyle çevreyi kirletmeden toprağa kazandırılabilme gibi bir özelliğe sahip olmaktadır [62].

Çizelge 5.1. Ülkemizde yetiştirilen bitkisel yağlar [63].

Yağ Bitkisi	Ekiliş Alanı	Yağ Oranı (%)	Üretim Verimi	Üretim Miktarı
Yer Fıstığı	34000	35-55	2353	80000
Soya	31000	13-25	2419	75000
Kolza	7	40-45	1286	9
Aspir	134	9-28	933	125
Ayçiçeği	585000	40-50	1538	900000
Keten Toh.	650	30-40	600	390
Susam	73000	45-59	411	30000
Haşhaş	60052	44-50	470	28249
Pamuk Toh.	741407	16-24	1703	1262583
Mısır	515000	17-18	3689	1900000
Kenevir Toh.	1600	-	225	360
Türkiye Toplamı	2036850	-	-	4266716

Çizelge 5.2’de motorin ve bitkisel yağlara ait yakıt özellikleri verilmiştir. Bu değerlere göre, bitkisel yağların viskozitesi motorine göre yaklaşık olarak 9-12 kat daha fazladır. Viskozitenin yüksekliği yakıtın pompadan basılmasına ve enjektörden püskürtülmesinde problem olmakta, enjeksiyon sırasında atomizasyonun bozulmasına ve yanmanın kötüleşmesine neden olmaktadır. Bitkisel yağlar setan sayısı ile motorine yaklaşmakta, ısıl değer yönünden bakıldığında motorinle aralarında büyük bir farklılığın olmadığı görülmektedir. [61, 62].

Çizelge 5.2. Motorin ve bitkisel yağların yakıt özellikleri [64].

BİTKİSEL YAĞLAR	Viskozite (mm ² /s)	Setan sayısı	Isıl değeri (kJ/kg)	Dumanlanma nok. (oC)	Alevlenme nok.(°C)	Yoğunluk (kg/l)	Karbon artıkları (%)	Kükürt (%)	Akma nok. (°C)
HİNT	297	?	37274		260	0.9537	0.22	0.01	-31.7
MISIR	34.9	37.6	39500	-1.1	277	0.9095	0.24	0.01	-40
PAMUK	33.5	41.8	39468	1.7	234	0.9148	0.24	0.01	-15
BEZİR	27.2	34.6	39307	1.7	241	0.9236	0.22	0.01	-15
YERFISTIĞI	39.2	41.8	39782	12.8	271	0.9026	0.24	0.01	-6.7
KOLZA	37	37.6	39709	-3.9	246	0.9115	0.30	0.01	-31.7
ASPIR	31.3	41.3	39519	18.3	260	0.9144	0.25	0.01	-6.7
SUSAM	35.5	40.2	39349	-3.9	260	0.9133	0.25	0.01	-9.4
SOYA	32.6	37.9	39623	-3.9	254	0.9138	0.27	0.01	-12.2
AYÇİÇEK	33.9	37.1	39575	7.2	274	0.9161	0.23	0.01	-15
2 NOLU DİZEL	2.7	47	45343	-15	52	0.8400	<0.35	<0.01	-33

5.2. ATIK BİTKİSEL YAĞLAR VE ÜLKEMİZDEKİ DURUMU

Değişen enerji dengeleri doğrultusunda dünya genelinde biyodizel üretiminin öneminin artması ile beraber ülkemizde de değişen enerji talebi karşısında biyodizel üretim çalışmalarına yönelik tesisler hızla artmaktadır. Bu konuda atık yağdan üretim ön plandadır. Türkiye’de yılda yaklaşık 1.5 milyon ton bitkisel yağ gıda amacı ile kullanılmaktadır. Bu yağların yaklaşık 350 bin tonunu atık yağ oluşturmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde binlerce lokanta yanında onlarca hazır yemek merkezleri ve dört beş yıldızlı oteller bulunmaktadır. Özellikle tavuk, hindi, balık v.b. kızartma işlemleri sırasında önemli miktarda hayvansal atık yağ oluşmaktadır. Son zamanlarda ülkemizde yağda kızartılmış patates ve diğer yiyeceklerin tüketiminde önemli bir artış olmuş, bunun sonucunda da kullanılmış bitkisel yağ atıkları da artmıştır [65, 66]. Ülkemizde kullanılmış kızartma yağı toplama bilgileri Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Ülkemizde kullanılmış kızartma yağı toplama bilgileri [67].

Yıl	Toplanan Miktar
2005	1380 ton
2006	1680 ton
2007	2450 ton

Çevre ve Orman Bakanlığının verilerine göre minimum 150 bin, maksimum 350 bin ton olması gereken çevreye zararlı atık kabul edilen kullanılmış kızartmalık yağların ancak %1’i toplanmaktadır. Sakarya’da Büyükşehir belediyesinin teşvikleri ile 2007 yılında yaklaşık 14 ton atık yağ toplanabilmiştir. Bu sonuca göre atık yağların %99’u tekrar gıdaya, yem sanayisine, kozmetik sanayisine, kanalizasyona ya da toprağa gidiyor demektir [66].

Ev veya restoran atığı yağlardan yağ asidi esterleri üretimi, alternatif yakıtlar konusuna farklı bir yaklaşım getirmiştir. ABD standartlarına göre bir litre biyodizel üretimi 0.5 dolara mal olmaktadır. Bunun çoğunu orijinal yağın bedeli oluşturmaktadır. Orijinal yağ yerine atık yağdan biyodizel üretimi durumunda üretim bedeli yarı yarıya düşmektedir. Ülkemizde yaklaşık olarak 350 bin ton civarında kullanılmış bitkisel ve hayvansal atık yağların geri kazanılması ile yılda 350 bin ton

biyodizel, 35 bin ton gliserin ve 3,5 bin ton sabun üretilerek ekonomiye büyük bir katkı sağlanır. Kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağların geri kazanılması ile evsel atık sular % 25 oranında daha az kirlenmiş olur [66].

Atık mutfak yağları yüksek oranda serbest yağ asidi ve su içerir. Rafine edilmiş bitkisel yağlarda bile çok az da olsa serbest yağ asidi ve su vardır. Bu atık kaynağının harekete geçirilmesi hem alternatif yakıt kaynakları açısından hem de çevresel açıdan önemli bir kazançtır. Bu nedenle, atık mutfak yağlarından üretilen biyodizelin, Avrupa ve Amerika'daki yakıt istasyonlarında dizel motorları için alternatif yakıt olarak satılmak suretiyle ticarileşmesi sağlanmıştır [68, 69].

5.2.1. Atık Yağların Çevresel Etkileri

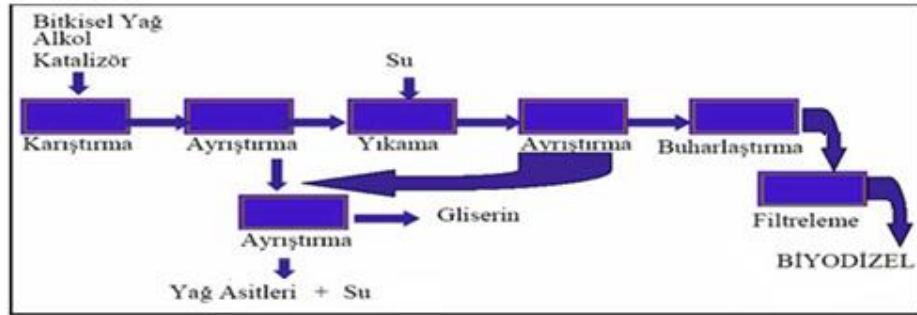
Bitkisel ve hayvansal yağ atıklarının kalorileri çok yüksektir. Bu atık yağlar, suya, kanalizasyona döküldüğü zaman su yüzeyini kaplar, su sistemine zarar verir, havadan suya oksijen transferini önler, zamanla suda bozularak sudaki oksijenin tükenmesini hızlandırır. Kullanılmış yağlar lavaboya döküldüğü zaman dren sistemine sıvanır, kanalizasyon borusu içindeki atıkların yapışmasına ve zamanla borunun daralmasına neden olur. Kanalizasyona dökülen atık yağlar miknatis gibi diğer atıkları tutarlar ve kanalizasyon sisteminin kullanılmaz hale gelmesine sebep olur. ABD'de yapılan bir araştırmaya göre atık yağ ve greslerin oluşturduğu blokaj kanalizasyon sistemlerinin % 40 oranında tıkanmasına sebep olmaktadır [66].

5.3. BİTKİSEL ATIK YAĞLARIN DOĞRUDAN ALTERNATİF MOTOR YAKITI OLARAK KULLANILMASI

Bitkisel yağlar, alternatif yakıt olarak doğrudan kullanılabilmesine karşın, yapılan testler sonucunda dizel motorlarında pek çok problemin doğmasına sebebiyet verebileceği görülmüştür. Bu çalışmalar kısa vadede olumlu sonuçlar verse de test süreleri uzadığında bazı motor problemleri oluşturmaktadır. Atık bitkisel yağların saf halde veya çeşitli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılması için yağın içerisindeki su ve yabancı maddelerden ayrıştırılması gerekir [69].

5.4. BİYODİZEL ÜRETİMİ

Biyodizel bitkisel veya hayvansal yağların bir alkol ve katalizör ile reaksiyona sokulmasıyla üretilir. Atık bitkisel ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından petrol kökenli dizel yakıtlarıyla benzerlik göstermektedir. Biyodizel üretiminin çeşitli metodları olmakla birlikte, günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem transesterifikasyon (alkoliz) yöntemidir. Transesterifikasyon reaksiyonunda hammadde olarak kullanılacak yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak mono ve di-gliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biyodizel üretiminde, kanola (kolza), ayçiçek, soya vb. yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağlar, atık kızartmalık yağlar ve hayvansal yağlar ile alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum hidroksit, potasyum hidroksit ve sodyum metilat) tercih edilmektedir. Şekil 5.3'te biyodizel üretim aşamaları görülmektedir [70].



Şekil 5.3. Biyodizel üretim aşamaları [70].

Biyodizel, dizel motorlarında saf olarak kullanıldığı gibi petrol kökenli dizel yakıtlarıyla da karıştırılarak kullanılabilir. Saf olarak biyodizel kullanıldığında B100 olarak isimlendirilirken, %20 biyodizel ve %80 dizel yakıtı içeren bir karışım B20 olarak isimlendirilir. Bitkisel yağlarla yapılan birçok çalışma, bitkisel yağların kısa süreli ve acil durumlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Çünkü bitkisel yağlar uzun kullanım süresinde enjektörlerde birikintiler, piston segmanlarının yapışması, motor yağında seyrelme gibi birçok motor problemine sebep olmuştur. Bu nedenle, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir [71].

BÖLÜM 6

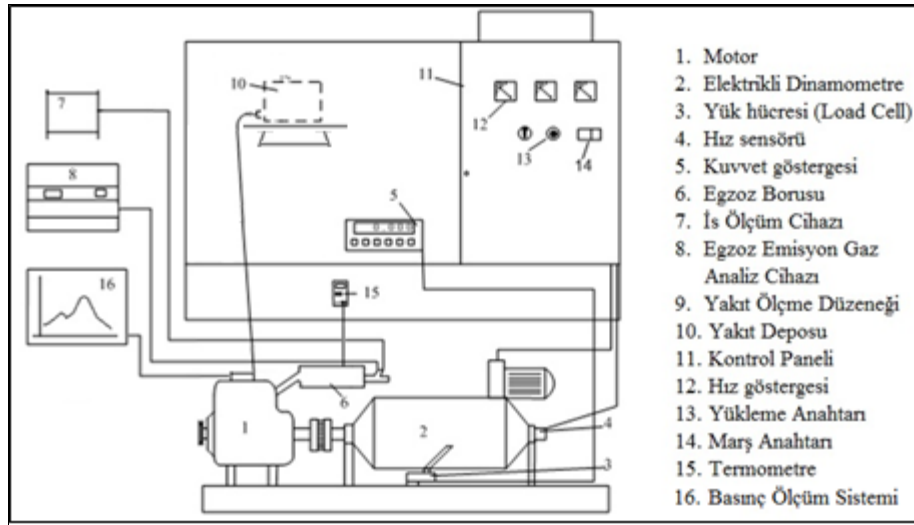
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorda sabit devirde, farklı yüklerde, biyodizel kullanımının motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma karakteristiklerine etkisinin ayrıntılı olarak incelenmesi hedeflenmiştir.

6.2. DENEY DONANIMI

Deneyleer için, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı'na ait motor test laboratuvarı kullanılmıştır. DC dinamometre, dizel motor, yakıt tüketimi ölçüm ünitesi, hava tüketimi ölçüm ünitesi, egzoz gaz ölçüm ve is (opasite) ünitesi, silindir basıncı ve yakıt hat basıncı ölçüm ünitesinden oluşan test düzeneğinin şematik ve genel görünümü sırası ile Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü.



Şekil 6.2. Deney düzeneğinin genel görünümü.

6.2.1. Motor Test Dinamometresi

Deneyle, KEMSAN marka bir motor test dinamometresinde yapılmıştır. Motor test dinamometresi, test motoruna ilk hareket vermek için, test motorunu boşa çevirebilmek ve yüklemek için kullanılabilir. Motor test dinamometresinin maksimum hızı 4000 d/d olup 10 kW'a kadar güç yutabilmektedir. Motor devrinin ölçümünde dinamometre üzerindeki takojenarator kullanılmıştır. Deney sırasında, motor yükte çalışırken baskı kuvveti değeri dinamometreye 0,25 m uzaklıktaki yük hücresinden okunmuştur. Yük hücresinden okunan baskı kuvveti değeri motor momentinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Motor momenti ve gücü 6.1 ve 6.2 nolu eşitlikler yardımı ile hesaplanmıştır.

$$M_e = F * b_{kol} * g \quad (6.1)$$

Motor gücü ise;

$$P_e = M_e * \omega = \frac{2 * \pi * M_e * n}{60 * 1000} \quad (6.2)$$

F	Yük hücresine uygulanan baskı kuvveti (kg)
g	Yerçekim ivmesi (m/s^2)
M_e	Motor yükü (Nm)
b_{kol}	Kuvvet kolu uzunluğu (0,25 m)
P_e	Motor gücü (kW)
ω	Açısal motor hızı (rad/s)
n	Motor devri (d/d)

6.2.2. Deney Motorunun Özellikleri

Deney motoru olarak tek silindirli hava ile soğutmalı bir dizel motor kullanılmıştır. Motor testlerinde kullanılan dizel motora ait teknik özellikler Çizelge 6.1’de ve genel görünümü Şekil 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.1. Motor özellikleri.

Model	Katana KM 178 F
Genel	Tek Silindirli, direkt püskürtmeli, hava ile soğutmalı, doğal emişli, ve dört zamanlı
Güç (kW, 3000 d/d-3600 d/d)	4-4,4
Çap (mm) x Kurs (mm)	78x62
Biyel Boyu (mm)	101,5
Silindir Hacmi (cm^3)	296
Sıkıştırma Oranı	18/1
Yakıt Pompası Avansı (KMA)	31°
Püskürtme Açısı (KMA)	17° ±1
Enjektör Açılma Basıncı (bar)	205 ±5
Emme Supabı Zamanlaması (KMA)	Açılma 18 ° ÜÖN’den önce, Kapanma 45 ° AÖN’den sonra
Egzoz Supabı Zamanlaması (KMA)	Açılma 52 ° AÖN’den önce, Kapanma 12 ° ÜÖN’den sonra



Şekil 6.3. Motor testlerinde kullanılan dizel motorun genel görünümü.

6.2.3. Deney Yakıtları

Deneylerde yakıt olarak atık yağlardan elde edilen biyodizel yakıtı kullanılmıştır. Atık yağlardan elde edilen biyodizel yakıtı Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yakıt Araştırma Laboratuvarında üretilmiş ve analiz edilmiştir. Deneylerde kullanılan yakıtların özellikleri aşağıdaki Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Deney yakıtlarının özellikleri.

Yakıtın Adı	Yoğunluk (kg/m ³)	Kinematik Viskozite (mm ² /s)	Isıl Değer (kJ/kg)	Parlama Noktası (°C)	Setan Sayısı
Biyodizel	889	5,0	39576	163	60,4
Dizel	828	2,6	42640	60	56,5

6.2.4. Emisyon ve İS Ölçüm Ünitesi

Emisyonlar (HC ve NO_x (ppm), CO (%)) ITALO Plus Spin egzoz emisyon ölçme cihazı ile ve is (opasite) MRU Optrans 1600 ile ölçülmüştür. Egzoz gaz analiz cihazının ve opasimetrenin görünümleri (Şekil 6.4, Şekil 6.5) de, özellikleri ise, Çizelge 6.3’te verilmiştir. Egzoz gaz sıcaklığının (EGS) ölçümü için K-tipi termokupl kullanılmıştır.



Şekil 6.4. Egzoz gaz analiz cihazının genel görünümü.



Şekil 6.5. Opasimetrenin genel görünümü.

Çizelge 6.3. Egzoz gaz analizörü ve opasimetre özellikleri.

		Ölçüm Aralığı	Doğruluk
Egzoz Gaz Analizörü	CO (%v/v)	0~15	0,01
	HC (ppm)	0~20000	1
	NO _x (ppm)	0~4000	1
Opasimetre	İs (Opasite) (%)	0~100	± 2

6.2.5. Yakıt Tüketimi Ölçüm Ünitesi

Bu çalışmada, motorun tükettiği yakıt miktarı kütleli olarak tespit edilmiştir. Herhangi bir zaman diliminde yakıt deposundaki yakıtın ağırlığı hassas terazi ile ve bir kronometre yardımı ile ölçülmüştür. Kütleli yakıt tüketimini ölçmek için Şekil 6.6'da görülen Dikomsan marka 0,1 g hassasiyetli elektronik bir terazi kullanılmıştır. Yakıt tüketim süresinin ölçülmesinde Charles Sernard marka bir kronometre kullanılmıştır. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 6.6. Testlerde kullanılan hassas terazi.

Kronometre yardımı ile belirli bir zaman aralığında hassas terazide ölçülen yakıt miktarı kaydedilmiş ve birim zamanda tüketilen yakıt miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan kütleli yakıt debisi motor gücüne oranlanarak fren özgül yakıt tüketimi bulunmuştur. Fren özgül yakıt tüketiminin yakıtın alt ısı değeri ile çarpılması ile özgül enerji tüketimi hesaplanmıştır.

Yakıtın kütleli debisi;

$$B_e = 3600 \frac{m_y}{t_y} \quad (6.3)$$

Fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT);

$$FÖYT = \frac{B_e}{P_e} \quad (6.4)$$

Fren özgül enerji tüketimi (FÖET);

$$FÖET = \frac{(AID)(FÖYT)}{1000} \quad (6.5)$$

Efektif verim (η_e) ise FÖYT ve yakıtın alt ısı değeri kullanılarak hesaplanmıştır;

$$\eta_e = \frac{3600}{(AID)(FÖYT)} \quad (6.6)$$

B_e	Yakıt tüketimi (g/h)
t_y	Süre (s)
m_y	t_y süresinde tüketilen yakıt miktarı (g)
P_e	Motor Gücü (kW)
η_e	Efektif Verim (%)
FÖYT	Fren özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
FÖET	Fren özgül enerji tüketimi (MJ/kWh)
AID	Yakıtın alt ısıl değeri (MJ/kg)

6.2.6. Silindir İçi ve Yakıt Hat Basıncının Ölçümü

Silindir içi ve yakıt hat basınçlarının ölçümünde ve kaydedilmesinde TFX marka silindir basıncı ölçüm yazılımı kullanılmıştır. TFX basınç ölçüm sistemi, OPTRAND fiber-optik basınç sensörü ve krank mili pozisyonunun ölçümünde kullanılan optik enkoderden oluşmaktadır.

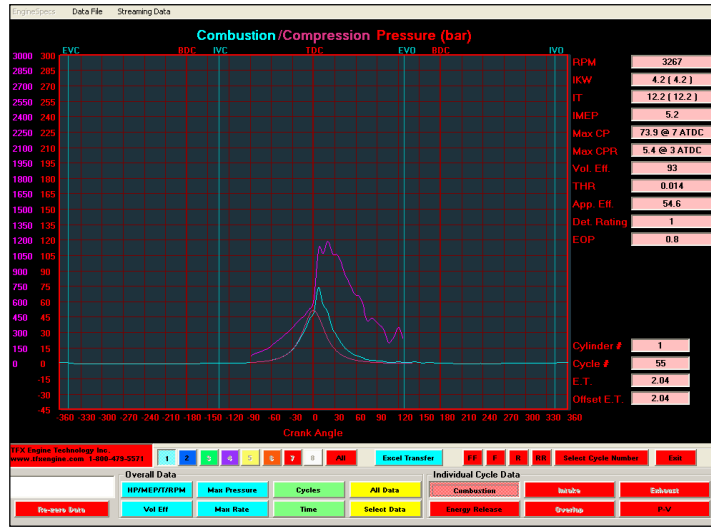
Kullanılan basınç sensörlerinin özellikleri Çizelge 6.4’de ve genel görünüşleri ise Şekil 6.7’de verilmiştir. TFX basınç ölçüm sistemine ait yazılımın ekran görüntüsü ise Şekil 6.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. Sensör özellikleri.

	Silindir İçi Basınç Sensörü	Yakıt Hat Basınç Sensörü
Basınç Aralığı (bar)	0–250 (~3500 PSI)	0–2000 (~30000 PSI)
Aşırı Basınç (bar)	1,5x Basınç Aralığı	1,5x Basınç Aralığı
Doğal Frekans (kHz)	>120	>150
Frekans Aralığı (Hz)	0,1 Hz-15 kHz	0,1 Hz-15 kHz
Çalışma Sıcaklıkları (°C)	-20 ile 65	-20 ile 65
Nonlinearity ve Histeris	± 1 0,5	± 1
Çıkış Sinyali (beyaz kablo)	0,5-5 V Analog	0,5-5 V Analog
Diagnostik Çıkış Sinyali	0-3,6 V Analog	0-3,6 V Analog
Çıkış Empedansı	250 Ohm	250 Ohm
Güç Kaynağı(kırmızı kablo)	9–18 V DC, 85 mA	9–18 V DC, 85 mA
Kullanım	Gaz ve Sıvı	Gaz ve Sıvı
Fiber Optik Kablo Uzunluğu	2 m	2 m
Amplifier	Sensör ile beraber	Sensör ile beraber
Sensör Vida Ölçüleri	M5x0,5	M5x0,5



Şekil 6.7. Sensörlerin genel görünüşleri.



Şekil 6.8. TFX yazılımının ekran görüntüsü.

6.3. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylere başlamadan önce motorun ayarları kontrol edilmiş ve motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra deneylere başlanmıştır.

6.3.1. Motor Deneyleri

Deneysel çalışma sırasında motor; dizel yakıtı D100 ve biyodizel yakıtı B100 ile farklı yüklerde ve sabit bir hızda (2600 d/d) test edilmiştir. Testler 4 değişik yükte yapılmıştır. Bunlar 2,45 Nm, 4,91 Nm, 7,36 Nm ve 9,81 Nm'dir. Deneylerde, her bir adımda motor devri ve momentini sabitleştikten, kuvvet ve termometre göstergeleri kararlı hale geldikten sonra yanma ile ilgili veriler kaydedilmiştir.

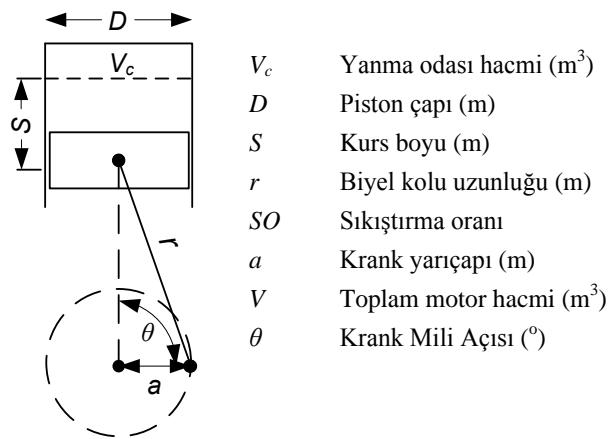
BÖLÜM 7

DİZEL MOTORLARDA YANMA ANALİZİ

Bu kısımda, yanma odasına püskürtülen yakıtın püskürtme başlangıcı, silindir basınçlarının filtrelenmesi ve değerlendirilmesi, basınç artış hızı, ısı açığa çıkış oranı (İÇÖ), toplam ısı açığa çıkış oranı (TIÇÖ), tutuşma gecikmesi, yanmanın başlangıcı ve bitişi, yanma süresi, ani ve difüzyonlu yanma periyotlarının belirlenmesi detaylı olarak açıklanmıştır. Yukarıda ifade edilen parametreler MATLAB yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

7.1. MOTOR HACMİNİN ANLIK DEĞİŞİMİ

Motor hacminin anlık değişimi direkt olarak ölçülemez ancak deney motoruna ait geometrik özelliklerin bilinmesi ile hesaplanabilir [72]. İçten yanmalı bir motora ait şematik bir krank-biyel mekanizması ve çeşitli geometrik ölçülerin gösterimi Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1. İçten yanmalı motorlarda krank-biyel mekanizması.

Yanma odası hacmi;

$$V_c = \pi \frac{D^2}{4} \frac{2a}{50} \quad (7.1)$$

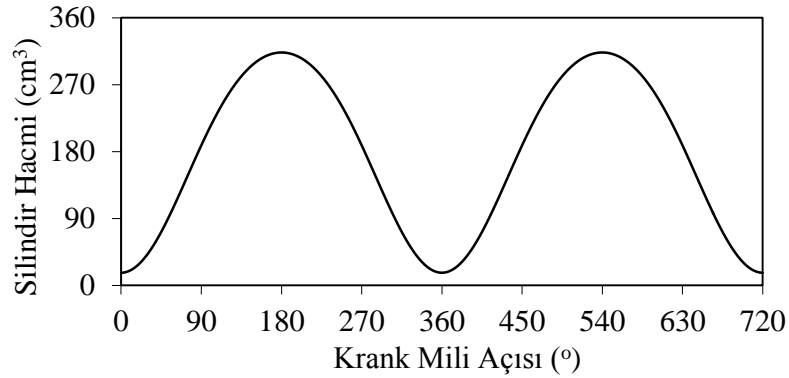
Kurs boyunun değişimi;

$$L(\theta) = a \cos\left(\theta \frac{\pi}{180}\right) + \sqrt{r^2 - a^2 \left(\sin\left(\theta \frac{\pi}{180}\right)\right)^2} \quad (7.2)$$

Toplam silindir hacminin anlık değişimi ise eşitlik (7.1) ve (7.2) yardımı ile hesaplanabilir;

$$V(\theta) = V_c + \pi \frac{D^2}{4} (a + r - L(\theta)) \quad (7.3)$$

Şekil 7.2'de 7.3 nolu eşitlik yardımı ile hesaplanan silindir hacminin anlık değişimi verilmiştir.

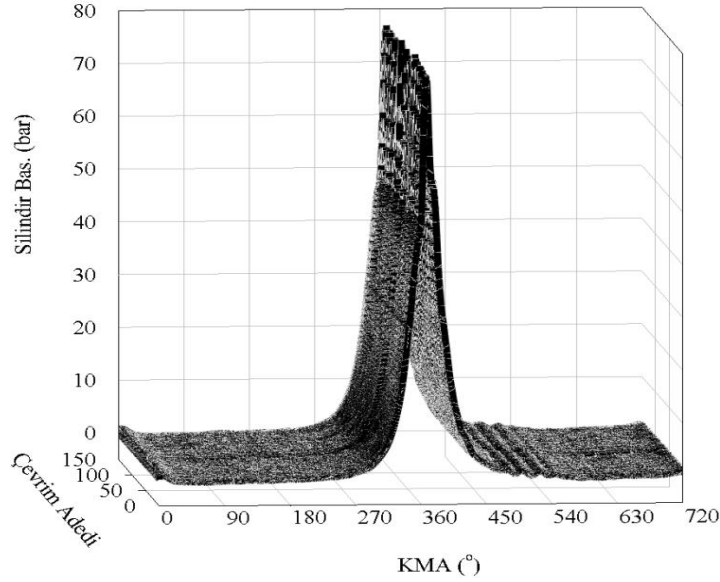


Şekil 7.2. Silindir hacminin anlık değişimi.

7.2. SİLİNDİR BASINÇ ANALİZİ

Teorik olarak dizel motorlarda kısılmasız emiş koşulları gerçekteştiğinden yanma odasına alınan dolgu miktarı belirli bir devir için hep aynıdır. Ancak gerçekte motor çalışması koşullarında içeri alınan dolgu miktarındaki küçük değişimler ve silindir

içindeki yerel koşulların değişimi silindir içi basınçlarında değişime sebep olur. Silindir basıncındaki çevrimden çevrime değişen bu farklılıkları en aza indirmek için 100 çevrimin ortalaması alınarak tek çevrim şeklinde ifade edilmiştir. Şekil 7.3'te çevrimden çevrime oluşan farklılıklar gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Çevrimden çevrime oluşan farklılıklarının değişimi.

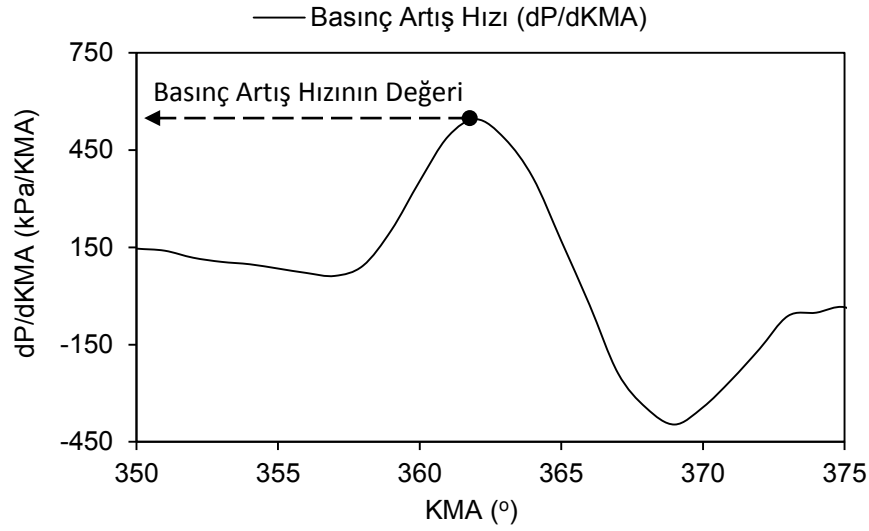
Basınç artış hızı silindir basınç eğrilerinin birinci türevlerinden bulunur. Bu çalışmada, basınç artış hızının tespiti için Eşitlik (7.4)'da ifade edilen düşük gürültülü süper Lanczos algoritması kullanılmıştır [72-73].

$$dP = \frac{\left(\begin{array}{l} 86(P_{\theta-4} - P_{\theta+4}) + 142(P_{\theta+3} - P_{\theta-3}) \\ +193(P_{\theta+2} - P_{\theta-2}) + 126(P_{\theta+1} - P_{\theta-1}) \end{array} \right)}{1188d\theta} \quad (7.4)$$

P Silindir basıncı

θ Krank Mili Açısı (°KMA)

Şekil 7.4'de 7.4 nolu eşitlik yardımı ile hesaplanan basınç artış hızının anlık değişimi gösterilmiştir. Basınç artış hızının gösterildiği grafikteki basınç artış hızının maksimum değeri basınç artış hızı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 7.4. Basınç artış hızının değişimi.

7.3. ISI AÇIĞA ÇIKIŞ ORANININ (İÇÖ) VE YANMA PERİYOTLARININ ANALİZİ

İçten yanmalı motorlara ait İÇÖ, termodinamiğin birinci kanunu kullanan bir yanma analiz metodudur ve yanma sürecinde yakıttaki kimyasal enerjinin açığa çıkış hızını gösterir. Dizel motordaki yanmanın anlaşılması ve bu çalışmada kullanılan yakıtların yanma özelliklerinin karşılaştırılması için tek boyutlu basitleştirilmiş bir yanma modeli kullanılmıştır. Tek boyutlu yanma modelinde, yanma odasındaki hava ve yakıt karışımından oluşan dolgu ideal gaz olarak kabul edilmiştir ve emme supabının kapanmasından egzoz supabının açılmasına kadarki süreçte yanma odasındaki dolgunun miktarında ve kompozisyonunda bir değişim oluşmamıştır. Yanma odasındaki yakıtın yanması ile açığa çıkan enerji aynı zamanda silindire sürülen enerji olarak kabul edilmiştir. İçten yanmalı motorlarda yanma termodinamiğin birinci kanunu ile tanımlanabilir ve enerji dönüşüm eşitliği Eşitlik (7.5) gibi yazılır ise [58];

$$\frac{du}{d\theta} = Qn - W \quad (7.5)$$

$$mC_v \frac{dT}{d\theta} = Qn - P \frac{dv}{d\theta} \quad (7.6)$$

Burada;

du Sistem içerisindeki kütlenin iç enerji değişimi.

Qn Yanma odasında ortaya çıkan net ısı (IÇO).

W Sistem sınırı tarafından yapılan iş.

Günümüz motorlarında sistemdeki kütle ve ısı transferinin IÇO üzerindeki etkisi çok küçük olduğu için genellikle ihmal edilir [58]. Bu yüzden Qn hesaplanırken, yanma odasından silindir cidarlarına ve soğutma suyuna olan ısı transferi dahil edilmemiştir.

Bu noktada ideal gaz kabulü yapılarak;

$$PV = mRT \quad (7.7)$$

Eşitlik (7.7) için, kütlenin sabit kaldığı kabulü ile türev alınırsa;

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{1}{mR} \left[P \frac{dV}{d\theta} + V \frac{dP}{d\theta} \right] \quad (7.8)$$

Eşitlik (7.8) ve eşitlik (7.6) kullanılarak beraber düzenlenir ise;

$$Qn = \left[\frac{C_v}{R} + 1 \right] P \frac{dV}{d\theta} + \frac{C_v}{R} V \frac{dP}{d\theta} \quad (7.9)$$

ifadesi elde edilir. $\frac{C_v}{R}$, (k) özgül ısı oranı cinsinden eşitlik (7.10)'de gösterildiği gibi ifade edilebilir.

$$\frac{C_v}{R} = \frac{1}{k - 1} \quad (7.10)$$

Eşitlik (7.10), eşitlik (7.11)'de yerine yazılarak IÇO'nun anlık değişimi elde edilir (Eşitlik 7.11);

$$Qn = \left[\frac{k}{k - 1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k - 1} V \frac{dP}{d\theta} \right] \quad (7.11)$$

Q_n	Isı açığa çıkış oranı (IÇO) (J/KMA°)
P	Silindir basıncı (Pa)
V	Silindir hacmi (m ³)
θ	Krank mili Açısı (°)

Dizel motorlardaki yanma analizinde, $k=1,35$ olarak önerilmiştir [58]. Toplam ısı açığa çıkış oranı (TIÇO) ise eşitlik (7.11)'in integrali alınarak elde edilebilir;

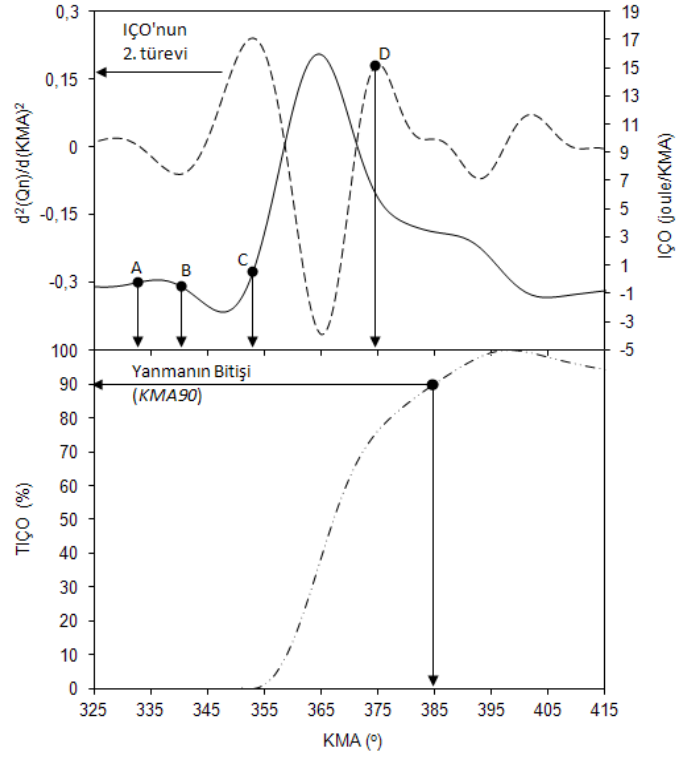
$$TIÇO = \int \left(\frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} \right) \quad (7.12)$$

Bu çalışmada, yanma analizi hesaplamaları iki kısımda gerçekleştirilmiştir. Yanma analizinin ilk kısmında IÇO hesaplanmıştır. İkinci kısımda ise, yanmanın bitişinin ($KMA90$) belirlenmesi için TIÇO hesaplanmıştır. TIÇO, IÇO'nun integrali şeklinde hesaplanmıştır ve belirli bir çıkış işin harcanan enerji miktarını ifade eder.

Yanmanın başlangıcı, yakıtın püskürtülmesinden hemen sonra IÇO'nun negatiften pozitifte geçiş yaptığı krank mili açısı olarak tanımlanmıştır. Tutuşma gecikmesi, püskürtme başlangıcı ile yanma başlangıcı arasındaki fark alınarak ifade edilmiştir. Yanmanın bitişi, TIÇO'nun %90'nına karşılık gelen krank mili açısı ($KMA90$) olarak belirlenmiştir. Toplam yanma süresi, yanma başlangıcı ile yanmanın bitişi arasındaki farktan bulunmuştur [59].

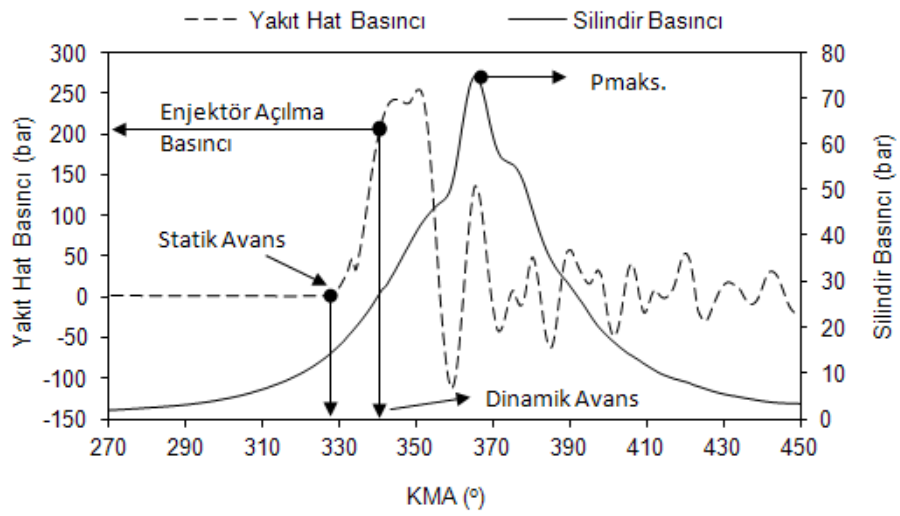
Ani ve difüzyonlu yanma periyotları, IÇO'nun ikinci türevi alınarak krank mili açısı cinsinden tespit edilmiştir [17]. Yukarıda hesaplanan yanma özellikleri özet olarak Şekil 7.5'te gösterilmiştir.

Yanma odasına püskürtülen yakıtın püskürtme başlangıcını belirlemek için yakıt hat basınçları ölçülmüştür. Ölçülen yakıt hat basınçları üzerindeki motora ait püskürtme basıncına karşılık gelen krank mili açısı püskürtme başlangıcı olarak belirlenmiştir (Şekil 7.6).



- (A) Statik Püskürtme Avansı (B) Dinamik Püsk. Avansı
 (C) Yanmanın Başlangıcı (D) Ani Yanma Per. Sonu
 (A-B) Püskürtme Gecikmesi (B-C) Tutuşma Gecikmesi
 (C-D) Ani Yanma Periyodu (KMA90) Yanmanın Sonu
 Toplam Yanma Süresi= (KMA90 - C)
 Dif. Kont. Yanma Periyodu=
 (Toplam Yanma Süresi - Ani Yanma Periyodu)

Şekil 7.5. Hesaplanan yanma parametrelerinin özet grafiği.



Şekil 7.6. Püskürtme başlangıcının belirlenmesi.

Silindir içerisindeki ortalama gaz sıcaklıkları, silindir içindeki basıncı, sıcaklığı ve hacmi bilinen referans bir noktaya göre hesaplanmıştır [17]. Sistem sınırlarından ısı alış verişi olmadığı kabulü ile ($PV^n = \text{sabit}$);

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (7.13)$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (7.14)$$

Sıcaklığı, basıncı ve hacmi bilinen referans bir nokta için (emme supabının kapanması gibi) ideal gaz denklemi eşitlik (7.15) ve (7.16) şeklinde düzenlenebilir;

$$P_{ref} V_{ref} = nRT_{ref} \quad (7.15)$$

$$\frac{T_{ref}}{P_{ref} V_{ref}} = \frac{1}{nR} \quad (7.16)$$

Emme supabının kapanması ve egzoz supabının açılması arasında herhangi bir noktadaki ortalama gaz sıcaklığını hesaplamak için yine ideal gaz denkleminde;

$$T_{ort.gaz} = P_{cyl} V_{cyl} \frac{1}{nR} \quad (7.17)$$

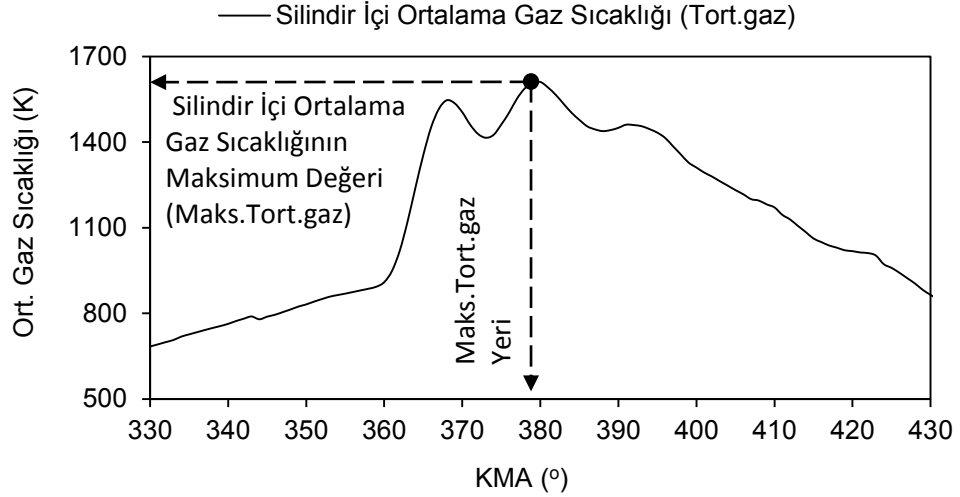
$$\frac{T_{ort.gaz}}{P_{cyl} V_{cyl}} = \frac{1}{nR} \quad (7.18)$$

n ve R sabit kabul edilerek eşitlik (7.16) ve (7.17) beraber düzenlendiğinde;

$$T_{ort.gaz} = P_{cyl} V_{cyl} \frac{T_{ref}}{P_{ref} V_{ref}} \quad (7.19)$$

$T_{ort.gaz}$	Silindir içi ortalama gaz sıcaklığı (K)
P_{cyl}	çevrim basıncı (kPa)
V_{cyl}	Silindir hacmi (m ³)
T_{ref}	Emme supabının kapandığı noktadaki referans sıcaklık (K)
P_{ref}	Emme supabının kapandığı noktadaki silindir basıncı (kPa)
V_{ref}	Emme supabının kapandığı noktadaki silindir hacmi (m ³)

Ortalama gaz sıcaklığının hesaplanmasında, yanmanın stokiyometrik şartlarda gerçekleştiği kabul edilmiştir. Eşitlik (7.19) yardımı ile hesaplanan silindir içi ortalama gaz sıcaklığının ($T_{ort.gaz}$) anlık değişimi Şekil 7.7’de verilmiştir.



Şekil 7.7. Silindir içi ortalama gaz sıcaklığının değişimi.

BÖLÜM 8

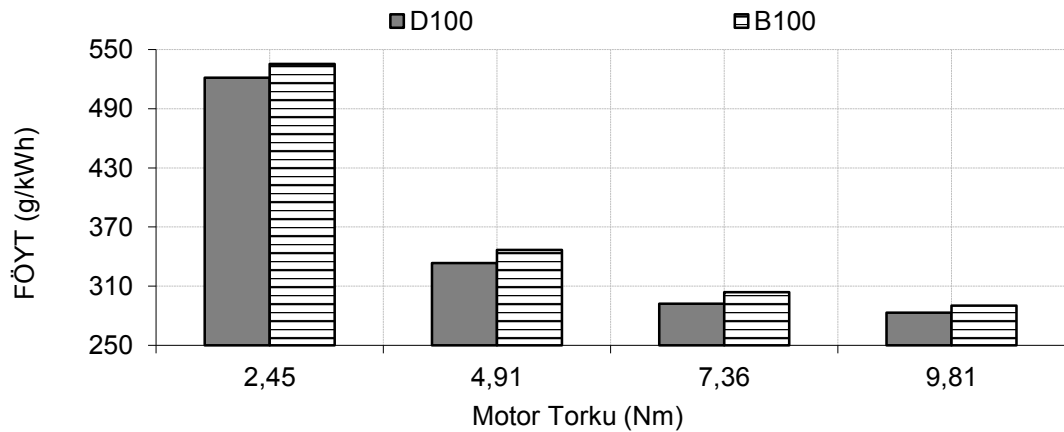
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada atık biyodizelden elde edilen B100 (%100 biyodizel) yakıtı ile D100 (%100 dizel yakıtı) yakıtlarının tek silindirli doğal emişli bir dizel motorda değişik motor yüklerinde, motor performansı, emisyon ve yanma karakteristiklerine etkisi incelenmiştir.

8.1. MOTOR YÜKÜNÜN ETKİSİ

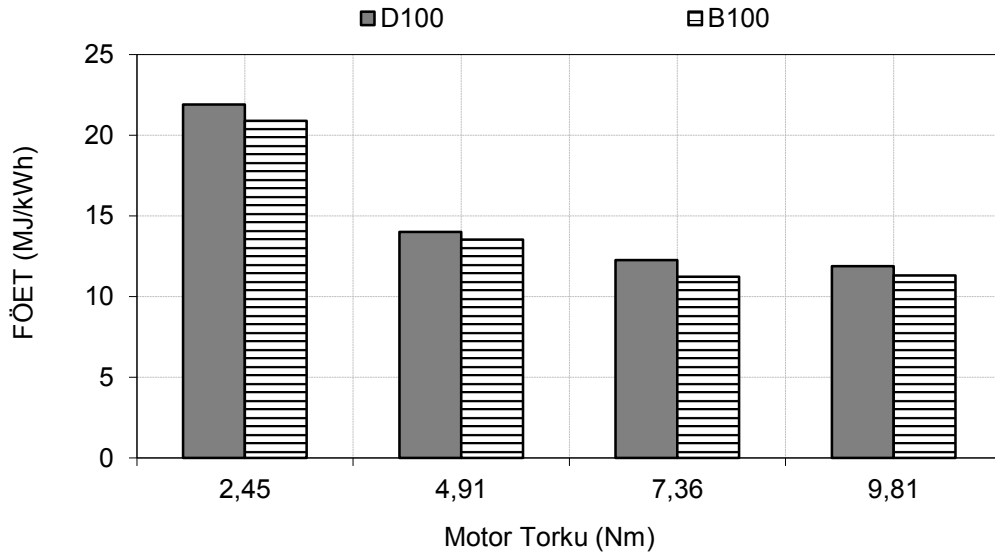
8.1.1. Motor Performansı

Motor yükü ve test yakıtların FÖYT'ye etkisi Şekil 8.1'de verilmiştir. Tüm motor yüklerinde B100 yakıtı kullanımında D100 yakıtına oranla FÖYT'de yaklaşık ortalama %3'lük bir artış gözlenmiştir. Bunun nedeni biyodizelin alt ısıl değerinin dizel yakıtına göre düşük olmasıdır. Motor yükü arttıkça FÖYT'de iyileşme gözlenmiştir. B100 ve D100 yakıtları arasındaki yaklaşık %3'lük fark 4,91 Nm ve 7,36 Nm motor yüklerinde %4'e yükselmiştir. Yük arttıkça FÖYT'nin düşmesinin nedeni yanma veriminin artması ve ısıl kayıpların azalmasıdır.



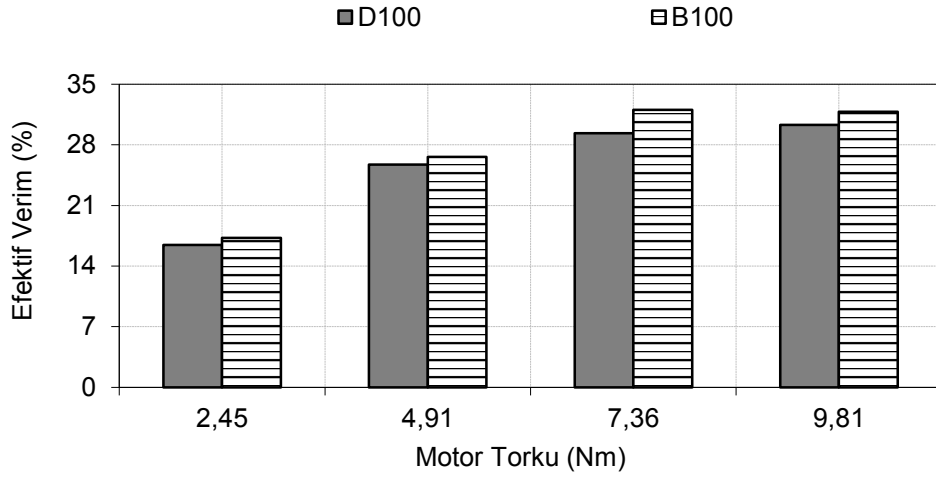
Şekil 8.1. Motor yükünün ve test yakıtlarının FÖYT'ye etkisi.

Motor yükünün ve test yakıtlarının FÖET'e etkisi Şekil 8.2' de verilmiştir. Özellikle farklı yoğunluk ve ısıl değerdeki yakıtların karşılaştırılmasında FÖET uygun bir parametredir. FÖET, belirli bir çıkış gücü için verilmesi gereken enerjiyi ifade eder ve FÖYT ve yakıtın ısıl değeri kullanılarak hesaplanır. 2,45 Nm de, B100 yakıtı kullanımında D100 yakıtına oranla FÖET'de yaklaşık %4,2 lik bir düşme, 4,91 Nm de %3,43'lük bir düşme, 7,36 Nm de %8,32 bir düşme ve 9,81 Nm de %4,8 lik bir düşme gözlenmiştir. Şekil 8.2' de görüldüğü gibi, test yakıtlarından B100 yakıtı bütün motor yüklerinde D100 yakıtına oranla daha düşük FÖET göstermiştir. Biyodizelin yapısında oksijen bulunması yanmayı iyileştirmekte ve FÖET dizel yakıtına göre daha düşük olmaktadır. Motor yükü arttıkça her iki yakıtta da FÖET azalmıştır.



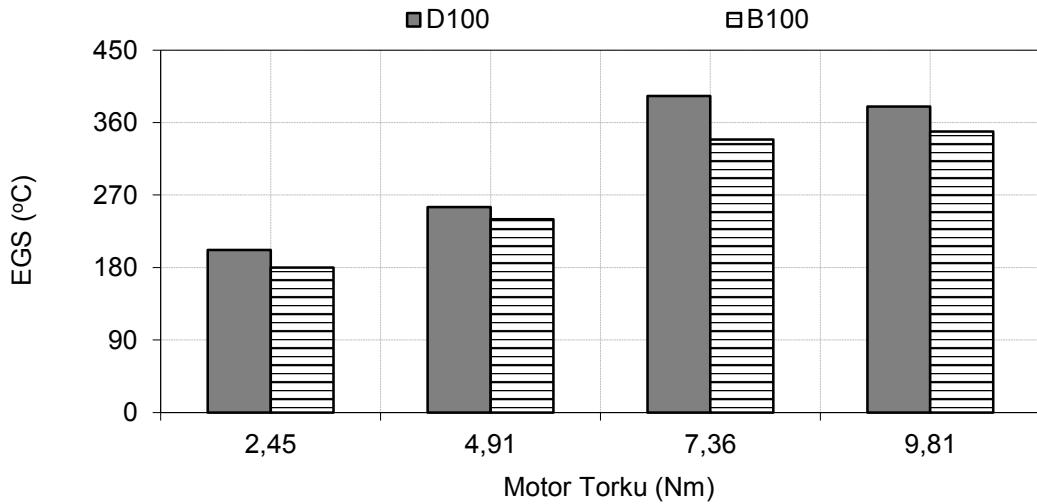
Şekil 8.2. Motor yükünün ve test yakıtlarının FÖET' ye etkisi.

Motor yükü ve test yakıtlarının efektif verim üzerine etkisi Şekil 8.3' te gösterilmiştir. 7,36 Nm motor yüküne kadar efektif verimde bir artış gözlenmekle birlikte bu değerden sonra H/Y oranının azalması nedeniyle efektif verimdeki artış azalmıştır. Bütün motor yüklerinde B100 yakıtı efektif verim açısından D100 yakıtına göre daha iyi performans göstermiştir. B100 yakıtı için efektif verim en yüksek değeri 7,36 Nm motor yükünde %9,13'lük bir artış göstermiştir. Efektif verim ile FÖET ters orantılı olarak değişir. FÖET azaldıkça efektif verim de artmaktadır.



Şekil 8.3. Motor yükünün ve test yakıtlarının efektif verime etkisi.

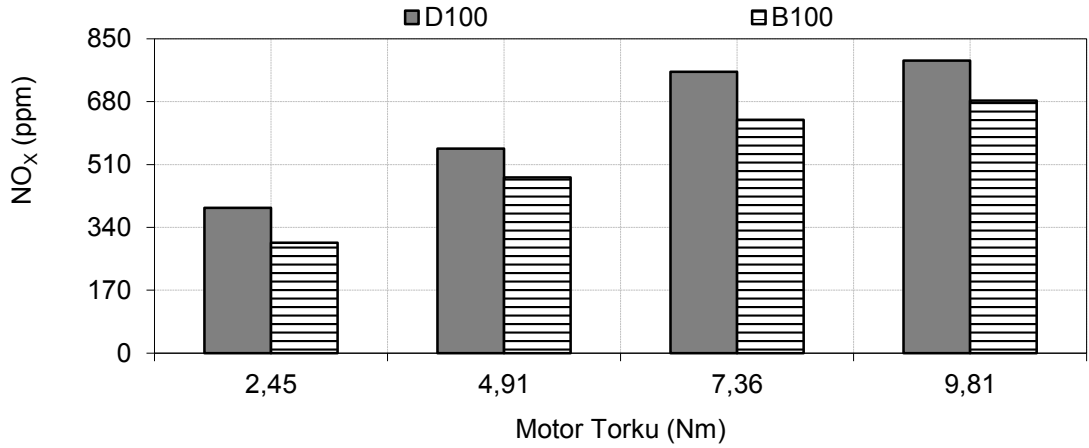
Motor yükünün B100 ve D100 yakıtlarında Egzoz Gaz Sıcaklığına (EGS) etkisi Şekil 8.4'te verilmiştir. Her iki yakıt için 7,36 Nm motor yüküne kadar EGS'de artış gözlenmekle birlikte bu motor yükünden sonra D100 yakıtı için EGS'de azalma görülürken B100 yakıtı için EGS'nin artmaya devam ettiği gözlenmiştir. Ancak bu artış çok küçük düzeydedir. B100 yakıtı tüm motor yüklerinde D100 yakıtına göre ortalama 30,5 °C daha düşük EGS' ye sahiptir. Bunun nedeni; biyodizel yakıtının standart dizel yakıtına göre daha uçucu olmasıdır. Genellikle yüksek uçuculuğa sahip yakıtlar buharlaşırken çevrelerinden ısıyı çekerek soğutma etkisi sağlarlar ve EGS' yi düşürürler [76].



Şekil 8.4. Motor yükünün ve test yakıtlarının EGS'ye etkisi.

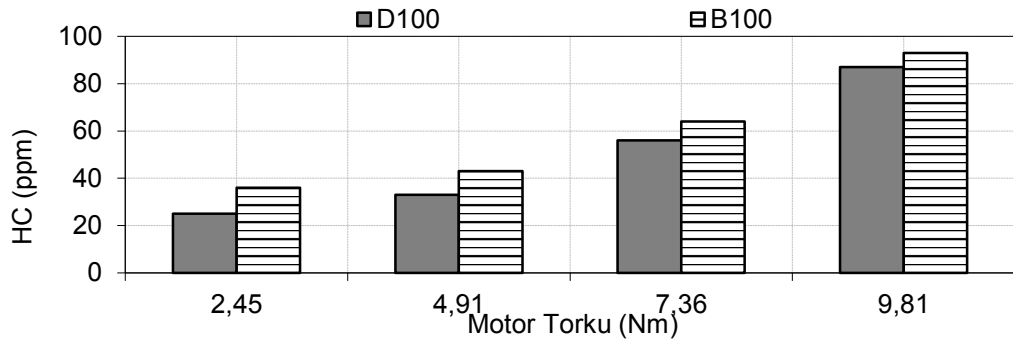
8.1.2. Egzoz Emisyonları

NO_x emisyonları havanın içerisinde bulunan azotun yüksek sıcaklıklarda oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu oluşmaktadır. Şekil 8.5 incelendiğinde NO_x miktarının motor yükü artışı ile arttığı görülmektedir. NO_x miktarının B100 yakıtında D100 yakıtına oranla ortalama %17,26'lık bir düşme olduğu görülmektedir. Bunun sebebi B100 yakıtının alt ısıl değerinin, D100 yakıtına göre daha düşük olmasından dolayı yanma sonu sıcaklıklarının daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar NO_x emisyonları açısından literatürdeki bazı çalışmalar ile benzerlik gösterirken, bazı çalışmalarda ise farklı sonuçlar göstermiştir.



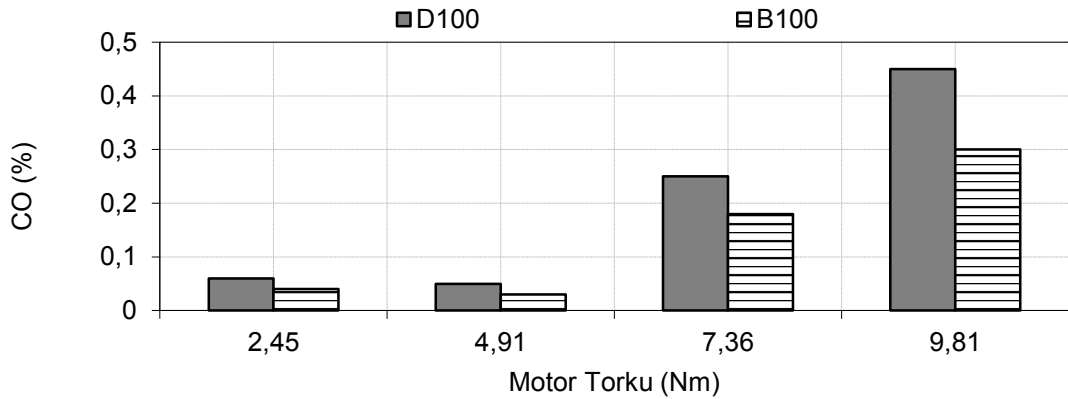
Şekil 8.5. Motor yükünün ve test yakıtlarının NO_x emisyonuna etkisi.

HC emisyonlarının oluşumu silindir içerisine gönderilen yakıtın hepsinin yanmaması sonucu dışarı atılan yakıttan kaynaklanmaktadır. Şekil 8.6' da B100 ve D100 yakıtların HC emisyonuna etkisi görülmektedir. HC emisyonunun motor yükü arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. B100 yakıtının HC emisyonunun D100 yakıtına göre ortalama %24 daha yüksek olması B100 yakıtının yoğunluğunun D100 yakıtına göre daha yüksek olduğundan kaynaklanmaktadır. Daha yüksek yoğunluklu yakıtlar karışımı zenginleştirmekte ve HC emisyonlarını artırmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar HC emisyonları açısından literatürdeki bazı çalışmalar ile benzerlik gösterirken, bazı çalışmalarda ise farklı sonuçlar göstermiştir.



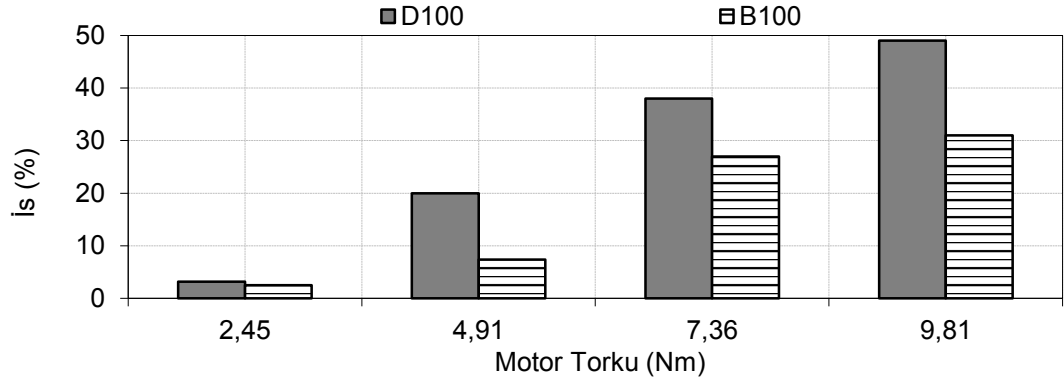
Şekil 8.6. Motor yükünün ve test yakıtlarının HC emisyonuna etkisi.

CO oluşumunun gerçek sebebi yeterli oksijen bulunmadığı için yanmanın eksik olmasıdır. Motor yükü arttıkça hava/yakıt oranı azalmakta ve CO miktarı da artmaktadır. Şekil 8.7’de B100 ve D100 yakıtlarının CO emisyonuna etkisi görülmektedir. Bütün motor yüklerinde B100 yakıtının CO emisyonu D100 yakıtına göre ortalama %33 daha düşüktür. Bunun nedeni, B100 yakıtının yapısında oksijen bulunmasıdır.



Şekil 8.7. Motor yükünün ve test yakıtlarının CO emisyonuna etkisi.

Şekil 8.8’de B100 ve D100 yakıtının is emisyonlarına etkisi görülmektedir. Yakıtın hava ile yeterli düzeyde karışamaması ve karbon taneciklerinin yeterli oksijen bulamaması is emisyonunu artırmaktadır. Yük arttıkça motora verilen yakıt miktarı da arttığı için is emisyonu artan motor yüküne paralel olarak artmıştır. Bütün motor yüklerinde B100 yakıtının is emisyonları D100 yakıtına göre ortalama %31 daha düşük çıkmıştır. B100 yakıtının oksijen içeriğinden dolayı hava/yakıt oranı daha yüksek olduğundan karışım daha fakirdir. Bu durum is emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olur.

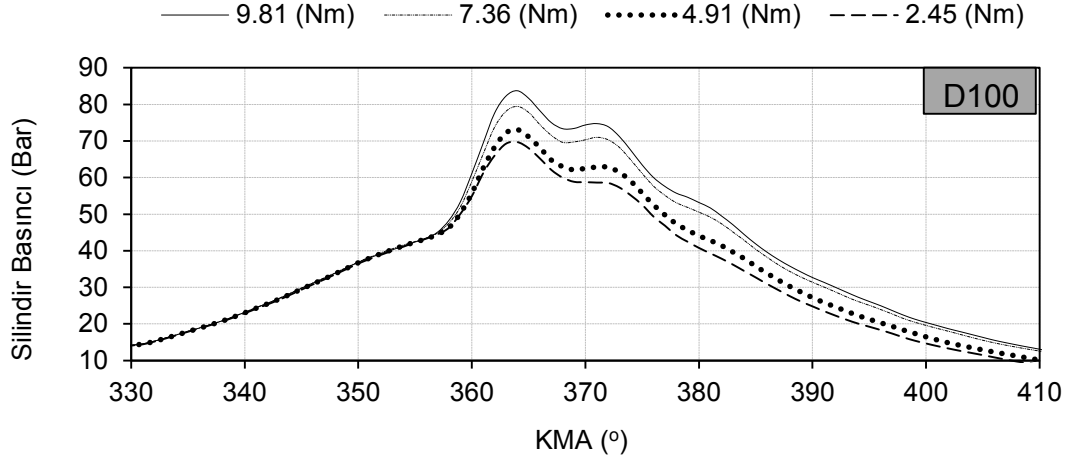


Şekil 8.8. Motor yükünün ve test yakıtlarının ıs emisyonuna etkisi.

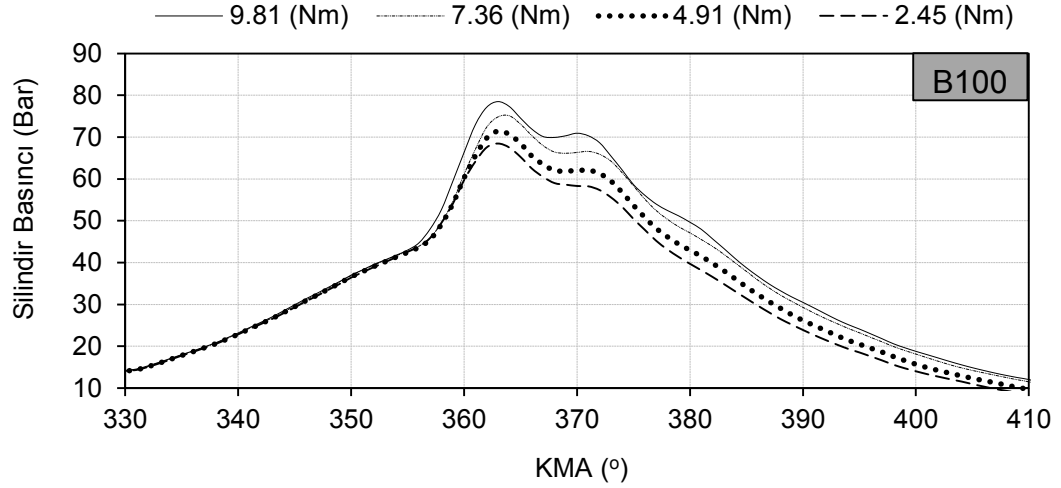
8.1.3. Yanma Karakteristikleri

Yanma odasında gerçekleşen olayları ve yanma sürecini anlamak için silindir içi basınçlarının ölçülmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. İçten yanmalı motorlar, iş yapmak için motor silindirleri içerisinde basınç oluştururlar. Bu sebeple, yüksek yanma sonu basıncı istenen bir durumdur. Ancak, aşırı yüksek ve değişken silindir içi basınçların motor yataklarının kropaj yapmasına ve krank milinin aksenal yönde burkulmasına neden olacağından bu durumdan kaçınılmalıdır. Maksimum basınç (P_{maks}) ve P_{maks} artış hızı bilgisi, test edilen yakıtların motora sağlayacağı olası katkıların olumlu veya olumsuzluğu hakkında bir sonuca varılmasına yardımcı eder. Krank mili açısı ile silindir içi basınçlarının değişimi arasındaki ilişki motor performansı ile ilgili bilgiler verir. İçten yanmalı motorlarda tutuşma gecikmesi, P_{maks} 'ın değeri, P_{maks} 'ın olduğu yer, silindir içi basınçların artış hızı, vuruntu, yanma süresi gibi bilgilere ulaşmak için silindir içi basınçların ölçülerek değerlendirilmesi gerekmektedir.

Şekil 8.9'da D100 yakıtının, Şekil 8.10'da B100 yakıtının silindir içi basınç değerlerinin krank mili açısına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Dizel motorlardaki silindir basıncı, ani yanma fazındaki yakıtın yanma hızına ve yakıtın alt ısı değerine bağlıdır. D100 yakıtının silindir içi basınç değerinin B100 yakıtına oranla ortalama %6,6 daha yüksek çıkması; D100 yakıtının alt ısı değerinin B100 yakıtına göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

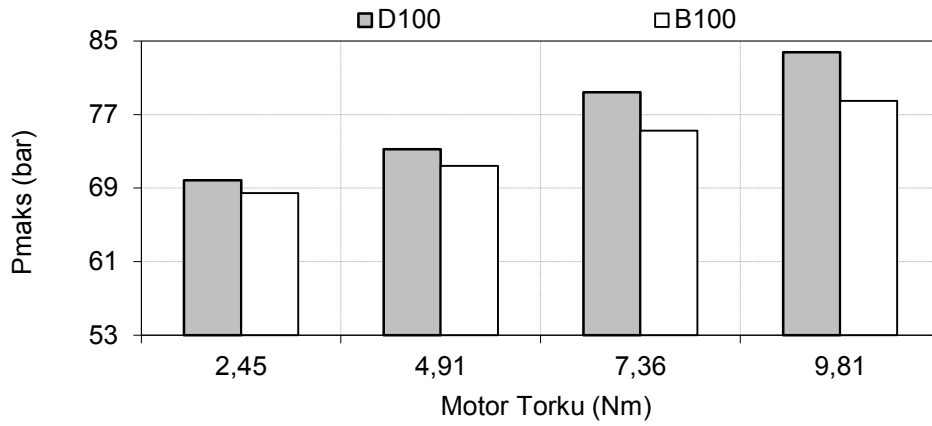


Şekil 8.9. Motor yükünün ve test yakıtlarının silindir basıncına etkisi.



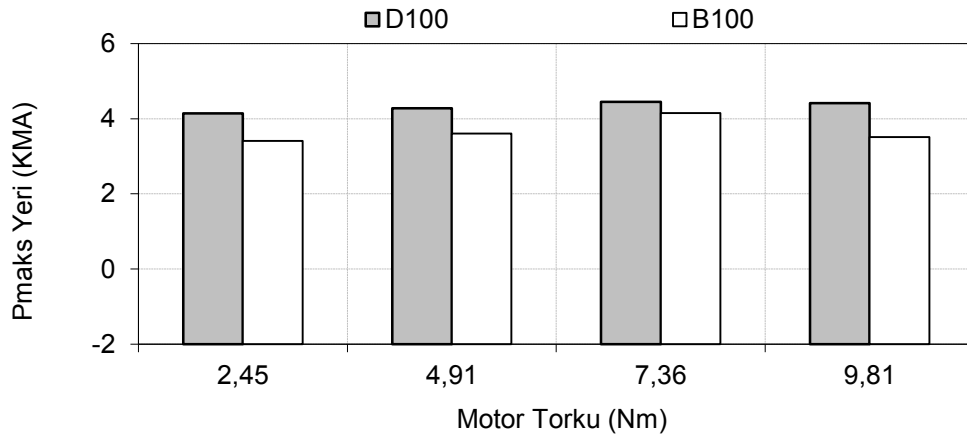
Şekil 8.10. Motor yükünün ve test yakıtlarının silindir basıncına etkisi.

Motor yükünün B100 ve D100 yakıtları için P_{maks} değerleri Şekil 8.11'de verilmiştir. P_{maks} , tutuşma gecikmesi tarafından yönlendirilen ani yanma fazında püskürtülen yakıt miktarına bağlıdır. Daha uçucu ve daha düşük enerji içeriğine sahip yakıtlar, tutuşma gecikmesindeki artış ile birlikte ani yanma periyodundaki yakıt miktarının artışına sebep olurlar ve P_{maks} 'ı artırır. Dolayısı ile P_{maks} aynı zamanda, ani yanma periyodu öncesi tutuşma gecikmesi periyodunda biriken yakıt miktarının da bir göstergesidir. D100 yakıtı ile %100 motor yükünde maksimum yaklaşık 84 bar basınç elde edilirken, B100 yakıtı ile yaklaşık 80 bar basınç elde edilmiştir.



Şekil 8.11. Motor yükünün ve test yakıtlarının Pmaks'a etkisi.

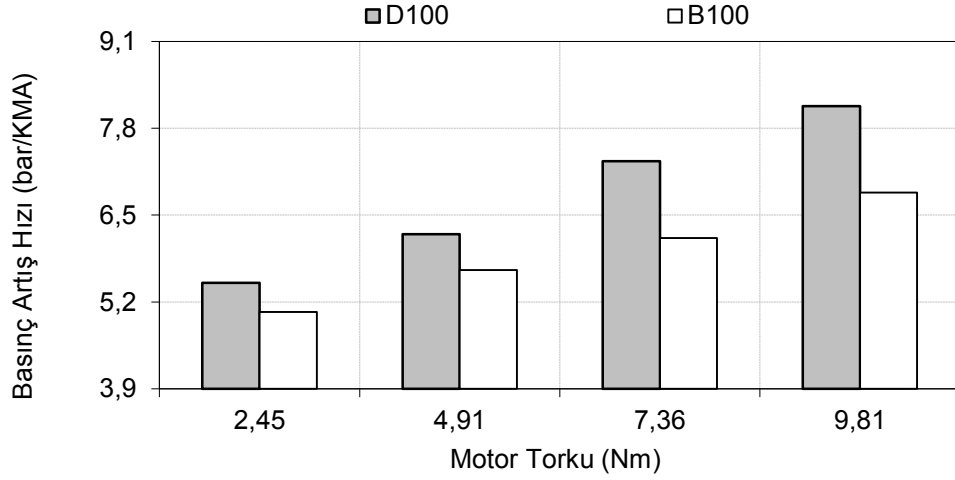
Motor yükünün B100 ve D100 yakıtları için Pmaks'ın yeri değerleri Şekil 8.12'de verilmiştir. D100 yakıtı ile maksimum basınç ÜÖN'yi yaklaşık 4 KMA geçe oluşmuştur. B100 yakıtı ile çalışmada, dizel yakıtına göre Pmaks bütün motor yüklerinde ortalama 0,5 KMA daha önce oluşmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Pmaks'ın yeri açısından literatürdeki bazı çalışmalar ile benzerlik gösterirken, bazı çalışmalarda ise farklı sonuçlar göstermiştir.



Şekil 8.12. Motor yükünün ve test yakıtlarının Pmaks yerine etkisi.

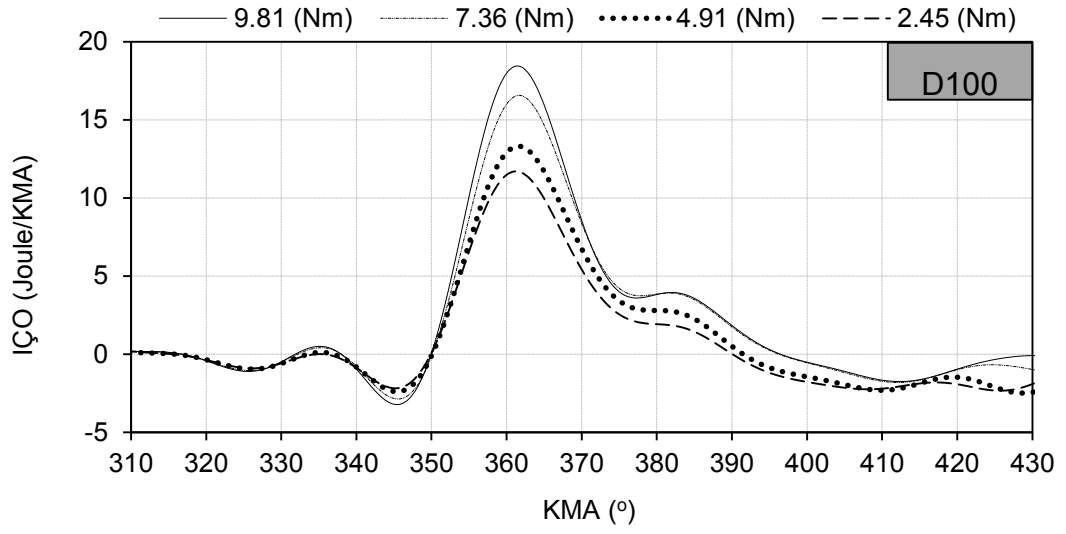
Motor yükünün B100 ve D100 yakıtları için basınç artış hızının krank mili açısına bağlı değişimi Şekil 8.13'te gösterilmiştir. Basınç artış hızı, ölçülen silindir basıncının birinci türevinin maksimum değeridir ve motorun yumuşak veya sert çalışmasını etkiler. Genellikle, biyodizel yakıtlarının basınç artış hızı dizel yakıtlı motor çalışmasına göre daha düşüktür. B100 yakıtının D100 yakıtına oranla basınç

artış hızı, artan motor yükü ile azalmıştır. B100 yakıtı D100 yakıtına göre ortalama %12 değerinde daha düşük basınç artış hızına sahiptir. Bunun nedeni B100 yakıtının tutuşma gecikmesinin daha kısa sürmesi nedeniyle silindiri içinde biriken yakıt miktarının az olması ve dolayısıyla ani yanma periyodunun daha kısa olmasından kaynaklanmaktadır.

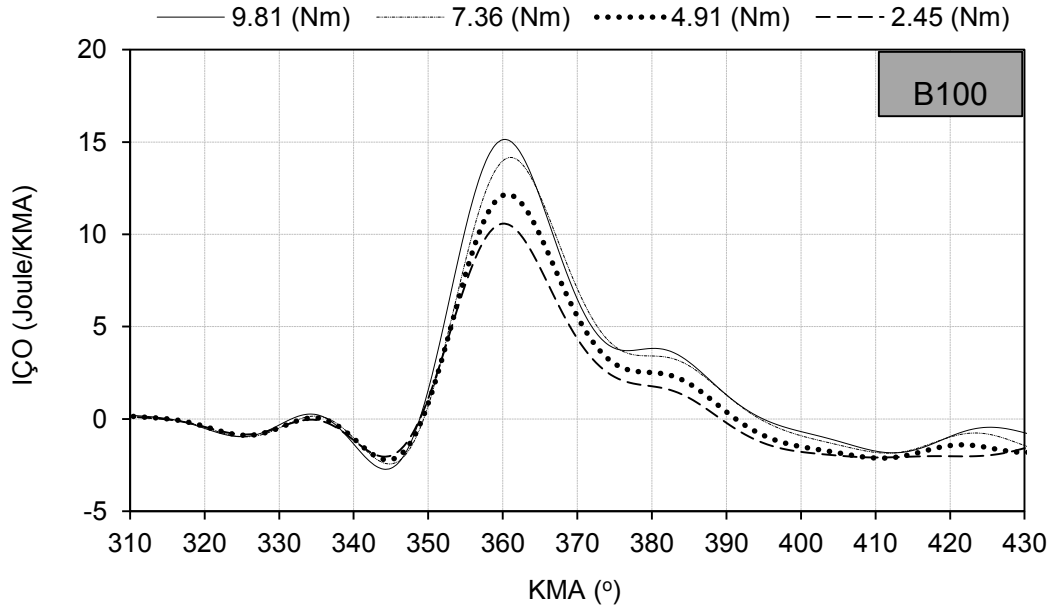


Şekil 8.13. Motor yükünün ve test yakıtlarının basınç artış hızına etkisi.

Motor yükünün ve test yakıtlarının İÇÖ'ya etkisi Şekil 8.14'te ve Şekil 8.15'te gösterilmiştir. İÇÖ özellikle yakıtın tutuşma noktasının belirlenmesinde, NO_x ve is emisyonlarının oluşmasında etkilidir. Belirli bir motor yükü için, D100 yakıtı ile çalışmada B100 yakıtına göre ısı açığa çıkışının başlaması gecikmektedir. Isı açığa çıkışının bitimi ise genellikle değişmemiştir. Artan motor yükünün İÇÖ'nun başlangıç ve bitiş noktasına herhangi bir etkisi gözlenmemiştir. Biyodizelin setan sayısı daha yüksektir. Bundan dolayı biyodizel ile yapılan çalışmada yakıtın tutuşmaya başladığı nokta daha önce olmaktadır. B100 yakıtının alt ısıl değerinin düşük olması nedeniyle İÇÖ D100 yakıtına göre daha düşük ölçülmüştür.

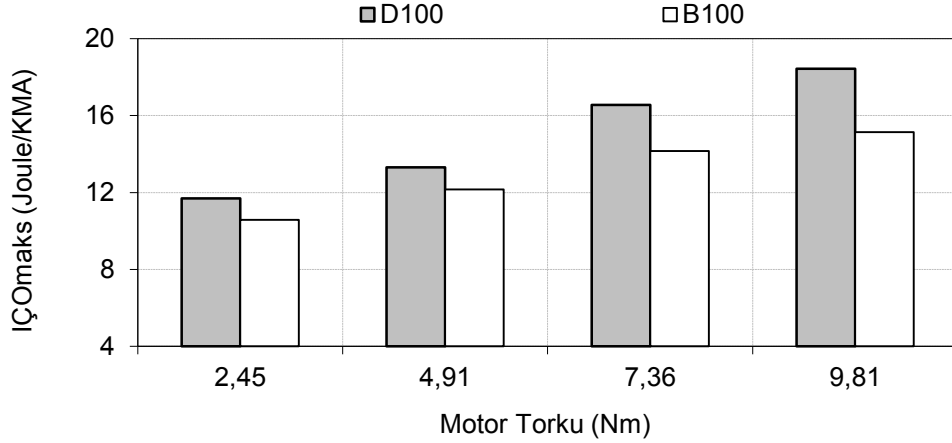


Şekil 8.14. Motor yükünün ve test yakıtlarının IÇO'ya etkisi.



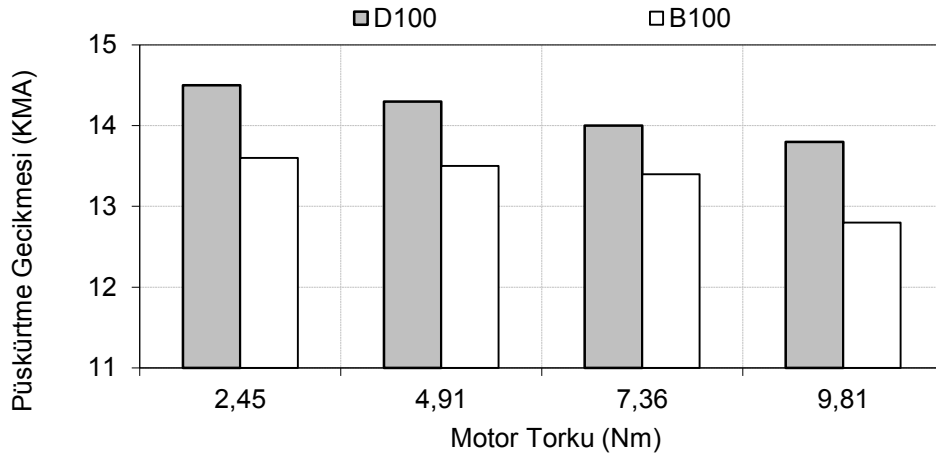
Şekil 8.15. Motor yükünün ve test yakıtlarının IÇO'ya etkisi.

Motor yükünün ve test yakıtlarının IÇO'nun maksimum değerine ($I\dot{C}O_{maks}$) etkisi Şekil 8.16'da gösterilmiştir. Motor yükü arttıkça IÇO'nun maksimum değeri de artmaktadır. Bütün motor yüklerinde, D100 yakıtının IÇO'nun maksimum değeri B100 yakıtına kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni; D100 yakıtının alt ısıl değerinin yüksek olmasıdır.



Şekil 8.16. Motor yükünün ve test yakıtlarının İÇO_{maks}'a etkisi.

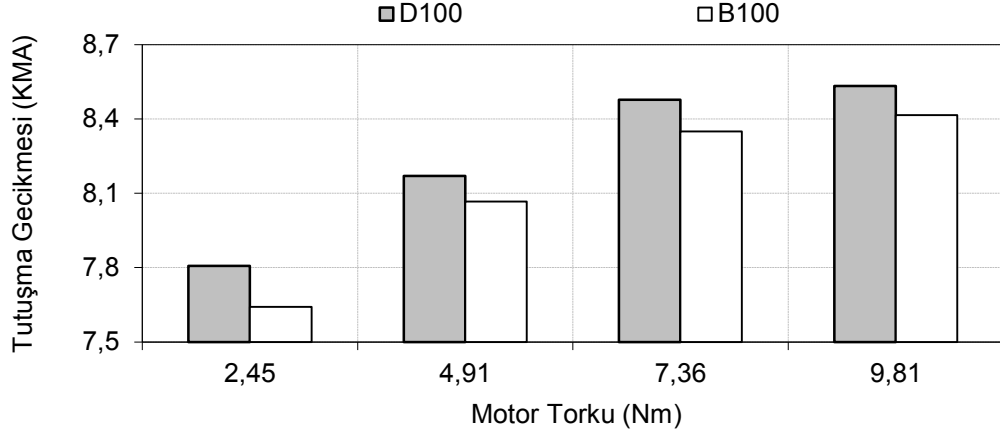
Motor yükünün ve test yakıtlarının püskürtme gecikmesine etkisi Şekil 8.17'de gösterilmiştir. Bu çalışmada püskürtme gecikmesi, statik püskürtme açısı ile dinamik püskürtme açısı arasındaki fark olarak alınmıştır. Genel olarak, artan motor yükü ile yakıt miktarı arttığı için püskürtme gecikmesi azalmaktadır. B100 yakıtının püskürtme gecikmesi D100 yakıtına göre 1 KMA daha düşük çıkmıştır. Yüksek yoğunluğa sahip yakıtlarda püskürtme gecikmesi azalmaktadır [77].



Şekil 8.17. Motor yükünün ve test yakıtlarının püskürtme gecikmesine etkisi.

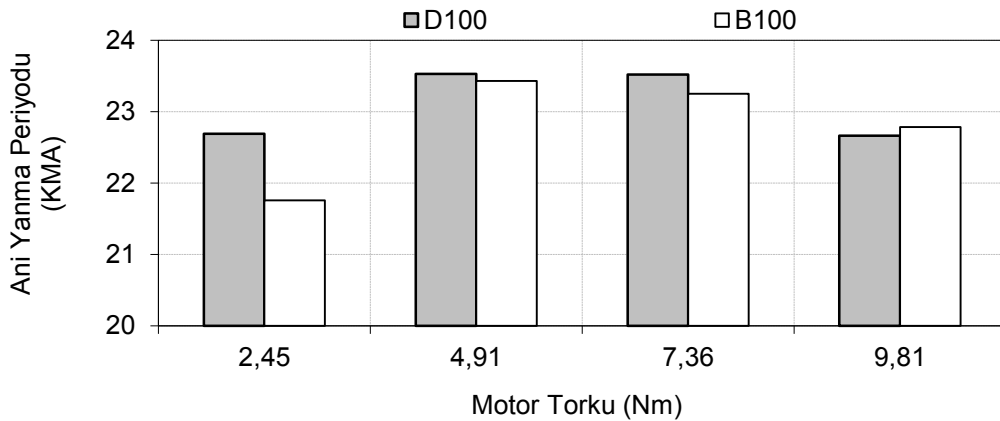
Motor yükünün ve test yakıtlarının tutuşma gecikmesine etkisi krank mili açısı cinsinden Şekil 8.18'de verilmiştir. Genel olarak, motor yükü arttıkça tutuşma gecikmesi de artış göstermiştir. D100 yakıtının yüksek uçuculuğu (düşük parlama noktası) yakıtın yanma odasında buharlaşmasını kolaylaştırırken silindir içi sıcaklıkların düşmesine ve tutuşma gecikmesinin B100 yakıtına göre daha yüksek

olmasına neden olur. Ayrıca B100 yakıtının setan sayısının yüksek olması tutuşma gecikmesinin daha kısa olmasında etkilidir.



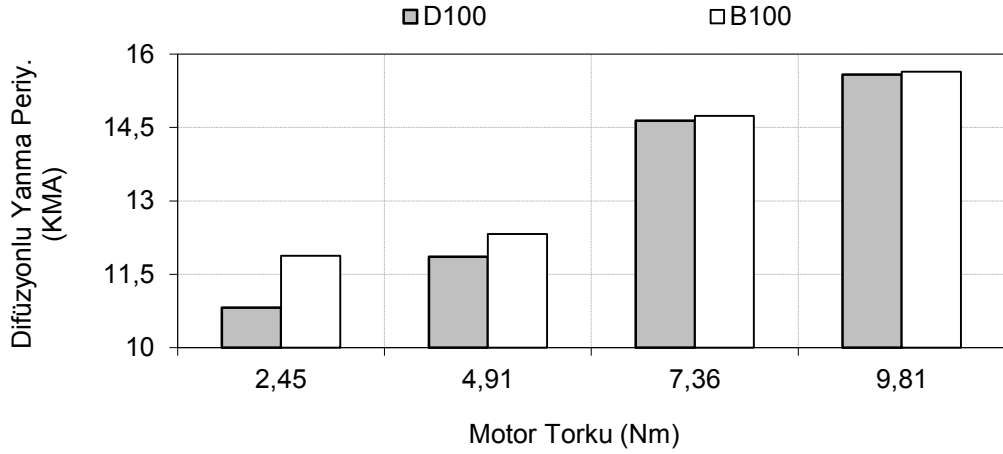
Şekil 8.18. Motor yükünün ve test yakıtlarının tutuşma gecikmesine etkisi.

Şekil 8.19’da görüldüğü gibi ani yanma periyodu 7,36 Nm motor yüküne kadar bir miktar artış göstermiş ancak bu değerden sonra azalma eğilimi göstermiştir. Bu durum motor yükünün artışı ile yanma odasındaki artan yakıt miktarı ile ilişkilendirilebilir. D100 yakıtının tutuşma gecikmesinin daha fazla olması, ani yanma periyodunun B100 yakıtına göre daha uzun olmasına neden olmuştur. Ancak %100 motor yükünde tutuşma gecikmesi süresinin kısalması nedeniyle silindir içinde biriken yakıt miktarı da azalmaktadır. Bu nedenle ani yanma periyodu yüksek motor yüklerinde orta motor yüklerine kıyasla daha kısa sürmektedir.



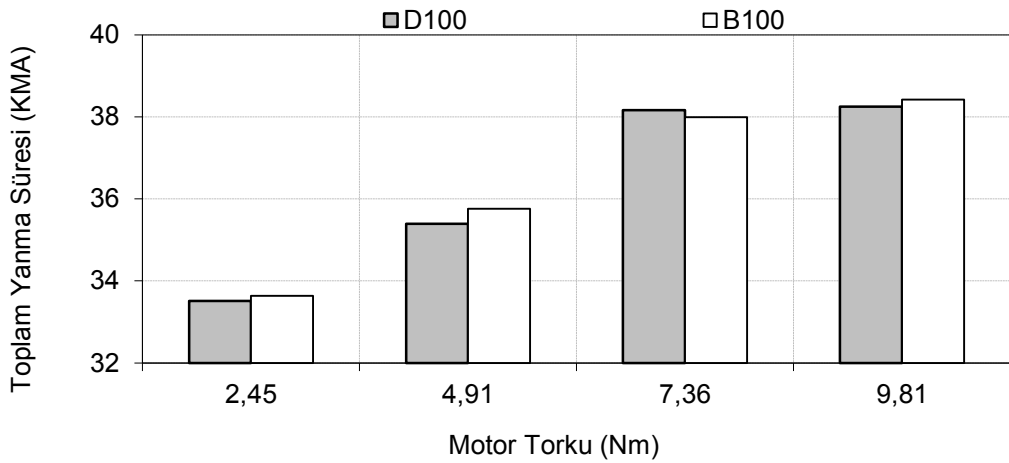
Şekil 8.19. Motor yükünün ve test yakıtlarının ani yanma periyoduna etkisi.

Şekil 8.20’de görüldüğü gibi difüzyonlu yanma periyodu artan motor yüküne bağlı olarak artış göstermiştir. D100 yakıtının ani yanma periyodu B100 yakıtına göre daha uzun olduğundan dolayı, D100 yakıtının difüzyonlu yanma periyodu daha kısa olmuştur.



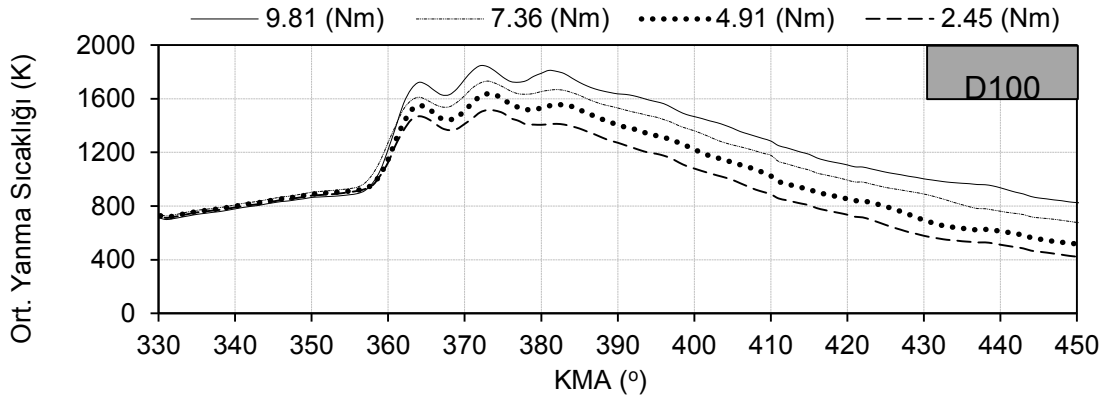
Şekil 8.20. Motor yükünün ve test yakıtlarının difüzyonlu yanma periyoduna etkisi.

Şekil 8.21’de görüldüğü gibi toplam yanma süresi ani yanma ve difüzyonlu yanma periyodunun toplamı olduğundan dolayı her iki yakıt türü için; artan motor yüküne bağlı olarak artış göstermiştir. Toplam yanma süresi değişik motor yüklerinde farklılık göstermekle birlikte genel itibariyle her iki yakıtta da yanmanın çok yakın sürelerde tamamlandığı görülmüştür.



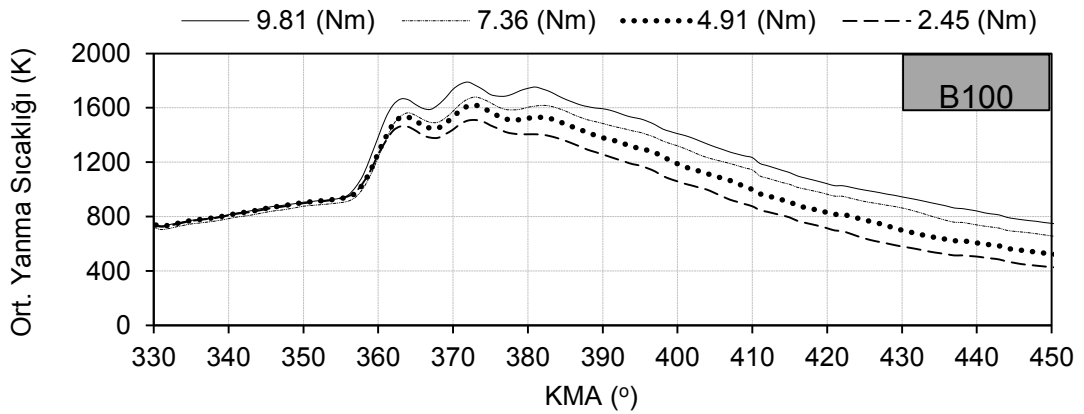
Şekil 8.21. Motor yükünün ve test yakıtlarının toplam yanma süresine etkisi.

Şekil 8.22’de D100 yakıtı için KMA’ya bağlı olarak bütün motor yüklerinde ortalama yanma sıcaklığı grafiği verilmiştir. Ortalama yanma sıcaklığı %25 motor yükünde en düşük değeri olan 1516 K sıcaklığa, %100 motor yükünde en yüksek değeri olan 1846 K sıcaklığa ulaşmıştır. Ortalama yanma sıcaklığı bütün motor yüklerinde en yüksek değerine ÜÖN’yi 3-30 KMA geçtiği aralıkta ulaştığı görülmektedir. Bu durum ani yanma ve difüzyonlu yanmanın süresi ve yeri ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 8.22. Motor yükünün ve test yakıtlarının ortalama yanma sıcaklığına etkisi.

Şekil 8.23’te B100 yakıtı için bütün motor yüklerinde ortalama yanma sıcaklığı grafiği verilmiştir. B100 yakıtı ortalama yanma sıcaklığı grafiği genel olarak D100 yakıtına benzerlik göstermektedir. Ancak B100 yakıtı için en yüksek ortalama yanma sıcaklığı %25 motor yükünde 1511 K, %100 motor yükünde 1789 K olmuştur. Bu durum biyodizelin alt ısıl değeri ile ilişkilidir.



Şekil 8.23. Motor yükünün ve test yakıtlarının ortalama yanma sıcaklığına etkisi.

BÖLÜM 9

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda atık yağdan elde edilen biyodizel yakıtı (B100) ile standart dizel bir yakıtın (D100) sabit bir hızda ve değişik motor yüklerinde motor performansı, egzoz emisyonu ve yanma karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir.

Deney motoru, B100 ve D100 yakıtları ile sabit hızda (2600 d/d) ve değişik (2,45; 4,91; 7,36; 9,81 Nm) motor yüklerinde test edilirken, FÖYT, FÖET, efektif verim, EGS, NO_x, HC, CO ve is emisyonlarına ait veriler elde edilmiştir.

Testler sırasında; yanma analizleri için silindir basınçları, Pmaks, Pmaks yeri, basınç artış hızı, İÇO, İÇO_{maks}, püskürtme gecikmesi, tutuşma gecikmesi, yanma başlangıcı, ani yanma periyodu, difüzyonlu yanma periyodu, toplam yanma süresi ve ortalama yanma sıcaklığı ile ilgili değerler alınmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar ve ilgili değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

B100 ve D100 yakıtları ile yapılan testler motor performansı açısından değerlendirildiğinde; B100 yakıtı kullanımında D100 yakıtına oranla FÖYT’de yaklaşık %3’lük bir artış, FÖET’de yaklaşık %5’lük bir düşme gözlenmiştir. B100 yakıtı efektif verim açısından D100 yakıtına göre bütün motor yüklerinde ortalama %5,62’lik daha iyi performans göstermiştir. B100 yakıtının tüm motor yüklerinde D100 yakıtına göre ortalama 30,5 °C daha düşük EGS değeri çıkmıştır.

B100 ile D100 yakıtı egzoz emisyonu açısından değerlendirildiğinde, NO_x miktarının B100 yakıtında D100 yakıtına oranla ortalama %17,26 daha düşük olduğu görülmüştür. HC emisyonu ise; biyodizel ile çalışmada tüm yüklerde ortalama %24

daha yüksek çıkmıştır. B100 yakıtının D100 yakıtına göre CO emisyonunun yaklaşık %33 daha düşük olduğu belirlenmiştir. B100 yakıtının is emisyonları D100 yakıtı is emisyonlarına göre ortalama %31 daha düşük çıkmıştır.

B100 ile D100 yakıtının sabit hızda ve değişik motor yüklerinde çalışmasının yanma karakteristikleri açısından değerlendirildiğinde; B100 yakıtı ile çalışmada D100 yakıtına oranla ortalama %5-10 arasında daha düşük ortalama silindir basıncı ve P_{maks} değeri ölçülmüştür. B100 yakıtı, P_{maks} 'ın yerini D100 yakıtına göre ortalama $0,5^\circ$ KMA öne çekmiştir. B100 yakıtı D100 yakıtına göre ortalama %12 değerinde daha düşük basınç artış hızı vermiştir. B100 yakıtın da $I\dot{C}O$ ve $I\dot{C}O_{maks}$, D100 yakıtına göre daha düşük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. B100 yakıtı D100 yakıtına göre yaklaşık 1 KMA daha kısa püskürtme gecikmesine sahip olduğu tespit edilmiştir. B100 yakıtının tutuşma gecikmesinin D100 yakıtına göre daha kısa olduğu belirlenmiştir. Ani yanma periyodunun orta yüklerde daha uzun, düşük ve yüksek yüklerde ise daha kısa sürdüğü görülmüştür. %100 motor yükü haricinde diğer motor yüklerinde B100 yakıtının ani yanma periyodu D100 yakıtına göre daha kısa sürmüştür. Difüzyonlu yanma periyodunun artan motor yüküne paralel olarak arttığı görülmüştür. Tüm motor yüklerinde B100 yakıtının difüzyonlu yanma periyodunun D100 yakıtına göre daha uzun sürdüğü belirlenmiştir. Toplam yanma süresi değişik motor yüklerinde farklılık göstermekle birlikte genel itibari ile B100 yakıtı ile D100 yakıtı ile çalışmada yanmanın çok yakın sürelerde tamamlandığı görülmüştür. Dizel yakıtının alt ısıl değeri, biyodizele göre daha yüksek olduğundan ortalama yanma sıcaklığı dizel yakıtında daha yüksektir. B100 ve D100 yakıtları için ortalama yanma sıcaklıkları arasındaki fark %25 motor yükü için yaklaşık 10 K iken %100 motor yükünde yaklaşık 33 K olmuştur.

Deney sonuçları, motor yakıt sisteminde herhangi bir değişikliğe gidilmeksizin dizel yakıt yerine atık biyodizel kullanılabileceğini göstermektedir.

Atık biyodizel yakıtlarının dizel motorlarda ve özellikle, yakıt enjeksiyon sistemi, piston, segman ve motor gömlekleri üzerinde yapabileceği etkiler ayrıntılı olarak incelenebilir. Biyodizel yakıt sıcaklığı ve emme havası sıcaklığının değişiminin performansa etkisi incelenebilir.

Atık biyodizel ile çalışmada optimum püskürtme avansı ve püskürtme basıncı belirlenerek performans ve emisyonlar daha fazla iyileştirilebilir.

Atık yağların toplanması ve biyodizel yakıtına dönüştürülmesi ile ilgili teşvikler ve kamuoyu bilinçlendirilmesi yapılmalı böylece daha fazla atık yağın hem çevreye vereceği muhtemel zararın azaltılması hem de dizel motorlarda enerji kaynağı olarak kullanılması ile enerjide dışa bağımlı ülkemizin enerji ihtiyacı kısmen de olsa azaltılabilir.

KAYNAKLAR

1. Yıldırım, S., “Dünyada ve Türkiye’de petrol”, *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Ekonomik Araştırmalar ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü Petrol Raporu*, 11-30 (2003).
2. Pamir N., “Küreselleşmenin Enerji sektöründe Yapısal Değişim Programı ve Enerji Politikaları”, *Enerji Politikaları ve Küresel Gelişmeler, V. Enerji Sempozyumu*, Ankara, 67, (2005).
3. İnternet: BP Global, “BP Statistical Review of World Energy June 2014”, <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf> (2014).
4. Öğüt, H., ve Oğuz, H., “Üçüncü milenyum yakıtı biyodizel 2.baskı ”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 1- 25 (2006).
5. İnternet: Kadıköy Belediyesi, “Evlerden bitkisel atık yağ toplama projesi” http://www.atikyonetimi.kadikoy.bel.tr/Files/atikyag_sunum_2013.pdf (2013).
6. Çetinkaya, M., ve Karaosmanoğlu, F., “Biodiesel as a generator fuel”, *8th international Combustion Symposium*, Ankara, 1-11 (2004).
7. Özsezen, A. N., ve Çanakcı, M., “Atık palmiye ve kanola yağı metil esterlerinin kullanıldığı direkt püskürtmeli bir dizel motorda performans ve yanma”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (2): 275-404 (2009)
8. Behçet, R., ve Çakmak, A. V., “ Bir dizel motorda yakıt olarak kullanılan balık yağı metil esteri karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkisi” *6th International Advanced Technologies Symposium*, (IATS’11), Elazığ, 161-165 (2011)
9. Alpgiray, B.,”Kanola yağının dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-74 (2006)
10. Sugözü, İ., Aksoy, F., ve Baydır, Ş. A., “Atık motor yağının alternatif yakıt olarak bir dizel motorunda kullanılması”, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1 (1): 9-16 (2009).
11. Behçet, R., Çakmak, A. V., Aydın, S., İlkılıç, C., ve Aydın, H., “Atık kızartma yağı metil esterinin bir dizel motorunda motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması”, *6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Elazığ, 72-76 (2011).

12. Sekmen, Y., “Karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterinin dizel motorlarda yakıt olarak kullanılması” *Teknoloji Dergisi*, 10 (4): 295-302 (2007).
13. Sekmen, Y., ve Aktaş, A., “Soya yağı metil esterinin motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 11 (3): 249-254 (2008).
14. Oğuz, H., “Dizel yakıtı-ayçiçek yağı karışımlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 5-9 (1998).
15. Ceviz, A. M., Koncuk, F., Yüksel, F., Küçük, Ö. ve Gören, C. A., “Beş farklı bitkisel yağdan üretilen biyodizeller ile dizel yakıtının motor performans ve emisyon karakteristiklerinin karşılaştırmalı Analizi”, *Mühendis ve Makina*, 50: 20-26, (2009).
16. Ulusoy, Y., Tekin, Y., Çetinkaya, M., and Karaosmanoğlu, F., “The engine tests of biodiesel from used frying oils”, *Energy Sources*, 26: 927-932 (2004).
17. Doğan, O., “Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-177 (2012).
18. Canakci, M., “Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel”, *Bioresource Technology*, 98 (6): 1167-1175 (2007).
19. Yoon, S. H., & Lee, C. S., “Experimental investigation on the combustion and exhaust emission characteristics of biogas–biodiesel dual-fuel combustion in a CI engine”, *Fuel Processing Technology*, 92 (5): 992-1000 (2011).
20. Lin, Y. F., Wu, Y. P. G., & Chang, C. T. “Combustion characteristics of waste-oil produced biodiesel/diesel fuel blends”, *Fuel*, 86 (12): 1772-1780 (2007).
21. Can, Ö., “Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture”, *Energy Conversion and Management*, 87: 676-686 (2014).
22. Parthasarathi, R., Gowri, S., & Saravanan, C. G., “Experimental Investigation Of Performance, Emission And Combustion Characteristics Of Kirloskar TVI DI Diesel Engine Using Diesel-Ethanol-Surfactant As Fuel”. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7 (11): 1468-1472 (2012).
23. Bosch, R., "Automotive handbook", *Robert Bosch GmbH*, Plochingen, 7. Edition, 313-314 (2007).
24. Svensson, K. I., "Effects of fuel molecular structure and composition, on soot formation in direct-injection spray flames", PhD. Thesis, *Brigham Young University, Department of Mechanical Engineering*, USA, 1-160 (2005).

25. Yang, H. H, Chen, H. W., Chen, C. B, and Chien, S. M., "Effect of fuel properties on particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbon emission from diesel engine in Taiwan", *International Journal of Applied Science and Engineering*, 3 (1): 27-36 (2005).
26. Kotzé, J., "A comparative study on the performance of biodiesel in a modern 1.9 litre turbo diesel engine", Msc. Thesis, *University of Stellenbosch, Department of Mechanical and Mechatronic Engineering*, South Africa, 10-79, (2010).
27. İcingür, Y., Altıparmak D., "Effect of fuel cetane number and injection pressure on a DI diesel engine performance and emissions", *Energy Conversion and Management*, 44 (3): 389-397 (2003).
28. Ickes, A. M., "Fuel property impact on a premixed diesel combustion mode", PhD. Thesis, *University of Michigan, Department of Mechanical Engineering*, USA, 1-148 (2009).
29. Borat, O., Balcı, M., ve Sürmen, A., "İçten yanmalı motorlar, Cilt 1 ", *G. Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası*, Ankara, 18-100 (1994).
30. Safgönül, B., "Pistonlu motorlar, Cilt-1", *ITU Makine Fakültesi*, İstanbul, 136-145 (1989).
31. Yoshida, E., Nomura, H., and Sekimoto, M., "Fuel and engine effects on diesel exhaust emissions", *SAE Technical Paper* 860619 (1986).
32. Oh, S. K., Baik, D. S., and Han, Y. C., "Emission characteristics in ultra low sulfur diesel", *International Journal of Automotive Technology*, 4 (2): 95-100 (2003).
33. Zhang, J., He, K., Ge, Y., and Shi, X., "Influence of fuel sulfur on the characterization of PM10 from a diesel engine", *Fuel*, 88 (3):504-510 (2009).
34. Lin, C. Y., Jeng, Y. L., Wi, C.-S., and Wu, K. J., "Influences of fuel sulfur content on diesel engine emission characteristics under varying temperature and humidity of inlet air", *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 31 (4): 765-782 (1996).
35. Erwin, J., "Assay of diesel fuel components properties and performance", *Symposium on Processing and Product Selectivity on Synthetic Fuels*, Washington D.C., USA, 1915-1923, August 23-28 (1992).
36. Juva, A., Rautiola, A., Saikkonen, P., and Le Breton, D., "Influence of diesel fuel composition on performance and exhaust emissions of diesel engines", *13th World Petroleum Congress*, Buenos Aires, Argentina, 1-10, October 20-25 (1991).
37. Li, X., Gülder, Ö., "Effects of fuel cetane number, density and aromatic content on diesel engine NO_x emissions at different operating conditions", **4.**

International Symposium (COMODIA 98), Kyoto, Japan, 111-116, July 20-23 (1998).

38. Bahadur, N. P., Boocock, D. G. B., and Konar, S. K., "Liquid hydrocarbons from catalytic pyrolysis of sewage sludge lipid and canola oil: evaluation of fuel properties", *Energy Fuels*; 9 (2): 248–56 (1995).
39. Martinez-Martinez, S., Sanchez-Cruz, F. A., Riesco-Avila, J. M., Gallegos-Munoz, A., and Aceves, S. M., "Liquid penetration length in direct diesel fuel injection", *Applied Thermal Engineering*, 28 (14-15): 1756–1762 (2008).
40. Yamane, K., Ueta, A., and Shimamoto, Y., "Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuel on injection, combustion and exhaust emission characteristics in a DI-CI engine", *5.th International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines (COMODIA 2001)*, Nagoya, Japan, 402-409, July 1-4 (2001).
41. Yang, C., Kidoguchi, Y., Kato, R., and Miwa, K., "Effects of fuel properties on combustion and emissions of a direct-injection diesel engine", *Bulletin of the M.E.S.J.*, 28 (2): 55-62 (2000).
42. Broering, L. C., "Effect of diesel fuel properties on emissions and performance", *SAE Paper No. 740692*, (1974).
43. Nuszowski, J., Tincher, R. R., and Thompson, G. J., "Evaluation of NO_x emissions from heavy-duty diesel engines with the addition of cetane improvers", *Proc. IMechE, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 223 (8): 1049-1060 (2009).
44. Erdöl, E., "Enjektör parametrelerinin motor egzoz emisyonlarına etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi FBE, Makine Mühendisliği*, İstanbul, 30-59 (2007).
45. Guibet, J. C., "Fuels and engines volume 1", *Institut Français Du Petrole Publications*, France, 1-456 (1999).
46. Ergenç, A. T., "Biodiesel yakıt ile çalışan motordaki püskürtmenin performans ve emisyon yönünden optimizasyonu", Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi FBE*, İstanbul, 12-13 (2009).
47. Selim, M. Y. E., "Reducing the viscosity of jojoba methyl ester diesel fuel and effects on diesel engine performance and roughness", *Energy Conversion and Management*, 50 (7): 1781–1788 (2009).
48. Boulanger, J., W. Neill, S., Liu, F., and Smallwood, G. J., "Investigating renewable fuel combustion I: comparative simulations of a diesel engine fuelled with n-C₁₂ alkane and n-C₁₈ fatty acid-derived liquid-property fuel", *International Journal of Environmental Studies*, 64 (4): 401-418 (2007).

49. Murugan, S., Ramaswamy, M. C., and Nagarajan, G., "The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines", *Waste Management*, 28 (12): 2743-2749 (2008).
50. Kumar, A. S., Maheswar, D., and Reddy, K. V. K., "Comparison of diesel engine performance and emissions from neat and transesterified cotton seed oil", *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 3 (3): 190-197 (2009).
51. Li, D., Zhen, H., Xingcai, L., Wu-gao, Z., and Jian-guang, Y., "Physico-chemical properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines", *Renewable Energy* 30 (6): 967-976 (2005).
52. İnternet: American Clean Energy Systems Inc., "The impact of changes in diesel fuel's specifications", ACES, USA,
http://www.americancleanenergysystems.com/americanenergysystems/HOME_files/Impact%20of%20Changes%20in%20Diesel%20Fuel.pdf
(2011).
53. Baumgarten, C., "Mixture formation in internal combustion engines", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, Germany, 1-200 (2006).
54. Pulkrabek, W. W., "Engineering fundamentals of the internal combustion engine", *Prentice Hall*, 2. baskı, New Jersey, USA, 251-261 (2003).
55. Martyr, A. J., Plint, M. A., "Engine testing theory and practice", *Elsevier Ltd.*, Third edition, ISBN-13: 978-0-7506-8439-2, 292-293 (2007).
56. Gupta, H. N., "Fundamentals of internal combustion engines", *Prentice-Hall of India Pvt. Ltd*, New Delhi, 203-206 (2006).
57. Ganesan, V., "Internal combustion engines", *Tata McGraw-Hill*, 2. Baskı, New Delhi, 736-738 (2006). Ickes, A. M., "Fuel property impact on a premixed diesel combustion mode", PhD. Thesis, *University of Michigan, Department of Mechanical Engineering*, USA, 1-148 (2009).
58. Heywood, J., "Internal combustion engine fundamentals", *McGraw-Hill*. New York, 491-566 (1988).
59. Merker, G., P., Schwarz, C., Stiesch, G., and Otto, F., "Simulating combustion: simulation of combustion and pollutant formation for engine-development", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, Germany, 60-140 (2006).
60. Rakopoulos, C. D., Giakoumis, E. G., "Diesel engine transient operation-principles of operation and simulation analysis", *Springer-Verlag London Limited*, Tampere, Finland, 141-178 (2009).
61. Erdoğan, D., ve Muhammed, A. A., "Yakıt olarak kullanılan bazı bitkisel yağların dizel motor performansına etkileri", *Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi*, Tokat, 886-893 (1997).

62. Oğuz, H., ve Ögüt, H., “Tarım traktörlerinde bitkisel kökenli yağ ve yakıt kullanımı”, *Selçuk Teknik Online Dergisi*, Konya, 2 (2): 1302-6178 (2001).
63. Acaroğlu, M., ve Uçar, G., “Biyodizel yakıtlarda yakıt özelliklerinin ısı değere etkisinin belirlenmesi”, *Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu*, İzmir, 135-147 (2006).
64. Georing, C.E., Schwab, A.W., Daughurt, M.J., “Fuel Properties of Eleven Vegetable Oils”, *Transactions of ASAE*, (1982).
65. Oğuz, H., ve Ögüt, H., “Atık bitkisel yağdan biyodizel üretiminin ülkemize sağlayacağı yararlar”, *Biyodizelin Önemi Sempozyumu*, İstanbul, 1-10 (2008).
66. Bulut, C., “Atık bitkisel yağ metil esteri kullanılan dizel motorunda aşırı doldurma uygulamasının motor performansına etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 21-32 (2008).
67. Öztürk, M., “Kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağlar”, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara, 1-13 (2008).
68. Çanakçı, M., ve Yaman, G., “İzmit sınırları içerisinde bulunan restaurant ve lokantaların atık kızartma yağlarının potansiyel ve biyodizel üretimi açısından incelenmesi”, *Bapb-Proje No; 2003/079*, Kocaeli, (2003).
69. Alptekin, E., ve Çanakçı, M., “Biyodizel ve Türkiye’de ki durumu”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 47 (561): 57-64 (2006).
70. İnternet: Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Biyodizel” <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx> (2015)
71. Alptekin, E., & Çanakçı, M., “Biyodizel ve Türkiye’deki durumu”, *Mühendis ve Makine*, 561, 57-64, (2006).
72. Koji, Y., Ryu, Y., "Combustion and exhaust emission characteristics of wood-derived pyrolysis tar oil fueled diesel engines", *Nippon Kikai Gakkai, Jidosha Gijutsukai Nainen Kikan Shinpojumu Koen Ronbunshu, Japan*, 7-12, (2002).
73. Bertoli, C., Alessio, J. D., Del Giacomo, N., Lazzaro, M., Massoli, P., and Moccia, V., "Running light-duty DI diesel engines with wood pyrolysis oil", *SAE 2000-01-2975*, (2000).
74. Graboski, M. S., McCormick, R. L., Alleman, T. L., and Herring, A. M., "The effect of biodiesel composition on engine emissions from a DDC Series 60 diesel engine", *National Renewable Energy Laboratory NREL/SR-510-31461*, USA, Final Report, Report 2 in a series of 6, 1-57 (2003).
75. Arpa, O., Yumrutaş, R., ve Kaşka, Ö., "Atık motor yağından elde edilen dizel benzeri yakıtın motor performans ve eksoz emisyonu üzerindeki etkilerinin

incelenmesi", **VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES'2008**, İstanbul, 293-304, 17-19 Aralık (2008).

76. Hall, D., "Automotive engineering", **Global Media**, ISBN: 8190457500, Delhi, India, (2007).
77. Huang, Y., Zhou, L., and Pan, K., "Combustion characteristics of a direct-injection diesel engine fueled with Fischer-Tropsch diesel", **Frontiers Energy Power Engineering in China**, 1 (2): 239–244 (2007).

EK AÇIKLAMALAR A.
DENEY SONUÇLARI

Çizelge EK A.1. D100 yakıtı motor performans ve emisyon ölçüm sonuçları.

Motor Yüğü (Nm)	2,45	4,91	7,36	9,81
CO ₂ (%)	2,78	3,57	5,76	6,49
İs (%)	3,2	20	38	49
NO _x (ppm)	393	553	761	791
CO (%)	0,06	0,05	0,25	0,45
HC (ppm)	25	33	56	87
EGS (C°)	202	255	393	380
Kuvvet (kg)	1	2	3	4
Yakıt (10 g için s)	103,4	80,81	61,52	47,63
Moment (Nm)	2,45	4,91	7,36	9,81
Güç (kW)	0,7	1,3	2,0	2,7
FÖYT (g/kWh)	521	334	292	283
Yakıt Tüketimi (g/h)	348,16	445,49	585,18	755,83
Efektif Verim (%)	16,43	25,69	29,34	30,29
FÖET (MJ/kWh)	21,89	14,01	12,26	11,88

Çizelge EK A.2. B100 yakıtı motor performans ve emisyon ölçüm sonuçları.

Motor Yüğü (Nm)	2,45	4,91	7,36	9,81
CO ₂ (%)	2,78	3,52	4,8	5,84
İs (%)	2,5	7,4	27	31
NO _x (ppm)	298	475	631	683
CO (%)	0,08	0,07	0,18	0,3
HC (ppm)	36	43	64	93
EGS (C°)	180	240	339	349
Kuvvet (kg)	1	2	3	4
Yakıt (10 g için s)	100,65	77,73	59,15	46,46
Moment (Nm)	2,45	4,91	7,36	9,81
Güç (kW)	0,7	1,3	2,0	2,7
FÖYT (g/kWh)	536	347	304	290
Yakıt Tüketimi (g/h)	357,68	463,14	608,62	774,86
Efektif Verim (%)	17,23	26,61	32,02	31,82
FÖET (MJ/kWh)	20,89	13,52	11,24	11,31

Çizelge EK A.3. D100 yakıtı yanma parametreleri.

Motor Yüğü (Nm)	2,45	4,91	7,36	9,81
IÇOmax (Joule/KMA)	11,69	13,31	16,57	18,45
Püskürtme gecikmesi (KMA)	14,5	14,3	14	13,8
Püskürtme başlangıcı (KMA)	343,5	343,3	343	342,8
Tutuşma gecikmesi (KMA)	7,81	8,17	8,48	8,53
Ani yanma periyodu (KMA)	22,69	23,53	23,52	22,66
Difüzyonlu yanma periyodu (KMA)	10,82	11,86	14,64	15,58
Yanmanın bitişı (KMA)	384,82	386,86	389,64	389,58
Yanma süresi (KMA)	33,51	35,39	38,16	38,24
Max. silindir basıncı (bar)	69,84	73,23	79,43	83,76
Max. silindir basıncının yeri (KMA)	4,15	4,28	4,45	4,41
Max. basınç artış hızı (bar/KMA)	5,47	6,22	7,30	8,13
Max. ortalama yanma sıcaklığı (K)	1516	1731	1869	1846

Çizelge EK A.4. B100 yakıtı yanma parametreleri.

Motor Yüğü (Nm)	2,45	4,91	7,36	9,81
IÇOmax (Joule/KMA)	10,57	12,15	14,16	15,14
Püskürtme gecikmesi (KMA)	13,6	13,5	13,4	12,8
Püskürtme başlangıcı (KMA)	342,6	342,5	342,4	341,8
Tutuşma gecikmesi (KMA)	7,64	8,07	8,35	8,42
Ani yanma periyodu (KMA)	21,75	23,43	23,25	22,78
Difüzyonlu yanma periyodu (KMA)	11,88	12,33	14,74	15,64
Yanmanın bitişı (KMA)	383,88	386,33	388,74	388,64
Yanma süresi (KMA)	33,64	35,76	37,99	38,42
Max. silindir basıncı (bar)	68,45	71,41	75,25	78,5
Max. silindir basıncının yeri (KMA)	3,41	3,61	4,15	3,51
Max. basınç artış hızı (bar/KMA)	5,05	5,68	6,16	6,84
Max. ortalama yanma sıcaklığı (K)	1511	1618	1681	1789

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet AFŞAR, 1976'da Ankara'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara merkezde tamamladı. Lise eğitimini ise Gazi Endüstri Meslek Lisesi Motor bölümünde tamamladı. 1996'da yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalına başladığı Lisans eğitimini 2000 yılında tamamladı. 2001 yılından itibaren otomotiv sektörünün, satış sonrası departmanlarında çeşitli görevlerde bulundu. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir. Mehmet AFŞAR evli ve üç çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Pınarbaşı Mah. Nurtekin Sok. No:26/10
ANKARA/Sincan

Tel : 0533 510 01 47

E-posta : mehmetafsar06@gmail.com