

154443

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NISSAN (BENZİNLİ) MOTORUNDA OPTİMUM
YAĞ DEĞİŞİM SÜRECİNİN ARAŞTIRILMASI**

Makine Müh. Fatih YILMAZ

FBE Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Enerji Makineleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Hakan KALELİ

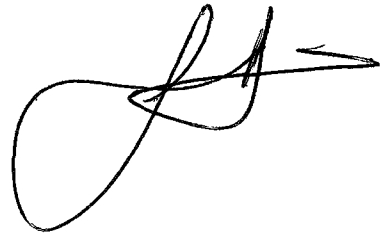


Tez danışmanı : Prof. Dr. Hakan KALELİ

Prof. Dr. Yılmaz YANASLI



Doç. Dr. Feri KARASINGİR



İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması.....	2
2. YAĞLAMA ve AŞINMA.....	8
2.1 Yağlamanın Amacı	8
2.2 Yağlama Rejimleri.....	8
2.3 İçten Yanmalı Motorlarda Aşınma	11
2.4 İçten Yanmalı Motorlarda Yağlama Sistemleri	12
3. MOTOR YAĞLARI.....	18
3.1 Baz yağlar	18
3.1.1 Madeni Baz Yağlar	18
3.1.2 Sentetik Baz Yağlar	21
3.1.3 Baz Yağların Karşılaştırılması	22
3.2 Yağ Katkıları	24
3.2.1 Oksidasyon Önleyiciler (Antioksidanlar)	25
3.2.2 Deterjanlar ve Dispersanlar.....	26
3.2.3 Viskozite İndeks Arttırıcılar.....	27
3.2.4 Akma Noktası Düşürücüler.....	28
3.2.5 Korozyon Önleyiciler	29
3.2.6 Pas Önleyiciler	29
3.2.7 Köpük Önleyiciler	30
3.2.8 Sürtünme Düzenleyiciler	30
3.2.9 Aşınma Önleyiciler ve Aşırı Basınç Katkıları	31
3.3 Motor Yağlarının Sınıflandırılması	32
3.3.1 Motor Yağları SAE Viskozite Sınıflandırması	33
3.3.2 Motor Yağları API Kalite Sınıflandırması.....	35
3.3.3 Motor Yağları ACEA Kalite Sınıflandırması	36
3.3.4 Benzinli Motor Yağları ILSAC Kalite Sınıflandırması.....	38
4. MOTOR YAĞLARININ ESKİMESİ ve YAĞ ANALİZ YÖNTEMLERİ	39
4.1 Motor yağlarının eskime süreci.....	39

4.2	Yağ Analiz Yöntemleri.....	42
4.2.1	Viskozite	42
4.2.2	Viskozite İndeksi (VI)	43
4.2.3	Toplam Asit Sayısı	43
4.2.4	Toplam Baz Sayısı.....	45
4.2.5	Parlama Noktası	45
4.2.6	Yağda (Pentanda) Erimeyenler	46
4.2.7	Yağda Element Analizi.....	47
5.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	49
5.1	Test Aracı ve Yağlama Sistemi.....	49
5.2	Test Süreci ve Testte Kullanılan Motor Yağı	51
5.3	Yağ Analizi Sonuçları ve Maliyet Analizi.....	53
6.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	63
	KAYNAKLAR.....	65
	ÖZGEÇMİŞ	67



KISALTMA LİSTESİ

AAMA	American Automobile Manufacturers Association
ACEA	Association des Constructeurs Europeens d'Automobiles
API	American Petroleum Institute
ASM	American Society of Metals
ASTM	American Society for Testing and Materials
CCCM	Committee of Common Market Automobile Constructors
CEC	Co-Ordinating European Council
EP	Extreme Pressure
ICP-AES	Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
ILSAC	International Lubricants Standardization and Approval Committee
JAMA	Japan Automobile Manufacturers Association
MIL	Military
OHC	Over Head Cam
OSD	Otomotiv Sanayicileri Derneği
PAO	Poli Alfa Olefin
PPM	Particle Per Million
SAE	Society of Automotive Engineers
TAN	Toplam Asit Numarası
TBN	Toplam Baz Numarası
VI	Viskozite İndeksi
ZnDTP	Çinko Dialkil Dithiofosfat

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Sınır yağlama (O’Cconor, 1968)	9
Şekil 2.2 Hidrodinamik yağlama (Mang, 2001).....	10
Şekil 2.3 Striebeck diyagramı (Mang, 2001)	11
Şekil 2.4 Yağlama sistemi şeması (Staudt, 2000)	13
Şekil 2.5 Yağ banyolu yağlama (Staudt, 2000).....	14
Şekil 2.6 Kuru hazneli yağlama (Staudt, 2000).....	14
Şekil 2.7 Yağ pompası çeşitleri (Staudt, 2000).....	15
Şekil 2.8 Yağ filtreleri (Staudt, 2000).....	16
Şekil 2.9 Ana akış ve yan akış filtrasyonu (Staudt, 2000)	16
Şekil 2.10 Yağ soğutucusu (Staudt, 2000).....	17
Şekil 3.1 Damıtma kulesi (Shell, 1995).....	19
Şekil 3.2 Dispersan katıkların etki mekanizması (Mang, 2001)	27
Şekil 3.3 Viskozite indeks artırıcı polimerlerin etki mekanizması (Rizvi, 1998).....	28
Şekil 3.4 Sürtünme düzenleyicilerin motor yağına etkileri (Bartz, 1993)	31
Şekil 3.5 Multigrade motor yağlarında viskozite karakteri.....	34
Şekil 4.1 Oksidasyon mekanizması (Mang, 2001).....	40
Şekil 4.2 Viskozite ölçüm tüpü	43
Şekil 4.3 Potansiyometrik titrasyon düzeneği	44
Şekil 4.4 Parlama noktası ölçüm düzeneği	46
Şekil 4.5 ICP-AES analiz yöntemi (Bansal, 1993).....	48
Şekil 5.1 tavsiye edilen motor yağları SAE viskozite sınıfları (Nissan, 1996).....	50
Şekil 5.2 Testte kullanılan motorun yağlama devresi (Nissan, 1995)	51
Şekil 5.3 Testte kullanılan motorun yağ pompası ve yağ filtresi (Nissan, 1995).....	51
Şekil 5.4 Numune alım fotoğrafları	52
Şekil 5.5 Demir konsantrasyonu değişimi	54
Şekil 5.6 Demir konsantrasyonu ekstrapolasyonu.....	54
Şekil 5.7 Birim yağ değişim ve birim revizyon maliyetleri	56
Şekil 5.8 Kilometre başına toplam maliyet değişimi.....	56
Şekil 5.9 Viskozite 100°C değişimi.....	57
Şekil 5.10 Viskozite 40°C değişimi.....	58
Şekil 5.11 Viskozite indeksi değişimi.....	58
Şekil 5.12 Üstel ekstrapolasyon ve revize edilmiş viskozite 100°C değişimi	59
Şekil 5.13 Revize edilmiş viskozite indeksi değişimi	59
Şekil 5.14 TAN değişimi	60
Şekil 5.15 TBN değişimi.....	60
Şekil 5.16 Yağda erimeyenler değişimi	61
Şekil 5.17 Parlama noktası değişimi.....	61

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Motor yağları SAE viskozite sınıfları (Mobil, 1999).....	34
Çizelge 3.2 Benzinli motor yağları API kalite sınıfları (Mobil, 1999).....	35
Çizelge 3.3 Dizel motor yağları API kalite sınıfları (Mobil, 1999)	36
Çizelge 3.4 Motor yağları CCCM kalite sınıfları (Mobil, 1999)	37
Çizelge 3.5 Motor yağları ACEA kalite sınıfları (Mobil, 1999)	38
Çizelge 3.6 Benzinli motor yağları ILSAC kalite sınıfları (Mobil,1999).....	38
Çizelge 5.1 Test edilen aracın motor ölçüleri (Nissan, 1996).....	49
Çizelge 5.2 Testte kullanılan motor yağının başlangıç özellikleri	52
Çizelge 5.3 Yağ analizi sonuçları	53
Çizelge 5.4 Yağda element analizi sonuçları	53
Çizelge 5.5 Maliyet analizi	55
Çizelge 5.6 Aşınma elementleri konsantrasyon limitleri (Kaleli, 1998)	57



ÖNSÖZ

Bu çalışma içten yanmalı motorlarda yağlama işleminin önemi göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Motor yağları ve yağlama sistemleri içten yanmalı motorların ve motorlu taşıtların kullanım ömrüne etki eden en önemli faktörlerdendir. Tüm endüstriyel makinelerde olduğu gibi içten yanmalı motorlarda da yağlama yağı sürtünme kayıplarının azaltılması ve aşınmanın geciktirilmesi şeklinde önemli görevler üstlenmektedir. Yağlama konusundaki gelişmelerle makinelerin çalışma verimi ve ekonomik ömrü arttırılmakta, sonuçta doğal kaynaklar daha etkin kullanılmaktadır.

Tek bir motorda elde edilen kazanımlar, tüm motorlu taşıtlar, hatta endüstriyel makineler dikkate alındığında çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Bu nedenle yağlama üzerindeki çalışmalar çok önem kazanmaktadır. İçten yanmalı motorlar ortaya çıktığından buyana özellikle motor yağlarının eskime süreci ve yağ değişim periyodu üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Gelişen motor ve yağlama teknolojisiyle birlikte benzinli motorlarda optimum yağ değişim periyodunun belirlenmesi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Bu çalışma sırasında yapılan yağ analizleri Shell firması laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



ÖZET

İçten yanmalı motorlarda yağlama ve yağ değişim aralıkları ekonomik olarak büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada yağlama süreci ve içten yanmalı motorlardaki yağlama sistemleri, aşınma süreçleriyle birlikte incelenmiştir. Motor yağları ve yapıları araştırılmış ve bu konudaki gelişmeler ortaya konarak ticari motor yağ sınıflandırmaları incelenmiştir. Motor yağlarını ve yağlamayı etkileyen bileşenler baz yağlar ve yağ katkılarıdır. Bunların yapıları ve yağlamadaki işlevleri ortaya konarak motor yağının eskiiyip bozulmasına etkileri açıklanmıştır.

Motor yağlarının analizi için uygulanan standart yağ analiz yöntemleri incelenmiştir. Yağ eskimesinin incelenmesi ve optimum yağ değişim periyodunun belirlenmesi deneysel olarak araştırılmıştır. Bunun için 2 litre hacimli benzinli bir motorda SAE 10W40 sınıfı yarı sentetik bir motor yağı belirli bir süre kullanılmıştır. Yağdan alınan numunelere uygulanan testler sonucunda yağdaki demir aşınma elementi konsantrasyonuna göre yağ değişim aralığı 16000 km olarak bulunmuştur. Maliyet analizi sonucunda motor tamir ve yağ değişim masraflarının optimum noktası olarak bulunan bu aralığın viskozite, yağda erimeyenler, toplam asit ve baz sayıları gibi diğer test sonuçlarına da uyum sağladığı görülmüştür. Ayrıca yapılan çalışmanın ve alınan sonuçların literatürle karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yağlama rejimleri, içten yanmalı motorlarda yağlama, motor yağları, yağ katkıları, yağ analizi, yağ eskimesi, yağ değişim periyodu.

ABSTRACT

Lubrication and engine oil drain period of internal combustion engines have a big importance in economic point of view. Lubrication and lubrication systems of internal combustion engines are examined with wear processes in this work. Engine oils and their production are investigated. Developments in this area and engine oil specifications are examined. The components that effect engine oils and lubrication are base oils and oil additives. The basics and functions of these on lubrication are shown and effects of these on engine oil aeriation are explained.

The standart oil analysis methods are examined. The inspection of oil ageing and determination of optimum oil drain period are investigated experimentally. A SAE 10W40 grade semi-synthetic engine oil is used for a period in a 2 liter gasoline engine for experiment. The oil drain period found as 16000 km's according to the iron wear analysis results of oil samples. This period is the optimum point of engine repair and oil drain costs and also this is correlated to the other oil analysis results such as viscosity, insolubles, total acid and base number. This work and it's results are also compared with the literature.

Keywords: Lubrication regimes, lubrication of internal combustion engines, engine oils, oil additives, oil analysis, oil aeriation, oil drain period.



1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorların kullanım ömrünü belirleyen en önemli etken, sürtünme sonucu ortaya çıkan aşınmadır. Aşınma ilerledikçe motor parçalarında motor revizyonunu gerektirecek hasarlara sebep olur. Motor yağlarından öncelikle beklenen aşınmayı mümkün olduğunca engelleyip motoru korumasıdır. Ancak zamanla yüksek sıcaklık ve yanma artıkları gibi kirleticiler nedeniyle oksidasyona uğrayarak yaşlanan motor yağları koruyucu etkilerini yitirmektedir. Bu süreç kullanım şartları ile yakıt ve hava gibi dış etkenlere doğrudan bağlı olduğundan üreticiler her türlü koşulda güvenli olacak oldukça toleranslı yağ değişim periyotları önermektedirler. Ancak gereğinden daha sık gerçekleştirilen yağ değişimleri araç ömrü boyunca önemli bir maliyet oluşturmaktadır. Ayrıca fazla motor yağı kullanımı, oluşturduğu atıklar sonucu çevre temizliğini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun yanında gelişen teknoloji hem motorların hem de yağların üretim kalitelerini iyileştirmekte ve kullanım ömürlerini arttırmaktadır. Ancak motor ömrü açısından, yağ değişim periyodunun aşırı arttırılması aşınma sonucu ölümcül hasarlara sebep olabilmektedir. Bu bilgiler ışığında içten yanmalı motorlarda optimum yağ değişim noktasının belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır. Anlaşılmaktadır ki, bu nokta aracın yağ değişim maliyetleri ile motorun tamir ve bakım masraflarının birleşmesinden oluşan toplam maliyetin en düşük olduğu noktadır. Bu optimum değişim aralığının üzerindeki değerlerde artan aşınma nedeniyle motor bakım masrafları çok artmakta, altındaki değerlerde ise gereksiz yağ değişimi nedeniyle yağ değişim maliyetleri aşırı yükselmektedir.

Motor yağlarının yaşlanma süreci farklı proseslerin sonucu olarak gerçekleşir. Bunlardan en önemlisi oksidasyondur. Motor yağını oluşturan baz yağ ve katıkların içeriğindeki farklı yapıdaki moleküller zamanla ortamdaki oksijenle reaksiyona girerek peroksitler ve karboksilik asitler gibi ürünler oluştururlar. Ortam sıcaklığının artmasıyla oksidasyon süreci de hızlanmakta dolayısıyla yüksek sıcaklıklar motor yağının yaşlanmasını hızlandırmaktadır. Oksidasyon ürünleri motordan gelen yanma artıklarıyla birlikte yüksek sıcaklığında etkisiyle yağda erimeyen maddeler oluştururlar. Bunlar birleşip parçalar üzerinde birikerek ve yağ hatlarını tıkayarak yağlamaya zarar verebilirler. Ayrıca zamanla yağ içindeki katıklar da oksidasyona uğradığından beklenen görevleri yerine getiremezler. Bunların en önemlilerinden olan oksidasyon önleyicilerin yetersiz kaldığı durumda motordan gelen yanmamış yakıt artıkları gibi kirleticiler yağda asidik bir ortam oluşturarak motor parçalarının korozyonuna yol açabilirler. Yine, okside olan viskozite indeks arttırıcılar nedeniyle yüksek sıcaklıklarda düşen viskozite yağlamayı yetersiz kılabilir. Aşınma ve korozyon sonucu motor

parçalarından kopan çok küçük metal parçalıklarla motora dışarıdan giren küçük toz zerrelere yağın işlevini bozan etkenler arasındadır. Bunlar yetersiz filtrasyon ve çok küçük boyutları sebebiyle motor yağı içerisinde kalarak yağlanan bölgelere tekrar ulaşım aşınmayı artırabilirler. Ayrıca bakır gibi bazı elementler yağın oksidasyonunu hızlandırıcı etki yapabilirler.

Yağ analizi yöntemleri bize motor çalışmaya devam ederken yağın eskime ve kirlenme durumu ile motorun yıpranması hakkında bilgi alma olanağı sunar. Yağın farklı özellikleri için farklı testler geliştirilmiştir. Bunlar kullanılarak yağın ve motorun yıpranma şartları doğrultusunda optimum yağ değişim aralığı belirlenir. Bu çalışmada 2 litre hacimli, V6 silindri, benzinli motorlu bir araçta SAE-10W40 viskozite dereceli API-SJ/CF sınıfı yarı sentetik bir motor yağı test edilmiştir. 22000 km süren test sırasında araçtan 2500-3500 km aralıklarla alınan yağ numunelerine viskozite 40-100°C, viskozite indeksi, toplam asit sayısı, toplam baz sayısı, parlama noktası ve yağda erimeyenler testleri ile ICP atomik emisyon spektrometrik element analizi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapılan hesaplamalarla aracın optimum yağ değişim aralığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

1.1 Literatür Araştırması

Konu ile ilgili birçok teorik ve deneysel çalışma mevcuttur. Bunlardan konuyu yakından ilgilendirenler aşağıda özetlenmiştir.

Bijwe vd. (2000), bu çalışmada yağ değişim sürecinin gerçeğe uygun şekilde belirlenmesi için saha koşullarında iki farklı ticari araçta kullanılan 10W30 sınıfı bir yağın eskimesini incelemiştir. Alınan numunelere viskozite, TAN, yağa su karışması, parlama noktası, yağda erimeyenler, atomik absorpsiyon spektroskopisi, ferrografi, sealed pan differential scanning calorimetry, diferansiyel infrared spektroskopisi ve thin layer chromatography şeklinde çok çeşitli analizler uygulanmıştır. Bilindiği gibi yağdaki bozulma motorda artan aşınma ve korozyonla birlikte motor parçalarında büyük hasarlara sebebiyet verebilir. İncelenen özelliklerle, çok işlevli bir yağ katığı olan ZnDTP (aşırı basınç, antioksidan) 'ın azalması arasında önemli ölçüde uyumluluk gözlenmiştir. Analiz sonuçları göstermiştir ki; iki araç da tavsiye edilen yağ değişim periyodunun (10000 km) ötesinde sağlıklı gözükmektedir.

Fitch (1998), çalışmasında yağ analizi işlemlerindeki çalışma sistemi ve numunelerin toplanmasında dikkat edilmesi gereken hususlarla ilgili bilgiler vermiştir. Durumu incelenecek makineden çalışma esnasında numuneler alınarak yağın ve makinenin durumu ve

yapılması gerekenler hakkında bilgi edinilebilir. Buna göre dizel motorlarda 150 saatlik çalışma sonunda yağ numunesi alınmalı, şanzıman ve diferansiyel gibi ekipmanlarda bu süre 300 saate çıkarılmalıdır. Numunelerin alınması esnasında sistemin yüksüz olarak çalışmaya devam etmesi en ideal durumdur. Numuneler vakumlu sistemlerle çekilerek, dip tortuları numuneye karışmayacak şekilde alınmalıdır. Alınan numuneler çok temiz kaplarda hava ile teması kesilerek saklanmalı, içine herhangi bir maddenin karışmamasına dikkat edilmelidir.

Fitch (1998), bu çalışmasında yağ numunelerine uygulanan test yöntemleri ve sonuçların değerlendirilmesini ele almıştır. Buna göre iyi bir yağ analizi üç kategoride testler yapılmasıyla olur. Bunlar, yağ özelliklerinin belirlenmesi ve yeni yağla karşılaştırılması için yapılan viskozite TBN / TAN, parlama noktası, oksidasyon durumu için infrared ve katkı maddelerinin durumu için emisyon spektrometre analizleri; yağdaki kirletici katışkuların belirlenmesi için yapılan parçacık sayısı, nem ve glikol testleri ve yakıt seyrelmesi analizleri; yağdaki aşınma artıklarının belirlenmesi için yapılan atomik emisyon ve absorpsiyon spektrometreleri ve analitik ferrografi analizleri gibi yöntemlerden oluşur. Günümüzde çoğu makineler çok karmaşık bileşenlerden oluşmakta ve farklı malzemeler içermektedir. Bu husus yapılacak analizlerde dikkate alınmalıdır.

Kollmann vd. (1998), “active service system” denilen bir yöntem kullanılarak araçlar ve motorların izlendiği bir çalışma yapmıştır. Burada yağın durumunu etkileyen etkenler olarak motor çalışma koşulları (yük, hız, sıcaklık), yağ seviyesi, yağın elektrik iletkenliği sürekli izlenmiştir. Elektrik iletkenliğinin yakıt seyrelmesi, yağ nitrasyonu, yağda erimeyenlerin ve aşındırıcı partiküllerin seviyesiyle çok yakın benzerlik gösterdiği görülmüştür. Soğuk çalışma şartlarında yağa yüksek miktarda yakıt ve su karışması sonucu viskozite düşüştü, motorda aşınma ve yağda kısa sürede yükselen demir konsantrasyonu ortaya çıkmıştır. Yüksek sıcaklıkta çalıştırılan motorlarda ise, aşırı sıcaklık sonucu artan oksidasyon ve nitrasyon, kısa sürede düşen TBN değerleri ve buharlaşma sonucu yağın kalınlaşması ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu optimum yağ değişim sürecinin, km değerleriyle birlikte, basit olarak ölçülebilen motor çalıştırılma sayısı, ortalama yağ sıcaklığı ve seviyesi ile yağın elektrik iletkenlik katsayısı değerleriyle oluşturulacak basit formülasyonlarla belirlenebileceği görülmüştür.

Thorn vd. (1995), motor yağında oluşan stresler ve yağ değişim süreçleri ile ilgili yaptıkları araştırmalar anlatılmaktadır. Günümüzde tüm araçlara sabit bir periyotla yağ değişimi uygulanmasına karşın araçların çalışma ortam ve koşullarını dikkate alan daha esnek sistemlere ihtiyaç vardır. Çalışmalar göstermiştir ki yağ değişimi için km sınırı yeterli

olmamakta, zamana bağılı olarak yağdaki özellikle EP (aşırı basınç) katıkları bozulmaktadır. Bu nedenle yağ değişimi için maksimum süre 12 ayı aşmamalıdır. Yapılan uzun süreli çalışmalarda çok çeşitli benzinli araçlardan alınan çeşitli km ve kalitedeki yağlar incelenmiştir. Yağların eskimesi incelenirken; nitrasyon oranları, yağdaki aşınan demir miktarı, ve viskozite değerleri göz önüne alınmıştır. Bu değerler araçların kullanım şartlarına göre büyük farklılıklar göstermektedir. Yağ değişiminin 10000-15000 km 'nin üzerine çıkarıldığı testlerde motorlardaki kirlenme ve aşınma miktarlarında önemli artışlar gözlemlenmiştir.

Schwartz ve Mettrick (1994), yağın hangi özelliklerinin sürüş şekli (şehir içi, şehirler arası, servis, kısa mesafe) ve yakıt tipi (benzin, M85: % 85 metanol içeren benzin) gibi değişkenlerden ne şekilde etkilendiği araştırmıştır. Kısa mesafe ve şehir içi kullanımda yağa karışan su, motorda korozyona sebep olarak yağdaki demir konsantrasyonunda ani artışlara sebep olur. Yağ viskozitesinin kısa mesafeli sürüşlerde düştüğü, şehir içi kullanımda yükseldiği ve uzun mesafeli sürüşlerde ise neredeyse sabit kaldığı görülmüştür. Şehir içi kullanımda yağda erimeyenler 10000 km 'de görülmeye başlarken şehirler arası kullanımda 13000 km 'de görülmeye başlamıştır. Ayrıca kısa mesafede uzun mesafeye göre, şehir içinde de şehir dışına göre daha hızlı TBN düşüşü gözlenmiştir. Motorda yapılan incelemelerde üst segmanlarda oluşan aşınmanın kısa mesafe sürüşlerde uzun mesafelere göre 100 kata kadar arttığı görülmüştür. Ayrıca ikinci segmanlardaki kütle kaybının motor yağındaki demir miktarıyla yakından ilişkili olduğu görülmüştür.

Younggren ve Schwartz (1993), motor yağ değişim periyodunun belirlenmesine yönelik olarak yaptıkları bu çalışmada yağ bozulmasını etkileyen üç faktör dikkate almışlardır. Bunlar baz yağın bileşimi (sentetik, madeni), kat edilen mesafe (uzun, kısa) ve kullanım tarzı değişikliğidir (bir tarzda kullanıp yağ değiştirmeksizin diğer tarza geçiş). Testlerde 1992 model, 5,7 litre hacimli, çoklu yakıt püskürtme sistemli, yüksek performanslı spor bir otomobil, SAE 5W30, API SG sınıfı sentetik ve mineral yağlarla ayrı ayrı kullanılmıştır. Araçtan farklı kullanım koşulları ve yağlarla kullanılırken alınan numunelere yağa yakıt karışması, pentanda erimeyenler, TAN, TBN, viskozite 40°C, yağa su karışması, oksidasyon tamamlanma zamanı, yağdaki Ca, Mg, Fe miktarı analizleri yapılmıştır. Yağa su karışması motorun soğuk çalıştırılması sırasında ortaya çıkar ve motor parçalarında paslanmaya sebep olur. Yağa yakıt karışması da buna benzer şekildedir, yakıt yağı seyrelterek viskozitesini düşürür ve yağlamayı bozar. Görülmüştür ki, yağa %5-10 yakıt karışması durumunda viskozite 40°C değeri %50 'den fazla düşmektedir. Yağ, oksidasyonu önleyici katıklar

içermektedir, kolayca oksitlenen yakıtın yağa karışması yağın oksidasyon direncini önemli ölçüde düşürür. Motor yağındaki demir miktarı, aşınma, korozyon veya motordaki hasarlar sonucu ortaya çıkar. Bu çalışmada kısa mesafeli sürüşlerde yağa giren suyun da etkisiyle korozyon sonucu demir aşınmasının çok yükseldiği görülmüştür ki, bu uzun mesafeli sürüşlerdekinden kat kat fazla orandadır. Kısa mesafeli sürüşler ayrıca yağın TBN derecesini de (alkalinliğini) kısa sürede düşürür. Çalışmalar sonucunda sentetik ve madeni yağlarda o günkü sınır olan 12000 km 'nin üzerine çıkılabileceği gözlenmiştir.

Miyahara vd. (1991), yeni bir yağ ve yağ filtresi geliştirilerek yağ değişim periyodu uzatmaya çalışmıştır. Kurum tutma kapasitesi, daha büyük kapasiteli ve daha küçük delikli bir yağ filtresi ile düşük kurum dağıtıcı özellikli yeni bir yağ kullanılarak %30 'dan %80 'e çıkarılabilmektedir. Genel olarak yağların kullanım sınırları; %3-4 yağda erimeyenler, 1-2 mg KOH/g TBN ve 6-7 mg KOH/g TAN değerleriyle belirlenmektedir. Yağın başlangıç TBN değeri yükseltilerek TBN ve TAN sınırları aşılabilmekte, sonuç olarak yağdaki erimeyenler yağ ömrünü sınırlamaktadır. Yapılan testler göstermiştir ki; yeni yağla birlikte yağda erimeyenlerin oranı düşmüştür. Yağın dağıtıcılığının azalmasının yağın temizleyiciliğini köttüleştireceği görülmesine rağmen yeni yağ, kurumları dağıtmayıp filtrede tutulmasını sağladığından bu konuda daha iyi sonuçlar göstermiştir. Ayrıca yeni yağla, emme sübabı yatakları ve gömlek cidarlarında kabul edilebilir aşınma ve diğer bölgelerde de en düşük aşınma değerleri elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki yeni geliştirilen yağ ve yağ filtresinin kullanımıyla önceki sistemlere göre çok daha uzun yağ değişim periyotları uygulanılabilecektir.

Saloka ve Meitzer (1991), motor yağının fiziksel ve kimyasal durumunu gösterecek bir sensör ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada yağ filtresi ile motor arasına yerleştirilen sensörlerle fabrika dolumu standart yağlar, yüksek standartlı yağlar, yetersiz standartlı yağlarla 10000-15000 km 'lik testler yapılmıştır. Bu sensörler yağın sıcaklığını ve dielektrik sabitini ölçmektedir. Ayrıca arçlardan alınan yağ numunelerinde antioksidan titrasyonu, yakıt karışması, dağıtıcılık, viskozite, hidroperoksit konsantrasyonu, metalik element konsantrasyonları, TAN, TBN ve pentanda erimeyenler testleri yapılmıştır. Tüm testlerin sonuçları araçta ölçülen yağın elektrik iletkenliği ile TAN değeri arasında uyumluluk gözlenmiştir. TAN değeri tek başına yağ ömrünü tayin etmese de araçtan alınan, km cinsinden kat edilen mesafe değeri, motor devri, yağ sıcaklığı ve elektrik iletkenlik değerlerini ölçüp kaydeden basit bir bilgi işlem ünitesiyle yağ bozulmasının izlenebileceği gözlenmiştir.

Inoue ve Yanamaka (1990), 1500 cc OHC benzinli bir motorda yağın karakteristik

özelliklerindeki değişiklikleri izlemek için yapılan bir laboratuvar testi gerçekleştirmiştir. Görülmüştür ki; çalışma sıcaklığı yükseldikçe oksidasyon önleyicilerin bozulma hızı artmaktadır. Ancak bu katıklar tamamen bozulmuş olsa bile, ZnDTP 'nin bozulmasından oluşan bileşiklerin oksidasyon direnci oluşturması sebebiyle yağın oksidasyon stabilitesi bir süre daha devam etmektedir. Motor yağı olarak SAE 10W30, API SG sınıfı bir yağ kullanılmıştır. Analizler göstermiştir ki, viskozite ve TAN artışıyla kendini gösteren yağdaki bozulma, yağ içerisindeki oksidasyon önleyicilerin bozunması sırasında ortaya çıkmaktadır. Ayrıca yağdaki ZnDTP, diarilamin ve yüksek molekül ağırlıklı fenolün konsantrasyonları yeni yağdakinin %20-50 'sine düştüğü zaman yağın oksidasyon stabilitesi kaybolmaktadır. Yağın ısıl stabilitesinin en iyi göstergesinin alkalilik (TBN değeri) olduğu ortaya çıkmıştır. Sonuçta yağın aşınma direncinin, testin 50 saati sonunda hızla düştüğü, ısıl stabilitesinin ise, TBN değerinin 2.5 mg KOH/g değerinin altına düştüğü testin 150 saati sonunda da hızla düştüğü görülmüştür.

Schwartz ve Smolenski (1987), motor yağı değişimi için bir uyarı mekanizması geliştirmeye çalışmıştır. Bunun için yağ sıcaklığı, aracın km cinsinden kat ettiği mesafe, motor devri ve yağın fiziksel ve kimyasal yapısındaki değişiklikler gözlenmiş ve bunların doğrultusunda yağ değişimi için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Yağ eskimesini etkileyen koşullar iki ana grupta toplanarak testler yapılmıştır. Bunlar; yüksek sıcaklık ve yüksek yük durumu ile düşük sıcaklık ve kısa mesafe seyahat durumlarıdır ve yağı en aşırı şekilde zorlayan kullanım tipleridir. Geliştirilen modelin doğruluğunu araştırmak için bu şekilde çalışan yağ değişim uyarıcılarının uygulandığı farklı büyüklükteki motorları olan değişik marka araçlarla uzun süren testler yapılmıştır. Araçlar aynı yağ ve yakıtlarla aynı koşullarda kullanılmıştır. Yağlara uygulanan testlerle geliştirilen model karşılaştırıldığında gerek kısa mesafe, gerekse uzun mesafe ve karışık kullanımda geliştirilen sistemin gerçeğe yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak bu sistem kaliteli yağ ve yakıt ve uygun koşullara göre dizayn edilmiştir ve kalitesiz yağ ve yakıt, aşırı tozlu ortam, motordaki hasarlar ve yağa antifiriz ve soğutma suyu karışması gibi yağ ömrünü önemli ölçüde etkileyebilecek etkenleri belirleyemez.

Mitre (1985), İngiltere 'nin Manchester şehrindeki otobüs filolarındaki dizel motorların yağ değişim süreçlerinin incelenmesi, yağ maliyetlerinin düşürülmesi ve farklı özellikteki yağların performanslarının araştırılması için bir çalışma yapmıştır. Burada yağ değişim ömrünü belirleyen faktörler olarak TBN, TAN, dağıtıcılık, viskozite, yağdaki erimeyenler, aşınma metalleri, havadan toz karıştığını gösteren silika ve antifiriz karıştığını belirten boron değerleri sıralanmıştır. Yağ değişiminin gerekliliğine işaret eden göstergeler olarak TBN

değerinin %60 kadar düşmesi, yağa %5-10 kadar yakıt karışması, yağdaki erimeyenlerin oranının %4'e kadar çıkması gösterilmiştir. Yapılan testlerde yeni yüksek kaliteli yağlarla motorların yağ tüketiminin %30 kadar düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca yağ değişim periyodunun, 4 ay olduğu araçlarda 6 aya, 6 ay olanlarda ise 9 aya kadar arttırılabileceği görülmüştür. Bunun sonucunda yağ değişim maliyetleri önemli ölçüde düşmekle birlikte, araçların daha titizlikle kontrol edilmeleri gerekmektedir.

Holmes (1985), ticari araç filolarında dizel motorlara düzenli olarak uygulanan yağ analizi tekniklerini incelemiştir. Bunlar sayesinde motorun durumu, yağ değişim zamanı belirlenebilmektedir. Yağın durumu; viskozite kontrolü, yağa karışan su ve yakıt kontrolü, silikon miktarı, yağın karbon seviyesi ve TBN seviyesi ölçülerek kontrol edilir. Böylelikle yağ değişimi zamanından başka, su kaçaqları, hava filtrasyon hataları ve yakıt püskürtme hataları gibi motor problemleri de gözlenebilir. Ayrıca yağda gözlenen demir, kurşun, alüminyum, krom, bakır ve kalay gibi aşınma türlerinin miktarı motorun hangi kısımlarının yıprandığını gösterir. Laboratuar testleri sayesinde motorların çalışma ömürleri boyunca gösterebilecekleri aşınma ve yıpranma tahmin edilip, bu yönde gelişmeler sağlanmaktadır. Fabrika testlerinde amaç; düşük kaliteli yağlar kullanıldığında bile motorların 20000 km 'lik yağ ve filtre değişimlerine dayanabilecek şekilde geliştirilmesidir. Yapılan laboratuar ve yol testleri geliştirilen motorların bu koşulları sağladığını göstermiştir.

2. YAĞLAMA ve AŞINMA

2.1 Yağlamanın Amacı

Yağlama öncelikle motor parçaları arasındaki sürtünmeyi ve bunun sonucunda parçalarda oluşan aşınmayı azaltmak, ayrıca gerekli işin daha az enerji kaybı ile yapılmasını sağlamak amacıyla uygulanır. Birbiri üzerinde hareket eden parçalar sürekli olarak sürtünme oluştururlar. Sürtünme kuvveti parçaların temas yüzeylerinin birbirine karşı gösterdikleri dirençtir. Parçaların temas yüzeylerinin durumu (sertlik, pürüzlülük, kimyasal ve fiziksel durum) sürtünmeye etki eden başlıca faktördür. Parçaların yüzey durumu ne kadar pürüzsüz görünse de yüzeyler mikroskobik boyuttaki pürüzlerden oluşmaktadır. İki yüzey birbirine sürtündüğünde, gerçekte temas pürüz uçları arasında olur. Yağlama işlemiyle bu pürüzler arasındaki temasın kesilmesi veya en azından azaltılması amaçlanır. Böylelikle sürtünmeye harcanan iş ve parçalardaki aşınma azaltılacaktır.

Parçaların hareketlerine bağlı olarak aralarında kayma, yuvarlanma ve hem kayma hem yuvarlanma şeklinde sürtünme oluşabilir. Yuvarlanma sürtünmesi önemsenmeyecek kadar küçüktür. Kayma hareketi ise sürtünme problemlerinin temelini oluşturur. Birbirine karşı harekete zorlanan iki cisim arasındaki sürtünme kuvvetinin, cisimleri birbirine yaklaştıran kuvvete oranına sürtünme katsayısı adı verilir (Mang, 2001).

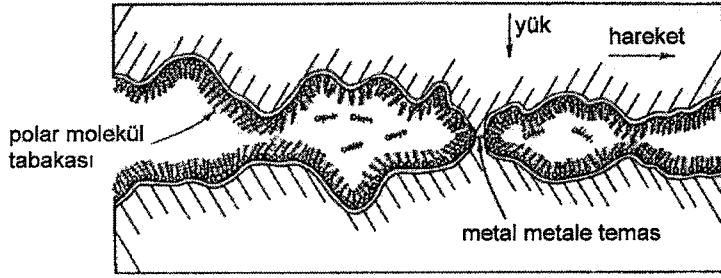
2.2 Yağlama Rejimleri

Sürtünme ve aşınmayı önlemek için sürtünen yüzeyler arasında uygun yağlayıcılar kullanılır. Bu şekilde sürtünen yüzeylerdeki pürüz uçlarının teması önlenir veya minimum seviyeye düşürülür.

Yüzeyler arasında bir yağlayıcı bulunmadığı durumda metal metale temas durumu söz konusudur. Bu durumda yüzeyler arasında kuru sürtünme vardır denir. Kuru sürtünmede yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı 0,25 ve üzerindeki değerlerdir.

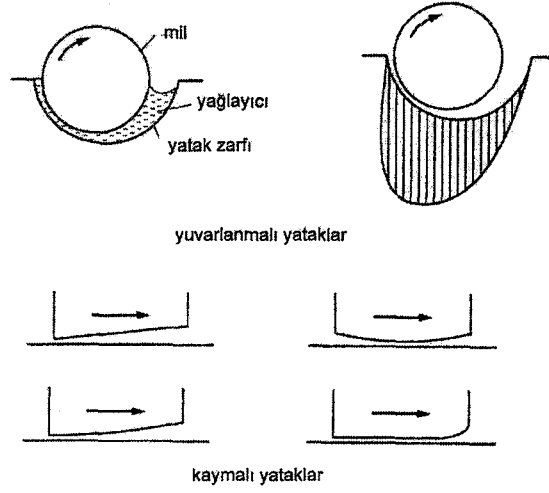
Yağlayıcılar metal yüzeylere yapışma özelliği gösteren polar moleküllere sahiptirler. Dolayısıyla yağlayıcılarla temas eden metal yüzeylerde bu polar moleküllerden oluşan bir tabaka oluşur ve artık bu yüzeyler kuru sürtünme yapamazlar. Bu şekilde birbirine sürtünen yüzeyler arasında sınır sürtünme veya sınır yağlama vardır denir. Sınır yağlamada ayrıca yağlayıcıların metal yüzeylerle yaptıkları kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan metalik sabun ve tuzların da olumlu etkisi görülür. Polar molekülleri oluşturan zincir yapıları hidrokarbonlar

metal yüzeyler üzerinde yüzeyle dik tek molekül genişliğinde bir tabaka oluştururlar. Sınır sürtünmede yük bu tabakalar ve aralarında bulunan yağ molekülleri ile nadiren birbirine sürtünen pürüz uçları üzerinde taşınır (Şekil 2.1). Bu nedenle sınır sürtünmede kuru sürtünmeye göre sürtünme katsayısı ve dolayısıyla aşınma miktarı önemli ölçüde düşüktür. Bu durumda sürtünme katsayısı 0,06-0,12 arasında değişir. İçten yanmalı motorlarda sınır sürtünme ve yağlama şartları dönüş hızının düşük olduğu motorun ilk çalışma ve durma zamanlarında motorun mil yatakları, piston, segman ve silindirlerinde görülür. Ayrıca piston hızının sıfıra düştüğü AÖN ve ÜÖN civarında da bu sürtünme şekli devam eder.



Şekil 2.1 Sınır yağlama (O'Connor, 1968)

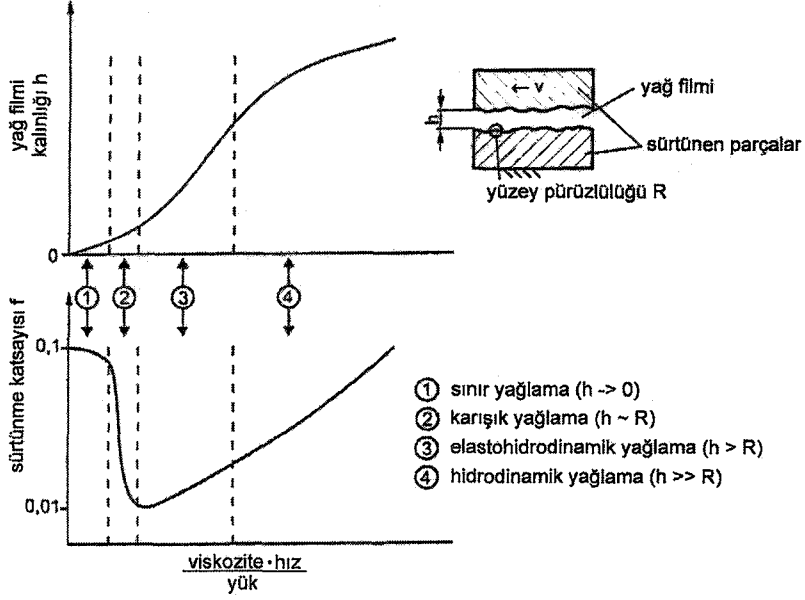
Metal yüzeyleri arasında yüzeyleri birbirinden tamamen ayıracak miktarda ve basınçta yağ bulunduğu durumdaki sürtünmeye sıvı sürtünmesi adı verilir. Bu durumda yüzeyler arasında tam bir sıvı (yağlayıcı) filmi oluşmuştur ve buradaki sürtünme yüzeylerin değil, yağlayıcının viskozitesine bağlı olarak yağ moleküllerinin kendi arasındaki sürtünmedir. Burada sürtünme katsayısı 0,001-0,005 gibi çok küçük değerlerdir. Bu şekilde yapılan yağlama yüzeyleri birbirinden ayıran yağ basıncının sağlanma şekline göre hidrodinamik veya hidrostatik yağlama olarak isimlendirilir. Yağ basıncı yağlanan yüzeylerin birbirine yaptığı açı dolayısıyla yüzeylerin hareketi sırasında aralarında oluşan yağ kaması sayesinde sağlanıyorsa buna hidrodinamik yağlama, yağ dışarıdan bir pompa vasıtasıyla basınçlandırılarak yüzeylerin arasına gönderiliyorsa buna hidrostatik yağlama adı verilmektedir. Hidrodinamik yağlamada parçaların hareketi neticesinde, parçalar arasındaki daralan boşlukta sıkıştırılmaya zorlanan yağın basıncı artarak parçalar arasındaki yük, yağ tarafından taşınmış ve parçalar tamamen birbirinden ayrılmış olur. Böylelikle parçalar arasında sürekli ve bozulmayan bir yağ akışı yani yağ filmi oluşmuş olur (Şekil 2.2). Bu durum bütün makine parçalarında ve içten yanmalı motorların yağlanmasında istenen ideal durumdur.



Şekil 2.2 Hidrodinamik yağlama (Mang, 2001)

Hidrodinamik yağlamanın özel bir durumu çok büyük yüklerin çok küçük yüzeyler arasında taşındığı dişli çarklar, yuvarlanmalı yataklar ve kam mekanizmaları benzeri ortamlarda oluşan elastohidrodinamik yağlama durumudur. Bu durumda yağ filminin artan basıncı karşılıklı yüzeylerin elastik şekil değiştirmesine ve yük taşıyan bölgelerin genişlemesine neden olur. Böylelikle basınç bir miktar düşerek elastik deformasyonla denge durumunu oluşturur. Bu durum yağın viskozitesini bir miktar artırarak sürtünme katsayısını yükseltir.

Çeşitli yağlama şartlarını en iyi şekilde açıklayan Stribeck Diyagramı Şekil 2.3' te gösterilmiştir. Burada sürtünme kat sayısının Sommerfeld sayısına $((\text{viskozite} \times \text{hız}) / \text{yük})$ karşı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Striebeck diyagramı (Mang, 2001)

2.3 İçten Yanmalı Motorlarda Aşınma

Her tür makinede olduğu gibi içten yanmalı motorlarda da verimli çalışmayı ve ömrü etkileyen en önemli olay aşınmadır. İçten yanmalı motorlarda aşınma sonucunda performans kayıpları, artan yakıt, yağ ve bakım masrafları ve motor ömrünün kısılması gibi sorunlar ortaya çıkar. Bu nedenlerle içten yanmalı motorlarda aşınmayı minimize etmek bakımından yağlama daha da önem kazanmaktadır. İçten yanmalı motorlarda çalışma koşullarına bağlı olarak görülen farklı aşınma çeşitleri ortaya çıkmaktadır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır;

Abrazyon aşınması, sert yüzeylerin veya yüzeyler arasına giren parçacıkların (toz, quartz, silisyum) yumuşak yüzeylerle sürtünmesi halinde yüzeylerini çizerek aşındırması şeklinde ortaya çıkan aşınmadır.

Adhezyon aşınması, sürtünen pürüz uçlarının birbirine temas ederek soğuk kaynak oluşturup birbirinden parçalar koparak metal transferi sonucu birbirlerini aşındırmasıdır. Adhezyon aşınmasının ileri boyutlarında parçaların yağsız kalması durumunda bölgesel kaynamalar oluşup yüzeylerin önemli ölçüde hasar görmesine kazıma aşınması adı verilir.

Korozyon aşınması, motordaki yanma reaksiyonları sonucu havadaki oksijen, yakıt, yağ ve yanma ürünlerinin etkileşimiyle asidik bir ortam oluşması sonucu yüzeylerin korozyona uğraması şeklinde ortaya çıkan aşınmadır. Benzinli motorlarda oluşan zayıf organik asitler

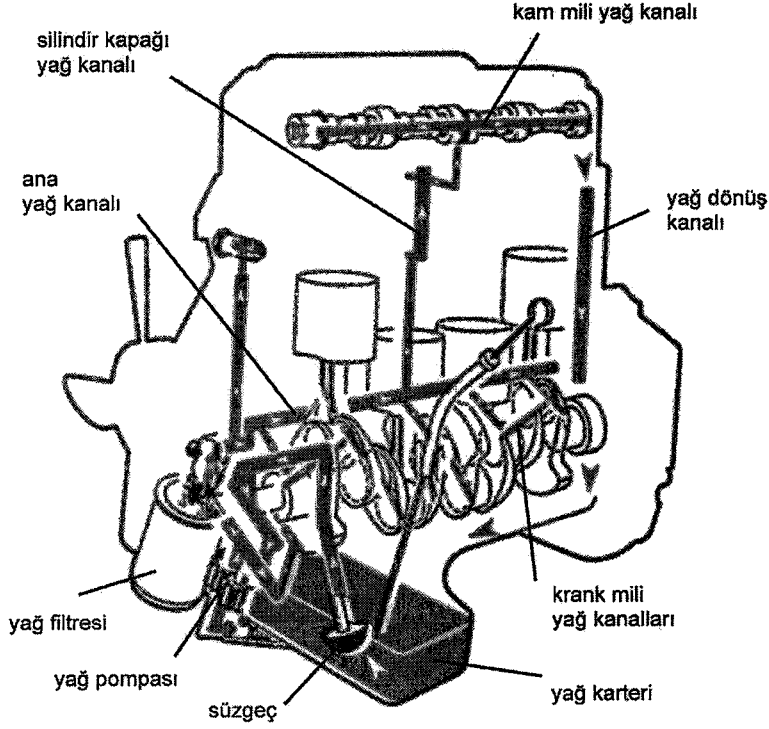
önemli ölçüde korozyon oluşturmazken dizel motorlarda özellikle yakıt içerisindeki kükürt neticesinde ortaya çıkan sülfürik asit (H_2SO_4) zaman içinde motorda önemli hasarlara sebep olabilir.

Yorulma aşınması büyük ve tekrarlanan yükler sonucunda temas yüzeylerinde ve hemen alt kısımlarında ortaya çıkan kesme gerilmelerinin, zamanla yüzeylerin altında çatlaklar oluşturarak gevşeyen taneciklerin yüzeyden ayrılmasına sebep olduğu aşınma şeklidir. Yorulmaya bağlı olarak ortaya çıkan bu çatlakların tekrar edilen yüklerle ilerleyerek yüzeye ulaşması sonucu yüzeyden pullar şeklinde parçaların ayrılmasına pitting oluşumu adı verilir ve genellikle yuvarlanan elemanlar arasında görülür.

2.4 İçten Yanmalı Motorlarda Yağlama Sistemleri

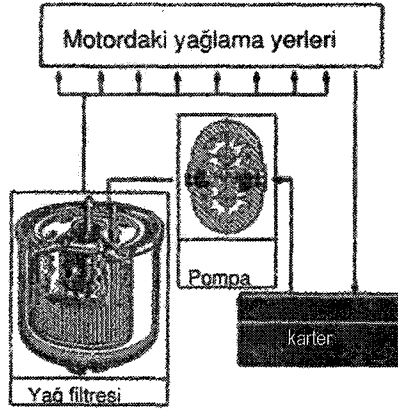
İçten yanmalı motorlarda yağlama, sürtünme ve aşınmanın azaltılmasının yanında sürtünme ısısının taşınması, aşınma ürünlerinin uzaklaştırılması, piston silindir arasındaki filmle sızdırmazlığın sağlanması ve motor parçalarının korozyondan korunması görevlerini yapar. Başlangıçta içten yanmalı motorlar basit olarak daldırma ve çarpma yağlama sistemleriyle yağlanıyordu.

Günümüzde gelişmiş otomobil motorlarında yağ, motor parçalarına belirli bir basınç altında motor içindeki çeşitli galeriler ve kanallar vasıtasıyla ulaştırılarak sürekli ve dengeli bir yağlama sistemi oluşturulur (Şekil 2.4). Bu sistemin uygulaması iki farklı şekilde kendini gösterir. Bunlar: basınçlı yağ banyolu (wet sump) yağlama sistemi ve basınçlı kuru hazneli (dry sump) yağlama sistemidir.



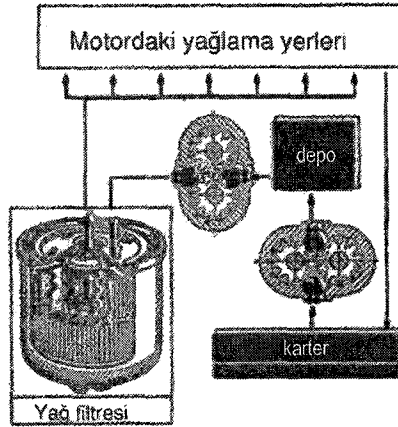
Şekil 2.4 Yağlama sistemi şeması (Staudt, 2000)

Basıncılı yağ banyolu sistemde motor karterinde sürekli yedek yağ bulundurulmaktadır. Yağ pompası karterin alt kısmından yağı emerek yağ filtresine ve oradan da silindir bloğundaki ana galerilere ileterek yan kanallar vasıtasıyla motorun çeşitli parçalarına gönderir. Bu şekilde öncelikle krank ana yataklarına ulaşan yağ buradan krank içindeki kanallarla biyel büyük başı yataklarına ulaşır. Diğer taraftan yağın bir kısmı silindir içleri ve piston alt yüzeyine gönderilirken bir kısmı silindir kapağına iletilerek egzantrik miline ve subaplara dağıtılır. Bunların yanında varsa zamanlama dişli ve zincirleri püskürtülen yağ ile yağlanır. Görevini tamamlayan yağ özel kanallardan süzülerek tekrar kartere ulaşır. Artan motor devriyle yağ basıncının aşırı artması veya tıkanan yağ filtre nedeniyle motora yağ akışının engellenmemesi için sistem emniyet subapları ve by-pass kanallarıyla desteklenmektedir (Şekil 2.5). Bu sistem otomobillerde ve ticari araçlarda en çok kullanılan yağlama sistemidir.



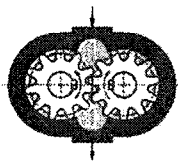
Şekil 2.5 Yağ banyolu yağlama (Staudt, 2000)

Basıncılı kuru hazneli (veya besleme deposu) sistemin yağ banyolu sistemden farkı fazla yağın karterde değil genellikle motor dışında bulunan bir yağ besleme deposunda tutulmasıdır. Motordan kartere süzülen yağ bir boşaltma pompası tarafından besleme deposuna gönderilir. Besleme pompası tarafından bu depodan yağ emilerek filtreye ve motora ulaştırılır ve motorun yağlanması sağlanır. Bu sistemde boşaltma pompası besleme pompasından daha fazla debiyle çalışarak besleme deposunun boşalmasını önler, ancak bunun sonucu oluşabilecek köpüklenme, süzgeçler ve köpük önleyici katkılarla önlenmeye çalışılır (Şekil 2.6). Bu yağlama sistemi daha çok, yağın çalkalanmasından endişe edilen, çok eğimli yüzeylerde çalışması gereken arazi taşıtı ve iş makinelerinde ve yüksek ivmelere maruz kalan yarış otomobillerinde kullanılır.

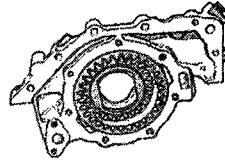


Şekil 2.6 Kuru hazneli yağlama (Staudt, 2000)

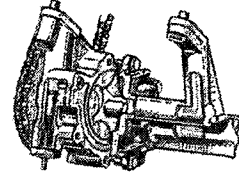
Yağlama sistemlerinin ana elemanı olan yağ pompaları çalışma prensiplerine göre farklı isimler alırlar. Bunlardan dış dişli pompalar iki dişli çarktan oluşurlar ve yağı pompa muhafazası ile çarkların diş boşlukları arasında sıkıştırarak bir taraftan diğer tarafa pompalarlar. İç dişli veya eksantrik dişli pompalar iç içe geçmiş eksantrik olarak dönen biri büyük biri küçük iki dişli çarktan oluşur ve eksantrik boşluğun genişleyen tarafından emilen yağ daralan tarafından sıkıştırılarak pompalanır. Kanatlı pompada ise kasa içerisinde eksantrik yerleştirilmiş bir rotorun kanatçıkları arasındaki genişleyip daralan odacıklarda yağ genişleyen taraftan emilerek daralan taraftan basılır (Şekil 2.7).



Dişli pompa



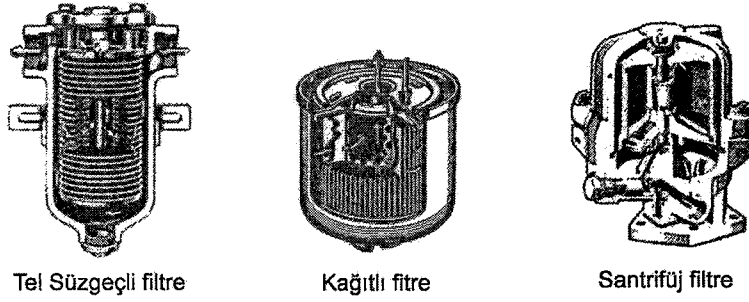
Eksantrik pompa



Kanatlı pompa

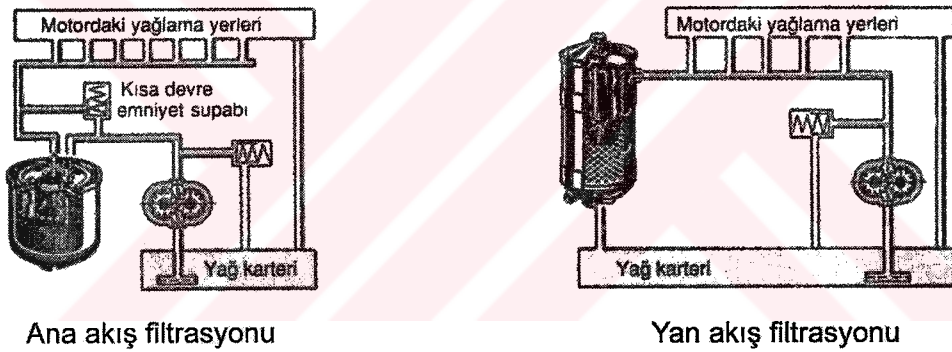
Şekil 2.7 Yağ pompası çeşitleri (Staudt, 2000)

Yağ pompasından çıkan yağ motora dağılmadan önce çeşitli filtrelerle süzülerek içerisindeki yanma, aşınma ve korozyon ürünlerinden temizlenir. Bunlardan en basiti tel süzgeçli filtredir, burada yağ çeşitli ebatlardaki süzgeçlerden geçirilerek temizlenir. Çok hassas olmayan (min 0,03 mm) bu filtre yağ değişimi sırasında yıkanarak tekrar kullanılabilir. Modern araçlarda kullanılan kağıtlı tip filtreler içerisinde yıldız şeklinde katlanarak yerleştirilmiş geniş filtre kağıtları bulundurur. Yağı hassas bir şekilde (min. 0,005 mm) süzen bu filtre yağ değişimi sırasında değiştirilip yenilenir. Bir diğer filtreleme şekli santrifuj filtrelemedir. Burada büyük santrifuj (merkezkaç) kuvvetlere maruz bırakılan yağ içerisindeki ağır artıklar yağdan ayrılarak tutulur ve yağ değişimi sırasında temizlenir (Şekil 2.8).



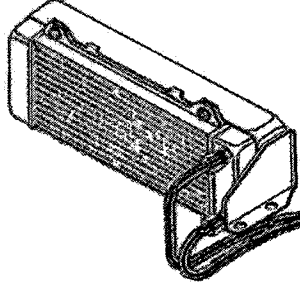
Şekil 2.8 Yağ filtreleri (Staudt, 2000)

Yağ filtrasyonu filtrenin sisteme bağlantı şekline göre iki tipte gerçekleşir. Ana (tam) akış filtrasyonunda filtre yağ devresine seri olarak bağlanır yani pompadan çıkan tüm yağ filtreden geçerek motora gider, sadece filtrenin tıkanıp durduğunda yağ bir emniyet subabıyla direkt motora yönlendirilir. Kısmi (yan) akış filtrasyonunda ise filtre yağ devresine paralel bağlanır ve pompadan çıkan yağın bir kısmı direkt yağlama yerlerine dağılırken diğer kısmı filtreden geçerek kartere döner yani, yağ kısmen filtre edilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Ana akış ve yan akış filtrasyonu (Staudt, 2000)

Motor yağının bir görevi de yağlanan yüzeylerde sürtünme ve motordaki yanma sebebiyle oluşan ısıyı uzaklaştırmaktır. (Motorda yanmadan ortaya çıkan ısının %3,5-4,5 'luk bölümünün yağlama yağıyla taşındığı bilinmektedir.) Bu sebeple özellikle günümüzdeki yüksek performanslı motorlarda yetersiz kalan karter soğutmasından dolayı yağın fazlaca ısınıp erken bozulmasını önlemek için yağ soğutucuları kullanılmaktadır (Şekil 2.10). Bunun için motor yağı hava akımıyla soğutulan metal tüplerden geçirildiği gibi, motor soğutma suyu dolaştırılan küçük radyatörlerden geçirilerek de soğutulabilir.



Şekil 2.10 Yağ soğutucusu (Staudt, 2000)



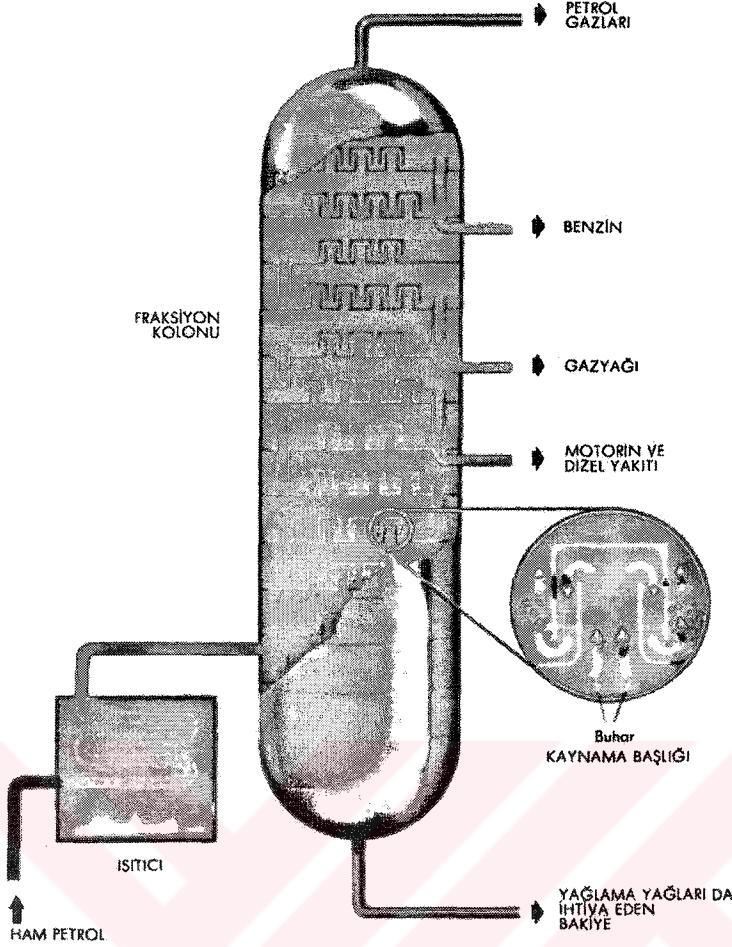
3. MOTOR YAĞLARI

3.1 Baz yağlar

3.1.1 Madeni Baz Yağlar

Motor yağları temelde ham petrolden rafine edilen madeni baz yağlardan oluşmaktadır. Baz yağları motor yağındaki oranı % 85 civarında olup, geriye kalan kısım motor yağının çeşitli özelliklerini iyileştirmek için eklenen yağ katkılarından oluşmaktadır.

Yer altından çıkarılan ham petrol rafineri tesislerine getirilerek burada hidrokarbon moleküllerinin parçalanmadan çıkabileceği en yüksek sıcaklık olan 380°C 'ye kadar ısıtıldıktan sonra damıtma (distillation) kulelerinde bileşenlerine ayrılır. Damıtma kuleleri üst üste dizilmiş tepsiler ve bunların üzerinde bulunan kaynama şapkalarından oluşmaktadır. Atmosferik basınçtaki birinci damıtma kulesine aşağı seviyeden gönderilen ham petrol içerisindeki hafif hidrokarbon bileşikleri buharlaşarak üst seviyelere doğru geçerken soğurlar. Kaynama fincanları arasından geçerek yükselen hidrokarbon buharındaki bileşikler uygun sıcaklıktaki tepsilerde yoğunlaşarak birikirler. Gaz olarak kalan veya tepsilerde biriken bu bileşikler ayrı ayrı alınarak özelliklerine göre farklı yakıt ve petrol ürünleri olarak kullanılırlar (Şekil 3.1). 380°C sıcaklıkta buharlaşmayan hidrokarbonlar ise sıvı halde damıtma kulesinin altında birikerek birinci bakiye olarak ayrılırlar. Parçalanmaması için (cracking) daha yüksek sıcaklığa çıkartılamayan bu hidrokarbonlar buradan alınarak vakum distilasyon kulesine gönderilir ve burada düşük basınç vasıtasıyla buharlaştırılırlar. Bu şekilde yağlama yağları için gerekli olan madeni ham yağlar, bazı petrokimyasallar ve ağır yakıt olarak fuel oil ayrılmış olur. Vakum altında da buharlaştırılamayan kısım ise ikinci bakiye olarak ayrılır ve bitüm ve asfalt üretiminde kullanılır.



Şekil 3.1 Damıtma kulesi (Shell, 1995)

Ham petrol temelde üç farklı tipteki hidrokarbon moleküllerinden oluşur. Bunlardan parafinik hidrokarbonlar, düz veya dallanmış zincir şeklindeki doymuş hidrokarbon molekülleri olup C_nH_{2n+2} şeklinde formülize edilirler. Aromatik hidrokarbonlar halka şeklinde, çift bağlar içeren doymamış hidrokarbon molekülleri olup C_nH_n şeklinde formülize edilirler. Parafinik ve aromatikler arasındaki ortalama özelliklere sahip olan naftenik hidrokarbonlar ise halka şeklindeki doymuş hidrokarbon molekülleri olup C_nH_{2n} şeklinde formülize edilirler ve siklo parafinler olarak da adlandırılırlar. Vakum distilasyonundan elde edilen yağlar ham haldedir. Baz yağların elde edilmesi için çeşitli proseslerle istenmeyen maddelerden arındırılması ve saflaştırılması gerekir. Bunun için uygulanan çeşitli fiziksel ve kimyasal prosesler bulunmaktadır.

Solvent tasfiyesi işlemi (solvent refining) ham yağ içerisindeki aromatik hidrokarbonların ayrılması için yapılan bir işlemdir. Aromatikler, doymamış hidrokarbonlar olduğundan kolayca okside olarak yağın kalitesini kısa sürede bozarlar, ayrıca yüksek derecede kanserojen olduklarından yağda bulunmaları istenmez. Bu nedenle ham yağlara karıştırılan çeşitli solventlerle aromatikler kolaylıkla eritilerek ham yağdan uzaklaştırılırlar.

Asit tasfiyesi işlemi (acid refining) ile solventle ayrılamayan az miktardaki aromatik ve diğer doymamış hidrokarbon bileşikleri ham yağdan ayrılırlar. Bu yöntemde sülfürik asit gibi kuvvetli ve çözünürlüğü yüksek asitler ham yağa katılır ve doymamış hidrokarbonlarla tepkimeye girerek onları tortu şeklinde çökeltirler. Yağ içerisinde kalan bir miktar asit ise nötralizasyon yöntemiyle temizlenerek işlem tamamlanmış olur.

Yağların, düşük sıcaklıklara inildikçe kristalize olup akışkanlığını kaybetmesine neden olan vaks (mum) genelde naftenik yağlarda bulunmamasına rağmen parafinik ham yağlarda çokça bulunmaktadır. Vaksın yağdan ayrılması (dewaxing) için genellikle ham yağa çeşitli solventler katılarak veya yağ soğutularak vaks kristalize hale getirilir ve süzülerek yağdan ayrılır.

Son olarak yağ içerisinde kalan bazı reaktif bileşiklerin ve yağa siyah bir renk veren az miktardaki bitüm ve zift artıklarının temizlenmesi için yağ saf veya aktive edilmiş kil ile muamele edilir (clay treating). En sonunda yağ, filtrelerden geçirilip süzülerek istenen özelliklere sahip duru ve berrak bir şekilde madeni (mineral) baz yağ elde edilmiş olur.

Madeni baz yağlar geleneksel olarak yukarıda anlatılan yöntemlerle elde edilmektedir. Ancak gelişen teknoloji, verimliliğin artırılması ve çevresel zorlamalar sonucu ortaya çıkan yeni yöntemler de mineral baz yağların üretiminde kullanılmakta ve yine benzer yöntemlerle mineral baz yağlardan yarı sentetik baz yağlar üretilmektedir. Bu yöntemler genel anlamda hidrojenle muamele (hydrotreating, hydrogenation) ve hidrokraking (hydrocracking) olarak isimlendirilebilir. Solvent tasfiyesi, asit tasfiyesi ve mum ayrılması işlemleri sırasında önemli miktarda ham yağ kaybı ortaya çıkmaktadır. Bu proseslerin artıkları başka alanlarda değerlendirilseler de katma değerlerindeki düşüş kayıp oluşturmaktadır. Son yıllarda ham petrol kaynaklarının kalitesindeki düşüş de mineral baz yağların saflaştırılması için daha fazla işlenmesine ve artık madde oranının artmasına sebep olmakta ve verimliliği düşürmektedir. Bununla birlikte asidik ve aromatik artıkların çevre ve insan sağlığı üzerindeki artan etkileri de şirketleri zorlamaktadır.

Hidrojenle muamele temelde mineral ham yağların belirli bir basınç ve sıcaklık altında

hidrojenle kimyasal reaksiyona sokulmalarıdır. Düşük basınç ve sıcaklık altındaki reaksiyonlarda kararsız moleküllerdeki kükürt, oksijen ve azot gibi heterojenlik oluşturan atomlar uzaklaştırılarak kimyasal stabilite sağlanır. Basınç ve sıcaklık belli bir noktaya kadar yükseltirse doymamış aromatik moleküller hidrojenle doyurularak naftenik ve parafinik moleküllere dönüşürler. Ayrıca bazı, katalizör etkisindeki hidrojenle muamele işlemleriyle mum oluşturan büyük parafinik moleküller zararsız veya düşük sıcaklık direncini arttıran yapılara çevrilir. Dolayısıyla hidrojenle muamele yöntemleri madeni baz yağların üretiminde solvet, asit tasfiyesi ve vaks ayrılması işlemleri yerine kullanılabilir. Hidrojenle muamelede sıcaklık daha da arttırıldığında ise yukarıdakilere ek olarak büyük hidrokarbon molekülleri küçük parçalara ayrılarak hidrokraking meydana gelir. Hidrokraking sırasında ayrıca küçük parçacıklar büyük moleküler yapılar oluşturabilir ve bazı naftenik moleküllerin çember yapısı bozulup açılabilir.

Hidrojenle muamele yöntemleriyle her türlü ham madeni yağdan istenen saflıkta ve kimyasal yapıda baz yağlar kolaylıkla ve yüksek verimle üretilebileceğinden geleneksel yöntemlere göre avantajlı ve önu açıktır. Tamamen veya büyük çoğunlukla hidrojenle muamele yöntemleriyle saflaştırılıp özellikleri idealize edilerek madeni ham yağlardan üretilen yağlayıcılar günümüzde yarı sentetik yağlar olarak isimlendirilmektedirler (Brock, 2002).

3.1.2 Sentetik Baz Yağlar

Sentetik baz yağlar aşırı sıcaklık farklılıkları gibi zorlu çalışma şartlarına dayanmak ve daha uzun kullanım ömrü sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bunlar içerisinde çok çeşitli hidrokarbonlar, oksijen, azot ve kükürtlü bileşikler bulundurması sebebiyle saflaştırılıp rafine edilmesi gereken mineral baz yağlardan farklı olarak belirli birkaç bileşiğin (daha çok petrol tabanlı) reaksiyonuyla, kullanılacağı koşullara göre özel olarak üretilmektedir. Sentetik yağların endüstride kullanılmaya başlaması 1930 'lu yıllara rastlamaktadır. İkinci Dünya Savaşı ve sonrasında gelişen havacılık ve silah sanayinin ihtiyaçları ve madeni baz yağların yetersiz kalması sentetik baz yağların gelişimine önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Ancak madeni yağlara nazaran oldukça yüksek olan maliyetleri sentetik baz yağların otomotiv sektöründe kullanımını kısıtlamıştır. Günümüzde ise artan performans ihtiyaçları, gelişen çevresel duyarlılık ve gelişen üretim teknolojisi sayesinde düşen maliyetleri, sentetik yağların otomobillerde kullanımını yaygınlaştırmaktadır.

Sentetik yağlar farklı kaynaklardan üretilmektedir. Temel sentetik baz yağ sınıfları sentetik hidrokarbonlar (polialfaolefinler), sentetik esterler ve polialkilen glikollerdir. Ancak bunların

hepsi otomotiv endüstrisinde kullanılmamaktadır. İçten yanmalı motorlarda kullanılan sentetik yağlayıcılarda büyük çoğunlukla sentetik hidrokarbonlardan olan polialfaolefinler (PAO) ve sentetik esterlerden dikarboksilik asit esterler ile bunların bileşimleri kullanılmaktadır. Bugün bilinmektedir ki bunlar ve diğer bazı sentetik yağlayıcılar, önemli bir petrokimyasal olmasının yanı sıra basit bir molekül olan etilenden (C_2H_4) başlanılarak sentezlenebilmektedirler.

Polialfaolefinler isimlerini temel yapıtaşları olan 6-12 karbon atomlu moleküller olan alfa-olefinlerden alırlar. PAO 'ler çok düşük akma noktaları, yüksek viskozite indeksleri ($VI>135$) ve düşük uçuculuk özellikleriyle mineral yağlara göre önemli üstünlüklere sahiptirler. Katıklar olmadan mineral yağlara nazaran düşük oksidasyon performansı göstermelerinin sebebi mineral yağlardaki doğal antioksidan bileşiklerdir. Buna rağmen PAO 'ler antioksidan katıklarla çok iyi uyum sağlamak ve yüksek seviyede aşınma ve aşırı basınç dayanımları göstermektedirler. Bunların yanında polialfaolefinler suyun oluşturacağı etkilere karşı üstün bir dayanım sağlamaktadır. Suyu tamamen iterek yağ içinde barındırmaz, emülsiyon oluşturmazlar. Ayrıca düşük polaritelerini arttırmak için PAO 'ler az miktarda dikarboksilik asit esterler veya solvent tasfiyeli mineral baz yağ katkısıyla kullanılabilirler.

Karboksilik asit esterler içerdikleri karboksilik grubun kuvvetli çift kutupluluğu nedeniyle sahip olduğu düşük uçuculuk ve yüksek parlama noktası değerlerinin yanında yüksek ısıl stabilite (COO bağları termal olarak C-C bağlarından daha stabildir) ve çözücülük özelliklerine sahiptir. Ester baz yağları kutuplu yapıları sayesinde metal yüzeylere kolaylıkla yapışarak üstün sınır yağlama özelliği gösterirler. Ancak kurşun ve bakır içeren alaşımlara karşı reaktif (olumsuz) etki göstermektedirler. Yapılarında ikişer tane karboksil grubu bulunan ester moleküllerinden oluşan dikarboksilik asit esterler mineral yağlara göre daha yüksek viskozite indeksi (VI) değerlerine sahiptirler ve düşük sıcaklıklardan daha az etkilenirler. Çoğunlukla aşırı basınç katıklarıyla desteklenmiş dikarboksilik asit esterler üstün viskozite-sıcaklık karakterleriyle otomotiv motor yağlarında kullanılmakta ve özellikle dizel motorlara önemli ölçüde uyum sağlamaktadır.

Yukarıda anlatılanlardan başka az miktarda, farklı uygulamalar için geliştirilen sentetik baz yağlar bulunmaktadır. Bunlar ve bunların farklı karışımları sentetik hidrokarbon ve esterlerle birlikte veya yalnız olarak çeşitli alanlarda kullanılabilir (Mang, 2001).

3.1.3 Baz Yağların Karşılaştırılması

Motor yağları, baz yağlar ve yağ katkılarının bir arada bulunduğu karmaşık yapı

karışımlardır. Bunların içinde baz yağları önemli bir rol oynamaktadır. American Petroleum Institute (API) baz yağları, karakteristik özellikleri dikkate alınmaksızın, kabaca viskozite ve performanslarına göre bir sınıflandırmaya tabi tutmuştur (API 1509). Buna göre baz yağlar konvansiyonel, madeni yağ bazlı, yarı sentetik, sentetik ve diğerleri şeklinde beş farklı grup halinde incelenmektedir. Bu grupların şu şekilde sıralanmaktadır.

Grup 1, solvent tavsiyeli madeni yağlar; %20 den fazla aromatik hidrokarbonlar içeren, viskozite indeksi 80-120 arasında olan ve %0,1 den fazla kükürt içeren baz yağlar,

Grup 2, hidrokraking uygulanmış madeni yağlar; %20 den az aromatik bileşikler içeren, viskozite indeksi 80-120 arasında olan ve %0,1 den az kükürt içeren baz yağlar,

Grup 3, hidrokraking uygulanmış madeni yağlar; %20 den az aromatik bileşikler içeren, viskozite indeksi 120 'nin üzerinde olan ve %0,1 den az kükürt içeren baz yağlar,

Grup 4, polialfaolefinler (PAO),

Grup 5, esterler ve diğer baz yağlardır.

Gelişen otomotiv teknolojisiyle birlikte motor yağlarından beklenenler de her geçen gün artmaktadır. Günümüzde otomobil imalatçıları motor yağlarını yapısal birer eleman olarak görmekte ve geliştirilmelerine yardımcı olmaktadır. Sonuç olarak motor yağlarının kaliteleri yükselmiş, artan çevresel, ekonomik ve teknolojik ihtiyaçlarla birlikte yarı sentetik ve sentetik motor yağları geliştirilerek kullanılmaya başlanmıştır.

Madeni baz yağlar göz önüne alındığında, sentetik baz yağlar, yüksek ısıl ve oksidatif stabiliteleri sayesinde uzun kullanım ömrü sunmakta, düşük uçuculuk ve yüksek yoğunlukları sayesinde daha düşük yağ tüketimi sağlamakta ve yüksek parlama ve yanma noktaları sayesinde daha güvenli bir kullanım sağlamaktadırlar. Ayrıca sentetik baz yağlar, üretimlerindeki hassasiyet ve saflıkları sebebiyle zorlu koşullara uygun, beklentileri ve müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak motor yağlarının üretilmesine olanak sağlamaktadır.

Yukarıda açıklanan avantajlarına karşın, sentetik baz yağların maliyetleri özel üretim teknikleri ve düşük kapasiteler nedeniyle madeni baz yağlara göre oldukça yüksektir. Ancak onların gerçek maliyeti, çözdükleri yağlama problemleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Anlaşıldığı şekilde motor yağı seçimi yapılırken ihtiyaçlar ve sağlanacak faydalar ile maliyet ve kullanım ömrü gibi değişkenler dikkate alınarak hassas bir değerlendirme yapılmalıdır.

3.2 Yağ Katkıları

Baz yağlar sentetik olsun mineral olsun yalnız başlarına modern yağlardan beklenen özelliklere erişemezler. Katıklar baz yağların yanına katılarak onlardaki çeşitli özelliklerin geliştirilmesine ve modern motorların ihtiyaç duyduğu farklı özelliklerin onlara kazandırılmasına olanak tanır. Yağ katkıları genel olarak sağladıkları faydalara göre antioksidanlar, deterjanlar, dispersanlar, viskozite indeks arttırıcılar, akma noktası düşürücüler, korozyon önleyiciler, pas önleyiciler, köpük önleyiciler, sürtünme önleyiciler, aşınma önleyiciler ve aşırı basınç katkıları olarak isimlendirilen kimyasal bileşiklerdir.

Baz yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri (viskozite, parlama noktası, akma noktası, viskozite indeksi, korozyon direnci) günümüz motorları için yetersiz olduklarından bunlar katıklar vasıtasıyla geliştirilir ve gene baz yağlara eklenen katıklar vasıtasıyla onları motorların ihtiyaç duydukları çeşitli kimyasal özellikler (oksidasyon direnci, korozyon ve pas direnci, katışkı ve artıkların tutulması, sürtünme ve aşınmanın azaltılması) kazandırır.

Sonuçta ortaya çıkan motor yağının performansı baz yağa olduğu kadar katıklara da bağlıdır. Dolayısıyla katıklar motor yağının bileşiminde önemli yer teşkil eder ve günümüz motor yağları %10-25 oranında yağ katığı içerir. Farklı katıklar yağ içerisinde birbirinin birbirinin özelliklerini destekleyip geliştirebildiği gibi birbirini olumsuz yönde de etkileyebilir. Bunu önlemek için birkaç özelliğe sahip olan katkı modelleri sayesinde daha az çeşit katkı kullanılmaya çalışılır.

Günümüzde artan motor performansı neticesinde yükselen devir sayısı sıcaklık ve basınç değerleri gibi etkenlerin yanında çevresel duyarlılıklar neticesinde ortaya çıkan ve düşük yakıt tüketimi, uzayan yağ değişim periyodu gibi ihtiyaçlar sebebiyle yağ katkılarının önemi giderek artmaktadır. Motor yağlarının katıklardan kaynaklanan fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Antioksidanlar, motor yağının oksidasyon stabilitesini arttırarak vernik ve çamur oluşumunu engeller ve böylece yağın ömrünü uzatır.

Deterjanlar, yağlanan yüzeylerde yüksek sıcaklıklarda birikintilerin oluşmasını engelleyerek temiz kalmalarını sağlar.

Dispersanlar (dağıtıcılar), yağda çözünmeyen oksidasyon ve yanma ürünlerini yağ içerisinde süspansiyon halinde tutarak onların birleşip çamur oluşturmalarını önler.

Viskozite indeks arttırıcılar, motor yağının viskozitesinin sıcaklık arttıkça düşme oranını

azaltırlar.

Akma noktası düşürücüler, motor yağının çok düşük sıcaklıklarda dahi akışkanlığını korumasını sağlar.

Korozyon önleyiciler, yağlanan metal yüzeylerin, yanma ve bozulma sonucu ortaya çıkan asit ve peroksitlerin kimyasal saldırılarına karşı korunmasını sağlar.

Pas önleyiciler, yağlanan demir esaslı yüzeylerin ortamda bulunan nem (su) nedeniyle paslanmasını önler.

Köpük önleyiciler, yağın çalkalanma sonucu köpüklenmesini azaltarak basınçlı yağ hatlarına hava kabarcığı giderek yağlanmanın bozulmasını ve yağın fazla havayla temas ederek okside olmasını engeller.

Sürtünme iyileştiriciler, motor yağın sürtünme katsayısını düşürerek yakıt ekonomisine katkıda bulunurlar ve yağ filminin sağlamlığını artırarak yağlamanın fazla yük nedeniyle bozulmasını önler.

Aşınma önleyiciler ve aşırı basınç katkıları ise yağlanan yüzeyler üzerinde yüksek basınç altında yüzeyle bileşikler oluşturarak ekstrem durumlarda parçaların aşınıp hasara uğramasını engeller.

Yukarıdaki özelliklerin dışında yağ katkılarından baz yağıyla ve kendi aralarında uyumluluk için baz yağda çözünebilirlik, kimyasal stabilite, uyumluluk, zehirsizlik, düşük uçuculuk, esneklik ve kontrol edilebilir aktiflik gibi özelliklere sahip olması beklenmektedir.

3.2.1 Oksidasyon Önleyiciler (Antioksidanlar)

Oksidasyon motor yağının bozulmasını oluşturan en önemli süreçtir ve oksidasyon sonucu oluşan ürünler vernik ve çamuru oluşturur. Bu nedenle oksidasyon süreci geciktirilmelidir. Oksidasyon temelde yağ içerisindeki serbest radikallerin reaksiyonu sonucu oluşur ve bu reaksiyonlar ortamdaki bazı metaller tarafından katalize edilerek hızlandırılır, ayrıca sıcaklık artışı da bunları hızlandırır. Oksidasyon yağda hidroperoksitler ve peroksi serbest radikaller meydana getirir. Oksidasyon önleyici katıklar bu bileşiklerle reaksiyona girerek ortamdan uzaklaştırırlar. Ayrıca oksidasyonu hızlandıran metal iyonlarını engelleyen bazı katıklar da oksidasyon önleyici olarak kullanılır. Böylece temelde üç tip antioksidandan söz edilebilir. Serbest radikal engelleyiciler, hidroperosit ayrıştırıcılar ve metal durdurucular.

Madeni baz yağlar doğal olarak yapılarında bir miktar oksidasyon önleyici moleküller

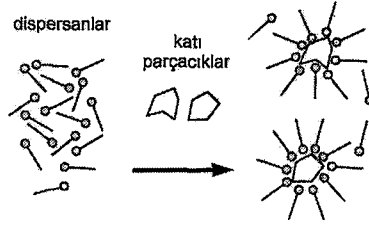
içerirler. Bunun dışında oksidasyon önleyicilerin genelini çeşitli sentetik moleküller oluşturur. Bular genel olarak hidroperoksit ayrıştırıcılar olarak kullanılan kükürt ve fosforlu bileşikler, örneğin çinko dialkil dithiofosfat (ZnDTP), alkilsülfidler; serbest radikal önleyiciler olarak kullanılan azot ve oksijenli bileşikler, örneğin arilaminler ve alkilfenoller şeklinde sınıflandırılabilirler. Bunların içinde her üç mekanizmada da etki gösterebilmesi sebebiyle (radikal engelleme, peoksit ayrıştırma ve metal durdurma) ZnDTP bileşikleri motor yağları içerisinde en çok tercih edilen antioksidan katkılardır (Rizvi, 1998).

3.2.2 Deterjanlar ve Dispersanlar

Günümüz motorlarında yağlar, yüksek sıcaklıklar ve reaktif yanma ürünleri vasıtasıyla önemli ölçüde zorlanmaya maruz kalmaktadırlar. İşte deterjan ve dispersan katıklar bu şartlar altında, yağ içerisindeki yağda çözünmeyen maddeleri süspansiyon halinde yüzdürerek çökmelerini önlerler ve diğer atıklarla birleşip motor içerisinde çamur ve katı artıklar oluşturmalarını engellerler.

Deterjanlar temel görevi yağlanan yüzeyler temizlemek olan yağ katkılarıdır. Bunlar metal yüzeylerindeki artık çöktürmeleri temizlerler ve onları yağ içerisinde yüzeylerde birikmesini engellerler ve asidik yanma ve oksidasyon ürünlerini nötralize ederek korozyonu ve yüzeylerde reçine oluşumunu engeller. Deterjanlar genelde organik kalsiyum, magnezyum, ve sodyumlu tuzlarından oluşurlar. Bunların en önemlileri sülfonatlar, fenatlar, salisilatlar ve tiofosfatlardır.

Dağıtıcı (dispersan) katıklar asidik ve yağda erimeyen oksidasyon ürünleri ile yağa karışan çeşitli kirletici parçacıkların bir araya gelmesini engelleyerek onların yağ içerisinde süspansiyon halinde kalmalarını sağlayan maddelerdir. Yukarıdaki kirleticiler tamamlanmamış yanma ürünleri (kurum gibi), yağın oksidatif bozulma ürünleri, kimyasal olarak aktif maddelerin (organik asitler) metal yüzeylerle reaksiyon ürünleri veya ısı olarak kararsız bazı yağ katkılarının ayrışma ürünleri olarak sayılabilir. Dispersanlar azot veya oksijen içeren bir polar grup ve onun bağlandığı büyük bir hidrokarbon zincirinden oluşan metalik olmayan bileşiklerdir. Başlıca dispersanlar süşiminidler, kopolimerler, süşinik esterler ve poliaminlerdir. Bunlardan motor yağlarında en çok kullanılanlar süşiminid bazlı dispersan katıklardır. Dağıtıcılar yüksek yapışma özelliğine sahip olan polar kısımlarıyla artık parçacıklarına tutunup onun etrafını sararlar ve dış kısımda kalan hidrokarbon zincirleri vasıtasıyla yağ içerisinde yüzer halde kalmalarını sağlayıp birbiriyle birleşmelerini ve yüzeylere çökmelerini önlerler (Şekil 3.2).

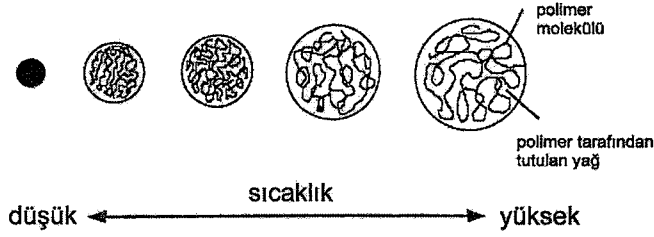


Şekil 3.2 Dispersan katıkların etki mekanizması (Mang, 2001)

Dispersan ve deterjan katıklar çoğunlukla birbirine çok yakın görevleri ve çalışma mekanizmalarıyla her iki görevi de üstlenirler ve birbirleri yerine kullanılırlar. Bu nedenle çoğu literatürde bu iki katık cinsi birlikte ele alınmaktadır.

3.2.3 Viskozite İndeks Arttırıcılar

Viskozite sıvıların iç sürtünmesinden ortaya çıkan ve akışkanlıklarını belirleyen bir karakteristik özelliktir. Viskozite artan sıcaklığa bağlı olarak düşmektedir. İşte viskozite indeksi yağlardaki sıcaklığa bağlı viskozite düşüşünü gösteren bir parametredir. Artan sıcaklıkla birlikte viskozite kaybı daha az olan yağların viskozite indeksi daha yüksektir. Baz yağlar artan sıcaklıkla birlikte düşen viskoziteleri sonucu yağlama filmi oluşturma kabiliyetlerini kaybederek yağlanan yüzeylerde sınır ve kuru sürtünmeye yol açarak aşınma ve hasara sebebiyet verebilirler. Bunun engellenmesi amacıyla sıcaklığa viskozite değişimini azaltmak için yağ içerisine katılan katıklara viskozite indeks arttırıcılar denmektedir. Bu katıklar polimer bazlı moleküllerden oluşup molekül ağırlıkları 10000-250000 g/mol arasında değişmektedir. Bu polimerlerin yağlara katılması onların düşük sıcaklıklardaki viskozitelerini çok az arttırırken yüksek sıcaklıklardaki viskozite değerlerini önemli ölçüde yükseltmektedir. Böylece kışın düşük viskoziteli, yazın yüksek viskoziteli farklı yağların kullanılma ihtiyacı azalmakta ve multigrade dediğimiz dört mevsim kullanılabilen motor yağları ortaya çıkmaktadır. Genelde polimerlerin molekül ağırlıkları arttıkça yağın viskozitesine etkileri de artmaktadır. Artan sıcaklıkla devreye giren viskozite yükseltme mekanizması şu şekilde çalışmaktadır. Düşük sıcaklıklarda yumak halindeki polimer molekülleri küçük hacim (yüzey alanı küçük) kaplamakta ve bu nedenle yağ ile az bir alanda temas kurmaktadır. Ancak sıcaklık yükseldikçe artan enerjiyle polimer molekülleri açılmakta ve artan yüzey alanıyla birlikte daha fazla miktarda yağ ile temas kurmaktadır. Polimer moleküllerinin artan sıcaklıkla birlikte daha fazla yağ molekülünü tutması yağ moleküllerinin hareketini kısıtlamakta ve böylece yüksek sıcaklıktaki viskozite düşüşünü sınırlamaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Viskozite indeks arttırıcı polimerlerin etki mekanizması (Rizvi, 1998)

Ticari olarak kullanılan viskozite indeks arttırıcılar iki genel sınıfa ayrılırlar. Bunlar olefin bazlı ve ester bazlı polimerlerdir. Poliizobutilenler, olefinkopolimerler, etilen propilen kauçuklar, etilen propilen dienler ve hidrojenize stiren dienler, olefin bazlı polimerlerdir. Polimetakrilatlar ve stiren polyesterler ise ester bazlı polimerlerdir. Motor yağlarında en çok olefinkopolimer, etilen propilen kauçuk ve etilen propilen dien tipi polimerler kullanılır. Viskozite indeks arttırıcı olarak kullanılacak polimerlerde viskozite etkisi dışında başka özellikler de aranmaktadır. Bunlar kesilme (makaslanma) dayanımı, ısıl ve oksidatif stabilite ve düşük sıcaklık performansıdır. Kesilme dayanımı yani mekanik zorlanmalara (piston silindir ara yüzeyindeki makaslama etkisi) karşı polimerlerin dayanımı moleküllerin büyüklüğüyle ters orantılıdır. Mekanik zorlamalar sonucu ortaya çıkan viskozite kaybının bir kısmı tekrar kazanılabilsede önemli bir bölümü kalıcıdır ve yağlanan parçaların hasarına sebep olabilir. Bunun yanında termal ve oksidatif stabilitenin düşük olması da viskozite kaybına sebep olur. Bunun nedeni ise polimerlerin büyüklüğünden çok yapısıdır. Düşük sıcaklık performansı da gene moleküllerin yapısına bağlıdır. Doğrusal yapılı moleküllerin düşük sıcaklık performansı, dallanmış moleküllerinkinden daha düşüktür.

3.2.4 Akma Noktası Düşürücüler

Akma noktası bir yağlayıcının belirli şartlar altında soğutulduğunda akmaya devam edebildiği en düşük sıcaklıktır. Genel anlamda akma noktası yağın içerdiği vaks (mum - doğrusal parafin zincirleri) miktarına bağlıdır. Düşük sıcaklıkta vaks ağ biçiminde kristalize olarak yağdan ayrışır. Bu kristaller önemli miktarda yağı tutarak akışkanlığını yok eder ve sonucunda yağlamaya zarar verir. Bazı yağlar rafinerilerde vakstan arındırılmalarına rağmen tamamen ayrıştırılmaları pratikte mümkün değildir. Bu yüzden ihtiyaç duyulan akma noktası düşürücü katıklar vaks kristallerinin şekline ve büyüklüğüne müdahale ederek iş görürler. Bunlar yeni oluşan kristallerin yüzeylerini kaplayarak veya onlarla ara bileşikler oluşturarak kristallerin daha da büyüyerek ağ halini almalarını engeller.

Böylece iğne veya plaka yapılı kristaller yerine küresel kristaller oluşur ve bu şekilde bunların birleşerek daha büyük yapılar oluşturması engellenmiş olur. Akma noktası düşürücüler çoğunlukla organik moleküllerden oluşurlar. Bunlardan bazıları, alkilnaftalen, polimetakrilat, polifumerat, stiren ester, pitalik asit esterler gibi polimerlerdir. Bu katıkların genelde kullanım oranları azdır. Hemen hemen bütün durumlarda optimum bir konsantrasyon seviyesi vardır ve bunun altında da, üstünde de akma noktası düşürücüler etkilerini kaybetmeye başlarlar (Bartz, 1993).

Bazı viskozite indeks arttırıcılar ve akma noktası düşürücüler birbiri yerine kullanılabilir, yani iki görevi birden yapabilirler.

3.2.5 Korozyon Önleyiciler

Soy metaller haricinde doğadaki tüm metaller az veya çok korozyona uğrarlar. Korozyon önleyici katıklar motor içerisindeki metal yüzeyleri yağın eskimesi, yanma ürünleri ve yakıt artıkları sebebiyle ortaya çıkan asidik ürünler, peroksitler ve diğer oksijenli bileşiklere karşı korumak için kullanılırlar. Baz yağlar metal yüzeyler üzerinde oluşturdukları yağ filmiyle bir miktar koruma sağlasalar da bu yeterli değildir. Bu nedenle yukarıda bahsedilen bileşiklere karşı antioksidan katıklar da görev yaptığından korozyon önleyici ve oksidasyon önleyici katıklar birbirini desteklerler. Korozyon önleyiciler basit bir şekilde metal yüzeylerinde oluşturdukları koruyucu film sayesinde zararlı bileşiklerin metal yüzeylere ulaşmasını ve ayrıca metallerin oksidasyon üzerinde katalizör etkisi göstermesini engeller. Korozyon önleyiciler yapılarındaki polar gruplar sayesinde metal yüzeylere yapışarak etki ederler. Bunların etki ettikleri en önemli ve motorlarda en çok korozyona maruz kalan parçalar bakır alaşımli yataklardır. Korozyon önleyici katık olarak kullanılan başlıca bileşikler şunlardır; metal dithiofosfatlar, sülfuratlar, metal dithiokarbonatlar, kükürtlü terpanlar ve kükürtlü olefinlerdir. Korozyon önleyiciler incelenirken onların antioksidanlarla akrabalıkları dikkate alınmalıdır (Bartz, 1993).

3.2.6 Pas Önleyiciler

Demir dışı metallerin kimyasal korozyona uğraması gibi demir esaslı metallerde elektro kimyasal olarak korozyona uğrar. Ortamda suyun bulanmasıyla su - demir oksit bileşikleri oluşarak ortaya çıkan korozyona paslanma denir. Bunu önlemek için motor yağına katılan pas önleyicilerin işi suya karşı metal yüzeyinde bir engel oluşturmaktadır. Bunu da demir veya demir esaslı yüzeylerde yapışarak sağlam bir film tabakası oluşturan polar bileşikler sayesinde gerçekleştirirler. Bu özelliklere sahip olup pas önleyici olarak kullanılan bazı bileşikler,

sülfonatlar, amin fosfatlar, esterler ve eterlerdir (Rizvi, 1998).

3.2.7 Köpük Önleyiciler

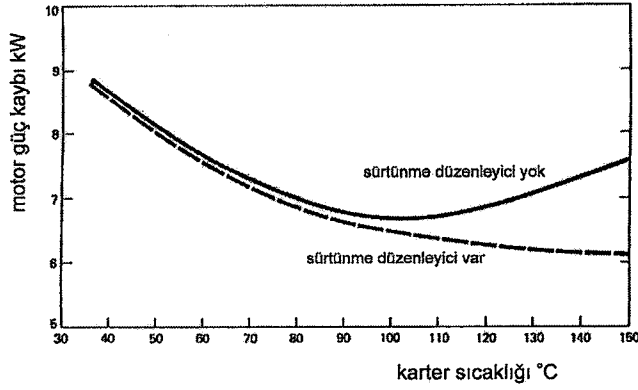
Köpük, herhangi bir sıvı içerisinde fazla miktarda gaz girmesiyle oluşan bir formdur. Yağlayıcılar içerisinde köpük oluşumu arttıkça yağlama zarar görebileceği ve zamanla yağlayıcı oksidasyona uğrayacağı için köpüğün azaltılması gereklidir. Motor yağlarında aşırı köpüklenme sonucu yüzey kısmında oluşan büyük köpükler yağın havayla temas eden yüzeyini önemli oranda artırarak oksidasyonu hızlandırdığı gibi, yağın içine yayılan çok küçük köpükler ise yağlama hatlarında basınç değişiklikleri sonucu düzensiz yağlama ve kavitasyon, dolayısıyla motorda aşınma meydana getirirler. Motor yağının viskozitesi ve yüzey gerilimi köpüklerin stabilitesini belirler. Düşük viskoziteli yağlarda çabuk yok olan büyük köpükler oluşurken, yüksek viskoziteli yağlarda küçük ama uzun süre bozulmayan köpükler oluşur. Köpük önleyici katıklar motor yağının yüzey gerilimini düşürerek köpüklerin dayanımını azaltıp çabuk yok olmalarını sağlarlar. Ancak bu katıklar yağın içinde yayılmış çok küçük boyutlardaki köpüklere karşı fazla etkili değildirler. Köpük önleyiciler genelde yağda çözünürlükleri az olan ve çok küçük oranlarda yağa katılan moleküllerdir. Bunlardan başlıcaları silikonlar ve poliakrilatlardır (Rizvi, 1998).

3.2.8 Sürtünme Düzenleyiciler

Normal şartlarda yağlanan yüzeyler arasında bulunması gereken yağ filmi çalışma koşulları zorlaştıkça bozulmaya ve yetersiz kalmaya başlar. Düşük çalışma hızı, düşük viskozite, yüksek yüzey pürüzlülüğü ve artan yük sonucu yağ filmi tüm yükü taşıyamaz ve karşılıklı yüzlerin pürüz uçları birbirine değerek yük taşımaya yardımcı olur. Yağ filminin inceliğiyle oluşan bu duruma karışık yağlama durumu denir ve sürtünme iyileştirici katıklar bu koşullar için kullanılır. Çalışma şartlarının daha da zorlaştığı durumlarda ise çok incelen yağ filmi nedeniyle metal metale temas durumu oluşur ve bu duruma sınır yağlama hali denir. İleride bahsedeceğimiz aşınma önleyici ve aşırı basınç katıkları ise bu durumlarda görev yaparlar.

Sürtünme düzenleyici katıklar sürtünme katsayısını düşüren ve yüzeyler arasında titreşimsiz, yumuşak bir kayma sağlayan kimyasal maddelerdir. Bunlar genel anlamda yağ filmini güçlendirerek bozulmasını önler ve sürtünen yüzeyleri birbirinden uzak tutarlar. Sürtünme düzenleyicilerin bir diğer özelliği de düşen sürtünme katsayısı sayesinde enerji tasarrufu sağlamaları dolayısıyla yakıt ekonomisini % 3 - 4 arttırmalarıdır. Bunların sürtünmeye etkisi yüksek sıcaklıklarda görülür. Artan motor sıcaklığına bağlı olarak ısınan yağın viskozitesi düşmesi sonucu sürtünme kayıpları da artar. İşte sürtünme düzenleyiciler bu kayıpları

azaltarak iş görür (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Sürtünme düzenleyicilerin motor yağına etkileri (Bartz, 1993)

Sürtünme düzenleyici katıklar çok yaygın olarak kullanılırlar ve çok çeşitliliğe sahiptirler. Genel anlamda sürtünme katsayısını düşüren bu katıklar çoğunlukla oksijen, azot, molibdenli bileşikler ve karboksilik asitler, yağ asidi esterleri, amidleri, alkoller gibi doğrusal hidrokarbon bileşiklerinden oluşurlar. Bu katıkların yağ filmini güçlendirmeleri, yüzeylere fiziksel olarak absorbe olmaları (polar gruplar sayesinde yapışarak yüzeyi kaplamaları) sonucu yüzeyleri birbirinden ayırıp sürtünmeyi azaltmaları şeklinde olur. Bunlar genelde yüklerin çok aşırı olmadığı durumlar için uygundur. Sürtünme düzenleyicilerin çalışmasını etkileyen diğer etkenler şunlardır. Bünyelerindeki polar grupların kutupluluk (yapışma) kuvveti arttıkça sürtünme düzenleyicilerin yüzeyde oluşturduğu film güçlenir. Yapılarında bulunan alkil zincirleri uzadıkça koruyucu filmin kalınlığı artar. Ekonomik olduğu sürece sürtünme düzenleyicilerin yağ içerisindeki konsantrasyonu arttıkça etkileri de artar. Bunların yanında sıcaklık çok yükselirse artan enerji sebebiyle yüzeye yapışan moleküller ayrılmaya başlar ve sonuçta koruyucu film zayıflayarak etkisini kaybeder.

3.2.9 Aşınma Önleyiciler ve Aşırı Basınç Katıkları

Daha önce de bahsedildiği şekilde hidrodinamik yağlamanın devam edemediği zor koşullarda karışık yağlamanın başlamasıyla birlikte ilk önce sürtünme düzenleyici katıklar yüzeylerde fiziksel bir tabaka oluşturarak parçaları korurlar. Şartlar daha da ağırlaştığında ve zamanla sınır yağlama durumu ortaya çıktığında ise bu fiziksel koruma yetersiz kalacağından ve işlevini yitireceğinden yüzeylere kimyasal olarak tutunup koruma sağlayan aşınma önleyici katıklara ihtiyaç duyulur. Bunların da ötesinde aşırı yüksek sıcaklık ve yük durumunda kuru

sürtünmenin ve yüzeylerde kaynamanın önlenmesi için aşırı basınç katıkları yüzeylerle kimyasal bileşikler oluşturarak koruma sağlarlar.

Aşınma önleyici ve aşırı basınç katıkları metal yüzeylerle kimyasal reaksiyona girerek sürtünen yüzeylerin birbirine temasını önleyecek şekilde çeşitli bileşiklerden (katığın bileşimine bağlı olarak demir-fosfitler, sülfidler, sülfatlar, oksitler ve karbidler gibi) oluşan koruyucu yüzey tabakalar meydana getirirler. Sürtünmeyi azaltan bu tabakalar ayrıca plastik deformasyona uğrayarak yüzeylerin pürüzlülüğünü azaltıp daha dengeli bir yük dağılımı sağlayarak pürüz uçlarının ve dolayısıyla yüzeylerin birbirine kaynayıp kazınmasını önlerler.

Aşınma önleyici katıklar temelde yüksek stres altında çalışan sistemlerde aşınmanın azaltılması için kullanılırken, çok daha reaktif olan ancak daha yüksek aktivasyon enerjisine ihtiyaç duyan aşırı basınç katıkları ise çok daha yüksek stres altında çalışan parçalarda ve hasara uğrama ihtimali yüksek olan bölgelerde görev yaparlar. Ancak bu farklılıkları kesin bir şekilde birbirinden ayırmak mümkün olmadığından her iki grupta da görev yapan pek çok farklı katık bulunmaktadır. Aşınma önleyici ve aşırı basınç katıklarının çoğu fosfor, kükürt ve klorlu bileşiklerden oluşmaktadır. Bu katıklar içerisinden en etkili ve en önemlisi çinko dialkil dithiofosfatlardır (ZnDTP).

Çinko dialkil dithiofosfatlar birincil ve ikincil alkoller ($C_3 - C_{12}$) ile alkilli fenol ve fosfor sülfidin reaksiyonu sonucu oluşan dialkil dithiofosforik asitlerin çinko oksitle nötralizasyonu ile sentezlenirler. Bunların ısıl stabiliteleri ile aşınma önleme ve aşırı basınç katığı olarak performansları yapılarında bulunan alkil gruplarının şekline bağlıdır. Örneğin ZnDTP 'ın ısıl stabilitesi içerdiği alkil gruplarının zincir uzunluğu arttıkça artar. Bunun gibi farklı özellikler elde etmek için ZnDTP üretiminde alkol kompozisyonlarıyla oynanır. ZnDTP 'lar aşınma önleyici özelliklerinin yanı sıra daha önce de belirttiğimiz şekilde antioksidan özellik de gösterirler. Bu nedenle motor yağlarında ZnDTP 'ler en geniş ölçekte kullanılan katkı maddelerindedir (Mang, 2001).

3.3 Motor Yağlarının Sınıflandırılması

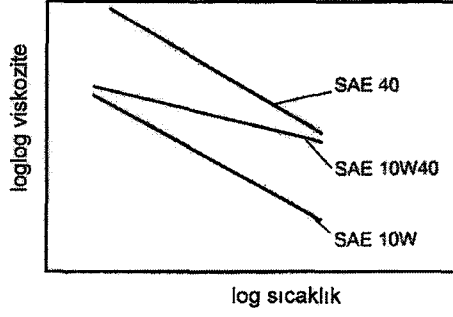
Motor yağları tüm yağlayıcılar arasında en önemli bir yere sahiptir ve dünya yağ pazarının %60 'ından fazlasını oluşturmaktadır. Motor yağları çok çeşitli fonksiyonlara sahip olmak zorundadırlar. Motor içerisinde yağlar tribolojik görevleri dışında silindir çevresinde sızdırmazlığı sağlamak, pistonları soğutmak tam yanmamış kurum ve tortularla aşınma ürünlerini yağ filtresine taşımak gibi farklı görevlere de sahiptir. Bu nedenle yağlar,

motorların artan basınç, sıcaklık ve hız şartlarında yağlamanın devamını sağlayabilmenin yanında bünyesine giren yanma ve yakıt artıkları ile su ve toz gibi katışkıların kendisi ve motor parçaları üzerindeki olumsuz etkilerine karşı koyabilecek özelliklere sahip olmak zorundadır. Ayrıca yağlardan yüksek sıcaklıklarda yağ filminin devamlılığını sağlayacak, viskoziteyi koruyup düşük ortam sıcaklıklarında dahi motorun çalıştırılabilmesine izin verecek akışkanlığı sağlayacak viskozite özelliklerine sahip olmaları da beklenmektedir.

Motor yağları kendilerinden beklenen özelliklere göre değişik kuruluşlar tarafından çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulmaktadır. Gelişen teknoloji ve artan beklentilerle birlikte bu sınıflandırmalar da gelişmektedir. Motor yağları isimlendirilirken öncelikle çeşitli viskozite aralıklarına göre belirlenmiş olan SAE (Society of Automotive Engineers) viskozite sınıfları belirtilir. Sonrasında ise sahip oldukları diğer özelliklere göre karşıladıkları farklı standartlarla sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmalar şu an geçerli olmamakla birlikte ilk olarak Amerikan Ordusu (MIL sınıflandırılması) tarafından başlatılmıştır. Günümüzde geçerli olan sınıflandırmalar ise Amerika 'da API (American Petroleum Institute) Avrupa 'da ACEA (Association des Constructeurs Europeens d' Automobiles) ve Asya 'da ILSAC (International Lubricants Standardization and Approval Committee) tarafından belirlenmiştir.

3.3.1 Motor Yağları SAE Viskozite Sınıflandırması

Amerikan Otomotiv Mühendisleri Cemiyetinin (SAE) yaptığı bu sınıflamaya göre motor yağları belli viskozite aralıklarında belli numaralandırmalarla isimlendirilirler. Bu sınıflandırmaya göre motor yağları SAE 0W – SAE 60 arasında derecelerle sınıflandırılırlar. Bunlar düşükten yüksek viskozite dereceliye doğru (SAE 0W – 5W – 10W – 15W – 20W – 25W – 30 – 40 – 50 – 60) şeklindedir. Düşük viskozite sınıflı yağlar için kullanılan “W” harfi bunların kış (winter) kullanımına uygun olduğunu ifade etmektedir. Düşük viskozite indeksli, sadece kışın veya yazın kullanılabilen yağlar için uygun olan bu isimlendirme daha sonra ortaya çıkan yüksek viskozite indeksli (multigrade) dört mevsimlik yağlar için farklılaştırılarak kullanılmıştır. Örneğin düşük sıcaklıklarda SAE 20W viskozite değerlerine, yüksek sıcaklıklarda ise SAE 50 viskozite değerlerine sahip olan multigrade bir yağ SAE 20W50 olarak isimlendirilmektedir (Şekil 3.5). Günümüzde kullanılan yağlarda viskozite sınıfları düşmekte, otomobillerde çoğunlukla SAE 10W40, bazı özel uygulamalarda ise SAE 0W30 sınıfı multigrade yağlar kullanılmaktadır.



Şekil 3.5 Multigrade motor yağlarında viskozite karakteri

SAE viskozite sınıflarının sınır viskozite değerleri 1997 yılında SAE ve ASTM (American Society for Testing and Materials) tarafından yeniden detaylı bir şekilde belirlenmiştir. Bu, aşağıda her viskozite sınıfı 100°C 'deki minimum kinematik viskozite değerleriyle gösterilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Motor yağları SAE viskozite sınıfları (Mobil, 1999)

SAE viskozite sınıfı		°C sıcaklıkta maks. viskozite		30000 cP viskozite için maks. pompalama sıcaklığı °C	Viskozite cSt/100°C	
Kış	Yaz	cP	°C		Min.	Maks.
0W	-	3250	-30	-35	3,8	-
5W	-	3500	-25	-30	3,8	-
10W	-	3500	-20	-25	4,1	-
15W	-	3500	-15	-20	5,6	-
20W	-	4500	-10	-15	5,6	-
25W	-	6000	-5	-10	9,3	-
-	20	-	-	-	5,6	9,3
-	30	-	-	-	9,3	12,5
-	40	-	-	-	12,5	16,3
-	50	-	-	-	16,3	21,9
-	60	-	-	-	21,9	26,1

3.3.2 Motor Yağları API Kalite Sınıflandırması

API (American Petroleum Institute), ASTM (American Society for Testing and Merterials) ve SAE 'in 1960 'lı yıllardan itibaren ortaklaşa oluşturdukları bir motor yağı kalite sınıflandırılmasıdır. Bu sınıflamada motor yağları benzinli motorlar için "S" (spark) (Çizelge 3.2) ve dizel motorlar için "C" (compression) (Çizelge 3.3) harfleriyle başlayan iki gruba ayrılmıştır. Bu gruplar da kendi içerisinde sırayla "A, B, C..." şeklinde alfabetik olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.2 Benzinli motor yağları API kalite sınıfları (Mobil, 1999)

SA	Katıksız madeni yağ
SB	Oksidasyonu ve yatak korozyonunu önleyen katıkl benzinli motor yağı
SC	Amerikan otomobil imalatçılarının 1964 yılı garanti testlerinden geçen, aşınma, oksidasyon, pas ve korozyon önleyen, depozit kontrolü sağlayan benzinli motor yağı
SD	Amerikan otomobil imalatçılarının 1968 yılı garanti testlerinden geçen, SC 'den daha iyi aşınma, oksidasyon, pas, korozyon önleyen ve depozit kontrolü sağlayan benzinli motor yağı.
SE	Amerikan otomobil imalatçılarının 1972 yılı garanti testlerinden geçen, SD 'den daha iyi aşınma, oksidasyon, pas, korozyon önleyen ve depozit kontrolü sağlayan benzinli motor yağı
SF	Amerikan otomobil imalatçılarının 1980 yılı garanti testlerinden geçen, SE performansına ek olarak daha iyi aşınma ve oksidasyon önleyen, daha iyi depozit kontrolü sağlayan benzinli motor yağı.
SG	Amerikan otomobil imalatçılarının 1989 yılı garanti testlerinden geçen, SF performansına ek olarak daha iyi aşınma ve oksidasyon önleyen, daha iyi depozit kontrolü sağlayan benzinli motor.
SH	Amerikan otomobil imalatçılarının 1994 yılı garanti testlerinden geçen, SG performansına ek olarak testleri ve üretimi CMA (Chemical Manufacturers Association) protokolüne uygun yapılan benzinli motor yağı
SJ	Amerikan otomobil imalatçılarının 1996 yılı garanti testlerinden geçen, SH performansına ek olarak daha az uçucu, katalistlerle daha fazla uyumlu, düşük sıcaklık özellikleri daha yüksek olan benzinli motor yağı.

Çizelge 3.3 Dizel motor yağları API kalite sınıfları (Mobil, 1999)

CA	1940 yılın da yayınlanan, korozyon ve depozit oluşumunu önleyen, MIL-L-2104 A testlerinden (DG) geçen düşük kükürtlü yakıtla çalışan hafif ve orta güçlü motor yağı.
CB	1949 yılın da yayınlanan, CA 'dan sonra daha iyi korozyon ve depozit önleyen, MIL-L-2104 A (Supplement-1) testlerinden geçen, düşük veya normal kükürtlü yakıtla hafif ve orta güçlü motor yağı.
CC	1961yılında yayınlanan, aşınma pas, korozyon önleyen ve depozit kontrolü yapan, MIL-L-2104 B ve 46152 B testlerinden geçen, orta ve yüksek güçlü, turbo ve süperşarjlı, doğal emişli yüksek güçlü dizel motor yağı.
CD	1955 yılında yayınlanan, ve etkili aşınma önleyen ve depozit kontrolü yapan, MIL-L-2104 C/D/E, 45199 B ve Series 3 testlerinden geçen, yüksek kükürtlü yakıtla çalışma turbo ve süperşarjlı, doğal emişli yüksek güçlü dizel motor yağı.
CE	1983 yılında yayınlanan, CD performansına ek, olarak kam ve segman aşınmalarını, oksidasyon, depozit kontrolü ve yağ tüketimi testlerini içeren Mack ve Cummins testlerinden geçen, düşük ve yüksek hız, ağır yük şartlarında çalışan, turbo ve süperşarjlı dizel motor yağı.
CF	1994 yılında yayınlanan, CD 'ye göre daha az piston depozit kontrolü ve yatak korozyonu önleme özelliği sağlayan, yüksek kükürtlü yakıtla çalışan, indirekt enjeksiyonlu, turbo ve süper şarjlı, doğal emişli dizel motor yağı.
CF-II	CF performans taleplerini karşılayan, ek olarak iki zamanlı dizel motorlarında silindir ve segman aşınması ile depozit oluşumunu daha iyi önleyen Detroit Diesel testlerinden geçen dizel motor yağı.
CF-4	1990 yılında yayınlanan, CE performansına ek olarak daha az depozit oluşumu ve yağ tüketimi sağlayan, yüksek devirli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu, turboşarjlı ağır hizmet dizel motor yağı.
CH-4	1998yılında yayınlanan, CG-4 'a göre daha yüksek piston depozit kontrolü ve aşınma önleme sağlayan, düşük ve yüksek kükürtlü yakıt testlerini içeren ağır hizmet dizel motor yağı.
CG-4	1994 yılında yayınlanan, CF-4 'e göre daha yüksek piston depozit kontrolü, daha az karbon birikimi sağlayan, testleri karayolu şartlarında %0.05 ve yol dışı şantiye şartlarında %0.5 kükürtlü yakıtla yapılan, 1994 yılı düşük emisyon taleplerini karşılayan, yüksek devirli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu, turboşarjlı ağır hizmet dizel motor yağı.

3.3.3 Motor Yağları ACEA Kalite Sınıflandırması

Amerika 'da oluşturulan API sınıflandırması büyük hacimli düşük süratli V8 Amerikan motorlarına uygun testlerle yapılmakta olduğundan düşük hacimli yüksek süratli Avrupalı motorlara tamamen uygun değildir. Ayrıca Avrupa'da yaygın olan küçük hacimli dizel otomobil motorları Amerika 'da neredeyse hiç yoktur ve API sınıflamaları bunlar için uygun değildir. Bu nedenlerle 90 'lı yılların başında CEC (Co-Ordinating European Council for the Development of Performance Tests for Lubricants and Engine Fuels) ve CCCM (Commitee of Common Market Automobile Constructors) birlikte Avrupalı motorlara uygun olan testlerle CCCM sınıflamasını ortaya çıkardılar (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Motor yağları CCCM kalite sınıfları (Mobil, 1999)

Benzinli	G1	1989 yılında yayınlanan API SE sınıfına uyan ve ayrıca 3 Avrupa motor testi içeren sınıf.
	G2	API SF sınıfına uyan ve ayrıca ve 3 Avrupa motor testi içeren sınıf. Konvansiyonel motor yağları için
	G3	API SF sınıfına uyan ve ayrıca ve 3 Avrupa motor testi içeren sınıf. Daha iyi oksidasyon stabilitesi ve buharlaşma değerleri gerektirir.
	G4	API SG sınıfına uyan ve ayrıca çamur ve aşınma testleri içeren multigrade yağ sınıfı 1990 yılında CCCM G2 ve G3sınıflarının yerine yürürlüğe girmiştir.
	G5	API SG sınıfına uyan ve ayrıca çamur ve aşınma testleri içeren ve G4 ten daha iyi değerleri sağlayan düşük viskoziteli yağ sınıfı
Ticari Dizel	D1	1989 yılında yayınlanan API CC sınıfına uyan ve ayrıca 2 Avrupa motor testi içeren, atmosferik küçük dizel motorlar için yağ sınıfı
	D2	API CC sınıfına uyan ve ayrıca 2 Avrupa motor testi içeren, atmosferik ve turbo dizel motor yağı sınıfı
	D3	API CD/CE sınıfını aşan ve atmosferik ve turbo dizel motorlara uygun olan ve CCCM D2 ye göre daha iyi aşınma ve yağ kalınlaşması direnci gösteren yağ sınıfı 1990 yılında CCCM D2 yerine yürürlüğe girmiştir.
	D4	API CD/CE sınıfına uyan ve ayrıca 2 Avrupa motor testi içeren turbo dizel motorlara uygun ve uzun yağ değişim periyotları sağlayan yağ sınıfı
	D5	Mercedes Benz 2282/3 standardına uyan atmosferik ve turboşajlı ağır hizmet dizel motorlarına uygun ve uzun yağ değişim periyotları sağlayan, aşınmaya ve yağ kalınlaşmasına CCCM D3 den daha fazla dayanım gösteren yağ sınıfı
Binek Dizel	PD1	API CD/CE sınıfına uyan atmosferik ve turbo şarjlı küçük dizel otomobil motorları için yağ sınıfı
	PD2	Günümüz otomobil dizel motorlarına uygun yüksek performanslı multigrade yağ sınıfı 1980 yılında CCCM PD2 yerine yürürlüğe girdi.

1996 yılında CCCM 'nin yerini ACEA (Association des Constructeurs Europeens d'Automobiles) almış ve bu yıldan itibaren de CCCM yerine ACEA sınıflaması yürürlüğe girmiştir. Bu sınıflama sistemi 1998 yılında yenilenen haliyle şu an geçerliliğini korumaktadır. (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 Motor yağları ACEA kalite sınıfları (Mobil, 1999)

Benzinli	A1	Viskozitesini koruma özelliği ve oksidasyon kararlılığı CCMC G-4 limitlerini aşan, yakıt ekonomisi sağlayan, düşük viskozite sınıfları için geçerli benzinli motor yağı.
	A2	Genelde CCMC G-4 performansında, oksidasyon kararlılığı G-5'e eşdeğer konvansiyonel benzinli motor yağı.
	A3	Viskozitesini koruma özelliği ve oksidasyon kararlılığı CCMC G-5 limitlerini aşan, uzun değişim süreli, düşük tüketimli, yüksek performanslı benzinli motor yağı.
Binek Dizel	B1	Viskozitesini koruma özelliği CCMC PD-2 limitlerini aşan, yakıt ekonomisi sağlayan, düşük viskozite sınıfları için geçerli dizel motor yağı.
	B2	Genelde CCMC PD-2 performansında, viskozitesini koruma özelliği geliştirilmiş, konvansiyonel dizel motor yağı.
	B3	Viskozitesini koruma özelliği CCMC PD-2 limitlerini aşan, yoğun kurum altında viskozite artışı kontrol edilen yüksek performanslı dizel motor yağı.
	B4	B3-98 performansına ek olarak direkt enjeksiyonlu motor testlerinden geçen dizel motor yağı.
Ticari Dizel	E1	CCMC D-4 ve MB 227.1 performansında dizel motor yağı.
	E2	CCMC D-4 performansının üstünde ve MB 228.1 performansında dizel motor yağı.
	E3	CCMC D-5 ve MB 228.3 performansında, yoğun kurum altında viskozite artışı kontrol edilen dizel motor yağı.
	E4	CCMC D-5 performansını aşan ve MB 228.5 performansında dizel motor yağı.
	E5	E3-98 performansını aşan, yoğun kurum altında aşınma önleme, kalınlığını koruma, yakıt ekonomisi sağlama ve emisyon özellikleri geliştirilmiş yüksek performans dizel motor yağı.

3.3.4 Benzinli Motor Yağları ILSAC Kalite Sınıflandırması

AAMA (American Automobile Manufacturers Assacation) ve JAMA (Japan Automobile Manufacturers Assacation) birleşerek benzinli motor yağlarında, yakıt ekonomisini içeren yeni bir kalite sınıflaması belirlemek amacıyla ILSAC (International Lubricants Standardization and Approval Committee) isimli bir organizasyon oluşturmuştur. ILSAC 1991 yılından itibaren kendi kalite sınıflarını uygulamaya koymuştur (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6 Benzinli motor yağları ILSAC kalite sınıfları (Mobil,1999)

GF1	API-SH performansını sağlayan benzinli motor yağı
GF2	API-SJ performansını sağlayan benzinli motor yağı

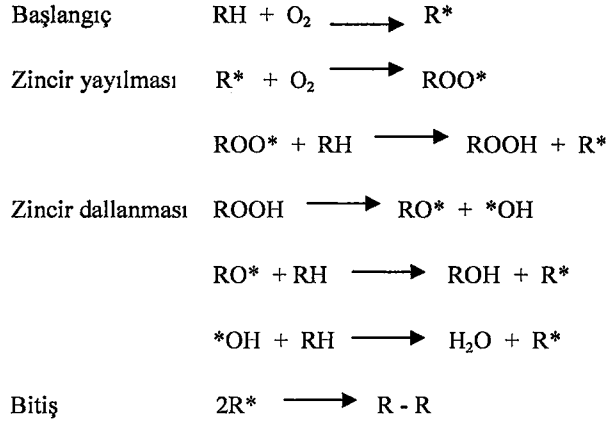
4. MOTOR YAĞLARININ ESKİMESİ ve YAĞ ANALİZ YÖNTEMLERİ

4.1 Motor yağlarının eskime süreci

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yağlar çok yıpratıcı koşullar altında çalışmaktadır. Yüksek çalışma sıcaklıkları, reaktif yanma ürünleri, yanmamış yakıt gibi iç kirleticiler ile su ve toz gibi dış kirleticiler bu olumsuz koşulları oluşturmaktadır. Baz yağı ve yağ katkılarından oluşan motor yağları bu koşullar altında zamanla bozulmaya uğrar. Baz yağı korumak için katılan katıkların tükenmesi ve bozulması sonrasında baz yağ da bozularak ömrünü tamamlar.

Yağların bozulmasındaki en önemli süreç oksidasyondur. Motor içerisindeki ortam oksidasyona çok uygundur. Motor yağı karterde ve özellikle silindirlerde yüksek sıcaklıklarda hava ile temas halindedir. Bu temas sonucu sıcaklığa bağlı olarak baz yağ ve katıklar oksidasyona uğrar. Ortaya çıkan oksidasyon ürünleri karterde birikerek asitli bileşikler ve karbonlu kompleks moleküller oluştururlar.

Hidrokarbonların oksidasyonu serbest radikal mekanizmasıyla şu safhalarla açıklanır. Oksidasyonun başlangıcı hidrokarbon moleküllerinden oksijen etkisiyle hidrojen atomu ayrılarak alkil radikalleri oluşmasıyla başlar. Zincir yayılması safhasında bu alkil radikaller oksijenle tekrar reaksiyona girerek alkil peroksi radikaller oluştururlar. Sonrasında başka hidrokarbonlardan oluşmuş peroksi radikallerin etkisiyle alkil peroksi radikallere hidrojen atomu eklenerek hidroperoksitler ve yeni alkil radikalleri oluşur. Bu radikaller yukarıda anlatıldığı şekilde tekrar oksijenle reaksiyona girebilirler. Sonraki adım ise hidroperksitlerin parçalanarak daha fazla reaktif serbest radikaller oluşmasını sağladığı zincir dallanmasıdır. Son olarak radikallerin ikili olarak birleşerek reaktif olmayan farklı yapılar oluşturduğu bitiş reaksiyonları gerçekleşir (Şekil 4.1). Bu oksidasyon süreci sonunda oluşabilecek olan ürünler alkil hidroperoksitler, dialkil peroksitler, alkoller, aldehiler, ketonlar karboksilik asitler ve esterler gibi bileşiklerdir. Bunların reaksiyonları ve zamanla birleşmeleriyle yüksek molekül ağırlıklı oksidasyon ürünleri ortaya çıkar. Bu maddeler yağda viskozite artışına ve zamanla yağda erimeyen yapıların oluşmasına yol açarlar.



Şekil 4.1 Oksidasyon mekanizması (Mang, 2001)

Asidik oksidasyon ürünleri yağ içerisindeki oksidasyon reaksiyonlarının daha da hızlanmasına sebep olurlar. Oksidasyon hızını etkileyen başka faktörler de bulunmaktadır. Motor yapısında bulunan ve aşınmaya uğrayan bakır, kurşun ve demir elementleri oksidasyonu hızlandırıcı etki gösterirler. Ayrıca oksijen konsantrasyonu ve yağın bileşimi de oksidasyon hızını etkiler. Sentetik baz yağlar madeni baz yağlara göre oksidasyona daha fazla direnç gösterirler. Ancak bütün bunların dışında oksidasyonu en fazla hızlandıran etken yüksek sıcaklıktır. Özellikle madeni yağlarda oksidasyon hızı 100°C sıcaklığın üzerine çıktığında önemli ölçüde artmakta ve her 10°C sıcaklık artışında oksidasyon hızı yaklaşık iki katına çıkmaktadır (Kaleli, 1995).

Oksidasyon dışında yağın bozulmasına etki eden ve oksidasyonu arttıran başka reaksiyonlar da bulunmaktadır. Bunlar nitrasyon ve daha çok dizel motorlarda görülen sülfat oluşumudur. Nitrasyon reaksiyonları da bir çeşit oksidasyondur. Atmosferik azotun yanma esnasındaki oksidasyonundan oluşan azot oksit (NOx) bileşiklerinin yağ içerisinde reaksiyona girmeleri nitrasyonu oluşturur. Bunun yanında yakıttan gelen kükürt neticesinde yanma ürünü olarak ortaya çıkan çeşitli kükürt oksit bileşikleri su ile reaksiyona girerek sülfürik asit oluştururlar. Özellikle dizel motorlarda yakıttaki yüksek kükürt oranı neticesinde ortaya çıkan bu durum baz yağın ve katıkların nötralize olmasına ve sonuçta motorun aşınmasına sebep olur. Bu durumda yağda metalik sülfat bileşikleri ortaya çıkar. Bütün bu reaksiyonlar ortamdaki asitliği arttırarak oksidasyonu hızlandırıcı etki yaparlar.

Yanma sonucu ortaya çıkan is (kurum) motor yağını kirleten partiküllerdendir. Çoğunlukla dizel motorlarda silindir içerisinde yeterli oksijen bulunmayan yakıt partiküllerinin tam

yanmadan sıcaklıkla katı parçacıklar haline gelmesiyle is meydana gelir. Çoğunluğu dışarı atılan isin bir kısmı yağa karışır ve kirlenmesine sebep olur. Önemli oranda karbon ile hidrojen, oksijen ve kükürtün bileşiminden oluşan is parçacıkları birbirlerini çekerek, birleşip yağ içerisinde kümelenirler.

Yanmamış hava yakıt karışımı ile kısmen yanmış bazı bileşikler silindirler ve segmanlar arasından yağa karışarak oksidasyonu arttırırlar. Bunlar yağ içerisinde oksijenli bazı bileşikler oluşturur ve bu bileşikler yüksek sıcaklığa maruz kaldığında lak ve vernik denilen yapıları oluşturur. Daha çok dizel motorlarda görülen lak silindir çeperleri ve pistonlar üzerinde ortaya çıkar. Vernik ise valf itecekleri ve segmanların üzerinde oluşur ve genellikle benzinli motorlarda görülür.

Yağ içerisinde oluşan oksidasyon ürünleri, yanma odasından gelen oksidasyon ve yanma ürünleri ile su ve tozların birleşerek polimerizasyon sonucu oluşturdukları yağda erimeyen maddelere çamur adı verilir. Bu bileşimlerin yoğunluğu sıcaklığa ve suyun varlığına bağlı olarak azalır artabilir. Düşük sıcaklıklarda ortaya çıkan ve daha çok benzinli motorlarda görülen çamur daha yumuşaktır. Dizel motorlarda ve daha yüksek sıcaklıklarda oluşan çamur ise daha koyu ve katımsıdır. Çamur birikintileri daha çok yağ dolaşım hızının düşük olduğu bölgelerde ortaya çıkar. Buralar genellikle karter tabanı ve eksantrik valf kapağı çevreleridir. Ayrıca yağ içerisinde oluşan çamur zamanla yağ kanallarını tıkayıp yağlamayı ve ısı transferini engelleyebilir (ASM, 1992).

Yukarıda da değinildiği gibi motor yağının eskimesinde çeşitli kirleticilerin etkisi de bulunmaktadır. Bunlar dışarıdan giren kir ve toz, yanmamış yakıt ve yanma sonucu oluşan su ile aşınma sonucu motordan kopan metal partikülleri ve korozyon ürünleridir. Yakıt ve su, yağı fiziksel ve kimyasal olarak etkilerken diğer partikül kirleticiler de filtrasyondan kurtulup yağ içerisinde kalarak motora ve yağa zarar vermektedirler.

Motorda yanma sonucu ortaya çıkan su motorun soğuk olarak kullanıldığı kısa mesafe sürüşlerde kartere karışmakta ve korozyona sebep olmaktadır. Ayrıca uzun süre karterde kalan su yağla emülsiyon haline gelerek daha korozif bir ortam oluşturmakta, yağın bozulup içerisinde çamur oluşumuna sebep olmaktadır. Bu nedenle motorların soğuk olarak kullanıldığı sürekli kısa mesafe kullanımları çok tehlikeli olmaktadır.

Yanma odasına gelen yakıtın tamamı hiçbir zaman yanmaz. Yetersiz buharlaşma ve aşırı zengin karışımlar sonucu yanmadan kalan yakıt silindirlerden yağa ve kartere ulaşarak motor yağını seyreltir. Viskoziteyi düşüren bu durum çok artarsa yağlama işlemine zarar vermekte

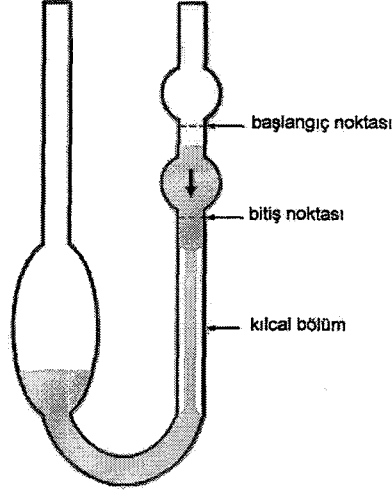
ve yetersiz yağlama sonucu motor hasarları ortaya çıkmaktadır. Motorun soğuk olarak kullanılması yine yağa yakıt karışmasını artırıcı bir etki yapmaktadır.

Motor içerisindeki kesme kuvvetleri de yağın bozulmasına sebep olan etkenlerdendir. İçten yanmalı motorlar sürtünen parçalar arasındaki yağ üzerinde büyük kesme kuvvetleri oluştururlar. Motor yağı birbiri üzerinde kayan veya yuvarlanan parçalar arasında yüksek sıcaklık ve yük altında sıkıştırılmaktadır. Bu bölgelerdeki kesme kuvvetleri büyük hidrokarbonlardan oluşan yağ moleküllerini yırtarak zincirlerinin parçalanmasına sebep olurlar. Motor yağları içerisinde bu etkiye en fazla maruz kalan bileşenler viskozite indeks arttırıcılarıdır. Kompleks moleküllerden oluşan viskozite indeks arttırıcılar kolaylıkla parçalanabilmektedir. Kesme kuvvetleri karşısında sentetik baz yağlar, madeni baz yağlara göre çok daha fazla dayanıklıdır. Kesme kuvvetleri etkisiyle parçalanmış yağ molekülleri, motor yağının viskozitesinin ve viskozite indeksinin düşmesine sebep olurlar. Bu olay yağlamanın etkisiz kalmasına sebep olmaktadır.

4.2 Yağ Analiz Yöntemleri

4.2.1 Viskozite

Motor yağlarının viskozite ölçümleri büyük çoğunlukla transparan ve opak sıvıların kinematik viskozite ölçümleri için geçerli ASTM (American Society for Testing and Materials) test metodunu tanımlayan ASTM D445 standartlarına göre yapılmaktadır. Bu test metodunda viskozitenin ölçülmek istediği sıcaklıkta hassas bir şekilde sabit tutulan bir banyo içerisinde tutulan kılcal tüpler kullanılmaktadır. Viskozitesi ölçülmek istenen yağın kılcal tüp içerisinden akması sağlanarak, kalibre edilmiş iki işaretin arasından geçme süresi belirlenmektedir (Şekil 4.1). Sonuçta yağın banyo sıcaklığındaki viskozitesi testte belirlenen akış süresiyle (s), kılcal tüpün üzerinde belirlenmiş olan kalibrasyon sabitinin (mm^2/s^2) çarpılmasıyla centistoke (cSt) olarak bulunmaktadır. Ayrıca istenilen durumlarda yağın banyo sıcaklığındaki yoğunluğu da hesaplanarak yağın dinamik viskozitesi de bulunabilmektedir. Bu şekilde yağın istenilen sıcaklıklardaki (çoğunlukla 40°C ve 100°C) viskozite değerleri elde edilebilmektedir.



Şekil 4.2 Viskozite ölçüm tüpü

4.2.2 Viskozite İndeksi (VI)

Viskozite indeksi bir yağın kinematik viskozitesinin 40°C ve 100°C arasındaki sıcaklığa bağlı değişiminin genel bir ölçüsü olarak tanımlanabilir. Viskozite indeksi (VI) pratikte bir yağın kinematik viskozitesinin sıcaklık değişiminden ne kadar etkilendiğini gösteren bir sayıdır. Viskozite indeksi yüksek olan bir yağın artan sıcaklıkla viskozitesinde küçük bir düşüş olacağı söylenebilir.

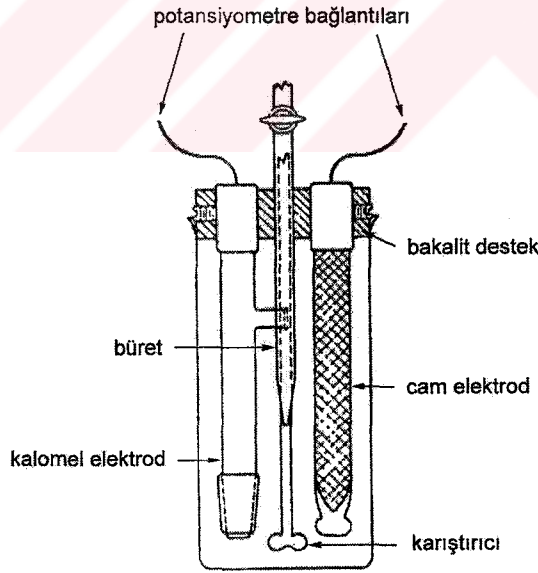
Yağlama yağlarının viskozite indeksinin belirlenme yöntemi ASTM tarafından D2270 numarasıyla standartlaştırılmıştır. Bu yöntemde viskozite indeksi bulunacak yağın 100°C deki kinematik viskozitesi yardımıyla viskozite indeks tablolarından 100°C deki viskoziteleri örnek yağla aynı olup viskozite indeksleri 0 ve 100 olan referans yağların 40°C deki kinematik viskoziteleri bulunur. Bunların ve viskozite indeksi bulunmak istenen yağın viskozite değerleri, viskozite indeksinin 100 den küçük veya büyük olacağı durumlar için iki farklı formülasyonla işlenerek istenilen yağın viskozitesi bulunabilmektedir. Yapılan işlemlerin detayları formülasyon ve değer aralıkları ile referans viskozite tabloları ASTM D2270 standardında detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

4.2.3 Toplam Asit Sayısı

Yeni ve kullanılmış motor yağları bünyelerinde çeşitli asidik unsurlar barındırmaktadırlar. Bunlar yağ içerisindeki bazı katıklar veya kullanım sırasında ortaya çıkan bozulma ürünlerinin oluşturduğu asit özellikli maddelerdir. Bunların motor yağındaki oranları bazılarla

titrasyon yapılarak yani nötralize edilerek bulunabilmektedir. Toplam Asit Sayısı (TAN: total acid number) yağ içerisindeki bu asidik maddelerin oransal bir ifadesidir ve bize yağın durumu hakkında bilgi vermektedir. TAN değeri yükseldikçe yağdaki asidik ortam artmakta ve bu da motorun zarar görmesine sebep olmaktadır.

ASTM, petrol ürünlerinde potansiyometrik titrasyon yöntemiyle toplam asit sayısı belirlenmesini ASTM D 664 numaralı standardıyla belirlemiştir. Bu standarda göre toplam asit sayısı belirlenecek yağ örneği içeriği belirlenmiş bir solvent karışımı içerisinde çözüldükten sonra, içerisinde biri cam diğeri kalomel olan elektrotların bulunduğu potansiyometrik titrasyon düzeneği içinde potasyum hidroksit (KOH) solüsyonu ile titre edilmektedir (Şekil 4.2). Elektrokimyasal bir pil oluşturarak elektrotlar arasındaki potansiyel farkını ölçen bu düzenek üzerinde, eklenen KOH solüsyonu miktarına göre elde edilen değerler belli aralıklarla manuel veya otomatik olarak not edilir. Voltaj değerlerindeki değişim belirlenmiş sınırların altına düştüğü sırada titrasyona sokulan toplam KOH solüsyonu miktarı belirlenir. Sonuçta elde edilen değerler asidik ve bazik referans solüsyonlarla yapılan ölçüm değerleriyle işleme sokularak yağın toplam asit sayısı 1 gram yağı nötralize etmek için gerekli olan mg KOH miktarı (mg KOH/g) olarak elde edilmektedir. Yapılan işlemler, aparatlar, çözeltiler ve referans bilgiler ve formülasyonlarla ilgili bilgiler ASTM D664 standardında detaylı olarak açıklanmaktadır.



Şekil 4.3 Potansiyometrik titrasyon düzeneği

4.2.4 Toplam Baz Sayısı

Motor yağları yapıları gereği içlerinde birçok bazik unsur bulundurmaktadırlar. Bunların başlıcaları organik ve inorganik bazlar, bazik tuzlar ve ağır metallerin tuzları olup bunlar da baz yağlarla katıkların bileşenlerindedir. Toplam Baz Sayısı (TBN: total base number) bu bazik maddelerin yağ içerisindeki miktarının oransal bir ölçüsüdür. Yeni motor yağında yüksek olan TBN değeri yağ eskikip içerisindeki baz yağlar ve katıklar bozuldukça düşmektedir.

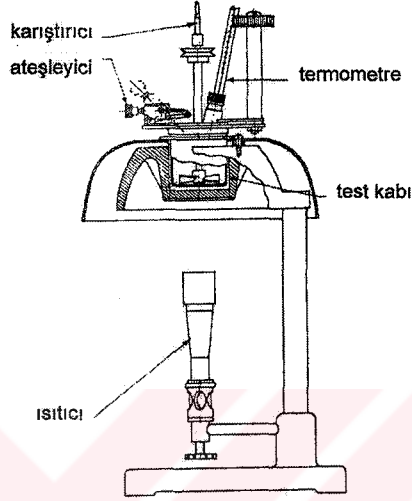
ASTM D2896 standardı potansiyometrik titrasyon yöntemiyle petrol ürünlerinin toplam baz sayısının belirlenmesini tanımlamaktadır. Bu standarda göre toplam baz sayısı belirlenecek yağ örneği, içeriği ve miktarı belirli bir solvent karışımında çözüldükten sonra cam ve kalomel elektrotlarla hassas bir potansiyometreden oluşan TAN ölçümünde kullanılan gibi bir potansiyometrik titrasyon düzeneği içerisinde perklorik asit (HClO_4) solüsyonu ile titre edilmektedir. Potansiyometre ölçümlerindeki değişim belli değerlerin altına düştüğünde çözeltiliye eklenmiş olan toplam HClO_4 solüsyonu miktarı, referans ölçümlerde elde edilen değerlerle işleme sokularak örnek yağın toplam baz sayısı bir gram yağı titre etmek için gerekli HClO_4 miktarının eş değeri olan mg KOH miktarı (mg KOH/g) olarak elde edilmektedir. Yapılan işlemler, detaylar, formülasyonlar, çözeltiler, referans bilgiler ve aparatlar ASTM D2896 standardında ayrıntılı olarak açıklamaktadır.

4.2.5 Parlama Noktası

Parlama noktası bir petrol ürününün atmosfer basıncında (760 mm Hg) belirli şartlar altında ısıtılırken oluşturduğu buharları bir ateşleyici vasıtasıyla tutuşabildiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Özellikle benzinli motorlarda motor yağları zamanla yanmamış yakıt artıkları tarafından kirletilmekte ve yağın parlama noktasını düşürmektedir. Yağa karışan yakıt oranı arttıkça kritik noktalarda yağ yanarak çok çabuk bozulabilmektedir. Özel koşullarda belirlenen parlama noktası yağın farklı durumlarda ne zaman yanacağını göstermese bile bunun için bir kıyaslama olanağı sunar. Bu nedenle başlangıç parlama noktası yüksek olan motor yağları yakıt karışmasından daha az etkilenirler.

ASTM D93 standardı Pensky Martens kapalı kap yöntemiyle parlama noktası test yönteminin şartlarını belirlemektedir. Buna göre 75 ml test numunesi pensky martens kapalı kap test aparatında sıcaklığı dakikada $5-6^\circ\text{C}$ artacak şekilde karıştırılarak ısıtılmaktadır. Numunenin sıcaklığı her 1 veya 2°C arttığında karıştırmaya ara verilerek aparat üzerindeki kıvılcım kaynağı numune kabına tutulup çekilmektedir. Yağ içerisindeki uçucu bileşikler yeterli

konsantrasyonda buhar hava karışımı oluşturup ateşleme sonucu parlamanın gerçekleştiği sıcaklık numunenin parlama noktası kabul edilmektedir (Şekil 4.3). Dikkat edilmesi gereken hususlar buharın mümkün olduğu kadar numune ile aynı sıcaklıkta olması ve parlama noktasından hemen önce ateşleyicinin çevresinde görülen mavi halenin parlama noktası sanılmamasıdır. Ayrıca numune test öncesinde sürekli kapalı tutulmalı uçucu bileşiklerini yitirmesine izin verilmemelidir. Test ile ilgili diğer detaylar aparatla ve ölçümle ilgili bilgiler ASTM D93 standardında ayrıntılı olarak belirtilmiştir.



Şekil 4.4 Parlama noktası ölçüm düzeneği

4.2.6 Yağda (Pentanda) Erimeyenler

Motor yağları eskidikçe yanma artıkları ve oksidasyon ürünleri birleşerek yağda erimeyen maddeler oluştururlar. Bunlara İngilizce erimeyenler anlamına gelen “insolubles” adı verilmektedir. Yağda erimeyenler temelde yanma ve yakıt artıkları ile yağın oksidasyonu ve katıkların bozulması sonucu oluşan bileşiklerden meydana gelmektedir. Yağda erimeyenlerin artması motor yağının deterjan özelliğini yitirip daha çabuk bozulmasına, viskozitesinin artmasına, yüzeylerde lak ve çamur oluşturup aşınmanın artmasına ve yağ hatlarının tıkanmasına sebep olabilmektedir.

ASTM D893 standardı kullanılmış yağlardaki pentanda erimeyenlerin santrifüj yöntemiyle belirlenmesini açıklamaktadır. Buna göre iki farklı prosedürle yağda erimeyenler bulunabilmektedir. Birincisinde pentan içerisinde çözünen yağ örneği santrifüje tabi tutularak katı parçaların ayrılması sağlanmaktadır. Ayrılan maddeler yıkanıp kurutularak tartılmakta ve

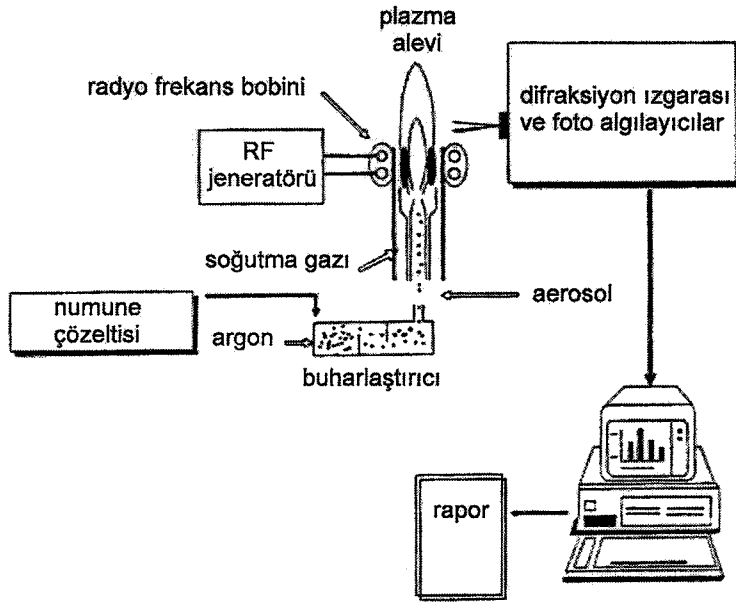
yağ içerisindeki pentanda erimeyen madde oranı hesaplanmaktadır. İkinci prosedürde ise deterjan katıklar içeren yağlarda (motor yağları) yağ içerisinde süspansiyon halde kalabilecek daha küçük parçacıkları da ayırabilmek için numuneye koyulaştırıcı bir madde katılarak yukarıdaki işlemler uygulanmaktadır. Yapılan işlemlerin detayları, aparatlar ve kullanılan maddeler ASTM D893 standardında ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

4.2.7 Yağda Element Analizi

Motor yağı zamanla ortaya çıkan aşınma ürünleri ve dışarıdan gelen kirleticileri taşımaktadır. Bu aşınma ürünleri çeşitli motor parçalarının zamanla aşınması sonucu yağla karışan aşınma elementleridir ve motorun yapısı ve malzemeleri doğrultusunda bunların kaynakları tahmin edilebilmektedir. Ayrıca motora dışarıdan gelen maddelerle yağdaki katıkların bünyesindeki bazı maddeler kirleticileri oluşturmaktadır. Bütün bu elementlerin yağ içerisindeki oranları bize motor parçalarındaki aşınmanın durumu, yağlamanın etkinliği, kirleticilerin çeşitleri ve miktarları hakkında bilgi vermektedir. Farklı elementlerin yağ içerisindeki miktarlarını spektrometrik yağ analizi yöntemleriyle öğrenebiliriz. Bunun için farklı spektrometrik yöntemler arasında en yaygın ve güvenilir olanı ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry) tekniğidir.

ASTM D5185 standardı motor yağlarındaki kirletici, katık ve aşınma elementlerinin ICP-AES yöntemiyle belirlenmesini açıklamaktadır. Bu teknik elektrotsuz olarak argon gazının akışıyla oluşturulan bir plazmadan yararlanmaktadır. Gaz, üzerinde, bir radyo frekans alternatif akım üreticisine bağlanmış olan 2-3 sarımlık bir radyo frekans bobini bulunan bir plazma tülecinden geçirilmektedir. Bu esnada gaz bir transformatörün sekonder sargısı görevini alır ve iyonize olup 8000-10000°C sıcaklığa ulaşarak plazma halini alır. Yağ numunesi çeşitli solventlerle işlem gördükten sonra tülec üzerinden plazmanın içine gönderilmektedir. Plazmadaki çok yüksek enerji moleküllerin atomlarına ayrılmasına ve atomların ışınım yapmasına sebep olur. Burada her element kendine özgü farklı bir frekansta ışık yaymaktadır. Yayılan bu ışınlar mercekler veya fiber optik kablolar vasıtasıyla, ışığı spektrum çizgileri halinde ayrılıp yansıtan bir difraksiyon ızgarasına gönderilmektedir. Spektrumun araştırılan elementlerin frekans değerlerine karşılık gelen noktalarına yerleştirilmiş foto algılayıcı tüpler, yağdaki elementlerin yaymış olduğu ışık enerjisini elektrik impulsları olarak cihaza iletmektedir (Şekil 4.4). Bu şekilde yapılan değerlendirmelerle çeşitli elementlerin örnek yağdaki miktarları “ppm” (particle per million) olarak hesaplanmaktadır. Bu yöntem çok hassas sonuçlar vermesine karşın numune hazırlanması dikkat gerektirmekte, ayrıca çapı 5 mikrondan büyük parçalar ölçüm dışında kalmaktadır. Uygulanan işlemler, araçlar, malzemeler ve referanslar

ASTM 5185 standardında geniş bir şekilde açıklanmaktadır.



Şekil 4.5 ICP-AES analiz yöntemi (Bansal, 1993)

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada benzinli bir otomobil, yarı sentetik multigrade bir yağla 22000 km kullanılarak test edilmiş ve test boyunca araçtan alınan yağ numuneleri analiz edilerek aracın en düşük toplam maliyeti sağlayan optimum yağ değişim aralığı hesaplanmaya çalışılmıştır.

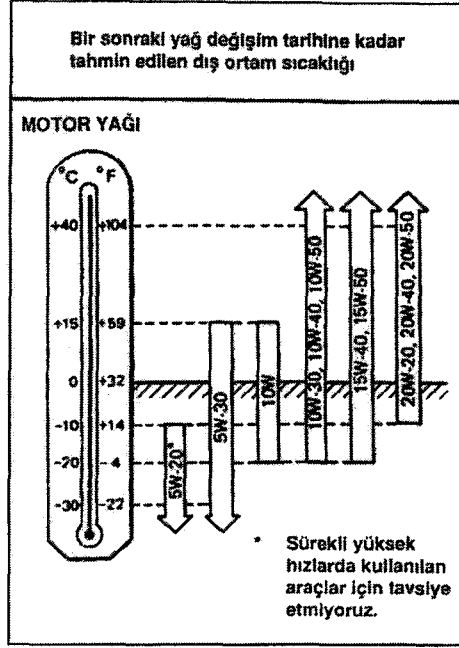
5.1 Test Aracı ve Yağlama Sistemi

Testte kullanılan araç 2 litre hacimli V6 benzinli motora sahip olan 1997 model bir Nissan Maxima otomobildir. Motor 1995 cc hacimli, V6 silindirli, çok noktalı yakıt püskürtme sistemli, elektronik ateşlemeli, iki sıra egzantrikli ve silindir başına 4 sübaplı (24V), katalitik konvertörlü, kurşunsuz benzin kullanan bir makinedir (Çizelge 5.1). Egzantrik sistemi zincir tahriklidir. Araç test başlangıcında 167500 km ve 5 yaşını doldurmuştur ve bu zamana kadar tavsiye edildiği şekilde 10000 km aralıklarla tüm bakımları yapılmıştır.

Çizelge 5.1 Test edilen aracın motor ölçüleri (Nissan, 1996)

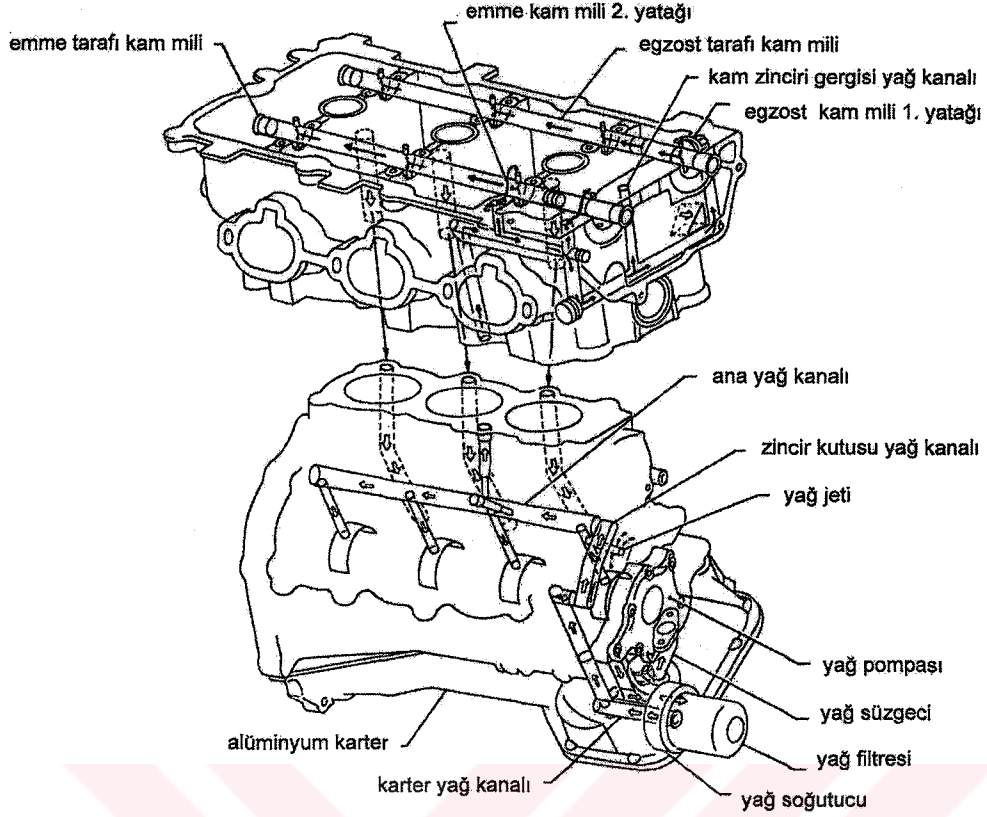
Motor modeli	VQ20DE
Tipi	Benzinli 4 zamanlı
Silindir dizilişi	6 silindirli V60° yana çevrilmiş
Silindir çap x strok	76,0 x 73,3
Motor hacmi	1995 cc
Kam işlemi	Zamanlama zinciri

Aracın yağ kapasitesi yağ filtresi ile birlikte değiştirildiğinde 4,1 litredir. Benzinli otomobil piyasasının temelini oluşturan orta sınıf araçlar incelendiğinde ortalama yağ kapasitesinin bu araçta olduğu gibi yaklaşık 4 litre olduğu görülmüştür. Kullanılması tavsiye edilen motor yağları API SE ve daha üzeri kalite sınıflarına sahip olmalıdır. Ayrıca ortam sıcaklığına bağlı olarak firmanın tavsiye ettiği motor yağı SAE viskozite sınıfları şekil 5.1 'de gösterilmiştir. Üretici firma tarafından aracın servislerinde yağ değişimlerinde kullanılan motor yağlarının da bu çalışmada kullanılan yağ gibi SAE 10W40 viskozite dereceli, API SJ sınıfı, yarı sentetik özellikte motor yağları olduğu belirlenmiştir.

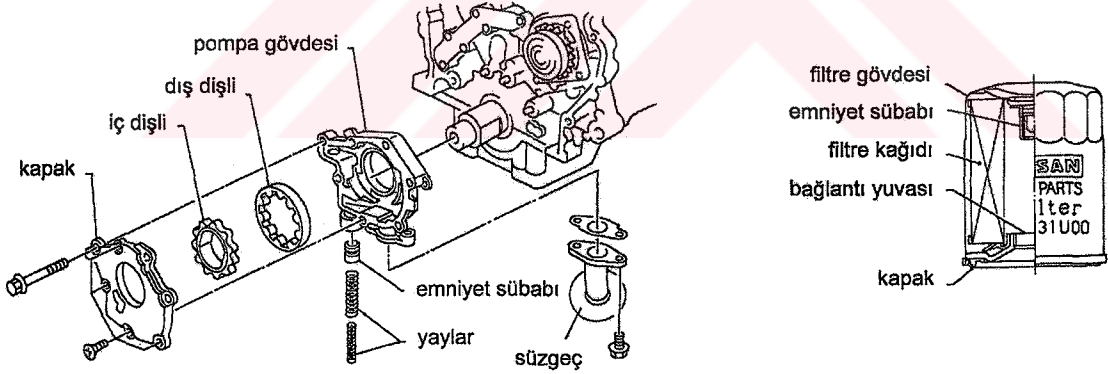


Şekil 5.1 tavsiye edilen motor yağları SAE viskozite sınıfları (Nissan, 1996)

Aracın yağlama sistemi olarak basınçlı yağ banyolu sistem kullanılmıştır. Yağ pompası eksantrik dişli tip olup krank milinin ön kısmına bağlanmıştır. Ana akışlı filtrasyon uygulanan sistemde kağıtlı tip yağ filtresi kullanılmıştır. Filtrenin motora bağlandığı yerde bulunan, içinde soğutma suyu dolaşan küçük bir soğutucuyla yağ soğutulmuştur (Şekil 5.2). Yağlama sistemi aşırı basıncı engelleyen regülatör sübapı ve fitre tıkanmasında yağ akışını sağlayan emniyet sübaplarıyla desteklenmiştir. Eksantrik milleri zincir tarihli olan motorda yağ basıncıyla çalışan hidrolik zincir gergileri ve gene yağ basınçlı hidrolik subap itecekleri bulunmaktadır. Yağ pompası ve yağ filtresi Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Aracın yağ basıncı değerleri rölantide yaklaşık 0,7 bar ve 3000 devir/dakika motor hızında yaklaşık 5 bar olması gerektiği belirtilmiştir (Nissan, 1995). İçten yanmalı motorlar için literatürde yağ basıncı değerleri motor hızına göre 0-10 bar aralığı olarak açıklanmaktadır (Wearcheck, 1999).



Şekil 5.2 Testte kullanılan motorun yağlama devresi (Nissan, 1995)



Şekil 5.3 Testte kullanılan motorun yağ pompası ve yağ filtresi (Nissan, 1995)

5.2 Test Süreci ve Testte Kullanılan Motor Yağı

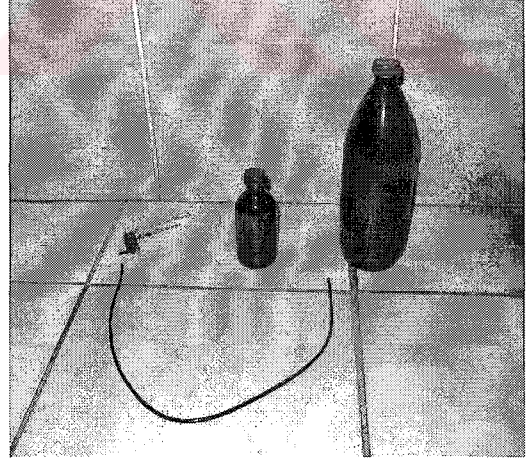
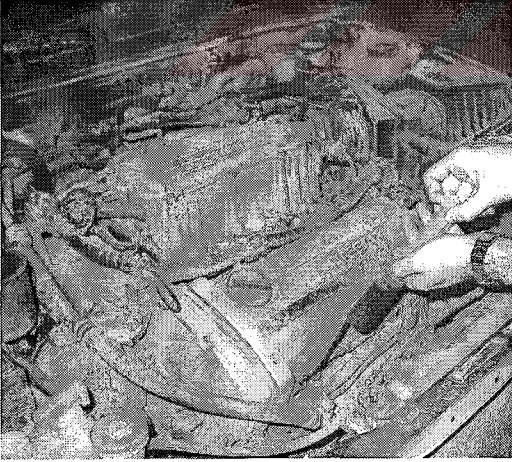
Yapılan çalışmada kullanılan yağ SAE-10W40 viskozite dereceli, API SJ/CF ve ACEA A3/B3-98 sınıfı multigrade (dört mevsim tipi), yüksek viskozite indeksli yarı sentetik bazlı bir

benzinli motor yağıdır (Çizelge 5.2). Yeni yağ analiz değerleri detaylı olarak Çizelge 5.2 'de gösterilmiştir. Test süreci 17.07.2002 tarihinde yeni yağ filtresi ve yağ konularak başlatılmıştır. Araç yaklaşık 6 ay boyunca 22000 km kullanılarak test gerçekleştirilmiştir. Test sürecinde araç hem yaz hem de kış şartlarını yaşamıştır. Test boyunca araç İzmit-İstanbul arası otoyolda, İzmit-Karamürsel arası şehirler arası yolda ve İzmit çevresinde şehir içinde kullanılmıştır. Şehir içi kullanım toplam kilometre olarak kullanımın %25-30 'unu oluşturmaktadır. Bu şekilde ortalama bir kullanım tarzı uygulanmıştır.

Çizelge 5.2 Testte kullanılan motor yağının başlangıç özellikleri

V 100°C	V 40°C	VI	TAN	TBN	Parlama°C
94,7	98,74	155	1,66	11,3	212

Test boyunca motordan 2500 – 5000 – 7500 – 10000 – 12500 – 16000 – 19000 – 22000 km 'lerde 100-150 ml hacimlerde yağ numuneleri alınmıştır. Numuneler sıcak motor stop edildikten hemen sonra yağ sıcak ve homojen haldeyken alınmıştır. Numuneler steril enjektör ve serum hortumlarıyla yağ çubuğundan kartere ulaştırılarak alınmıştır (Şekil 5.4). 100-150ml hacimli koyu renkli cam şişelere konulan numuneler fazla bekletilmeden analize gönderilmiştir. Bu şekilde yağ numunelerinin dış ortamdan etkilenmemesine azami özen gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Numune alım fotoğrafları

Test sırasında alınan yağ numuneleri Shell İzmit Derince tesislerindeki laboratuvarlarda analiz

edilmiştir. Numunelere uygulanan yağ analizleri viskozite 40-100°C, viskozite indeksi, toplam asit sayısı, toplam baz sayısı, parlama noktası ve yağda erimeyenlerin belirlenmesidir. Bunların yanında yağ numunelerine ICP-AES (inductively coupled plasma atomic emission spectrometry) yöntemi uygulanıp yağ içerisindeki Fe, Cu, Cr, Pb, Sn, Si, elementlerinin konsantasyonları milyonda bir parçacık (ppm) cinsinden ölçülmüştür. Yapılan bu analizlerin detayları ve açıklaması önceki bölümde anlatılmıştır. Yapılan tüm analizlerin sonuçları önümüzdeki bölümde verilecek ve değerlendirilmesi yapılacaktır.

5.3 Yağ Analizi Sonuçları ve Maliyet Analizi

Araçtan alınan yağ numunelerine daha önce anlatıldığı şekilde uygulanan analizlerin sonuçları yağ analizi (Çizelge 5.3) ve yağda element analizi (Çizelge 5.4) olarak verilmiştir.

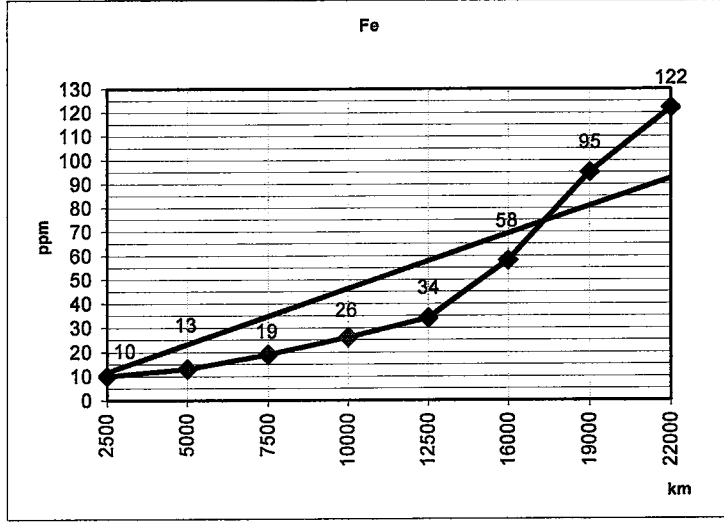
Çizelge 5.3 Yağ analizi sonuçları

km	V 100°C	V 40°C	V. I.	TAN	TBN	Parlama Noktası °C	Yağda Erimeyenler %
0	14,7	98,74	155	1,66	11,3	212	0,03
2500	13,03	85,44	153	2,1	10,4	178	0,1
5000	12,67	82,27	153	2,9	9,4	156	0,14
7500	12,23	80,28	149	3,4	8,5	148	0,22
10000	12,65	83,48	150	2,9	7,6	154	0,2
12500	12,04	79,15	148	2,1	5,4	144	0,21
16000	11,9	78,56	146	3,4	5	140	0,23
19000	12,18	83,37	141	5,4	3,8	142	0,34
22000	12,45	79,2	155	6,7	3,1	158	0,38

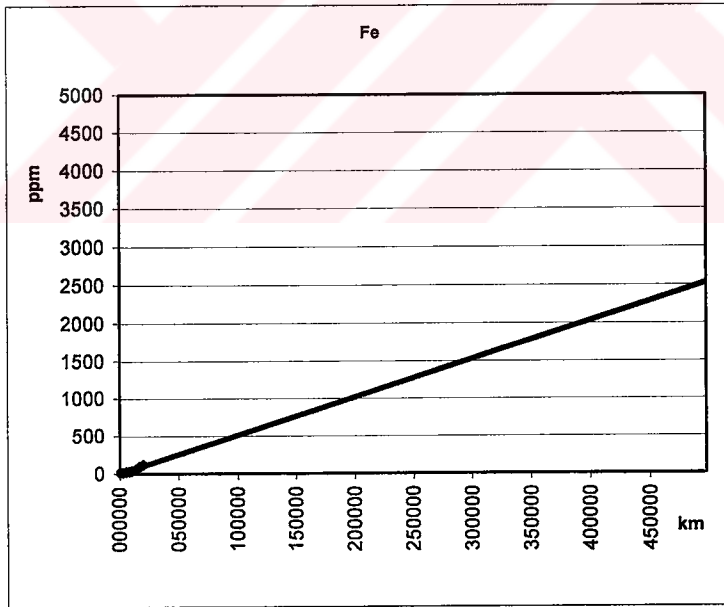
Çizelge 5.4 Yağda element analizi sonuçları

km	Cr	Pb	Sn	Fe	Si	Cu
0	1	3	2	3	6	0
2500	1	5	2	10	12	3
5000	2	14	1	13	13	5
7500	1	15	4	19	20	7
10000	2	34	4	26	20	11
12500	1	40	4	34	17	11
16000	2	41	5	58	20	15
19000	4	49	5	95	21	18
22000	5	55	7	122	25	19

Motordaki aşınmanın en önemli göstergesi olan yağdaki demir konsantrasyon değişimi Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Demir konsantrasyon değerlerine göre yapılan lineer ekstrapolasyon hesapları sonucu motordan beklenen 500.000 km revizyon ömrü için yaklaşık 2500 ppm değerine ulaşılmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.5 Demir konsantrasyonu değişimi



Şekil 5.6 Demir konsantrasyonu ekstrapolasyonu

Test aracı için parça ve işçilikler dahil motor revizyon maliyeti 2500\$ olarak belirlenirken yağ

filtresi değişimi dahil yağ değişim maliyeti yaklaşık 60\$ olarak belirlenmiştir. Yukarıda hesaplanan demir konsantrasyonu değeri ile birlikte motor revizyon maliyeti ve yağ değişim maliyeti dikkate alınarak aşağıdaki maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde optimum yağ değişim aralığı belirlenmiştir.

$$\text{Yağ Değişim Sayısı} = 2500 \text{ ppm} / \text{Yağ değişim mesafesindeki demir konsantrasyonu}$$

$$\text{Revizyon Yolu} = \text{Yağ değişim sayısı} \times \text{Yağ değişim mesafesi}$$

$$\text{Birim Revizyon Maliyeti} = 2500\$ / \text{Revizyon yolu}$$

$$\text{Birim Yağ Değişim Maliyeti} = 60\$ / \text{Yağ değişim mesafesi}$$

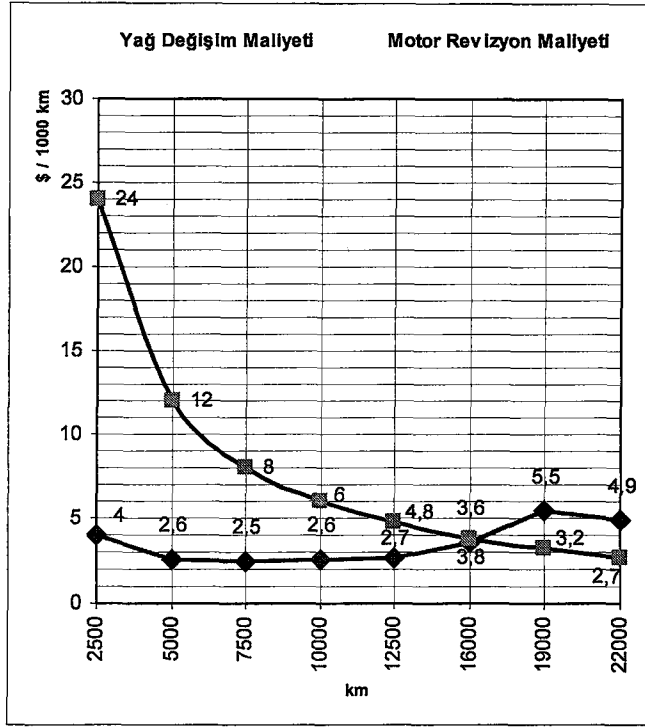
$$\text{Toplam Maliyet} = \text{Birim revizyon maliyeti} + \text{Birim yağ değişim maliyeti} \text{ (\$/km)}$$

Demir konsantrasyon değerlerinin yukarıdaki eşitliklere uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar izelge 5.5'te verilmiştir.

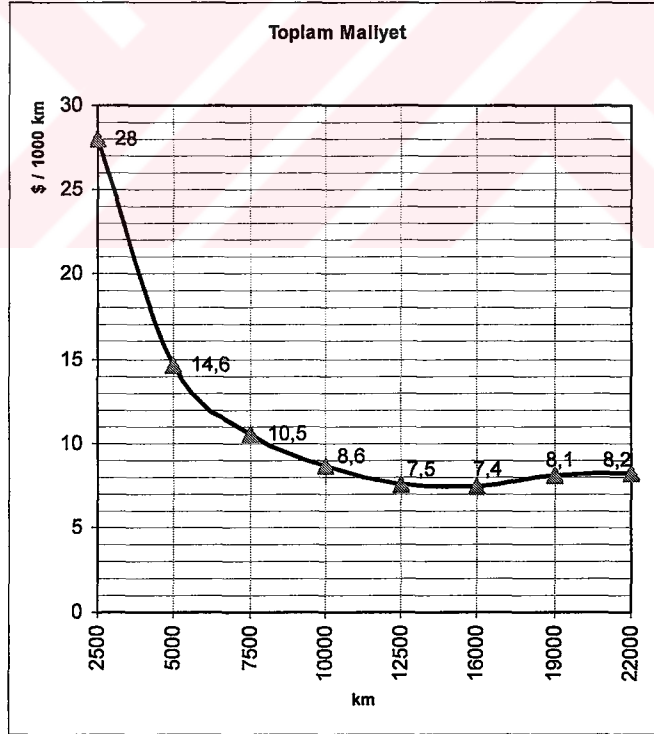
Çizelge 5.5 Maliyet analizi

km	Revizyon Maliyeti \$/1000km	Yağ Değişim Maliyeti \$/1000km	Toplam Maliyet \$/1000km
2500	4	24	28
5000	2,6	12	14,6
7500	2,5	8	10,5
10000	2,6	6	8,6
12500	2,7	4,8	7,5
16000	3,6	3,8	7,4
19000	5,5	3,2	8,1
22000	4,9	2,7	8,2

Yukarıda verilen sonuçların grafik olarak gösterimi şekil 5.7 ve şekil 5.8'de yapılmıştır.



Şekil 5.7 Birim yağ değişim ve birim revizyon maliyetleri



Şekil 5.8 Kilometre başına toplam maliyet değişimi

Şekil 5.8'de toplam maliyetin en düşük olduğu nokta 16000 km olarak görülmektedir.

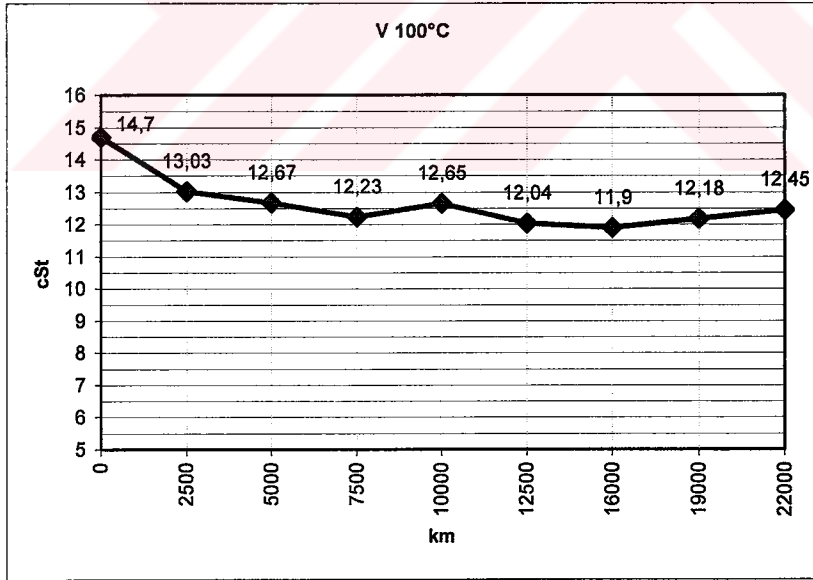
Aşınma elementlerinin konsantrasyonlarının da belirlediğimiz yağ değişim periyoduna uygunluğu araştırılmıştır. Literatürde aşınma elementleri için belirlenmiş değerler Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 Aşınma elementleri konsantrasyon limitleri (Kaleli, 1998)

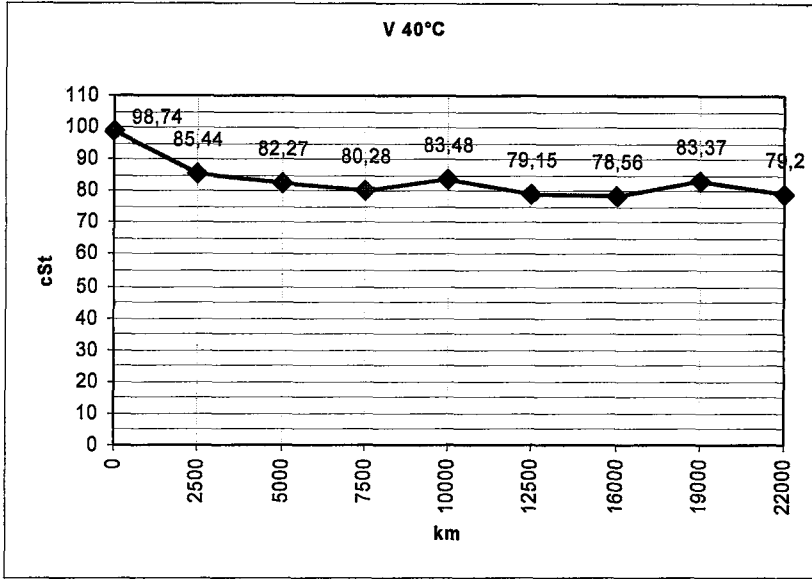
Element	Cr	Pb	Sn	Fe	Si	Cu
ppm	10-30	5-40	5-15	40-200	10-20	5-40

Yapılan element analizi sonuçları yukarıdaki tablodaki verilere göre değerlendirilmiştir. 16000 km olarak belirlenen yağ değişim periyodu içerisinde Si ve Pb elementleri haricinde tüm aşınma elementleri konsantrasyonlarının limitlerin altında olduğu görülmüştür. Si ve Pb element konsantrasyonları ise üst limitler çevresinde olmakla birlikte belirlenen yağ değişim periyodunu etkileyecek sapmalar görülmemiştir. Bu şekilde 16000 km olarak belirlenmiş olan yağ değişim periyodunun aşınma elementleri konsantrasyonlarına uygun olduğu anlaşılmıştır.

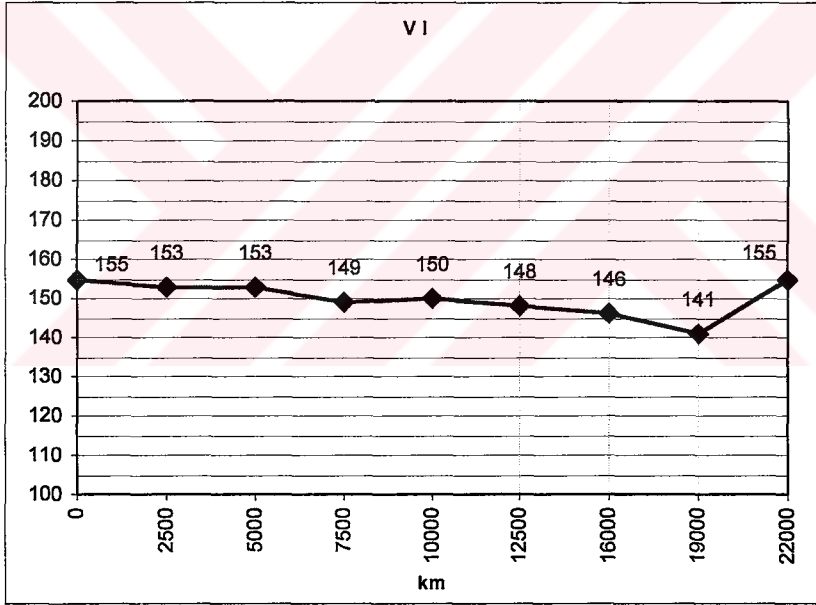
Viskozite 100°C (Şekil 5.9), viskozite 40°C (Şekil 5.10) ve viskozite indeksi (Şekil 5.11) analiz değerleri aşağıda grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.9 Viskozite 100°C değişimi



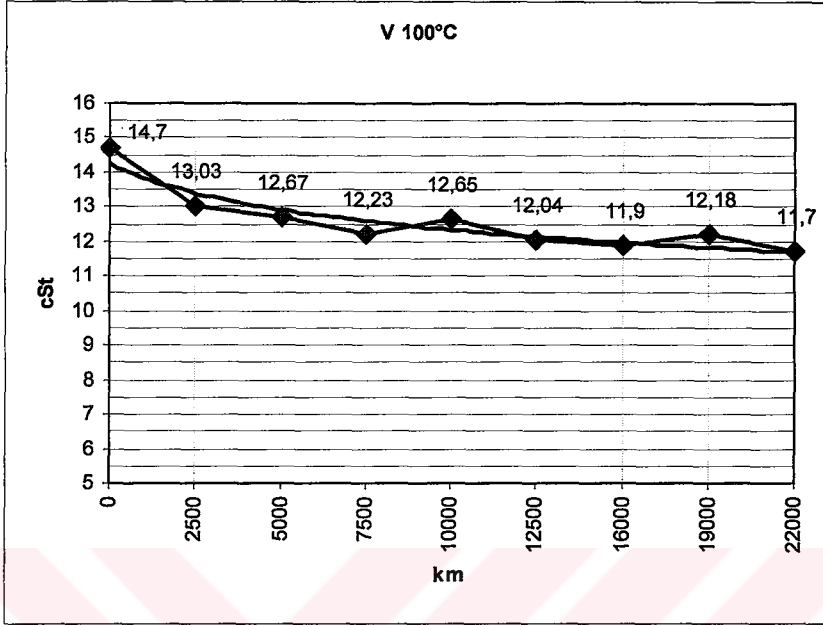
Şekil 5.10 Viskozite 40°C değişimi



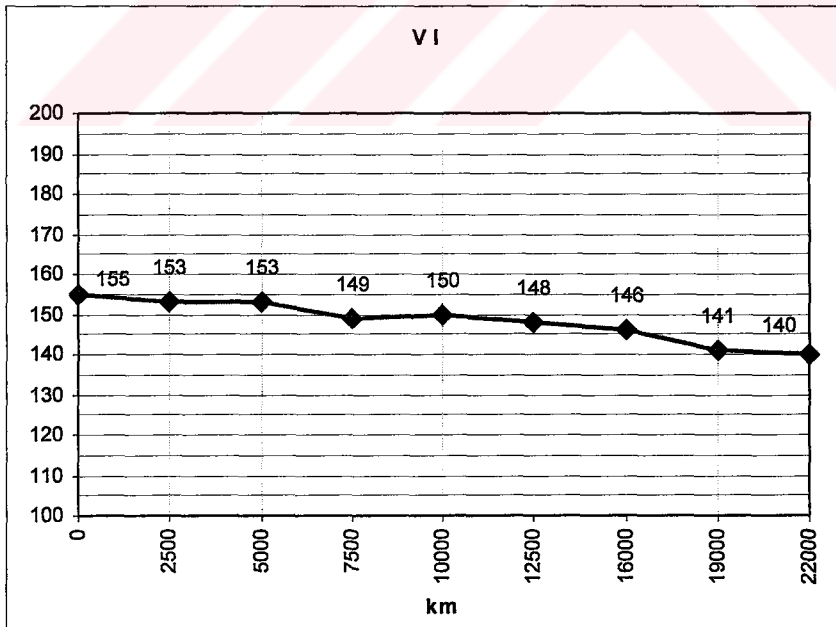
Şekil 5.11 Viskozite indeksi değişimi

Şekil 5.9 ve 5.10 incelendiğinde viskozite 40° eğilimi beklenildiği gibi olmasına karşın viskozite 100° eğiliminin yanıltıcı bir şekil aldığı görülmüştür. Viskozite analiz sonuçları karşılaştırıldığında 22000 km için viskozite 100° analizinin yanıltıcı sonuç verdiği anlaşılmıştır. Bu değer önceki ölçüm değerlerinden üstel ekstrapolasyon yapılarak 11.7 cSt

olarak hesaplanmıştır. Bunun sonucunda 22000 km için viskozite indeksi değeri de yeniden hesaplanarak 140 olarak bulunmuştur. Tüm bu değerlendirmeler doğrultusunda ortaya çıkan yeni viskozite 100°C (Şekil 5.12) ve viskozite indeksi (Şekil 5.13) değişimleri aşağıda verilmiştir.

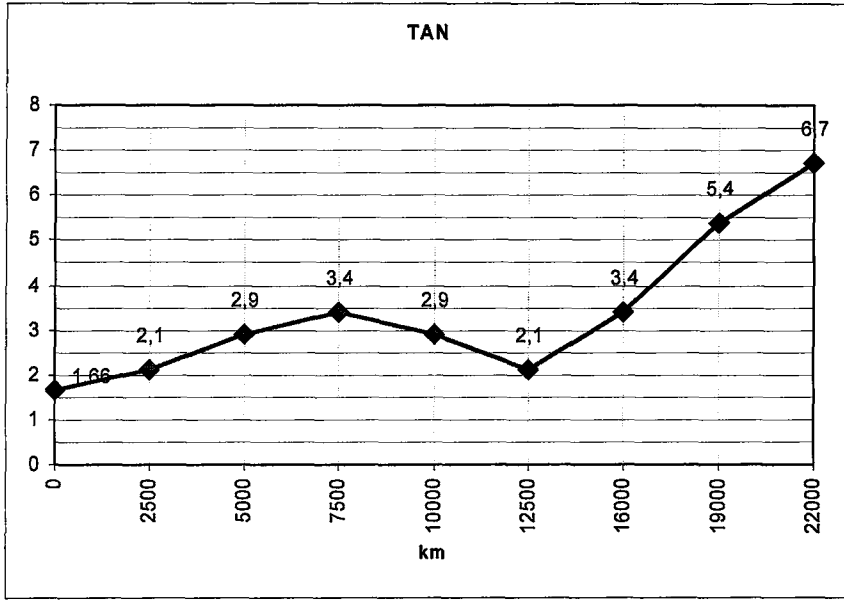


Şekil 5.12 Üstel ekstrapolasyon ve revize edilmiş viskozite 100°C değişimi

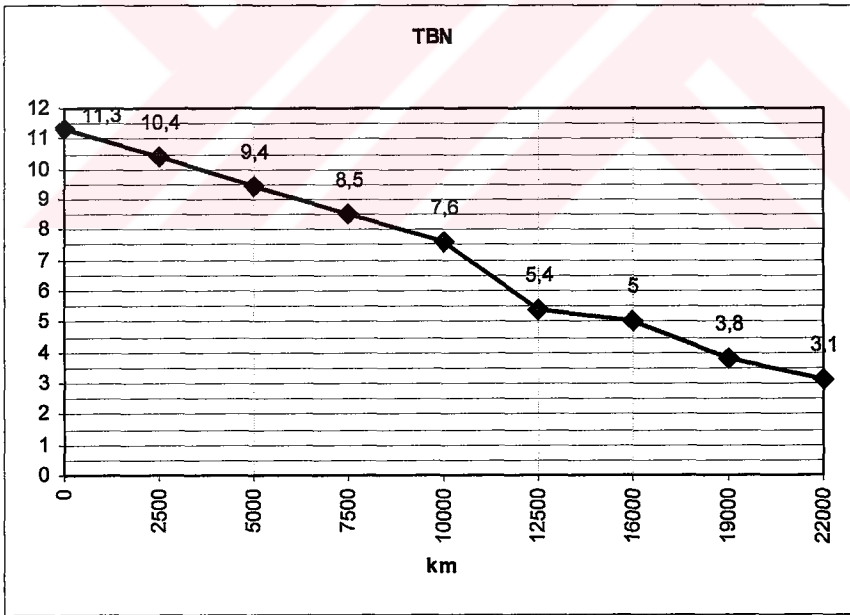


Şekil 5.13 Revize edilmiş viskozite indeksi değişimi

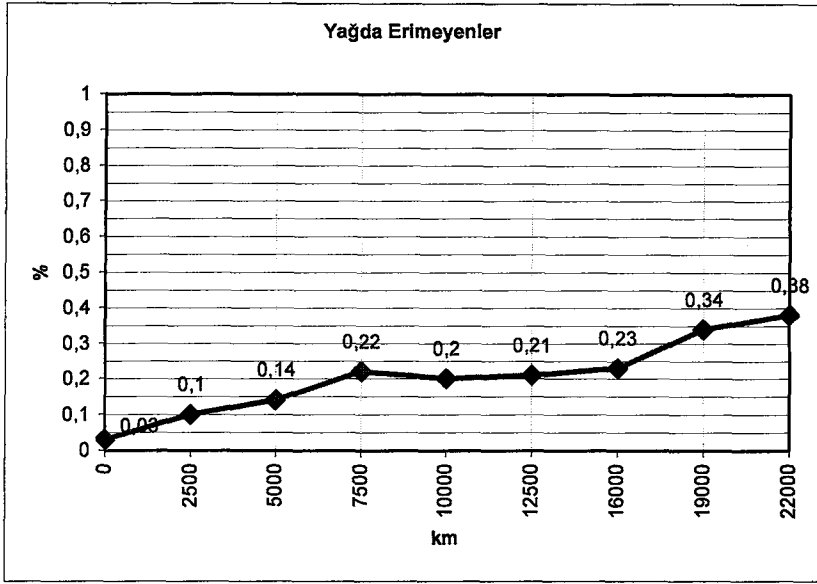
Toplam asit sayısı (Şekil 5.14), toplam baz sayısı (Şekil 5.15), yağda erimeyenler (Şekil 5.16) ve parlama noktası (Şekil 5.17) analiz değerleri aşağıda grafik olarak verilmiştir.



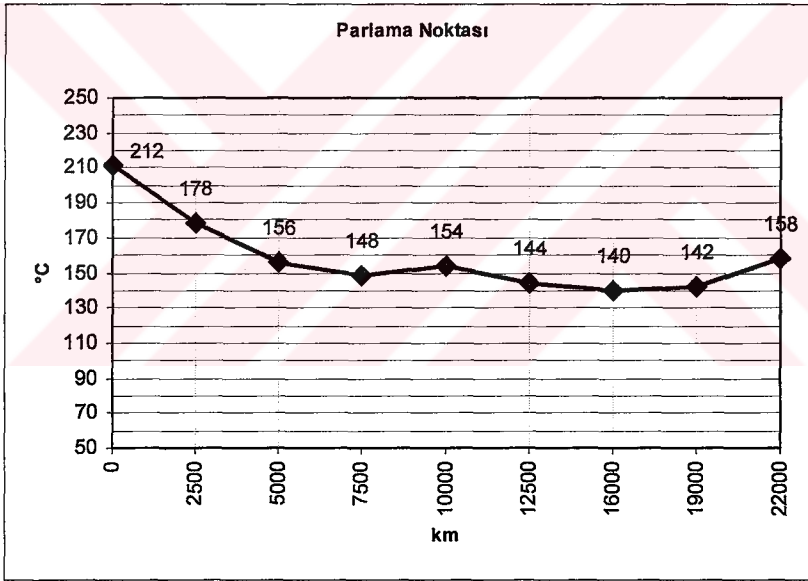
Şekil 5.14 TAN değişimi



Şekil 5.15 TBN değişimi



Şekil 5.16 Yağda erimeyenler değişimi



Şekil 5.17 Parlama noktası değişimi

Yukarıda grafik olarak gösterilmiş olan yağ analizi sonuçlarının belirlenen optimum yağ değişim periyoduna uygunluğu araştırılmıştır. Literatürde yağ değişimini gerektirecek analiz değerleri şu şekilde belirlenmiştir.

Motor yağının viskozite değerleri başlangıç durumuna göre (+/-) %25 değiştiğinde yağ

değişimi gereklidir. Yağın TBN değeri başlangıç değerinin %50-60 altına indiğinde motor yağı değiştirilmelidir. Ayrıca yağ içerisindeki yağda erimeyen maddelerin miktarı %1 'i aştığında yağ değişimi gerekmektedir (Kaleli, 1998; Wearcheck, 2000).

Yukarıdaki limitler dahilinde yağ analiz sonuçları incelendiğinde viskozite karakteristiği ve yağda erimeyenler bakımından sonuçların sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür. TAN ve parlama noktası analizi değerleri 5000-16000 km aralığında stabil bir görünüm vermesi dolayısıyla yağ değişim periyodu açısından sorun oluşturmamaktadır. TBN analizi değerlerinin 16000 km sonunda başlangıç değerinin yaklaşık %60 altına düştüğü görülmüştür. Limitin üst sınırında olan bu değer yağ değişim zamanının geldiğini göstermektedir. Dolayısıyla belirlenen 16000 km 'lik yağ değişim periyodunun yukarıdaki analiz sonuçlarıyla uyumsuzluk göstermediği ortaya çıkmıştır.



6. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Test aracı için üretici tarafından tavsiye edilen 10000 km'lik periyod ile bu çalışmada belirlenen 16000 km'lik yağ değişim periyodunu karşılaştıralım.

10000 km için yağ değişim sayısı: $2500 / 26 = 96$ (Sonuç tamsayıya yuvarlanır.)

16000 km için yağ değişim sayısı: $2500 / 58 = 43$

Fazladan yapılan yağ değişimi: $96 - 43 = 53$

Yağ değişimi için fazladan ödenen miktar: $53 \times 60\$ = 3180\$$ olduğu görülmüştür.

Fazladan yapılan yağ değişimlerinde kullanılan ekstra yağın maliyeti hesaplanmak istenirse yağ değişimi başına kullanılan yağın maliyeti olarak belirlenen 40\$ ele alınarak hesaplama yapılır. Buna göre;

Yağ için fazladan ödenen miktar: $53 \times 40\$ = 2120\$$ olarak bulunur.

Bu sonucu daha da geliştirmek için Türkiye'deki toplam otomobil parkını da ele alabiliriz. Ülkemizde 2001 yılı verilerine göre 4532800 adet otomobil bulunmaktadır (OSD, 2002).

Türkiye çapında otomobiller için ekstra yağ maliyeti: $3180\$ \times 4532580 = 14414304000\$$ olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca sadece fazladan kullanılan yağın maliyeti: $2120\$ \times 4532580 = 9566669600\$$ şeklinde hesaplanabilir.

Ortaya çıkan bu aşırı maliyetler yağlamanın ekonomide ne kadar büyük önem taşıdığını göstermektedir.

Bu çalışmada yapılan analizler doğrultusunda gerçekleştirilen hesaplamalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda özet olarak sıralanmıştır.

- Ortalama yol koşullarında 22000 km boyunca teste tabi tutulan benzinli motorda yarı sentetik yağla optimum yağ değişim aralığı 16000 km olarak belirlenmiştir.
- Aşınan demir elementi konsantrasyonlarına göre belirlenen bu yağ değişim periyodunun diğer yağ analizi değerleri ile olan uyumluluğu araştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda diğer aşınma element konsantrasyonlarının ve yağ analizi sonuçlarının 16000 km 'lik bu yağ değişim periyoduyla uyumlu olduğu görülmüştür.

- Toplam maliyetin en düşük olduğu bu periyodun üzerine çıkıldığında artan revizyon maliyetleri toplam maliyeti arttırırken, altına inildiğinde ise yağ değişim maliyetleri toplam maliyeti yükseltmektedir.
- Bu motor alışlageldiği şekilde 10000 km yerine 16000 km 'de yağ değişimine tabi tutulduğunda toplam yağ değişim maliyetinde 3180\$ ve toplam yağ maliyetinde 2120\$ tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır.
- Fazladan yapılan yağ değişim masraflarının Türkiye çapındaki tüm otomobiller için toplam maliyetinin 14414304000\$ olduğu belirlenmiştir. Ayrıca fazladan değiştirilen yağın toplam maliyeti ise 9609069600\$ olarak hesaplanmıştır.



KAYNAKLAR

- ASM, (1992), ASM Handbook Volume 18: Friction, Lubrication and Wear Technology, American Society of Metals, New York.
- Bansal, J. ve McElroy, F., (1993), "Accurate Elemental Analysis of Multigrade Lubricating Oils by ICP Method: Effect of Viscosity Modifiers", SAE932694: 61-68.
- Bartz, W., (1993), Engine Oils and Automotive Lubrication, Expert Verlag, Germany.
- Bijwe, J., Garg, A. Ve Gandhi, O., (1999), "Reassessment of Engine Oil Periodicity in Commercial Vehicles", Lubrication Engineering, 1.2000: 23-29.
- Brock, D., (2000), "Lubricant Base Oils", Lubrication Engineering, 8.2000: 37-39.
- Fitch, J., (1998), "Elements of Successful Oil Analysis Program-Part I", Lubrication Engineering, 9.1998: 33-35.
- Fitch, J., (1998), "Elements of Successful Oil Analysis Program-Part II", Lubrication Engineering, 10.1998: 15-17.
- Foulds, K., (1985), "Oil Monitoring-Under What Conditions Can it Improve Engine Life", IMECHE, C38/85: 57-66.
- Holmes, K., (1985), "Oil Analysis Techniques Used in the Development of Automotive Diesel Engines, and for Their Condition Monitoring in Service", IMECHE, C42/85: 95-100.
- Inoue, K. ve Yamanaka, Y., (1990), "Change in Performance of Engine Oils with Degradation", SAE902122.
- Kaleli, H., (1995), Motorların Değişik İşletme Şartlarında Yağların Yapısal Değişimlerinin Aşınmalara Etkilerinin İncelenmesi ve Optimum Yağ Değiştirme Süreçlerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kaleli, H. ve Yavaşol, İ., (1997), "Oil Ageing-Drain Period in a Petrol Engine", Industrial Lubrication and Tribology, 49.3: 120-126.
- Kaleli, H. ve Khorramian, B., (1998), "Used Oil Analysis and Study of Oil Drain Period in Gasoline Engine", SAE981448: 91-104.
- Kollmann, K., Gurtler, T., Land, K., Warnecke, W. ve Muller, H., (1998), "Extended Oil Drain Intervals: Conservation of Resources or Reduction of Engine Life (Part II)", SAE981443: 1-21.
- Lukas, M. ve Daniel, A., (1998), "Laboratory Used Oil Analysis Methods I", Lubrication Engineering, 10.1998: 31-35.
- Lukas, M. ve Daniel, A., (1998), "Laboratory Used Oil Analysis Methods II", Lubrication Engineering, 11.1998: 19-23.
- Mang, T. ve Diesel, W., (2001), Lubricants and Lubrication, Wiley, Weinheim.
- Miyahara, M., Watanabe, Y., Naitoh, Y., Hosonuma, K. ve Tamura, K., (1991), "Investigation into Extending Oil Drain Interval (Part I)-Oil Drain Interval Extension by Increasing Efficiency of Filtering Soot in Lubricating Oil", SAE912339.
- Mobil, (1999), Madeni Yağlar Kataloğu, Mobil Oil Türk A.Ş., İstanbul.

- Nissan, (1995), A32 Maxima Tamir ve Bakım Kitabı, Nissan Otomotiv A.Ş., İstanbul.
- Nissan, (1996), Maxima QX Kullanıcı El Kitabı, Nissan Otomotiv A.Ş., İstanbul.
- O'Connor, J., (1968), Standart Handbook of Lubrication Engineering, McGraw-Hill, NewYork.
- OSD, (2002), 2001 Yılı Otomobil ve Toplam Motorlu Araç Parkı, Otomotiv Sanayicileri Derneği, İstanbul.
- Rizvi, S., (1998), "Additives for Automotive Fuels and Lubricants", Lubrication Engineering, 4.1999: 33-39.
- Saloka, G. ve Meitzer, H., (1991), "A Capacitive Oil Deterioration Sensor", SAE910497: 137-146.
- Schwartz, S. ve Smolenski, D., (1987), "Development of an Automatic Engine Oil-Change Indicator System", SAE870403: 62-78.
- Schwartz, S. ve Mettrick, C., (1994), "Mechanisms of Engine Wear and Engine Oil Degradation in Vehicles Using M85 or Gasoline", SAE942027: 167-182.
- Shell, (1995), Yakıtlar Yağlar ve Yağlama, The Shell Company of Turkey Limited, İstanbul.
- Shell, (2002), Madeni Yağlar ve Gresler Kataloğu, The Shell Company of Turkey Limited, İstanbul.
- Staudt, W., (2000), Motorlu Taşıt Tekniği (Çev., Ö. Kulaksız), M.E.B., İstanbul.
- Thorn, R., Kollmann, K., Warnecke, W. ve Frend, M., (1995), "Extended Oil Drain Intervals: Conservation of Resources or Reduction of Engine Life", SAE951035: 99-111.
- Younggren, P. ve Schwartz, S., (1993), "The Effect of Trip Length and Oil Type (Synthetic Versus Mineral Oil) on Engine Damage and Engine Oil Degradation in a Driving Test of a Vehicle with 5,7 liter V-8 Engine", SAE932838: 289-301.
- Wearcheck, (1998), Oil Pressure Mapping To Measure Bearing Wear, Technical Bulletin, Wearcheck Afrika
- Wearcheck, (2000), Used Oil Analysis At Wearcheck, Technical Bulletin, Wearcheck Belçika

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 07.03.1979

Doğum yeri İzmit

Lise 1993-1997 İzmit Lisesi

Lisans 1997-2001 Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

