

**DİZEL MOTORDA ATIK BİYODİZEL KULLANIMININ PERFORMANS
VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

Samet ÇAT

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

**KARABÜK
Haziran 2012**

Samet ÇAT tarafından hazırlanan “DİZEL MOTORDA ATIK BİYODİZEL KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ” başlıklı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 19/06/2012

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

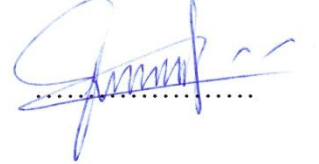
Başkan: Doç. Dr. Hüseyin KURT (KBÜ)



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



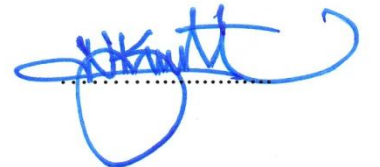
Üye : Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ (KBÜ)



.../.../2012

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Samet ÇAT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL MOTORDA ATIK BİYODİZEL KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Samet ÇAT

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Haziran 2012, 74 sayfa

Atık ve bitkisel yağlardan üretilen biyodizel daha düşük emisyon verdiği için dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. Özellikle atık yağlardan elde edilen biyodizel, hem düşük maliyet hem de çevre kirliliğinin önlenmesi bakımından önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada atık biyodizelin dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Testler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak motor; dizel yakıtı, B50 (%50 dizel + %50 biyodizel) ve B100 yakıtları ile farklı yüklerde ve sabit bir hızda (2800 1/min) test edilmiştir. Test sonuçları, biyodizel kullanımının önemli bir performans kaybı olmadan CO, HC ve is emisyonlarını azalttığını göstermiştir. İkinci aşamada motor; dizel yakıtı, B50 ve B100 yakıtı ile değişik püskürtme basınçlarında (180, 200, 220, 240 bar) tam yükte karşılaştırma için test edilmiştir. B0 yakıtı için, performans ve emisyon bakımından en uygun püskürtme basıncı 200 bar iken, B50 ve B100 yakıtları için 220 bar olduğu tespit

edilmiştir. B100 yakıtı ile 220 bar püskürtme basıncında, dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketiminde yaklaşık %8 oranında artış kaydedilmiştir. Ayrıca, HC, CO ve is emisyonlarında dizel yakıtına göre sırasıyla %28, %18 ve %18 oranlarında azalma, NO_x emisyonunda %22 oranında artış tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Atık yağ, biyodizel, püskürtme basıncı, dizel motor.

Bilim Kodu : 708.3.026

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF WASTE OIL BIODIESEL USAGE IN DIESEL ENGINE ON PERFORMANCE AND EMISSIONS

Samet ÇAT

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

June 2012, 74 pages

Biodiesel produced from waste and vegetable oil gives lower emissions. Therefore, it is used as alternative fuel in diesel engines. Besides biodiesel, which produced from waste cooking oil is very important in terms of low cost and prevention of the environmental pollution. In this study, the effect of waste biodiesel usage in a four-stroke, single cylinder, direct injection diesel engine on performance and emissions were investigated experimentally. The tests were conducted at two stages. Firstly, the engine was tested with diesel fuel, B50 (50% biodiesel + 50% diesel fuel) and B100 fuels at different loads and at a constant speed (2800 1/min). The test results showed that biodiesel usage decreased CO, HC and smoke emissions without important performance loss. Secondly, the engine was tested at full load with diesel fuel, B50 and B100 fuels at different injection pressures (180, 200, 220, 240 bar) for comparison. It was determined from tests that the best suitable injection pressure in

terms of performance and emissions were 200 bar for B0 fuel, 220 bar for B50 and B100. When compare to diesel fuel, it was determined that an increase of 8% in specific fuel consumption with B100 fuel at 220 bar injection pressure. Moreover, HC, CO, and smoke emissions were reduced about 28%, 18% and 18%, respectively. On the other hand, NO_x emission increased about 22%.

Key Words : Waste oil, biodiesel, injection pressure, diesel engine.

Science Code : 708.3.026

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana her türlü yardım ve desteği sunan, üstün bilgi ve yetenekleriyle bu çalışmamın vücuda çıkmasında büyük paya sahip değerli hocam Sayın Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e, bu çalışmada kullanacağımız atık yağdan elde edilen biyodizeli üreterek bize yardımcı olan Kocaeli Üniversitesinden değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa ÇANAKÇI'ya, katkılarıyla çalışmalarına destek veren Otomotiv Anabilim Dalı Hocalarıma, Arş. Gör. Oğuzhan DOĞAN ve Arş. Gör. Mustafa AYDIN'a, ayrıca yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Karabük Üniversitesinde okuyan bütün arkadaşlarıma ve maddi, manevi desteğini hiç eksik etmeyen kıymetli aile bireylerime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISATMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR TARAMASI.....	3
BÖLÜM 3	10
DİZEL MOTORLARDA YANMA OLAYI VE YANMA ÜRÜNLERİ.....	10
3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA	10
3.1.1. Tutuşma Gecikmesi	11
3.1.2. Kontrolsüz Yanma (Hızlı Yanma)	11
3.1.3. Kontrollü Yanma	13
3.1.4. Gecikmiş Yanma	14
3.2. DİZEL MOTORLARINDAKİ KİRLETİCİ EMİSYONLAR	14
BÖLÜM 4	17
DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİ	17
4.1. KİNEMATİK VİSKOZİTE.....	17
4.2. YOĞUNLUK.....	17
4.3. SU VE TORTU MİKTARI	17

	<u>Sayfa</u>
4.4. TOPLAM KÜKÜRT MİKTARI.....	18
4.5. ALEVLENME NOKTASI	18
4.6. BULUTLANMA NOKTASI.....	18
4.7. SETAN SAYISI	18
4.8. KÜL MİKTARI	19
4.9. ISIL DEĞER.....	19
4.10. BAKIR KOROZYONU	19
4.11. KARBON KALINTISI.....	19
BÖLÜM 5	20
YAKIT SİSTEMİ ÖZELLİĞİNİN DİZEL MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ.....	20
5.1. YANMA ODASI ŞEKLİ.....	20
5.1.1. Direkt Püskürtmeli Yanma Odaları.....	20
5.1.2. Bölünmüş Yanma Odaları.....	21
5.1.2.1. Ön Yanma Odalı.....	21
5.1.2.2. Türbülans Odalı.....	22
5.1.2.3. Enerji Hazneli.....	23
5.1.2.4. Hava Hazneli	23
5.2. ENJEKTÖR MEMESİ	24
5.3. MANİFOLD TASARIMI.....	25
5.4. PÜSKÜRTME AÇISI	25
5.5. SIKIŞTIRMA ORANI.....	26
5.6. YAKIT MİKTARI	26
5.7. PÜSKÜRTME BASINCI	26
5.8. PÜSKÜRTME AVANSI.....	27
5.9. DOLGU MİKTARI.....	28
5.10. YAKIT YOĞUNLUĞUNUN ETKİLERİ.....	28
5.11. AROMATİK YÜZDESİNİN ETKİLERİ.....	28
BÖLÜM 6.	29
ATIK BİTKİSEL YAĞLARIN DİZEL MOTORLARDA KULLANIMI VE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	29
6.1. BİTKİSEL YAĞLAR VE ÖZELLİKLERİ.....	29

	<u>Sayfa</u>
6.2. ATIK BİTKİSEL YAĞLAR VE ÜLKEMİZDEKİ DURUMU	32
6.2.1. Atık Yağların Çevresel Etkileri.....	34
6.3. BİTKİSEL ATIK YAĞLARIN DOĞRUDAN ALTERNATİF MOTOR YAKITI OLARAK KULLANILMASI.....	35
6.3.1. Hammadde Olarak Atık Bitkisel Yağlar.....	35
6.4. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLME YÖNTEMLERİ.....	36
6.4.1. Transesterifikasyon Yöntemi	37
6.4.1.1. Alkali Katalizörler İle Transesterifikasyon.....	39
6.4.1.2. Asidik Katalizörler İle Transesterifikasyon	40
6.4.1.3. Enzimatik Katalizörler İle Transesterifikasyon.....	41
BÖLÜM 7	42
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	42
7.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI	42
7.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER.....	42
7.2.1. Deney Yeri	42
7.2.2. Deney Motoru	43
7.2.3. Deney Yakıtları	44
7.3. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	45
7.3.1. Motor Dinamometresi.....	45
7.3.2. Egzoz Gaz Analizörü.....	45
7.3.3. Yakıt Tüketim Ölçme Düzeneği	46
7.3.4. Kronometre	47
7.3.5. Yük Sensörü (Load Cell)	47
7.3.6. Dijital Termometre.....	48
7.3.7. Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı	48
7.4. DENEYLERİN YAPILIŞI	49
7.4.1. Motor Deneyleri	49
7.5. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR.....	49
7.5.1. Motor Momenti ve Gücü	49
7.5.2. Yakıt Tüketimi Ve Özgül Yakıt Tüketimi.....	50

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 8	52
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	52
8.1. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	52
8.2. ORJİNAL PÜSKÜRTME BASINCINDA FARKLI YÜKLERDE DEĞİŞİK YAKITLARIN PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ.....	52
8.2.1. Motor Performansı.....	53
8.2.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi	53
8.2.2. Egzoz Emisyonları.....	54
8.2.2.1. Azotoksit (NO _x) Emisyonu Değişimi	54
8.2.2.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu Değişimi	54
8.2.2.3. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi.....	55
8.2.2.4. İS Emisyonu Değişimi.....	56
8.2.2.5. Egzoz Gazı Sıcaklığı Değişimi.....	57
8.3. FARKLI YAKITLAR İÇİN OPTİMUM PÜSKÜRTME BASINCININ BELİRLENMESİ	57
8.3.1. Motor Performansı.....	58
8.3.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi Değişimi	58
8.3.2. Egzoz Emisyonları.....	59
8.3.2.1. Azotoksit (NO _x) Emisyonu Değişimi.....	59
8.3.2.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu Değişimi	59
8.3.2.3. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi.....	60
8.3.2.4. İS Emisyonu Değişimi.....	61
8.3.2.5. Egzoz Gazı Sıcaklığı Değişimi.....	61
 BÖLÜM 9	 63
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
9.1. SONUÇLAR.....	63
9.2. ÖNERİLER.....	64
 KAYNAKLAR.....	 66
EK AÇIKLAMALAR A. DENEY SONUÇLARI	71
ÖZGEÇMİŞ.....	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Dizel motorlarında yanma diyagramı.....	10
Şekil 5.1. Direkt püskürtmeli yanma odası	21
Şekil 5.2. Ön yanma odalı motor.....	22
Şekil 5.3. Türbülans odalı motor	22
Şekil 5.4. Enerji hazneli yanma odası.....	23
Şekil 5.5. Hava hazneli yanma odası.....	24
Şekil 5.6. Püskürtme basıncına bağlı olarak yakıt tanecik çapının değişimi	27
Şekil 6.1. Yağ asidinin gliserinle esterleşmesi.	30
Şekil 6.2. Basit ve karışık trigliserid.....	30
Şekil 6.3. Atık yağlardan dolayı tıkanan kanalizasyon.....	34
Şekil 6.4. Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan dolayı tıkanan kanal sistemleri görüntüleri	35
Şekil 6.5. Transesterifikasyon işlemi genel şeması	38
Şekil 6.6. Genel transesterifikasyon reaksiyon basamakları	39
Şekil 7.1. Deney tesisatının genel görünümü.	42
Şekil 7.2. Deney tesisatının şematik görünüşü.....	43
Şekil 7.3. Dinamometre ve dinamometre kontrol ünitesinin görünümü.....	45
Şekil 7.4. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.....	46
Şekil 7.5. Yakıt tüketimi ölçme düzeneği	47
Şekil 7.6. Load cell ve indikatörün görünümü	47
Şekil 7.7. Dijital termometre	48
Şekil 7.8. Enjektör püskürtme basınç ayar cihazı.....	48
Şekil 8.1. Orijinal püskürtme basıncında değişik yakıtların ÖYT'ye etkisi	53
Şekil 8.2. Orijinal püskürtme basıncında değişik yakıtların NO _x emisyonuna etkisi	54
Şekil 8.3. Orijinal püskürtme basıncında değişik yakıtların HC emisyonuna etkisi.....	55
Şekil 8.4. Orijinal püskürtme basıncında değişik yakıtların CO emisyonuna etkisi	56
Şekil 8.5. Orijinal püskürtme basıncında değişik yakıtların is emisyonuna etkisi	56

Sayfa

Şekil 8.6. Orijinal püskürtme basıncında değişik yakıtların egzoz gazı sıcaklığına etkisi	57
Şekil 8.7. Tam yükte değişik yakıtların ve püskürtme basıncının ÖYT'ye etkisi.....	58
Şekil 8.8. Tam yükte değişik yakıtların ve püskürtme basıncının NO _x emisyonuna etkisi.....	59
Şekil 8.9. Tam yükte değişik yakıtların ve püskürtme basıncının HC emisyonuna etkisi	60
Şekil 8.10. Tam yükte değişik yakıtların ve püskürtme basıncının CO emisyonuna etkisi	60
Şekil 8.11. Tam yükte değişik yakıtların ve püskürtme basıncının is emisyonuna etkisi.....	61
Şekil 8.12. Tam yükte değişik yakıtların ve püskürtme basıncının egzoz gazı sıcaklığına etkisi.	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 5.1. Enjektör meme tasarımının bazı yanma karakteristiklerine olan etkisi	25
Çizelge 6.1. Ülkemizde yetiştirilen bitkisel yağlar	31
Çizelge 6.2. Bitkisel yağların yakıt özellikleri	32
Çizelge 6.3. Ülkemizde kullanılmış kızartma yağı toplama bilgileri	33
Çizelge 7.1. Deney motorun teknik özellikleri	44
Çizelge 7.2. Deney yakıtları özellikleri	44
Çizelge 7.3. Egzoz gaz analiz cihazı teknik özellikleri	46
Çizelge EK A. 1. Orijinal püskürtme basıncında (200 bar) 2800 1/min devirde B0 yakıtı ile yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri.....	72
Çizelge EK A. 2. Orijinal püskürtme basıncında (200 bar) 2800 1/min devirde B50 yakıtı ile yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri.....	72
Çizelge EK A. 3. Orijinal püskürtme basıncında (200 bar) 2800 1/min devirde B100 yakıtı ile yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri.....	72
Çizelge EK A. 4. Tam yükte 2800 1/min devirde B0 yakıtı ile yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri	73
Çizelge EK A. 5. Tam yükte 2800 1/min devirde B50 yakıtı ile yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri	73
Çizelge EK A. 6. Tam yükte 2800 1/min devirde B100 yakıtı ile yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri.....	73

SİMGELER VE KISATMALAR DİZİNİ

SİMGELER

B	: Saatteki Yakıt Tüketimi (kg/h)
be	: Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)
Me	: Etkin Motor Momenti (Nm)
Pe	: Etkin Motor Gücü (kW)
n	: Motor Devri (1/min)
CO	: Karbon Monoksit
CO ₂	: Karbon Dioksit
NO _x	: Azot Oksit
HC	: Hidrokarbon

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
Ü.Ö.N	: Üst Ölü Nokta
A.Ö.N	: Alt Ölü Nokta
BY	: Bitkisel Yağlar
TG	: Tutuşma Gecikmesi
SS	: Setan Sayısı
KMA	: Krank Mili Açısı
PM	: Partikül Madde
PKDY	: Petrol Kökenli Dizel Yakıtı
HFk	: Hava fazlalık katsayısı
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
B0	: Hacimsel Olarak %100 Dizel Yakıtı
B50	: Hacimsel Olarak %50 Biyodizel, %50 Dizel Yakıtı
B100	: Hacimsel Olarak %100 Biyodizel Yakıtı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerjiye duyulan ihtiyacın hızlı bir şekilde artması ve buna karşılık gelişen ülkeler ve kullanılan enerji kaynaklarının çevre kirliliğini aşırı bir şekilde artırması yenilenebilir enerjiye duyulan ihtiyacı artırmıştır.

Ayrıca gelişmekte olan ülkelerin büyük bir kısmı enerji ihtiyacını karşılama hususunda dışa bağımlıdır. Biyodizel yakıtlar enerji ihtiyacının karşılanmasında dışa bağımlılığı azaltmaktadır.

Biyodizel üretiminde genellikle bitkisel ve hayvansal yağlar kullanılmaktadır. Bunlar değişik metotlar kullanılarak biyodizel haline getirilmektedir.

Günümüz şartlarında biyodizelin üretim maliyeti yüksek olduğu için yaygın bir şekilde kullanılamamaktadır. Bunun için maliyeti en düşük biyodizel yakıt atık yağlardan elde edilmektedir. Atık yağların maliyet olarak sadece toplama maliyeti vardır.

Atık yağlardan biyodizel üretimi, maliyetinin düşük olmasının yanında 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 sulara boşaltılan veya evlerde lavaboya dökülerek atılan atık yağlar suyu zehirlemektedir. Bir litre atık yağ bir milyon litre suyu kirletmektedir. Ayrıca lavaboya dökülen atık yağlar dren sistemine sıvanarak zamanla kanalizasyon sistemini daraltarak tıkanmasına da sebep olmaktadır. Atık su kirliliğinin kaynağını büyük oranda yine atık bitkisel ve hayvansal yağlar oluşturmaktadır.

Petrol kökenli yakıtlar kullanıldığı zaman yanma sonucu oluşan gazların çevreye vermiş olduğu zararlar biyodizel yakıtla karşılaştırılacak olursak daha fazladır.

Çevreyi kirleten gazlar incelendiğinde CO, NO_x, CO₂, HC ve is emisyonları önemli bir yere sahiptir bu gazlar ise araçların yanma sonucu ortaya çıkan emisyonları arasındadır. Bu emisyonlar NO_x hariç miktar olarak biyodizel kullanımında önemli ölçüde azalmaktadır. Bunun en önemli sebeplerinden bir tanesi biyodizelin yapısında bulunun oksijendir.

Dizel motorlarında motorun yapısının değiştirilmesine gerek kalmadan veya küçük modifikasyonlarla biyodizel yakıt rahatlıkla kullanılabilir.

Dizel motorlarda yanmayı etkileyen parametrelerden biri püskürtme basıncıdır. Dizel motorda farklı özelliklere sahip alternatif yakıt kullanıldığında karışım oluşumu ve yanmayı iyileştirmek için motorun bazı parametrelerini değiştirmek suretiyle performans ve emisyonlar iyileştirilebilir.

Yapılan bu çalışmada atık yağdan elde edilen biyodizelin, tek silindirli dört zamanlı direk püskürtmeli bir dizel motorda motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Motor testleri sabit devirde değişik momentlerde ve değişik püskürtme basınçlarında dizel, biyodizel ve dizel-biyodizel karışımı yakıtlarla gerçekleştirilmiştir. Biyodizel yakıtın motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisi; motor momenti, karışım oranları ve püskürtme basıncı parametreleri değiştirilerek incelenmiştir. Her bir yakıt için performans ve emisyon bakımından optimum püskürtme basıncının belirlenmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Bitkisel, hayvansal ve atık yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır.

Çanakçı ve Özsezen yaptıkları çalışmada atık kızartma yağından elde edilen metil esterin ön yanma odalı dizel bir motorda kullanımının performans ve emisyonlara etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sabit devir ve tam yük konumunda gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerin sonucunda motorun döndürme momentinde, efektif güçte ve termik verimde azalma görülmüştür. Ayrıca metil ester kullanımı sonucu dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketiminde artma gözlemlenmiştir. Metil ester kullanımı ile birlikte CO, HC ve duman yoğunluğu emisyonlarında azalma olurken NO_x ve CO₂ emisyonu motor devrine bağlı olarak değişim göstermiştir [1].

Sugözü vd. yaptıkları çalışmada, atık motor yağının dizel motorda alternatif yakıt olarak kullanılmasını incelemişlerdir. Testler 1200-2400 1/min hız aralığında ve tam gaz pozisyonunda dizel yakıtına değişik 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 değerleri dizel yakıtın emisyon değerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir [2].

Behçet ve Çakmak tarafından yapılan çalışmada dizel bir motorda balık yağı metil esteri 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 [3].

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 itibari ile çevre açısından daha az zararlı olduğu belirlenmiştir [4].

Özsezen yaptığı çalışmada atık palmye yağından üretilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştir. Deneyler tam yük, 60, 40, 20 Nm sabit yük, değişik devirlerde ve karışım oranlarında ön yanma odalı bir dizel motorda yapılmıştır. Sonuç olarak biyodizel ve karışımlarının kullanılması sonucu motor performansında hafif bir düşme özgül yakıt tüketiminde ise artma gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra biyodizel ve karışımlarının kullanılması ile CO ve HC emisyonlarında azalma görülürken NO_x emisyonunda artma olduğu tespit edilmiştir [5].

Karaosmanoğlu ve Aksoy araştırmalarında, kullanılmış kızartma yağının seyreltme tekniği ile viskozitesini düşürmüşler ve çeşitli karışımlar elde ederek bu karışımların fiziksel özelliklerini incelemiştir. Belirledikleri bu özelliklere göre % 40'a kadar olan karışımların dizel yakıtı yerine kullanılabileceğini bildirmişlerdir [6].

Oğuz tarafından yapılan çalışmada dizel yakıtı ayçiçeği yağı karışımlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılma imkânları araştırılmıştır. Önce yakıtın fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Yüksek viskozite sorununu çözmeye seyreltme, mikroemülsiyon, proliz ve transesterifikasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada seyreltme yöntemi kullanılmıştır. Seyreltme yöntemi bitkisel yağlara uygun miktarda dizel yakıtı karıştırılarak elde edilmektedir. Ayçiçeği yağı dizel yakıtına hacimsel olarak % 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 oranlarında karıştırılarak seyreltilmiştir. Elde edilen bu yakıtlar motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan

kullanılmıştır. Deneyler 4 zamanlı, 3 silindirli, 43 kW gücünde John Deere 3179 DF dizel bir motorda yapılmış ve dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca yakıt tüketimi, moment, güç, duman koyuluğu ve HC, CO, CO₂ olarak gaz emisyonları incelenmiştir. Sonuç olarak rafine edilmiş ayçiçeği yağı ile dizel yakıtı karışımları dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, motor performansında önemli oranlarda değişme olmadığı belirlenmiştir [7].

Çetinkaya ve Karaosmanoğlu tarafından yapılan çalışmada kullanılmış yemeklik yağ kökenli biyomotorinin motor ve jeneratör performansının incelenmesi hedeflenmiştir. Farklı motor yüklerinde kullanılmış yemeklik yağ kökenli biyomotorin ve D2 dizel yakıtı için güç üretimi, yakıt tüketimi, emisyon, egzoz sıcaklığı, yağ sıcaklığı ve basıncı gibi dizel motoru performans parametreleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kullanılmış yemeklik yağ kökenli biyomotorinin, tarımsal uygulamalarda ve kapalı alanlarda kullanıma uygun alternatif çevre dostu jeneratör yakıtı olduğu sonucuna varılmıştır [8].

Sekmen yaptığı çalışmada karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterlerinin dizel motorda yakıt olarak kullanılabilirliği araştırmıştır. Testler değişik motor devirlerinde ve karışım oranlarında gerçekleştirilmiştir. Biyodizelin ısıl değerinin düşük olmasından dolayı moment ve efektif güçte azalma özgül yakıt tüketiminde artma gözlemlenmiştir. Ayrıca biyodizel karışımları ile çalışmada egzoz gaz sıcaklıkları dizel yakıtı 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 belirlenmiştir [9].

Jindal vd. jatropha metil esterini dizel motorlarda kullanımını incelemişlerdir. Testler değişik enjeksiyon basınçları ve sıkıştırma oranlarında gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon basıncı ve sıkıştırma oranı arttıkça termik verim artmış, HC, NO_x ve is emisyonlarında azalma gözlemlenmiş ayrıca özgül yakıt tüketimi düşmüştür [10].

Sekmen ve Aktaş yaptıkları çalışmada, soya yağı metil esterinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Deneyler tam yükte ve değişik

devirlerde yapılmıştır. Deneilerin sonucunda biyodizelin ısı değeri düşük olmasından dolayı efektif güçte azalma, özgül yakıt tüketiminde artış belirlenmiştir. Ayrıca biyodizel ile çalışmada egzoz gaz sıcaklığı dizel yakıtla oranla daha düşük olarak ölçülmüştür. CO, HC ve NO_x emisyonları ile duman yoğunluğunda azalma gözlemlenmiştir [11].

Çanakçı, 2001 yılında yaptığı doktora çalışmasında yüksek serbest yağ asidi içeren yağlardan biyodizel üretimi ve üretilen biyodizelin, motor performans ve emisyon karakterleri üzerine etkisini incelemiştir. Bu çalışmada Çanakçı, üretilen biyodizelleri, %100 soya yağı metil esteri ile 2 numaralı dizel yakıtını temel alarak karşılaştırmak için direkt püskürtmeli, dört silindri, turboşarjlı bir dizel motor (John Deere 4276 T) kullanmıştır. Yellow grease'ten üretilen metil esterlerin termik veriminin 2 numaralı dizel yakıtına benzer olduğunu, fakat yakıt tüketiminin 2 numaralı dizel yakıtına oranla daha yüksek olduğunu gözlemiştir. Çanakçı, tam yük test şartlarında yaptığı emisyon testleri sonucunda, 2 numaralı dizel yakıtına oranla biyodizel kullanımı ile CO emisyonunun %17,77 ve yanmamış HC emisyonunun %46,27 azaldığını, fakat NO_x emisyonunu %11,60 oranında arttırdığını gözlemiştir. Soya yağı metil esteri ile yellow grease metil esteri arasında motor performansı ve emisyon açısından önemli bir değişim olmadığı ifade edilmiştir [12].

Ulusoy vd. yaptığı çalışmada; Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesinde atık yemeklik yağlardan biyodizel üretmişlerdir. Araştırmacılar, ürettikleri biyodizeli TOFAŞ otomotiv fabrikasında bir dizel 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'lük bir azalma meydana getirdiğini ifade etmişlerdir. 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 gözlemiştir. Yapılan testlerde biyodizel, 2 numaralı dizel yakıtına göre %2,43 daha az yakıt tüketimi sağlamıştır [13].

Puhan vd. keten tohumu metil esteri kullanan bir dizel motorda püskürtme basıncının egzoz emisyonları ve motor performansına etkisini incelemiştir. Deneyler 200, 220 ve 240 bar basınçta gerçekleştirilmiştir. En uygun püskürtme basıncının 240 bar olduğu gözlemlenmiştir. 240 bar basınçta CO, HC ve is emisyonu azalmış, NO_x emisyonu artmıştır ve termik verimin dizel yakıtına yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir [14].

İlkılıç yaptığı çalışmada püskürtme basıncının dizel motorda egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Testler tam yükte, değişik püskürtme basınçlarında ve motor hızlarında yapılmıştır. Düşük enjeksiyon basınçlarında CO miktarını arttığı görülmüştür. Yanma odası sıcaklığının artması ile NO_x miktarında artma gözlemlenirken enjeksiyon basıncının artmasıyla NO_x miktarında azalma görülmüştür. Motor devrinin artması ile CO emisyonunda azalma görülürken CO₂ emisyonunda artma olduğu tespit edilmiştir [15].

Arslan yaptığı çalışmada soya yağı ve kanola yağı metil esterinin farklı enjektör basınçlarında kullanılmasının performans ve emisyon üzerindeki etkilerini incelemiştir. 250 bar basınçta ve 1250 l/min ve altındaki devirlerde soya ve kanola yağı metil esterlerinde elde edilen tork değerleri dizel yakıtına göre biraz daha iyi ve eğrilerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ancak devir arttıkça tork değerlerindeki artış sıralaması dizel, kanola ve soya yağı metil esteri olarak değişmiştir. Enjektör basıncı arttırıldığında ise özellikle 300 bar basıncın üzerinde her üç yakıt için performans değişimleri üzerinde olumsuz bir etki olduğu görülmüştür. 250 bar enjektör basıncında yapılan deneylerde soya ve kanola yağı metil esterlerinde elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri dizel yakıtına göre daha fazla artan bir eğilimde olduğu görülmüştür. 250 bar enjektör basıncında yapılan deneylerde soya ve kanola yağı metil esterlerinde absorpsiyon katsayısı ve duman koyuluğu değerleri dizel yakıtına göre azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Enjektör basıncı arttırıldığında ise her üç yakıtta azalma eğilimine devam ettiği gözlemlenmiştir. 250 bar enjektör basıncında dizel yakıtı kullanılması ile açığa çıkan CO emisyonları soya ve kanola metil esterlerine yakın, yüksek motor devirlerinde daha iyi olduğu görülmüştür. Soya ve kanola metil esterlerinin NO_x emisyonları ise dizel yakıtına göre daha iyidir. Enjektör püskürtme basıncı 300 bar'a yükseltildiğinde

ise soya ve kanola metil esterlerinin CO emisyonları dizel yakıtına göre daha düşük, NO_x emisyonları ise dizel yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır. Enjektör püskürtme basıncı 350 bar'a yükseltildiğinde atomize olmuş yakıt parçacıkları hava ile daha iyi karışarak kolay bir şekilde yanmasıyla düşük motor devirlerinde CO emisyonları azalırken, NO_x emisyonları arttığı tespit edilmiştir [16].

Pireli yaptığı çalışmada biyodizel ve dizel yakıtla çalışan tek silindirli bir dizel motorda püskürtme basıncının performansa etkisini incelemiştir. Her bir karışım oranı için püskürtme basıncı artıkça motor momenti ve gücünün arttığı, özgül yakıt sarfiyatının ise azaldığı görülmüştür. Ayrıca karışım içindeki biyodizel oranı artıkça püskürtme basıncının da daha yüksek olması gerektiği anlaşılmıştır. Her bir karışım oranı için püskürtme basıncı artıkça, düşük, orta ve yüksek hız momentleri arasındaki farkın azaldığı ve dizel motorundan beklenen moment grafiğine daha çok yaklaşıldığı görülmüştür. Biyodizel oranı daha yüksek olan çalışmada egzoz gaz sıcaklığının daha yüksek çıktığı ve püskürtme basıncından daha az etkilendiği görülmüştür [17].

Şimşek yaptığı çalışmada soya yağı metil esterinin değişik püskürtme basınçlarında dizel motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Testler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada orijinal püskürtme basıncında (200 bar) biyodizel yakıt dizel yakıt ile karıştırılarak en uygun karışım belirlenmiş (B25) ve bu belirlenen karışım ile püskürtme basınçları değiştirilerek deneyler tamamlanmıştır. Sonuç olarak optimum basınç 220 bar olarak tespit edilmiştir ayrıca HC, CO ve is emisyonlarında azalma kaydedilirken NO_x ve özgül yakıt tüketiminde artış gözlemlenmiştir [18].

Çanakçı tarafından yapılan çalışmada, dizel motorlar için alternatif bir yakıt olan biomotorin; bitkisel yağlar, atık kızartma yağları ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir hammaddelerden üretilebilmektedir. Biomotorin toksin etkisi olmayan, biyolojik olarak doğada bozunabilir, yapısında oksijen bulunduran, kükürt içermeyen ve yenilenebilir bir yakıttır. Birçok dizel motor üretim firması bu yakıtı ürettikleri motorlarda, herhangi bir değişiklik yapmaksızın, kullanabilme garantisi vermektedir. Bununla birlikte, biomotorinin setan sayısı, ısıl değeri, kinematik viskozitesi ve

yoğunluğu gibi yakıt özellikleri yanmayı dolayısıyla motor performans ve emisyonlarını etkileyecektir. Bu çalışmada, soya yağından üretilen biomotorinin yanma, performans ve emisyon karakteristikleri petrol kökenli No. 2 dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Testler dört silindirli, turbo şarjlı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motoru üzerinde, 1400 1/min için tam yükte, yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, biomotorinin dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılabileceğini kanıtlamıştır [19].

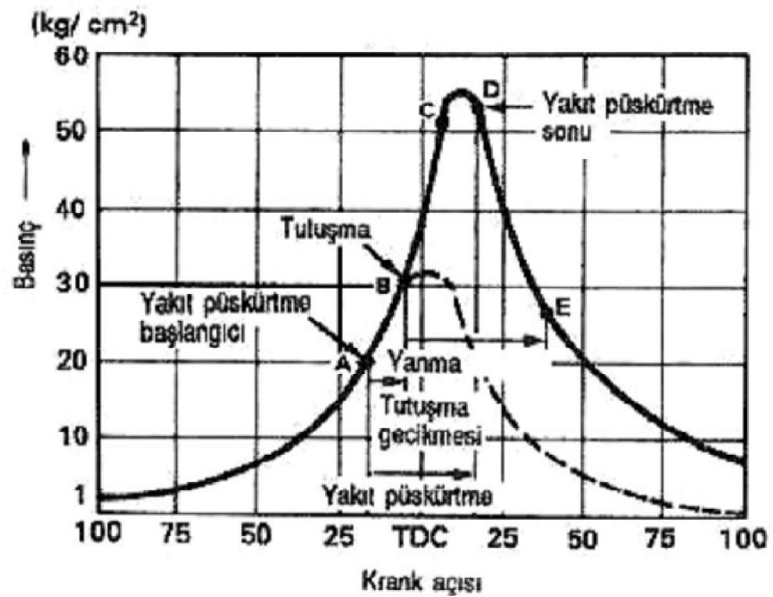
BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARDA YANMA OLAYI VE YANMA ÜRÜNLERİ

3.1 DİZEL MOTORLARDA YANMA

Yanma; yakıtın oksijenle birleşerek su ve karbondioksit meydana getirmesidir. Bu tepkime sırasında ısı ve enerji açığa çıkar. İçten yanmalı motorlar kimyasal reaksiyonla açığa çıkan enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürmektedir. Dizel motorlarında yanma; sıkıştırma zamanı sonuna doğru silindire emme zamanında alınan havanın sıcaklığı yaklaşık olarak 600–900 °C yükseltilmesiyle, sıcaklığı ve basıncı yükselen havanın üzerine enjektör tarafından yakıtın basınçlı olarak püskürtülmesi sonucu gerçekleşir.

Yanma olayı tutuşma gecikmesi, kontrolsüz yanma (Hızlı yanma), kontrollü yanma ve gecikmiş yanma olmak üzere dört aşamada gerçekleşir [20]. Şekil 3.1’de dizel motorlarında yanma diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.1. Dizel motorlarında yanma diyagramı [20].

3.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Sıkıştırma sonunda silindire püskürtölen yakıt hemen tutuşmaz. Tutuşabilmesi için oksijenle karışması ve sıcaklığının yükselmesi gerekir bu nedenle, enjektörün yakıtı silindire püskürtmesinden, ilk alev çekirdeğinin meydana geldiği zamana kadar geçen süreye tutuşma gecikmesi denir. şekilde A-B arasında gösterilen bu süre 2000 1/min ile çalışan bir motorda 0,0009 saniyedir [20].

Dizel motorlarında yakıtın kendi kendine tutuşması püskürtmeden sonra 0,0002 - 0,002 saniye sonra meydana gelir. Bu süreye tutuşma gecikmesi süresi denir. Tutuşma gecikmesi oluşması; yakıtın yanma odasının içlerine doğru hareket etmesi, yaklaşık olarak stokiyometrik orana yakın hava ile karışım oluşturması ve karışım yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığına kadar ısınması için bir süre geçmesinden kaynaklanmaktadır [21].

Dizel motorları gibi yakıtın püskürtöldüğü motorlarda yakıt/hava oranı yanma olayının başlaması bakımından pek önemli değildir. Çünkü silindir içerisinde yakıt/hava oranı sıfır ile sonsuz arasında değişen birçok nokta vardır. Yanma olayı tutuşma için en uygun orana sahip nokta veya noktalardan başlar. Püskürtme karakteristiği veya atomizasyon derecesi de yakıt/hava oranındaki bu sonsuz değer değişimini etkilemez. Dolayısıyla bunların TG üzerinde önemli bir etkisi yoktur. Tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli faktörler yakıt kalitesi, basınç ve özellikle sıcaklıktır. Yüksek sıcaklık ve basınç TG süresini kısaltır. Yakıt jetinin duvarlara kadar ulaşması durumunda, eğer duvarlar çok sıcak ise TG süresi önemli ölçüde kısalır. TG süresince püskürtölen yakıt miktarının değişmesi ise tutuşma gecikmesini etkilemez [22].

3.1.2. Kontrolsüz Yanma (Hızlı Yanma)

Tutuşma gecikmesi süresi içinde silindire püskürtölen yakıt ısınır oksijenle karışır ve buharlaşır. İlk alev çekirdeği meydana geldiği anda, yakıtın hepsi birden yanmaya katılır ve hızlı bir yanma oluşur. Hızlı yanma basıncın aniden yükselmesine ve motor parçaları arasındaki boşlukların birden alınmasını oluşturacağından, motor vuruntulu

ve sert çalışır. Bu vurutuya dizel vurutusu denir. Günümüzde bu vurutuyu azaltmak nedeniyle başlangıçta püskürtülen yakıtın miktarının düşürülmesi için kademeli püskürtme yöntemi geliştirilmektedir. Kontrolsüz yanma, şekilde B-C arasında gösterilmiştir [20].

Kontrolsüz yanma, yanma olayının ikinci fazıdır. Tutuşma başlangıcından basıncın maksimum değere ulaşmasına kadar geçen süreye kontrolsüz yanma denir.

Bu fazda, önce tutuşma gecikmesi süresi içinde silindire giren yakıtın aniden yanması nedeniyle yanma odası basıncı çok hızlı artar. Bu fazdaki yanma olayı hızlı yanma olarak tanımlanır ve patlamalı yanma karakterindedir. Yanma olayının ilk ve hazırlayıcı fazını oluşturur. Bu fazdaki basınç artış hızı, motorun yumuşak veya sert çalışmasını belirtir.

TG'den sonra silindire giren yakıtın karşılaştığı koşullar çok farklıdır. Ortam basıncı ve sıcaklığı kritik değer üzerinde olduğu için, yakıt bu yüksek ısı karşısında ani olarak buharlaşır. Yanma odasındaki sıcaklık çok yüksek olması nedeni ile hava yeterli olmaması halinde yakıtı eritebilecek seviyededir. Özellikle demet eksenine yakın bölgelerde bu meydana gelmektedir.

Tutuşma gecikmesinin mümkün olduğu kadar kısa olması istenir. Tutuşma gecikmesi süresince silindir içerisine giren yakıt miktarı, sabit hacimde yanma oluyormuş gibi birden yanar. Bu yanmaya dışarıdan müdahale edilemez. Bu durumda tutuşma gecikmesi ne kadar uzun ise o kadar fazla yakıt içeri girer ve ani olarak yanan kısım o oranda fazla olur ve basınç ani olarak artar yani $dp/d\alpha$ hızlı bir şekilde artar.

Meydana gelen ani basınç artışı sonucunda, başta yanma odası olmak üzere tüm motor elemanları oluşan bu dik yöndeki kuvvetle zorlanarak mekanik rezonans oluşmasına ve motorun titreşmesine neden olur. Titreşen motor yüzeyinden gelen akustik radyasyon sonucu dizel yanmasının karakteristik sesinin duyulmasına neden olur. Dizel motorlarındaki vurutu tamamen mekanik bir olaydır. Bu olaya yatak kapanma sesini de dâhil edebiliriz. Bu sesin oluşmasında en önemli etkiyi basınç artma hızı ($dp/d\alpha$) yapar. Basınç artma hızının belli bir değer üzerine çıkmasıyla

vuruntu oluşur. Vuruntuyu azaltmak için tutuşma gecikmesinin kısa tutulması gerekir [21].

Yanmanın bu ikinci safhasındaki basınç artışı şu faktörlerden etkilenir:

1. Yakıtın atomizasyon derecesi; bu parametre enjeksiyon sisteminin dizaynına bağlıdır.
2. Gecikme süresince püskürtülen yakıt miktarı; bu da, TG süresinin uzunluğuna bağlıdır.
3. Tutuşma gecikmesi süresince yakıtın hava ile karışma derecesi; karışım için kullanılan zaman, püskürtme karakteristiği ve bir dereceye kadar silindir içerisindeki hava hareketleri bu faktör üzerinde etkilidir. Uzun süren TG ve yüksek motor hızında karışım daha mükemmel olur.
4. Tutuşma gecikmesi süresince silindire püskürtülen yakıtın miktarı; bu süre zarfında fazla yakıt püskürtülürse bunun bir kısmı oksijenle birleşerek basınç yükselme hızının daha da artmasına sebep olur.
5. Yukarıdaki açıklamalardan basınç yükselme hızı ve süresinin tutuşma gecikmesi süresi ile mutlak ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Tutuşma öncesi yakıt ile hava karışımına daha az imkân vermek için TG süresi kısa, motor devri de hava hareketini azaltacak şekilde düşük tutulmalıdır [23].

3.1.3. Kontrollü Yanma

KontROLSÜZ yanmanın sonunda silindir içindeki basınç ve sıcaklık enjektörden püskürtülen yakıtı doğrudan yakabilecek bir değere ulaşır bu nedenle püskürmeye devam eden yakıt hiçbir gecikme olmadan yanar. Basınç en yüksek noktaya erişinceye kadar yükselir. Geri kalan püskürme ve yanma sırasında basınç sabit kalır. Şekilde C-D arasında gösterilmiştir [20].

Ateşleme gecikmesi boyunca karışan hava ile yakıt, birbirleri ile karışabilme oranı ile kontrol edilir. Kontrollü yanma, yanma başladıktan sonra son püskürtülen yakıtın yanmasının tamamlandığı zaman arasındaki geçen süredir. Hızlı yanmadan sonra 2000 °C'nin üzerindeki bir sıcaklık ile yanan yakıt 6 krank açısına kadar devam

eder ve bu sıradaki alev, parlak olmayan bir karışım alevi şeklindedir. Egzoz supabının açılmasına kadar bu periyodun tamamlanması gerekir [24].

3.1.4. Gecikmiş Yanma

Yakıtın silindire püskürmesi bitmiş ve piston AÖN'ye doğru inmektedir. Daha önce püskürtülen ve yanma fırsatı bulamamış yakıt genişleme süresince oksijen buldukça yanar. Bu yanmaya gecikmiş yanma denir. Şekilde D-E arasında gösterilmiştir [20].

Yanma sürecinin maksimum sıcaklığından sonra meydana gelir. Ancak çok zengin karışımlarda eksik yanmış yanma ürünleri gecikmiş yanmada yanarlar. Gecikmiş yanma genişleme sürecinin önemli bir kısmıdır. Bu faz üst ölü noktadan sonra 70-80 KMA'ya kadar devam eder [21].

3.2. DİZEL MOTORLARINDAKİ KİRLLETİCİ EMİSYONLAR

İçten yanmalı motorlarda kullanılan hidrokarbon kökenli yakıtların ideal koşullar altında hava ile tam yanması sonucunda elde edilen yanma ürünleri CO₂, H₂O ve havadaki N₂'den oluşmaktadır. Bunlara ilave olarak çok fakir ve zengin yakıt hava karışımının kullanılması veyahut çok düşük yanma sıcaklığının oluşması ve yakıtta bulunan bazı bileşenler nedeniyle hava kirlenmesine yol açan PM, SO_x, NO_x, CO, HC ve kısmen okside olmuş hidrokarbonlar (aldehitler, ketonlar), is, metalik yakıt ve yağ artıkları oluşmaktadır [25, 26].

CO gazı tam yanma olmadığı zamanlarda oluşur ve zehirli bir gazdır. Eğer ortamda fazla oksijen olursa karbon atomları oksijenle reaksiyona girerek CO yerine, zehirsiz bir gaz olan CO₂ oluşur. Yakıtların tam yanmamasından oluşan kirleticilerden karbonmonoksit (CO) emisyonları içten yanmalı motorlarda birçok parametreye bağlı olmakla beraber yanma odasına alınan dolgunun yanma kalitesini gösteren bir egzoz emisyonu ürünüdür. Gaz sıcaklığının düşük olması, yanma için yeterli oksijenin bulunmaması ve CO₂'e dönüşüm süresinin kısa olmasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarını artırmaktadır. Zengin karışımlarda, yani yakıt hava karışımı içinde gerekenden daha az hava var ise yanma yetersiz

oksijen ortamı içinde meydana geldiğinde yakıtın içeriğindeki karbonunun tamamı CO₂'e dönüşmeden CO şeklinde kalarak dışarı atılmaktadır [15, 27].

CO insan sağlığına zararlı gazların başında gelir. Rengi ve kokusu yoktur bunun için zehri hemen fark edilmez. Kandaki hemoglobine bağlanma yeteneği oksijene oranla çok yüksektir. Bunun için CO salımını azaltmak çok büyük önem arz etmektedir.

Hidrokarbonlar genellikle kötü kokulu ve tahriş edici maddelerdir 150 den çok çeşidi bulunmaktadır. Egzoz gazları içersinde HC'lerin bulunuş nedeni NO_x'lerin aksine yüksek sıcaklıklarının mevcudiyeti değildir. HC'ler sıcaklıkların ve oksijenin yetersiz olması sonucu yakıtın tam olarak yanmaması sonucu oluşur. Motorlarda HC emisyonu tam yanma olmayan bölgelerden gelmektedir [25, 28].

Azot oksitlerin oluşumunda hava yakıt oranı ile ortam sıcaklığı önemli bir rol oynamaktadır. Yanmanın iyileştiği durumlarda sıcaklığın yükselmesi ve buna bağlı olarak da oksijenin moleküllerinin ayrılması ile beraber NO_x oluşum hızı da artmaktadır. Yanma sonu sıcaklığının 1800 K'nin üzerine çıkması durumunda önemli ölçüde NO_x oluşumu söz konusu olmaktadır [29, 30].

Partikül maddelerin oluşumu, katı parçacıklar, duman veya is şeklinde olur. Dizel motoru, hem karışım hem de yakıt cinsi partikül maddelerin oluşumuna sebep olmaktadır.

Oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısıl parçalanması özellikle H'lerin kolayca oksitlenmesi, C'lerin ise oksitlenmeden ortamda çoğalması durumunda partikül maddeler oluşur. İs, bu durumda oluşan katı karbon tanecikleridir. Motorun yük durumuna göre değişen HFK'nin bir fonksiyonu olarak is miktarı değiştiğinden motorun gücünü de sınırlayan bir etkindir. Genelde is oluşumu dizel yanmasının bir safhasıdır. Bu nedenle başlangıçta oluşan karbonun büyük bir kısmı tekrar yanar. Ancak gücü arttırmak amacı ile yanma odasına fazla miktarda yakıt gönderildiğinde, yeterli oksijen bulunmadığı için egzoz gazları içerisinde bir miktar is bulunacaktır. İs oluşumu silindirin aşınmasına segman yuvalarının karbonla dolarak zarar görmesine neden olmaktadır. Yanma odasında

yeterli sıcaklık, oksijen ve zaman bulunmaz ise partikül maddeler egzozdan dışarı atılmaktadır.

Partiküller çapları bakımından tehlike sınıflandırmasına tabidirler. Yani partikül çapı küçüldükçe çevresel ve sağlık açısından tehdidi de büyür. Trafik kökenli partikül maddeler, dizel motorlarda düşük kükürtlü yakıt kullanılması ve yakıt pompasının doğru ayarlanması ile büyük ölçüde önlenbilir. Nefes alındığında akciğere kadar giderek yerleşebilen bu maddeler bronşları tahriş ettiği için insan sağlığına zararlıdır [31].

BÖLÜM 4

DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİ

4.1. KİNEMATİK VİSKOZİTE

Viskozite akışkanların akmaya gösterdiği direnç olup, dizel motorlarının özellikle yakıt besleme ve enjeksiyon sistemlerinde önemli bir parametredir. Viskozitenin yüksek olması atomizasyonu olumsuz yönde etkilemektedir. Viskozite küçüldükçe borulardaki akış direnci azalmakta, püskürtme ile oluşan yakıt demeti içindeki yakıt damlacık çapları küçülmektedir. Dolayısıyla motorda yanma iyileşmekte ve duman emisyonları miktarı da azalmaktadır. Bununla birlikte enjeksiyon sistemlerinin ana elemanları yakıt ile yağlandığından viskozitenin belirli bir değerden daha aşağı olmaması gerekir. Ayrıca viskozitenin çok düşük olması püskürtme sistemindeki kaçakları arttırmaktadır [32].

4.2. YOĞUNLUK

Yoğunluk birim hacimdeki yakıtın kütle miktarı olup, yakıtın yapısı, karbon-hidrojen miktarı, yakıtın parçalanması ve tutuşma kabiliyeti ile ilgili ön bilgi verir. Dizel motorlarda enjeksiyon sistemleri yakıtı hacimsel bazda gönderdikleri için yakıtın özgül kütlesi, motor içine gönderilen yakıtın kütle miktarını doğrudan etkiler. Moleküller içindeki hidrojen sayısı arttıkça genel olarak özgül kütle azalmaktadır [33].

4.3. SU VE TORTU MİKTARI

Yakıtın temizliğini gösteren önemli bir parametredir. Yakıt içerisinde su, enjeksiyon sistemlerinde aşınma ve paslanmaya sebep olabildiği için yakıt içerisinde hiç su istenmez.

Tortu ise filtrelerin tıkanmasına, enjeksiyon sisteminde birikerek tortulaşmaya ve diğer motor arızalarına neden olabilir [34].

4.4. TOPLAM KÜKÜRT MİKTARI

Yakıt içinde bulunan kükürt yanma reaksiyonu sonunda SO_2 'e dönüşür, SO_2 'de su ile reaksiyona girerek H_2SO_4 (Sülfürik asit) oluşturur. Bu asidin motor içinde ve egzoz siteminde yoğunlaşması korozyona neden olur. Ayrıca kükürdün neden olduğu SO_2 emisyonları ve bu emisyon nedeni ile oluşan sülfürik asit, doğaya ve insan sağlığına zararlı materyallerdir. Bu yüzden yakıt içerisinde kükürt oranının az olması istenir [33].

4.5. ALEVLENME NOKTASI

Yakıt buharının açık alev ile temas ettiğinde bir an için alev aldığı sıcaklığa alevlenme noktası denir. Yüksek alevlenme sıcaklığı depolama ve taşıma güvenliği şartlarını kolaylaştırmaktadır [32, 33].

4.6. BULUTLANMA NOKTASI

Bulutlanma noktası sıvıların soğutulduğunda kristalleşmesinin ilk görülmeye başladığı sıcaklığı gösterir. Yakıtın sıcaklığı bu sıcaklığın altına daha da düşmeye devam ederse yakıt jelleşerek yavaş yavaş akış durmaktadır. Buna ek olarak yakıtın hiç kristalleşme olmadan akabildiği en düşük sıcaklığa akma noktası sıcaklığı denir. Bu değerler yakıtların soğukta çalışma özelliklerinin önemli bir göstergesidir [33].

4.7. SETAN SAYISI

Setan sayısı dizel yakıtların tutuşma meylinin ve tutuşma gecikmesinin bir ölçüsüdür. Dizel motorlarda yüksek basınç ve sıcaklıktaki hava içine püskürtülen yakıtın kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtların tutuşma meyillerinin yüksek olması gerekir.

Tutuşma meylinin düşük olması tutuşma gecikmesinin artmasına, tutuşma gecikmesinin artması yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarının artmasına dolayısıyla mekanik zorlanmalara neden olan yüksek basınçların oluşmasına (dizel vuruntusu) neden olmaktadır. Setan sayısının çok yüksek olması ise tutuşma gecikmesini azaltmakta ve enjektörlere çok yakın yerde yanma başlangıcı ile enjektörlerin tıkanmasına sebep olabilmektedir [32].

4.8. KÜL MİKTARI

Yakıt içerisinde yanmayan maddelerin miktarını gösterir. Kül miktarı motorun iç parçaları üzerinde zımpara gibi etki ettiğinden oldukça az oranda olması istenir [33].

4.9. ISIL DEĞER

Yakıtın ısı değeri birim hacminin veya kütesinin verdiği enerji olarak tanımlanır. Motordaki yanma sonu egzoz gazı sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak bulunduğu için dolayısı ile ısı değeri olarak alt ısı değeri dikkate alınır. Yakıt enerjisinin miktarının göstergesi olduğu için ısı değerinin büyük olması istenir [32, 33].

4.10. BAKIR KOROZYONU

Yakıtın bakır veya bakır içeren malzemeler üzerinde bıraktığı aşındırma etkisinin bir göstergesidir. Esas olarak yakıt içerisindeki asit miktarını ifade etmektedir [34].

4.11. KARBON KALINTISI

Petrol kaynaklı ürünlerde, ısı ayrıştırmaya maruz bırakılınca çıkan uçucu gazların geri kalan karbon kalıntısını gösterir. Bu artıklar ne kadar fazla olursa motorda aşınma o oranda artar [33, 34].

BÖLÜM 5

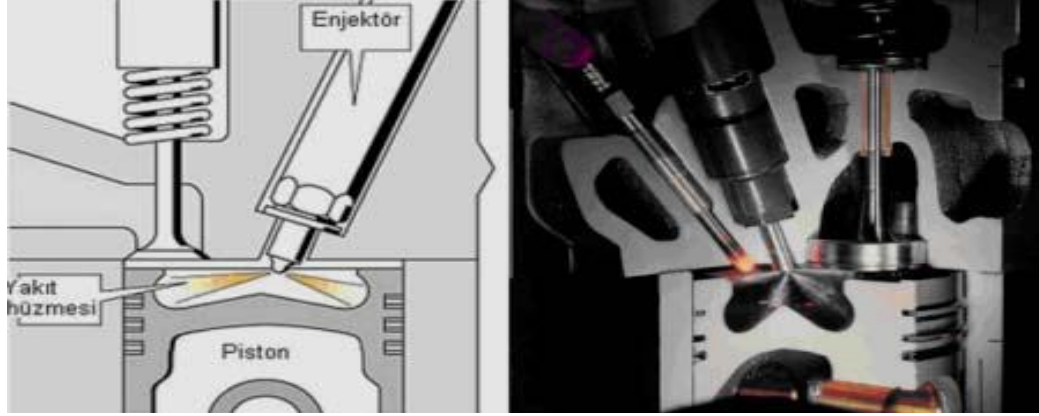
YAKIT SİSTEMİ ÖZELLİĞİNİN DİZEL MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ

5.1. YANMA ODASI ŞEKLİ

Dizel motorlarında hem basınç yükselme hızı hem de maksimum basıncın krank açısı cinsinden kontrolü ve zamanlaması gerekir. Basınç yükselme hızı için gerekli olanın tersine performans açısından da yanmanın uzun sürmesi istenmez. Dolayısıyla dizel motorlarında yanma odası tasarımı son derece önemli olmaktadır. Yüksek devirli motorda havaya girdap hareketi vermek veya havayı dar bir yanma odası hacmine sıkıştırarak hareketlendirmek suretiyle karışıma katkıda bulunmak önem arz etmektedir. Direkt püskürtmeli yanma odalı dizel motorlarda yakıt sarfiyatının az olduğu ve tutuşma kabiliyeti düşük yakıtlarla bile kolayca tutuşma sağlandığı, bölünmüş yanma odalı motorlarda ise yukarıdaki bilginin tersine bir sonucun çıktığı araştırma sonuçlarıyla ortaya konulmuştur [35].

5.1.1. Direkt Püskürtmeli Yanma Odaları

Yanma odası pistonun üzerinde bir oyuk şeklinde bulunan kısımdır. Yakıtın türbülansı, silindir girişi ve piston üzerindeki odacıkların şekli ile temin edilir. Yakıt püskürtme biçimleri ise hava hareketiyle kontrol edilir. Bundan dolayı çok delikli enjektör kullanılmaktadır. Şekil 5.1’de direkt püskürtmeli yanma odası görülmektedir [20].



Şekil 5.1. Direkt püskürtmeli yanma odası [20].

5.1.2. Bölünmüş Yanma Odaları

Bu tip dizel motorlarda, yanma odasının bir kısmı, bir geçitle ayrılmıştır. Ancak farklı tiplerde bölmeler tasarlanmıştır. Bunların arasındaki fark; ayrılan bu yanma odasının büyüklüğü, şekli, yakıtın püskürtüldüğü yerden kaynaklanmaktadır.

Değişik tipteki yanma odaları şunlardır; [20].

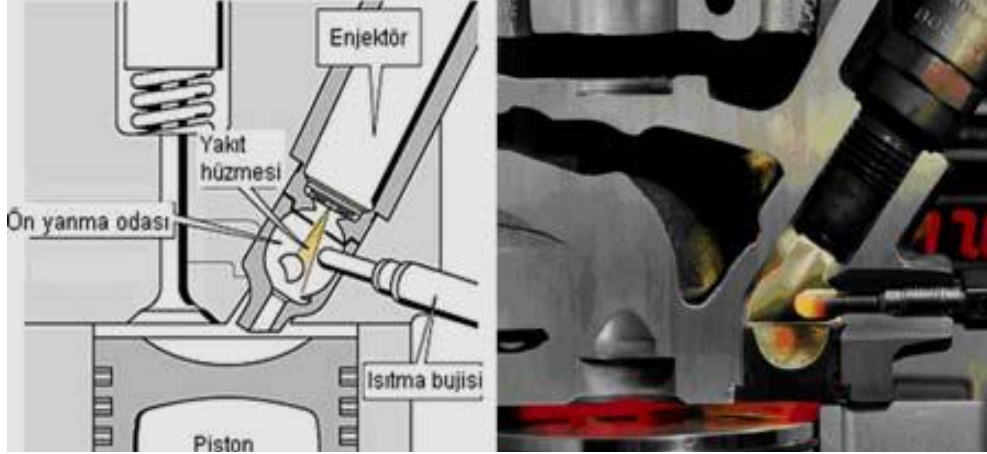
1. Ön yanma odalı
2. Türbülans odalı
3. Enerji hazneli
4. Hava hazneli

5.1.2.1. Ön Yanma Odalı

Ön yanma odası küçük bir bölüm olup bir kanal ile yanma odasına bağlıdır. Ön yanma odası ana yanma odasına bir veya birkaç delikle bağlıdır. Yakıtın tamamı ön yanma odasına püskürtülür. Püskürtme için genellikle alçak basınçla çalışan tek delikli enjektörler kullanılır.

Yanma, ön yanma odasında başlar yeterli miktarda hava almadığı için tamamlanamaz. Bu esnada, sıcak ve tam yanmamış gazlar yükselen basınçların etkisi ile küçük delikten ana yanma odasına hücum ederek buradaki hava ile karışır ve tam

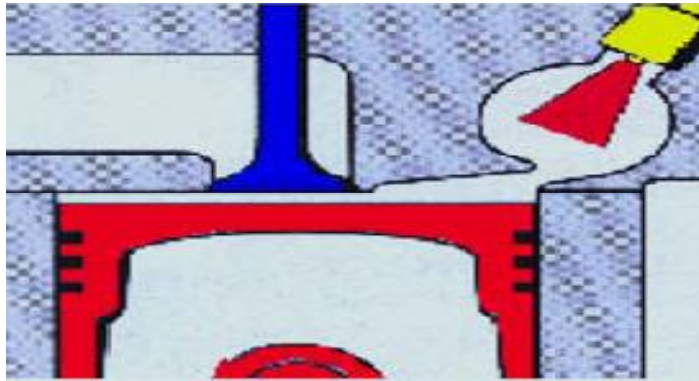
olarak yanarlar. Ön yanma odalı motorlarda sıkıştırma oranının yüksek olması gerekir, çünkü silindirde sıkıştırılan hava ön yanma odasına gidene kadar ısı kaybeder. Bu nedenle bu motorlarda ilk hareketi kolaylaştırmak için kızdırma bujileri kullanılır. Şekil 5.2’de ön yanma odalı motor görülmektedir [20].



Şekil 5.2. Ön yanma odalı motor [20].

5.1.2.2. Türbülans Odalı

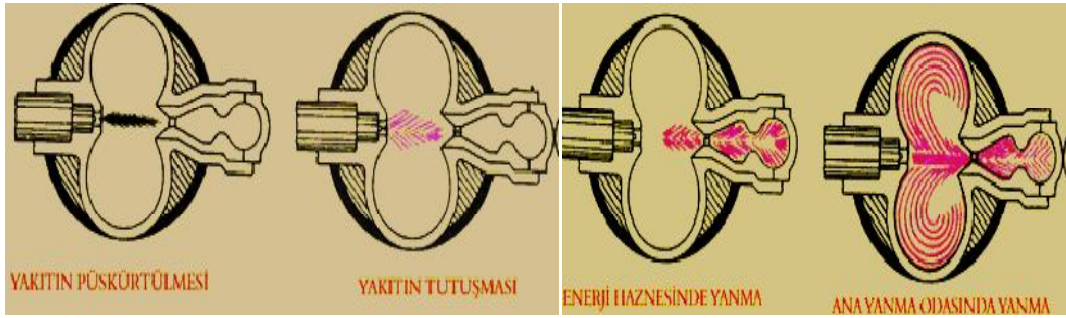
Piston sıkıştırma zamanında Ü.Ö.N’ye doğru çıkarken silindirdeki havayı küresel biçimdeki yanma odasına iter ve odanın yapısı gereği düzenli olarak dönen bir hava hareketi meydana getirir. Bu hava hareketine türbülans denir. Türbülans yuvası silindir kapağına yerleştirilmiştir. Bu tip motorlarda bütün yakıt, tek delikli enjektörle bölünmüş yanma odasına püskürtülmektedir. Şekil 5.3’de türbülans odalı motor görülmektedir [20].



Şekil 5.3. Türbülans odalı motor [20].

5.1.2.3. Enerji Hazneli

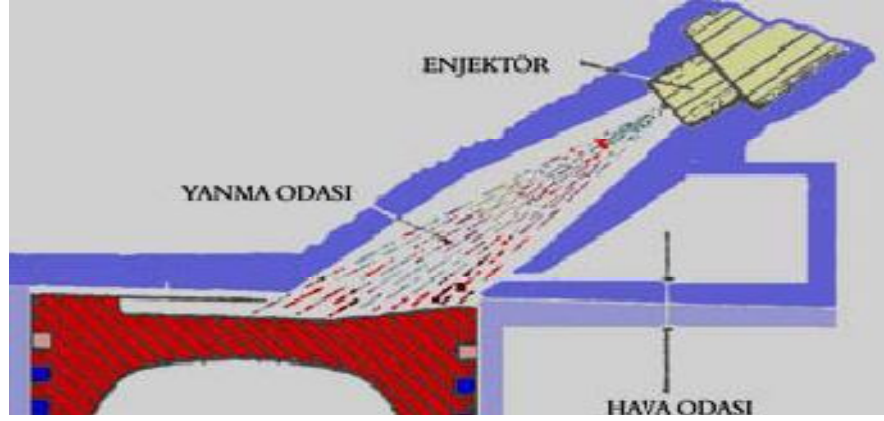
Yardımcı oda silindir kapağındadır ve enjektör tam karşısına yerleştirilmiştir. Enerji odasını kullanmaktaki amaç, püskürtülen yakıtın ana yanma odasında oluşan yüksek hava akımından (türbülans) etkilenmesini engellemektir. Sıkıştırma zamanında piston havayı ana yanma odasına ve enerji odasına sıkıştırır. Sıkıştırma zamanı sonuna doğru enjektörden püskürtülen yakıt zerreleri, kızgın havanın içinden geçerken tutuşmaya başlar. Enerji odasına geçen tutuşmuş yakıtın bir kısmı, buradaki hava hareketi sayesinde tamamen yanar. Sıcaklık ve basınç yükselir. Yüksek basınçtaki gazlar tekrar yanma odasına dönerek büyük bir türbülans oluşturur ve karışımın tam yanması sağlanır. Şekil 5.4’de enerji hazneli yanma odası ve yanma olayı görülmektedir [20].



Şekil 5.4. Enerji hazneli yanma odası [20].

5.1.2.4. Hava Hazneli

Sıkıştırma zamanında piston havayı ana yanma odasıyla birlikte hava odasına da doldurur. Enjektör yakıtı ana yanma odasına püskürtür ve yanma başlar. İş zamanında silindir içerisindeki basınç düşmeye başladığında; hava odasındaki hava, silindire geri dönerek türbülans meydana getirir ve püskürtülen yakıtın tamamen yanmasını sağlar. Şekil 5.5’te hava hazneli yanma odası görülmektedir [20].



Şekil 5.5. Hava hazneli yanma odası [20].

5.2. ENJEKTÖR MEMESİ

Dizel motorlarında enjektör tasarımı ve çalışma parametrelerinin performans üzerinde çok net bir etkisi vardır. Çizelge 5.1’de enjektör meme tasarımının bazı yanma karakteristiklerine olan etkileri belirtilmiştir. Çizelgedeki bilgilere göre meme delik sayısı, püskürtme açısı ve enjeksiyon basıncının yakıtın atomizasyon şekli üzerinde belirleyici rol oynadığı, çok delikli enjektör memesinin tek delikli memeye belirgin biçimde performans üstünlüğü görülmektedir.

Çok delikli meme yapısında, tek delikliye nazaran tutuşma gecikmesinin azaldığı, maksimum basınç ve basınç artma oranının yükseldiği, buna karşılık özgül yakıt sarfiyatının önemli miktarda düşme gösterdiği anlaşılmaktadır. Benzeri bir durum ise meme çaplarında yaşanmaktadır. Meme çaplarındaki küçülme ve çok delikli memelerde, delik sayısının fazlalığı da yine benzeri oranda performans değerleri üzerinde etki göstermektedir [17].

Çizelge 5.1. Enjektör meme tasarımının bazı yanma karakteristiklerine olan etkisi [17].

Enjektör Tipi	Çap veya Delik Sayısı	TG (°KMA)	Pmax (kg/cm ²)	Pme (kg/cm ²)	b _e (g/BGh)	(dp/dt) _{max} (kg/cm ²)
Tek delikli	0.2 mm	20	-	-	-	-
	0.5 mm	20	37	4,5	373	2,04
	1.0 mm	13	47	4,8	359	2,04
Çok delikli	2	13	51	6,0	286	6,12
	6	12	54	7,8	213	6,12
	16	14	44	5,2	327	3,06

5.3. MANİFOLD TASARIMI

Emme manifoldu çapının silindir çapına oranı, volumetrik verim ve hava-yakıt oranı açısından önem kazanmaktadır. Emme havasına verilen türbülans ve emiş hızı, silindire alınan taze hava miktarını etkilediğinden manifoldun tasarımında bu hususlar dikkate alınmalıdır.

Keskin köşe veya cidar pürüzlülüğünün fazlalığı hava giriş hızını ve miktarını azaltmakta, dolayısıyla silindire alınan dolgu kütlelerinde düşme olmaktadır. Karışım içerisindeki hava oranının azalması yanmanın kötüleşmesine yol açtığından, motor performansı ve emisyon değerleri üzerinde olumsuz etki meydana getirmektedir. Benzeri bir durum ise egzoz manifoldu tasarımında görülmektedir [35, 37, 38].

5.4. PÜSKÜRTME AÇISI

Püskürtme esnasında yakıt, enjektörden silindirik bir huzme şeklinde çıkmakta, daha sonra meme deliği çapı, uzunluğu ve geometrisi, havanın ve püskürtülen yakıtın yoğunluğu ile püskürtme basıncına bağlı olarak değişik davranışlar göstererek gaz ortama nüfuz etmektedir. İdeal yanmanın performans gereklerinin önemli kriterleri olan yakıt püskürtme basıncı, püskürtme deliği çapı, püskürtme uzunluğu ve

püskürtme şekli motor performansı ve emisyon değerleri üzerinde etkili olmaktadır [17].

5.5. SIKIŞTIRMA ORANI

Dizel motorlarında silindir içersine alınan havanın birim hacmi, piston yardımıyla, 1:19-1:21 değerine düşecek tarzda sıkıştırılmaktadır. Benzin motoruna göre yanma odası içersinde yaklaşık iki kat daha fazla sıkışan hava, çok yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşmaktadır. Bu sırada, sıcak havanın içersine püskürtülen yakıt kolaylıkla tutuşabilmekte ve yanmaktadır [17].

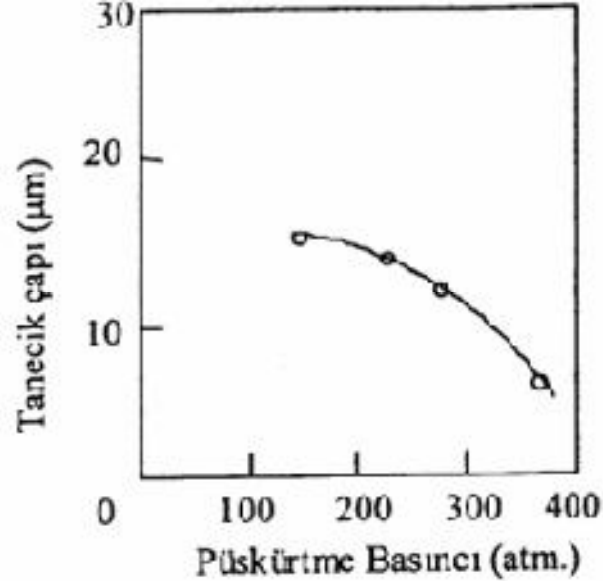
5.6. YAKIT MİKTARI

Dizel motorlarında güç, yakıt miktarıyla ayarlanır. Maksimum güçte tam gaz verilir. Ancak bu durumda iyi bir karışım şansı daha azdır ve egzoz isli oluşur veya silindirde zararlı karbon birikintileri meydana gelir.

Dizel motorlarında püskürtme süresi, TG süresinden daha kısa olabilir. Ancak bu durumda yakıt miktarı TG süresinden bağımsız olduğundan tutuşma gecikmesinin basınç üzerindeki etkisi daha azdır [36].

5.7. PÜSKÜRTME BASINCI

Enjektörler yakıtı silindirlere yüksek basınçta atomize halde püskürten yakıt sistemi elemanıdır. Enjektör püskürtme basınçlarının artmasına bağlı olarak püskürtülen yakıt taneciklerinin çapı küçülmektedir. Bunun sonucunda gecikme periyodu kılalacağından NO_x formasyonunda ve dumanda azalma görülecektir. Şekil 5.6'da püskürtme basıncına bağlı olarak püskürtülen yakıtın tanecik çapındaki değişim görülmektedir [39].



Şekil 5.6. Püskürtme basıncına bağlı olarak yakıt tanecik çapının değişimi [39].

5.8. PÜSKÜRTME AVANSI

Püskürtme avansı küçük olduğu zaman, tutuşma gecikmeleri azalır, motor daha sessiz çalışır. Ancak yakıtın büyük bir kısmı genişleme fazında yandığı için yanma tamamlanamaz ve güç düşer.

Püskürtme avans açısının optimum değeri, motorun yapısına, ısıl yüküne, sıkıştırma oranına, emme kanalındaki havanın sıcaklığına ve basıncına, püskürtme karakteristiklerine ve motor devrine bağlıdır [39, 40].

Püskürtme avansı büyüdükçe püskürtmenin başlangıcındaki havanın basıncı ve sıcaklığı düşük olacağından tutuşma gecikmesi süresi gittikçe artar. Bu durum yanmanın, maksimum basıncının ve basınç artma oranının yükselmesine, dolayısıyla yakıtın büyük bir kısmının Ü.Ö.N civarında sabit hacimde yanmasına ve motorun sert çalışmasına neden olur. Bu nedenle piston-biyel mekanizması zorlanır. Aynı zamanda pistonun hızlı inişi dolayısıyla hızlı yanma Ü.Ö.N'den sonra meydana gelir. Püskürtme avansı küçüldükçe tutuşma gecikme süresi azalır. Bu durumda motor daha yumuşak çalışır. Ancak yanmanın büyük bir bölümü genişleme fazında olur ve yanma tamamlanmadan egzoz supabı açılır ve dolayısıyla motor gücü düşer [39].

5.9. DOLGU MİKTARI

Silindire alınan dolgu miktarı özellikle püskürtülen yakıtın tutuşmasını ve alev hızını etkilemektedir. Yanmayı kolaylaştıran oksijen miktarındaki artış yanma verimini olumlu yönde etkilemekte ve motor performans parametrelerini iyileştirmektedir [35].

5.10. YAKIT YOĞUNLUĞUNUN ETKİLERİ

Yanma odasına fazla miktarda püskürtülen yakıt, yani oluşturulan zengin karışım, yanma odası cidar sıcaklığının artmasına sebep olmakta ve dolayısıyla tutuşma gecikmesi süresini azalmaktadır. Püskürtülen yakıt miktarı; püskürtme hızını değil de püskürtme süresince daha az yakıt gönderilerek, yanmanın ikinci safhasında dp/dt oranında azalma gösterecektir. Dizel motorlarındaki güç artışı silindire gönderilen yakıt yoğunluğu ile doğrudan ilgilidir [35].

5.11. AROMATİK YÜZDESİNİN ETKİLERİ

Hidrokarbonlar içerisinde yoğunluğu en fazla olan aromatiklerdir. Dolayısıyla birim hacim başına en yüksek ısı değere sahip olduğundan isli yanarlar. Yanma odasına püskürtülen yakıtın aromatik yüzdesinin fazla olması durumunda yanma sonucu oluşan karbon birikintilerinin özellikle supap sapı ve tablalarında ve enjektör meme uçlarında kurum oluşturarak yanma odası hacminin azalmasına sebep olmaktadır. Yanma odası içerisinde çok fazla miktarda biriken artıklar yüzünden yanma verimi azalarak performans değerlerinde azalma meydana gelmektedir [36].

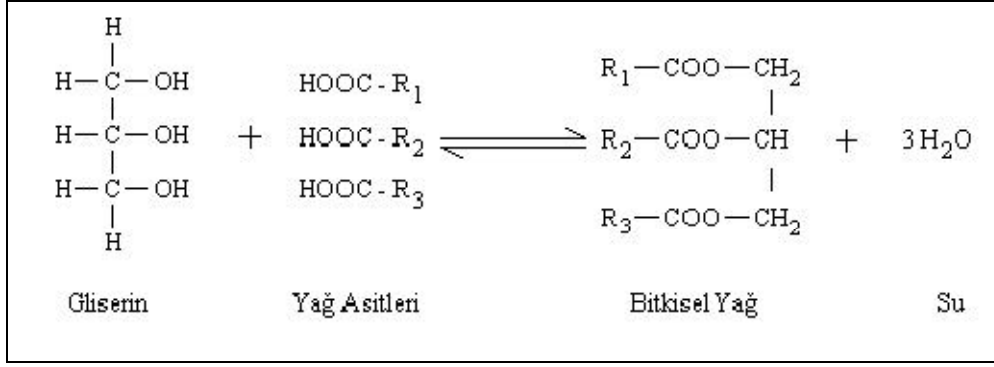
BÖLÜM 6

ATIK BİTKİSEL YAĞLARIN DİZEL MOTORLARDA KULLANIMI VE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

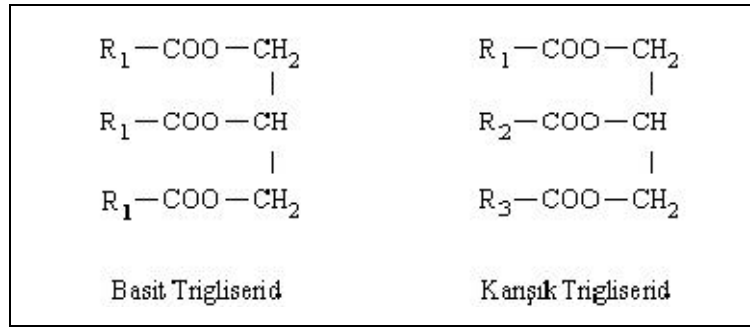
Günümüz dünyasında değişen ve gelişen teknoloji araç sayısındaki hızlı artış petrol kökenli yakıtların sınırlılıkları ve çevreye vermiş olduğu zararlar düşünüldüğünde yenilebilir enerjiye hızlı bir dönüş olması düşünülmektedir. Biyodizeller petrol kökenli yakıtlarda karşılaştırıldığı zaman emisyon değerleri 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 zehirlenmesinin önlenmesi. Biyodizel yakıtın diğer bir artı yönü ise dizel motorların yapısında kapsamlı bir değişikliğe gitmeden kullanılabilir olmasıdır.

6.1. 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 6.1 ve Şekil 6.2'de görülmektedir [41].



Şekil 6.1. Yağ asidinin gliserinle esterleşmesi [41].



Şekil 6.2. Basit ve karışık trigliserid [41].

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 [42].

Çizelge 6.1’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 [42].

Çizelge 6.1. Ülkemizde yetiştirilen bitkisel yağlar [43].

Yağ Bitkisinin Adı	Ekiliş Alanı (ha)	Yağ Oranı (%)	Üretim Verimi (kg/ha)	Üretim Miktarı (ton)
Yer Fıstığı	32000	35-55	2563	82000
Soya	31000	13-25	2419	75000
Kolza	10	10-45	1000	10
Aspir	74	9-28	878	65
Ayçiçeği	560000	40-50	1607	900000
Susam	68000	45-59	412	28000
Haşhaş	29681	44-50	369	10948
Pamuk Toh.	721712	16-24	1653	1193286
Mısır	515000	17-18	3689	1900000
Türkiye Toplamı	1959738	-	-	4189929

Çizelge 6.2’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. Parlama noktasının yüksek oluşu depolama güvenliği sağlarken tutuşma yönünden sorun teşkil etmektedir. Akma ve donma noktalarının da yüksek oluşu bitkisel yağların direk olarak kullanılmasında sorun teşkil etmektedir [41, 42].

Çizelge 6.2. Bitkisel yağların yakıt özellikleri [43].

Bitkisel Yağ	Ö. Kütle (g/ml)	Viskozite mm ² /s	Isıl Değ. (kj/kg)	Setan S. (ASTM D613)	TG K.M.A (°)	Donma Noktası (°C)	Akma Noktası (°C)	Oksitlenme Süre. (h)
Ayçiçek	0.92	34.9	39644	33	23.8	7.2	-15	5.5
Soya yağı	0.92	36.4	39390	39	19.6	-3.9	-12.2	8
Pamuk	0.91	37.4	37420	51	21.4	1.7	-15	7.5
Yer fıstığı	0.91	37.2	37160	39	19.6	12.8	-6.7	6.7
Kolza	0.92	39.0	39913	37.6	21.9	-3.9	-31.7	10.5
Keten	-	27.2	39300	34.6	-	1.7	-15	3
Susam	-	35.5	39350	40.2	-	-3.9	-9.4	8.5
Motorin	0.86	2.9	42450	50.8	12.5	-15	-33	150
Karbon	Tüm bitkisel yağlarda %0.22-0.30 (ASTM sınır değeri %0.35)							
Kükürt	Tüm bitkisel yağlarda %0.01 (ASTM sınır değeri %0.5)							
Kül oranı	Tüm bitkisel yağlarda %0.005-0.01 (ASTM sınır değeri %0.01)							
Su ve tortu	Tüm bitkisel yağlarda %0.05 (ASTM sınır değeri %0.05)							

6.2. 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 1 500 000 ton bitkisel yağ gıda amacı ile kullanılmaktadır. Bu yağların yaklaşık olarak 350 000 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.s. kızartma işlemleri esnasında önemli miktarda hayvansal atık yağ oluşmaktadır. Son zamanlarda ülkemizde yağda kızartılmış patates ve diğer yiyeceklerin kullanımında önemli artışlar olmuştur. Bu artışın sonucu kullanılmış bitkisel yağ atıkları da artmıştır [44, 55]. Ülkemizde kullanılmış kızartma yağı toplama bilgileri Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Ülkemizde kullanılmış kızartma yağı toplama bilgileri [45].

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

Çevre ve Orman Bakanlığının verilerine göre minimum 150.000, maksimum 350.000 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 [55].

Ev veya restaurant atığı yağlardan yağ asidi esterleri üretimi, alternatif yakıtlar konusuna farklı bir yaklaşım getirmiştir. A.B.D. standartlarına göre bir litre biyodizel üretimi 0.5 dolara mal olmaktadır. Bu bedelin 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 kanalizasyona dökülmeyip 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 [55].

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 [46, 47].

6.2.1. Atık Yağların Çevresel Etkileri

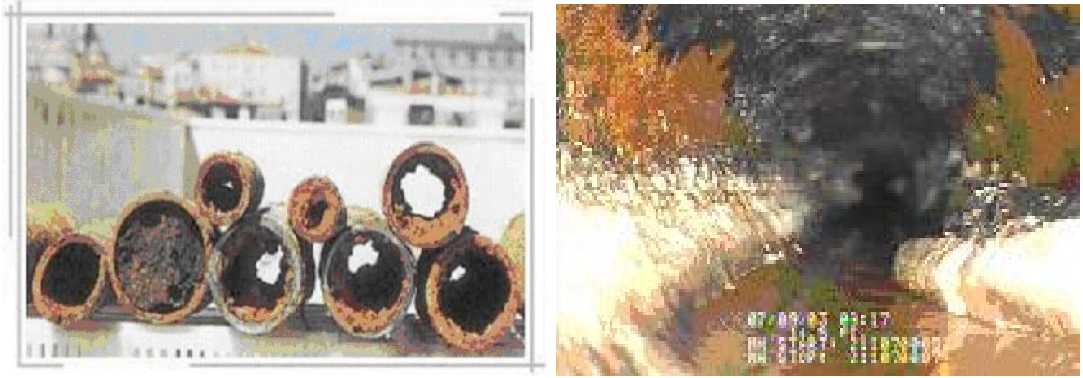
Bitkisel ve hayvansal yağ atıklarının kalorileri çok yüksektir. Bu atık yağlar, suya, kanalizasyona döküldüğü zaman su yüzeyini kaplar, su sistemine zarar verir, havadan suya oksijen transferini önler, zamanla suda bozunarak sudaki oksijenin tükenmesini hızlandırır. Kullanılmış yağlar lavaboya döküldüğü zaman dren sistemine sıvanır, kanalizasyon borusu içindeki atıkların yapışmasına ve zamanla borunun daralmasına neden olur. Kanalizasyona dökülen atık yağlar mıknaş gibi diğer atıkları tutarlar ve böylece kanalizasyon sisteminin kullanılmaz hale gelmesine sebep olur. A.B.D.'de yapılan bir araştırmaya göre atık yağ ve greslerin oluşturduğu blokajdan dolayı kanalizasyon sistemlerinin % 40 oranında tıkanmasına sebep olmaktadır [55]. Şekil 6.3'te atık yağlardan dolayı tıkanan kanalizasyon görülmektedir.



Şekil 6.3. Atık yağlardan dolayı tıkanan kanalizasyon [45].

Ayrıca biyolojik arıtmada faaliyet gösteren bakteriler yağ ve gresle kaplanarak aktiviteleri engellenir. Atık su kirliliğinin % 25 oranında kaynağını, kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağlar oluşturmaktadır. Restoran atık sularındaki yağ-gres değeri 100-300 mg/lt, arasında değişmektedir. Eğer hayvansal ve bitkisel yağlar geri kazanılsa restoran atık suyundaki yağ-gres değeri 24-144 mg/lt olacaktır. Sonu arıtma ile bitmeyen atık suların içindeki bitkisel ve hayvansal atık yağlar denizlere, göllere ve akarsulara döküldüğü zaman o suyun kirlenmesi ve sudaki oksijenin azalmasına sebep olmaktadır bunun sonucu olarak, başta balıklar olmak üzere diğer

canlılara büyük zarar vermektedir. Bu konuda ki yasal düzenlemeler, Çevre ve Orman Bakanlığının, bitkisel ve hayvansal atık yağların kontrolü yönetmeliğinde, bitkisel ve hayvansal atık yağların yönetimine ilişkin ilkeler (madde 5) ve atık yağlardan biyodizel üretimi uygulamasın da ele alınan esaslar (madde 18) belirtilmektedir [47, 48, 49]. Şekil 6.4'te bitkisel ve hayvansal atık yağlardan dolayı tıkanan kanal sistemleri görülmektedir.



Şekil 6.4. Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan dolayı tıkanan kanal sistemleri görüntüleri [45].

6.3. 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 içersindeki su ve yabancı maddelerden ayrıştırılması gerekir [47].

6.3.1. Hammadde Olarak Atık Bitkisel Yağlar

Bitkisel yağlar dizel motorlarında kullanılamayacak kadar pahalıdır. Bu durum alternatif yakıt olarak kullanımını açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Daha çok acil ihtiyaç duyulan durumlarda, petrolün bulunamadığı ya da yeterli olmadığı

zamanlarda kullanılmaktadır. Bu durumda atık yağların kullanılması maliyet açısından büyük bir etki oluşturmaktadır [55].

Bitkisel yağların, kullanımı sonunda fiziksel ve kimyasal özellikleri değişebilmektedir. Bu yüzden atık bitkisel yağların, kullanılmamış bitkisel yağlara göre özellikleri farklıdır. Bu durumda yoğunluk, viskozite, sabunlaşma değeri ve serbest yağ asidi miktarı artar fakat iyodun değeri düşer. Yüksek serbest yağ asidi içeren bir yağ, alkali katalizörlerle reaksiyona sokulduğunda sabun oluşumu meydana gelmektedir. Serbest yağ asitleri ester dönüşümünü azaltırken, reaksiyon esnasında oluşan sabun, reaksiyon sonunda ester, gliserin ve yıkama suyunun ayrışmasına engel olur. Bu tip yağlarda serbest yağ asidi oranının yüksek seviyelerde olması üretim esnasında büyük sorun oluşturmaktadır. Dolayısıyla atık bitkisel yağlar ile transesterifikasyon reaksiyonuna geçirmeden önce yapılacak işlem, yağın serbest yağ asidi miktarını belirlemek olacaktır [47, 49].

6.4. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLME YÖNTEMLERİ

Bitkisel yağların, petrol kaynaklı dizel yakıt ile rekabet edebilecek alternatif yakıt şeklinde değerlendirilmesi, öncelikli olarak motorlarda doğrudan kullanılması yönünde olmuştur. Ancak, bitkisel yağların doğrudan dizel motorlarda kullanımı biyodizelin getirdiği bazı avantajları sağlasa da yüksek viskozite, düşük uçuculuk ve doymamış hidrokarbon zincirlerinin reaktivasyonundan dolayı, özellikle uzun süreli çalışmalarda enjektörlerin tıkanması ve yağlama yağının bozulması gibi problemler oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskoziteleri oldukça yüksek olup, standart No.2 dizel yakıtının viskozitesinin 10-20 katı mertebelerinde olabilmektedir. Hatta hint yağının viskozitesi dizel yakıtın 100 katı kadardır. Yüksek viskozite de yakıtın püskürtülmesinde oldukça olumsuzluklara sebep olmaktadır [50].

Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilmesi için motorlarda değişiklikler yapılması yerine yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilerek, dizel yakıt No.2'ye yaklaştırılması tercih edilmektedir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi çalışmalarında ısıl ve kimyasal olmak üzere iki genel yaklaşım bulunmakla birlikte,

kimyasal yöntem daha çok tercih edilmektedir. Kimyasal yöntemde kendi arasında seyreltme (inceltme), mikroemülsiyon oluşturma, proliz (ayırıştırma) ve transesterifikasyon (yeniden esterleştirme) olmak üzere dörde ayrılmaktadır [51].

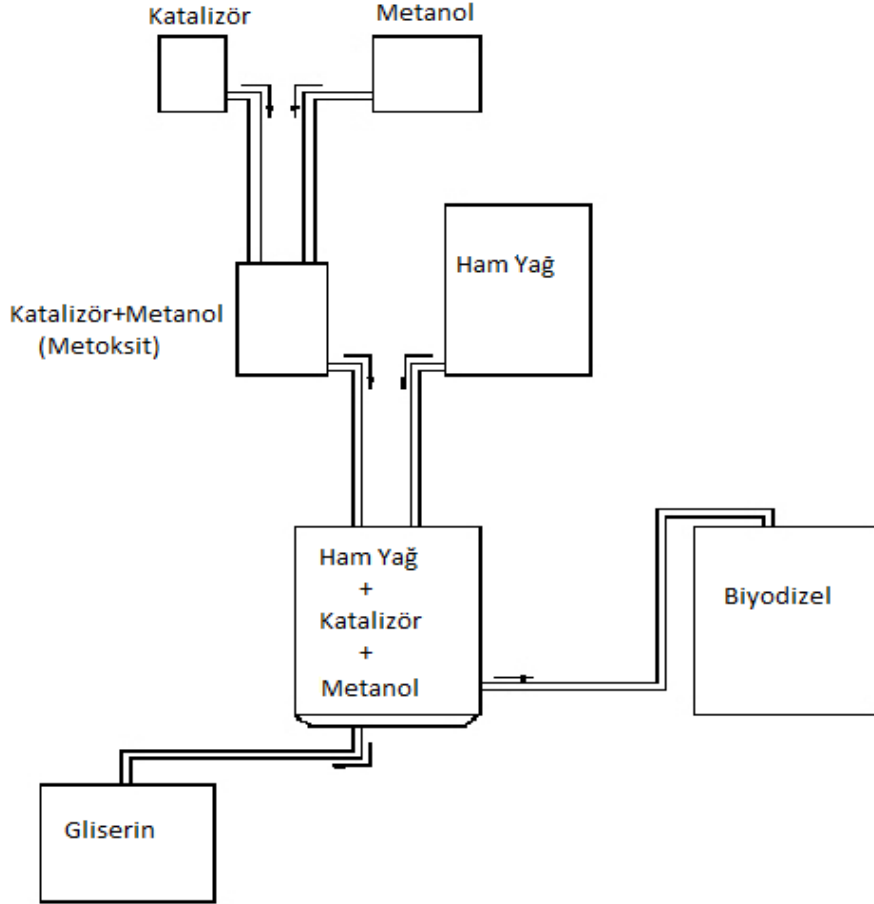
Seyreltme bitkisel yağların belirli oranlarda dizel yakıt ile karıştırılarak kullanıldığı bir yöntemdir. Karışım oranı karışım yakıtın özelliklerinin standartlar içinde kalmasını sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Mikroemülsiyon oluşturma metodunda metil alkol ve etil alkol gibi sıvılarla mikroemülsiyonlar oluşturularak, özellikle viskozitede önemli azalmalar olmaktadır. Piroлиз yönteminde ise bitkisel yağlar oksijensiz ortamda ısıl bozunmaya tabii tutularak alkanlar, alkenler, alkadienler, karboksilikasitler, aromalar ve küçük miktarda gazlar ortaya çıkarılmaktadır. Bu yöntem ile ortaya çıkan ağır hidrokarbonların kimyasal bileşimlerinin, petroldeki hidrokarbonlar ile benzer özelliklere sahip olduğu ortaya konmaktadır. Transesterifikasyon yöntemi aşağıda daha detaylı olarak açıklanmaktadır [50].

6.4.1. Transesterifikasyon Yöntemi

Alkoliz reaksiyon olarak da bilinen transesterifikasyon işlemi bitkisel yağ ve bir alkolün, katalizör eşliğinde reaksiyona girerek yağ asidi alkol esterleri ve gliserin oluşturmalarıdır. Oluşan alkol esterine biyodizel denilmektedir. Yöntemler arasında en çok bilinen ve kullanılan yöntem bu yöntemdir [33].

Transesterifikasyon işleminin genel şeması Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Öncelikle alkol ve katalizör bir karışım tankında karıştırılır. Reaktöre ham yağ alınarak yaklaşık 55 °C'ye kadar ısıtılır. Isınan yağ üzerine hazırlanan alkol-katalizör karışımı dökülür ve karıştırılır. Beklemeye alınan karışımda yoğunluk farkları sebebi ile alkol esterleri (biyodizel) üstte kalır, gliserin dibe çöker. Dibe çöken gliserin alt taraftan tahliye edilir. Ayırıştırılan biyodizel içinde belirli miktarlarda gliserin kalma ihtimaline karşı 30-35 °C sıcaklıkta ılık su ile yıkanır. Artık gliserin su ile temas ederek suya bulaşır, faz farkından dolayı dibe çöker ve daha sonra tahliye edilir. Bununla birlikte biyodizelin içinde kalması muhtemel az bir miktardaki su da ısıtma ile buharlaştırılarak biyodizelden uzaklaştırılır [33].

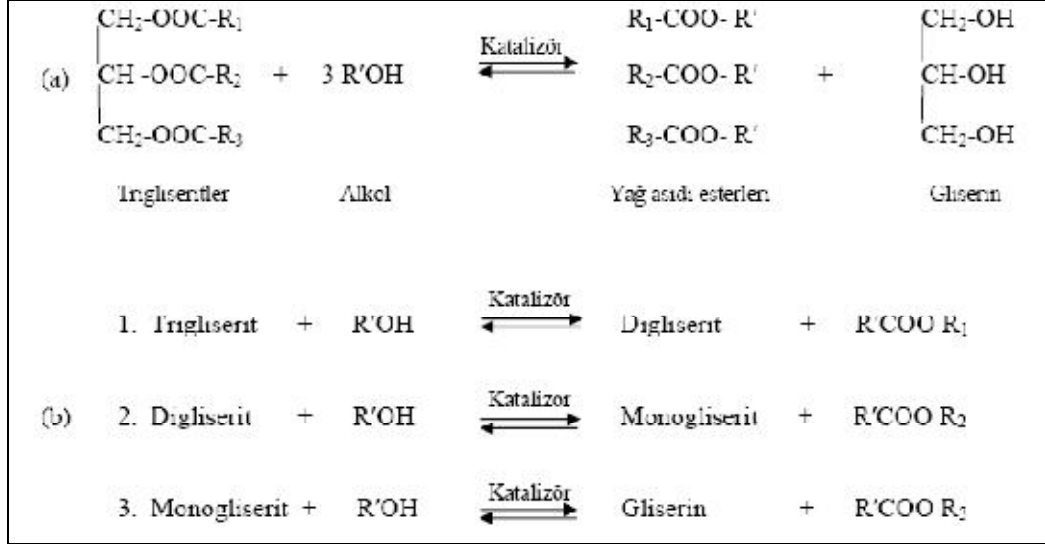
Genel transesterifikasyon reaksiyon basamakları Şekil 6.6’da gösterilmiştir. Öncelikle trigliseridler digliseridlere dönüşmekte, bunu sırasıyla digliseridlerin monogliseridlere ve monogliseridlerin de gliserole dönüşmesi takip etmektedir. Her basamakta gliseridlerden bir ester molekülü oluşmaktadır [52].



Şekil 6.5. Transesterifikasyon işlemi genel şeması [52].

Reaksiyonda kullanılabilen alkoller metil alkol, etil alkol, propanol ve butanol olabilmektedir. Bununla birlikte bunlardan pratikte en sık kullanılanları metil ve etil alkoldür. Etil alkol, tarımsal ürünlerden elde edilebilen yenilenebilir bir kaynak ve ekolojik denge içerisinde biyolojik olarak daha kabul edilebilir olması nedeni ile metil alkole karşı daha avantajlı olmasına rağmen, metil alkolün daha ucuz olması ve daha kısa alkol zincirlerine sahip olması gibi kimyasal ve fiziksel avantajları vardır. Reaksiyonda kullanılan katalizörlerin görevi, reaksiyon hızını ve verimini arttırmaktır. Transesterifikasyon reaksiyonunda başlıca alkali, asidik ve enzimatik

katalizörler kullanılmaktadır. Aşağıdaki kısımlarda bunlar ayrı ayrı açıklanacaktır. [33].



Şekil 6.6. Genel transesterifikasyon reaksiyon basamakları [52].

6.4.1.1. Alkali Katalizörler İle Transesterifikasyon

Transesterifikasyonda kullanılan alkali katalizörler genel olarak NaOH, KOH ve karbonatlardır. Alkali katalizörler, aynı miktarda asidik katalizör ile gerçekleşen reaksiyondan yaklaşık olarak 4000 kat daha hızlıdır. Bu nedenle serbest yağ asitlik değeri yüksek olmayan yağların kullanıldığı ticari uygulamalarda çoğunlukla alkali katalizörler kullanılmaktadır [52].

Alkali katalizörün kullanımında su ve bitkisel yağ içerisindeki serbest yağ asitlerinin miktarı çok önemlidir. Bitkisel yağ kesinlikle sudan arındırılmış olmalı ve su içermeyen saf alkoller kullanılmalıdır. Çünkü su reaksiyonu kısmen değiştirerek sabunlaşmaya neden olabilir. Sabun ise katalizörün reaksiyondaki katalitik etkisini azaltır ve viskozitenin yükselmesi ile jelleşmeye neden olur. Bu sebeple hem ürün verimi düşer, hem de gliserinin ayrıştırılması güçleşir. Serbest yağ asitleri de alkali katalizör ile reaksiyona girerek sabun ve su oluşumuna sebep olurlar. Bu nedenle alkali katalizör eşliğinde gerçekleşen transesterifikasyon reaksiyonunun başarılı sonuçlanabilmesi ve ticari anlamda geçerli bir yöntem olabilmesi için bitkisel yağın

serbest yağ asitleri miktarının ağırlıkça % 0,5'inin altında olması ve kullanılan alkolün de su içermiyor (mutlak) olması gerekir [52, 53].

Atık kızartma yağlarının hammadde olarak kullanıldığı uygulamalarda bu sınırlama özellikle ön plana çıkmaktadır. Genel olarak atık kızartma yağlarının serbest yağ asitleri miktarının ağırlıkça % 2'nin üzerine çıktığı belirlenmiştir. Bu durumda alkali katalizör kullanımından önce serbest yağ asidi oranlarının azaltılması gerekmektedir. Bunun için tavsiye edilen yöntemlerden birisi, yağın, sülfürik asidin katalizör eşliğinde metil alkol ile esterleştirilmesidir. Bu yöntem ile yağın içindeki serbest yağ asitleri miktarı % 0,5 oranının altına indirilebilir [53, 54].

Alkali katalizörle gerçekleştirilecek reaksiyonun verimine etki eden diğer bir önemli nokta alkol ve bitkisel yağın molar oranıdır. Stokiyometrik transesterifikasyon reaksiyonunun gerçekleşmesi için her bir mol trigliserid molekülü için üç mol alkol gerekir. Bu reaksiyon sonunda üç mol ester ile 1 mol gliserin oluşması beklenir. Bununla birlikte yüksek mol oranları ile daha kısa zamanda daha fazla ester dönüşüm verimi temin edilmektedir. Soya yağı, ayçiçek yağı, yer fıstığı yağı ve pamuk yağı gibi farklı bitkisel yağlar kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda en yüksek esterleşme miktarına 6:1 mol oranında ulaşılmıştır [52].

Endüstriyel uygulamalarda alkali katalizör olarak, ucuz olması nedeni ile çoğunlukla sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit tercih edilmektedir [33].

6.4.1.2. Asidik Katalizörler İle Transesterifikasyon

Asidik katalizör ile gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonu, bitkisel yağ içerisinde bulunan serbest yağ asidi ve su miktarından etkilenmemektedir. Ancak asidik katalizörler ile transesterifikasyon, alkali katalizörlere göre oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Sülfürik asit, fosforik asit ve hidroklorik asitler asidik katalizör olarak kullanılan asitlerdendir [52].

Asidik katalizör kullanımı ile reaksiyon süresi uzamasına rağmen, hammaddenin serbest yağ asidi miktarından etkilenmemesi, alkali katalizörlere göre su miktarına

daha az duyarlı olması ve bu özellikleri sonucunda da ayrıca bir ön işlem gerektirmemesi asidik katalizör yönteminin en önemli avantajlarından. Bu avantajlar özellikle atık yemeklik yağların ve sabun stoklarının hammadde olarak kullanılması durumunda büyük önem taşımaktadır [33].

6.4.1.3. Enzimatik Katalizörler İle Transesterifikasyon

Bu yöntemde diğer iki yöntemden farklı olarak lipaz (lipase) adı verilen ve gliseritleri hidrolize etme kabiliyeti olan enzimler kullanılır. Öncelikle trigliseritler lipazlar ile hidroliz edilerek, gliseritlere ve serbest yağ asitlerine dönüştürülürler. Daha sonra da bu serbest yağ asitleri ve metil alkol ile metil ester meydana getirilir. Bu yöntem kullanımında alkali katalizör kullanımından dolayı oluşan birçok sorun oluşmaz. Bununla birlikte bu yöntem alkali ve asidik katalizörlerle gerçekleştirilen yöntemlere göre çok daha yüksek maliyetlidir, bu yüzden de ticari amaçla uygulanması zor gözükmektedir [52].

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorda sabit devirde, değişik yük ve püskürtme basınçlarında dizel, biyodizel ve dizel-biyodizel karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenmesi hedeflenmiştir.

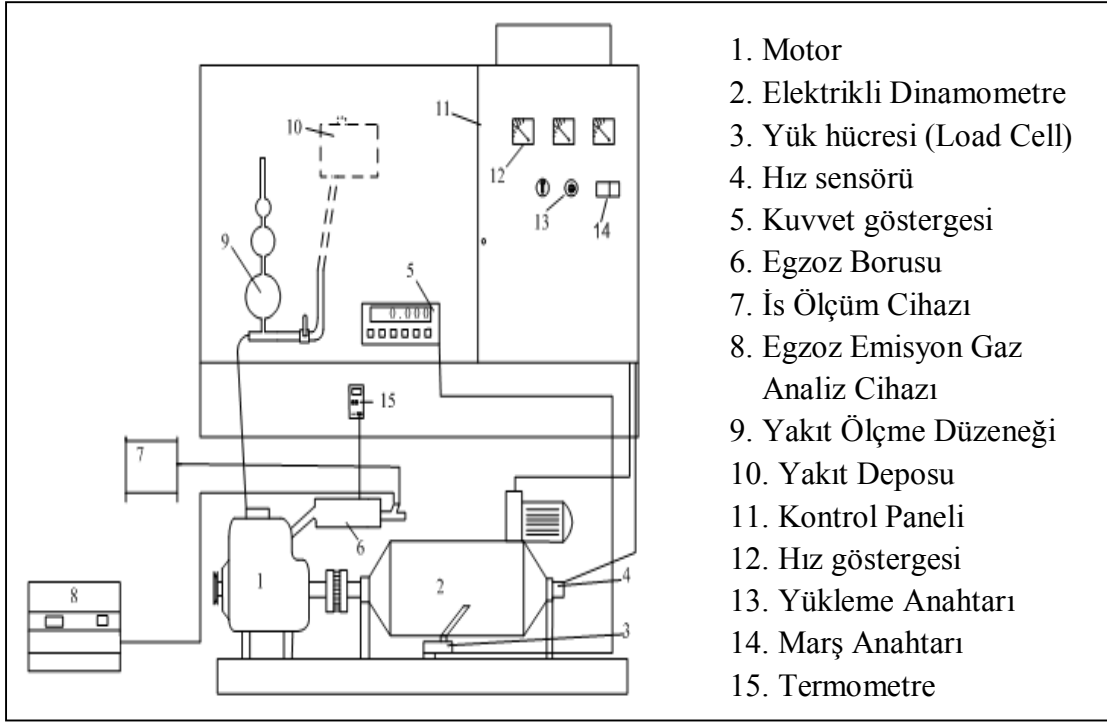
7.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER

7.2.1. Deney Yeri

Deneyler Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarında yapılmıştır. Deney tesisatının genel görünüşü Şekil 7.1’de, şematik görünüşü ise Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.1. Deney tesisatının genel görünümü.



Şekil 7.2. Deney tesisatının şematik görünüşü.

7.2.2. Deney Motoru

Fakülte laboratuvarında yapılan deneylerde, tek silindirli, 4 zamanlı, sıkıştırma ile ateşlemeli Katana marka bir araştırma motoru kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 7.1’de verilmiştir. Deney motorunun orijinal sıkıştırma oranı 18,5/1 dir. Püskürtme basıncı 200 bar’dır.

Çizelge 7.1. Deney motorun teknik özellikleri.

Model	Katana 178
Motor genel özellikleri	4 zamanlı, sıkıştırma ile ateşlemeli
Çap x Strok	78 x 62 mm
Hacim	296 cm ³
Silindir sayısı	1
Sıkıştırma oranı	18,5/1
Yakıt sistemi	Direk püskürtmeli
Soğutma sistemi	Güçlendirilmiş hava soğutmalı
Püskürtme avansı	31°
Püskürtme basıncı	200 bar

7.2.3. Deney Yakıtları

Deneylerde yakıt olarak No.2 dizel yakıtı ve 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. Motorinin özellikleri Shell firmasından alınmıştır. Deneylerde kullanılan yakıtların özellikleri aşağıdaki Çizelge 7.2’de verilmiştir.

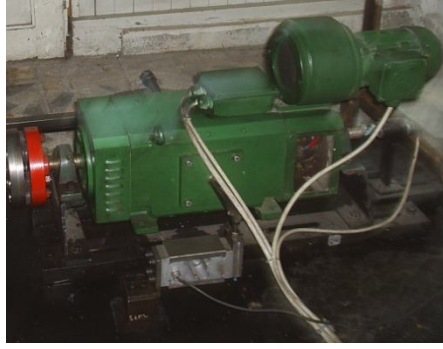
Çizelge 7.2. Deney yakıtları özellikleri.

Yakıtın Adı	Yoğunluk (kg/m³)	Kinematik Viskozite (mm²/s)	Isıl Değer (kJ/kg)	Parlama Noktası (°C)
Biyodizel	889	5,0	39576	163
Motorin	828	2,6	42640	60

7.3. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

7.3.1. Motor Dinamometresi

Deneyleerde motorun yüklenmesi için, Şekil 7.3'te görülen Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney seti motor kuvvetini, hızını ve sıcaklığını ölçecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır.



a) Dinamometre



b) Dinamometre Kontrol Ünitesi

Şekil 7.3. Dinamometre ve dinamometre kontrol ünitesinin görünümü.

7.3.2. Egzoz Gaz Analizörü

Deney motorun egzoz emisyonlarının ölçümü için MRU DELTA 1600L egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır, (Şekil 7.4). Egzoz gazı analiz cihazı ile HC, CO, NO_x, CO₂, λ (hava fazlalık katsayısı) ve O₂ değişenleri ölçülebilmektedir. Ayrıca dizel motorları için is emisyonları belirlenmektedir. Çizelge 7.3'te egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 7.4. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.

Çizelge 7.3. Egzoz gaz analiz cihazı teknik özellikleri.

Değişkenler	Ölçüm Aralıkları	Duyarlılık
Oksijen (%)	0-25	$\pm 0,1$
Karbon monoksit (%)	0-15	$\pm 0,01$
Karbon dioksit (%)	0-20	$\pm 0,01$
Hidrokarbon (ppm)	0-20000	± 12
Azot oksit (ppm)	0-4000	± 5
Duman Koyuluğu (%)	0-99	± 2

7.3.3. Yakıt Tüketim Ölçme Düzeneği

Dizel ve biyodizel ile yapılan çalışmada, yakıt tüketimini ölçmek için kütleli yöntem kullanılmıştır. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği 1 g hassasiyete sahip elektronik terazidir. Yakıt tüketim ölçme düzeneği Şekil 7.5'te görülmektedir.



Şekil 7.5. Yakıt tüketimi ölçme düzeneği.

7.3.4. Kronometre

Yakıt tüketimi süresinin ölçülmesinde dijital bir kronometre kullanılmıştır. Kronometre ile 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapılabilmektedir.

7.3.5. Yük Sensörü (Load Cell)

Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetini ölçmek için ESİT marka SP 100 kg C1 Load cell ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Deney sonunda ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak motor momenti hesaplanmıştır. Load cell ve indikatörün görünüşleri Şekil 7.6'da verilmiştir.



Şekil 7.6. Load cell ve indikatörün görünümü.

7.3.6. Dijital Termometre

Sıcaklıkların ölçülmesinde TES marka TES 1320 termokupullu dijital bir termometre kullanılmıştır. Bu termometre ile iki farklı noktanın sıcaklıklarını ayrı ayrı veya iki nokta farkı şeklinde ölçebilmek mümkündür. Termometre Şekil 7.7’de verilmiştir.



Şekil 7.7. Dijital termometre.

7.3.7. Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı

Yapılan deneyler esnasında enjektörün basınç değerini ayarlamak için enjektör püskürtme basınç ayar cihazı kullanılmıştır. Enjektör püskürtme basınç ayar cihazı Şekil 7.8’de görülmektedir.



Şekil 7.8. Enjektör püskürtme basınç ayar cihazı.

7.4. DENEYLERİN YAPILIŞI

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

7.4.1. Motor Deneyleri

Deneyler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada motor; dizel, biyodizel ve B50 yakıtı ile standart püskürtme basıncında (200 bar) çalıştırılmış ve moment, yakıt tüketimi, egzoz sıcaklık değerleri ve egzoz emisyon değerleri kaydedilmiştir. Bu testler sabit bir devirde (2800 1/min) ve dört farklı yükte (3,06; 6,13; 9,2; 12,26 Nm) yapılmıştır.

İkinci aşamada motor; B0, B50 ve B100 yakıtları ile farklı püskürtme basınçlarında sabit yükte test edilmiştir. Motorun standart püskürtme basıncı 200 bar olduğu için bir alt ve iki üst değer püskürtme basıncı olarak belirlenmiştir. Bunlar; 180, 200, 220, 240 bar basınçlardır.

Deneylerde, her bir adımda motor devri ve momentini sabitleştikten, kuvvet ve termometre göstergeleri kararlı hale geldikten sonra ölçüm sonuçları kaydedilmiştir.

7.5. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

7.5.1. Motor Momenti ve Gücü

Deney sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0,25 m uzaklıktaki load cell'den okunmuştur.

Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$Me = FxgxL \quad (7.1)$$

Me : Etkin Motor Momenti (Nm)

F : Load cell'den okunan kuvvet (kg)

L : Motor merkezinin load cell'e uzaklığı (m)

Örnek olarak; motor devri 2800 1/min'de dinamometreden okunan kuvvet $F = 5,00 \text{ kg}$ olduğuna göre, 2800 1/min'deki motor momenti; (7.1)'deki eşitlikte yerine konularak $Me = 12,2625 \text{ Nm}$ olarak hesaplanmıştır.

Motor gücü ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$Pe = \frac{Mexn}{9549} \quad (7.2)$$

Pe : Efektif motor gücü (kW)

Me : Etkin Motor momenti (Nm)

n : Motor devri (1/min)

Moment değeri 12,2625 Nm (7.2)'deki eşitlikte yerine yazılarak motor gücü;

$$Pe = \frac{12,2625 \times 2800}{9549} = 3,6 \text{ kW} \quad (7.3)$$

olarak hesaplanmıştır.

7.5.2. Yakıt Tüketimi Ve Özgül Yakıt Tüketimi

Motorinle ve diğer yakıt karışımlarıyla yapılan çalışmalarda yakıt tüketimini ölçmek için kütleli yöntem kullanılmıştır. Yapılan çalışmada 1 g'a duyarlı elektronik terazi ile yapılan ölçümlerde 10 g yakıtın ne kadar sürede tüketildiği bulundu ve daha sonra saatteki yakıt tüketimi kg/saat cinsinden hesaplandı.

Örneğin motor 2800 1/min ile 180 bar basınçta çalışırken 10 gr yakıtı 24 saniyede tükettiğine göre;

Motorun saatteki yakıt tüketimi;

$$B = \frac{0,01 \times 3600}{24} = 1,5 \text{ kg/h} \quad (7.4)$$

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır;

$$be = \frac{B \times 1000}{Pe} \quad (7.5)$$

be : Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh)

B : Saatlik yakıt tüketimi, (kg/h)

Pe : Efektif motor gücü, (kW)

(7.4)' de hesaplanan saatlik yakıt tüketimi eşitlik (7.5)' de yerine yazılarak,

$$be = \frac{1,5 \times 1000}{3,6} = 416,66 \text{ g/kWh} \quad (7.6)$$

olarak özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

BÖLÜM 8

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan bu çalışmada değişik yük ve püskürtme basınçlarında atık yağdan elde edilen biyodizel ve biyodizel-dizel yakıt karışımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Deneyle iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada orijinal püskürtme basıncında (200 bar) B0, B50 ve B100 yakıtlarının deney motoru üzerinde hiçbir değişiklik yapmadan kullanılabilirliği test edilmiştir. İkinci aşamada ise her üç yakıt için optimum basınç belirlenmiştir.

8.1. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneyle sonucu elde edilen ÖYT, NO_x, HC, CO, is ve egzoz gaz sıcaklığının değişimleri; değişik yakıtlar, değişik yük ve püskürtme basınçları için grafik olarak gösterilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

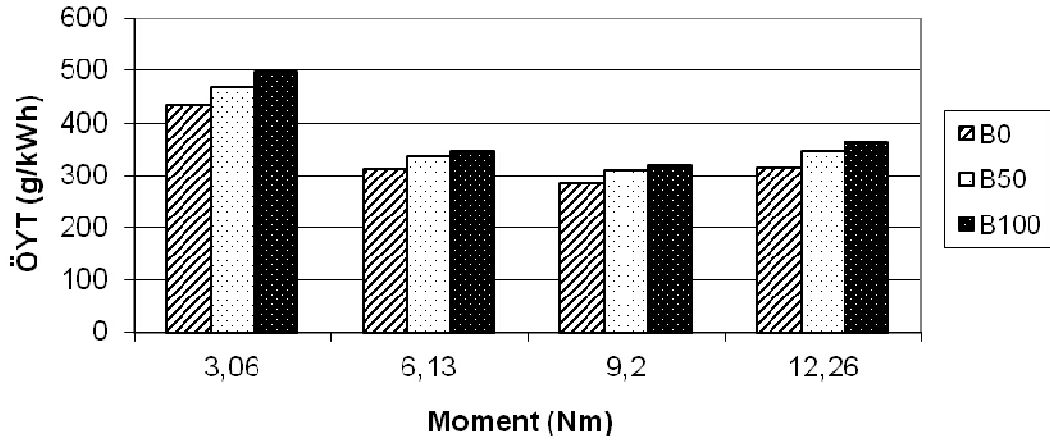
8.2. ORİJİNAL PÜSKÜRTME BASINCINDA FARKLI YÜKLERDE DEĞİŞİK YAKITLARIN PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Deneyle B0 (%100 dizel), B50 (%50 dizel + %50 biyodizel) ve B100 (%100 biyodizel) yakıtları ile yapılmıştır. Testler farklı motor yüklerinde (3,06; 6,13; 9,2; 12,26 Nm) ve orijinal püskürtme basıncı olan 200 bar basınçta yapılmıştır. Deneyle neticesinde ortaya çıkan sonuçlar performans ve emisyon açısından değerlendirilmiştir.

8.2.1. Motor Performansı

8.2.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi

B0, B50 ve B100 yakıtlarının sabit devirde, farklı moment ve orijinal püskürtme basıncı olan 200 bar basınçta özgül yakıt tüketimine (ÖYT) etkisi Şekil 8.1’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde yakıtların özgül yakıt tüketimleri 3,06 Nm momentte diğer moment değerlerine göre yüksek çıkmıştır. Moment arttıkça orta yüklerde yanmanın iyileşmesine bağlı olarak özgül yakıt tüketimleri de azalmıştır. Tam yük durumunda hava/yakıt oranının azalmasıyla birlikte özgül yakıt tüketimleri tekrar artmıştır. B0 yakıtının ÖYT değerleri B50 ve B100 yakıtından daha düşük çıkmıştır. 3,06 Nm momentte B100 yakıtının ÖYT’si B0 yakıtından yaklaşık %14, B50 yakıtından %6 daha fazla çıkmıştır. Tam yük konumunda ise B100 yakıtının özgül yakıt tüketimi B0 yakıtından %15, B50 yakıtından %5 daha yüksektir. Biyodizel ile çalışmada ÖYT değerlerinin yüksek olmasının sebebi biyodizelin alt ısıl değerinin dizel yakıtına göre düşük olmasıdır.



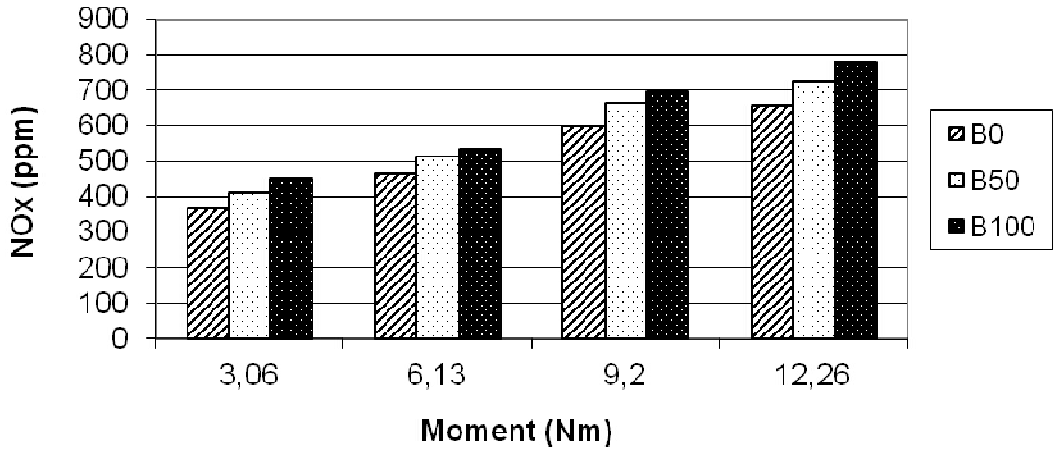
Şekil 8.1. Orijinal püskürtme basıncında değişik yakıtların ÖYT’ye etkisi.

8.2.2. Egzoz Emisyonları

8.2.2.1. Azotoksit (NO_x) Emisyonu Değişimi

NO_x emisyonu havanın içerisindeki azotun yüksek sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girmesi sonucunda oluşmaktadır.

Şekil 8.2 incelendiğinde NO_x miktarının B100 yakıtında B0 ve B50 yakıtına oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi biyodizel yakıtının içerisinde oksijen bulunmasıdır. Oksijen miktarının fazla olması yanma sonu sıcaklığının daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu da NO_x miktarını artırmaktadır. Şekil 8.2'den görüldüğü gibi motor yükünün artması yanma sonu sıcaklığını artırmış bu da NO_x miktarını artırmıştır. 3,06 Nm motor momentinde B100 yakıtındaki NO_x miktarı B0 yakıtından yaklaşık %23 ve B50 yakıtından %10 daha fazladır. Moment 12,26 Nm'ye çıktığında ise B100 yakıtındaki NO_x miktarı B0 yakıtından yaklaşık %18, B50 yakıtından %7 daha fazla çıkmıştır.

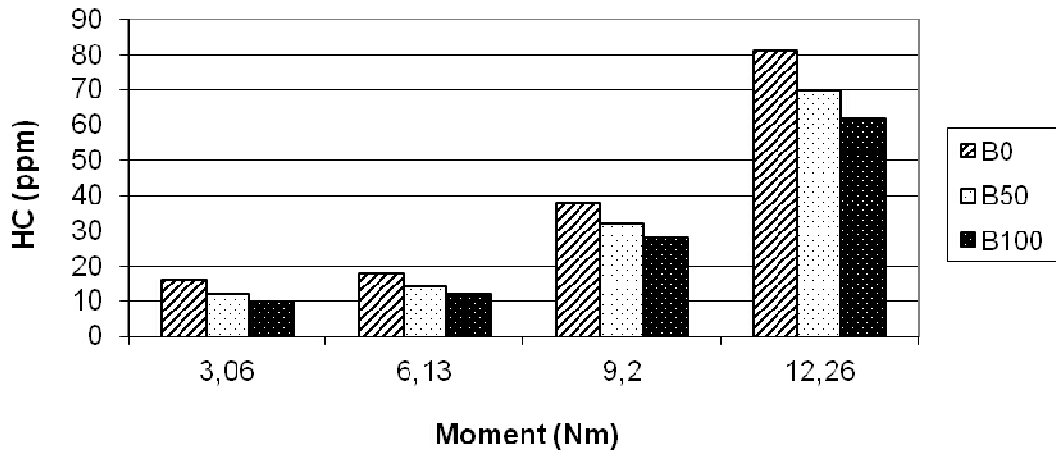


Şekil 8.2. Orijinal püskürtme basıncında değişik yakıtların NO_x emisyonuna etkisi.

8.2.2.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu Değişimi

Şekil 8.3'te farklı yakıtların HC emisyonuna etkisi görülmektedir. HC emisyonunun oluşmasının nedeni sıcaklık veya oksijenin yetersiz olması sonucunda yanmanın tamamlanamamasıdır. Kısaca HC emisyonunu, yanmadan dışarıya atılan yakıt

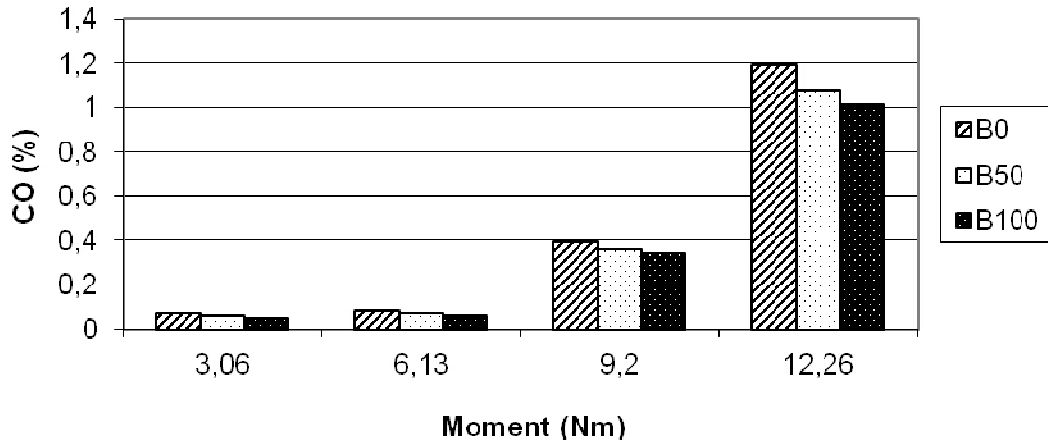
oluşturur. Şekil 8.3 incelendiğinde; motor yükü arttıkça HC emisyonunun da arttığı görülmektedir. Yük arttıkça hava/yakıt oranı arttığı için HC emisyonu da artmaktadır. Karışımdaki biyodizel miktarı arttıkça HC emisyonu da azalmaktadır. Bunun nedeni ise biyodizelin içerisindeki karbon miktarının düşük, oksijen miktarının fazla olmasıdır. En düşük HC emisyonu B100 yakıtı ile elde edilmiştir. 3,06 Nm momentte B100 yakıtı için HC emisyonu miktarı B0 yakıtından yaklaşık %38, B50 yakıtından %17 daha azdır. Tam yükte B100 yakıtının HC emisyonu, B0 yakıtından yaklaşık %23 ve B50 yakıtından %11 daha azdır. Biyodizelin yapısında oksijen bulunması ve hidrojen/karbon oranının yüksek olması nedeni ile biyodizel de HC emisyonu düşük çıkmaktadır.



Şekil 8.3. Orijinal püskürtme basıncında değişik yakıtların HC emisyonuna etkisi.

8.2.2.3. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi

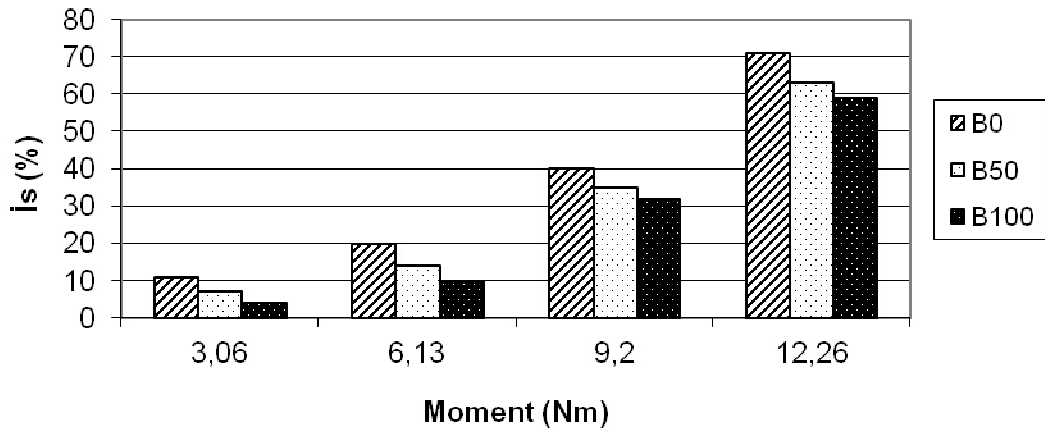
Değişik yakıtların farklı yüklerde CO emisyonuna etkisi Şekil 8.4'te verilmiştir. CO oluşumunun gerçek sebebi yeterli oksijen bulunmadığı için yanmanın eksik olmasıdır. Motor yükü arttıkça hava/yakıt oranı azalmakta ve CO miktarı da artmaktadır. 3,06 Nm motor momentinde B100 yakıtındaki CO emisyonu B0 yakıtından yaklaşık %29, B50 yakıtından %17 daha az çıkmıştır. Motor momenti artarak 12,26 Nm değerine geldiğinde B100 yakıtındaki CO emisyonu B0 yakıtından %15 ve B50 yakıtından %6 daha az çıkmıştır. B100 ve B50 yakıtlarında CO miktarının B0 yakıtından düşük çıkmasının nedeni biyodizelin yapısında oksijen bulunması ve hidrojen/karbon oranının yüksek olmasıdır.



Şekil 8.4. Orijinal püskürtme basıncında değişik yakıtların CO emisyonuna etkisi.

8.2.2.4. İS Emisyonu Değişimi

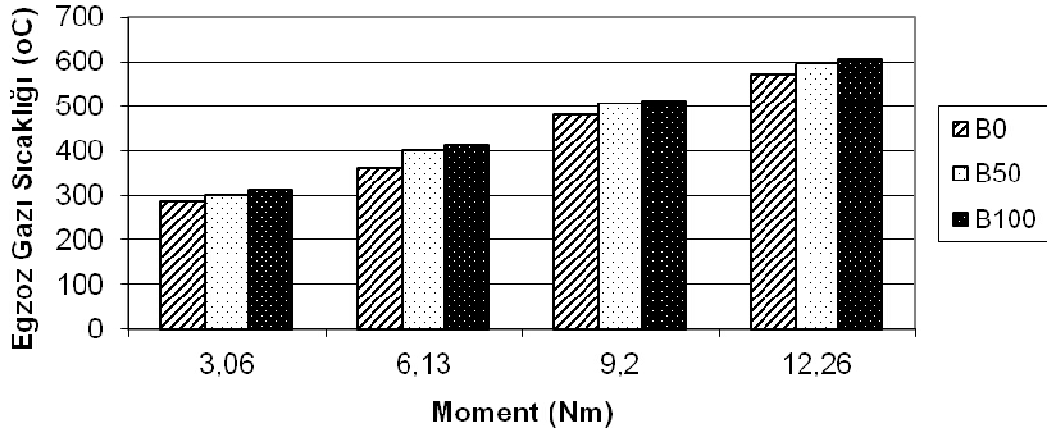
Değişik yakıtların is emisyonu üzerindeki etkisi Şekil 8.5'te verilmiştir. Yakıtın hava ile yeterli düzeyde karışamaması ve karbon taneciklerinin yeterli oksijen bulamaması is emisyonunu artırmaktadır. Moment arttıkça motora verilen yakıt miktarı da arttığı için is emisyonu artmaktadır. Şekil 8.5 incelendiğinde, is emisyonu artan motor momentine paralel olarak artmıştır. Biyodizel ve karışımlarında oluşan is emisyonları dizel yakıtına göre daha düşük çıkmıştır. 12,26 Nm momentteki is emisyonu B100 yakıtında B0 yakıtından yaklaşık % 17 ve B50 yakıtından %6 daha düşüktür. Biyodizel içerisinde oksijen bulunmasından dolayı yanmayan karbon tanecikleri yanabilmekte ve is emisyonu azalmaktadır.



Şekil 8.5. Orijinal püskürtme basıncında değişik yakıtların is emisyonuna etkisi.

8.2.2.5. Egzoz Gazı Sıcaklığı Değişimi

Şekil 8.6’da B0, B50 ve B100 yakıtlarına ait egzoz gazı sıcaklıklarının motor momentine bağlı değişimi verilmiştir. Motor momentinin artması ile kullanılan yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları da artmıştır. En düşük egzoz gaz sıcaklığı 3,06 Nm momentte B0 yakıtında meydana gelirken en yüksek sıcaklık değeri de 12,26 Nm B100 yakıtında gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık 605 °C en düşük sıcaklık 285 °C olarak ölçülmüştür. B50 ve B100 yakıtlarındaki egzoz gazı sıcaklığının B0 yakıtına nispetle yüksek olması biyodizel içerisindeki oksijen fazlalığından kaynaklanabilir.



Şekil 8.6. Orijinal püskürtme basıncında değişik yakıtların egzoz gazı sıcaklığına etkisi.

8.3. FARKLI YAKITLAR İÇİN OPTİMUM PÜSKÜRTME BASINCININ BELİRLENMESİ

Deneylerin ikinci aşamasında; farklı yakıtlar için motor performans ve egzoz emisyonları açısından optimum püskürtme basıncını belirleyen testler yapılmıştır.

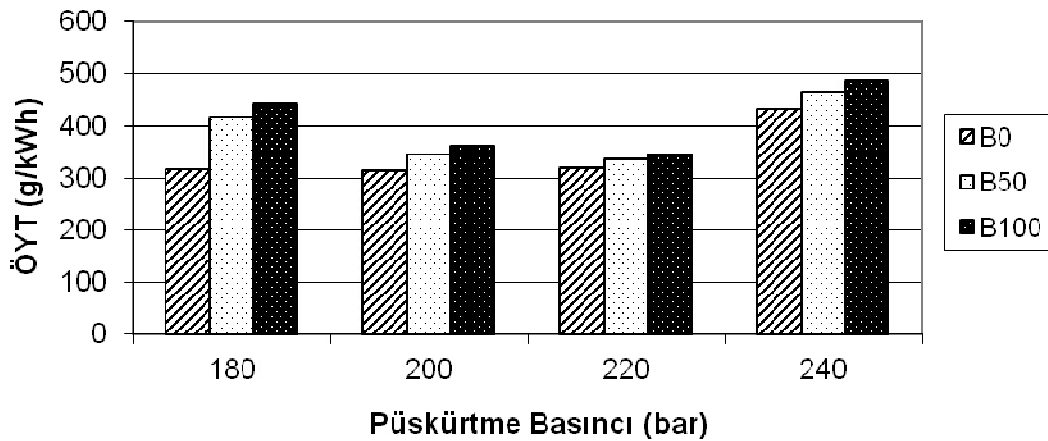
8.3.1. Motor Performansı

8.3.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi Değişimi

Tam yükte; B0, B50 ve B100 yakıtlarının püskürtme basıncına bağlı özgül yakıt tüketimleri Şekil 8.7’de görülmektedir. Şekil incelendiğinde; özgül yakıt tüketimi B0 yakıtında B50 ve B100 yakıtına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca minimum ve maksimum basınçlarda tüm yakıtlarda ÖYT’nin yüksek olduğu, 200 ve 220 bar’lık püskürtme basıncında düşük seviyede olduğu görülmektedir.

B0 yakıtı için minimum ÖYT orijinal püskürtme basıncında (200 bar) elde edilmiştir. B50 ve B100 yakıtları için optimum püskürtme basıncı 220 bar olarak belirlenmiştir.

Biyodizelin yoğunluğu ve viskozitesi dizel yakıtına göre daha fazla olduğundan püskürtme basıncının orijinal basınçtan daha fazla olmasıyla, püskürtülen yakıt daha iyi atomize olmakta ve yanma iyileşmektedir. Bundan dolayı, B100 yakıtı için 220 bar basınçtaki ÖYT, 200 bar’daki ÖYT’den %5 daha düşüktür. B50 yakıtı için 220 bar’daki ÖYT 200 bar’daki ÖYT’den %3 daha düşüktür. B100, B0 ve B50 ile kıyaslandığında; 220 bar’daki B100 yakıtının, ÖYT’si B0 yakıtının ÖYT’sinden %8, B50 yakıtından %3 daha fazla çıkmıştır.

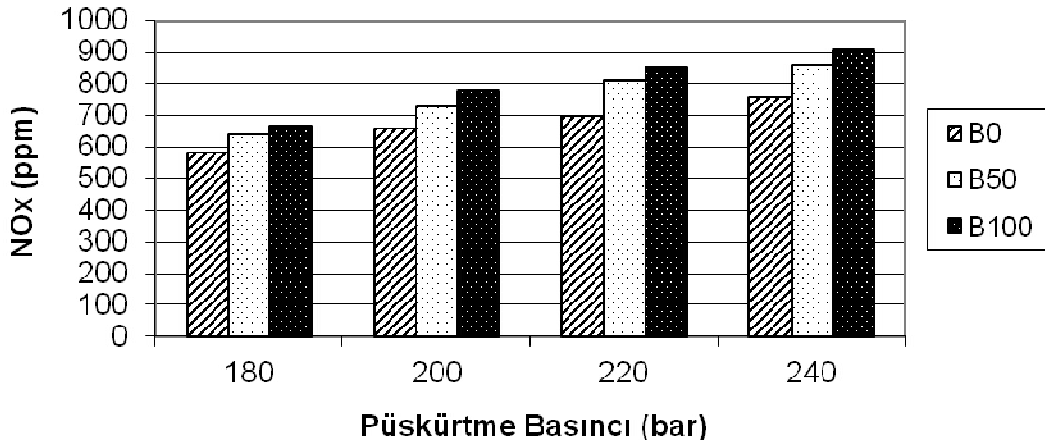


Şekil 8.7. Tam yükte değişik yakıtların ve püskürtme basıncının ÖYT’ye etkisi.

8.3.2. Egzoz Emisyonları

8.3.2.1. Azotoksit (NO_x) Emisyonu Değişimi

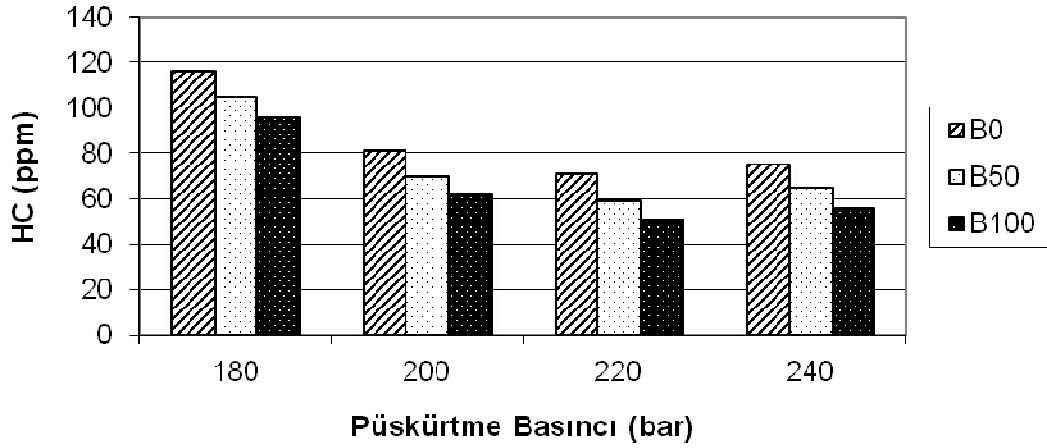
Değişik yakıtların, tam yükte ve farklı püskürtme basınçlarında NO_x emisyonu değişimi Şekil 8.8'de verilmiştir. Şekil incelenecek olursa; NO_x emisyonunun püskürtme basıncının artmasıyla arttığı görülmektedir. Püskürtme basıncı arttıkça yakıtın daha iyi atomize olması yanma sonu sıcaklığını artırmış, bu durum NO_x emisyonunun artmasına sebep olmuştur. Basıncın 180 bar'dan 240 bar'a çıkmasıyla B0 B50 ve B100 yakıtlarının NO_x emisyonu yaklaşık %30, %34 ve %36 oranında artmıştır. 220 bardaki B100 yakıtının NO_x değeri B0 yakıtının NO_x değerinden yaklaşık %22 daha fazladır.



Şekil 8.8. Tam yükte değişik yakıtların ve püskürtme basıncının NO_x emisyonuna etkisi.

8.3.2.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu Değişimi

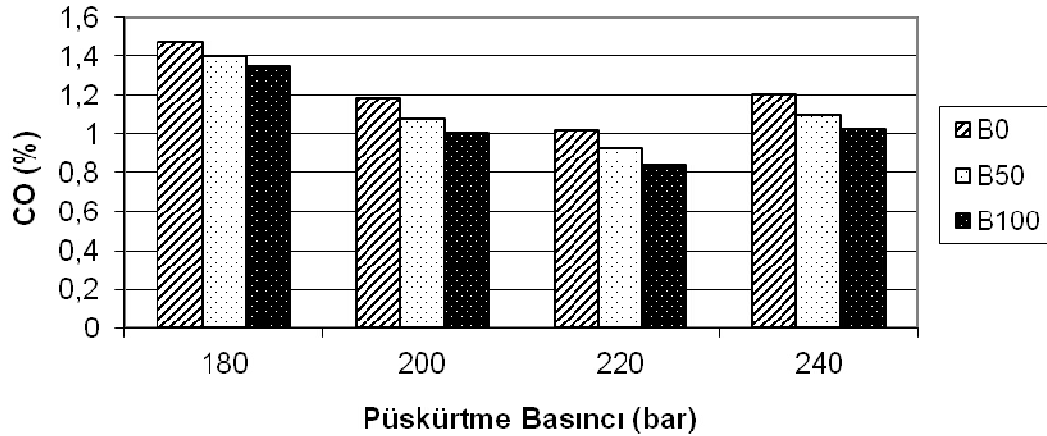
Hidrokarbon emisyonunun püskürtme basıncına bağlı değişimi Şekil 8.9'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde, her üç yakıt için en uygun HC emisyonunun 220 bar basınçta elde edildiği görülmektedir. Püskürtme basıncı daha fazla artmasıyla HC emisyonu tekrar artmıştır. Bu da silindire püskürtülen yakıtın silindir cidarlarına çarpması ve nüfuz derinliğinin artması ile oluşan alev sönmesinin bir neticesi olabilir. 220 bar basınçta oluşan HC emisyon miktarı B100 yakıtında B0 yakıtından yaklaşık %28 ve B50 yakıtından %14 daha azdır.



Şekil 8.9. Tam yükte değişik yakıtların ve püskürtme basıncının HC emisyonunun etkisi.

8.3.2.3. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi

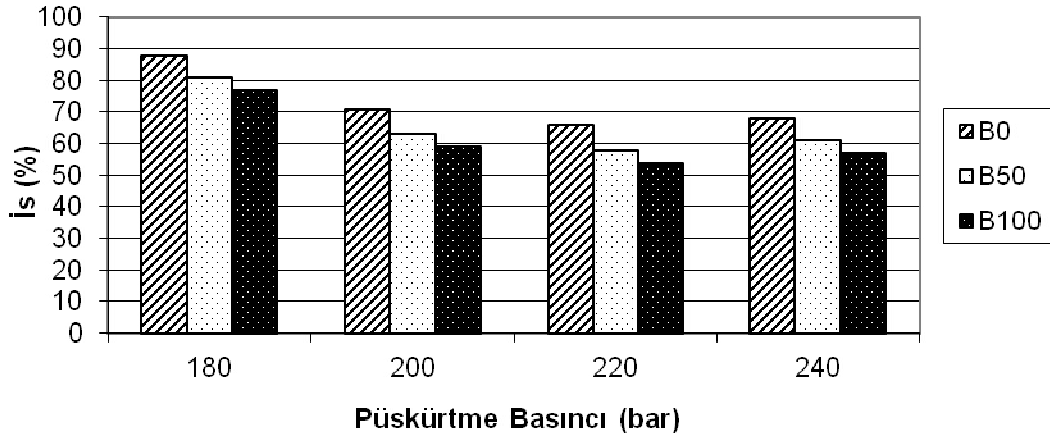
CO emisyonunun püskürtme basınçlarına göre değişimi Şekil 8.10'da gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde; CO emisyonu her üç yakıt için 220 bar basınçta minimumdur. Püskürtme basıncının artması ile daha homojen bir karışım elde edilmesiyle CO emisyonu azalmaktadır. Basıncın daha fazla artmasıyla CO emisyonu tekrar artışa geçmiştir. 220 bar basınçta B100 yakıtının CO emisyonu B0 yakıtından yaklaşık %18 ve B50 yakıtından ise %10 daha azdır.



Şekil 8.10. Tam yükte değişik yakıtların ve püskürtme basıncının CO emisyonuna etkisi.

8.3.2.4. İis Emisyonu Değişimi

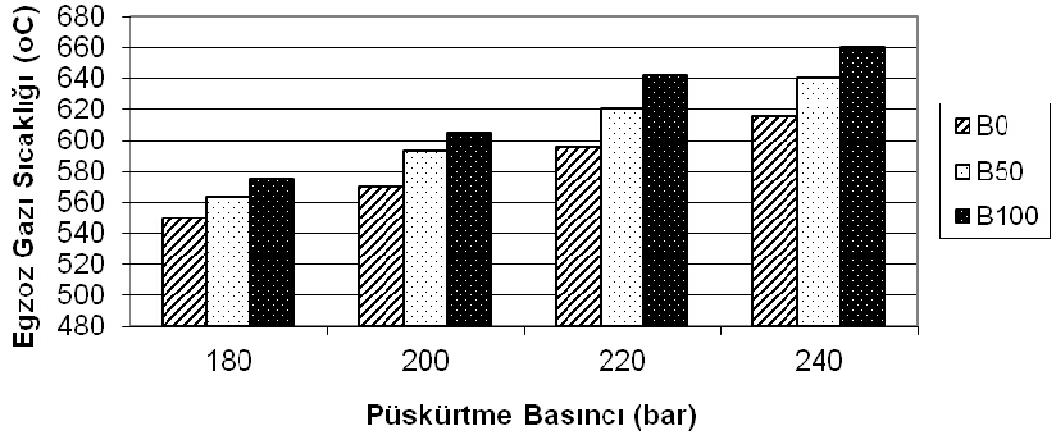
Püskürtme basıncının is emisyonuna etkisi Şekil 8.11'de verilmiştir. İis emisyonu püskürtülen yakıtın hava ile homojen olarak karışmasına bağlıdır. Düşük basınçlarda yüksek olan is emisyonu 220 bar'da minimum seviyeye inmiştir. Püskürtme basıncının uygun oranlarda arttırılması ile yakıtın daha iyi atomize olması is emisyonunu azaltmaktadır. Basıncın daha fazla arttırılması ile püskürtülen yakıt silindir duvarına çarparak alev sönmesine neden olmakta ve bu durum is emisyonunu arttırmaktadır. B100 yakıtının 220 bar basınçtaki is emisyonu miktarı B0 yakıtına göre yaklaşık %18 ve B50 yakıtından %7 daha azdır.



Şekil 8.11. Tam yükte değişik yakıtların ve püskürtme basıncının is emisyonuna etkisi.

8.3.2.5. Egzoz Gazı Sıcaklığı Değişimi

Şekil 8.12'de egzoz gazı sıcaklıklarının püskürtme basıncına göre değişimleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde püskürtme basıncının artmasıyla egzoz gazı sıcaklıklarının da arttığı görülmektedir. Basıncın artmasıyla birlikte yakıt daha iyi atomize olmakta ve yanma iyileşmekte buna bağlı olarak egzoz gazı sıcaklığı da artmaktadır.



Şekil 8.12. Tam yükte değişik yakıtların ve püskürtme basıncının egzoz gazı sıcaklığına etkisi.

BÖLÜM 9

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada tek silindirli dizel bir motorda atık yağdan elde edilen biyodizel yakıtının değişik yük ve püskürtme basınçlarında motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneysel iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada orijinal püskürtme basıncında (200 bar), değişik yüklerde, B0, B50 ve B100 yakıtlarıyla testler gerçekleştirilmiştir.

Farklı yüklerde değişik yakıtlarla yapılan deney sonuçlarına göre; tam yükte B100 yakıtının ÖYT'si B0 yakıtından yaklaşık %15, B50 yakıtından %5 daha yüksektir. En düşük ÖYT B0 yakıtı için ölçülmüştür. B50 ve B100 yakıtında ÖYT'nin yüksek çıkması, biyodizel yakıtının alt ısıl değerinin düşük olmasının bir neticesidir.

CO, HC ve is emisyonlarında biyodizel yakıt kullanılmasıyla dizel yakıtına göre daha düşük değerler ölçülmüştür. Tam yükte B100 yakıtının HC, CO ve is emisyonları B0 yakıtına oranla yaklaşık %23, %15 ve %17 azalmıştır, B50 yakıtına oranla %11, %6 ve %6 azalmıştır. Fakat NO_x emisyonu B100 yakıtında B0 ve B50 yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır. Tam yükte NO_x emisyonu B100 yakıtında B0'dan %18, B50'den %7 daha fazla çıkmıştır.

Deneysel ikinci aşamada performans ve emisyonların püskürtme basıncının değiştirilmesiyle iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Atık yağdan elde edilen biyodizel yakıtın yoğunluğu ve viskozitesi dizel yakıtına göre daha fazla olduğu için püskürtme basıncının artırılmasıyla karışım oluşumu ve yanmanın iyileştirilmesine

çalışılmıştır. Bu aşamada B0, B50 ve B100 yakıtları değişik püskürtme basınçlarında (180, 200, 220, 240 bar) test edilmiştir. Farklı püskürtme basınçlarında yapılan deney sonuçlarına göre, performans ve emisyon bakımından en uygun basınç 220 bar olarak belirlenmiştir. Tam yükte farklı püskürtme basınçları için en düşük ÖYT B0 yakıtı için 200 bar'da elde edilirken; B50 ve B100 yakıtı için 220 bar'da elde edilmiştir. Ayrıca B50 ve B100 yakıtları için 220 bar ile elde edilen ÖYT dizel yakıtına en yakın değeri bu basınçta almıştır. 220 bar basınçta B100 yakıtının ÖYT'si B0 yakıtından %8, B50 yakıtından ise %3 daha fazla olduğu görülmüştür.

B100 yakıtının 220 bar'da HC, CO ve is emisyonları B0 yakıtına oranla yaklaşık %28, %18 ve %18 azalmıştır. B50 yakıtına oranla %14, %10 ve %7 azalmıştır. NO_x emisyonu B100 yakıtında B0'dan %22, B50'den %5 daha fazla çıkmıştır.

Deney sonuçları, dizel motor üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan atık biyodizel yakıtının saf halde ve dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanılabileceğini göstermiştir. Biyodizel kullanımı NO_x emisyonu hariç HC, CO ve is emisyonlarının azalmasını sağlamıştır. Püskürtme basıncının kullanılan yakıtı göre değiştirilmesiyle, performans ve emisyon değerleri iyileştirilebilmiştir.

9.2. ÖNERİLER

Türkiye'de yılda 1 500 000 ton bitkisel yağ gıda amacı ile kullanılmaktadır. Bu yağların yaklaşık olarak 350 000 tonunu atık yağ oluşturmaktadır. Resmi verilere göre kullanılmış atık yağların sadece %1'i toplanabilmektedir. Geri kalan kısmı ya suya ya da toprağa karışmaktadır. Böylece hem toprağı hem de suyu kirletmektedir. Bunun önüne geçebilmek için toplama merkezleri oluşturulabilir ve buna değişik teşvik ve muafiyetler verilerek yaygınlaştırılabilir. Toplama merkezlerinde toplanan yağlardan biyodizel yakıtı üretilmelidir. Bu şekilde enerjide dışa bağımlı bir ülke olarak hem enerji ihtiyacımızın bir kısmı karşılanabilir hem de atık yağların çevreye vermiş olduğu zararlar azaltılabilir.

Biyodizel yakıt ile yapılan çalışmalarda, biyodizel içinde bulunan oksijenin NO_x emisyonunun yükselmesinde etkili olduğu bilinmektedir. Motor hava giriş sıcaklığının düşürülmesiyle NO_x emisyonları azaltılabilir.

Biyodizel yakıtların veya karışımlarının optimum püskürtme avansı belirlenerek özgül yakıt tüketimi ve emisyon değerleri düşürülebilir.

Dizel motorlarında atık biyodizel kullanımının motor parçaları ve enjeksiyon sistemi üzerinde korozyon etkilerinin olup olmadığı uzun süreli testler yapılarak incelenebilir.

Biyodizel yenilenebilir ve temiz bir yakıt olması nedeniyle dizel motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir. Ancak biyodizel yakıtların daha yaygın olarak kullanımı ülkemizde biyodizelin desteklenmesi ve daha ucuz üretilmesine bağlıdır.

KAYNAKLAR

1. Çanakçı, M., ve Özsezen, A. N., “Atık kızartma yağından elde edilen metil esterinin ön yanma odalı bir dizel motorda kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (2): 395-404 (2008).
2. 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).
3. Behçet, R., ve Çakmak, A. V., “ Bir dizel motorda yakıt olarak kullanılan balık yağı metil esterleri karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkisi” *6th International Advanced Technologies Symposium*, (IATS'11), Elazığ, 161-165 (2011)
4. 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).
5. Özsezen, A. N., “Atık palmye yağından üretilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyon karakterleri üzerine etkisinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 1-160 (2007).
6. Karaosmanoğlu, F., ve Aksoy, H. A., “Kullanılmış kızartma atık yağının seyreltme yöntemi ile alternatif yakıt olarak değerlendirilmesi”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi*, İzmir, 461-462 (1994).
7. Oğuz H., “Dizel yakıtı-ayçiçek yağı karışımlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının araştırılması”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 5-9 (1998).
8. Çetinkaya, M., ve Karaosmanoğlu, F., “Biodiesel as a generator fuel”, *8th international Combustion Symposium*, Ankara, 1-11 (2004).
9. Sekmen, Y., “Karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterinin dizel motorlarda yakıt olarak kullanılması” *Teknoloji Dergisi*, 10 (4): 295-302 (2007).
10. Jindal, S., Nandwana, B. P., Radhore, N. S., and Vashistha, V., “Experimental investigation of the effect of compression ratio and injection pressure in a direct injection diesel engine running on jatropha methyl ester”, *Applied Thermal Engineering*, 30: 442-448 (2010).

11. Sekmen, Y., ve Aktaş, A., “Soya yağı metil esterinin motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 11 (3): 249-254 (2008).
12. Çanakçı, M., “Production of biodiesel from feedstocks with high free fattyacids and its effect on diesel engine performance and emissions”, Ph.D. Thesis, *Iowa State University*, USA, 2-20 (2001).
13. Ulusoy, Y., Tekin, Y., Çetinkaya, M., and Karaosmanoğlu, F., “The engine tests of biodiesel from used frying oils”, *Energy Sources*, 26: 927-932 (2004).
14. Puhan, S., Jegan, R., Balasubramanian, K., and Nagarajan, G., “Effect of injection pressure on performance, emission and combustion characteristics of high linolenic linseed oil methyl ester in a DI diesel engine”, *Renewable Energy* 34: 1227-1233 (2010).
15. İlkılıç, C., “Bir dizel motorunda enjeksiyon basıncının egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilim Dergisi*, 20 (3): 483-491 (2008)
16. Arslan, M. A., “Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak soya yağı ve kanola yağı metil esterlerinin farklı enjektör basınçlarında kullanılmasının performans ve emisyon üzerindeki etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 39-85 (2007).
17. Pireli, E., “Biyodizel ve dizel yakıtla çalışan tek silindirli bir dizel motorda püskürtme basıncının performansa etkisini”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 48-54 (2006).
18. Şimşek, D., “Soya yağı metil esterinin değişik püskürtme basınçlarında dizel motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-65 (2010).
19. Çanakçı, M., “Combustion characteristics of a diesel engine fuelled with biodiesel from soybean oil”, *8th international Combustion Symposium*, Ankara, 1-13 (2004).
20. İnternet: MEGEP (Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), “Motorlu Araçlar Teknolojisi”, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/525MT0081.pdf, (2006).
21. Deniz, O., “İçten yanmalı motorlar ders notları”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Müh. Böl. Otomotiv ABD.*, İstanbul, 11-247 (2008).
22. Borat, O., Balcı, M., ve Sürmen, A., “İçten yanmalı motorlar ders kitabı cilt:1”, *G.Ü. Teknik Eğitim Vakfı Yayınları 2*, İstanbul, 1-65 (1994).

23. Altın, R., “Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 33-67 (1998).
24. İlkılıç, C., “Çeşitli alternatif yakıtların dizel motoru emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 5-13 (1999).
25. Gonzales, M. E., Howart, R., Hildige, J. J., and Ta, O., “Emission and performance characteristics of a 2 litre toyata diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral diesel fuel”, **University of Limerick**, Irlande, 1-11 (1999).
26. Borat, O., Balcı, M., ve Sürmen, A., “Hava kirlenmesi ve kontrol tekniği I. Baskı”, **Teknik Eğitim Vakfı Yayınları**, Ankara, 3 (1992).
27. Aydoğan, H., “Dizel motorlarında çeşitli yakıt enjeksiyon sistemlerinin egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 67-69 (2006).
28. Soruşbay, C., “İçten yanmalı motorlarda egzoz gazları emisyonu”, **İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Yayınları**, İstanbul, 2-20 (1999).
29. Heywood, J. B., “Internal combustion engine fundamental”, **Mc Graw-Hill Book Comp.**, New York. 3 (1988).
30. Pipho, M. J., Kittelson, D. B., and Zarling, D. D., “NO₂ formation in a diesel engine”, **SAE Transactions 100 (Sect 3)**, p. no. 910231, 299-311 (1991).
31. Dönmez, D., Semercioğlu, H., Cömert, Ö. M., ve Üzmez, G., “Dizel motor ile çalışan belediye otobüslerinin incelenmesi ve emisyon envanterlenmesi”, **Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Çevre Müh. Böl.**, Sakarya, 24-25 (2009).
32. Safgönül, B., Ergeneman, M., Aslan, H. E., ve Soruşbay, C., “İçten yanmalı motorlar”, **Birsan Yayınevi**, Ankara, 50-57 (1995).
33. Tillem, İ., “Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli, 7-8 (2005).
34. Gerpen, J. V., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., and Knothe, G., “Biodiesel production technology August 2002–January 2004 subcontractor report” **NREL National Renewable Energy Laboratory**, NREL/SR-510-36244, Colarado, 22-27 (2004).
35. Üçer, E., Okumuş, M., ve Keskin, M., “Motor testleri ve test cihazları”, **İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Yayınları**, İstanbul, 2-10 (1995).

36. Borat, O., Balcı, M., ve Sürmen, A., “Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği II. Baskı”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara 25 (1993).
37. Ciniviz, M., Kuş, R., and Haşimoğlu, C., “Design and manufacture of a laboratory almed biodiesel production system and biodiesel production”, *8th International Combustion Symposium*, Ankara, 1-7 (2004).
38. Arcaklioğlu, E., and Çelikten, İ., “Diesel engine’s performance and exhaust emissions”, *Elsevier, Material & Design*, 1: 1-11 (2004).
39. Somyürek, Ö., “Motor konstrüksiyonlarının performans etkisi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Yayınları*, İstanbul, 40-50 (2001).
40. Henham, A., and Makkar, M. K., “Combustion of biogas in a dual fuel diesel engine”, *Pergamon, Material & Design*, 2001-2009 (1998).
41. 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).
42. Oğuz, H., ve Öğüt, H., “Tarım traktörlerinde bitkisel kökenli yağ ve yakıt kullanımı”, *Selçuk Teknik Online Dergisi*, Konya, 2 (2): 1302-6178 (2001).
43. Acaroğlu, M., ve Uçar, G., “Biyodizel yakıtlarda yakıt özelliklerinin ısı değere etkisinin belirlenmesi”, *Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu*, İzmir, 135-147 (2006).
44. Oğuz, H., ve Öğüt, H., “Atık bitkisel yağdan biyodizel üretiminin ülkemize sağlayacağı yararlar”, *Biyodizelin Önemi Sempozyumu*, İstanbul, 1-10 (2008).
45. Öztürk, M., “Kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağlar”, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara, 1-13 (2008).
46. 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).
47. Alptekin, E., ve Çanakçı, M., “Biyodizel ve Türkiye’de ki durumu”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 47 (561): 57-64 (2006).
48. “Bitkisel ve hayvansal atık yağların kontrolü yönetmeliği”, *Çevre ve Orman Bakanlığı 2005/25791 sayılı resmi gazete*, Ankara, (2005).
49. Tomasevic, A. V., and Marinkovic, S. S., “Methanolysis of used frying oil”, *Fuel Processing Technology*, 81: 1-6 (2003).
50. Demirbaş, A., “Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey”, *Energy Conversion and Management*, 44: 2093-2109 (2003).

51. Ma, F., and Hanna, M. F., “Biodiesel production: A review”, *Bioresource Technology*, 70: 1-15 (1999).
52. Fukuda, H., Kondo, A., and Noda, H., “Review: biodiesel fuel production by transesterification of oils”, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92 (5): 405-416 (2001).
53. Zhang, Y., Dube, M. A., McLean, D. D., and Kates, M., “Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment”, *Bioresource Technology*, 89: 1-16 (2003).
54. Shimada, Y., Watanabe, Y., Sugihara, A., and Tominaga, Y., “Enzymatic alcoholysis for biodiesel fuel production and application of the reaction to oil processing”, *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 17: 133-142 (2002).
55. 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).

EK AÇIKLAMALAR A.

DENEY SONUÇLARI

Çizelge EK A. 1. Orijinal püskürtme basıncında (200 bar) 2800 1/min devirde B0 yakıtı ile yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Motor Momenti (Nm)	NO_x (ppm)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	T_{egzoz} °C	ÖYT (g/kWh)
3,06	367	16	0,07	11	285	434,782
6,13	468	18	0,08	20	360	312,5
9,2	603	38	0,39	40	480	285,714
12,26	660	81	1,19	71	570	314,96

Çizelge EK A. 2. Orijinal püskürtme basıncında (200 bar) 2800 1/min devirde B50 yakıtı ile yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Motor Momenti (Nm)	NO_x (ppm)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	T_{egzoz} °C	ÖYT (g/kWh)
3,06	413	12	0,06	7	300	470,588
6,13	516	14	0,07	14	400	336,134
9,2	666	32	0,36	35	504	310,077
12,26	730	70	1,08	63	593	346,32

Çizelge EK A. 3. Orijinal püskürtme basıncında (200 bar) 2800 1/min devirde B100 yakıtı ile yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Motor Momenti (Nm)	NO_x (ppm)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	T_{egzoz} °C	ÖYT (g/kWh)
3,06	453	10	0,05	4	311	496,894
6,13	535	12	0,06	10	411	346,32
9,2	697	28	0,34	32	510	321,285
12,26	780	62	1,01	59	605	363,636

Çizelge EK A. 4. Tam yükte 2800 1/min devirde B0 yakıtı ile yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Püskürtme Bas. (bar)	NO_x (ppm)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	Tegzoz °C	ÖYT (g/kWh)
180	583	116	1,48	88	550	317,46
200	660	81	1,19	71	570	314,96
220	700	71	1,02	66	595	321,285
240	762	75	1,21	68	615	434,782

Çizelge EK A. 5. Tam yükte 2800 1/min devirde B50 yakıtı ile yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Püskürtme Bas. (bar)	NO_x (ppm)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	Tegzoz °C	ÖYT (g/kWh)
180	642	105	1,4	81	563	416,66
200	730	70	1,08	63	593	346,32
220	811	59	0,93	58	620	337,552
240	860	65	1,1	61	640	465,116

Çizelge EK A. 6. Tam yükte 2800 1/min devirde B100 yakıtı ile yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Püskürtme Bas. (bar)	NO_x (ppm)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	Tegzoz °C	ÖYT (g/kWh)
180	669	96	1,35	77	575	444,44
200	780	62	1,01	59	605	363,636
220	855	51	0,84	54	642	346,32
240	910	56	1,03	57	660	487,804

ÖZGEÇMİŞ

Samet ÇAT, 1983’de Karaman’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Karaman merkezde tamamladı; Karaman Endüstri Meslek Lisesi, Makine Eğitimi Bölümü’nden mezun olduktan sonra 2001 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü’ne girdi; 2009’da ‘‘iyi’’ derece ile mezun oldu. Halen; 2009 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Cumhuriyet Mah. 672 Sok. No:30/7
KARAMAN/Merkez

Tel : 0505 635 25 78

E-posta : sametcad@hotmail.com