

**BİYODİZEL YAKITLARIN YAĞLAYICILIK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**2009
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Esra ÖNEM KOÇ

**BİYODİZEL YAKITLARIN YAĞLAYICILIK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Esra ÖNEM KOÇ

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

KARABÜK

Haziran 2009

Esra ÖNEM KOÇ tarafından hazırlanan “BİYODİZEL YAKITLARIN YAĞLAYICILIK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN

.....

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/ 06/ 2009

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Can ÇINAR (GÜ)

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdürrezzak AKTAŞ (KBÜ)

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN (KBÜ)

.....

...../...../2009

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

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ

.....

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.”

Esra ÖNEM KOÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİYODİZEL YAKITLARIN YAĞLAYICILIK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Esra ÖNEM KOÇ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN

Haziran 2009, 59 sayfa

Dizel yakıttaki kükürt oranının azaltılması işlemi egzoz emisyonları açısından istenilen hedefleri sağlarken yağlayıcılık özelliğinin azalması problemlerini ortaya çıkarmıştır. Araştırmalar, kükürt içermeyen, zehirleyici olmayan, bozunabilir, oksijen içerikli ve yenilenebilir biyodizelin mükemmel yağlayıcılık özelliği sağladığını bildirmektedir. Bu çalışmada, yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler incelenmiş ve HFRR metodu ve Pin-On-Disk aşınma cihazı ile keten tohumu, kavun ve karpuz çekirdeklerinden üretilmiş biyodizel ve dizel yakıtı ile hacimsel olarak %4, %20 ve %50 oranında biyodizel karıştırılarak yakıtlarının yağlayıcılık özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, bu yakıtların dinamik ve kinematik viskoziteleri ile farklı sıcaklıklardaki yoğunlukları ölçülmüştür. Dizel yakıtına biyodizel ilave edilmesiyle yağlayıcılık özelliğinin

iyileştiği belirlenmiştir. Dizel yakıtının yağlayıcılık özelliğini iyileştirmek için biyodizel ilavesinin önerilmesi aynı zamanda kendisinin de bir yakıt olmasıdır.

Anahtar Sözcükler: Biyodizel, Yağlayıcılık, HFRR, Pin-on-Disk.

Bilim Kodu: 626.10.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE RESEARCH ON LUBRICATION FEATURES OF BIODIESEL FUELS

Esra ÖNEM KOÇ

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Machine Education**

Thesis Advisor:

Asst.Prof.Dr. Perihan SEKMEN

April 2009, 59 pages

The reduction of sulphur rates in fuel has provided expected goals in the view of exhaust emissions but this reduction has lead to negative results such as lubrication problems of engine apparatuses which are lubricated by fuel. The researches has shown that biodiesel, sulphur free, non toxic , biodegradable and renewable and containing oxygen, provides a perfect lubrication for the engines. In this study, the lubrication features of biodiesel and diesel fuels which were produced from flax, melon and water melon seeds and biodiesel concentrations in rates of 4%, 20% and 50% has been compared ; kinematic viscosities of these fuels have been measured and densities in different heats has been evaluated. HFFR test was made by MAM (Marmara Research Center) and it has been observed that lubrication of biodiesel which are produced from flax, melon and watermelon has reasonably increased.

Key Words: Biodiesel, Lubricity, HFRR, Pin-on-Disk

Science Code: 626.10.01

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitiminin boyunca bana her türlü desteği sunan, bu tez çalışmasının oluşumunda büyük pay sahibi danışman hocam KBÜ Makine Eğitimi Otomotiv Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN'e, tecrübelerinden ve bilgilerinden yararlandığım, deneysel çalışmalarına yön veren Karabük Meslek Yüksekokulu Teknik Programlar Bölüm Başkanı Doç. Dr. Yakup SEKMEN'e, tezimi kısmen destekleyen Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, Prof. Dr. İhsan TOROĞLU ve Prof. Dr. Dilek DADAYLI PAKTAŐ'a, Pin-On-Disk cihazında çalışmama imkan veren Doç. Dr. Mustafa YAŞAR'a, öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, eşim Akif KOÇ' a ve emeği geçen herkese sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
BÖLÜM 3 DİZEL VE BİYODİZEL YAKITLAR.....	9
3.1 DİZEL YAKIT	9
3.2 BİYODİZEL.....	9
3.3 ALTERNATİF YAKIT OLARAK BİYODİZEL	11
3.4 DİZEL YAKITLARIN BAZI ÖZELLİKLERİ.....	12
3.4.1 Dizel Yakıtların Viskozitesi	13
3.4.2 Dizel Yakıtların Yoğunluğu	13
3.4.3 Dizel Yakıtların Yağlayıcılık Özelliği.....	13
3.4.4 Dizel Yakıtların Egzoz Emisyonları	15
BÖLÜM 4 DİZEL MOTORLARDA AŞINMA VE YAĞLAMA	16
4.1 MOTORDA YAĞLAMANIN ÖNEMİ	16
4.2 SÜRTÜNMENİN TANIMI	17
4.2.1 Kuru Sürtünme.....	18

	<u>Sayfa</u>
4.2.2 Sınır Sürtünme	18
4.2.3 Sıvı Sürtünme	18
4.3 AŞINMANIN TANIMI.....	19
4.4 YAĞLAYICILIĞIN TANIMI	20
BÖLÜM 5 YAKIT YAĞLAYICILIK ÖZELLİĞİNİ ÖLÇME YÖNTEMLERİ.....	21
5.1 YAĞLAYICILIĞI ÖLÇMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER.....	21
5.1.1 Taşıt Testi	21
5.1.2 Yakıt Enjeksiyon Malzeme (Enjektör) Tezgah Testi	22
5.1.3 Laboratuar Testi.....	22
5.2 LABORATUAR TEST YÖNTEMLERİ	23
5.2.1 HFRR Yöntemi.....	23
5.2.1.1 Aşınma İzinin Ölçülmesi	24
5.2.1.2 Hesaplamalar	25
5.2.2 SL-BOCLE Yöntemi	26
5.2.3 BOTD Yöntemi	28
5.2.4 SRV Yöntemi	29
BÖLÜM 6 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	31
6.1 DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI.....	31
6.2 HFRR Deneyleri.....	31
6.2.1 Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Cihazlar.....	32
6.2.1.1 Sıkıştırılmış Hava	32
6.2.1.2 Toluen	32
6.2.1.3 Aseton	32
6.2.1.4 Deney Levhası	32
6.2.1.5 Deney Bilyesi.....	33
6.2.1.6 Mikroskop.....	33
6.2.1.7 Desikatör.....	33
6.2.1.8 Temizleme Banyosu	33

	<u>Sayfa</u>
6.2.2 Deneý Düzenegi ve Hazırlanması.....	34
6.2.3 Deneýin Yapılışı.....	35
6.2.3.1 Aşınma İzinin Ölçülmesi	37
6.2.3.2 Örnek Hesaplamalar	37
6.3 PİN-ON-DİSK AŞINMA DÜZENEGİ.....	38
6.4 YOĞUNLUK ve VİSKOZİTE ÖLÇÜMÜ	39
BÖLÜM 7 DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	41
BÖLÜM 8 SONUÇLAR.....	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.1. Sürtünme çeşitleri	17
Şekil 5.1. HFRR test yönteminin şematik ve genel görünümü.....	23
Şekil 5.2. Deney bilyesinin deneyden sonraki durumu.....	24
Şekil 5.3. SL-BOCLE test yönteminin şematik ve genel görünümü	27
Şekil 5.4. BOTD test yönteminin genel görünümü ve çalışma prensibi.....	28
Şekil 5.5. BOTD testinde kullanılan malzemeler.....	28
Şekil 5.6. SRV test yönteminin çalışma prensibi.....	29
Şekil 5.7. SRV cihazında aşındırılmış silindir örnekleri.....	30
Şekil 6.1. Laboratuar hava şartları	32
Şekil 6.2. HFRR cihazına bağlı optik mikroskobun görünümü	33
Şekil 6.3. Deney levhasının numune banyosuna yerleştirilmesi.....	35
Şekil 6.4. HFRR cihazının çalışmaya hazır hali	35
Şekil 6.5. HFRR cihaz bilgi ve kayıt-kontrol ekranı.....	36
Şekil 6.6. Aşınma test cihazının şematik görünümü	38
Şekil 6.7. Aşınma test yönteminin çalışma prensibi	39
Şekil 6.8. Yoğunluk ölçümü	39
Şekil 6.9. Viskozimetre cihazı	40
Şekil 7.1. HFRR test metoduyla yakıtların yağlayıcılık özelliği sonuçları.....	42
Şekil 7.2. HFRR test cihazında aşındırılmış bazı bilye resimleri	43
Şekil 7.3. Pin-On-Disk cihazında aşındırılan numunelerin ağırlık kayıpları	44
Şekil 7.4. Pin-On-Disk cihazında aşındırılan bazı numunelerin görüntüleri	45
Şekil 7.5. Deney yakıtlarının 40°C’de kinematik viskoziteleri	46
Şekil 7.6. Deney yakıtlarının oda sıcaklığındaki kinematik viskoziteleri.....	47
Şekil 7.7. Yakıtların 0 ve 95°C’ de yoğunlukları.....	47
Şekil 7.8. Ketten tohumu yağı metil esteri ve dizel yakıtla karışımlarının farklı sıcaklıklardaki yoğunlukları	48
Şekil 7.8. Kavun çekirdeği yağı metil esteri ve dizel yakıtla karışımlarının farklı sıcaklıklardaki yoğunlukları	48

Şekil 7.10. Karpuz çekirdeği yağı metil esteri ve dizel yakıtla karışımlarının farklı sıcaklıklardaki yoğunlukları 49

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Biyodizel ile dizel yakıtının mukayesesi	12
Çizelge 5.1. HFRR test yönteminde bazı deney parametreleri	26
Çizelge 5.2. SL-BOCLE test yönteminde bazı deney parametreleri	27
Çizelge 5.3. BOTD test yönteminde bazı deney parametreleri.....	29
Çizelge 5.4. SRV test yönteminde bazı deney parametreleri.....	30
Çizelge 7.1. HFRR test metoduyla yakıtların yağlayıcılık ölçüm sonuçları.....	42
Çizelge 7.2. Pin-on-Disk aşınma deney cihazında aşındırılan numunelerin ağırlık kayıpları	44
Çizelge 7.3. Laboratuar test yöntemlerinin bazı deney parametreleri açısından karşılaştırılması.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

\bar{p}_{abs}	:	Ortalama mutlak buhar basıncı, (kPa)
\bar{d}	:	Düzeltilmiş ortalama aşınma izi çapı, (μm)
ϕ_1	:	Deney başlangıcındaki bağıl nem, (%)
ϕ_2	:	Deney sonundaki bağıl nem, (%)
CO	:	Karbon monoksit
CO ₂	:	Karbon dioksit
d_e	:	Düzeltilmiş aşınma izi çapı, (μm)
HC	:	Hidrokarbon
KOH	:	Potasyum hidroksit
NaOH	:	Sodyum hidroksit
NO _x	:	Azotoksit
O ₂	:	Oksijen
$p_{\text{abs}1}$:	Deney başlangıcındaki mutlak buhar basıncı, (kPa)
$p_{\text{abs}2}$:	Deney sonundaki mutlak buhar basıncı, (kPa)
Ra	:	Yüzey pürüzlülüğü, (μm)
SO ₂	:	Kükürt dioksit
T ₁	:	Deney başlangıcındaki hava sıcaklığı, (°C)
T ₂	:	Deney sonundaki hava sıcaklığı, (°C)
x	:	İzin gidiş geliş yönüne dik uzunluğu, (μm)
y	:	İzin gidiş geliş yönüne paralel uzunluğu, (μm)

KISALTMALAR

AFM	:	Atomic Force Microscope
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
BOTD	:	Ball-On-Three Disks

D2	:	Dizel yakıt çeşidi
EN	:	Avrupa Normu
EMA	:	Engine Manufacturers Association
EPA	:	Environmental Protection Agency
FSOME	:	Keten tohumu yağı metil esteri
F1-F6	:	Dizel yakıt çeşitleri
HFRR	:	High Frequency Reciprocating Rig
HSS	:	Yağlayıcı katkı maddesi
SSS	:	Yağlayıcı katkı maddesi
MSOME	:	Kavun çekirdeği yağı metil esteri
MAM	:	Marmara Araştırma Merkezi
MROCLE	:	Munson Roller On Cylinder Lubricity Evaluator
NDF	:	Nem Düzeltme Faktörü
SAE	:	Society of Automotive Engineers
SLBOCLE	:	Scuffing Load Ball On Cylinder Lubricity Evaluator
SRV	:	Optimal Reciprocating Rig
WMSOME	:	Karpuz çekirdeği yağı metil esteri
WSD	:	Wear Scar Diameter

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Petrol kökenli yakıtların tükeniyor olması ve bu yakıtlarla çalışmakta olan taşıt motorlarının egzoz ve gürültü emisyonları nedeni ile çevre kirliliğinin had safhalara ulaşması, araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Özellikle dizel motorların egzoz emisyonlarının azaltılmasına duyulan ihtiyaç dizel motor teknolojisinin de gelişimini sürdürmesini sağlamıştır. Bu gelişmeler, dizel yakıt enjeksiyon teknolojisi, egzoz sonrası yakıt teknolojisi ve daha yüksek standartlarda yakıt üretimi alanlarında devam etmektedir.

Modern bir dizel motorun yakıt enjeksiyon sistemi çok yüksek basınçlarda çalışmaktadır. Bu yeni teknoloji geleneksel motorun enjeksiyon sistemini yağlayan yakıttan daha iyi yağlayıcılık özelliğine sahip yakıt gereksinimini doğurmuştur (Mitchell, 2001). 1993 yılından önce 5000ppm düzeyinde olan dizel yakıtındaki kükürt oranı, çevreci gerekçeler doğrultusunda 500ppm'in altına düşürülmesi Amerikan Çevre Koruma Örgütü (EPA) tarafından mecburi hale getirilmiştir. Petrol rafinerilerinin kullandıkları ileri teknoloji ile bu değer daha da azaltılarak 1 Haziran 2006'dan itibaren 15 ppm düzeyine indirilmiş ve yakın zamanda da 10ppm değerine indirilmesi hedeflenmiştir (Schumacher, 2005).

Araştırmalar temiz yakıt kullanıldığında daha düşük oranlarda azot ve aromatik hidrokarbon emisyonlarının katalitik konvertörle elde edildiğini kanıtlamıştır. Ancak, bu enjeksiyon sistemi için yeterli yağlama düşük kükürt oranlarında gerçekleştirilememektedir. Yeni düşük kükürtlü yakıtlar (15ppm), 500 ppm kükürtlü yakıtlara göre daha düşük yağlayıcılık özelliğine sahiptirler (Karonis et al.1999; LePera, 2000; Barbaur et al. 2000). Yakıttaki kükürt oranının azaltılması egzoz emisyonları açısından istenilen hedefleri sağlamış, ancak bu azalış yakıt tarafından yağlanan enjeksiyon pompasının hareketli parçaları ve enjektörlerde yağlama

problemlerini ve motor performansının düşmesi gibi olumsuz sonuçları ortaya çıkarmıştır. Bu duruma yeni enjeksiyon sistemlerinin yüksek basınç şartlarında çalışması da eklenince çevre dostu katkı maddeleri konusunda yoğun araştırmalar başlamıştır. Araştırmalar, yeterince bilinmeyen biyodizelin motorlar için mükemmel yağlayıcılık özelliği sağladığını, dizel yakıtta karıştırılan biyodizelin %1-2 oranlarındaki karışımlarında yağlayıcılık özelliğinde %60'a varan iyileştirmeler sağlamaktadır (Schumacher et al. 2003).

Motorinin yağlayıcılık özelliğindeki sorun sadece kükürt azalmasından kaynaklanmamakta; aynı zamanda sıcaklıktan kaynaklanan viskozitedeki azalmadan dolayı da yakıt pompasının yağlaması istenen biçimde yapılamamaktadır (Öğüt, 2006). Özellikle sıcak havalarda motorin incelmekte, dolayısıyla viskozitesi azalmakta ve pompada istenen yağlama yapılamamaktadır. Yağlama yetersizliği de pompa performansını düşürmektedir. Motorun kalbi olan yakıt pompasındaki performans düşmesi motorun çalışma şartlarını olumsuz etkilemektedir. Zaman zaman motora yağlama yağı ekleniyor olsa da yakıt pompasının kendini yağlaması konusundaki sorunlar tam olarak çözüm bulmuş değildir.

Dizel yakıtların önemli özellikleri; setan sayısı, viskozite, parlama noktası, soğuk akış özellikleri, kararlılık ve yağlayıcılık olarak belirtilebilir. Bu özelliklerin içerisinde yağlayıcılığın tanımlanması diğer özelliklere göre daha zordur. Son yıllarda dizel motorlar ve yakıt sistemlerindeki gelişmelere bağlı olarak yakıtın yağlayıcılığı daha da önem kazanmıştır.

Biyodizelin önemli bir üstünlüğü olan yağlayıcılık teriminin standart bir tanımı yoktur. Bazı kaynaklar; yağlamayı "Hareketli parçaların temas yüzeyleri arasındaki aşınmayı azaltmak" bazıları ise "Katı yüzeyler arasındaki sürtünmeyi azaltma kabiliyeti" olarak açıklamaktadırlar. Motor teknolojisinde ise yağlama; "sürtünmeden kaynaklanan motor aşınmasını azaltma kapasitesi" olarak ifade etmektedirler (Öğüt, 2006).

Motorda aşınma etkisindeki parçalar; enjeksiyon pompası, dişliler, rulmanlar, supaplar, segmanlar ve gömlekler olarak sıralanabilir. Bunlar arasında enjeksiyon

pompası motor yağlama yağı tarafından değil bizzat yakıt tarafından yağlanmasından ötürü diğerlerinden çok daha fazla yakıtın yağlayıcılığına ihtiyaç duymaktadır.

Dizel motorlarda yakıtın püskürtülmesi, yakıt pompasının birkaç milisaniyelik çalışması süresinde olmaktadır. Bununla beraber bu kısa zaman aralığında pompanın yakıt basıncını sisteme göre 900-2000 bar'a kadar yükseltmesi, yakıt miktarını ayarlaması ve gelecek stroklara hazırlanması gerekmektedir. Dizel motorun kalbi sayılan yakıt pompasının imalatı da ileri teknoloji gerektirmektedir. Çalışma anında ise yakıt pompasının en uygun işletme şartlarının sağlanması gerekmektedir ki; pompanın yakıtla yağlanması bu noktada önem kazanmaktadır.

Bütün dizel motorlar enjeksiyon sistemi ile çalışmakta ve hareket eden parçaların yağlanması yakıt ile sağlanmaktadır. Yakıttaki yağlayıcılık özelliğinin yetersizliğinin ya aşınmalara yol açtığı ya da istenilen basıncın elde edilememesine neden olduğu bilinmektedir (<http://www.lubrizol.com>, 2008). 2010 yılında AB'de kükürt oranının 10ppm'in (ULSD: Ultra Low Sulfur Density) altına düşürülmesi için yapılan düzenlemeler, dizel yakıtının yağlayıcılık özelliğinin çevreye zarar vermeyecek katkılarla artırılması için araştırmalar hızlandırılmıştır.

Yağlama performansının ortaya çıkarılması için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; araç testi, yakıt enjeksiyon malzeme tezgah testi ve laboratuvar testleridir. İlk iki yöntem çok uzun süre çalışma zamanı gerektirdiğinden ve laboratuvar testlerinin daha güvenilir olmasından ötürü yaygın olarak HFRR (High Frequency Reciprocating Rig) ve SLBOCLE (Scuffing Load Ball On Cylinder Lubricity Evaluator) yöntemleri kullanılmaktadır. Bunların haricinde MROCLE (Munson Roller On Cylinder Lubricity Evaluator) ve SRV (Optimal Reciprocating Rig) ve BOTD (Ball-on-Three Disks) yöntemleri de kullanılmaktadır.

Motor imalatçıları bu yöntemler arasında HFRR yöntemi, yağlama açısından daha iyi bir gösterge olması dolayısıyla daha çok tercih etmektedirler (Barbaur et al. 2000). Yağlayıcılık analizinde kullanılan SLBOCLE (ASTM D 6078-99) ve HFRR (ASTM D 6079-99) test işlemleri 15ppm kükürt oranlı yakıtların 500ppm kükürtlü yakıtlara oranla yağlayıcılık özelliğinde önemli oranda azalma olduğunu ortaya koymuşlardır.

HFRR yöntemine göre Schumacher vd. tarafından yapılan ölçümlerde de, dizel yakıtta %2 biyodizel katıldığı durumda aşınma izi çapının 513 μ m'den 200 μ m'e düşerek yaklaşık %60'lık bir iyileşme sağlandığı görülmüştür (Schumacher et al. 2003).

Dizel yakıttaki kükürdün 10 ppm düzeyine kadar düşürülmesi ve yüksek basınçla çalışan yeni yakıt enjeksiyon sistemlerinde yağlama problemine çözüm olarak biyodizel önemli bir alternatiftir. Ayrıca, bazı araştırmacılar yakıtın yağlama kabiliyetinin yakıtın viskozitesi ile ilişkili olduğuna inanırken, bazı araştırmacılar ise bu durumun yakıtın kükürt, oksijen ve azot içeriği ile ilgili olduğunu savunmaktadırlar.

Bu çalışmada, HFRR test yöntemi kullanılarak bir dizel yakıtı ile %50, %20 ve %4 oranlarında karpuz çekirdeği, kavun çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterlerinin oluşturduğu karışımların yağlayıcılık özellikleri araştırılmış, meydana getirdikleri tribolojik aşınmalar incelenmiştir. Ayrıca, Pin-On-Disk tipi standart aşınma deney aparatında yağlayıcı olarak biyodizellerin dizel yakıtı ile %50 konsantrasyonları kullanılmış, aşınma miktarları ve yüzey görüntüleri değerlendirilmiştir. Yağlayıcılık kabiliyeti değerlendirilen bu yakıtların dinamik ve kinematik viskoziteleri ile farklı sıcaklıklardaki yoğunlukları belirlenmiştir. HFRR testi, MAM (Tübitak, Marmara Araştırma Merkezi) tarafından yapılmış olup; biyodizel ilavesinin dizel yakıtın yağlayıcılık özelliğini iyileştirdiği belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde, dizel yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin motor parçalarına etkileri ve katkı maddesi olarak biyodizel kullanılmasıyla ilgili birçok araştırma yapılmıştır.

Gerpen et al. (1998), yapmış oldukları çalışmada; yağlayıcılığı artırıcı dört farklı katkıyı test etmişlerdir. Yerel bir piyasadan alınan soya fasulyesi yağı, Nopec'den alınan ve ticari metil soyate olarak bilinen bir çeşit soya yağı metil esteri ve uluslararası yağlayıcı maddelerden iki katkı maddesi (HSS-1.6.5 ve SSS-1.7.7) kullanılmıştır. Dizel yakıtlardan da test için altı çeşit yakıt (F1-F6) seçilmiştir. F1 ve F2 dizel yakıtları, yerel bir istasyondan alınmış ve içeriğinde yağlayıcılığı arttıran katkı maddesi olduğu düşünülen yakıtlardır. F3 yakıtı ise, Mühendislik Test Hizmetlerinden alınan yağlayıcılığı oldukça düşük, F4 sadece içerisinde korozyon önleyici katkı maddesi olan bir yakıttır. Korozyon önleyici maddelerin yağlayıcılığı da arttırdığı düşüncesi yaygındır. F5 yakıtı F4 yakıtıyla aynı yakıt olmakla beraber içerisinde korozyon önleyici madde bulunmamaktadır. F6 yakıtı ise bir rafineriden edinilmiş bir yakıttır. Yakıtlar %100 dizel, %0,25-1 oranlarında soya yağı, %0,25-1 metil soyate, %0,25-1 HSS-1.6.5 ve %0,25-1 SSS-1.7.7 ile karışımları SLBOCLE ve HFRR yöntemleriyle yağlayıcılık testine tabi tutulmuşlardır. Testler Güney Carolina'da Charleston Mühendislik Test Hizmetlerinde yapılmıştır. Yakıtlar, katkı maddelerinin motordaki birikimde artışa sebep olduğu düşüncesi ile birde motor testi uygulanmıştır. Dört silindirli bir dizel motoru hız değişimleri ve yük için bir DC dinamometreye bağlanmıştır. Motor 125 saat boyunca aşırı yük altında çalıştırılmış, başlangıçtaki ve testin sonundaki egzoz emisyonları ölçülerek hidrokarbon ve karbondioksit yayılımlarının artıp artmadığı gözlemlenmiştir. Soya yağı ilavesinin yakıtta motor imalatçılarının istediği yağlayıcılığı sağladığı, metil soyate'nin yağlayıcılığının az farkla daha iyi olduğu, soya yağından elde edilen katkı maddelerinin ise yağlayıcılıkta oldukça etkili olduğu belirtilmiştir.

Karonis et al. (1999), dizel yakıtta %0,25 ve 10 oranlarında ayçiçeği yağı, zeytinyağı ve metil esteri ilave ederek karışımlar oluşturmuş ve bunları 3 aylık bir sürede defalarca test etmişlerdir. Bu deneylerin sonucunda aşınma izi çapında (WSD) hissedilir bir düşüş olduğu görülmüştür.

Anastopoulos et al. (2001), Yunanistan rafinerisinde üretilmiş altı çeşit yakıtı incelemişlerdir. Yakıtların kükürt düzeyleri oldukça düşük istenilmiş, EN 590 tanımlamasına göre setan sayısı 42-60, yoğunluğu 15°C de 841-861kg/m³, kinematik viskozitesi 40°C'de 2,8 ve 4,6 mm/s² ve kaynama noktaları 344-378°C olarak seçilmiştir. Bütün ölçümler HFRR test yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test 60°C'de, 2ml yakıt numunesiyle, nem oranı %50-55 arasında tutularak, çevre sıcaklığı 23°C olacak şekilde yara izi çapı ölçülerek yapılmıştır. Yakıtlara ayçiçeği, zeytin, mısır ve kızartma yağlarından üretilmiş biyodizeller eklenmiştir. Karışımlar % (0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,5, 1,0, 3,0, 6,0, 8,0 ve 10) oranlarında hazırlanmıştır. Bütün yakıtlar yağlama etkilerini görebilmek için analiz edilmiş ve tüm yakıtların 460µm sınırının üstünde değerler verdiği gözlemlenmiştir. Sonraki gün aynı ölçümler tekrarlanarak doğrulukları kontrol edilmiştir. Eklenen biyodizellerle yapılan testlerde ise yara izi çapının ortalama 200µm'ye kadar düştüğü, yani yağlayıcılığın belirgin düzeyde arttığı ve biyodizelin düşük kükürt oranlı dizel yakıtlarının yağlayıcılık özelliklerini geliştirmek için potansiyel bir katkı olduğu açıklanmıştır.

Hughes et al. (2002), dizel yakıtta %10 ve %20 oranlarında soya yağı ekleyerek karışımlar hazırlamışlar ve bu yakıtların SLBOCLE (ASTM 6078) ve HFRR (ASTM 6079) metotlarıyla yağlayıcılıklarını ölçmüşlerdir. Buna ek olarak da numuneleri FALEX BOTD test standında yağlayıcılık testine tabi tutmuşlardır. %10 ve 20 konsantrasyonlarda soya yağı gibi bir biyodizelin kullanımının yüksek ölçüde yağlayıcılığı arttırdığını gözlemlemişlerdir. Bütün ticari dizel yakıtlarda SAE ve diğer tanımlamaların birçok isteğini soygold gibi bir biyodizelin karşılayabileceğini bildirmişlerdir.

Wielligh et al. (2002), dizel motorlarda meydana gelen arıza ve özellikle de piston, segman ve silindirlerde meydana gelen aşınmaların sebebinin doğrudan dizel yakıtların yağlayıcılık kabiliyetleriyle ilgili olduğunu belirtmişler ve yakıtların yağlayıcılık

özelliklerini ölçmüşlerdir. Dünyanın her yerinde yağlayıcılık ölçmede tercih edilen HFRR cihazının uygun olmaması, Bosch testinin de 1000 saat kadar bir sürede oldukça maliyetli ve ayrıca yakıt pompalarına zarar vermesi sebebiyle Pretoria Üniversitesinde (SRV) cihazında çalışılmıştır. Araştırmaları dizel yakıtların yağlayıcılık özellikleri dizel motor performansında ve ömründe oldukça etkili olduğunu açıkça göstermiştir.

Schumacher et al. (2003), yapmış oldukları çalışmada; dizel yakıtta düşük oranlarda biyodizel karıştırarak elde ettikleri yakıtları, dizel yakıt enjeksiyon pompasının dayanıklılığını nasıl etkilediğini gözlemlemek için kullanmışlardır. %1 ve %2 biyodizel konsantrasyonlarındaki yakıtı Dodge marka kamyonette yaklaşık 177,028 km çalıştırmış ve motoru Iowa State Üniversitesi'nde laboratuvar koşullarında 1000 saat boyunca test etmişlerdir. Cummins ve Bosch mühendisleriyle birlikte elde ettikleri sonuçları değerlendirmişler ve yakıtların yağlayıcılık özelliğinde %60'a varan iyileşmeler olduğunu açıklamışlardır.

Schumacher (2005), yapmış olduğu çalışmada; dizel yakıtta yağlayıcı katkı maddesi olarak biyodizel kullanılmasının etkilerini deneysel ve teorik olarak araştırmıştır. Kükürt oranı düşük olan F2 commercial, F3 kerosene ve F4 amoca dizel yakıtlarının %100 katkısız, %1 soya yağı ve %1 metil soyate ile karışımlarını SLBOCLE ve HFRR test metotlarıyla yağlayıcılıklarını karşılaştırmışlardır. Yine iki çeşit dizel yakıtı da SLBOCLE yöntemiyle %100 dizel, %0,5, %1, %2, %4, %12 ve %100 biyodizel ilavesinin yağlayıcılıklarını incelemiştir. Dizel yakıtta düşük oranlarda olsa bile biyodizel eklenmesinin yağlayıcılığı arttırdığı gözlenmiştir.

Bhatnagar et al. (2006), tarafından *jatropha curcas*, *salvadora oleoides*, *pongamia glabra* ve *madhuca indica* biyodizellerini transesterifikasyon yöntemi ile temel katalizör ayrılmadan 60°C, 70°C ve 25°C de metanol ile yağı sentezle birleştirmişlerdir. Biyodizeli moleküler eleklerde sıcak su ile yıkayıp saflaştırarak yağlayıcılık ölçümleri HFRR metodu (ISO-12156) ile belirlenmiştir. Testler 60°C'deki yakıttan 20mL kullanılarak 90 dakika süre ile 2N yükte aşınma izi çapı (WSD) ölçülerek yapılmıştır. Yakıtların %5, %10, %15, %20, %50 ve %100 karışımlarında yağlayıcılıkları, temas potansiyelleri ve sürtünme katsayıları

ölçülmüştür. Kükürt azalmasının yağlayıcılığı azalttığı, metil esteri veya biyodizel kullanılarak bu durumun telafi edilebileceği, bitkisel yağların yağlayıcılık artırma performansının tutarlı bir şekilde geliştirilebileceği sonucuna varmışlardır.

Aranyi et al. (2006) yapmış oldukları çalışmada on dört farklı katkı maddesiyle dizel yakıtın yağlayıcılık özelliğini HFRR test cihazında araştırmışlardır. Numunelerin yüzey morfolojisi ve pürüzlülüğü, AFM (Atomic Force Microscope)'da incelenmiştir. Deney sonuçları yakıtta eklenen katkı maddelerinin özellikle 60 ppm düzeyinde olduğunda oldukça iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Knothe et al. (2006) tarafından; egzoz emisyonları incelenirken yakıtların özellikleri araştırılmış ve yedi çeşit yakıttan metil palmitate'den sonra en iyi yağlayıcılık özelliğinin biyodizelde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yakıtların yağlayıcılıkları 60°C'de HFRR yöntemiyle belirlenmiştir.

BÖLÜM 3

DİZEL VE BİYODİZEL YAKITLAR

3.1 DİZEL YAKIT

Motorin ham petrolün rafine edilmesiyle ortaya çıkan birçok maddenin fiziksel karışımı sonucunda elde edilir.

Rafine sanayi ham petrolü ayırmaya (vakumda damıtma) ve kimyasal olarak dönüştürmeye (hidrojenli kükürt giderme, katalitik) dayanan çok sayıda işlem gerçekleştirir, bu işlemler motorinlerin birleşimlerinde yer alan birçok temel maddenin elde edilmesini sağlar.

Motorinler, çok farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri bulunan alabildiğine yüksek sayıda (binin üstünde) hidrokarbonun karmaşık karışımıyla meydana gelir (<http://www.1bilgi.com> 2007).

3.2 BİYODİZEL

Petrolün tükenbilir bir kaynak olması ve yanma ürünlerinin çevreye zararlarının azaltılması alternatif yakıt araştırmalarını yoğunlaştırmaktadır. Bu konuda yağ esterleri ve alkollerin motorlu taşıtlarda kullanımı gündeme gelmektedir. Bitkisel yağların dizel yakıtı ile karışımları yakıtların viskozite, bulutlanma noktası, setan sayısı, ısı değeri ve kaynama noktası gibi fiziko-kimyasal özelliklerini değiştirmektedir. İçten yanmalı motorlarda kullanılacak yakıtların, motorda en az yapısal değişiklik gerektirmeleri, motor ömrünü kısaltmamaları, üretimi, taşınması, depolanması ve kullanımı sırasında insan sağlığı ve çevreye zarar vermemeleri gibi belirli kriterleri sağlamaları gerekmektedir. Bunun yanında, fiyatları düşük olmalı, yenilenebilir, bol ve sürekli temin edilebilmelidirler. Amerika'da soya ve kanola,

Avrupa'da kolza bitkisi biyodizel için temel hammadde olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ise ayçiçeği, aspir ve kanola üretimi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitkisel yağların yüksek viskozite ve yoğunluk, düşük setan sayısı ve ısıl değer özellikleri nedeniyle saf veya karışım halinde kullanımı akış problemi, kötü atomizasyon, enjektör tıkanması, piston segman sıkışması, yağlama yağının kalınlaşması, eksik yanma ve performans kaybına neden olduğundan bu problemleri gidermek için ön ısıtma, başka yakıtlar ile karıştırma ve çözme, ısıl parçalanma ve esterleştirme gibi teknikler uygulanmaktadır. Dönüştürülme işleminde en yaygın kullanılan yöntem transesterifikasyon reaksiyonudur. Dönüştürülecek yağın özellikleri (yoğunluk, viskozite, serbest yağ asitleri ve su miktarı vs.), kullanılan alkol ve katalizörün yapısı ve miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve süresi transesterifikasyon reaksiyonunu dolayısıyla elde edilecek biyodizelin özelliklerini etkileyen parametrelerdir. Reaksiyonda alkol olarak metanol, etanol ve bütanol kullanılabilirken daha kolay reaksiyona girmesi ve ucuz olması sebebiyle metanol tercih edilmektedir. Üretilen biyodizelin setan sayısı, yoğunluğu, viskozitesi, bulutlanma noktası ve ısıl değeri motor performansını ve egzoz emisyonunu etkileyen özellikleridir. Biyodizel yenilenebilir bir yakıt olduğundan yanma sonu ürünlerindeki CO₂'nin tekrar fotosentez çevrime katılmasıyla sera gazları etkisi en aza indirilmektedir. Bitkisel yağlar çok az sülfür içerdiğinden dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında yakıttaki biyodizel oranına bağlı olarak asit yağmurlarına neden olan SO₂ emisyonlarında önemli miktarda azalma elde edilmektedir. Biyodizel dizel yakıtı ile homojen olarak karışabilmekte ve kararlı halde kalabilmektedir. NO_x oluşumu ile ilgili olarak iki farklı görüş vardır. Bazı araştırmacılar biyodizelin oksijen içeriği nedeniyle yüksek yanma odası sıcaklıkları sonucu dizel yakıtına göre daha fazla miktarda NO_x emisyonuna neden olduğunu açıklarken başka araştırmacılar, düşük miktarda NO_x emisyonu oluştuğunu bildirmektedirler.

Karayolu taşımacılığında kaynaklanan sera etkili emisyonları azalma, enerji tedarikinin güvenliğini artırma ve kırsal birliklerin kalkınmasına destek stratejisinin bir parçası olarak fosil yakıtların yerine biyoyakıtların kullanımı önerilmektedir.

Bitkisel yağlardan en fazla transesterifikasyon reaksiyonu (alkoliz) ile biyodizel elde edilmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak

yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak di- ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. (Öztürk ve Bilen 2009). Biyodizel, yapısında oksijen bulunduran, sülfür içermeyen, zehirleyici etkisi olmayan, doğada bozunabilir ve yenilenebilir bir alternatif dizel motor yakıtıdır. Dizel yakıtı göre daha az karbon monoksit, hidrokarbon ve is emisyonu yaydıkları bilinmektedir (Aktaş ve Sekmen 2007).

Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir (Alptekin ve Çanakçı 2007). Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motoruna, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir (<http://www.eie.gov.tr> 2008).

3.3 ALTERNATİF YAKIT OLARAK BİYODİZEL

Biyodizel, dizel motorlarda hiçbir değişikliğe gerek kalmadan veya çok küçük değişiklikler ile kullanılabilir. Avrupa birliği ülkelerinde şu anda %2 oranında dizel yakıtların içerisine karıştırılarak kullanılmaktadır. Ancak bitkisel yağların dizel yakıt alternatifini olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Buna göre yüksek viskozite problemi, saf bitkisel yağlara çeşitli yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır (Alpgiray ve Gürhan 2007). Viskozitenin dizel yakıtına yaklaştırılması için ısıtılması veya emülsiyonlarının elde edilmesi gerekmektedir. Yağın ısıtılması halinde viskozitesinde yaklaşık %20 oranında düşüş olduğunu Strayer et al. (1983) ifade etmişlerdir (İlkılıç 2007). Ancak, bu yöntemin özellikle hareketli bir taşıt motorunda uygulama zorluğu vardır. Kimyasal yöntemler daha çok tercih edilmekte ve bu yöntemlerden uygulamada inceltme ve transesterifikasyon en çok başvurulan uygulamalardır. Literatürlerde transesterifikasyon yolu ile elde edilen ürünün yakıt özelliklerinin dizel yakıtı özelliklerine çok yaklaştığı belirtilmektedir. Bunların yanında motor ayarlarında yapılan bazı değişikliklerin bitkisel yağların yakıt olarak kullanımlarını daha elverişli hale getirmektedir (Altun ve Gür 2005). Çizelge 3.1’de dizel ve biyodizel yakıtların bazı özellikleri kıyaslanmış ve birbirine üstünlükleri ifade edilmiştir.

Çizelge 3.1. Biyodizel ile dizel yakıtının mukayesesi (Oğuz ve Öğüt 2007).

Özellik	Biyodizel	Dizel
Setan sayısı	51-62	44-49
Yağlayıcılık	Oldukça iyi	Çok düşük
Biyolojik ayrışabilirlik	Kolayca ayrışabilir	Zayıf
Toksik	Gerçekte toksik değil	Yüksek toksik
Oksijen	%11'den fazla serbesO ₂	Çok düşük
Aromatikler	Aromatik içermez	18-22%
Kükürt	Yok	0.05%
Parlama Noktası °C	120-220 °C	74 °C
Dökülme zararı	Yok	Yüksek
Malzeme uyuşabilirliği	Kauçuk hariç doğal malzemelerle az uyuşabilir	Kauçuk hariç doğal malzemelerde etkili değildir
Taşınması	Zarar vermeden ve patlamadan taşınabilir	Tehlikelidir
Isıl Değeri	Dizel'den %2-3 daha düşüktür.	Biyodizel'den %2-3 daha fazladır.
Temin kaynağı	Yenilenebilir	Yenilenemez
Temini	Çok geniş	Sınırlı
Enerji teminatı	Ulusal ham materyal	Ulusal ve ithalat karışımı
Alternatif yakıt	Evet	Hayır
Üretim işlemleri	Kimyasal reaksiyonlar	Reaksiyon + Parçalanma

3.4 DİZEL YAKITLARIN BAZI ÖZELLİKLERİ

Uygun viskozitede, yeterli buharlaşma enerjisine sahip, vurutuya karşı mukavemetli olmalı, yakıt ve yanma ürünleri korozyona sebep olmamalıdır. Egzoz emisyonları ve çinkoya karşı aktivitesi az, akma noktası kullanım şartlarına uygun olmalı ve donma noktası düşük olmalıdır. Tutuşma noktası da düşük ve aynı zamanda motor parçalarının ömrünün uzaması için yakıtın iyi yağlayıcılık özelliğine sahip olması gerekmektedir (www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/yakitlar_yaglar/motorin_.htm).

3.4.1 Dizel Yakıtların Viskozitesi

Viskozite, en önemli yakıt özelliklerinden biridir. Viskozitenin etkileri, motor aşınmasına ek olarak atomizasyon ve yanmanın kalitesinde görülebilir (Tate et al 2005). Yakıtın düşük çalışma sıcaklıklarında dahi serbestçe akacak kadar viskozitesinin düşük olması, sızıntıya engel olacak ve enjektör sistemini yağlayabilecek kadar da yüksek viskozitede olması gerekir. Aynı zamanda yanma odasına kolayca atomize edilebilecek şekilde uygun viskozitede olmalıdır.

Dizel yakıtıyla kıyaslanan biyodizel yakıtının daha yüksek viskozitesi, onu mükemmel bir yağlayıcı katkı maddesi yapar (Graboski and McCormick 1998). Diğer taraftan, biyodizel yakıtlarının yüksek viskoziteleri, püskürtme esnasında damlacık boyutunda büyümeye sebep olmakta ve buna bağlı olarak da iyi bir atomizasyon sağlanamamaktadır (Ramadhas et al. 2005).

3.4.2 Dizel Yakıtların Yoğunluğu

Yakıtın yoğunluğu, partikül ve NO_x emisyonlarının oluşmasında önemli bir faktör olarak ifade edilmektedir. Yoğunluğun fiziksel etkisi detaylı olarak incelendiğinde, daha yüksek yoğunluktaki dizel yakıtının, daha fazla yakıtın püskürtülmesine neden olduğu ve buna bağlı olarak püskürtme zamanlamasının değiştiği söylenebilir (İçingür ve Eray 2003).

3.4.3 Dizel Yakıtların Yağlayıcılık Özelliği

İçten yanmalı motorlar içerisinde dizel motorların çalışma prensipleriyle alakalı olarak yakıtın yağlayıcılığına duyulan ihtiyaç, teknolojinin hızla gelişmesiyle de artmıştır. Özellikle yeni nesil dizel motorlarda çok yüksek basınçlarda yakıtın püskürtülmesi, yakıt pompasının birkaç milisaniyelik çalışması süresinde olmaktadır. Bununla beraber bu kısa zaman aralığında pompanın yakıt basıncını sisteme göre 900-2000 bar'a kadar yükseltmesi, yakıt miktarını ayarlaması ve gelecek stroklara hazırlanması gerekmektedir. Dizel motorun kalbi sayılan yakıt pompasının imalatı da ileri teknoloji gerektirmektedir. Çalışma anında ise yakıt pompasının en uygun

işleme şartlarının sağlanması gerekmektedir ki; pompanın yakıtla yağlanması bu noktada önem kazanmaktadır.

Dizel yakıtlar rafinerilerde üretildiklerinde doğal yapılarında yeterli yağlayıcılığa sahip olmadıkları için yakıt şirketleri tarafından motorun sağlıklı çalışması ve daha uzun ömürlü olabilmesi için yağlayıcı katkı maddeleri eklenmektedir (Wielligh et al. 2002).

Keith and Conley (1995), tarafından çevresel nedenlerden dolayı kükürt oranı düşürülmüş daha temiz bir dizel yakıtının üretiminin dizel yakıtının yağlayıcılık özelliğini düşürebileceğini belirtilmiştir. Onlar, dizel yakıtın yağlayıcılık kalitesinde 1993 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin kükürt oranında 500 ppm sınırlamasını getirmesi üzerine önemli bir şekilde düşüş olduğunu belirtmektedirler. Hatta 2006 Haziran'ından sonra kükürt oranına getirilen 500 ppm sınırlamasının 15 ppm'e kadar çekilmesinin meydana getireceği yağlayıcılık problemine çözüm bulunması gerekliliğini dile getirmişlerdir (Schumacher, 2005).

Dizel yakıtların viskozitesinin yağlayıcılıkla doğrudan ilişkili olduğuna inanılsa da birçok araştırmacı viskozitenin çok etkili olmadığını savunmaktadır. Araştırmacılar, viskoziteden ziyade yakıtın içeriğinin önemli olduğunu, kükürt, oksijen, aromatik bileşenler ve nitrojen oranlarının yağlayıcılığı birinci dereceden etkilediğini savunmaktadırlar. Barbour et al. (2000) oksijenin kesinlikle dizel yakıtta doğal bir yağlayıcılık kazandırdığını, ancak nitrojenin oksijene oranla yağlayıcılıkta daha aktif rol oynadığını düşünmüşler, Mitchell (2001) ise oksijen ve nitrojenin dizel yakıtta doğal yağlayıcılık kazandırdığını kanıtlamıştır.

Bazı araştırmacılar düşük oranlardaki kükürt ve aromatik bileşiklerin yağlayıcılığı etkilemediğini savunmalarına rağmen LePera (2000), düşük kükürt oranlı yakıt kullanımına geçen Kanada, California ve Teksas'ta enjeksiyon sistemlerinde ortaya çıkan arızaların artışına dikkat çekmektedir. Yakıtla yağlanmak durumunda olan, yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa maruz kalan, çok düşük toleranslarla çalışan birçok hareketli parçadan oluşan enjeksiyon sisteminde meydana gelen arızaların

Denso, Bosch ve Delphi gibi birçok üretici firmanın ürünlerinde meydana geldiğini vurgulamıştır.

Dizel yakıtların yağlayıcılık kabiliyetleri uzun vadede bir gözlemlerle tespit edilmeye çalışılsa da yeni sistemlerle daha kısa sürelerde daha güvenilir gözlemler yapabilmek mümkün olmuştur. Teknolojinin kullanılmasıyla birçok yöntemde yağlayıcılık kabiliyeti belirlenebilmekte, test işleminin özelliklerine göre iki saat gibi kısa bir sürede bile sonuç alınabilmektedir.

3.4.4 Dizel Yakıtların Egzoz Emisyonları

Atmosferdeki kirletici emisyonlardan CO₂'nin %93, HC'nin %57, NO_x'in %39 ve SO₂'nin %1'i taşıt kaynaklıdır. Son 10 yıl içinde küresel ısınmadaki payı ise %20'nin altından %25'in üstüne çıkmıştır ve şu anda endüstriyel tesisler ve evlerden kaynaklanandan daha fazladır. Taşıt egzozunun asit kirliliğindeki payı atmosfere salınan toplam miktarın %75'i kadardır. Atmosferin bileşimindeki küçük farklılaşmalar bile büyük iklimsel değişimlere yol açabilir (Borat vd. 1992). Bu nedenle son yıllarda alternatif yakıtlar üzerindeki çalışmalar daha temiz egzoz emisyonu üzerinde yoğunlaşmıştır. Dizel motorlu taşıtların toplam taşıt miktarı içindeki yüzdesi hızlı bir şekilde artmaktadır. Ayrıca dizel motorlar endüstriyel alanda da geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Bu nedenle dizel motor egzoz emisyonuna ayrıca dikkat edilmelidir.

Biyodizel çevre dostu bir alternatif yakıttır. Bir dizel motor biyodizel ile çalıştırıldığında oluşan egzoz emisyonunda, motorine oranla, yaklaşık olarak, %20 CO, %30 HC, %40 partikül madde (PM) ve %50 is emisyonu (duman koyuluğu) azalmaktadır (Şanlı ve Çanakçı). Biyodizelin oksijen içeriği nedeniyle NO_x emisyonlarında genellikle artış görüldüğü bilinmektedir (Sekmen 2007).

BÖLÜM 4

DİZEL MOTORLARDA AŞINMA VE YAĞLAMA

4.1 MOTORDA YAĞLAMANIN ÖNEMİ

Birbiri üzerinde hareket eden iki cismin hareketine engel olan dirence, sürtünme denir. Sürtünme her yerde ve her harekette bulunur. Herhangi bir parçayı diğeri üzerinde hareket ettirebilmek için, bir kuvvet uygulamak gerekir. Uygulanan bu kuvvetin değeri, sürtünme kuvvetinden daha çöktür. Aksi durumda hareket sağlanamaz. Birbiriyle temas halindeki yüzeyler arasına bir yağlayıcı konularak sürtünmeyi azaltmak mümkün olabilir.

Çalışmakta olan herhangi bir makine veya motorun, verim ve ömrüne etki eden en önemli faktörlerden birisi yağlamadır. Makine ve motor parçaları ne kadar mükemmel işlenirse işlensin, parçaların moleköl yapılarına bağılı olarak yüzeyleri tamamıyla pürüzsüz olmaz.

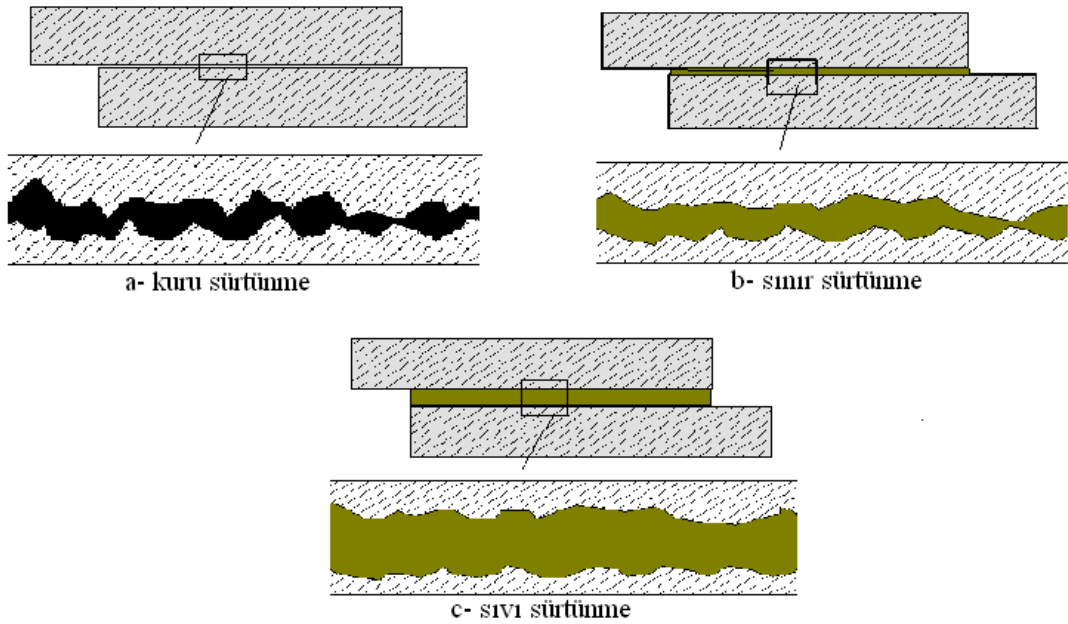
Hareketi kolaylaştırmak, daha fazla verim almak ve parçaların ömrünü uzatmak için parçaların birbirine doğrudan sürtünmelerini önlemek gerekir. İki katı cisim arasındaki sürtünmeyi azaltmak için uygun bir sıvı kullanılmasına yağlama işlemi denir. Hareket eden iki parça arasına bir yağ filmi veya yağ tabakası konulacak olursa, katı yüzeylerdeki pürüzler yağ tabakası ile doldurularak sürtünmesi önlenmiş olur. Sıvılar arasındaki sürtünme, katılara oranla çok daha azdır.

Triboloji, "bir izafi hareket içinde bulunarak birbirlerine etki eden yüzeylerin ve bunlarla ilgili olayların bilimi veya tekniğı" olarak tanımlanmaktadır. Yunanca sürtünme anlamına gelen "tribos" kelimesinden türetilen triboloji; sürtünme, aşınma ve yağlanmanın bilimsel incelenmesini ve tribolojik bilgilerin teknik uygulanmasını içermektedir.

4.2 SÜRTÜNMENİN TANIMI

Genel anlamda sürtünme, temas halindeki yüzeylerin ve birbiri üzerinde hareket eden ya da hareket ihtimaline karşı gösterilen direnç olarak tanımlanır. Birbiri ile temasta olan yüzeyler arasındaki sürtünme hareketi kayma, yuvarlanma veya bu iki hareketin bileşimi şeklindedir.

Bağıl hareket yapan yüzeyler arasında yağlayıcı madde konulup konulmamasına göre sürtünme kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üçe ayrılır. Birbirlerine göre bağıl hareketle olan yüzeyler doğrudan doğruya temasta iseler kuru, yüzeyler bir yağlayıcı tarafından ayrılıyorsa sıvı, yağlayıcı yüzeyleri birbirinden tam olarak ayırmıyorsa sınır sürtünme meydana gelir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Sürtünme çeşitleri

Teknolojinin her sahasında malzemelerin sürtünme özelliklerinden ve sürtünme kuvvetinden faydalanılarak çeşitli tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Örneğin kavramalarda olduğu gibi bir güç nakli, frenlerde olduğu gibi hareket halinde bulunan bir makinenin kinetik enerjisinin alınarak durdurulması, yani bir gücün yutulması veya sevk ve hareket silindirlerinde olduğu gibi bir hareketin iletilmesi gibi çok çeşitli hareketler olabilir.

Yapılan araştırmalar üretilen enerjinin faydalı ise dönüşmesi esnasında enerjinin büyük bir kısmının sürtünme kayıplarını yenmek için harcadığını göstermektedir.

Bununla beraber günlük yaşantımızda sürtünme olmazsa, birçok işin gerçekleştirilemeyeceği de bir gerçektir. Örneğin, yürüme olayından taşıtın hareket ettirilmesine, elimizle kalemi tutmamızdan gözümüzü kırpmamıza kadar temas halindeki yüzeylerin sürtünmesi söz konusudur. Sürtünmesiz hayat mümkün olmadığına göre mühendislik biliminden, sürtünmeyi kontrol altına almak, gerektiğinde azaltmayı, gerektiğinde yeterince yüksek seviyeye çıkarabilmeyi başarmak beklenmektedir.

4.2.1 Kuru Sürtünme

Pratikte sürtünme denilince akla gelen bu sürtünmedir ve aşınma, enerji kaybı ve sıcaklık yükselmesi gibi olaylar bunun sonucunda oluşur. Buna göre teknikte sürtünme hem istenilen hem de istenilmeyen olaylar olarak ortaya çıkar. Fren, kavrama, sürtünmeli çarklar gibi makine elemanlarında sürtünme istenilen bir olaydır. Bu gibi yerlerde sürtünme artırılır. Bunların dışında, bütün izafi hareket yapan yüzeylerde istenilmeyen bir olay olarak ortaya çıkan sürtünmenin azaltılması gerekir.

4.2.2 Sınır Sürtünme

Bhushan and Gupta'ya (1991) göre yüzeyler arasında bulunan herhangi bir yağlayıcı maddeye rağmen sıvı sürtünmesi hali oluşturulmadığı takdirde, sınır sürtünmesi hali ortaya çıkar. Pratikte en çok rastlanan bu sürtünme halinde sürtünme katsayısı genel olarak 0.03-0.1 arasında değişmektedir. Yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması halinde yağlayıcı maddenin molekülleri, adsorpsiyon olayının sonucu olarak madensel yüzeylere düzgün ve muntazam bir şekilde yapışırlar (Taşdelen 2007).

4.2.3 Sıvı Sürtünme

Bu sürtünmede yüzeyler arasında doğrudan bir sürtünme yoktur. Yüzeyler daima çok ince bir yağ filmi ile kaplıdır. Sıvı sürtünmede sürtünen parçaların girinti ve çıkıntıları yağlayıcı ile doldurulduğu için sürtünme parçalar yerine sıvı tabakaları arasında olur. Sıvı sürtünme yüzeylerin hareketine karşı gösterilen direnç kuru sürtünmeye göre çok azdır.

Sıvı sürtünmede meydana gelen yağ filmi kalınlığına; yağın viskozitesi, ortalama yüzey basıncı, kayma hızı, sürtünen yüzey ölçüleri gibi etkenler etki etmektedir. Sıvı sürtünme katsayısı en küçük değer olarak ($\mu=0,01$) olmalıdır (<http://www.teknikegitimli.com> 2009).

4.3 AŞINMANIN TANIMI

Birbiriyle temas halindeki iki cismin arasında meydana gelen bağıl hareket ile cisimlerin yüzeylerinin birbirini etkilemesi sonucu aşınma meydana gelir.

Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde mekanik etkenler ile istenilmediği halde kopan malzeme kaybıdır. Bu şekilde, yüzeylerin ilk şekilleri bozulur, parçalar arasındaki boşluklar büyür ve amaçlanan fonksiyon normal şekilde yerine getirilemez (Demiral ve Yaşar 2006).

Sürtünerek çalışan bütün makine elemanlarında kaçınılmaz olan ve kompleks bir sistem özelliği gösteren aşınma, sanayide bir çok tribolojik sistemlerde görülen korozyonun ve yorulmanın yanı sıra üçüncü büyük problemdir. Bu nedenden dolayı günümüz teknik sistemlerindeki araştırmalar sürtünmeyi ve aşınmayı azaltma ve kontrol etme çalışmaları şeklinde yoğunlaşmıştır. Sürtünmenin ve aşınmanın azaltılmasıyla malzeme kaybı önlenerek boyut hassasiyeti sağlanırken enerji israfı da önlenmiş olur.

Çeşitli makine elemanlarının, mühendislik malzemelerinin kullanma ömürlerine büyük oranda etki eden aşınma verilememekle ve birbiri ile sürtünerek çalışan

makine elemanlarının temas yüzeyleri zamanla aşınarak değişikliğe uğramaktadır (Grosh. J. 1973).

Yukarıdaki anlatıldığı gibi aşınma hakkında tam açıklayıcı bir tanım yapmak zor olmasına rağmen kabul edilen bir kaç tanım ise şunlardır; Rölatif hareket ve yüzey basıncı altında kalan iki cismin teması sonucu oluşan mekanik enerjinin tesiri ile malzeme yüzeyinden parçacıkların kopması sonucu meydana gelen malzeme yıpranmasıdır. Mekanik etkenler ile cisimlerin yüzeyinde zamanla oluşan malzeme kaybıdır (Demiral ve Yaşar 2006). Kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişikliklerdir (Taşdelen 2007).

Aşınmayı etkileyen faktörler; malzemenin kristal yapısı, malzemenin sertliği, elastisite modülü, deformasyon davranışı, yüzey pürüzlülüğü, malzemenin boyutu, sıcaklık, nem, atmosfer, basınç, hız, kayma yolu vb. sıralanabilir.

4.4 YAĞLAYICILIĞIN TANIMI

Yağlayıcılık; hareketli parçaların temas yüzeyleri arasındaki aşınmayı azaltmak yada katı yüzeyler arasındaki sürtünmeyi azaltma kabiliyeti olarak açıklanmaktadır. Motor teknolojisinde ise yağlamanın tanımı “sürtünmeden kaynaklanan motor aşınmasını azaltma kapasitesi” olarak ifade edilmektedir (Anonymous., 1998).

Bütün dizel yakıt enjeksiyon teçhizatı, bir bakıma dizel yakıtın yağlayıcılığına bağımlıdır. Dizel yakıt enjeksiyon pompaları ve enjektörler gibi bazı motor bileşenlerinin, aşırı sürtünmeden dolayı aşınması sonucu ömürlerindeki kısalmanın sebebi olarak, bazen yakıtın yeterli yağlayıcılıkta olmadığı gösterilir.

BÖLÜM 5

YAKIT YAĞLAYICILIK ÖZELLİĞİNİ ÖLÇME METODLARI

5.1 YAĞLAYICILIĞI ÖLÇMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Dizel yakıtların yağlama kabiliyetlerinin değerlendirmesinde üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Taşıt testi
2. Yakıt enjeksiyon malzeme (enjektör) tezgah testi
3. Laboratuvar testi
 - a) HFRR
 - b) SLBOCLE
 - c) SRV
 - d) BOTD
 - e) MROCLE

Bu testler arasında en verimli çalışılan, en az süre gerektiren, en güvenilir sonuçları veren ve maliyeti diğerlerine oranla oldukça düşük olan test yöntemi laboratuvar testidir. Laboratuvar testi sayılan bunca avantajından ötürü en çok kullanılan test yöntemidir.

5.1.1 Taşıt Testi

Dizel yakıtların yağlayıcılıklarını ölçmede kullanılan bu yöntemde test taşıtın yol şartlarında 500-1000 saat gibi uzun bir sürede çalıştırılması gerekmektedir. Sonuçları elde etmek ve değerlendirmek için ise gerekli süre iki yıl kadardır. Schumacher (2005), araç testi için iki yıl gibi bir sürenin bile yeterli olamayacağını ifade etmektedir.

5.1.2 Yakıt Enjeksiyon Malzemesi (enjektör) Tezgah Testi

Yakıt enjeksiyon malzemesi (enjektör) test tezgah testinde araç testinde olduğu gibi işlemleri dikkatle izlemek için gerekli süre 500-1000 saat kadardır. Bu yöntemde araç testine nazaran sonuçlara daha kısa sürede (1-3 ay) ulaşılabilir (Chevron U.S.A. Inc. 1998).

5.1.3 Laboratuvar Testi

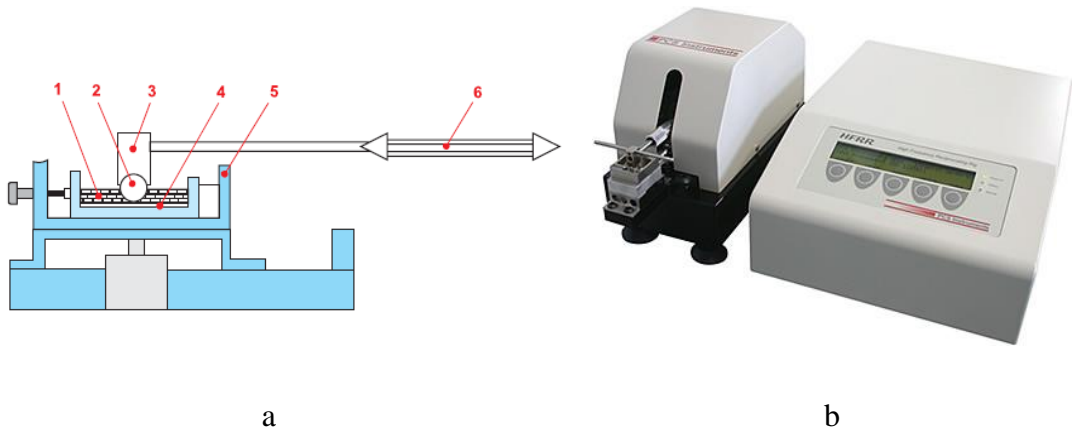
Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen en sağlıklı sonuçları veren bu test yönteminde ise gereken zaman bir haftadan daha azdır. Dizel yakıtların yağlayıcılıklarına getirilen sınırlama daha önceleri dizel yakıt yağları için kullanılan ASTM D 975 (standard specifications for diesel fuel oils) standardı ile belirlenirken, Wielligh et al. (2002), dizel yakıtın yağlayıcılığının yeni bir standartla belirlenmesi gerekliliğini belirtmişlerdir. Araştırmacıların birçok veriyi daha hızlı, çok daha düşük maliyetli ve temiz çalışma koşullarında daha az emek harcayarak elde etmelerine imkan veren laboratuvar test yöntemi, M-ROCLE (Munson Roller On Cylinder Lubricity Evaluator), SLBOCLE (Scuffing Load Ball On Cylinder Lubricity Evaluator), HFRR (High Frequency Reciprocating Rig), SRV (Optimal Reciprocating Rig) ve BOTD (Ball-on-Three Disks) gibi birçok yöntemle dizel yakıtların yağlayıcılığını ölçme imkanı sağlamaktadır.

Munson and Hetz (1999), standartların arasından hangisinin en iyi olduğunu seçen petrol sanayisinin farklı fikirler belirttiğini ifade etmişlerdir. Avrupa'da bazı motor imalatçıları kendilerince en iyi yakıtın yağlayıcılık kapasitesini belirleyen test yöntemini seçmişlerdir. Örneğin Cummins motor şirketi (ASTM D 6078) SLBOCLE test yöntemini 3100g değerinin yağlayıcılık için uygun bir değer olduğuna, 2800g'ın da kabul edilebilir olduğunu açıklamışlardır. (ASTM D 6079) HFRR test yöntemi için ise değerler aşınma izi çapının 25°C'de 380µm veya 60°C'de 450µm'dan az olmasının yeterli derecede yağlayıcılık özelliğini gösterdiğini kabul etmişlerdir (Schumacher 2005). Daha sonraları HFRR test yöntemi dünyanın her yerinde tercih edilen test yöntemi olarak kabul edilmiştir (Wielligh et al. 2002).

5.2 LABORATUAR TEST YÖNTEMLERİ

5.2.1 HFRR Yöntemi

Bu yöntem, yağlayıcılık özelliğini geliştirici katkı maddelerini ihtiva edenler dahil, dizel yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin değerlendirilmesi için; yüksek frekanslı ileri-geri hareket düzeneğinin kullanıldığı bir deney metodudur. Bir akışkanın, bu akışkan içine daldırılmış sabit bir levha üzerinde, iyi kontrol edilebilen şartlarda periyodik olarak gidip gelen bir bilye yüzeyinde, aşınmadan dolayı ortaya çıkan izlerin ölçülerek yağlayıcılık özelliğinin tayin edildiği bir sistemdir. Test edilecek akışkan numunesi, belirlenen deney sıcaklığında sabit tutulan bir deney haznesine konulur. Çelik bir bilye, düşey konumdaki bir kavrama ağızına hareket etmeyecek şekilde yerleştirilir ve yük uygulanarak yatay konumda sabitlenmiş bir çelik levhaya bastırılır. Temas yüzeyi akışkanın içine tamamen daldırılmış durumda iken, deney bilyesi sabit frekansta (50Hz), sabit bir mesafe boyunca ileri-geri hareket (1mm) ettirilir. Bilye ve levhanın metalürjik özellikleri, sıcaklık, uygulanan yük, frekans ve hareket mesafesi belirlenir (Şekil 5.1). Deney bilyesi üzerinde meydana gelen aşınma izi çapı deney esnasındaki ortam şartları kullanılarak, bir seri standart şartlar için düzeltilir. Düzeltilmiş aşınma izi çapı, dizel yakıtın yağlayıcılık kabiliyeti için bir ölçüdür.

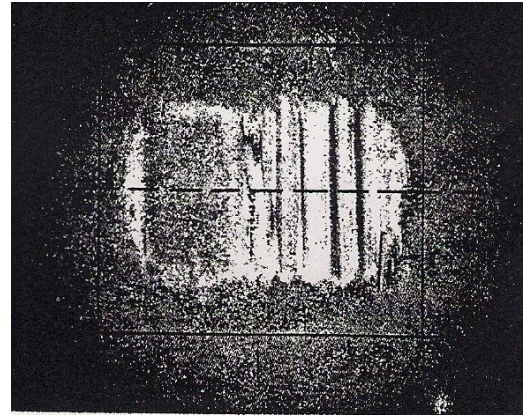
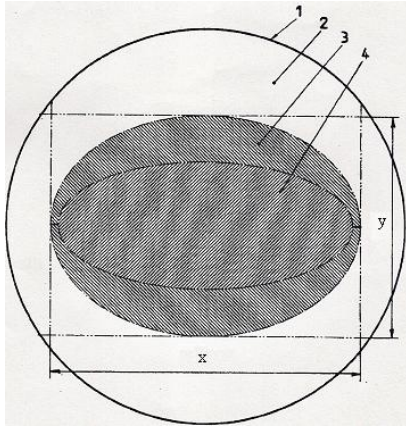


Şekil 5.1. HFRR test cihazının a) şematik (1. Yakıt banyosu, 2. Deney bilyesi, 3. Uygulanan yük, 4. Deney levhası, 5. Isıtma banyosu, 6. Gidiş geliş hareket yönü). b) genel görünümü (EN ISO 12156-1 2000).

HRFF test yönteminde ölçüm, bir pens kullanılarak, deney bilyesi kavrama ağzına yerleştirilir. Ortam sıcaklık ve nem değerleri ölçülür ve uygun değerlere getirilir. 2 mL dizel yakıt numunesi hazneye aktarılır. Bilyenin bağlı olduğu levhaya 200 g'lık bir kütle asılır. Deney sıcaklığı, gidiş geliş mesafesi, titreşim frekansı ayarları yapıldıktan sonra deney başlatılır. Deney yaklaşık 75 dakika kadar bir sürede sonuçlanır. İşlem bittikten sonra deney bilyesi tutucusundan çıkarılmadan mikroskop altında incelenir ve aşınma izi çapı ölçülür.

5.2.1.1 Aşınma İzinin Ölçülmesi

Deney bilyesi büyütme oranı 100'e ayarlanmış mikroskoba yerleştirilir. Mikroskop odaklanır ve deney bilyesi, aşınma izi görüş alanının merkezine gelecek şekilde hareket ettirilir. Aşınma izinin kenarları net bir şekilde görülünceye kadar, ışık ayarı yapılır. Aşınma izinin çapı, x ve y yönlerinde 1µm yakınlıkla ölçülür (Şekil 5.2). Okuma verileri kaydedilir. x ve y yönlerinde ölçülen aşınma izi çapları arasındaki fark, $-30\mu\text{m} \leq (x-y) \leq 100\mu\text{m}$ aralığının dışında ise, iz sınırlarının doğru tespit edilip edilmediği kontrol edilmelidir.



a) Deney bilyesinin şematik görünümü b) Deney bilyesinin gerçek görünümü

Şekil 5.2. Deney bilyesinin deneyden sonraki durumu (1.deney bilyesi (deneyden sonraki durumu), 2. Aşınmamış alan, 3. Daha az aşınmış alan, 4. Aşınmış alan) (EN ISO 12156-1 2000).

5.2.1.2 Hesaplamalar

Ortalama aşınma izi çapı (\bar{d}) eşitlik 5.1 ile hesaplanır.

$$\bar{d} = \frac{x + y}{2} \quad (5.1)$$

Burada;

x: izin gidiş geliş yönüne dik uzunluğunu, (μm) ve

y: izin gidiş geliş yönüne paralel uzunluğunu, (μm) ifade etmektedir.

Deney başlangıcındaki mutlak buhar basıncı (p_{abs1}) aşağıdaki eşitlikle ifade edilir;

$$p_{\text{abs1}} = \frac{\phi_1 \cdot 10^{\upsilon}}{750} \quad (5.2)$$

Burada, ϕ_1 yüzde olarak deney başlangıcındaki bağıl nemi temsil etmektedir.

$$\upsilon = 8.017352 - \frac{1705,984}{231,864 + T_1} \quad (5.3)$$

T_1 : deney başlangıcındaki hava sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$) dir.

Deney sonundaki mutlak buhar basıncı (p_{abs2}) ise Eşitlik (5.4) ile ifade edilmektedir.

$$p_{\text{abs2}} = \frac{\phi_2 \cdot 10^{\upsilon}}{750} \quad (5.4)$$

Burada ϕ_2 : yüzde olarak deneyin sonundaki bağıl nemi temsil etmektedir.

$$\upsilon = 8.017352 - \frac{1705,984}{231,864 + T_2} \quad (5.5)$$

T_2 : deney sonundaki hava sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$) dir

Deney esnasındaki ortalama mutlak buhar basıncı da (\bar{p}_{abs}) aşığıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{p}_{abs} = \frac{p_{abs1} + p_{abs2}}{2} \quad (5.6)$$

Düzeltilmiş aşınma izi çapı (d_e) da;

$$d_e = \bar{d} + NDF \cdot (1,4 - p_{abs}) \quad (5.7)$$

ile hesaplanmakta olup burada bilinmeyen dizel yakıt numuneleri için $NDF=60$ 'dır.

HFRR test yönteminde kullanılan deney parametreleri Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

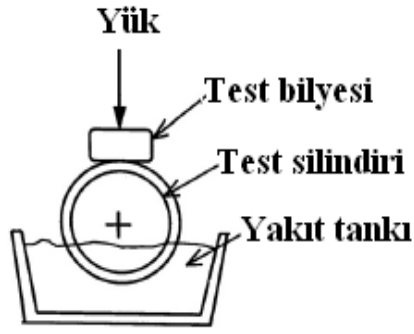
Çizelge 5.1. HFRR test prosedüründe bazı deney parametreleri (EN ISO 12156-1 2000).

Değişken	Değerler
Sıcaklık (°C)	60
Numune miktarı (mL)	2
Uygulanan yük (g)	200
Nem oranı (%)	>30
Test süresi (min)	75
Frekans (Hz)	50
Gidiş geliş mesafesi (mm)	1
Laboratuar havası	Şekil 6.1

1. Deney numunesinin 0,1m ile 0,5m yakınından ölçülen Laboratuar havası özellikleri, Şekil 6.1'de verilen kabul edilir aralıkta olmalıdır.
2. Uygulanan toplam yük'e sabitleme elemanlarının kütleleri de dahil olmalıdır.

5.2.2 SL-BOCLE Yöntemi

Dizel yakıtların yağlayıcılık kabiliyetlerini ölçmede kullanılan bu yöntemde; bir kısmı test edilecek olan yakıtta batırılan çelik döndürme halkasına bir çelik top aracılığıyla yük uygulanır (Şekil 5.3). Döndürülen silindirde bir sürtünme izi görülünceye kadar yük uygulanır



a) SL-BOCLE cihazının çalışma prensibi

b) SL-BOCLE cihazının genel görünümü

Şekil 5.3. SL-BOCLE cihazı (Anonymous, 2002).

Özellikle 12.7 mm çapındaki çelik top döndürülen silindire yerleştirilir. Her başarılı testten sonra top yeni bir tanesiyle değiştirilir ve özel bir sürtünme kuvveti aşılıncaya kadar daha yükseltılarak yük uygulanır. Belirlenen bu sürtünme kuvveti aşınmayı oluşturacak düzeyde olduğundan daha devam edilmez ve uygulanan yük gram cinsinden değerlendirilir. Eğer uygulanan yük 3100 g'dan az ise yakıtın yağlayıcılığının iyi olmadığına karar verilir. ASTM tarafından belirlenen bu değer yakıt pompası ve enjektörlere zarar vermeyecek yakıt yağlayıcılık kabiliyetini sağlamaktadır.

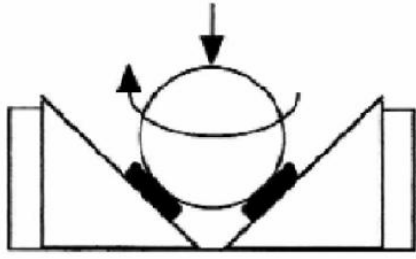
Test uygulaması için 50 mL yakıt örneği bir depoya yerleştirilir ve sıcaklığının 25°C olması sağlanır. 500 g'lık bir kütle silindire bastırarak olan çelik bilyeye bağlı olan kola yerleştirilir. Silindir kısmen yakıtın içine daldırılarak 525 1/min de döndürülür. İlk önce top ile silindir 60s kadar temasta tutulur ve sürtünme katsayısı hesaplanır. Test sonunda belirlenen sürtünme katsayısına gelindiğinde ne kadar yük uygulandığı değerlendirilir. Ne kadar çok yük uygulanırsa yakıtın yağlama kabiliyetinin o kadar iyi olduğu anlaşılır. Çizelge 5.2'de bazı deney parametreleri görülmektedir.

Çizelge 5.2. SL-BOCLE test yönteminde bazı deney parametreleri.

Değişken	Değerler
Sıcaklık (°C)	25
Numune miktarı (mL)	50
Uygulanan yük (g)	500-5000
Nem oranı (%)	50
Topun dönüş hızı (1/min)	525

5.2.3 BOTD Yöntemi

Dizel yakıtların yağlayıcılık kabiliyetlerini ölçmede kullanılan bu yöntemde; bir havuz oluşturacak şekilde 1/4 inch çapındaki üç disk bir tabana yerleştirilir. Oluşturulan bu havuza 35 mL yakıt numunesi dökülerek disklerin üzeri örtülür. ½ inch çapındaki seramik bir top üç disk ile oluşturulan havuza yerleştirilerek Şekil 5.6'da görüldüğü gibi üç noktaya da temas edecek şekilde bastırılır (<http://www.falexint.com>). Şekil 5.4'de BOTD cihazının çalışma prensibi ve genel görünümü görülmektedir.



Şekil 5.4. BOTD cihazının a) çalışma prensibi b) genel görünümü (www.falexint.com).



Şekil 5.5. BOTD testinde kullanılan malzemeler (Test yakıtı, Seramik top, Üç tane deney disk, Temizleyici sıvı (etanol, beyaz ispirto, aseton) ve diğer malzemeler) (www.falexint.com).

Topun kütlesi, 2,5kg (24,5N)'dur. Top, 45 dakika kadar bir sürede 60 1/min döndürülür. Ortalama aşınma izi çapı ölçülerek değerlendirme yapılır. Uygulanışı ve değerlendirilişi HFRR test prosedüründeki değerlendirmeye çok benzer ve HFRR'de kabul gören 450µm üst sınır değeri burada da geçerlidir (Hughes et al. 2002).

Çizelge 5.3'de BOTD test yönteminde bazı deney parametreleri görülmektedir.

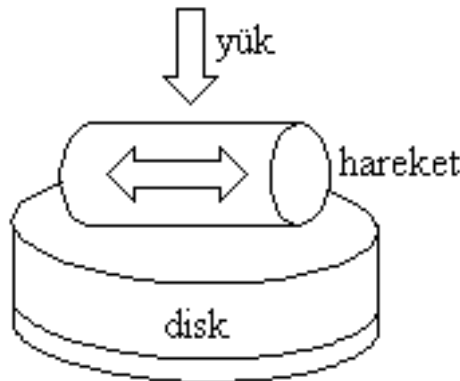
Çizelge 5.3. BOTD test prosedüründe bazı deney parametreleri.

Değişken	Değerler
Sıcaklık (°C)	24
Numune miktarı (mL)	35
Uygulanan yük (g)	2500
Nem oranı (%)	40
Test süresi (min)	45
Topun dönüş hızı (1/min)	60

5.2.4 SRV Yöntemi

Yakıtla yağlanmakta olan enjektörlerin 110°C gibi yüksek bir sıcaklıkta çalıştığı ve enjektör iğnesinin yukarı-aşağı hareket ettiği göz önünde bulundurularak SRV yakıt yağlama kapasitesi ölçme imal edilmiştir.

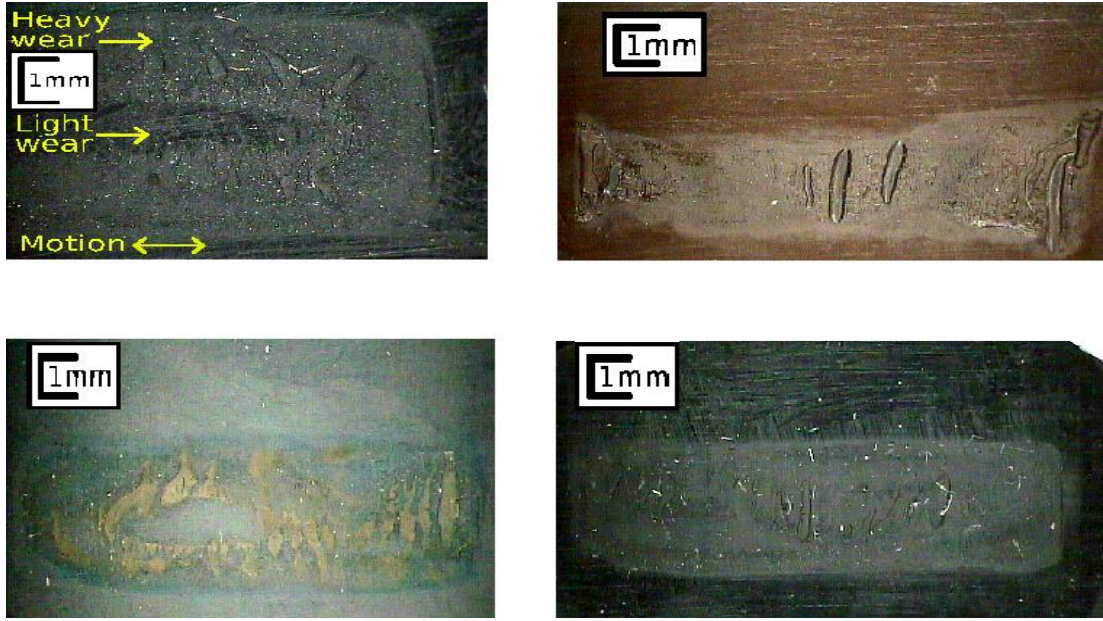
Bu makinenin, 25 mm çapında bir disk üzerinde kayıyor olan merkezi kaçık 15mm'lik bir çelik silindiri vardır. Silindirin yük artışı ayarlanabilir, frekansı ve sürtünme hareketin kurs boyu değiştirilebilir şekilde tasarlanmıştır (Şekil5.6).



Şekil 5.6. SRV cihazının çalışma prensibi (Mofidi et al.2008).

Diskte ve silindirde meydana gelen sürtünme sonuçlarının tork olarak değerleri ölçülür. Disk ve silindirin temas kuran yüzeylerine dizel yakıtı damlatarak yağlayıcılık ölçülür. Bu tork değerinden sürtünme katsayısı, bir bilgisayar ile hesaplanır.

Şekil 5.7'd SRV cihazında 26°C ve 30 min süre ile aşındırılmış silindir örnekleri ve Çizelge 5.4'de SRV test prosedüründe bazı deney parametreleri görülmektedir.



Şekil 5.7. SRV cihazında aşındırılmış silindir örnekleri (Mofidi et al.2008).

Çizelge 5.4. SRV test yönteminde bazı deney parametreleri.

Silindir özellikleri	Silindir uzunluğu (mm)	22
	Silindir çapı (mm)	10-15
Disk özellikleri	Disk kalınlığı (mm)	6
	Disk çapı (mm)	25
Test işlemleri	Uygulanan yük (N)	200
	Kurs uzunluğu (mm)	2,5
	Ortalama temas basıncı (MPa)	≈1.8
	Sıcaklık (°C)	26-110
	Test süresi (min)	30
	Ortalama sürtünme hızı (m/s)	0,20
	Salınım frekansı (Hz)	40

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada; düşük sülfür içerikli dizel yakıtın yağlayıcılık özelliğini geliştirmek ve dizel yakıt ile yağlanan yakıt sistemi elemanları üzerinde meydana gelebilecek muhtemel yağlama problemlerini ortadan kaldırmak amacıyla biyodizel ilave edilmesi öngörülmüştür. Bu amaçla, dizel yakıtta %4, %20 ve %50 oranlarında karpuz çekirdeği, kavun çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterleri ilave edilerek yağlayıcılık özelliklerinin belirlenmesi ve dizel yakıt ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Ayrıca, yağlayıcılık özellikleri ölçülen tüm yakıtların kinematik viskoziteleri ve farklı sıcaklıklardaki yoğunlukları da belirlenmiştir.

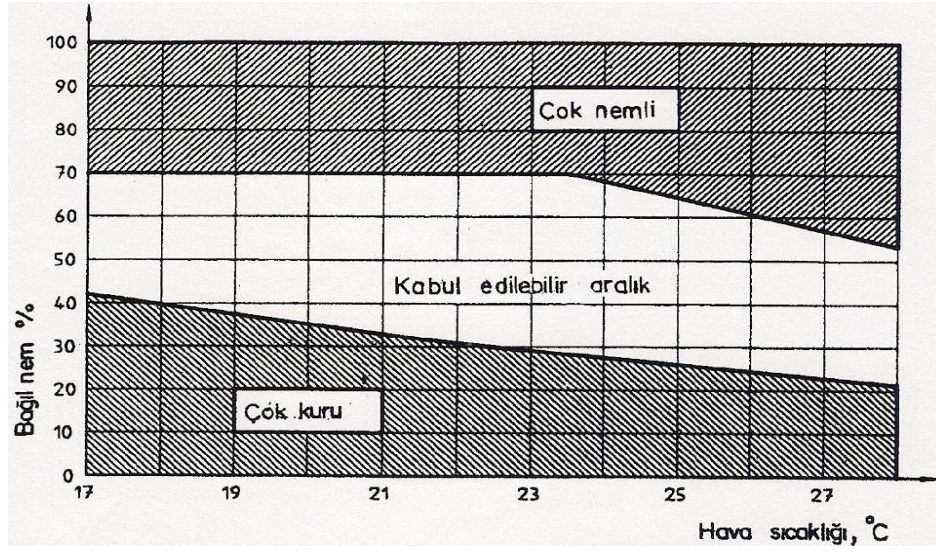
6.2 HFRR DENEYLERİ

Bu çalışmada, dizel yakıtına %4, %20 ve %50 oranlarında biyodizel ilave edilerek Tübitak Marmara Araştırma Merkezinde (MAM), HFRR test yöntemi ile yağlayıcılık özellikleri belirlenmiştir. Yağlayıcılık özellikleri dizel yakıtın yağlayıcılık özelliği ile karşılaştırılmıştır. HFRR test metodunda aşındırılmış bilyeler, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde optik mikroskop yardımıyla görüntülenmiş ve incelenmiştir. Ayrıca malzemesi dökme demir olan numuneler Pin-On-Disk tipi standart aşınma deney aparatında yağlayıcı olarak biyodizellerin dizel yakıtı ile %50 konsantrasyonları kullanılarak aşınma miktarları değerlendirilmiştir. Yoğunluk ve viskozite ölçümleri Karabük Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

6.2.1 Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Cihazlar

6.2.1.1 Sıkıştırılmış Hava

Düzenegi kurutmak için kullanılan hava 140–210 kPa arasında bir basınca sahip ve hidrokarbon muhtevası 0,1 mL/m³ ve su muhtevası 50 mL/m³'den az olmalıdır. Sıcaklık ve neme göre kabul edilebilir hava aralığı Şekil 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.1. Laboratuvar hava şartları (EN ISO 12156-1 2000).

6.2.1.2 Toluen

Deneyde ISO 5272'ye uygun toluen kullanılmıştır.

6.2.1.3 Aseton

Deneyde ASTM D-329'a uygun aseton kullanılmıştır.

6.2.1.4 Deney Levhası

Tavlanmış kütükten elde edilmiş AISI E-52100 çeliği, "HV 30" skalasına göre Vickers sertliği 190 ile 210 (ISO 6507-1'e göre) olan, levha yüzey pürüzlülüğü Ra<002µm olacak şekilde parlatılmış olmalıdır.

6.2.1.5 Deney Bilyesi

6 mm çapında, ANSI B3.12’de verilen 28 AISI E-52100 kalite eliği, ‘‘C’’ skalasına göre Rockwell sertliği (HRC) 58-66 arasında (ISO 6508’e göre) olan bilye kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, $Ra < 0,05 \mu m$ olacak şekilde parlatılmış olmalıdır.

6.2.1.6 Mikroskop

Büyütme oranı 100 olan ve $1 \mu m$ ’lik uzunluğu ölçebilen bir optik mikroskop kullanılmıştır. Deneyde kullanılan HFRR cihazına bağlı optik mikroskop şekil 6.2’de görülmektedir.



şekil 6.2. HFRR cihazına bağlı optik mikroskobun görünümü.

6.2.1.7 Desikatör

İçinde nem çekici maddesi bulunan ve deney levhalarını, deney bilyelerini ve diğer ilgili donanımı muhafaza etmek için kullanılmıştır.

6.2.1.8 Temizleme Banyosu

Ultrasonik tipte, temizleme gücü 40W veya daha fazla, yeterli kapasitede ve dikişsiz paslanmaz çelikten üretilmiş bir banyo kullanılmıştır.

6.2.2 Deney Düzenegi ve Hazirlanmasi

Deney düzenegi Çizelge 5.1’de verilen şartlarda, çelik levha ve bilyenin temas eden yüzeyi tamamen akışkan içinde iken, deney bilyesi üzerine çelik levhaya bastırarak şekilde bir yük uygulanıp, bilye sabit frekansta ve sabit bir mesafe boyunca ileri geri hareket ettirildiğinde, bilyeyi dönmeyecek şekilde sabit tutabilecek özelliktedir.

Belirli sayıda bilye ve levha (parlak kısımları üste gelecek şekilde), temiz bir pens ile tutularak geniş boyunlu, temiz bir kavanoza konulur ve üzerleri kaplanıncaya kadar kavanoza toluen doldurulur. Bu durumda en az 12 saat beklenir, daha sonra kavanoz ve içindekiler, ultrasonik temizleme banyosu içinde 10 dakika bekletilir. Levhalar (parlak kısımları üste gelecek şekilde) ve bilyeler, içinde kullanılmamış toluen bulunan başka bir kavanoza alınır.

Numune tutma cihazları, vidalar ve tüm donanım ve deney akışkanı ile temas edecek diğer bütün cihazlar, levha ve bilye ile birlikte temiz cam bir behere konulur ve üzeri toluen ile kaplanıncaya kadar behere toluen eklenir. Beher ultrasonik temizleme banyosu içinde 10 dakika bekletilir daha sonra temiz bir pens kullanılarak donanım ve deney numuneleri, içinde aseton bulunan başka bir behere alınır. Beher ultrasonik temizleme banyosu içinde 2 dakika bekletilir. Parçalar beherden çıkartılır ve eğer hemen kullanılmıyacaksa desikatör içinde bekletilir.

6.2.3 Deneyin Yapılışı

Temizlenmiş olan deney bilyesi, levha, hazne ve sabitleyici elemanlar, kirlenmeden ve üzerinde herhangi bir çizik meydana getirilmeden temiz bir pensle alınır. Önce deney levhası parlak yüzeyi üste gelecek şekilde, numune banyosuna hareket ettirmeyecek şekilde yerleştirilir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Deney levhasının numune banyosuna yerleştirilmesi.

Pens kullanılarak deney bilyesi kavrama ağzına yerleştirilir ve kavrama ağzı vibratör kolunun ucuna bağlanır. Düzenek tam olarak kurulmadan önce kavrama ağzının yatay konumda olduğundan emin olunmalıdır. Numune banyosunun 0,1-0,5m yakınındaki ortalama sıcaklık ve bağıl nem ölçülür ve uygun şartlar sağlandıktan sonra not edilir. Bir kullanımlık bir pipet kullanılarak, 2mL deney akışkanı banyoya aktarılır. Vibratör kolu aşağıya indirilir ve kola 200g'lık bir kütle asılır (Şekil 6.4).



a) Vibratör koluna ve numune banyosu



b) Vibratör koluna ağırlık asılmış hali

Şekil 6.4 HFRR cihazının çalışmaya hazır hali.

Isıtıcı deney sıcaklığına ayarlanır. Gidiş geliş mesafesi ayarlanır. Titreşim frekansı ayarlanır ve deney başlatılır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. HFRR cihazı bilgi ve kontrol-kayıt ekranı.

Sistem 75 dakika çalıştırılır ve deney tamamladıktan sonra kavrama ağzı yerinden dikkatlice çıkartılır. Deney bilyesi yerinden çıkarılmadan önce birkaç kez önce toluen sonra asetonla yıkanır. Ultrasonik temizleme banyosu içinde 30s önce toluenle sonra asetonla bekletilir. Kavrama ağzı ve bilye havada kurutmaya bırakılır ve aşınma izi silinmeyen bir kalemle daire içine alınır. Mikroskopta ölçüm yapıldıktan sonra bilye yerinden çıkartılır ve tekrar deney levhası ile birlikte muhafaza edilir.

6.2.3.1 Aşınma İzinin Ölçülmesi

Deney bilyesi büyütme oranı 100'e ayarlanmış mikroskoba yerleştirilir. Mikroskop odaklanır ve deney bilyesi, aşınma izi görüş alanının merkezine gelecek şekilde hareket ettirilir. Aşınma izinin kenarları net bir şekilde görülünceye kadar, ışık ayarı yapılır.

Aşınma izinin çapı, x ve y yönlerinde 1µm yakınlıkla ölçülür. Okuma verileri kaydedilir. Ölçülen aşınma izi çapları arasındaki fark (x-y); $-30\mu\text{m} \leq (x-y) \leq 100\mu\text{m}$ aralığının sınırlarının dışında ise, iz sınırlarının doğru tespit edilip edilmediği kontrol edilmelidir.

6.2.3.2 Örnek Hesaplamalar

Düzeltilmiş Ortalama Aşınma İzi Çapı (\bar{d}_e)

x: 407 μm ; y: 281 μm için;

$$\bar{d}_e = \frac{x + y}{2} = \frac{407 + 281}{2} \quad \bar{d}_e = 344 \quad \mu\text{m}$$

Deney Başlangıcındaki Mutlak Buhar Basıncı (p_{abs1})

$$p_{\text{abs1}} = \frac{\phi_1 \cdot 10^{\nu}}{750} = \frac{33 \cdot 10^{1,2707}}{750} \rightarrow \underline{p_{\text{abs1}} = 0,82 \text{ kPa}}$$

$\phi_1 = \%32$; $T_1 = 21^\circ\text{C}$ için;

$$\nu = 8.017352 - \frac{1705,984}{231,864 + T_1} = 8.017352 - \frac{1705,984}{231,864 + 21} \rightarrow \underline{\nu = 1,2707}$$

Deney Sonundaki Mutlak Buhar Basıncı (p_{abs2})

$\phi_1 = \%19$; $T_1 = 57^\circ\text{C}$ için;

$$p_{\text{abs2}} = \frac{\phi_2 \cdot 10^{\nu}}{750} = \frac{19 \cdot 10^{2,1115}}{750} \rightarrow \underline{p_{\text{abs2}} = 3,27 \text{ kPa ve}}$$

$$\nu = 8.017352 - \frac{1705,984}{231,864 + T_2} = 8.017352 - \frac{1705,984}{231,864 + 57} \rightarrow \underline{\nu = 2,1115}$$

Ortalama Mutlak Buhar Basıncı (\bar{p}_{abs})

Deney esnasındaki ortalama mutlak buhar basıncı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

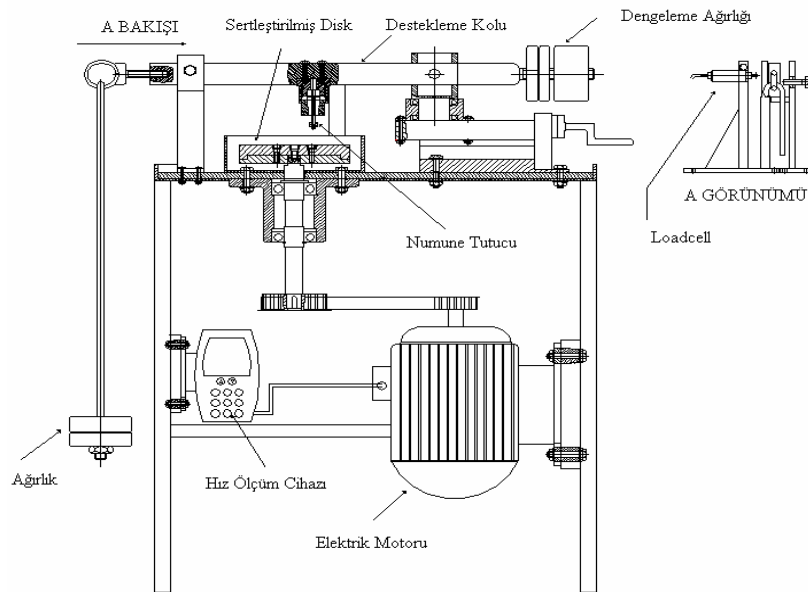
$$\bar{p}_{abs} = \frac{P_{abs1} + P_{abs2}}{2} = \frac{0,82 + 3,27}{2} \rightarrow \bar{p}_{abs} = 2,045 \text{ kPa}$$

Düzeltilmiş Aşınma İzi Çapı (d_e)

$$d_e = \bar{d}_e + NDF \cdot (1,4 - p_{abs}) = 344 + 60 \cdot (1,4 - 2,045) \rightarrow \underline{d_e = 305 \mu m}$$

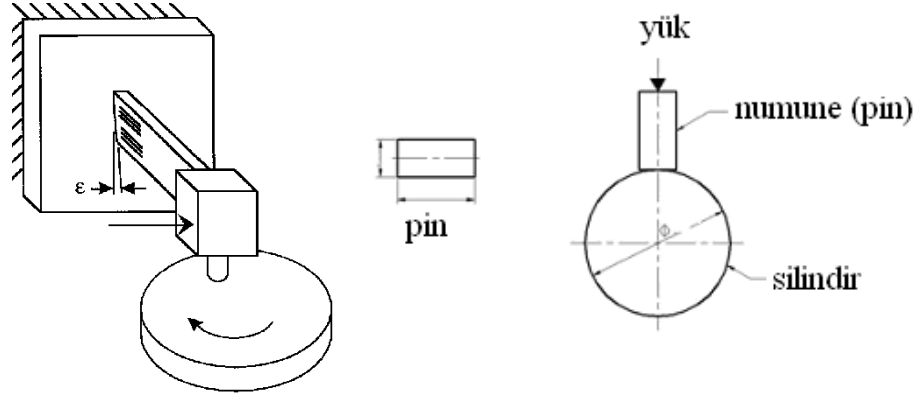
6.3 PİN-ON-DİSK AŞINMA DENEYİ

Aşınma deneyleri, standart pin-on-disk tipi deney cihazında, çapları 10mm olan dökme demir malzemeden hazırlanmış numuneler 3150 g yük altında %50 karpuz çekirdeği, kavun çekirdeği, soya yağı ve keten tohumu yağı metil esterlerinin dizel yakıt ile oluşturduğu konsantrasyonlar içinde 3000 m kaydırılarak yapılmıştır. Aşınma ve sürtünme deneyleri için üretilmiş Pin-On-Disk tipi standart deney cihazının şematik görünümü Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Aşınma test cihazının şematik görünümü (Demiral ve Yaşar 2006).

Pin-on-disk tipi deney cihazında bir elektrik motoru tarafından düşey dönel hareketi sağlanmış sertleştirilmiş disk üzerinde numune tutma mekanizmasına bağlanmış numuneye yük uygulanarak numunenin aşındırılması sağlanmaktadır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7. Aşınma test cihazının çalışma prensibi (İpek ve Erdoğan 2006).

Deney başlamadan önce numune yüzeyleri 1200 μ 'luk SiC zımpara kağıdı ile zımparalanmıştır. Daha sonra numuneler 0,1mg hassasiyetindeki terazide tartılmıştır. Bu işlemden sonra pense takılan numune teste hazır hale getirilmiştir. Taşıyıcı kol üzerindeki denge ağırlığı ile pime gelen yük sıfırlandıktan sonra kolun diğer ucundaki taşıyıcı kola ağırlığın asılması ile istenilen kuvvet uygulanmıştır

6.4 YOĞUNLUK VE VİSKOZİTE ÖLÇÜMÜ

Yağlayıcılık özelliği ölçülmüş tüm yakıtların yoğunlukları farklı sıcaklıkta ölçülmüş ve kıyaslanmıştır (Şekil 6.8).



a. Deney yakıtı, termometre ve densitometre



b. Yoğunluk ölçümü

Şekil 6.8. Yoğunluk ölçümü.

Yağlayıcılık özelliği ölçülmüş tüm yakıtların oda sıcaklığında ve 40°C'de viskoziteleri Şekil 6.9'de görülen Viskozimetre cihazı ile ölçülmüş ve belirlenmiştir.



Şekil 6.9. Viskozimetre ve düşük viskozite ölçme ünitesi.

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Biyodizel, saf veya dizel yakıtı ile herhangi bir oranda karıştırılarak kullanılabilir. Knothe and Steidley (2005)'ya göre, oldukça düşük oranlarda biyodizel eklenmesi bile dizel yakıtların yağlayıcılık özelliklerini arttırmaktadır. Motorun birçok parçası motor yağı ile yağlanırken enjeksiyon sistemi sadece yakıt ile yağlandığından yağlayıcılık özelliği Motor İmalatçıları Birliği (EMA) tarafından belirlenen sınırlar içinde olmalıdır.

Yağlama özelliğini iyileştirmesinden dolayı dizel yakıtına %2 biyodizel ilavesi tavsiye edilmektedir (Gerpen et al. 2007). Bu çalışmada, öncelikle dizel yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler araştırılmış ve %4, %20 ve %50 oranlarında karpuz çekirdeği, kavun çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterlerinin oluşturduğu karışımların yağlayıcılık özellikleri belirlenmiştir. Yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin belirlenmesinde HFRR metodu kullanılmıştır. Ayrıca Pin-On-Disk tipi standart aşınma deney düzeneğinde yağlayıcı olarak biyodizellerin dizel yakıtı ile %50 karışımları kullanılmış, aşınma miktarları ve aşınan yüzeyler incelenmiştir.

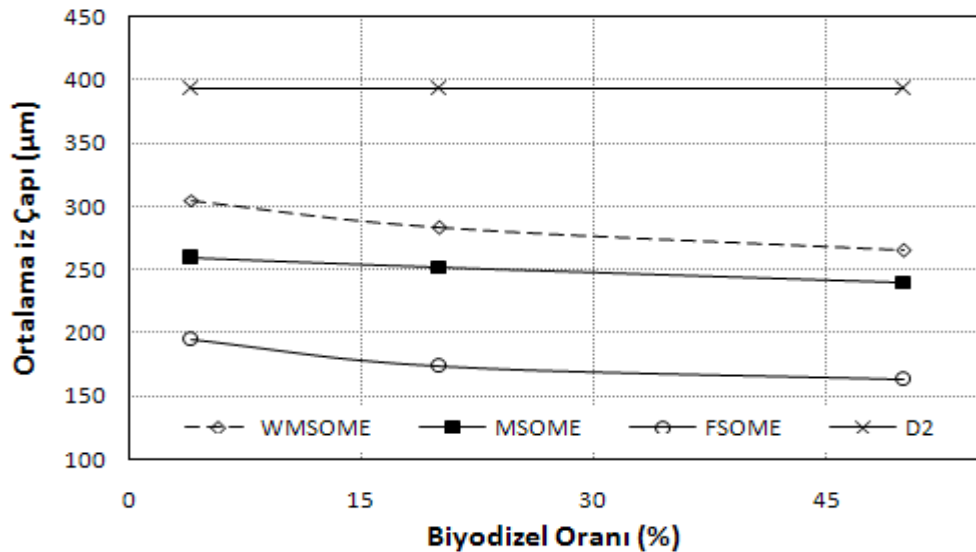
Yağlayıcılık özelliğinin belirlenmesi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; taşıt testi, yakıt enjeksiyon malzeme tezgah testi ve laboratuvar testleridir. İlk iki yöntem çok uzun çalışma süresi gerektirdiğinden ve laboratuvar testlerinin daha güvenilir olmasından ötürü yaygın olarak SLBOCLE, ve HFRR (Yüksek Frekanslı İleri-Geri Hareket Düzeneği) yöntemleri kullanılmaktadır. Bunların haricinde M-ROCLE, SRV ve BOTD yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında motor imalatçıları tarafından HFRR yöntemi, yağlama açısından daha iyi bir gösterge olması nedeniyle daha çok tercih edilmektedir.

Çizelge ve grafiklerde “D2” dizel no.2 yakıtını, “FSOME” keten tohumu yağı metil esterini (flax seed oil methyl ester), “WMSOME” karpuz çekirdeği yağı metil esterini (watermelon seed methyl ester) ve “MSOME” kavun çekirdeği yağı metil esterini (melon seed methyl ester) ifade etmektedir. Ayrıca, kısaltmalarda XX rakamı biyodizelin karışım içerisindeki % miktarını ifade etmektedir. Örneğin 50WMSOME hacimsel olarak %50 biyodizel, %50 dizel yakıtından oluşan bir karışım demektir. Marmara Araştırma Merkezinde HFRR test metoduyla yapılmış yakıt örneklerinin yağlayıcılık özelliği ölçme sonuçları Çizelge 7.1’de görülmektedir.

Çizelge 7.1. HFRR test metoduyla yakıtların yağlayıcılık ölçüm sonuçları.

Biyodizel oranı	WMSOME	MSOME	FSOME	Dizel no.2
%4	305 μm	259 μm	194 μm	--
%20	283 μm	252 μm	173 μm	--
%50	265 μm	240 μm	163 μm	--
%0	--	--	--	393 μm

Yağlayıcılık özelliğinin en iyi olduğu yakıtın, keten tohumu yağı metil esterinin %50 oranında dizel yakıtı ile karışımından elde edilen 50FSOME olduğu görülmüştür. Sonrasında sırasıyla; 20FSOME, 4FSOME, 50MSOME, 20MSOME, 4MSOME, 50WMSOME, 20WMSOME, 4WMSOME ve 100D2 yakıtının yağlayıcılık değerleri elde edilmiştir (Şekil 7.1). Genel olarak %50 biyodizel-dizel yakıt karışımlarında en iyi yağlayıcılık değerleri elde edilmiş, dizel yakıtın yağlayıcılık değerine oranla biyodizel ilavesiyle %45 iyileşme olduğu gözlenmiştir.

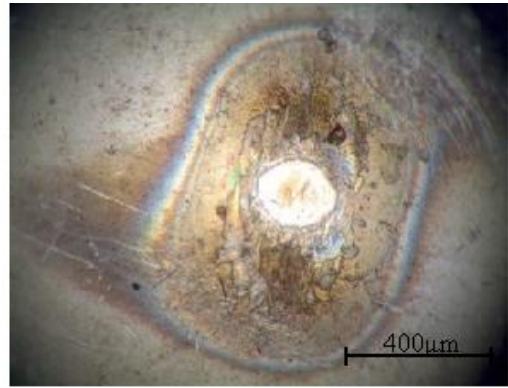


Şekil 7.1. Deney yakıtlarının HFRR cihazında ölçülmüş yağlayıcılık değerleri.

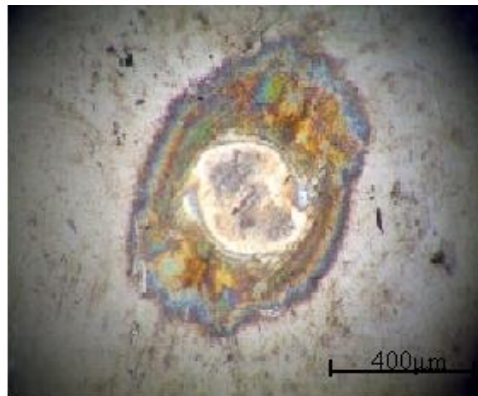
Araştırmalar biyodizelin dizel yakıtında etkileyici bir yağlayıcılık katkı maddesi olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, yağlayıcılık özelliği bitkisel yağların kimyasal yapısı ve viskoziteleriyle doğrudan ilişkilidir. Şekil 7.2. de ileri-geri aşınma deneylerine (HFRR) tabi tutulan bilyelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerden, meydana gelen izlerin sürtünme yönüne dik ekseninde daha uzun, paralel ekseninde ise daha kısa olduğu, sıcaklığın artmasıyla aşınma çevresinde renk değişimlerinin olduğu gözlenmiştir. Yağlamanın iyi olmadığı D2 yakıtında aşındırılmış bilyede daha geniş aşınma izi meydana gelirken (Şekil 2.a), 50F yakıtında aşındırılan bilye üzerinde daha küçük aşınma izinin olduğu gözlenmiştir (Şekil 2.b). Şekil 7.2. c ve d’de ise dizel yakıtına eşit miktarlarda eklenmiş iki farklı biyodizelin aşınma izleri arasındaki fark görülmektedir.



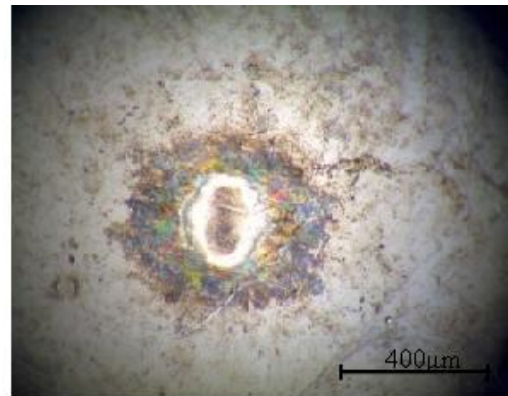
a) D2 yakıtı 393 µm



b) 50F yakıtı 163 µm



c) 4M yakıtı 259 µm



d) 4F yakıtı 194 µm

Şekil 7.2. HFRR cihazında aşındırılmış bazı bilye resimleri.

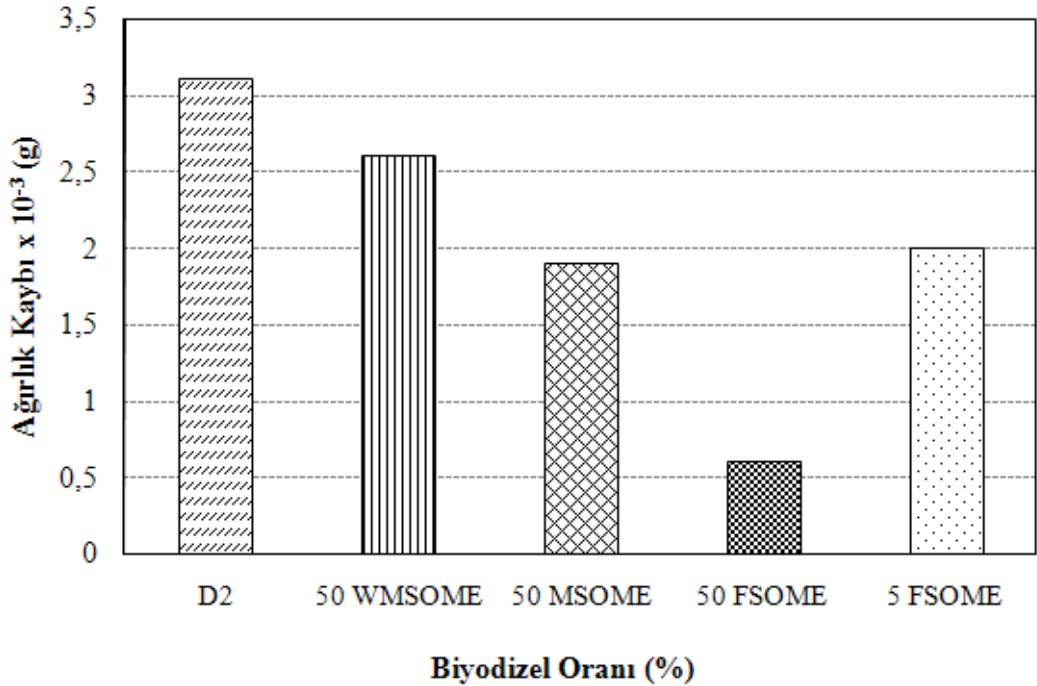
Pin-On-Disk tipi standart aşınma deney cihazında yapılan deneyde yağlayıcı olarak yağlama kabiliyeti en iyi olan, biyodizellerin dizel yakıtı ile %50 karışımları

kullanılmıştır. Ayrıca en iyi yağlayıcı değeri veren keten tohumu yağı metil esterinin dizel yakıt ile %5 karışımı kullanılmış, aşınma miktarları Çizelge 7.2 ve Şekil 7. 3'te ayrıca aşınan yüzeyler ise Şekil 7.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Pin-On-Disk aşınma deney cihazında aşındırılan numunelerin ağırlıkları ve tespit edilen ağırlık kayıpları.

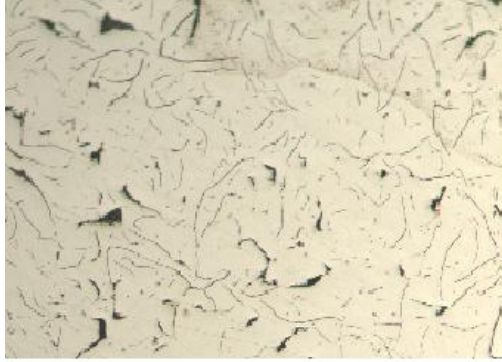
	D2	50WMSOME	50MSOME	50FSOME	5FSOME
Önceki ağırlık(g)	4,1550	3,9790	4,1003	4,1070	4,1516
Sonraki ağırlık(g)	4,1533	3,9764	4,0984	4,1064	4,1496
Ağırlık kaybı(g)	0,0031	0,0026	0,0019	0,0006	0,0020

Deneyleerde en fazla aşınma dizel yakıtı yağlayıcı olarak kullanıldığında meydana gelmiştir. Sonrasında aşınmanın sırasıyla 50WMSOME, 50MSOME, 5FSOME ve 50FSOME yakıtları kullanıldığında meydana geldiği görülmüştür. Yağlayıcılığı en iyi olan keten tohumu yağı metil esterinin %5'lik karışımının dahi diğer biyodizel yakıtlara oranla daha iyi yağlama özelliği göstermiştir. %50 FSOME karışımında önemli oranda aşınmada azalma meydana gelmiştir (Şekil 7.2).

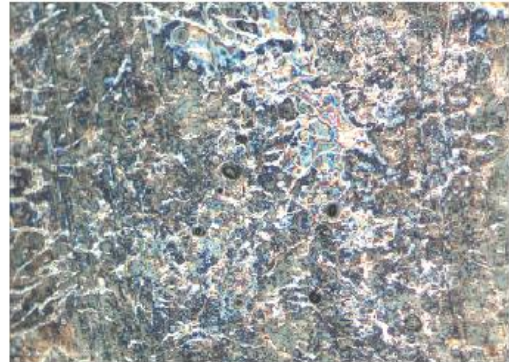


Şekil 7.3. Pin-On-Disk cihazında aşındırılan numunelerin ağırlık kayıpları.

Şekil 7.4’de pin-on-disk aşınma test cihazında aşındırılmış numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi genel olarak aşınma, iz oluşumu şeklinde meydana gelmiştir.



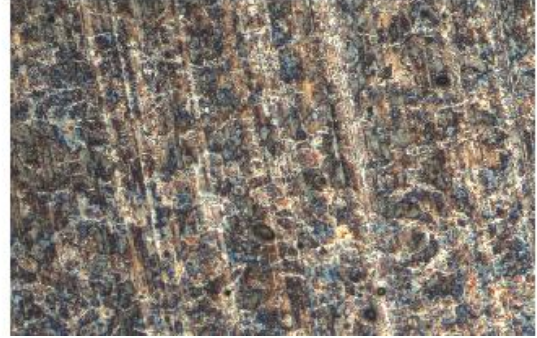
a) Aşındırılmamış numune



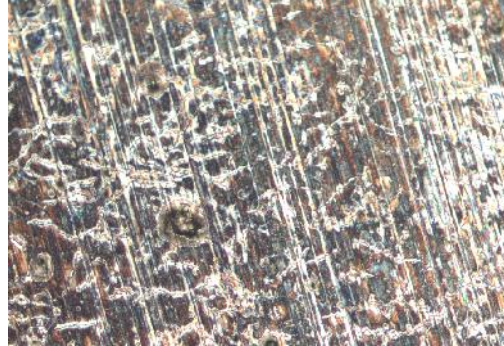
b) 50 F yakıtında aşındırılmış numune



c) 50M yakıtında aşındırılmış numune



d) 50WM da aşındırılmış numune



e) D2 yakıtında aşındırılmış numune

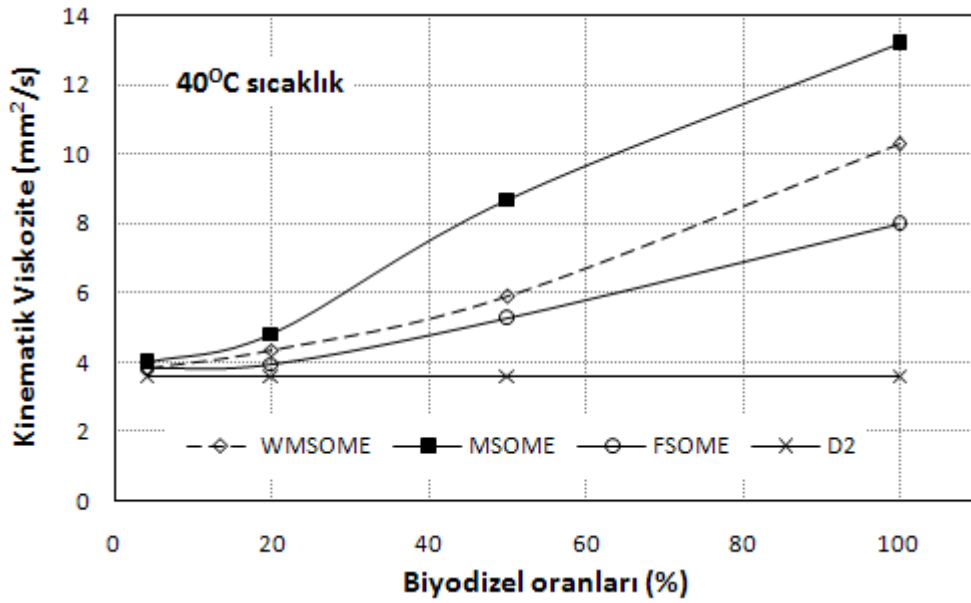
Şekil 7.4. Pin-On-Disk aşınma deney cihazında aşındırılan bazı numunelerin mikroskop resimleri

En az aşınma 50F yakıtında aşındırılmış numuneden elde edilirken (Şekil 7.4.b), en fazla aşınma D2 yakıtında aşındırılmış numunede gözlenmiştir (Şekil 7.4.e). Aşınmış numune yüzeylerinde oluşan aşınma izleri 50 M yakıtında aşındırılmış numune yüzeyinde 50 F’ye oranla daha belirgin hale gelmiştir. 50 WM yakıtında aşındırılmış numunede oluşan aşınma izleri bir miktar daha yoğunlaşmakta ve daha

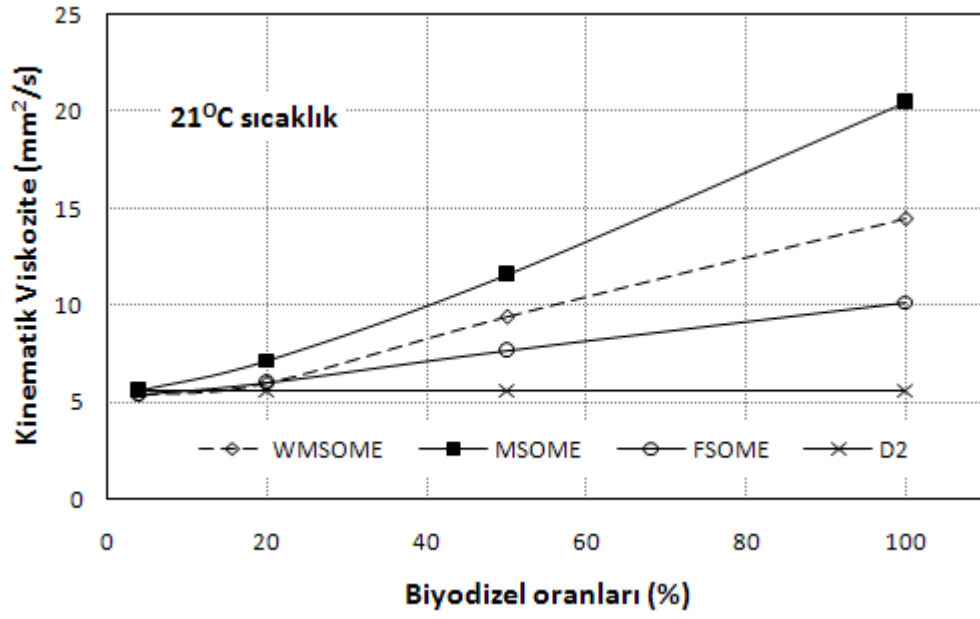
belirgin hale gelmektedir. D2 yakıtında aşındırılmış numune yüzeyinde ise aşınma izleri daha derin ve daha yoğun olarak karşımıza çıkmakta ve yüzeyde tahribin arttığı görülmektedir.

Yakıtlarda, düşük çalışma sıcaklıklarında dahi serbestçe akacak kadar viskozitesinin düşük olması, sızıntıya engel olacak ve enjektör sistemini yağlayabilecek kadar da yüksek olması istenir. Aynı zamanda yanma odasına kolayca atomize edilebilecek şekilde uygun viskozitede olmalıdır.

Dizel yakıtı ile kıyaslanan biyodizel yakıtının daha yüksek viskozitesi, onu mükemmel bir yağlayıcı katkı maddesi yapmaktadır. Diğer taraftan, biyodizel yakıtlarının yüksek viskoziteleri, püskürtme esnasında damlacık boyutunda büyümeye sebep olmakta ve iyi bir atomizasyon sağlanamamaktadır. Şekil 7.5 ve 7.6'da da görüldüğü gibi biyodizel yakıtların viskozitesini düşürme yollarından birisi dizel yakıtla biyodizeli karıştırmaktır. Test yakıtlarının viskoziteleri dizel yakıtı sırasıyla keten tohumu yağı metil esteri, karpuz çekirdeği ve kavun çekirdeği yağı metil esterlerinin %4, %20, %50 karışımları ve saf MSOME, WMSOME, FSOME yakıtlarıdır.



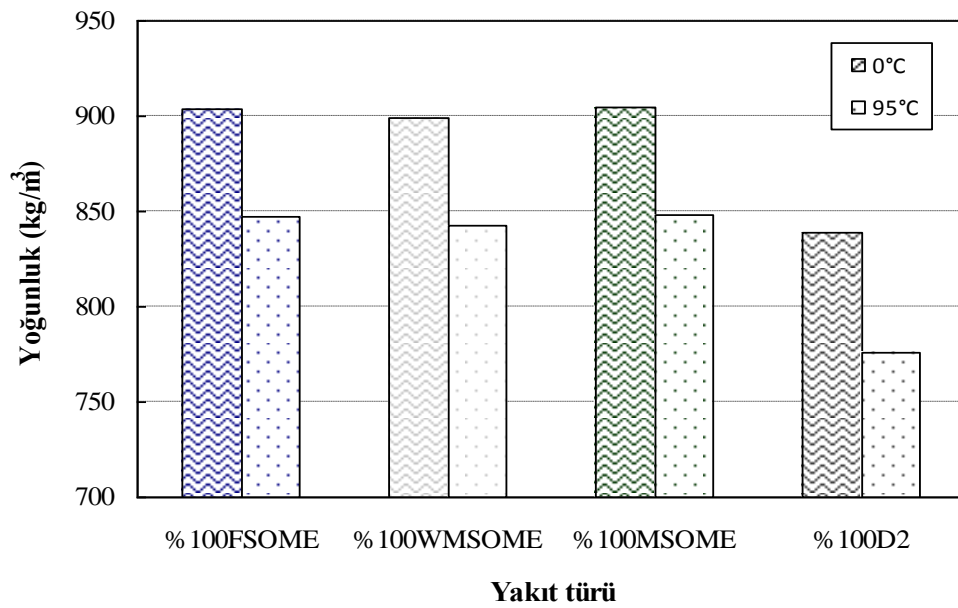
Şekil 7.5. Deney yakıtlarının 40°C'deki kinematik viskoziteleri.



Şekil 7.6. Deney yakıtlarının oda sıcaklığındaki kinematik viskoziteleri.

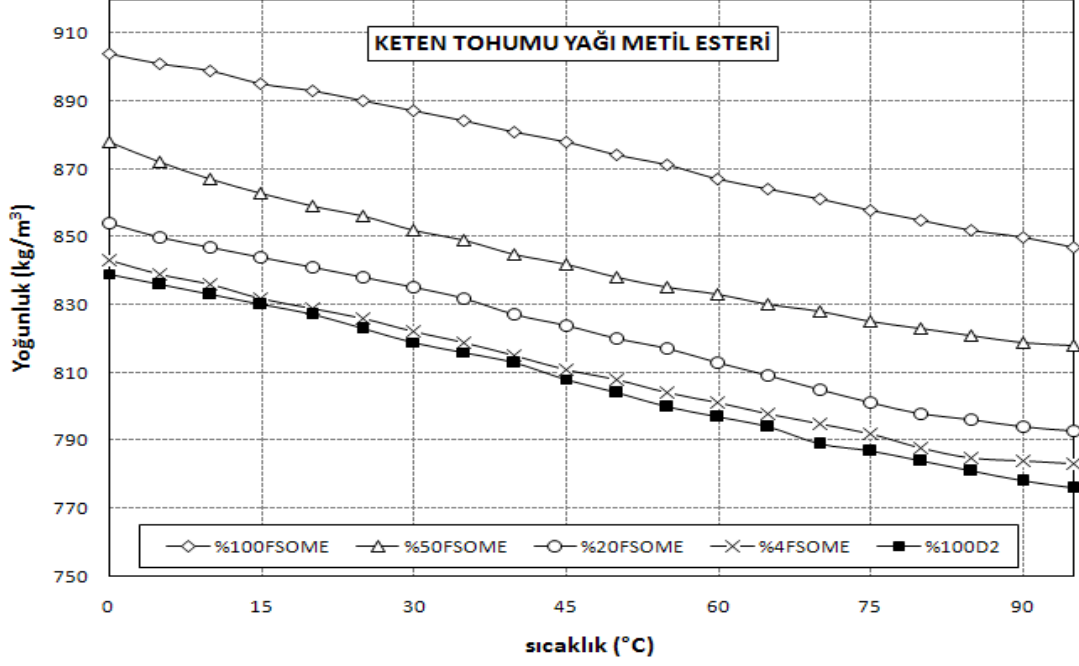
Yoğunluğun fiziksel etkisi detaylı olarak incelendiğinde, daha yüksek yoğunluktaki dizel yakıtının, daha fazla yakıtın püskürtülmesine neden olduğu ve buna bağlı olarak püskürtme zamanlamasının değiştiği söylenebilir.

Değerlendirmeye alınan yakıtların yoğunluklarının 0 ve 95°C’de ölçülen yoğunlukları Şekil 7.7’de görülmektedir.

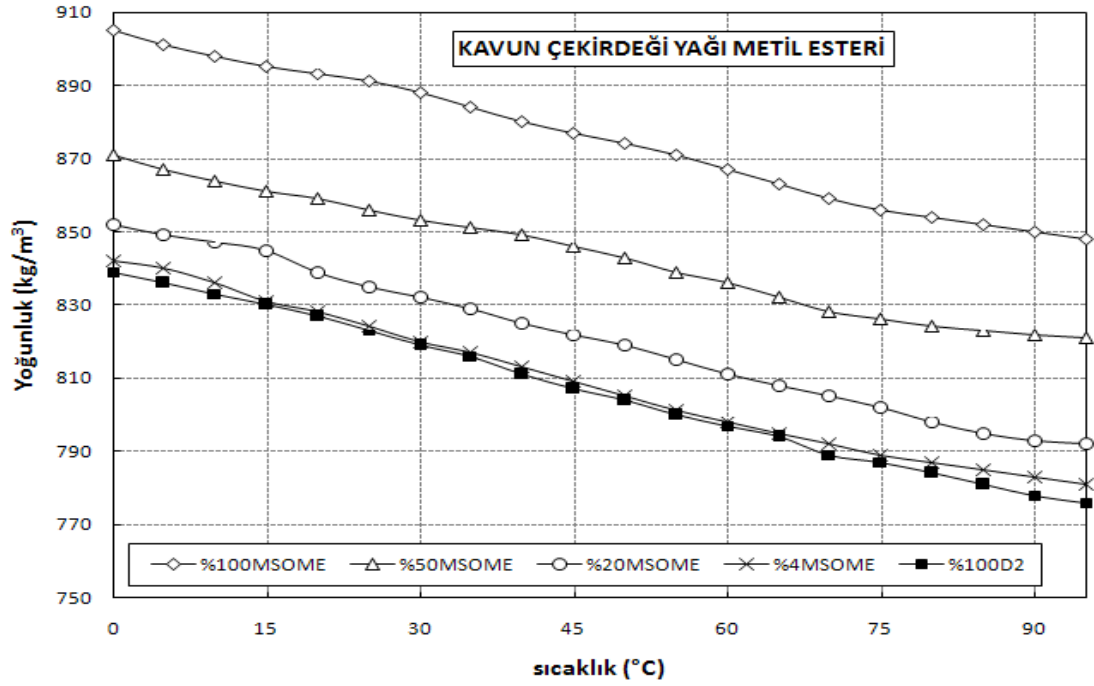


Şekil 7.7. Yakıtların 0 ve 95°C’ de yoğunlukları.

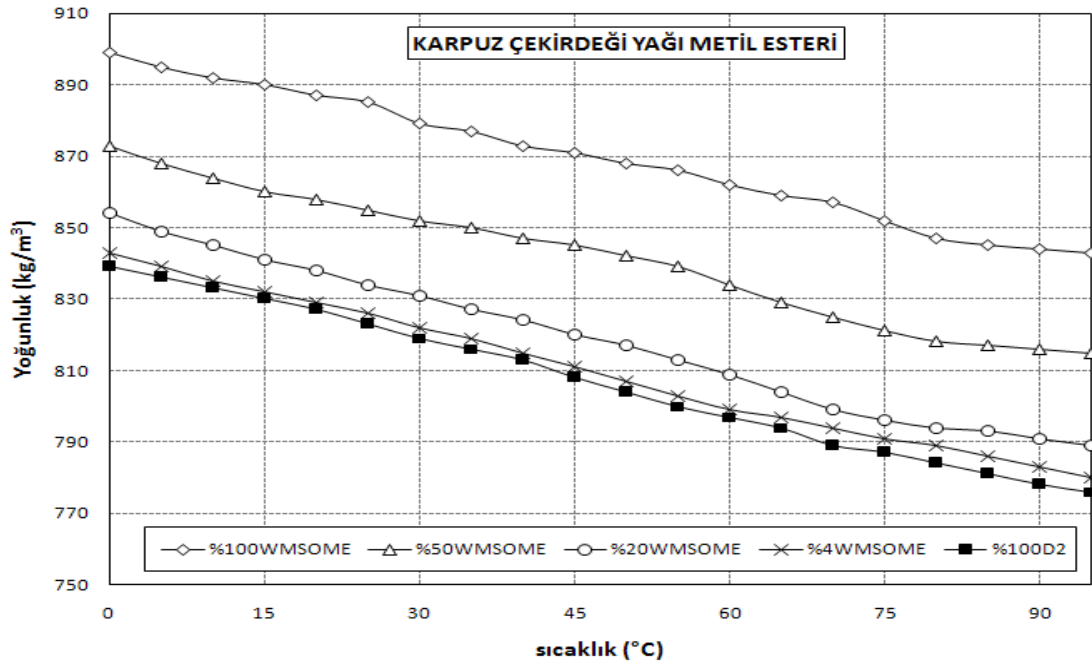
Şekil 7.8, 7.9 ve 7.10’da görüldüğü gibi; dizel yakıtlara oranla biyodizel yakıtların yoğunlukları daha fazladır. Yoğunluktan kaynaklanan püskürme zamanlamasının değişmesi olumsuzluğu seyreltme yöntemiyle giderilebilmektedir.



Şekil 7.8. Keten tohumu yağı metil esterinin ve dizel yakıtla karışımlarının farklı sıcaklıklardaki yoğunlukları.



Şekil 7.9. Kavun çekirdeği yağı metil esterinin ve dizel yakıtla karışımlarının farklı sıcaklıklardaki yoğunlukları.



Şekil 7.10. Karpuz çekirdeği yağı metil esterinin ve dizel yakıtla karışımlarının farklı sıcaklıklardaki yoğunlukları.

Yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan laboratuvar test yöntemleri de incelenmiş ve birbirlerine karşı üstünlükleri kıyaslanmıştır.

Çizelge 7.3. Laboratuvar Test yöntemlerinde kullanılan bazı deney parametreleri.

Yöntem	Sıcaklık (°C)	Numune miktarı (mL)	Uygulanan yük (g)	Nem oranı (%)	Test süresi (min)
HFRR	60	2	200	>30	75
SLBOCLE	25	50	500-5000	50	<60
BOTD	24	35	2500	40	45
SRV	26-110	--	200	--	30

Dizel yakıtların yağlama kabiliyetlerinin belirlenmesinde üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; taşıt testi, yakıt enjeksiyon malzemesi (enjektör) tezgah testi ve laboratuvar testleridir. Bu testler arasında en verimli çalışılan, en az süre gerektiren, en güvenilir sonuçları veren ve maliyeti diğerlerine oranla oldukça düşük olan yöntem laboratuvar testidir. Laboratuvar testi sayılan bunca avantajından ötürü en çok kullanılan test yöntemidir.

Laboratuvar testleri de kendi aralarında birbirlerine göre üstünlükleri vardır. HFRR test yönteminde 2mL gibi oldukça küçük miktarda yakıt numunesi kullanılmakta ve 200 g gibi az bir kütle ile test yapılabilirken test süresi 75 dakika sürmektedir. En güvenilir sonucu veren HFRR yönteminden sonra en çok kullanılan SLBOCLE yönteminde sıcaklık yükselmekte ve kısa sürede deneyler biterken uygulanan yük diğer yöntemlere oranla oldukça fazladır. HFRR yöntemine göre hassas bir ölçüm yapılamamaktadır.

Yakıtla yağlanmakta olan enjektörlerin 110°C gibi yüksek bir sıcaklıkta çalıştığı ve enjektör iğnesinin yukarı-aşağı hareket ettiği göz önünde bulundurularak imal edilmiş SRV test yönteminde çalışma şartlarına yakınlık özelliği ile diğer yöntemlerden öne çıkmaktadır.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Motorun birçok parçası yağlama yağı ile yağlanmaktadır ancak enjeksiyon sistemi sadece yakıt ile yağlandığından yağlayıcılık özelliği Motor İmalatçıları Birliği (EMA) tarafından belirlenen sınırlar içinde olmalıdır. Biyodizel, saf veya dizel yakıtı ile herhangi bir oranda karıştırılarak kullanılabilir. Dizel yakıtlara düşük oranlarda bile biyodizel eklenmesi yağlayıcılık özelliklerini önemli oranda arttırmaktadır. Bu çalışmada, yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler incelenmiş ve HFRR metodu ve pin-on-disk aşınma cihazı ile aşınma deneyleri yapılarak yağlayıcılık özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, bu yakıtların dinamik ve kinematik viskoziteleri ile farklı sıcaklıklardaki yoğunlukları ölçülüp ideal yakıt özelliklerine yakınlıkları belirlenmiştir.

- ✓ Yakıtlarda kükürt azalmasının yağlayıcılığı da azalttığı, bitkisel yağlar kullanılarak bu durumun telafi edilebileceği, biyodizelin kendisinin de yakıt olması sebebiyle yağlayıcılık artırma performansını tutarlı bir şekilde geliştirilebileceği sonucuna varılmıştır.
- ✓ Dizel yakıtı eklenen biyodizellerle yapılan testlerde aşınma izi çapının ortalama 230µm'ye kadar düştüğü, yani yağlayıcılığın belirgin düzeyde arttığı ve biyodizelin düşük kükürt oranlı dizel yakıtlarının yağlayıcılık özelliklerini geliştirmek için potansiyel bir katkı olduğu görülmüştür.
- ✓ HFRR test yönteminde edinilen sonuçları pin-on-disk aşınma cihazında yapılan deneyler de doğrulamış ve en az aşınma %50 oranında keten tohumu yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımlarında elde edildiği olduğu görülmüştür.

- ✓ Genel olarak %50 biyodizel-dizel yakıtı karışımlarında en iyi yağlayıcılık değerleri elde edilmiş, dizel yakıtın yağlayıcılık değerine oranla %45 iyileşme olduğu belirlenmiştir
- ✓ Yakıtların sıcaklığının artmasıyla yoğunluklarında 65 kg/m^3 gibi bir azalma meydana geldiği bu durumun da zamanlamayı etkilediği gözlemlenmiştir.
- ✓ Pin-on-disk cihazında yapılan deneylerde en fazla aşınma dizel yakıtı yağlayıcı olarak kullanıldığında meydana gelmiştir. Yağlamanın iyi olmadığı yüzeylerde ısı artışı ve yüzeyde deformasyonun derinleştiği görülmüştür.
- ✓ Yağlayıcılık özelliğinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler içinde laboratuvar testleri, kısa sürelerde, daha güvenilir ve maliyeti diğer yöntemlere oranla oldukça düşük olması nedeniyle kullanılmaktadır. Ayrıca laboratuvar testleri arasında HFRR yöntemi, yağlama açısından daha iyi bir gösterge olması nedeniyle daha çok tercih edilmektedir.

KAYNAKLAR

Aktaş A. ve Sekmen Y., “Biyodizel İle Çalışan Bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi**, 23, 1, 199-206, 2008

Alpgiray B. ve Gürhan R., “Kanola Yağının Diesel Motorunun Performansına ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi”, **Tarım Bilimleri Dergisi**, 13 (3) 231-239, 2007.

Altun Ş. ve Gür M.A., “Bitkisel Yağların Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarda Kullanılması”, **H.R.Ü. Z.F.Dergisi**, 9(3): 35-42, 2005.

Anastopoulos G., Lois E., Serdari A., Zanikos F., Stournas S. and Kalligeros S. “Lubrication Properties of Low-Sulfur Diesel Fuels in the Presence of Specific Types of Fatty Acid Derivatives”, **Energy & Fuels**, 15, 106-112, 2001.

Anonymous, Chevron U.S.A. Inc. **Diesel Fuel Technical Review. (FTR-2)**. San Francisco, CA: Author. 1998.

Anonymous, Standard Specification for Diesel Fuel Oils, **ASTM D 975. ASTM. West Conshohocken**, 1-19, 2002.

Anonymous, Standard Test Method for Evaluating Lubricity of Diesel Fuels by the Scuffing Load Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator (SLBOCLE), **ASTM D6078-99**, 2000.

Anonymous, Standard Test Method for Evaluating Lubricity of Diesel Fuels by the High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR). **ASTM D6079-99**, 2000.

Anonim, Standard Test Metodu “Dizel yakıtlar-yüksek frekanslı ileri-geri hareket düzeneği (YFİD). ENISO 121 56-1, 2000.

Aranyi D., M. Nagy P., Olah Zs., Kalman E., “AFM investigation of steel surfaces worn in HFRR tests”, **Material Science Forum**, 2006.

Barbour R., Rickeard D., Elliott N. “Understanding diesel Lubricity”, **SAE Technical Paper**, 2000-01-1918, June, 2000.

Bhatnagar A. K., Kaul S., Chhibber V. K. and Gupta A. K., “HFRR Studies on Metil Esters of Nonedible Vegetable Oils”, **Energy & Fuels**, 20, 1341-1344, 2006.

Bhushan, B., Gupta, B. K., “Materials Coating and Surface Treatments”, **Handbook and Tribology**, pp.6.1-6.29, McGraw-Hill, Inc., USA. 1991.

Borat, O. Balcı, M., ve Sürmen, A., “Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği”. **Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-3**, 1992.

Demiral M. M., Yaşar M., “95200-95300 CU-AL-FE Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, **Teknoloji Dergisi**, 9, 1, 17-26, 2006.

Gerpen J.H.V., Soylu Ş., Chang D.Y.Z.,” Evaluation of the Lubricity of Soybean Oil-based Additives in Diesel Fuel”, **Mechanical Engineering Department Iowa State University**, February 25, 1998.

Gerpen J.H.V., Peterson CL., Goering CE., “Biodiesel: An Alternative fuel for compression ignition engines”, **Agricultural Equipment Technology Conference**, Louisville, Kentucky, USA, 1-22, 11-14 February, 2007.

Graboski M.S. ve McCormik R.L., “Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines”, **Prog. Energy Cumbust**, 24, 125-164, 1998.

Grosh J., “Allgemeine Systematik Für Die Auswahl Von Werkstoffen Verschleißbeanspruchter Bauteile” **Vdi. Berichte Nr.** 194, S 70-71. 1973.

<http://www.bilgi.com.tr> 2007

<http://www.eie.gov.tr> 2008

<http://www.falexint.com.tr> 2009

<http://www.teknikegitimli.com.tr> 2009

http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/yakitlar_yağlar/motorin_.htm 2009

Hughes J.M., Mushrush G.W. and Hardy D.R., “Lubricity-Enhancing Properties of Soy Oil When Used as a Blending Stock for Middle Distillate Fuels”, **Ind. Eng. Chem. Res.** 41,1386-1388, 2002.

İçingür Y. ve Eray M.E., “Değişik Yakıt Harmanlarının Dizel Motorlarında Kullanılabilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, **G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi**, 16(3):589-599, 2003.

İlkılıç C., “Metil Ester Katkılı Dizel Yakıtının Bir Dizel Motoru Performansına Etkisinin Deneysel incelenmesi”, **Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi**, 19 (3), 397-405, 2007.

Karonis, D., Anastopoulos G., Lois E., Stournas F., Zannikos F., Serdaro. A. “Assessment of the lubricity of Greek Road Diesel and the effect of the addition of specific types of biodiesel”, **SAE Technical Paper**, 1999-01-1471, May, 1999.

Knothe G. and Steidley K.R., “Lubricity of Components of Biodiesel and Petrodiesel.The Origin of Biodiesel Lubricity”, **Energy & Fuels**, 19, 1192-1200, 2005.

Knothe G., Sharp C.A. and Ryan T.W, “Exhaust Emissions of Biodiesel, Petrodiesel, Neat Metil Esters, and Alkanes in a New Technology Engine”, **Energy & Fuels**, 20, 403-408, 2006.

LePera M., “Low-sulfur and diesel fuel lubricity – The continuing saga **Published in Defense Energy Support Center’s Fuel Line Magazine**, 4, 18-19, 2000.

Mitchell K., “Diesel fuel lubricity – base fuel effects”, **SAE Technical Paper**, 2001-01-1928, May, 2001.

Mofidi M., Simmons G.F. ve Prakash B., “Friction and Wear Characteristics of Elastomers in Lubricated Contact With Various Eals”, **Lulea University of Technology**, 114-31, 2008.

Munson J. and Hetz P., “Seasonal diesel fuel and fuel additive lubricity survey using the “Munson ROCLE” bench test”, **Saskatchewan Canola Development Commission**, 1999-01-3588 October, 1999.

Oğuz H. ve Öğüt H., “Tarım traktörlerinde bitkisel kökenli yağ ve yakıt kullanımı” Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü **Selçuk-Teknik Online Dergisi**, Konya ISSN 2 (2): 1302- 6178, 2001.

Öğüt H., “Biyodizelin yağlayıcılık özelliği”, **Biyoyakıt dünyası**, 1306-9373, Aralık 2006.

Öztürk M. G. ve Bilen K., “Kanola Yağı Metil Esteri ve Karışımlarının Dizel Motoru Performansına Etkisinin Deneysel incelenmesi”, **Int.J.Eng.Research & Development**, Vol.1, No.1, January 2009.

Ramadhas A.S., Jayaraj S., and Muraleedharan C., “Characterization and Effect of Using Rubber Seed Oil As Fuel in the Compression Ignition Engines”, **Renewable Energy**, 30(5):795-803, 2005.

Schmidt K., and Gerpen J.V., “The Effect of Biodiesel Fuel Composition on Diesel Combustion and Emissions”, **SAE Paper** No: 961086, Warrandele, 1996.

Schumacher L., Gerpen, J.V., and Adams, B., “Diesel fuel injection pump durability test with low level biodiesel blends.”, **American Society of Agricultural Engineers**, 036.036, 2003.

Sekmen Y., “Karpuz Çekirdeği ve Keten Tohumu Yağı Metil Esterlerinin Dizel Motorda Yakıt Olarak kullanılması”, **Teknoloji Dergisi**, Cilt 10, Sayı 4, 295-302, 2007.

Strayer R.C., Blake J.A., Craig W.K. and Erucic H., “Rapeseed Oil as Substitutes for Diesel Fuel”, **Journal American Oil Chemistry Society**, 60(8) 1587 1597, 1983.

Taşdelen Y. “Polimer Malzemelerin Sfero Döküm Karşısında Aşırma Davranışlarının İncelenmesi”, **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, Mayıs 2007.

Tate M.E. and Gerpen J.H.V., “The Kinematic Viscosity of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuel”, **JAOCs** **76**, 1511–1513, Iowa State University, Ames, Iowa 50011, December 1999.

Ulusoy Y. ve Alıbaş K., “Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi”, **Ulud. Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi**, 16: 37-50, 2002.

Wielligh A, Burger N and Wilcocks T., “Diesel engine failure due to fuel with insufficient lubricity”, **Dept. of Mechanical and Aeronautical Engineering, University of Pretoria, 2002.**

ÖZGEÇMİŞ

Esra ÖNEM (KOÇ) 1983'de Kırıkkale'de doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Kırıkkale Anadolu Meslek Lisesi, Hidrolik ve Pnömatik Bölümün' den mezun olduktan sonra 2002 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Anabilim Dalı'na yerleşti; 2006'da mezun oldu. Aynı yıl ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı altında sürdürmektedir.