

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ARAÇ KULLANIM SÜRELERİNİN MOTOR YAĞ
VİSKOZİTESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERDAR HALİS

DENİZLİ, OCAK - 2016

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ARAÇ KULLANIM SÜRELERİNİN MOTOR YAĞ
VİSKOZİTESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERDAR HALİS

DENİZLİ, OCAK - 2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

Serdar HALİS tarafından hazırlanan “**Araç Kullanım Sürelerinin Motor Yağ Viskozitesine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 19.01.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


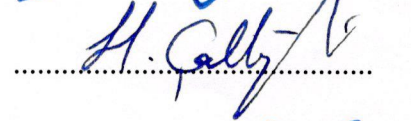
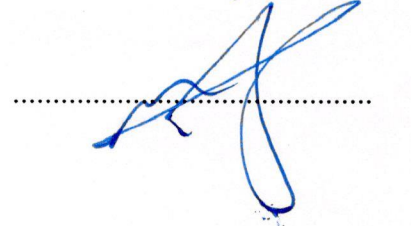
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Mustafa GÖLCÜ

Üye
Doç. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU
Pamukkale Üniversitesi

Üye
Yrd. Doç. Dr. Ergün KORKMAZ
Süleyman Demirel Üniversitesi


.....

.....

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **27.01.2016** tarih ve **..04./14**.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


.....

Prof. Dr. Orhan KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



Serdar HALİS

ÖZET

**ARAÇ KULLANIM SÜRELERİNİN MOTOR YAĞ VİSKOZİTESİNE
ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SERDAR HALİS
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MUSTAFA GÖLCÜ)**

DENİZLİ, OCAK - 2016

Motor parçalarında görülen en büyük problemlerden biri aşınmadır. Buna sebep olan etkenlerin başında da sürtünme gelir. Yağlayıcılar sürtünmeyi azaltmakta, aynı zamanda sıcaklık artışını da önlemektedir. Yağın fiziksel durumu hakkında bilgi veren viskozite de sıcaklık, sürtünme ve aşınma ile doğrudan ilgilidir. Bu sebeple yağın viskozitesindeki değişim, yağ değişim periyotlarını belirlemede önemli bir referanstır.

Yapılan çalışmada, farklı motor yaşlarına (130.000-265.000 km aralığında) sahip aynı marka araçlarda (Ford Connect 1.8 TDCI) Mobil Super 3000 Formula FE 5W30 tam sentetik motor yağı kullanılarak viskozite analizleri gerçekleştirilmiştir. Araçlardan ilk olarak 10.000 km' de, daha sonra yaklaşık her 1.000 km' de numuneler alınarak, motor yağının viskozitesinin motor yaşına bağlı olarak kullanım süresiyle nasıl değiştiği belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: motor yağı, motor yaşı, viskozite, yağ analizleri

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE VEHICLE OPERATING TIMES ON ENGINE OIL VISCOSITY

MSC THESIS

SERDAR HALİS

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

AUTOMOTIVE ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. MUSTAFA GÖLCÜ)

DENİZLİ, JANUARY 2016

One of the greatest problems that observed in the engine parts is wear. In the head of the factors that cause wear comes friction. Lubricants reduce friction, prevent the temperature rise at the same time. Viscosity that given information about the physical condition of the oil is directly linked to temperature, friction and wear. Therefore, the change in viscosity of oil is an important reference in determining oil change intervals.

In this study, viscosity analyzes were performed by using Mobil Super 3000 Formula FE 5W30 fully synthetic engine oil in the same brand vehicles (Ford Connect 1.8 TDCI) with different engine ages (130.000-265.000 km range). Initially, samples were taken at 10.000 kilometers from vehicles. Then they have been taken approximately every 1.000 kilometers, the changing in viscosity of the engine oil that determined by operating times depending on the engine ages.

KEYWORDS: engine oil, engine age, viscosity, oil analysis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	2
1.2 Çalışmanın Kapsamı.....	2
1.3 Çalışmanın Getirileri	3
2. LİTERATÜR ANALİZİ	4
3. MOTOR YAĞLARI ve ÖZELLİKLERİ.....	11
3.1 Yağlama ve Önemi	11
3.2 Yağlama Şekilleri	12
3.3 Motor Yağlarının Sınıflandırılması	15
3.3.1 Mineral Bazlı Motor Yağları	15
3.3.2 Sentetik Bazlı Motor Yağları	15
3.3.3 Yarı Sentetik Motor Yağları	16
3.4 Motor Yağlarında Kullanılan Katkı Maddeleri	16
3.4.1 Antioksidanlar	17
3.4.2 Viskozite (Viskozite İndex) Düzenleyiciler	17
3.4.3 Deterjanlar ve Dispersanlar	17
3.4.4 Akma Noktası Düşürücüler	18
3.4.5 Korozyon Önleyiciler	18
3.4.6 Pas Önleyiciler	18
3.4.7 Köpük Önleyiciler.....	18
3.4.8 Sürtünme Düzenleyiciler	19
3.4.9 Aşınma Önleyiciler ve Aşırı Basınç Katkı Maddeleri	19
4. MOTOR YAĞI ANALİZLERİ.....	20
4.1 Element Analizi	20
4.2 Viskozite.....	21
4.3 TAN ve TBN (Toplam Asit Sayısı ve Toplam Baz Sayısı) Analizi ..	24
4.4 Parlama Noktası Testi	24
4.5 Oksidasyon	25
4.6 Nitrasyon	25
4.7 Kurum miktarı	26
4.8 Nem oranı	26
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	27
5.1 Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	27
5.2 Deneyin Yapılışı.....	30
6. BULGULAR	31
7. SONUÇLAR.....	35
8. KAYNAKLAR.....	36
9. ÖZGEÇMİŞ	39

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 Motor Yağlama Sistemi.....	12
Şekil 3.2 Hidrostatik yağlama.....	13
Şekil 3.3 Hidrodinamik yağlama	13
Şekil 3.4 Sürtünme durumlarına göre yağlama şekilleri.....	14
Şekil 3.5 Genel yağlama rejimleri	15
Şekil 4.1 Viskozite-Viskozite indeksi-Sıcaklık İlişkisi	23
Şekil 5.1 Yağ numunesi alınırken kullanılan ekipmanlar	27
Şekil 5.2 Numunelerin etiketlenmesi.....	28
Şekil 5.3 Numune alımı	30
Şekil 6.1 Farklı motor yaşlarına sahip araçların kullanım sürelerine göre viskozite değişimi (40 °C).....	32
Şekil 6.2 Farklı motor yaşlarına sahip araçların kullanım sürelerine göre viskozite değişimi (100 °C).....	33

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 5.1 Araçlarda kullanılan motor yağının orjinal haldeki bazı özellikleri	28
Tablo 5.2 Değerlendirmeye alınan araçların özellikleri ve yağ numunesi alma periyotları	29
Tablo 6.1 Viskozite analiz sonuçları	31
Tablo 6.2 Araçların aynı kullanım sürelerindeki viskozite değerleri	32

SEMBOL LİSTESİ

v	:	Hız
μ	:	Sürtünme katsayısı
h	:	Film kalınlığı

KISALTMA LİSTESİ

SAE	:	Society of Automotive Engineers
API	:	American Petroleum Institute
ACEA	:	Association des Constructeurs Europeens d'Automobile
TAN	:	Toplam Asit No
TBN	:	Toplam Baz No
CNG	:	Sıkıştırılmış Doğalgaz
HCNG	:	Hidrojen Karışımı Sıkıştırılmış Doğalgaz
CO	:	Karbon monoksit
HC	:	Hidrokarbon
NO_x	:	Azot oksit
PAH	:	Çok Halkalı Aromatik Hidrokarbon
N	:	Azot
S	:	Kükürt
O	:	Oksijen
CuO	:	Bakır oksit
TiO₂	:	Titanyum dioksit
KOH	:	Potasyum hidroksit
Si	:	Silisyum
Na	:	Sodyum
K	:	Potasyum
Ca	:	Kalsiyum
Mg	:	Magnezyum
P	:	Fosfor
Fe	:	Demir
Al	:	Alüminyum
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
IP	:	Ingress Protection
ISO	:	International Organization for Standardization
EN	:	Europeane Norm
AAS	:	Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre
VI	:	Viskozite İndeksi
FTIR	:	Infrared Spektrofotometre
PPM	:	Particle Per Million

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitim sürecimin her aşamasında benden her türlü bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa GÖLCÜ' ye teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deneysel çalışmalarımda yardımlarından dolayı Pamukkale Üniversitesi OTAL (Otomotiv Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı) çalışanlarına ve tezim kapsamında araçlarının kullanımına müsaade eden Denizli İl Emniyet Müdürlüğü' ne teşekkür ederim. Bu süreçte yanımda olan destek veren Arş. Gör. Dr. Mehmet AKÇAY' a ve tüm çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Hayatımın her anında hep yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Motor parçalarında meydana gelen aşınmanın en önemli nedenlerinden biri, birbirleriyle temas halinde olan elemanlar arasında oluşan sürtünmedir. Yağlayıcılar sayesinde sürtünmenin azaltılması mümkündür. Basınç akışkan viskozitesini çok az arttırmaktadır, bunun aksine sıcaklık viskozite üzerinde oldukça etkilidir. Sıcaklık arttıkça yağın viskozitesi azalmaktadır. Kullanılan yağlar; sürtünme, aşınma ve sıcaklık artışı gibi istenmeyen durumları önlemekle beraber güç kaybını da azaltmaktadır.

Yağların en önemli özelliklerinden biri olan viskozite, yağın fiziksel durumu ile ilgili doğrudan referans oluşturmaktadır. Aşırı miktarda viskozite artışı veya düşüşü gereksiz ısı üretimi ve enerji tüketimine sebep olmaktadır. Çalışma sıcaklıklarına göre yağın viskozitesinde önemli oranlarda bir değişim olmaması arzu edilir. Bu sayede farklı sıcaklıklarda çalışan makine parçalarında gerekli film kalınlığının korunması amaçlanmaktadır.

Yağın içerisine yakıt karışması, viskozite için gerekli olan katkı maddelerinin yanmış olması ve ilave edilen yağın viskozite katkı maddesinin motor içindeki yağın katkı maddesinden çok daha düşük seviyede olması gibi sebepler viskozitenin azalmasının nedenleri arasında sayılabilir. Genelde uzun süre kullanılmış motor yatakları içinde eskiden var olan büyük orandaki kurum miktarı ve diğer atıklar, motorun yüksek çalışma ısısından veya uzun süreli çalışmasından dolayı oluşmuş oksitli atıklar ve yağa su karışımından dolayı emülsiyon oluşması da viskoziteyi arttırmaktadır. Ayrıca ilave edilen yağın, motor içinde var olan yağdan daha yüksek viskoziteye sahip olması da bir etkidir. Çalışma sırasında gözlenen bir viskozite artışı, yağın kısmen bozulduğunun belirtisi olabilir.

Yağ değişim periyotlarının belirlenmesindeki en önemli kriterlerden biri de viskozitedir. Yağ değişim maliyetleri ve motor revizyon maliyetlerinin birleşmesiyle oluşan toplam maliyeti düşük seviyelerde tutabilmek için, viskozite analizi ile birlikte diğer yağ analiz sonuçları da göz önünde bulundurulmalıdır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Günümüzde motorlu taşıtlarda kullanılan yağlar, taşıt motorunun cinsine (dizel, benzinli) ve sınıfına (hafif ve ağır vasıta) göre belirlenerek kullanılmaktadırlar. Hangi motorda hangi yağın daha uygun olduğu o yağın özelliklerine bakılarak belirlenebilir. Yağ ömrü; araç motorunun yaşı, çalışma koşulları, iklim şartları vb. birçok parametreden etkilenmektedir. Dolayısıyla farklı model ve farklı çalışma koşullarında çalışan taşıtların yağ değişim periyotları da değişmektedir. Motorlarda yağın değiştirilmesi için kesin bir zaman olmamakla beraber yağ değişim ve servis süreleri yağ üretici firma veya yetkili servisler tarafından belirlenmektedir. Buna rağmen, başta yağın viskozitesi olmak üzere yağ özelliklerinin değişiminde önemli bir etkiye sahip olan motorun yaşı ve kullanım alanları ile ilgili bir ayırım yapılmamakta ve genel olarak aynı değişim süreleri uygulanmaktadır. Farklı iklim koşullarının, kullanım şartlarının, motorun yaşı ve yıpranma durumunun motor yağ ömrüne etkileri farklı olduğundan, yağın kullanım ömrünün belirlenmesinde her bir durumun özellikle göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bu çalışmada, motor yağının öne çıkan özelliklerinden viskozitenin motor yaşına bağlı olarak kullanım süresi ile nasıl değiştiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Motor yağları; motor performansı, emisyonlar ve motor parçalarının ömrü açısından büyük önem arz etmektedir. Motorlarda kullanılan yağın kaç kilometre (10.000, 15.000 km gibi) sonra değişmesi gerektiği yağ üretici firma veya yetkili servisler tarafından taşıt sahiplerine bildirilmektedir. Motorlu taşıtlarda kullanılan yağlar **sadece motorun cinsine** (dizel, benzinli) ve **sınıfına** (hafif ve ağır vasıta) göre belirlenerek kullanılmaktadırlar.

Başta viskozite olmak üzere yağın öne çıkan özelliklerinin değişiminde önemli bir etkiye sahip olan **araç motorunun yaşı** ve **kullanım alanları** ile ilgili bir ayırım yapılmamaktadır.

Projede, Denizli İl Emniyet Müdürlüğü'nde çalışan farklı motor yaş aralığına (130000-265000 km aralığında) sahip 4 adet araç seçilmiştir. Seçilen bu araçlar yaklaşık olarak günlük 100-150 km yapmakta olup şehir içi kullanılmaktadır. 130.000-165.000 km aralığında ve 230.000-265.000 km aralığında 2' şer araç yer almaktadır.

1.3 Çalışmanın Getirileri

Yapılan çalışma ile, optimum yağ değişim periyotlarının belirlenmesinde başlıca etkili olan viskozitenin motor yaşına bağlı olarak kullanım süresi ile nasıl değiştiği belirlenmiştir.

Projeden elde edilecek yağ ömür değerleri ile taşıt ve yağ imalatçı firmalar tarafından ön görülen değerler karşılaştırılacaktır. Viskozitenin, motor yaşına bağlı olarak kullanım süresine göre nasıl değiştiği ile ilgili literatüre katkı sağlanması beklenmektedir. Daha sonraki çalışmalarda da analiz edilen yağların motor performansına etkilerinin araştırılması hedeflenmektedir.

2. LİTERATÜR ANALİZİ

Üretici firmalar viskozitenin kabul edilebilir limitlerde değişikliklerine çalışmalarında dikkat ederler. Genellikle kural olarak, yağlama yağı viskozitesinde %25 oranında artış ve düşüş görülmesi maksimum limit olarak kabul edilmektedir (Avcı 2009).

Petraru ve Farkas (2010) yapmış oldukları çalışmada, günümüzde kullanılan ve gelecekte kullanılacak olan biyodizel yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yolcu aracındaki düşük sülfürlü motor yağının performansına etkisi incelenmiştir. İkincil ateşlemenin (post-enjeksiyon), çalışmalarda kullanılan SAE 5W30 yağının seyreltilmesine sebep olduğu belirtilmiştir. Bunun sebebinin konvansiyonel dizel yakıt ile karşılaştırıldığında biyodizel karışımlarının seyreltme karakteristikleri ve daha yüksek kaynama aralıkları olduğu ifade edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda yağın seyreltilmesinin; yağ performansını, katkı konsantrasyonunu ve istenmeyen kimyasal etkileşimleri azalttığı belirtilmiştir. Gerçekleştirilen dayanıklılık testinin ortasında ve sonunda yağın viskozitesinde mekanik kayma ve yakıt ile yağın seyreltilmesinden dolayı bir düşüş gözlenmiştir.

Benzin ve sıkıştırılmış doğal gaz olmak üzere iki farklı yakıt tipi için yağlayıcının sıcaklığı, viskozitesi, toplam asit no ve metal içeriği gibi motorun yağlama işlemi için yağ parametrelerini inceleyen Adril vd. (2009), motor devir hızının artışı ile yağlayıcı sıcaklığının arttığı belirtilmiştir. Genel olarak daha yüksek yağlayıcı viskozitesinin hareket durumunda birbiriyle ilişki halinde olan parçalar arasında daha yüksek sürtünmelere sebep olduğu görülmüştür. Bu durumda motorun mekanik verimliliğini azaltan mekanik kayıplar artmaktadır. Ayrıca 1.5 % üzeri TAN değeri artışının yağdaki asidik bileşimden dolayı motor parçalarında korozyona sebep olabileceği ifade edilmiştir. Metal içeriğine bakıldığında ise, Fe ve Pb element miktarlarının diğer elementlerden daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Mathai vd. (2012) yapmış oldukları çalışmada, sıkıştırılmış doğalgazın (CNG) ve 18% hidrojen karışımı sıkıştırılmış doğalgazın (HCNG) uzun test süreleri boyunca, benzinli jeneratörün motor performansına, emisiyona, tortulara ve

yağlayıcılara etkisini araştırmışlardır. Sıkıştırılmış doğalgaz ile karşılaştırıldığında hidrojen karışimli sıkıştırılmış doğalgaz kullanımında silindir duvarlarında daha fazla demir tortularına rastlanılmıştır. Bunun yanında yağlayıcının kinematik viskozitesi ve TBN değeri HCNG ile önemli derecede azalırken, kullanılmış yağdaki demir ve bakır gibi aşınma metallerinin daha yüksek konsantrasyonu gözlenmiştir. HCNG kullanımı ile özgül yakıt tüketiminin CNG kullanımına nispeten %8 daha az olduğu ifade edilmiştir. Bu durumun HCNG karışımının gelişmiş yanma verimliliği ve daha yüksek ısı değerinden kaynaklandığı belirtilmiştir. CNG kullanımına göre, HCNG kullanımı ile daha düşük CO, HC ve daha yüksek NO_x emisyonu gözlenmiştir. Silindir duvarlarına yakın hava yakıt karışımının yanmasının daha iyi tamamlanmasına olanak sağlayan boşluk miktarı HCNG kullanımı ile daha az olduğu için HC ve CO emisyonu azalmıştır. Hızlanmış HCNG yanma prosesi sabit yanma hacminin derecesini de arttırmıştır. Bu nedenle HCNG kullanımı ile daha yüksek NO_x emisyonu gözlenmiştir. HCNG kullanımında piston segmanları ve duvarları arasındaki düşük yağ kalınlığına sebep olan düşük viskozitenin daha yüksek aşınma oranlarına yol açtığı ifade edilmiştir. Ayrıca daha düşük TBN değerine sebep olan asidik bileşimlerin oluşumunun rulman korozyonunu arttırabildiği belirtilmiştir.

Dhar ve Agarwal (2014) yapmış oldukları çalışmada, 200 saatlik bir dayanım testinde yağlayıcı yağının tribolojisi üzerine %20 Karanja karışimli biyodizelin etkisini araştırmışlardır. Mazot ile karşılaştırıldığında biyodizel karışimli yakıtla çalışan motorun, yağlayıcı yağı için karbon tortusu, kül miktarı ve yoğunluğunda daha yüksek artış gözlenmiştir. Ayrıca biyodizel yakıtlı motorun yağlayıcı yağındaki yüksek miktardaki reçineli polimerleşmiş malzemenin, daha yüksek oksidasyon ve polimerleşme ihtimali gösterdiği ifade edilmiştir. Bunun yanında 100 saatlik çalışma sonrasında, mineral dizel yakıtlı motor ile karşılaştırıldığında biyodizel yakıtlı motorun yağlayıcı yağındaki demir, alüminyum, bakır, krom ve magnezyum gibi aşınma metallerinin konsantrasyonundaki daha yüksek artışın, yağlayıcı yağında önemli derecede bozulma gösterdiği ifade edilmiştir.

Biyodizel yakıtın, dört zamanlı dizel motorundaki Jatropha ve kanola yağı üzerine etkisini araştıran Gili vd. (2011), karter yağlarındaki biyojenik yakıtların oksidasyonunun tortu oluşumunu ve korozyonu arttırdığı belirtilmiştir. Bunun sonucu olarak motor üreticileri, kullanıcılara düzenli yağ analiz ve daha sık yağ

boşaltma işlemlerini yaptırmalarını tavsiye etmektedirler. Alternatif motor yağları ile birlikte uygun performans katkılarının kullanımıyla oluşturulan yağların, biyoyakıtların negatif etkilerini azaltmak için kullanılabileceği belirtilmiştir. Yeni geliştirilmiş ince filmler ve termal kaplamalar ile etkileşim halinde olabilecek alternatif yağların, biyoyakıt seyrelmesinin olumsuz tribolojik etkileri ile başa çıkabileceği ifade edilmiştir.

Sem (2004) yapmış olduğu çalışmada yakıt olarak biyodizel kullanılan bir motorda çeşitli yağlayıcıların pistonlarda tortu oluşumu üzerine etkisini araştırmıştır. Piston eteklerinde ve segman boşluklarında herbir motor yağı için biyodizel kullanılması durumunda tortu oluşurken, dizel yakıtı kullanımında tortu oluşumu gözlenmemiştir. Madeni yağın tipinin üst segman boşluğunda oluşan tortuların azaltılması üzerine çok sınırlı bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir. Motorun biyodizel ile çalışması durumunda sentetik ve yarı sentetik yağın mineral yağa göre daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür. Daha yüksek katkı seviyesinin, biyodizel ile çalışan motorun piston eteklerindeki tortuların azaltılmasına katkıda bulunduğu ifade edilmiştir.

Dong vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, motor yüksek güç yoğunluklarında çalıştırıldığında yağlayıcı yağın tortu oluşumuna etkisi araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan üç farklı yağın kalitesinin tortu oluşumuna etkisi olduğu gözlenmiştir. Bunun dışında yağda oksidasyon, bozulma ve safsızlık arttıkça yağın performansında düşüş görülmüştür. Bu üç farklı yağ kullanılarak motorun 50 saatlik çalışma süresinden sonra güç değişimlerine bakılmış ve NO_x emisyon değerinde düşüş olduğu gözlenmiştir. Bu duruma motorun çalışması ile daha çok tortu oluşmasının sebep olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca daha düşük yanma sıcaklıkları daha az NO_x emisyonuna neden olmuştur. Sonuç olarak tortu oluşum miktarının yağlayıcı stabilitesi için önemli bir gösterge olduğu belirtilmiştir.

Kellaci vd. (2010) yapmış oldukları çalışmada, motor çalıştığı esnada yağlayıcının viskozitesinin ve onun değişiminin, piston etekleri ile temasta olan yağ filmi kalınlığı, hidrodinamik basınç ve sürtünme kuvveti gibi tribolojik karakteristikler üzerine etkisini araştırmışlardır. SAE 20, SAE 30 ve SAE 50 yağları için viskozite analizleri yapılmıştır. Sınır sürtünmesine ve aşınmaya en hassas bölgelerin viskozitenin en düşük, yanıl basıncın yüksek olduğu noktalara denk

geldiği tespit edilmiştir. Bunun yanında artan viskozite ile minimum yağ film kalınlığının da arttığı görülmüştür. Üç farklı yağlayıcı için güç kaybına ve toplam sürtünme kuvvetinin değişkenliğine bakılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, minimum yağ filmi kalınlığını geçmemek şartı ile daha düşük viskoziteli bir yağın kullanımının piston eteklerindeki sürtünmeyi azalttığı görülmektedir. Bu sayede daha iyi yakıt verimliliğine ulaşılabileceği ve hidrodinamik sürtünmenin de azaltılabileceği ifade edilmiştir.

Lu ve Kaplan (2008) yapmış oldukları çalışmada, kullanılmış ve kullanılmamış motor yağları için kimyasal bileşimdeki fark belirlenmiş ve onların sudaki ayrılma etkisi araştırılmıştır. Kullanılmış motor yağındaki PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) ve yanma artıklarının varlığından dolayı kullanılmış ve kullanılmamış yağların kimyasal yapılarında önemli derecede farklılıklar olduğu ifade edilmiştir. Bu farklılıklardan bazıları şöyle belirtilmiştir: Kullanılmamış motor yağının yapısında aromatik hidrokarbon görülmemiştir. Ayrıca kullanılmış motor yağında bol miktarda naftalin ve metil naftalin görülmüştür. Buna ilaveten kullanılmış ve kullanılmamış yağın su fazında çok miktarda polar bileşimlerin (N, S, O) mevcut olduğu gözlenmiştir.

Zulkifli vd. (2013) yaptıkları bu çalışmada, sıradan yağlayıcıda hurma yağı esaslı TMP (trimethylolpropane) ester katkısı yapıldığı zaman, sınır ve hidrodinamik yağlama altındaki tribolojik özelliklerin araştırılması amaçlanmıştır. Farklı yağlayıcı rejimleri için aşınma ve sürtünme davranışları incelenmiştir. Sınır yağlayıcıda, sıradan yağlayıcıya konulan %3' lük hurma yağı esaslı TMP esterinin aşınma ve sürtünmeyi %30' a kadar azalttığı ifade edilmiştir. Hidrodinamik yağlayıcıda ise, %7' lik hurma yağı esaslı TMP ester katkısının aşınma ve sürtünmeyi %50' ye kadar azalttığı gözlenmiştir.

Owran vd. (2003) yapmış oldukları çalışmada, sentetik ve mineral olmak üzere iki farklı motor yağının oksidasyonunu incelemiştir. Mineral yağdaki oksidasyon miktarı 1.6 ± 0.2 wt% olarak, sentetik yağda ise 10.1 ± 0.1 wt% olarak tahmin edilmiştir. 550 °C' deki oksidasyondan sonra, sentetik yağın mineral yağdan hemen hemen %25 daha fazla kurum ürettiği gözlenmiştir. Ayrıca, mineral motor yağının bozulmasının oksidize olmuş alifatiklerin oluşumu ile gerçekleştiği ifade edilmiştir.

Hu vd. (2013) yaptıkları çalışmada, motor yağlarının yağlayıcı davranışına siyah karbon kirliliğinin (carbon black contamination) etkisini araştırmışlardır. Sürtünme ve aşınma testleri 4 top sürtünme ve aşınma ölçme cihazı ile SAE 15W40 ve 150SN baz yağları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonunda çeşitli siyah karbon içerikleri ile formülize edilmiş 15W40 yağının, 150SN baz yağına göre aşınma ve sürtünme bakımından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. SAE 15W40 yağının sürtünmeye karşı koyma özelliği 2 wt% siyah karbon katkısı ile artırılmıştır. Çalışmayı yapan grup yağlayıcılardaki siyah karbonun yağlayıcılık etkisini absorpsiyon ve yığılma özelliklerine bağlamaktadır. Ayrıca siyah karbon içeriği arttırıldıkça SAE 15W40 yağının kinematik viskozitesinin arttığı görülmüştür. Her iki yağ türü için farklı siyah karbon içeriklerinde yük ve devir hızının etkisi incelenmiştir. Bu inceleme sonunda artan yük ile yağ filmi kalınlığının azalmasından dolayı 150SN yağı kullanıldığında aşınma miktarının daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun yanında devir hızının siyah karbon içerikleri farklı olan bu yağlar üzerindeki etkisine bakıldığında aşınma miktarlarının arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebinin de artan sürtünme kuvveti sonucunda yağ filminin patlaması olduğu belirtilmiştir.

George vd. (2006) yapmış oldukları çalışmada, yağdaki kurumun yağlayıcı yağı viskozitesine etkisini araştırmışlardır. Deneyler sıcaklık değişimleri ile viskozite üzerine çeşitli faktörlerin etkilerini incelemek için 40 °C ve 90 °C' de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; hem 40 °C' de hem de 90 °C' de kurum miktarındaki artış, yağ numunelerinin viskozitesinde de artışa neden olmuştur. Bu analizlerde artan kurum miktarı ile viskozitenin 40 °C' de nonlinear, 90 °C' de ise linear bir değişiklik gösterdiği görülmüştür. 40 °C' deki bu nonlinear durumun yağdaki kurumun bileşimi ile alakalı olduğu ifade edilmiştir. Ancak viskozite değerinin artmasıyla yağın pompalanmasının da o derece zorlaştığı belirtilmiştir. Ayrıca sonuçlar seyreltici seviyesinin yağlayıcı yağı kalınlığını etkileyen önemli bir faktör olduğunu göstermiştir. Daha yüksek bir seyreltici seviyesi tüm kurum seviyelerinde artan bir viskoziteye sebep olmuştur.

Gligorijevic vd. (2003) motor yağının dizel egzoz emisyonunun ve sürtünmenin azalmasına önemli ölçüde sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Bu azalmanın; yağlayıcının sülfür, aromatikler, kalsiyum, çinko içerikleri, buharlaşma ve viskozite gibi en önemli özelliklerinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Yağ sıcaklığı

ve yağ tabakası kalınlığındaki bir artışın, yakıt ve yağ arasındaki absorpsiyon/desorpsiyon proseslerinin yoğunluğundaki artışı etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca desorpsiyon prosesi esnasında açığa çıkan yağ buharının oksidasyon, piroliz ya da pirosenteze maruz kaldıkları görülmüştür. Analizlerde mineral yağının hidrokarbon emisyonunun sentetik yağinkinden yaklaşık olarak 13% daha yüksek olduğu ve NO_x emisyonunun da mineral yağ kullanıldığında sentetik yağa göre 8% daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu durumun muhtemelen bu yağların farklı aromatik içeriklerinden dolayı gerçekleştiği ifade edilmiştir. Sürtünmesel kayıpların toplam güç kaybı miktarının 15% ini oluşturduğu ve bunun önemli bir kısmının sübap mekanizmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Uygun şartlar altında, yakıt ekonomisinin ve ayrıca motordaki emisyonun geliştirilmesi amacıyla yağlayıcı katkısının maksimize edilmesinin sürtünmenin azami değere indirilmesi ile gerçekleşeceği ifade edilmiştir.

Kral jr. vd. (2014) yapmış oldukları çalışma, farklı tipteki araçlarda kullanılan uzun ömürlü motor yağı özelliklerinin incelenmesi üzerinedir. Benzinli ve dizel olmak üzere 13 araçta yağ numunesi test edilmiştir. Ölçümlerde, uzun ömürlü yağların yüksek anti oksidan yapısını özellikle 12000-14000 km'den sonra hızlı bir şekilde kaybettiği gözlenmiştir. Yanma sırasında segmanlardan kaynaklanan sızıntı sebebiyle yağın viskozitesinde azalma görülmüştür. Yağ içerisinde aromatik ürünlere rastlanılmamıştır. Bu durumun, motorun yeterince soğumasına yardımcı olduğu ifade edilmiştir.

Wu vd. (2007) yapmış oldukları çalışmada, standart motor yağı (SAE 30) ile CuO, TiO₂ ve nano elmas katkılı baz yağın tribolojik özellikleri incelenmişlerdir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; nano partiküllerin (özellikle CuO) standart yağa eklendiğinde daha düşük sürtünme ve daha iyi anti aşınma özelliği gösterdiği ifade edilmiştir.

Motorlarda yağ kullanım sürelerinin yağ özellikleri değişimine ve motor performansına etkilerini deneysel olarak inceleyen Salman vd. (1998), kullanım süresiyle yağın temizleyicilik göstergesi olan TBN değerinde azalma gözlendiğini ifade etmişlerdir. Bu azalmanın kullanım süresiyle orantılı olmadığı ve test edilen yağların tortu miktarlarının normal sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda yağların kullanım süreleri ve viskoziteleri arasında bir bağlantı

kurulamadığı ve bu durumun çalışma koşullarının farklılığından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Ayrıca dinamometre ile yapılan deneylerde kullanılmış ve kullanılmamış yağlar arasında sürtünme gücü açısından ortalama %3 lük bir fark gözlenmiştir.

Jakoby (2003) yapmış olduğu çalışmada, belirli kilometre aralıklarında araç motor yağında mikro akustik viskozite sensörü kullanarak viskozite analizleri yapmıştır. Kullanım süresine paralel olarak artan kurum miktarı sebebiyle yağın viskozitesinde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, viskozitedeki artışın oksidasyon kaynaklı kimyasal bozulmalarla ilgili olduğu ifade edilmiştir.

Al-Ghouti vd. (2010) yapmış oldukları çalışmada, FTIR analizi kullanılarak motor yağlarının baz numarasının ve viskozite indeksinin doğru ve basitçe belirlenmesi için çok değişkenli kalibrasyon yöntemleri (chemometrics) uygulamışlardır. Analiz işlemlerinde; 1. baz numarası ve viskozite indeksinde maksimum çeşitlilik, 2. farklı yağ markaları, 3. seçilen yağların yarısı kullanılmış, yarısı da temiz yağ, olmak üzere üç farklı kriter göz önüne alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, baz numarası aralığının 4-16 mgKOHg⁻¹, viskozite indeksi aralığının da 96-153 olduğu görülmüştür.

Motorlarda kullanılan yağlayıcılar ile ilgili yapılan literatür çalışması incelendiğinde; çalışmaların yakıtın motorda kullanılan yağlayıcı özelliklerine etkisi ve motorda kullanılan yağlayıcıların motor parçalarına etkisi ve tribolojik karakteristiklerinin incelenmesi ile ilgili olduğu gözlenmiştir.

3. MOTOR YAĞLARI ve ÖZELLİKLERİ

3.1 Yağlama ve Önemi

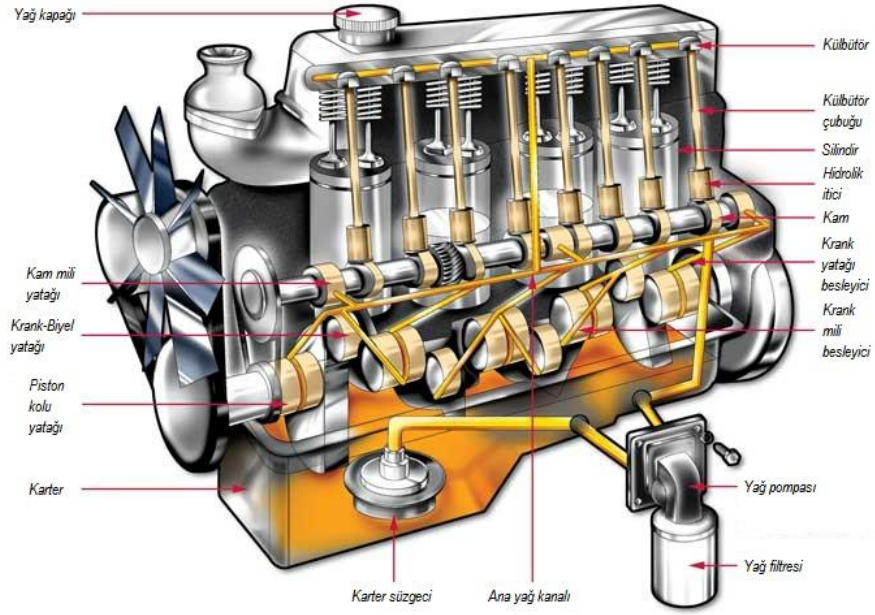
İki yüzey arasında sürtünmenin azaltılarak kaygan bir film tabakası oluşması ve yüzeylerin birbirlerine göre kolaylıkla hareket etmesini sağlayan yağ filminin oluşması, yağlama olarak ifade edilmektedir. Yağlamanın uygulanmasındaki amaç, motor parçalarındaki sürtünme ile oluşan aşınmayı en aza indirmek ve gerçekleşen enerji kaybını azaltarak çalışmayı sağlamaktır.

Parçalar arasında meydana gelen sürtünme kayma, yuvarlanma ve kayma-yuvarlanma biçiminde oluşabilir. Yuvarlanma sürtünmesi çok küçük olduğu için önemsenmeyebilir. Kayma ise sürtünmenin temelini oluşturur (Mang 2007).

Yağlayıcı yağın görevleri arasında şunlar sayılabilir:

- Yüksek ısıya sahip motor parçalarını soğutma,
- Parçalar arasındaki sürtünmeyi en aza indirme,
- Sürtünmeye bağlı olarak meydana gelen aşınmayı azaltma,
- Piston-segman kısmında sızdırmazlık sağlama,
- Motor parçalarının temizlenmesi,
- Korozyonu ve yağdaki bozulmayı önleme.

Motor yağlama sisteminin çalışma mekanizması ve elemanları Şekil 3.1' de gösterilmiştir. Motor çalışırken içerisinde yağ sirkülasyonu devam etmektedir. Karterdeki yağ ilk önce yağ süzgecinden geçer. Parçalara zarar verebilecek partiküller bu süzgeç ile ayrıştırılır. Yağ basıncı pompa ile artırılarak daha küçük partiküllerin ayrılması amacıyla filtreye yollanır. Filtre çıkışında, yağ krank muylusundan geçerek biyel büyük başı ve biyel küçük başı yataklarını izleyerek, silindir cidarına püskürtülür; bu sayede cidar ve piston arasında yağlama sağlanır. Ayrıca, kam mili yataklarına, kam milinin kumanda ettiği dişlilere, supap mekanizmasına, ateşleme distribütörüne ve yağ pompasına da yağlama desteği yapılmaktadır. Son aşamada ise, yağ tekrar kartere geri döner ve bir sonraki çevrime yeniden katılır.



Şekil 3.1: Motor Yağlama Sistemi (Lubrita 2015)

3.2 Yağlama Şekilleri

Yağlama sistemlerinde temas eden yüzeyler arasında farklı temas şekilleri mevcuttur. Bunlar; kuru sürtünme, sınır sürtünmesi, sıvı sürtünmesi, karışık sürtünme ve katı yağlama sürtünmesidir.

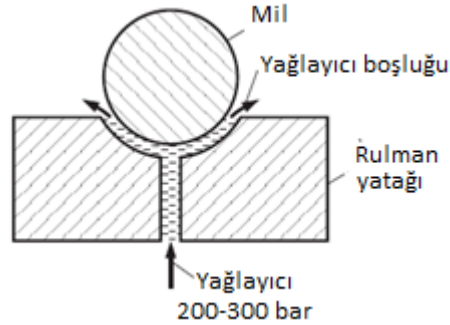
Kuru sürtünme iki parça arasında direkt temas olması durumunda meydana gelir. Sürtünme katsayısı ve aşınma oranları yüksektir. Yağlama teknolojileri ile bu problem çözülmektedir.

Belirli özellikleri olan bir maddenin moleküler tabakası ile kaplı temas eden yüzeyler sürtünme ve aşınmadan oldukça etkilenebilir. Yağlamanın en önemli görevlerinden birisi; dinamik, geometrik ve termal şartlar altında sınır sürtünme tabakasını oluşturabilmektir. Sınır yağlama filmi yüzey aktif maddelerden ve onların kimyasal reaksiyon ürünlerinden oluşur.

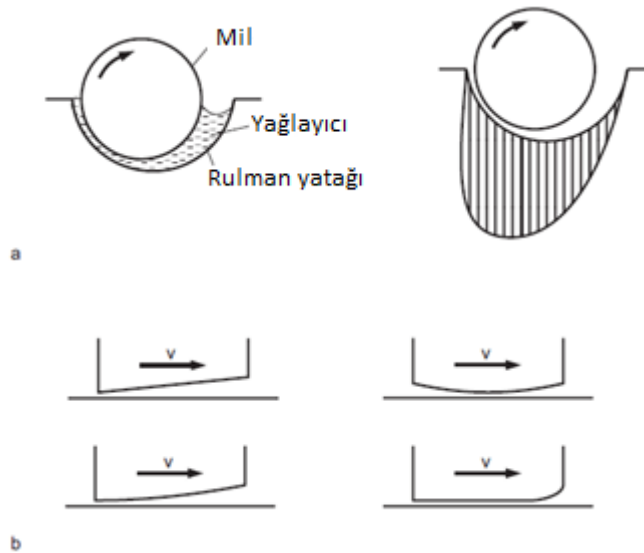
Sıvı sürtünmesinde iki yüzey birbirinden bir sıvı yağlama filmi tarafından tamamen ayrılır. Bu film hidrostatik olarak veya genellikle hidrodinamik olarak oluşur. Akışkan özelliklerinden dolayı, sıvı sürtünmesi sürtünmesel dirençten kaynaklanır. Hidrostatik ve hidrodinamik yağlama sırası ile Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te gösterilmiştir.

Karışık sürtünme durumu ise sınır sürtünmesi sıvı sürtünmesi ile birleşince meydana gelir. Sürtünmenin bu formunun meydana gelmesi yeterli yük mukavemeti sınır tabakalarının oluşmasını gerektirir. Normalde hidrodinamik olarak yağlanan makine elemanları başlama ve durma aşamalarında karışık sürtünmeye maruz kalırlar.

Katı yağlama sürtünmesi, katı yağlayıcılar kullanıldığında meydana gelir. Bu sürtünme şekli önceki bahsedilen sürtünme şekillerinden ayrılır çünkü partikül şekli, boyutu, hareketliliği ve özellikle partiküllerin kristalografik karakterizasyonları ayrı bir sınıfta yer alır (Mang 2007).

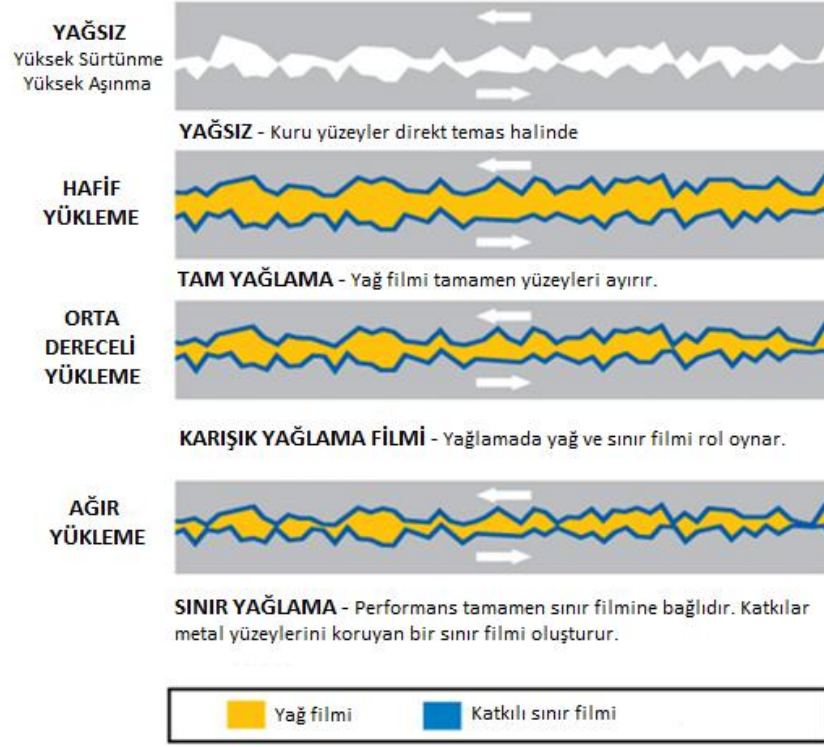


Şekil 3.2: Hidrostatik yağlama (Mang 2007)



Şekil 3.3: Hidrodinamik yağlama
(a) Yuvarlanma, (b) Kayma (Mang 2007)

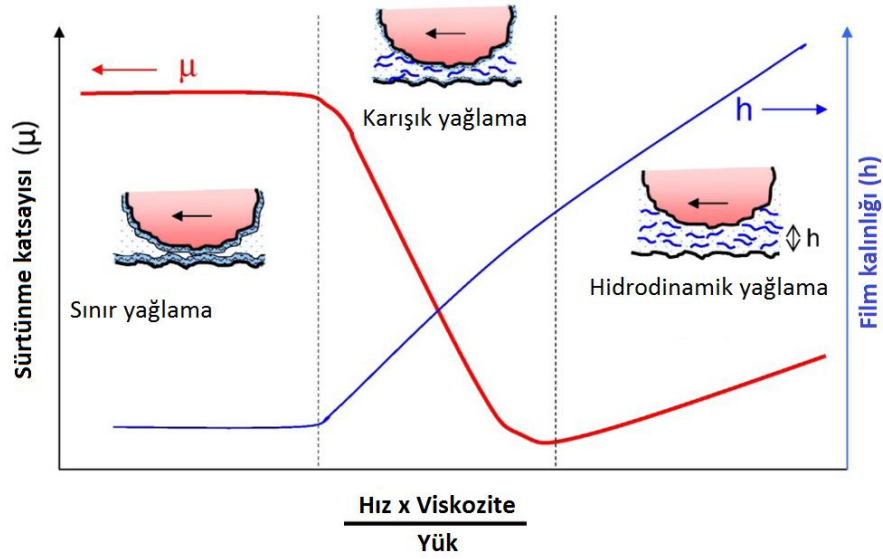
Farklı sürtünme davranışlarına göre yağlama durumları Şekil 3.4' te gösterilmiştir. Burada yağsız kuru sürtünme durumunda, hidrodinamik yağlama (tam yağlama) durumunda, hidrodinamik yağlamanın ve sınır yağlamanın birlikte gerçekleştiği karışık yağlama durumunda ve sadece sınır yağlama durumunda oluşan yağ filmi ile yüzeylerin nasıl bir davranış gösterdiği ifade edilmiştir.



Şekil 3.4: Sürtünme durumlarına göre yağlama şekilleri (Hartford 2015)

Genel yağlama rejimleri Şekil 3.5' teki gibi Stribeck eğrileri kullanılarak gösterilir. Bu eğriler; hızın, akışkan viskozitesinin ve yükün bir fonksiyonu olarak çizilen sürtünme katsayısı ve akışkanın film kalınlığı eğrilerini ifade etmektedir. "[$(\text{Hız}) \times (\text{Viskozite})$] / (Yük)" ifadesi Hersey sayısı olarak nitelendirilir. Bu ifadedeki hız, açısal hız; viskozite, dinamik viskoziteyi ve yük ise birim alana uygulanan kuvveti (basınç) göstermektedir. Hersey sayısı arttıkça sırasıyla sınır yağlama, karışık yağlama ve hidrodinamik yağlama meydana gelir. Sınır yağlama bölgesinde Hersey sayısındaki artışa karşılık sürtünme katsayısı ve film kalınlığında herhangi bir değişiklik görülmemektedir. Sırasıyla karışık ve hidrodinamik yağlama bölgelerinde film kalınlığında lineer sayılabilecek bir artış olduğu gözlenmektedir. Sürtünme katsayısında ise karışık yağlama bölgesinde lineere yakın bir azalma,

ardından hidrodinamik bölgeye geçince film kalınlığına göre daha az eğimli bir artış görülmektedir.



Şekil 3.5: Genel yağlama rejimleri (Sotres 2013)

3.3 Motor Yağlarının Sınıflandırılması

3.3.1 Mineral Bazlı Motor Yağları

Ham petrolün distile edilmesi ile elde edilen baz yağların deterjan, dispersan, viskozite geliştirici, aşınma önleyici vb. katkıları ile harmanlanmasıyla üretilen motor yağlarıdır. Sentetik bazlı motor yağlarına göre daha ucuz fiyatlara temin edilebilirler ve ortalama bir performans sunarlar.

3.3.2 Sentetik Bazlı Motor Yağları

Sentetik yağlar laboratuvarlarda katkı maddeleri kullanılarak çeşitli kimyasal işlemler sonucunda üretilen yağlardır. Doğal yapıya sahip diğer yağların görev yapamayacakları koşullarda yağlamayı yapabilmek amacıyla üretilirler. Sentetik esaslı yağlar mineral yağlara oranla daha iyi performans ve daha uzun süreli kullanım sunarlar, daha yüksek veya daha düşük sıcaklıklara ve yüksek basınca dayanıklıdır. Sentetik yağlar ileri teknoloji ile yoğun işlemlerden geçerek üretildiği için fiyatı mineral yağlardan fazladır.

Sentetik bazlı motor yağlarının mineral bazlı yağlara göre avantajları arasında şunlar sayılabilir:

- Sentetik bazlı motor yağlarının daha yüksek orandaki saflığı sayesinde, bünyesinde sülfür içeren bileşenler ya da dengesiz hidrokarbonlar gibi istenmeyen bileşenler daha azdır.
- Sıvı sürtünme seviyesini daha dengeli ve tutarlı molekül yapısı ile düşürür.
- Motor üreticilerinin isteklerini karşılamak için güvenilir bir şekilde uyarlanabilir.
- Sentetik yağlar, günümüz gelişmiş motorlarında karşılaşılan koşullardan daha zorlu durumlar altında çalışmak üzere tasarlanmıştır.

3.3.3 Yarı Sentetik Motor Yağları

Yarı sentetik yağlar, mineral ve sentetik bazlı yağların karışımıdır ve sundukları performans aralığı bu iki yağ çeşidinin sahip olduğu performansların arasındadır. Ayrıca fiyat aralığı da mineral ve sentetik yağ fiyatlarının arasındadır. Genellikle %70-80 mineral yağa %20-30 sentetik yağ karıştırılarak elde edilirler.

3.4 Motor Yağlarında Kullanılan Katkı Maddeleri

Motor yağlarında kullanılan katkı maddeleri; yağlara istenilen bazı özellikleri kazandırmak, mevcut özelliklerini geliştirmek, istenmeyen bazı özelliklerini en aza indirmek veya yok etmek için katılan ve bu sayede elde edilen yağlayıcıların kimyasal yapısının ve fiziksel özelliklerinin üründen istenen seviyeye gelmesini sağlarlar. İstenilen bu özellikleri yağa kazandırmak adına birkaç katkı maddesi de kullanılabilir. Katkı maddeleri kapsamında genel olarak; antioksidanlar, deterjanlar, dispersanlar, viskozite index arttırıcılar, akma noktası düşürücüler, korozyon önleyiciler, pas önleyiciler, köpük önleyiciler, sürtünme önleyiciler, aşınma önleyiciler ve aşırı basınç katkıları sayılabilir.

Piyasada çeşitli marka ve türlerde motor yağları satılmaktadır. Bu yağların hepsinin hammaddesi aynı olmasına rağmen; aralarındaki temel farkın, kullanılan

baz yağların kimyasal özelliklerinin farklı olması ve kullanılan katkıların miktar ve türlerinin farklı olmasındandır.

3.4.1 Antioksidanlar

Yağlayıcılar güç aktarımı ve aşınmaya karşı koruma gibi birçok farklı işlevi yerine getirirler. Kullanılmış yağların tipik karakteristikleri, renginin bozulması ve yanık kokusudur. Oluşan asidik oksidasyon ürünleri, korozyon gibi yağlayıcı problemleri antioksidanlar kullanılarak yok edilir ya da geciktirilir. Oksidasyon sonucu yağda hidroperoksit ve serbest radikaller oluşur. Bunun dışında oksidasyonu hızlandıran metalleri engelleyen bazı katkıları da kullanılır. Genel çerçevede üç tip antioksidan mevcuttur: serbest radikal engelleyiciler, hidroperoksit ayrıştırıcılar ve metal durdurucular (Mang, 2007).

3.4.2 Viskozite (Viskozite İndex) Düzenleyiciler

Akışkanların viskoziteleri sıcaklık değişiminden direkt etkilenirler. Mesela akışkan sıcaklığı arttıkça viskozitesinde azalma gözlenecektir. Yağların da bu sıcaklık değişiminden etkilenmesini en aza indirmek için viskozite düzenleyici katkı maddeleri kullanılır. Multigrade (çok dereceli) yağlarda, geniş sıcaklık aralığında viskozitenin fazla değişmemesi ve belli sınırlar içerisinde kalması gerekmektedir.

Viskozite düzenleyici katkıları polimer bazlı moleküllerdir. Bu polimerler, yağların düşük sıcaklıklardaki viskozitelerini çok az arttırırken yüksek sıcaklıklardaki viskoziteyi de oldukça arttırmaktadır. Bu sayede kışın düşük viskoziteli, yazın da yüksek viskoziteli farklı yağ kullanımı ihtiyacı ortadan kalkmakta ve dört mevsim kullanılabilir çok dereceli yağlar ortaya çıkmaktadır.

3.4.3 Deterjanlar ve Dispersanlar

Yağlayıcılara ilave edilen deterjanlar motorun yüksek sıcaklık bölgelerinde atıkların ve yabancı maddelerin oluşmasını engeller. Bu sayede yüzeylerin temiz

kalması, oksidasyon ve korozyonun meydana gelmesinin engellenmesi sağlanır. Kirlilik çökelmelerini önleyerek diğer bir ifade ile dispersan görevi de yapmış olurlar.

Dispersanlar, katı hale gelen kirleri yağ içerisinde süspanse ederek çökelmeyi ve reçineleşmeyi önleyen katkı maddeleridir.

3.4.4 Akma Noktası Düşürücüler

Akma noktası düşürücüler, yağların düşük sıcaklıklarda akışkanlıklarını devam ettirmelerini sağlar. Bu katkı maddeleri genellikle organik moleküllerden oluşurlar. Bu moleküllerin bazıları şunlardır: alkilnaftalen, polimetakrilat, polifumerat, stiren ester, pitalik asit esterler vb.

3.4.5 Korozyon Önleyiciler

Hemen hemen tüm metaller korozyona uğrarlar. Motordaki metal kısımların asidik bileşenlerden korunması için korozyon önleyici katkı maddeleri kullanılır. Bu katkı maddeleri metal yüzeylerde oluşturdukları tabaka ile zararlı bileşikleri bu yüzeylerden uzak tutarlar.

3.4.6 Pas Önleyiciler

Demir esaslı malzemeler ile ortamdaki suyun bileşik oluşturarak korozyon meydana getirmesi paslanma olarak ifade edilir. Pas önleyiciler de tam olarak metal yüzeylerinden suyu uzak tutarak korozif etkileri engellemiş olurlar. Bazı pas önleyici bileşikler: sülfonatlar, amin fosfatlar, esterler ve eterlerdir.

3.4.7 Köpük Önleyiciler

Bir akışkan çalkalandığında veya araç tankına pompalandığında içeride hapsolan havadan dolayı üründe köpürmeler meydana gelir. Yağın içinde meydana

gelen köpürmeler yağlayıcılık özelliğini azaltır. Ürüne nüfuz eden bu hava bazı bileşiklerin oksitlenmesine yol açabilir. Pas önleyici, deterjan gibi maddeler de suyla biraraya geldiklerinde köpürmeye neden olabilirler. Köpük oluşumu viskoziteyle direkt bağlantılıdır. Yağın viskozitesi düşükse hemen yok olan büyük köpükler meydana gelir. Eğer viskozite yüksekse küçük ama hemen kaybolmayan köpükler oluşur. Köpürmenin tamamen önlenmesi veya en aza indirilmesi için köpük önleyici katkı maddeleri kullanılır.

3.4.8 Sürtünme Düzenleyiciler

Sürtünme düşürücü katkı maddeleri, motor yağları ile boru yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltarak titreşimsiz daha rahat bir akış sağlarlar. Yağdaki sürtünme katsayısını arttıran katkı maddeleri de yakıt ekonomisi sağlarlar.

3.4.9 Aşınma Önleyiciler ve Aşırı Basınç Katkı Maddeleri

Aşınma önleyici ve aşırı basınç katkı maddeleri, yağlayıcıların yüzeyler arasında oluşturduğu film direncini arttırarak kopmasını ve bu sayede yüzeylerin birbiri ile temasını engeller. Aşınma önleyici katkı maddelerinin bazıları organik fosfitler, sülfürlenmiş olefinler, çinko ditiyofosfatlar, alkali bileşikler ve polar moleküllerdir. Çinko ditiyofosfatlar yağlarda kullanılır ve oksidasyon, aşınma, korozyon engelleyici olarak birçok amaç için kullanılır.

4. MOTOR YAĞI ANALİZLERİ

Motor yağlarının fiziksel, kimyasal ve tribolojik durumları hakkında bilgi edinmek için birçok analiz yapılmaktadır. Bu analizlerin en önemlileri: yağdaki element analizi, viskozite, TAN (Toplam Asit No) - TBN (Toplam Baz No), parlama noktası, oksidasyon, nitrasyon, kurum miktarı ve nem oranıdır.

4.1 Element Analizi

Motor yağlarının özelliklerini etkileyen elementler üç sınıfta incelenebilir.

- Kirletici elementler; çevresel kaynaklıdır (Si, Na, K).
- Yağdaki katkı maddeleri kaynaklı elementlerdir (Ca, Mg, P).
- Aşınma elementleri; motor ve motor parçalarından kaynaklanan elementlerdir (Fe, Cu, Al) (Avcı 2009).

Demir: Yağ analizlerinde en çok rastlanılan ve en dikkat edilmesi gereken elementtir. Yağlama sisteminin ve motor parçalarının hemen hemen her yerinde bulunur. Yapılan çalışmalarda yağ değişim sürelerini belirlerken en önemli metal olduğu ifade edilmektedir.

Alüminyum: Genellikle pistonlarda, yataklarda ve segmanlarda meydana gelen aşınmalar sonucu ortaya çıkar. Motor içerisinde tıkanmalara sebep olabileceğinden dolayı verimde düşüşler ve fazla yağ tüketimleri gibi durumlar kaçınılmaz olur.

Bakır: Dişli mekanizmalarda, piston ve kam yataklarında daha sık rastlanmaktadır. Korozif etkiler yaratma potansiyeli olduğundan bakır seviyesinin kontrolü önem arz etmektedir.

Silisyum: Yağlama sisteminde çok sık görülür. Daha çok hava kaynaklı olarak ortamda bulunmaktadır. Dişli sistemlerde, contalarda fazlaca bulunmaktadır.

Kurşun: Genel olarak yataklardan ya da sızdırmazlık elemanlarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca dişli sistemlerinde de görülebilmektedir.

Krom: Motor parçalarında kaplama görevini yerine getirdiği için krom kaplı piston ve segmanlar asıl kaynak olarak gösterilebilir. Krom oranının artması yağ kalitesinde kötüleşme olduğunu göstermektedir.

Yağ içerisinde bulunan bu elementlerin analizleri "Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre (AAS)" cihazı ile yapılmaktadır.

4.2 Viskozite

Yağın en önemli özellik ve analizlerinden biri olan viskozite, yağın fiziksel durumu hakkında direkt bilgi vermektedir. Viskozite bir akışkandaki iç sürtünmenin ölçüsüdür. Viskozitedeki aşırı artış ve düşüşler gereksiz ısı üretimi ve enerji tüketimine sebep olmaktadır. Çalışma sıcaklıklarına göre yağın viskozitesinde önemli oranlarda bir değişim olmaması arzu edilir. Bu sayede çeşitli sıcaklıklardaki makine parçalarında gerekli film kalınlığının korunması amaç edinilmiştir. Eğer motor yağının viskozitesi çok düşük ise akışkanlık derecesi yüksek olacağından motor parçalarında istenilen oranda yağlama gerçekleştirilemez ve kuru kalan yüzeylerde aşınmalar meydana gelecektir. Farklı bir şekilde de yağ viskozitesi çok yüksek olursa yağın akıcılığı azalacağından motor parçalarına yağın pompalanması iletmesi zorlaşacaktır.

Yağın içerisine yakıt karışması, viskozite için gerekli olan katkı maddelerinin yanmış olması ve ilave edilen yağın viskozite katkı maddesinin motor içindeki yağın katkı maddesinden çok daha düşük seviyede olması gibi etkenler viskozitenin azalmasına neden olmaktadır. Bunun aksine, genelde uzun süre kullanılmış motor yatakları içinde eskiden var olan büyük orandaki kurum miktarı ve diğer atıklar, motorun yüksek çalışma ısısından veya uzun süreli çalışmasından dolayı oluşmuş oksitli atıklar ve yağa su karışımından dolayı emülsiyon oluşması viskozitenin artış sebepleri arasında sayılabilir. Ayrıca ilave edilen yağın, motor içinde var olan yağdan daha yüksek viskoziteye sahip olması da bir etkendir. Çalışma sırasında gözlenen bir viskozite artışı, yağın kısmen bozulduğunu gösterebilmektedir.

Üretici firmalar viskozitede kabul edilebilir limitlerde değişiklikleri her zaman için çalışmalarında göz önünde bulundururlar. Genellikle yağlama yağı viskozitesinde %25 oranında artış ve düşüş görülmesi maksimum limit olarak kabul edilmiştir (Avcı 2009).

Motor yağlarının viskoziteleri baz alınarak uluslararası bazı sınıflandırmalar mevcuttur. Bu sınıflandırmaların bazıları şunlardır; API (American Petroleum Institute), ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobile), SAE (Society of Automotive Engineers). Bu sınıflandırmalardan en yaygın olarak kullanılanı SAE' dir. Bu sınıflandırmada derece "W" ile ayrılan iki sayıdan oluşmaktadır. Burada "W" yağın düşük sıcaklık viskozitesini göstermekle birlikte winter yani kış anlamındadır. Örneğin "10W40" taki 10 sayısı yağın viskozite durumunu belirtir. Bu sayı ne kadar düşükse yağ o kadar ince demektir. İkinci sayı ise yağın yüksek ısı viskozitesini ifade eder. Bu sayı ne kadar yüksekse, yağ sıcakken o kadar viskoziteli yani kalın demektir.

Viskozite ölçümlerini ifade ederken birçok birim kullanılmaktadır. Bu birimlerin başında gelen ve yağ üreticilerinin en sık kullandığı birim Centistoke (cSt, mm^2/s)' dur. Diğer birimler ise Engler derecesi, Centipoise (cp), Redwood Seconds ve Saybolt Seconds' dır. 40 °C ve 100 °C viskozite ölçümlerinin bazı avantajları bulunmaktadır. 40 °C viskozite ölçümü; yağ oksidasyonu ve termal yorgunluğun erken teşhisinde, yanlış kullanılan yağın tespitinde avantaj sağlar. Aynı şekilde 100 °C viskozite ölçümü de; viskozite indeksi geliştirici katkı maddesindeki azalmanın tespitinde avantaj sağlamaktadır.

Yağların 40 °C ve 100 °C' deki viskozite değerlerini belirlemek için ASTM D445, ASTM D446, ASTM D130 ve ASTM D812 standartlarına göre belirli sıcaklık aralıklarında ve viskozite aralıklarında çalıştırılan Kinematik Viskozimetreler kullanılmaktadır.

Değişen sıcaklık değerleriyle yağların viskozitesindeki değişimin ölçüsü Viskozite İndeksi (VI) ile ifade edilir. VI ne kadar düşük olursa, sıcaklık ile yağın viskozitesindeki değişim o kadar büyük olur. Yüksek VI değerleri ise yağın sıcaklık değişimlerinden çok fazla etkilenmediğini gösterir.

Viskozite indeksine göre yağlar;

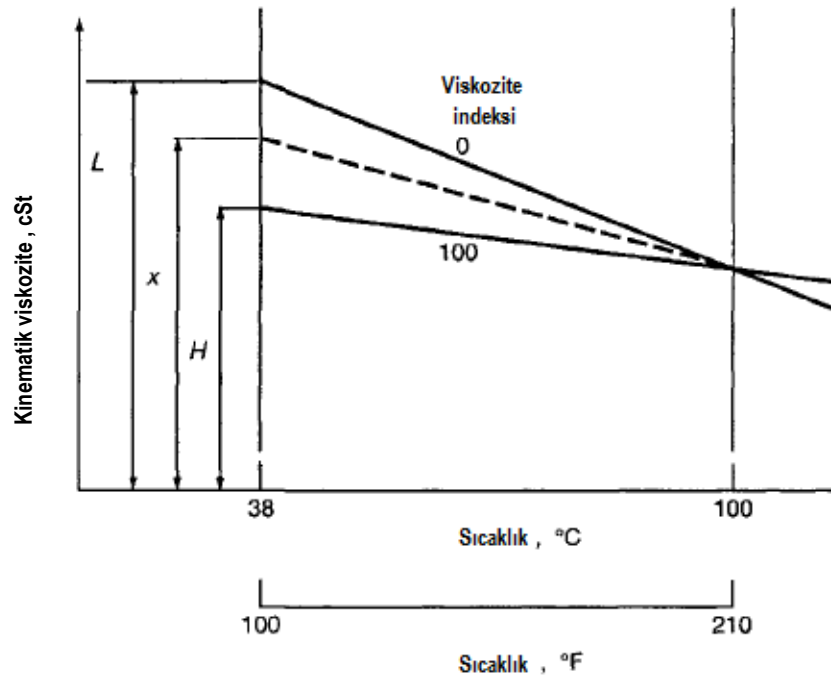
- Düşük derece viskozite indeksine sahip yağlar ($VI < 40$)
- Orta derece viskozite indeksine sahip yağlar ($40 < VI < 80$)
- Yüksek derece viskozite indeksine sahip yağlar ($80 < VI < 100$)
- Çoklu derece viskozite indeksine sahip yağlar ($VI > 100$)

olarak sınıflandırılır.

VI, sıcaklık ile değişimleri dikkate alınarak iki yağın viskozitelerinin belirlenmesidir. Bu yağlardan birinin $VI=0$ diğerinin ise $VI=100$ 'dür. Viskozite indeksi belirlenecek yağın $100\text{ }^\circ\text{F}$ ve $210\text{ }^\circ\text{F}$ 'daki viskozite değerleri deneysel olarak bulunur ve Şekil 4.1'deki viskozite, viskozite indeksi ve sıcaklık ilişkisi dikkate alınarak aşağıdaki formülden VI hesaplanır:

$$VI = \frac{(L - x)}{(L - H)} \cdot 100 \quad (4.1)$$

VI: Viskozite İndeksini, **L:** $VI=0$ olan yağın $100\text{ }^\circ\text{F}$ 'daki kinematik viskozitesini, **H:** $VI=100$ olan yağın $100\text{ }^\circ\text{F}$ 'daki kinematik viskozitesini, **x:** Viskozite indeksi belirlenecek yağın $100\text{ }^\circ\text{F}$ 'daki kinematik viskozitesini ifade etmektedir.



Şekil 4.1 Viskozite - Viskozite İndeksi - Sıcaklık İlişkisi (Hamrock 2004)

4.3 TAN ve TBN (Toplam Asit Sayısı ve Toplam Baz Sayısı) Analizi

Motor yağları, kullanımları süresince dış etkilere maruz kalırlar. Bu etkilerin ışığında meydana gelen en önemli sonuç, karbon ve hidrojen atomlarından meydana gelen moleküllere oksijen girişi ile yağın asidik bir yapıya dönüşmesidir. Oksidasyon sürecinde farklı yapılarda oluşan bu asidik bileşimler motor parçalarının yüzeylerinde aşınmalara ve korozyona sebep olmaktadır. Bu sebepten yağın asitleşme dengesini sağlayan kalsiyum, magnezyum, çinko ve fosfor bileşiklerini içeren alkalin katkı maddeleri kullanılır.

TAN (Toplam Asit Sayısı) değeri, yağda bulunan asidik bileşiklerin miktarının ölçülmesi ile elde edilir. Yağda meydana gelen oksidasyon ve yanmalar TAN değerinde yükselmeye sebep olur. TAN değerinin yüksek olması yağdaki asidik oluşumların nötralize edilmesinin zorlaştığını gösterir.

TBN (Toplam Baz Sayısı) değeri ise, 1 gr yağ içerisindeki asidik oluşumları nötralize edecek potasyum hidroksit (KOH) miktarını ifade etmektedir. Daha çok yüksek sülfürlü dizel yakıtların korozyon etkilerini belirlemede dikkate alınmaktadır. TBN değeri, dizel araçlarda motorinin içerdiği kükürt sebebiyle yağın alkanite seviyesinin ne seviyelerde olduğunu bilmek açısından önemlidir. TBN değeri, yağ değişim periyotlarını belirlemede önemli rol oynar. TBN değerinin ilk değerinin %50 altına düşmesi durumunda yağın değiştirilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Ayrıca tipik motor yağlarının TBN değerleri 5-7 mgKOH/g arasında değişirken, yüksek kükürtlü yakıt kullanılan gemi makinelerinin yağlarında TBN aralığının 35-40 mgKOH/g olabileceği belirtilmektedir (Avcı 2009).

"Potansiyometrik Titrator" cihazı ile ASTM D2896, ASTM D664, ISO 3012, ISO 3771 ve EN 12634 standartlarına uygun olarak Toplam Asit No (TAN) ve Toplam Baz No (TBN) ölçümleri yapılabilmektedir.

4.4 Parlama Noktası Testi

Motor yağları ısındıkça bazı bileşenlerde buharlaşma meydana gelir. Parlama noktası, yağın laboratuvar şartlarında alev oluşturduğu sıcaklıktır. Parlama noktası

sayesinde kullanılmış bir yağın (motorin, benzin gibi yakıtlar ile) kirlilik derecesi tespit edilir. Yağın yakıt ile kirlenmesi yakıt sisteminde sorunlar oluştuğunu gösterir ve mümkün olan en erken zamanda yağ değişimi yapılmalıdır. Yağın parlama noktasında ilk değerinden oldukça fazla düşük bir değer gözlenirse, yağda yakıt kirliliği olduğu anlaşılır ve sistemde dolaşan yağ basıncında da yükselme gözlenir. Parlama noktasının ilk değerinden %30 ve daha fazla miktarda düşüşler yüksek oranda bir kirliliğin olduğunu ifade etmektedir (Avcı, 2009).

Parlama Noktası testi ASTM D92 ve IP36 standartlarına uygun olarak "LINETRONIC Oillab 670SA Parlama Noktası Test" cihazı ile gerçekleştirilebilir.

4.5 Oksidasyon

Motor yağlarında dikkat edilmesi gereken en önemli kriterlerden biri de oksidasyondur. Yağın çalıştığı ortam oksidasyonun meydana gelmesi için çok elverişlidir. Hava ve motor yağının teması yüksek sıcaklığın da etkisi ile yağda oksidasyon oluşumuna sebep olmaktadır. Oksidasyon sonucu oluşan asidik bileşikler de karterde birikir. Oksidasyon sürecini en çok hızlandıran parametre yüksek sıcaklıktır. Oksidasyon sonrası atıklar yağın viskozitesinde artışa sebep olmaktadır. Motor parçalarının içerdiği bazı elementler (demir, bakır, kurşun vb.) oksidasyon sürecini hızlandırmaktadır. Bunun yanında oksijen yoğunluğu yağda oksidasyon oluşumunu hızlandırıcı etki göstermektedir. Sentetik yağlar katkı maddelerinin etkisi ile madeni yağlara oranla oksidasyona karşı daha fazla dirençlidirler.

4.6 Nitrasyon

Bir çeşit oksidasyon olarak ifade edilen nitrasyon, yanma sırasında azotun oksidasyonu sonucu ortaya çıkan azot oksit (NO_x) bileşiklerinin yağda tepkimelere girmesi ile oluşur. Nitrasyon sonucu oluşan bileşikler yağı inceltir ve yağlama kalitesini düşürür. Artan nitrasyon ile filtre tıkanıklıkları, sübap piston tortulanmaları meydana gelmektedir. İlerleyen süreçte de bu sebeplerden dolayı araçta istenmeyen arızalar görülmektedir.

4.7 Kurum miktarı

Motor yağının yağlama kabiliyetinin en büyük düşmanlarından biri de yağ içerisindeki kurumdur. Birçok yağ ve motor üreticisi yağ içerisinde bulunan kurumun oranının belirli bir değere kadar kabul edilebilir olduğunu ifade etmiştir.

ASTM E2412 standartlarına uygun olarak çalışan "FTIR (Infrared Spektrofotometre)" cihazı ile yağda moleküler analiz dışında oksidasyon, nitrasyon ve kurum oranı ölçümleri yapılabilmektedir.

4.8 Nem oranı

Motor yağının içerisindeki su, yağda oksitlenmeye sebep olur. Bu nedenle yağ içerisinde mümkün olduğu kadarıyla sudan kaçınılmalıdır. Yağdaki su miktarı % veya ppm ile ifade edilmektedir ve üreticiler tarafından fazla su oranına kesinlikle müsaade edilmemesi gerektiği belirtilmiştir.

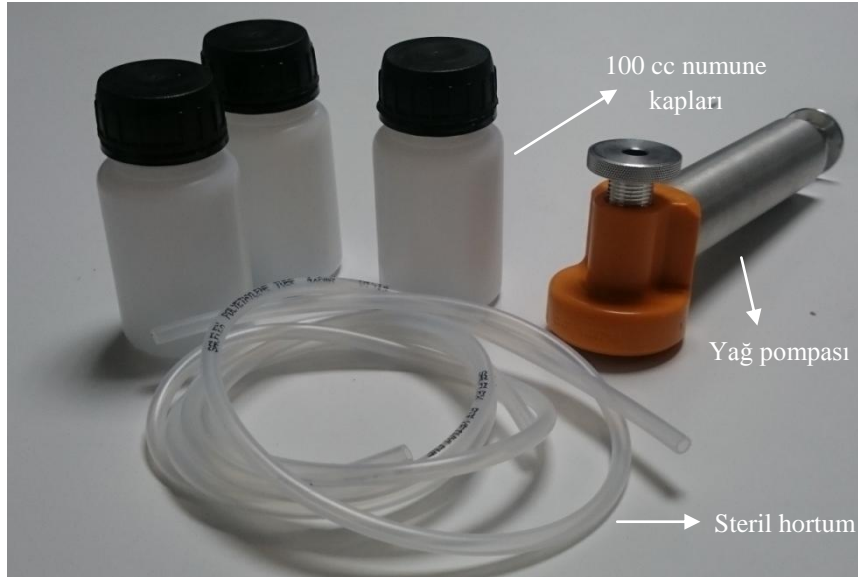
Yağdaki su oranı ASTM D6304 standartlarına uygun çalışan "Nem (Su) Ölçer" ile tespit edilmektedir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada, motor yaşına bağlı olarak kullanım süresi ile motor yağının viskozite değişimleri tespit edilmiştir. Araçlardan alınan numunelerin viskozite analizleri yapılarak yağın viskozite değişimine bağlı durumu belirlenmiştir.

5.1 Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Çalışma kapsamında, Denizli İl Emniyet Müdürlüğü'nde çalışan farklı motor yaş aralığına (130000-265000 km aralığında) sahip 4 adet Ford Connect 1.8 TDCI araç takip edilmek üzere seçilmiştir. Seçilen bu araçlar yaklaşık olarak günlük 100-150 km yapmakta olup şehir içi kullanılmaktadır. 130.000-165.000 km aralığında ve 230.000-265.000 km aralığında 2'şer araç yer almaktadır. Araçlardan alınan numunelere viskozite analizleri yapılarak yağın viskoziteye bağlı durumu belirlenmiştir. Karterden yağ numunesi almak için Şekil 5.1'deki yağ pompası, steril hortumlar, 100 cc lik numune kapları kullanılmış ve Şekil 5.2'deki gibi herbir numune için ayrıntılı raporlama ve etiketleme yapılmıştır.



Şekil 5.1 Yağ numunesi alınırken kullanılan ekipmanlar



Şekil 5.2 Numunelerin etiketlenmesi

Çalışmanın başlangıcında, tüm araçlara yeni Mobil Super 3000 Formula FE 5W30 Tam Sentetik Motor Yağı konulmuş, yağ ve hava filtreleri de yenilenerek araçların takibi başlatılmıştır. Hiç kullanılmamış motor yağının analizleri yapılmış olup analiz sonuçları Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1 Araçlarda kullanılan motor yağının orjinal haldeki bazı özellikleri

Performans Seviyesi	Viskozite Derecesi	Viskozite (100 °C)	Viskozite (40 °C)	Parlama Noktası (°C)	Yoğunluk (15°C, kg/lt)	Akma Noktası (°C)
ACEA A5/B5 API SL Ford WSS-M2C913-C Ford WSS-M2C913-D	SAE 5W30	10.6 cSt	58.6 cSt	225	0.85	-51

Kullanılan araçların özellikleri, motor yaşları ve numune alımı yapılan periyotlar ayrıntılı bir şekilde Tablo 5.2' de gösterilmiştir.

Tablo 5.2 Değerlendirmeye alınan araçların özellikleri ve yağ numunesi alma periyotları

Yaş Grubu (x1000)	Araç No	Marka Tipi	Model	Motor yaşı (km)	Yağ Değişim Tarihi	Numune No					
						1.	2.	3.	4.	5.	6.
130-165 km	A1	Ford Connect K210S 1.8 TDC	2013	134014 km	14.07.2015	144627 km (+10613)	145670 km (+11656)	146679 km (+12665)	148649 km (+14635)	149755 km (+15741)	150766 km (+16752)
	A2	Ford Connect K210S 1.8 TDC	2013	146274 km	14.07.2015	157916 km (+11642)	160064 km (+13790)	161701 km (+15427)	162837 km (+16573)	164201 km (+17927)	165551 km (+19277)
230-265 km	B1	Ford Connect K210S 1.8 TDCİ	2010	253507 km	13.07.2015	262260 km (+8753)	264410 km (+10903)	265820 km (+12313)	266916 km (+13409)	269289 km (+15782)	270833 km (+17326)
	B2	Ford Connect K210S 1.8 TDCİ	2010	258110 km	14.07.2015	267710 km (+9600)	268952 km (+10842)	270603 km (+12493)	271070 km (+12960)	272163 km (+14053)	275443 km (+17333)

5.2 Deneyin Yapılışı

Çalışmanın başlangıcında, tüm araçlara yeni Mobil Super 3000 Formula FE 5W30 Tam Sentetik Motor Yağı konulmuş, yağ ve hava filtreleri de yenilenmiştir. Farklı yaş gruplarındaki tüm araçlardan yaklaşık olarak 10.000 km sonunda ilk numuneler alınmıştır. Çalışma kapsamındaki araçlar sürekli çalışma durumunda oldukları için 10.000 km'den sonra, yaklaşık her 1.000 km' de (11.000 km, 12.000 km,) yağ numune alımları devam etmiştir. Numuneler 100 cc lik numune kaplarında hava ile temas etmeyecek şekilde muhafaza edilmiş ve analizlerini yaptırmak üzere RABSAN Makina Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.' ne gönderilmiştir.

Viskozite analizleri Herzog HVM-472 Viskozimetresinde yapılmıştır. Viskozimetre ASTM D445, ISO 3104, EN ISO 3104 standartlarına göre 0,5-5000 cSt viskozite aralığında ve 20-150 °C sıcaklık aralığında çalışmaktadır. Çalışma hassasiyeti; 100 °C' ye kadar ± 0.01 °C, 100 °C' den yüksek değerlerde ± 0.03 °C' dir.

Yağ numunesi alınırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus, numuneye yabancı madde girişini önlemektir. Dikkatli ve temiz şartlarda alınmayan numunelerin analiz sonuçları yanıltıcı olacaktır. Bunun önüne geçmek için steril hortumlarla numuneler alınıp hava ile teması önleyecek numune kapları kullanılmıştır. Numunelerin motor durdurulduktan sonra 10-20 dakika arasında alınmış olması, yağın sıcak ve homojen yapıda olup sistemdeki yağın gerçek özelliklerini göstermesi bakımından önemlidir. Şekil 5.3' te çalışma süresince gerçekleştirilen numune alımı gösterilmektedir.



Şekil 5.3 Numune alımı

6. BULGULAR

Farklı motor yaş grubuna sahip araçlardan alınan yağ numunelerine 40 °C ve 100 °C' de viskozite analizleri yapılmıştır. Elde edilen viskozite analiz sonuçları, farklı motor yaş gruplarında motor yağı kullanım sürelerine göre viskozitedeki değişimi göstermektedir.

Çalışmada kullanılan 4 araçtan alınan yağ numunelerinin viskozite analizlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 6.1' de verilmiştir.

Tablo 6.1 Viskozite Analiz Sonuçları

Yaş Grubu (x1000)	Araç No	Motor yaşı (km)	Numune No					
			1.	2.	3.	4.	5.	6.
			V40-V100 (cSt)	V40-V100 (cSt)	V40-V100 (cSt)	V40-V100 (cSt)	V40-V100 (cSt)	V40-V100 (cSt)
130-165 km	A1	134014 km	52,5 - 9,5	52,3 - 9,5	52,2 - 9,5	51,4 - 9,4	51,7 - 9,4	51,3 - 9,3
	A2	146274 km	54,3 - 9,6	54,2 - 9,6	54,6 - 9,6	55,4 - 9,8	55,9 - 9,9	56,5 - 10,0
230-265 km	B1	253507 km	54,5 - 9,8	54,5 - 9,8	54,2 - 9,8	52,5 - 9,7	53,6 - 9,7	53,7 - 9,8
	B2	258110 km	52,1 - 9,5	52,6 - 9,5	52,4 - 9,4	52,3 - 9,4	52,4 - 9,4	53,5 - 9,8

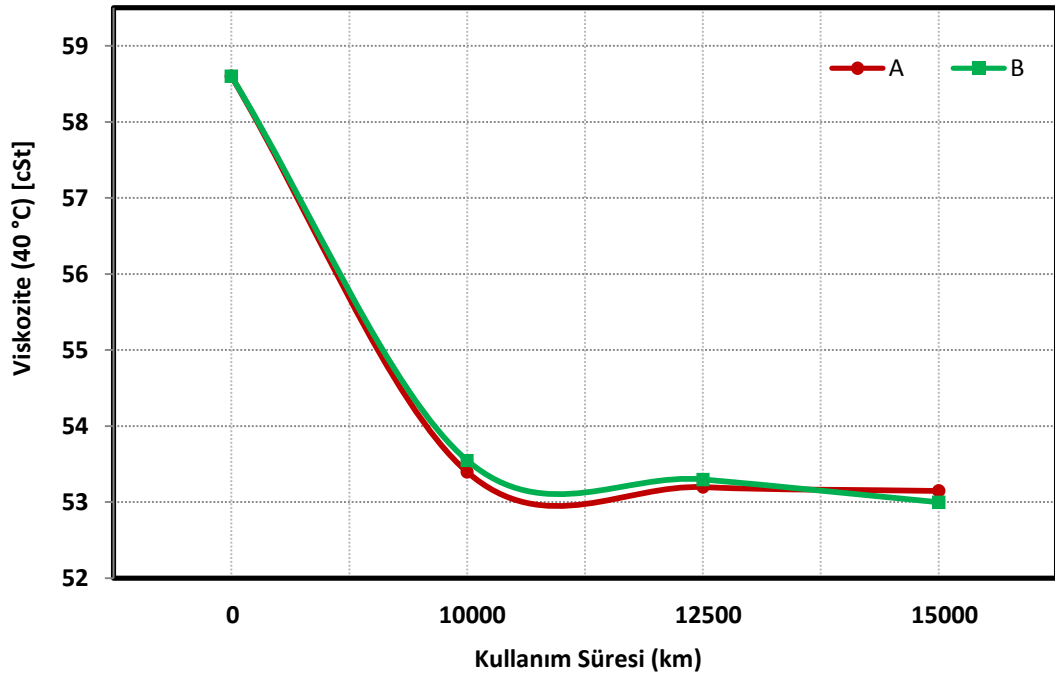
Araçların tamamından istenilen zamanlarda numune almak mümkün olmadığı için Tablo 5.2' deki ortak kullanım süreleri dikkate alınarak Tablo 6.2 oluşturulmuştur. Tablo 6.2' de görüleceği üzere; araçların yaklaşık olarak aynı kullanım sürelerinde (≈ 10000 km, ≈ 12500 km, ≈ 15000 km) motor yaşına bağlı olarak viskozite değerleri yer almaktadır.

Daha sağlıklı bir karşılaştırma yapmak için aynı motor yaş grubunda yer alan araçların 40 °C ve 100 °C' deki viskozite değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Bu ortalama değerler; A1 ve A2 araçlarının bulunduğu birinci grupta A olarak, B1 ve B2 araçlarının bulunduğu ikinci grupta ise B olarak ifade edilmiştir. Şekil 6.1 ve Şekil

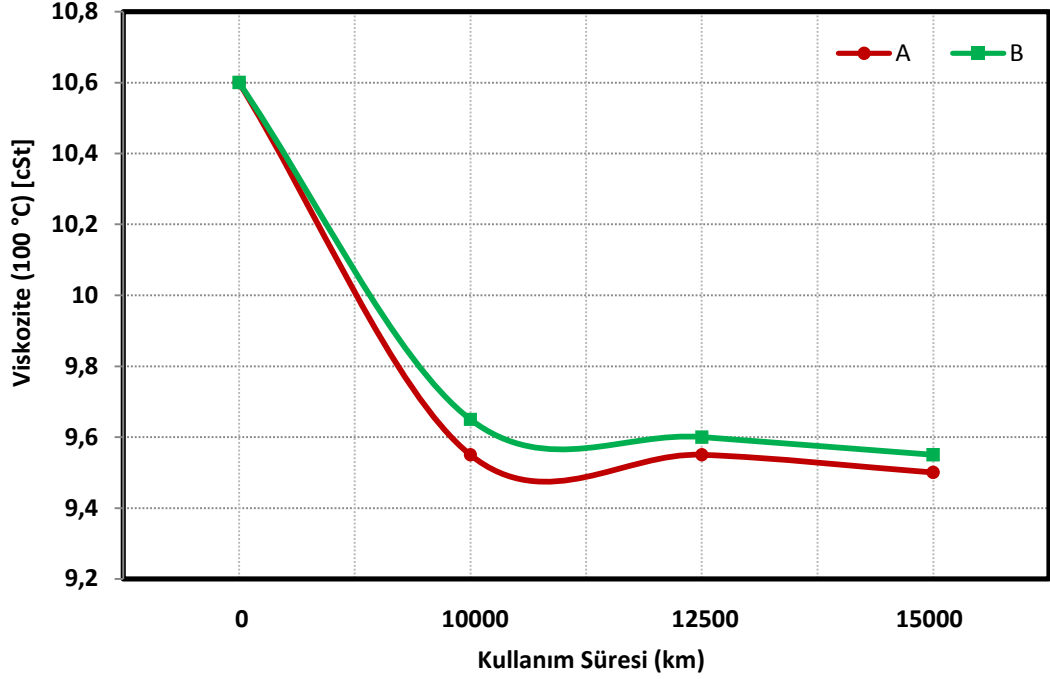
6.2' de farklı motor yaşlarına sahip araçların aynı kullanım sürelerine göre 40 °C ve 100 °C' deki viskozite değişimleri gösterilmiştir.

Tablo 6.2 Araçların aynı kullanım sürelerindeki viskozite değerleri

Yaş Grubu (x1000)	Araç No	Motor yaşı (km)	Kullanım Süresi		
			≈ 10000 km	≈ 12500 km	≈ 15000 km
			V40 - V100 (cSt)	V40 - V100 (cSt)	V40 - V100 (cSt)
130-165 km	A1	134014 km	52,5 - 9,5	52,2 - 9,5	51,7 - 9,4
	A2	146274 km	54,3 - 9,6	54,2 - 9,6	54,6 - 9,6
	A		53,4 - 9,55	53,2 - 9,55	53,15 - 9,5
230-265 km	B1	253507 km	54,5 - 9,8	54,2 - 9,8	53,6 - 9,7
	B2	258110 km	52,6 - 9,5	52,4 - 9,4	52,4 - 9,4
	B		53,55 - 9,65	53,3 - 9,6	53,0 - 9,55



Şekil 6.1 Farklı motor yaşlarına sahip araçların kullanım sürelerine göre viskozite değişimi (40 °C)



Şekil 6.2 Farklı motor yaşlarına sahip araçların kullanım sürelerine göre viskozite değişimi (100 °C)

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2' den görüldüğü üzere, her iki motor yağ grubunda da, araçların kullanım süresi arttıkça yağların 40 °C ve 100 °C' deki viskozite değerleri düşmektedir.

Hiç kullanılmamış motor yağının 40 °C' deki viskozite değeri, Tablo 5.1' de de görüleceği üzere 58,6 cSt' dir. 10000 km sonra her iki motor yağ grubunda viskozite değeri yaklaşık 53,5 cSt değerine düşmekte ve %8,7 azalmaktadır. Yağ üretici firmalar bu yağın 10000 km sonra değiştirilmesini önermektedir. Araç kullanım süresi 10000 km' ye göre %25 arttırıldığında (12500 km), yağın viskozitesindeki azalma yönünde gerçekleşen değişim, her iki motor yağ grubunda %0,35 - %0,47 aralığında; %50 arttırıldığında (15000 km) ise yağın viskozitesindeki azalma yönünde gerçekleşen değişim %0,5 - %1 aralığında elde edilmiştir.

Hiç kullanılmamış motor yağının 100 °C' deki viskozite değeri, Tablo 5.1' de belirtildiği gibi 10,6 cSt' dir. Her iki motor yağ grubunda 10000 km sonra viskozite değeri yaklaşık 9,6 cSt değerine düşmekte ve % 9,43 azalmaktadır. Araç kullanım süresi 10000 km' ye göre %25 arttırıldığında (12500 km), yağın viskozitesindeki azalma yönünde gerçekleşen değişim, her iki motor yağ grubunda %0,5; %50 arttırıldığında (15000 km) ise yağın viskozitesindeki azalma yönünde gerçekleşen değişim %0,5 - %1 aralığında elde edilmiştir.

40 °C' deki viskozitesi 58,6 cSt olan kullanılmamış motor yağının, 15000 km kullanımdan sonra viskozite değeri 53 cSt olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde 100 °C' deki viskozitesi 10,6 cSt olan kullanılmamış motor yağının da, 15000 km kullanımdan sonra viskozite değeri 9,5 cSt olarak elde edilmiştir. 15000 km kullanımdan sonra motor yağının 40 °C ve 100 °C' deki viskozite değerlerinde yaklaşık % 9-11 azalma yönünde değişim gözlenmiştir.

7. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, aynı marka (Ford Connect 1.8 TDCI) ve farklı motor yaşlarındaki araçların kullanım süresine göre motor yağı viskozitesindeki değişim deneysel olarak incelenmiştir.

Motor yaşı yaklaşık 150000 km' lerden 250000 km' lere (% 66) artmış olsa da; yağın viskozitesindeki değişim (% 0,25) ihmal edilebilecek düzeydedir.

Aracın kullanım süresi % 50 arttırılsa da (10000 km' ye göre); viskozitedeki azalma yönündeki değişim en fazla % 1 olarak hesaplanmıştır ve bu değişim de ihmal edilebilir.

Kullanılmamış motor yağının 40 °C ve 100 °C' deki viskozite değerlerine göre, 15000 km kullanımdan sonra motor yağının viskozitesinde yaklaşık % 9-11 azalma yönünde değişim olduğu hesaplanmıştır. Bu değişimin literatürde belirtilen limit değerleri ($\pm\%25$) aşmadığı görülmektedir.

8. KAYNAKLAR

Adril, E., Abdullah, S., Ariffin, A. K., Muchtar, A. ve Omar, K., "Comparative study of characteristic of lubricant oils in gasoline and compressed natural gas engines", *European Journal of Scientific Research*, 30, 282-293, (2009).

Al-Ghouti, M. A., Al-Degs, Y. S. ve Amer, M., "Application of chemometrics and FTIR for determination of viscosity index and base number of motor oils", *Talanta*, 81, 1096-1101, (2010).

Avcı, A., "Bir Kargo Firmasına Ait 6 Adet Diesel Aracın Optimum Yağ Değişim Süreçlerinin Ekonomik Etüdü", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2009).

Dhar, A. ve Agarwal, A. K., "Experimental investigations of effect of Karanja biodiesel on tribological properties of lubricating oil in a compression ignition engine", *Fuel*, 130, 112-119, (2014).

Dong, L., Liang, X. ve Shu, G., "The influence of lubricating oil on deposits formation in a diesel engine under the operation condition of high power density", *Lubrication Science*, 25, 441-451, (2013).

George, S., Balla, S., Gautam, V. ve Gautam, M., "Effect of diesel soot on lubricant oil viscosity", *Tribology International*, 40, 809-818, (2006).

Gili, F., Igartua A., Luther, R. ve Woydt, M., "The impact of biofuels on engine oil performance", *Lubrication Science*, 23, 313-330, (2011).

Gligorijevic, R., Jevtic, J. ve Jaksic, G., "Contribution of engine oil to diesel exhaust emission and friction reduction", *Tribology*, Fascicle VIII, 1221-4590, (2003).

Hamrock, B. J., Schmid, S. R. ve Jacobson, B. O. (Eds.), *Fundamentals of Fluid Film Lubrication*, Marcel Dekker, New York, (2004).

Hartford, "Lubrication [online]", (2 Aralık 2015), <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~ernesto/S2015/FWLM/Pics/Lubrication/>, (2015).

Hu, E., Hu, X., Liu, T., Fang, L., Dearn, K. D. ve Xu, H., "The role of soot particles in the tribological behavior of engine lubricating oils", *Wear*, 304, 152-161, (2013).

Jakoby, B., Scherer, M., Buskies, M. ve Eisenschmid, H., "An Automotive Engine Oil Viscosity Sensor", *IEEE Sensors Journal*, Vol. 3, No. 5, doi: 10.1109/JSEN.2003.817164, (2003).

Kellaci, A., Mazouzi, R., Khelidj, B. ve Bounif, A., "The effect of lubricant rheology on piston skirt/cylinder contact for an internal combustion engine", *Mechanika*, ISSN 1392-1207. Nr. 1(81), (2010).

Kral jr., J., Konecny, B., Kral, J., Madac, K, Fedorko, G. ve Molnar, V., "Degradation and chemical change of longlife oils following intensive use in automobile engines", *Measurement*, 50, 34-42, (2014).

Lu, S. T. ve Kaplan, R., "Characterization of motor lubricating oil sand their oil-water partition", *Environmental Forensics*, 9, 295-309, (2008).

Lubrita, "How the lubrication system works in an engine? [online]", (2 Aralık 2015), <http://www.lubrita.com/news/78/671/How-The-Lubrication-System-Works-In-An-Engine/>, (2015).

Mang, T. ve Dresel, W. (Eds.), *Lubricants and Lubrication*, Weinheim: WILEY-VCH Verlag, (2007).

Mathai, R., Malhotra, R. K., Subramanian, K. A. ve Das, L. M., "Comparative evaluation of performance, emission, lubricant and deposit characteristics of spark ignition engine fueled with CNG and 18% hydrogen-CNG", *Hydrogen Energy*, 37, 6893-6900, (2012).

Owring, F., Mattsson, H., Olsson, J. ve Pedersen, J., "Investigation of oxidation of a mineral and a synthetic engine oil", *Thermochimica Acta*, 413, 241-248, (2003).

Petraru, L. ve Farkas, F. N., "The influence of biodiesel fuels on lubricity of passenger car diesel engine oils", *Tribology*, ISSN 1221-4590, (2010).

Salman, S., Sekmen, Y., Batmaz, İ. ve Balcı, M., "Motor yağı kullanım süresinin, yağ viskozitesi değişimine ve motor performansına etkileri", 5. *Yanma Sempozyumu*, Bursa, (1998).

Sem, T.R., "Effect of various lubricating oils on piston deposits in biodiesel fueled engines", *SAE Technical Paper*, doi: 10.4271/2004-01-0098, (2004).

Sotres, J. ve Arnebrant, T., "Experimental investigations of biological lubrication at the nanoscale: The cases of synovial joints and the oral cavity", *Lubricants*, 1, 102-131, (2013).

Wu, Y. Y., Tsui, W. C. ve Liu, T. C., "Experimental analysis of tribological properties of lubricating oils with nanoparticle additives", *Wear*, 262, 819-825, (2007).

Yazawa, S., Minami, I. ve Prakash B., "Reducing friction and wear of tribological systems through hybrid tribofilm consisting of coating and lubricants", *Lubricants*, 2, 90-112, (2014).

Zulkifli, N. W. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Shahabuddin, M. ve Yunus, R., "Wear prevention characteristics of a palm oil-based TMP (trimethylolpropane) ester as an engine lubricant", *Energy*, 54, 167-173, (2013).

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : **SERDAR HALİS**

Doğum Yeri ve Tarihi : **MANİSA-Akhisar 13/01/1990**

Lisans Üniversite : **EGE ÜNİVERSİTESİ**
Makine Mühendisliği Bölümü

Elektronik posta : **shalis@pau.edu.tr**

İletişim Adresi : **Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi**
Otomotiv Mühendisliği Bölümü