

İÇTEN YANMALI MOTORLARDA AŞINMA, YAĞLAMA VE SOĞUTMA (Lisans dersi notları)

Prof. Dr. Hakan KALELİ

Yağlamanın Tanımı

- ✱ Yağlama İki hareket eden yüzey arasındaki sürtünmeyi azaltan işlemdir.
- ✱ Yağ Sürtünmeyi azaltan maddedir.
- ✱ Yağın ana fonksiyonu iki hareket eden yüzeyi birbirinden ayırarak birbirleriyle olan temaslarını kolaylaştırmaktır.
- ✱ Yağlayıcı olarak kullanılan sıvılar, katılar arasındaki yüksek sürtünmeyi kendi düşük sürtünme değerleriyle azaltırlar.

Yağlayıcının Rolü (Görevi)

- ✱ **Aşınmadan korunmak ve aşınmayı azaltmak**
 - ✱ Temas eden yüzeyler arasında bir film oluşturur,
 - ✱ Sürtünen yüzeyleri koruyucu film ile kaplar.
- ✱ **Soğutma**
 - ✱ Sürtünmeyi azaltır ve ortamın fazla ısınmasını önler.
- ✱ **Koruma**
 - ✱ Hava ve su ile oluşabilecek kimyasal aşınmayı yavaşlatır.
- ✱ **Temizleme**
 - ✱ Yağlanmış yüzeylerden kirleri yıkama yaparak defeder.

Motor Yağlama Yağının sekiz ana görevi

1. Sürtünmeyi azaltma,
2. Aşınmayı önleme,
3. Hareketli elemanları soğutma,
4. Piston-segman bölgesinde sızdırmazlığın en iyi şekilde sağlanması,
5. Piston-segman bölgesindeki katı partiküllerin uzaklaştırılması,
6. Motor iç yapısının temiz kalmasının sağlanması,
7. Yağ bozulmasını önleme,
8. İç korozyonun önlenmesi.

Yağ Standartlarını Sağlayan Kurumlar:

- ✱ S.A.E. (Society of Automotive Engineers)
- ✱ A.P.I. (American Petroleum Institute)
- ✱ A.S.T.M. (American Society of Testing & Materials)
- ✱ American Automobile Manufacturers Association
- ✱ Engine Manufacturers Association
- ✱ I.S.O. (International Standards Organizations)

Hangi tip
yağ
kullanılmalı?



Guide to SAE Grades of Motor Oil for Passenger Cars	
Multigrade oils such as SAE 5W-30 and 10W-30 are widely used because, under all but extremely hot or cold conditions, they are thin enough for easy cranking at low temperatures and thick enough to perform satisfactorily at high temperatures. Note that your vehicle's requirements may vary. Follow your vehicle manufacturer's recommendations on SAE oil viscosity.	
If lowest expected outdoor temperature is	Typical SAE Viscosity Grades for Passenger Cars
0°C (32°F)	5W-30, 10W-30, 10W-40, 20W-50
-18°C (0°F)	5W-30, 10W-30, 10W-40
Below -18°C (0°F)	5W-30

1. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YAĞLAMA SİSTEMLERİ

1.a. Motor Yağlama Çeşitleri ve Sistemleri

- El ile yağlama,
- Damlama ile yağlama,
- Fitilli yağlama,
- Banyolu yağlama,
- Çarpmalı yağlama,
- Pompalı ve çarpmalı yağlama,
- Basınçlı çarpmalı yağlama,
- Basınçlı yağlama,
- Tam basınçlı yağlama.

• El ile yağlama

Bu yağlama bir el yağdanlığı ile yapılan yağlamadır. Genellikle hareketsiz parçaların paslanmasını önlemek amacı ile yapıldığı gibi motor parçalarının montajı anında parçaların yağlanması el ile yapılır.

• Damlama ile yağlama

Bu çeşit yağlama bugün önemli yer tutmaktadır. Bir depoda bulunan yağ ince uçlu bir delikten dönen parçaların üzerine damlatılır. Örneğin; Supap iticileri, zaman ayar dişli ve zincirleri böyle yağlanmaktadır.

• Fitilli yağlama

Keçe, yün, pamuk gibi maddelerin bir ucunun yağlanacak yere, diğer ucunun yağ banyosuna gelecek şekilde yerleştirilmesi ile yapılır. Devamlı bir yağlama temin eder, hareketli parçalar dursa bile yağlama devam eder. Bu yağlama şekli, platin fiberleri, distiribitör mili burcu, şarj dinamosu yatakları gibi yerlerin ve kısımların yağlanmasında faydalı olur.

• Banyolu yağlama

Devamlı sürtünen ve kuvvet ileten yerlerde kullanılır. Örneğin; dişli kutuları ve diferansiyel dişlilerinin yağlanması banyolu yağlama şeklinde olmaktadır.



Çarpmalı Yağlama Sistemi

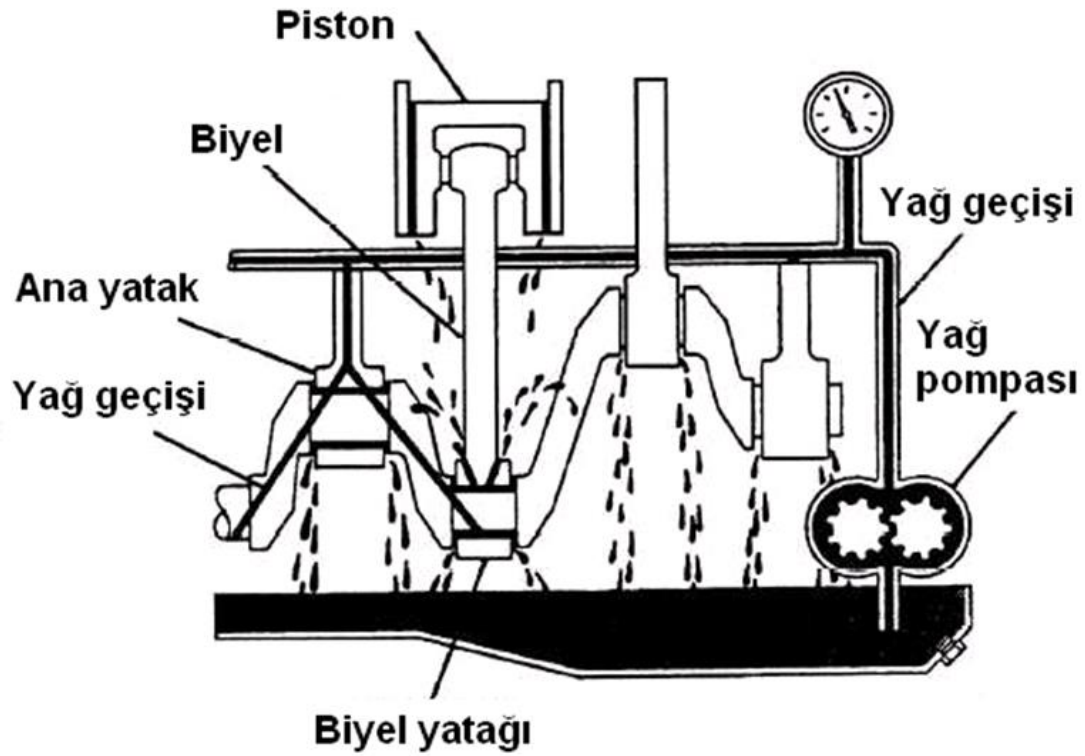
✿ Çarpmalı yağlama

Bu çeşit yağlama sistemi otomobil motorlarında eskiden kullanılan en basit bir yağlama sistemidir. Bugün de bazı tek silindirli küçük tip motorların yağlanması bu şekilde olmaktadır. Çarpma usulü ile yağlanan motorlarda genellikle biyel başında bir kepçe bulunur. Bu kepçe, pistonun her A.Ö.N. ya inişinde kartedeki yağa dalarak yağı krank mili dönerken iri ve küçük damlacıklar halinde silindir cidarlarına, supab mekanizmasına, pernoya, segmanlara ve yataklara sıçratır ve gerekli yerlerin yağlanmasını sağlar.

✿ Pompa ve çarpmalı yağlama

Bu çeşit yağlama sisteminin çarpmalı yağlama sisteminden tek farkı kepçelerin dalacağı çanakların bulunmasıdır. Motorun kam milinden hareket alan bir yağ pompası, karterden yağı emer ve kartere özel olarak yerleştirilmiş olan, her biyel başının altına gelecek şekilde çanaklara devamlı olarak yağ gönderir.

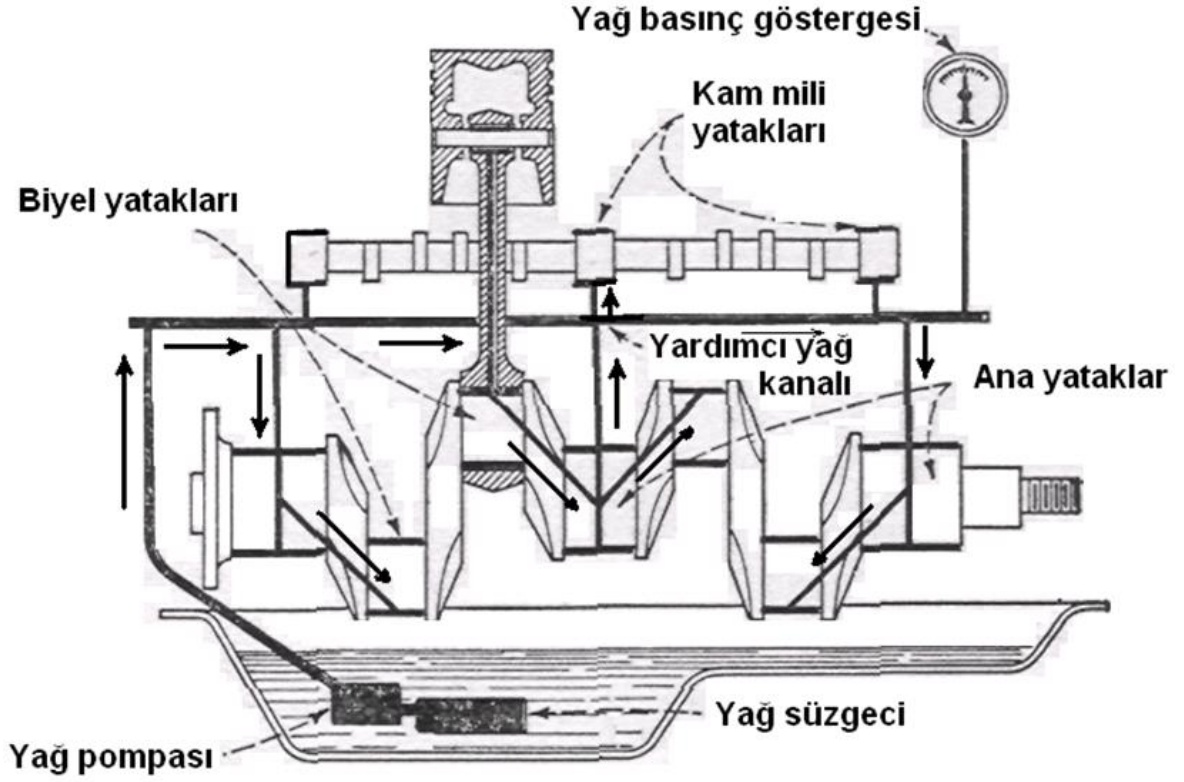
Bu sistemde pompanın görevi, çanaklara yağ göndermektir. Bazı eski tip Ford motorlarında pompa yağı supab odasına gönderir, oradan ana yatak ve kam mili yataklarına açılan bir delikten geçerek yatakların yağlanmasını sağlar. Bu tip yağlama, günümüz motorları için yeterli yağlamayı sağlayamadıklarından hemen hemen hiç kullanılmamaktadır.



Basınçlı çarpmalı yağlama sistemi

✱ Basınçlı çarpmalı yağlama

Bu çeşit yağlama sisteminde motor parçalarının bazıları biyel üzerinde takılı kepçelerin savurduğu (sıçrattığı) yağlarla yağlanır. Bazı motor parçaları ise yağ pompasının bastığı basınçlı yağla yağlanır. Bu sistem yağlamada; motorun ana yataklarına, kam mili yataklarına ve supap sistemine yağ; basınçlı olarak gönderilir. Biyel yatakları, biyel kepine takılı kepçeler yardımı ile yağlanır. Yağ pompası, karterde bulunan yağ fiskiyesine yağı gönderir. Buradan krankın her dönüşünde kepçeler, fiskiyeden püskürtülen yağı kepçeliyerek biyel yataklarına gönderir. Aynı zamanda silindir duvarlarına savrularak cidarların, piston piminin ve segmanların yağlanmasını da sağlar. Bu çeşit yağlama sistemi, Chevrolet motorlarında uzun zaman kullanılmış olup son model arabalarda kaldırılmış ve yerini tam basınçlı yağlama sistemine terketmiştir.

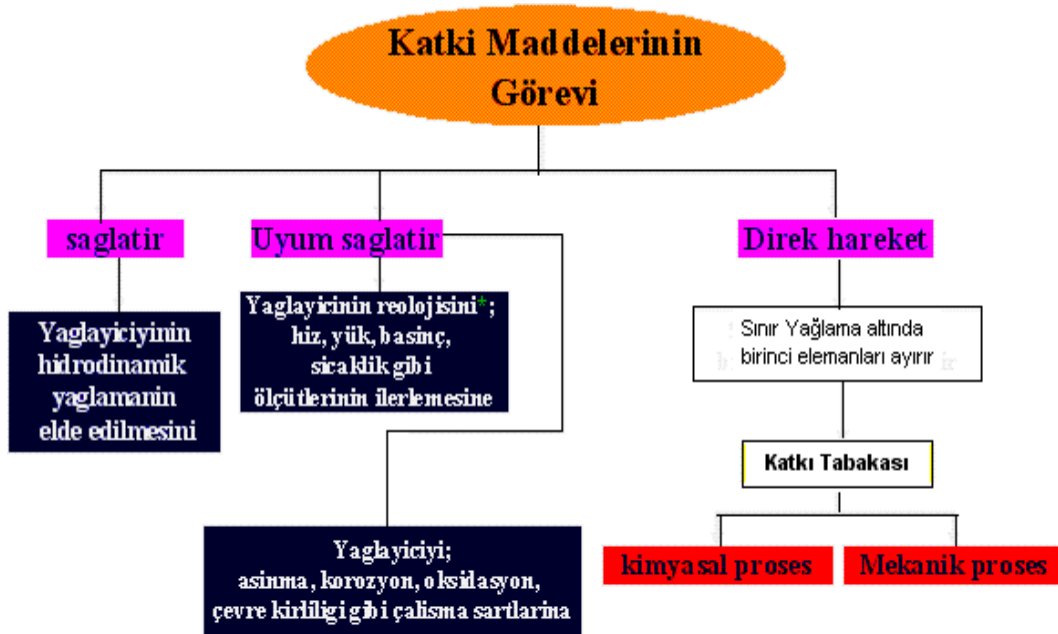
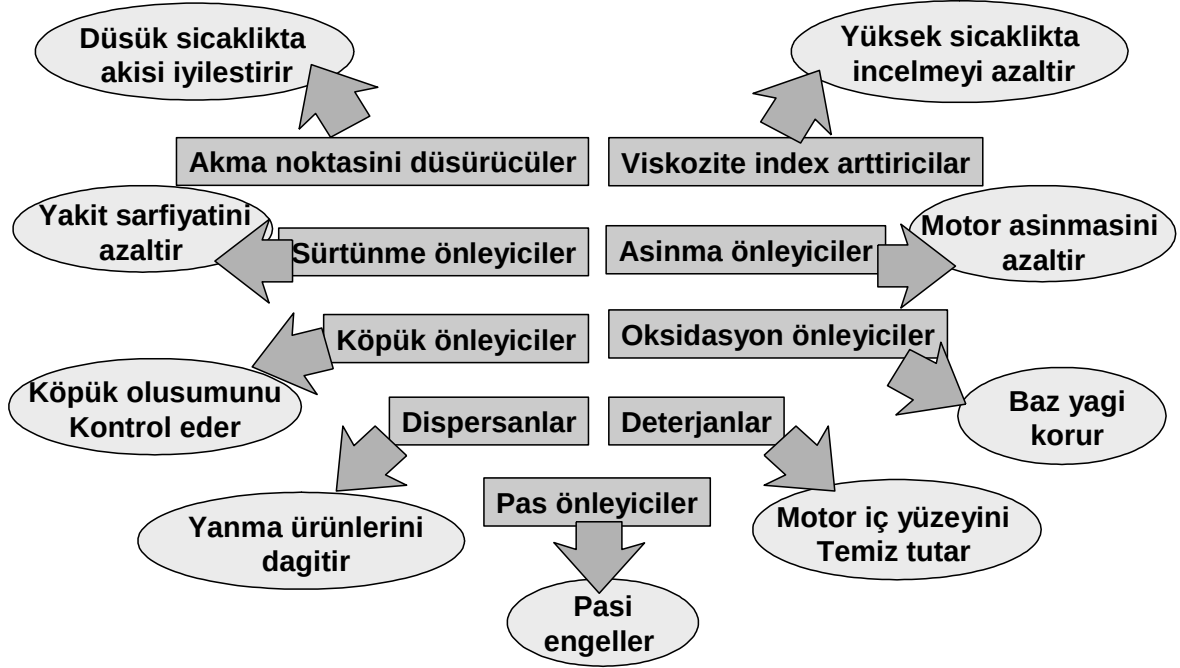


Tam basınçlı yağlama sistemi

✿ Basınçlı ve Tam basınçlı yağlama

Basınçlı yağlama sistemlerinin değişik şekilleri vardır. Bu sistemde, Motorun yağlanması gereken yerlere (piston pimi hariç) basınçlı olarak yağ gönderilir. Tam basınçlı yağlama sisteminde ise motorun yağlanması gereken tüm kısımlarına basınçlı olarak yağ gönderilir. Bugünkü motorların hemen hepsi tam basınçlı olarak yağlanmaktadır. Yağ, bir yağ süzgeci ve yağ pompası yardımı ile, üst karterde bulunan yağ dağıtım kanalına oradan da, ana yatak muylularına, kam mili muylularına, külbütör mili ve yataklarına, yağ göstergesine yağı basınçlı olarak gönderir. Bazı motorlarda piston pimi biyel ayağında hareketli olmadığı için, yağlanmasına gerek yoktur. Bu nedenle yağlama sistemi tam basınçlı olmaz.

Yaglama yagi çeşitli katkı maddeleri içermektedir



*Reoloji: Maddenin sıvı haldeki özelliklerini inceleyen bilim dalıdır

Motor Yağı Katkı Maddeleri

Yağlayıcılar zor şartlar altında çalışma performansı ve kabul edilebilir motor ömrünün sağlanması açısından geniş sayıda katkı maddeleri içermektedir.

- ❖ Viskozite indeks arttırıcılar,
- ❖ Akma noktasını düşürücü katıklar,
- ❖ Oksidasyon önleyici katıklar,
- ❖ Korozyon önleyici,
- ❖ Dispersan-Deterjan,
- ❖ Aşınma önleyici,
- ❖ Sürtünme önleyici,
- ❖ Köpük önleyici,
- ❖ Pas önleyici,
- ❖ Aşırı basınç katıkları.

★ Viskozite İndex Arttırıcılar

- ★ Yağın kalitesini arttırmak ve ısı arttıkça yağın incelmesini engellemek amacıyla kullanılmaktadır. Yağda çözünen yüksek molekül ağırlıklı ve yüksek viskoziteli polimerler genellikle viskozite indeksi arttırıcılar olarak kullanılır.

★ Örnek:

- ★ Bütenin yüksek molekül ağırlıklı polimerleri,
- ★ Stiren ve metakrilatlar,
- ★ Paraton, Santodeks ve Acryloid.

★ Akma Noktasını Düşürücü Katıklar

- ★ Aşırı soğukta meydana gelen kristalleşmeyi engeller ve sonuç olarak yağın akma noktasını azaltır. Akma noktası düşürücü katkı eklemek wax kristallerinin boyutunu küçültür ve aşırı gelişmesini engellerler

★ Örnek:

- ★ Wax-naftalen sıvılaşma ürünleri,
- ★ Metakrilat polimerler , Paraflow ve Acryloid.

★ Oksidasyon Önleyici Katıklar

- ★ Yağın oksitlenmesini engellemeye yardım eder (diğer bir deyişle yanmasını engeller) Yağ oksitlendiği zaman, motoru koruma kabiliyetini kaybeder. Asidik ürünleri toplar ve çamurun oluşmasına neden olur.

★ Örnek:

- ★ Sülfür veya fosfor veya her ikisini de içeren maddeler,
- ★ Fenolik yada amin grubu içeren aromatik bileşikler.

★ Korozyon Önleyici Katıklar

- ★ İki tür anti-korozyon etkisi vardır: Birincisi yağdaki bileşenlerle metal parçalarını korozyondan korur, ikincisi ise metal yüzeylerini atmosfer ve nemden dolayı oluşacak korozyondan korur. Partiküllerin oluşumunu ve motor metal aşınmasının oluşumunun engellenmesine yardım eder ve asit oluşumunda su ve oksijeni nötralize eder. Korozyon oluşursa kompleks asidik ürünler ve çamur oluşumu meydana gelir.

★ Örnek:

- ★ İyoneks (pas önleyici katıklar),
- ★ Fenolik Asitler ve Esterler gibi kutupsal materyaller.

- ✱ **Dispersan Katkı Maddeleri**
 - ✱ Partiküllerin tutulduğu yağ filtresinden yağın geçinceye kadar motor aşınmasından dolayı oluşan küçük metal partiküllerinin veya toz gibi karışan ürünlerin yağ tarafından tutulmasına ve absorbe edilmesine yardım eder.
- ✱ **Deterjan Katkı Maddeleri**
 - ✱ Yalnızca motoru kirlerden temizlemez aynı zamanda partikülleri yağ filtresine ulaşıncaya kadar veya filtre değişim sürecine kadar yağ içinde tutar ve motor parçalarını kirlerden arındırır.
- ✱ **Aşınma Önleyici Katkı Maddeleri**
 - ✱ Birbiri ile sürtünen parçalar arasında metal-metale olan teması önlemek amacı ile kullanılan katıklardır. Aşınmayı önleme mekanizması tam olarak anlaşılamamasına rağmen ilk harekette, rejim geçişlerinde ve durma esnasında (adhezyon, kazıma vs..) gibi aşınmaları önlemek amacı ile ince sülfid reaksiyon tabakaları, uzun dönem aşınma sürelerinde kalın fosfat film tabakaları oluşturur. Aslında bu katkı maddesinin ilk görevi aşırı basınç katığı olarak tanımlanmaktadır.
- ✱ **Örnek:**
 - ✱ (ZDP) Çinkoditiofosfat
 - ✱ (ZDDP) Çinkodialkilditiofosfat (antioksidan ve antikorozyon özellikleri vardır)
 - ✱ (TCP) Trikresil Fosfat
- ✱ **Sürtünme Önleyici Katkı Maddeleri**
 - ✱ Bu özellik sürtünmedeki azalma ile güç kayıplarını en aza indirmede etkili olmaktadır. Çok iyi rafine edilmiş yağlar sürtünme azaltmada etkili olan bileşenleri serbest bırakabilir. Yağ asitleri , sebze ve hayvan yağlarından elde edilir ve sürtünme azaltmada etkilidir. Asidik gurubun kendini metale bağladığı ve hidrokarbon parçasının yağlama maddesi içine yönlendirildiği düşünülür. Sürtünmeyi azaltan yağ asitleri, korozyon nedeni ile aşınmayı arttırabilir. Aşınma ve sürtünme önleyici katkıları birbirlerinin etkisine karşı koyuyormuş gibi görünebilir. Bu çeşitli tipteki moleküllerin birbirlerini yerlerinden çıkarma eğiliminin sonucu olabilir. Laboratuvar testlerinde çeşitli esterler, amidler ve metal sabunları sınır yağlamada sürtünmeyi %30lara kadar azaltabilmiştir. Bu durum karşılaştırmalı testlerde % 4'lük bir yakıt ekonomisine denk gelmektedir. 3.81 Buick V-6 motoru standart testlerinde US Sequence VI için %1.5 (EC I) veya %2.7 (EC II) luk yakıt ekonomisini ifade etmektedir.
- ✱ **Örnek:**
 - ✱ Oleik asit, Vistone, Yağ asitleri, daha yüksek alkol esterli oksijenli polar bileşimler.
- ✱ **Köpük Önleyici Katkı Maddeleri**
 - ✱ Köpük önleyici katkıları; hava kabarcıklarının boş bir yüzeye ulaşır ulaşmaz patlamasını sağlayarak köpürmeyi önlerler. Böylece köpürme önleyici katkıları, köpük oluşumunu engellemek yerine, oluşur oluşmaz patlamalarını sağlarlar. Köpürme önleyici katkıları birleşmeyi arttırırlar ve yağdaki orta büyüklükteki iki gaz kabarcığını birleştirirler. Böylece boş yüzeye kaçan daha büyük baloncukları oluştururlar.
- ✱ **Örnek:**
 - ✱ Silikon polimerler, Dow Corning akışkanı

● Pas Önleyici Katkı Maddeleri

- Motorda paslı partiküllerin oluşumunu engeller ve metalik yüzeylerde asitli ürünlerden etkisi ile oluşan su ve oksijeni nötralize eder. Korozyon oluşursa kompleks asidik ürünler ve çamur oluşumu meydana gelir.

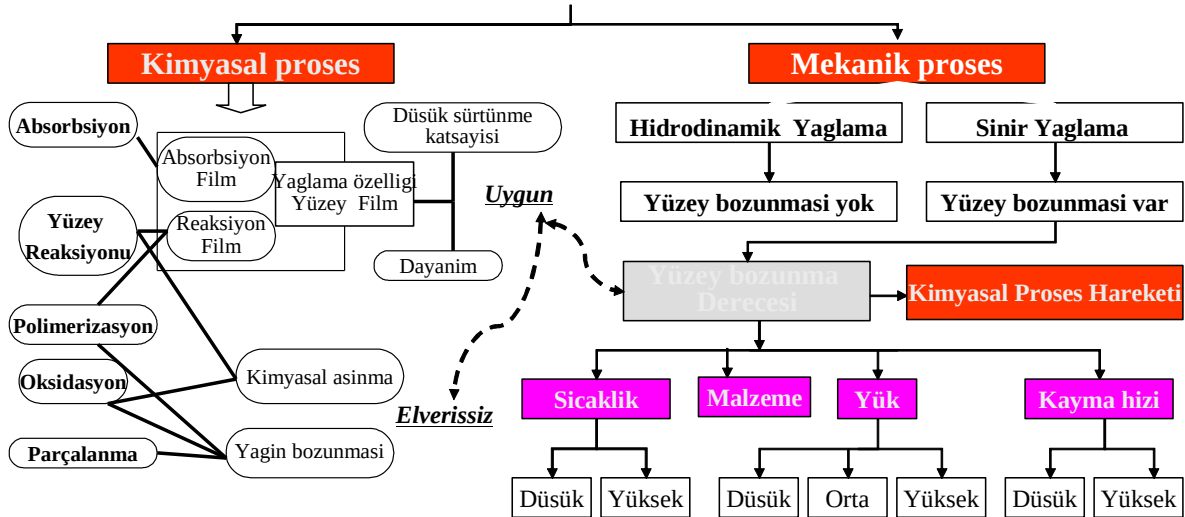
● Aşırı basınç katkılarları

- Yüksek basınç ve oldukça düşük sürtünme hızlarında oluşan deformasyon yüksek basınçlara dayanıklı yağ maddesi ile önlenabiliyorken, yüksek sürtünme hızlarında ve temas yüzeyinde yüksek sıcaklıklarda kaynamama kalitesi yüksek basınç katkı maddeleri ile sağlanır. S, Cl, P yada Pb içeren bileşikler metal üzerinde, metal yüzeylerini koruyan ve aşınmayı engelleyen metalik sülfid, klorid yada fosfit tabakası oluştururlar. Yüksek basınç etkisi meydana gelmesinden itibaren akışkan film yağlaması bitene kadar, yüksek basıncın yağlama maddesine olan etkisinin onun viskozitesinden bağımsız olduğu anlaşılır.

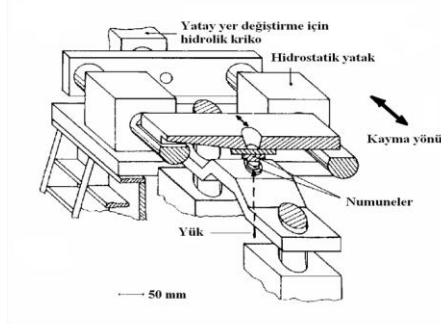
● Örnek:

- Sülfür, Sülfürik yağ asitleri, klorlu wax, kurşun naftenat

Kayan yüzeylerde katkı maddelerinin tabaka oluşturmaları

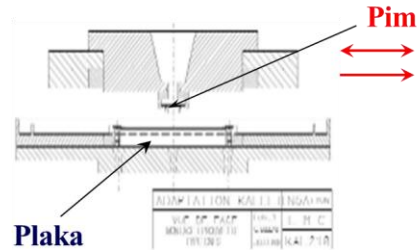


RESMİ TESTLER İÇİN DENEY SETİ

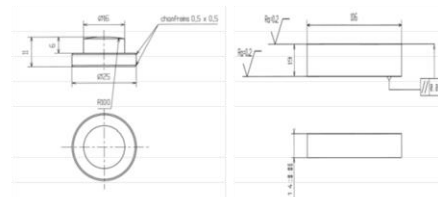


Reciprocating pin-on-plate machine
(Klasik krank-biyel mekanizmalı sistem)

- Tribolojik ölçümler “reciprocating pin-on-plate” tribo-test cihazı ile yapılmış olup, vakum şartları olmadan çelik/çelik tribo-çifti ile yapılmıştır.
- Tüm testlerde kullanılan numuneler (ultrason ile) hegzan ile yıkanmış, deneyler öncesi ve sonrası kurutulmuştur.



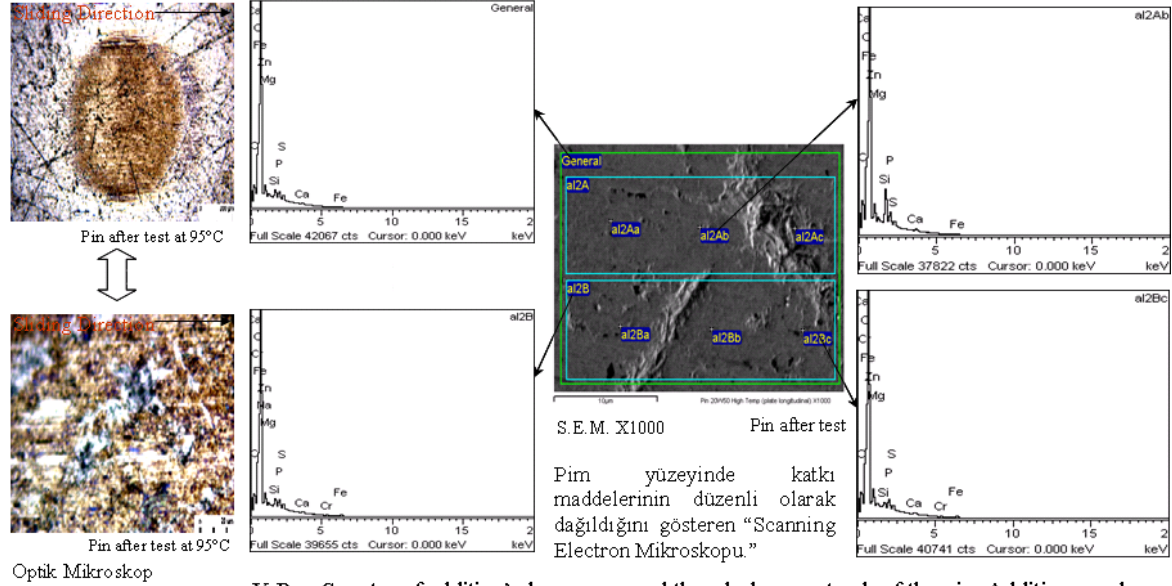
Pim ve plaka test konfigürasyonu



Pim ve plaka teknik resimleri
(Solda Pin, sağda plaka)

RESMİ TEST ÖRNEĞİ

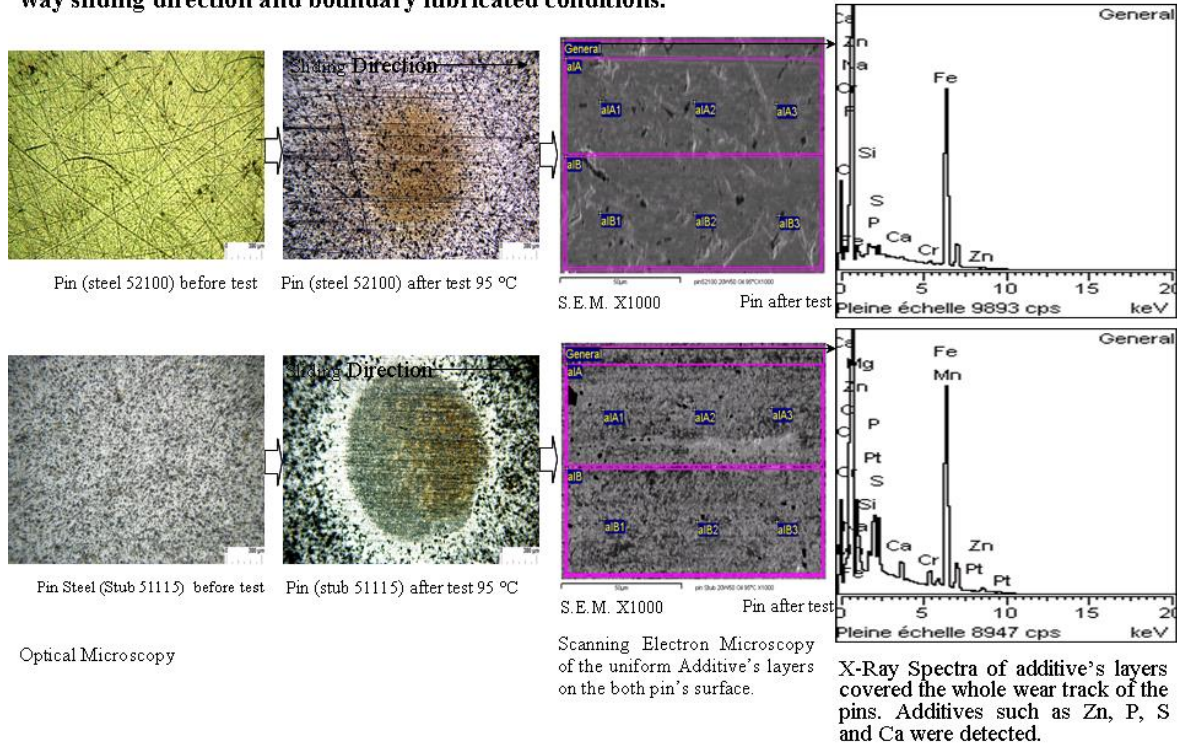
The reproducible test of the pin (Steel 52100) when a drop of commercial 20W50 oil was used as a lubricant under constant loading, one way sliding direction, at 95°C and boundary lubricated conditions showing uniform additive's layers where recorded the points general and al2 which are effected by additives such as Ca, Zn, P and S on the wear track.



X-Ray Spectra of additive's layers covered the whole wear track of the pin. Additives such as Zn, P, S and Ca were detected.

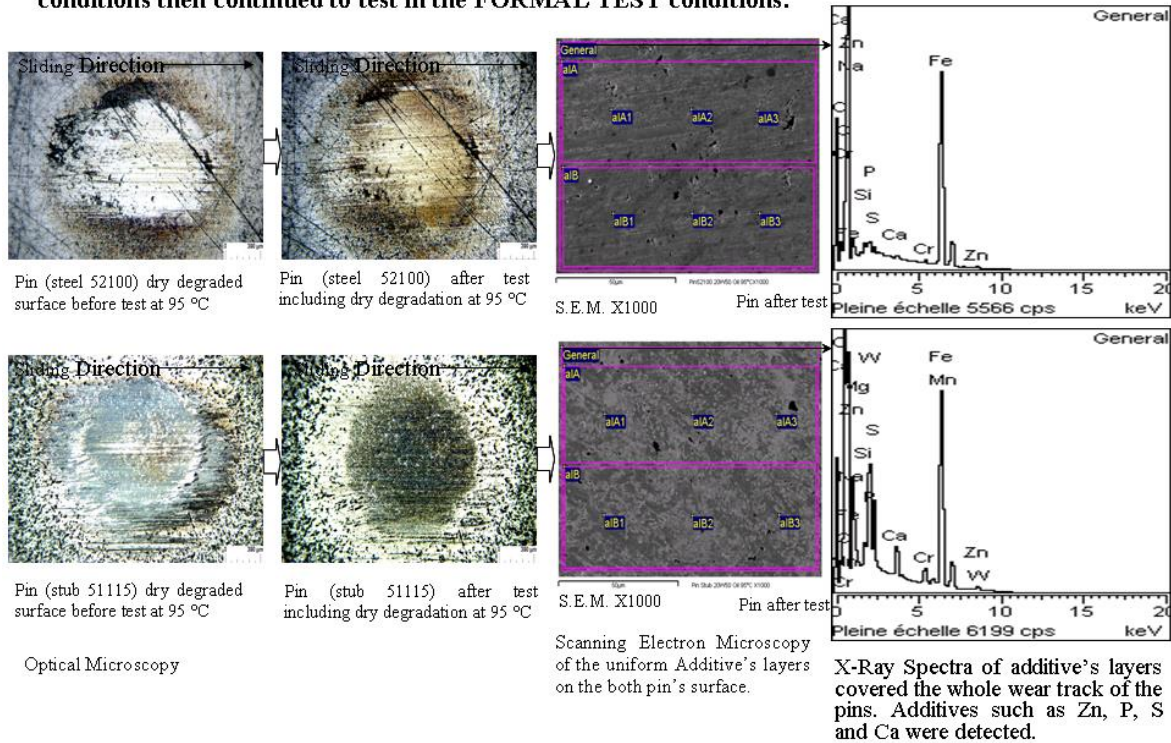
Yüksek sıcaklıkta Resmi Testler

Pins (steel 52100 and steel stub 51115) tested against plate at 95°C using a drop of 20W50 oil at single way sliding direction and boundary lubricated conditions.



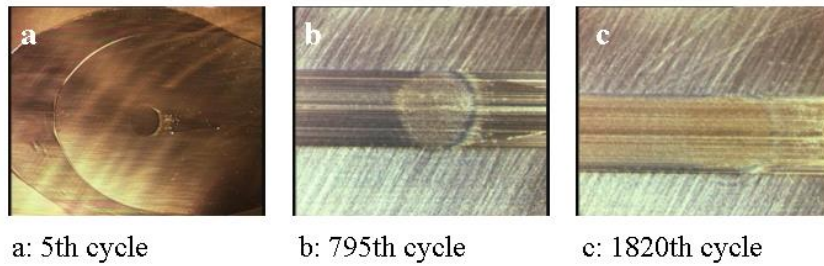
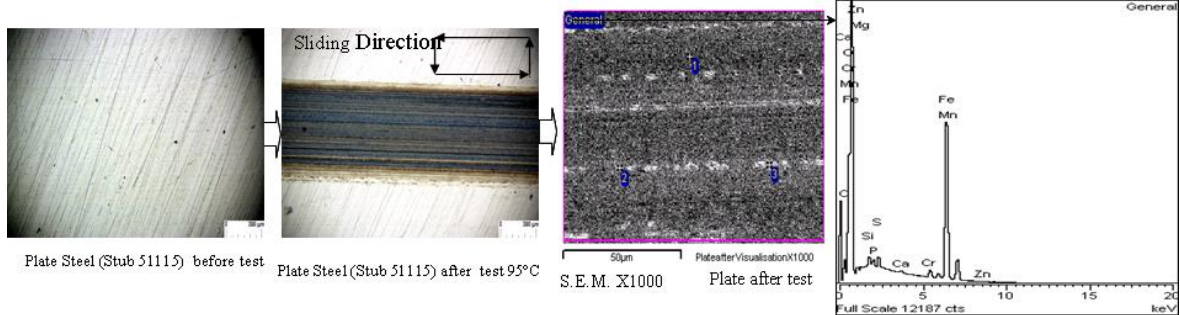
Yüzey bozunma derecesinin etkinliği

Both Pins (steel 52100 and steel stub 51115) had *surface degradation* a few minutes in dry conditions then continued to test in the FORMAL TEST conditions.

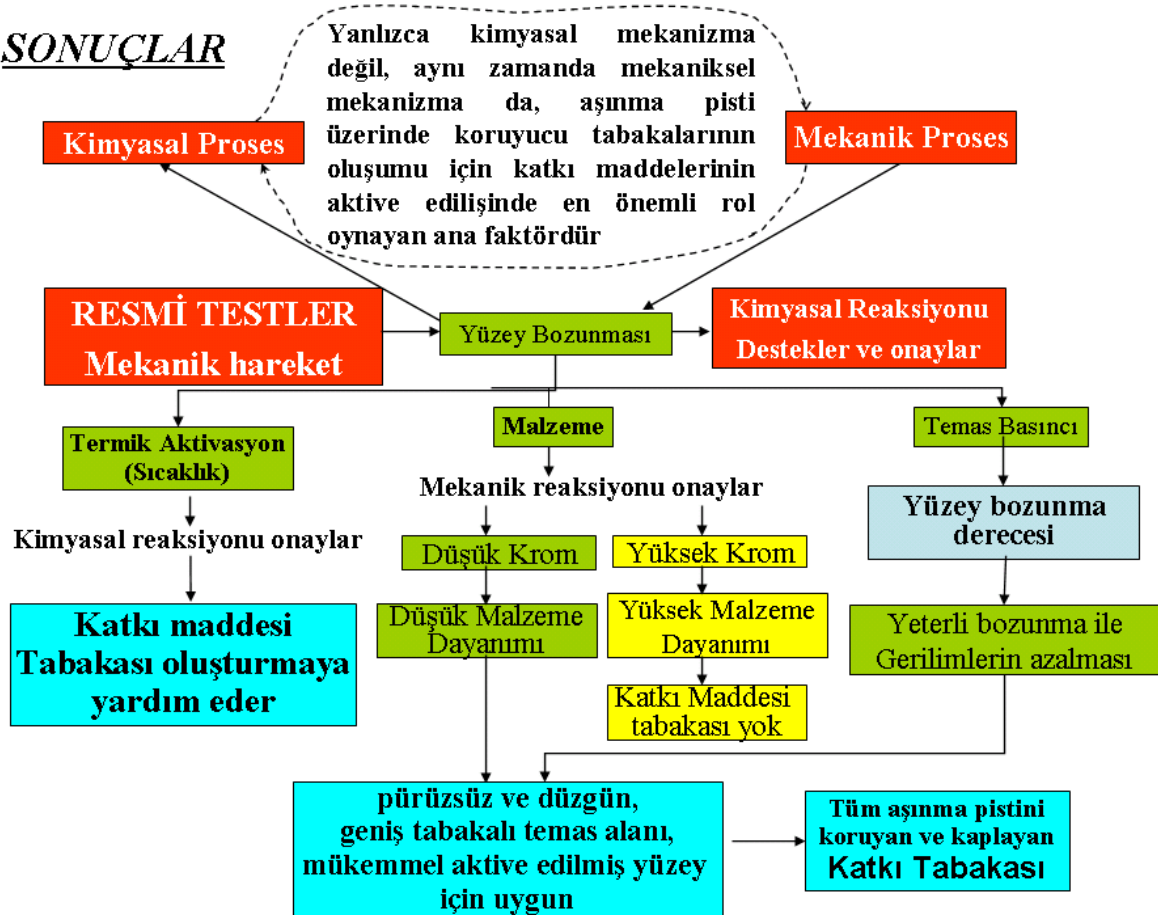


GÖRSEL DENEY FOTOĞRAFLARI

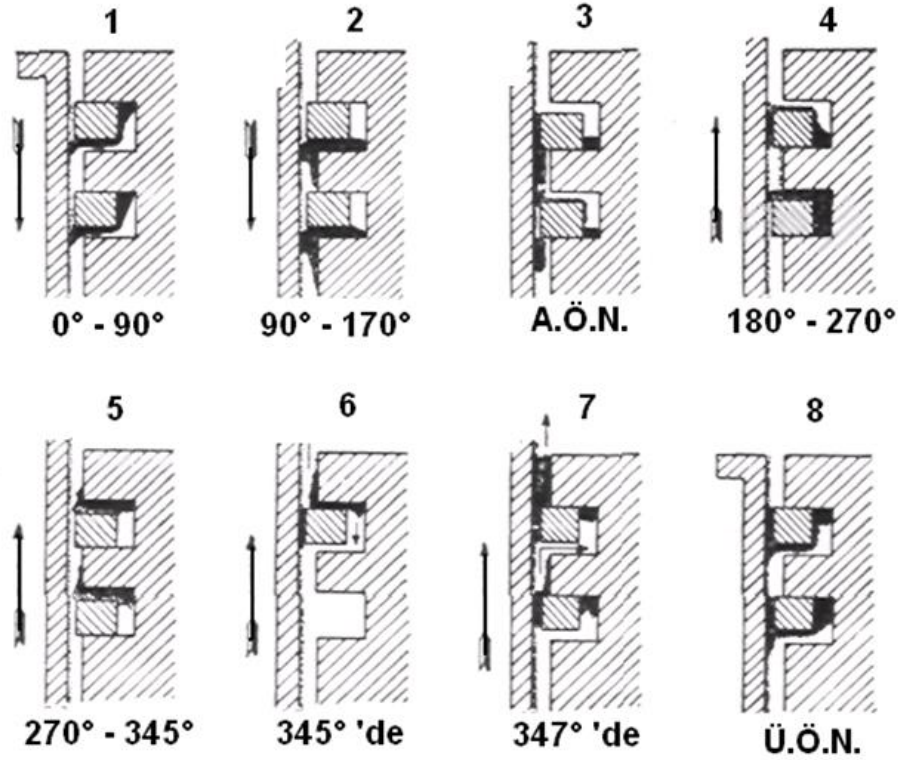
Plate (steel 51115) of the Sapphire Pin tested at high temperature using a drop of 20W50 oil at single way sliding direction and boundary lubricated conditions at the end of the visualisation experiment.



SONUÇLAR



Motorlarda Yağ Harcamı



Motorun bir devrinde en üst iki kompresyon segmanının konumu

Her motor yağ harcar!!

YAĞLAMA ve YAĞ ESKİMESİ

Motorlardaki yağlama sistemi, düzgün çalışmayı ve yaşamı etkileyen adeta insan vücudundaki kan dolaşım sistemine benzemektedir. Nasıl insan yaşamı için kana gereksinim varsa motorda da yağlama yağına ihtiyaç bulunmaktadır. Gerek benzinli gerekse Diesel motorlarında uygulamada kullanılan yağlama yağları değişik kimyasal özelliklere ve performans karakteristiklerine sahiptir. Bunlar viskozite sayıları S.A.E. (Society of Automotive Engineers)'e göre sınıflandırılmaktadır.

Yağlayıcının sekiz ana görevi

1. Sürtünmeyi azaltma,
2. Aşınmayı önleme,
3. Hareketli elemanları soğutma,
4. Piston-segman bölgesinde sızdırmazlığın en iyi şekilde sağlanması,
5. Piston-segman bölgesindeki katı partiküllerin uzaklaştırılması,
6. Motor iç yapısının temiz kalmasının sağlanması,
7. Yağ bozulmasını önleme,
8. İç korozyonun önlenmesi.

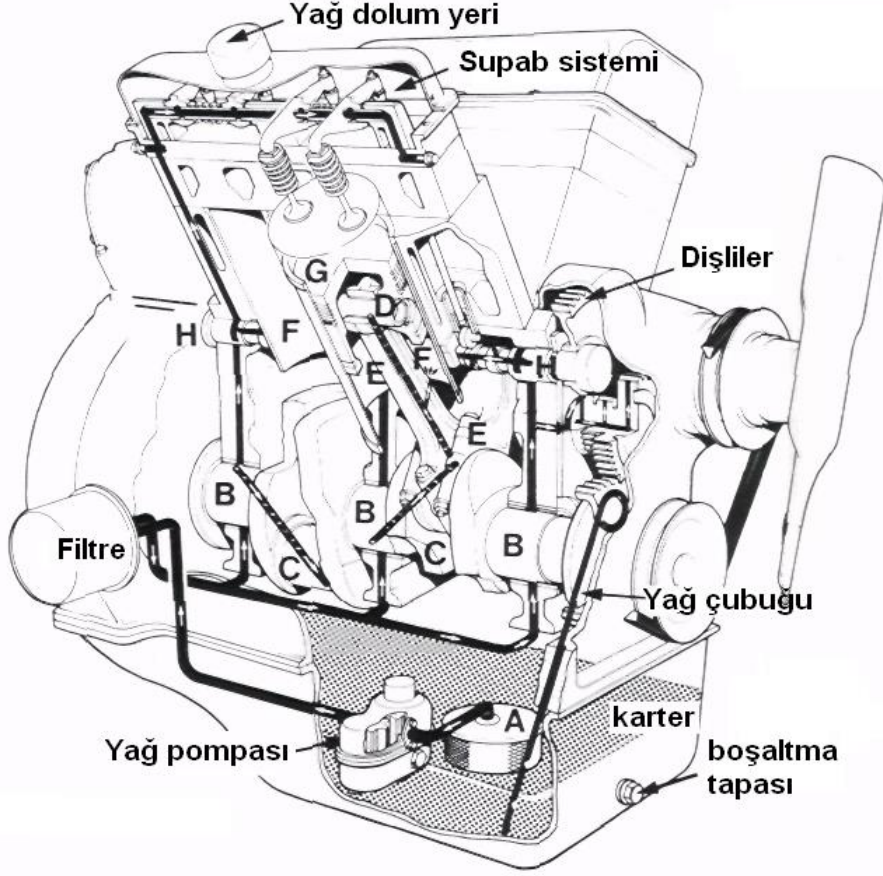
Motor çalışması esnasında yağ belirli bir sirkülasyona sahiptir (şekil 1). Karter içerisinde depolanmış olan yağ ilk safhada A yağ süzgecinden geçer. Burada pompaya girebilecek ve zarar verebilecek olan iri partiküller ayrılır. Daha sonra pompa vasıtası ile yağın basıncı arttırılır; daha küçük ve karbonlu partiküllerin ayrılması için filtreye yollanır. Filtre çıkışında, yağ B krank muylusundan geçerek E biyel büyük başı ve D iyel küçük başı yataklarını izlemek suretiyle, F silindir cidarına püskürtülür; dolayısıyla cidar ve G istonu arasında yağlama sağlanır. Aynı zamanda, H kam mili yataklarına, kam milinin kumanda ettiği dişlilere, supap mekanizmasına, ateşleme distribütörüne ve yağ pompasına da yağlama desteği yapılmaktadır. Son safhada ise, yağ tekrar kartere geri döner ve bir sonraki sirkülasyona yeniden katılır.

Daha önce verilen talimata göre, yağ değiştirme zamanında boşaltma tapası açılmak suretiyle kirli yağ dışarıya alınır, gerekli ise yağ filtresi yenisi ile değiştirilir. Tapa kapandıktan sonra motorun üst kısmındaki kapakçıktan yeni yağ koyularak yağ çubuğu vasıtası ile seviyesi kontrol edilir (BP. Engine Oils 1, 1988).

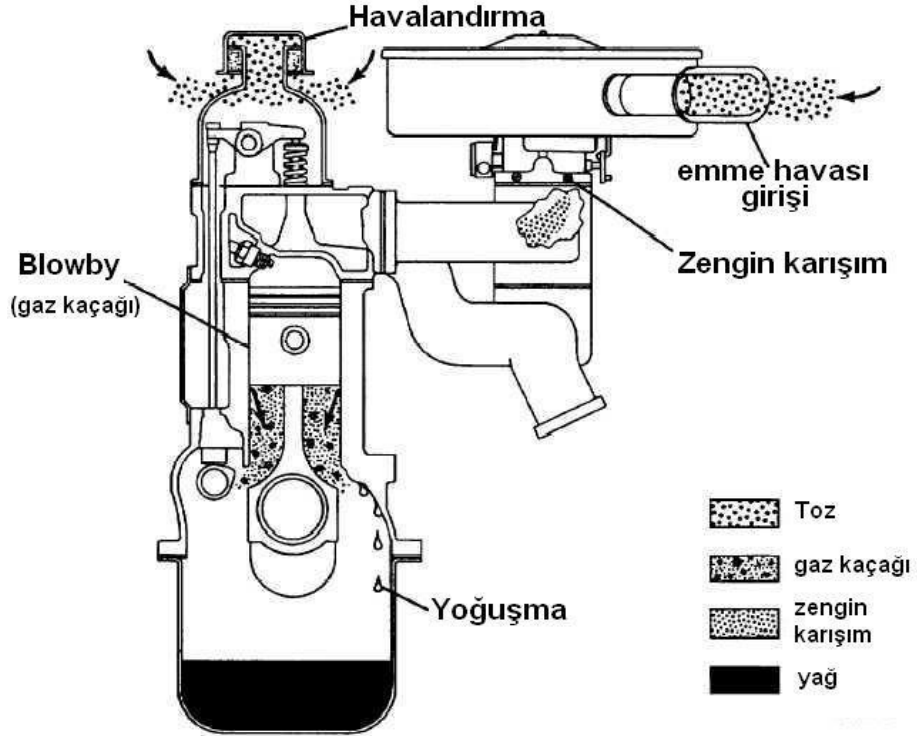
2. YAĞLAMA YAĞLARINDA ESKİMEYE BAĞLI DEĞİŞİMLER

Ham petrolün rafinasyonundan elde edilen mineral yağlar, hidrokarbon bileşiminden oluşmaktadır. Bu hidrokarbonlar üç tiptir:

- Parafinler; düz ve dallanmış şekilde karbon atom zincirinden meydana gelir. Dallanmış zincirler yağlama yağlarında önemli miktarda mevcuttur.
- Naftenler veya siklo-parafinler; tek veya halka şeklindeki zincirden oluşur.
- Aromatikler; tek benzen halkası, çift naftalen halkası ve üç antrasen halkasından ibarettir. Yapıları parafinik ve naftenik hidrokarbonlara göre daha kolay saldırıya uğrayabildiklerinden, reçine ve koroziv ürünlerin oluşmasına önderlik ederler.



Şekil 1. Motor Yağlama Sistemi.



Şekil 2. Motor üzerinde yağ eskimesi oluşumu.

Baz yağdaki hidrokarbon yüzdeleri şu mertebededir:

Parafinler % 75-85

Naftenler % 13-20

Aromatikler % 6-10'dur. (Warrens C.P., fluid lubrication).

Yağlayıcılar zor şartlar altında çalışma performansı ve kabul edilebilir motor ömrünün sağlanması açısından geniş sayıda katkı maddeleri içermektedir. Bu maddeler aşınma önleyici, deterjan-dispersan, sürtünme önleyici (viskozite indeks arttırıcılar), köpük önleyici, pas önleyici, korozyon önleyici, aşırı basınç katıkları olarak sıralanabilir. Ancak yağlama yağlarının eskimesi kaçınılmazdır.

İçten Yanmalı Motorlarda madeni yağların bozulmasına sebep olan 2 önemli faktör bulunmaktadır (Şekil 2):

- Oksidasyon nedeni ile fiziksel ve kimyasal değişikliklerin ortaya çıkması,
- Yanma odasından karışan maddeler ile kirlenme.

Motorun çalışma şartları oksidasyona çok uygun şartlardır. Karterde, yağ buharları hava ile yüksek sıcaklıklarda temas halindedir. Sıcaklık yanma bölümünde çok daha yüksektir. Aynı zamanda silindir cidarında, piston ve segmanlarda yağ filmi yüksek sıcaklığa maruz kalır. Söz konusu bu bölümlerde sıcaklığa bağlı olarak çeşitli oksidasyon ürünleri oluşur. Karterde asitli maddeler ve kompleks karbonlu bileşikler meydana gelir. Yanma odasında ve piston-segman etrafında karbon partikülleri toplanır. Bu partiküllerin bir kısmı kartere geri döner, geri kalan kısmı ise yanma bölümünde kalır. Bütün bu kirlenmeler neticesinde asit konsantrasyonu fazla olan yağ, yatakların korozyonuna ve motorlarda aşınmaların artmasına sebep olur.

Oksidasyon, bir yağın hizmet ömrünü azaltan en mühim faktördür. Bütün yağlar oksijene maruz kalmaları neticesinde fazla miktarda okside olurlar. Ana reaksiyon ürünleri peroksitler olmak üzere ilerleyen reaksiyonlarda bunlar alkol, keton, aldehid ve karboksilik asitlerin oluşmasına sebep olurlar. Bu malzemeler, baz yağa benzer molekül ağırlıklarına sahip olup, karışım içerisinde kalmaktadırlar. Oksidasyon prosesi ilerledikçe bu ürünler, takip eden reaksiyonlar sonucu daha da büyük ağırlıktaki moleküllere dönüşüp yağda erimez hale gelirler. Bu moleküller yüksek sıcaklıkta yağı kalınlaştırıp çamur ve lak teşekkülünü sağlarlar. Yüksek viskozite indeksli, çok iyi rafine edilmiş parafinik yağlar asit ve korozyon oluşumuna elverişlidirler. Düşük viskoziteli indeksli aromatik yağlar ise çamur ve lak teşekkülüne uygundur (Shell Tek. Bül, 1971: Schilling A., 1962).

İçten Yanmalı Motorlarda kullanılan bazı metaller adeta oksidasyon katalizörleridir. Bunlardan bakır, kurşun ve demir çözünürlükte aktif bir rol oynarlar. Düşük moleküler ağırlıktaki asitler, suda çözünmeleri neticesi daha aktif hale gelerek, metallere nüfuz ederler. Aynı zamanda bu asitler uçucu özelliğe sahip ise yağ seviyesi üzerinde paslanmaya sebep olur.

Çamur, okside olan moleküllerin polimerizasyonu neticesinde meydana gelen yağdaki çözünmez maddedir. Bilhassa aromatik komponentler polimerizasyona yatkındır. Aromatik halka, parafinik yan zincirini parçalayıp ayırması ile kendine benzer gruplarla birleşir. Bu tip polimerizasyon genellikle düşük moleküler ağırlıktaki maddelerin meydana gelmesi neticesinde gelişir ve yağın viskozitesinin de yükselmesine yol açar. Oksidasyon

sonucu yağın rengi de kararır. Polimerizasyonun yeteri kadar gelişmesi, yüksek moleküler ağırlıktaki oksidasyon ürünlerini yağdan ayırır. Bunların yağda dağılmış olarak kalmaya devam etmeleri, çözünmeyen maddeler şeklinde oksidasyon çamuru meydana getirilir. Bunlar da şekilde yağ kanallarını tıkayıp, ısı transfer yüzeylerini düşürebilirler.

Lak, polimerize olmuş maddelerden meydana gelmiş olup, ince film halinde sıcak yüzeylerde bulunan yağın oksitlenme şartlarında teşekkül eder. Oksidasyon lakı, parçaları birbirine yapıştırır ve onların birbirine göre hareketini önler. Laklar, motorların piston eteklerine yerleşen, az çok renkli, %10 ila 20 arasında oksijen ihtiva eden, plastik ürünlere benzeyen oksiasitlerdir. Lak'ın diğer bir adı ise verniktir (Shell Tek. Bül., 1971).

Oksidasyon hızına tesir eden bir çok faktör vardır. Bunlar sıcaklık, oksijen durumu, katalizörler, yağın bileşimi-katkı maddeleri ve yeni yağla değişim aralığıdır. Sıcaklığın etkisi önemlidir, zira sıcaklıktaki her 8-10 °C'lık yükselme reaksiyon hızını iki misli artırır. Yağlama yağının motorlardaki çalışma sıcaklığı 50-300°C aralığında değişmektedir. Yağların oksidasyonu 100°C'in altında yavaş seyretmekte, 200°C'in üzerinde ise oldukça hızlanmaktadır (Schilling A. 1962).

Yanma olayından dolayı oluşan ana maddeleri yakıt, su ve is teşkil etmektedir. Yakıt buharlaşmasının yeterli olmayışı ya da daha fazla zengin bir karışım kullanılması nedenlerine bağlı olarak ortaya çıkan, henüz yanmamış yakıt, yağı seyreltmek suretiyle yanma odasından kartere sızar. Yağlayıcının fazla miktarda seyreltilmesi, yağ viskozitesinin istenilen seviyenin altına düşmesine sebep olmaktadır. Yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan su, motor sıcaklığı yüksek iken buhar halinde ekzostan dışarı atılır. Ancak motor soğuk iken sıvı halindeki su karterde toplanır. Su ile kirlenme aynı zamanda soğutma sisteminin su sızdırması ile de ortaya çıkabilir ve bu durum antifriz solüsyonları kullanıldığında tehlikeli olabilir. Bilindiği gibi Diesel motorlarında is oluşumu; yanma odası içerisinde, sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde yeterli oksijenin bulunmaması sonucu gaz fazındaki yakıt moleküllerinin katı partiküllere dönüşmesi ile meydana gelir. İsin büyük çoğunluğu ekzostan dışarı atılır, ancak bir kısmı ise piston ve silindirdeki yağa karışıp kirllettikten sonra kartere sızar. Benzinli motorlarda yakıt katıklarından kurşunlu bileşikler yağlama yağına karışabilmektedir. Söz konusu bu katı kirleticiler, su ve yağ ile birlikte çamur haline gelirler. Bu çamurun karterde birikmesi veya yağ ile sirküle edilmesi, yağ hatlarında tıkanıklığa yol açar. Yağ dağıtım sistemine konulan yağ filtreleri vasıtası ile bunlar toplanır. Ancak partikül miktarının artması, filtrelerin tıkanmasına yol açabilmektedir (Mad. Yağ Şube Müd., 1980).

Yağlar hakkında, özellikle motor yağları hakkında bir tek sey söylenebilir, hiç bir zaman uzun ömürlü değillerdir. Motor ömrünü ve düzgün işletim şartını önemli derecede etkilemesinden dolayı kullanım esnasında yağlama yağı özelliklerinde değişimler meydana gelir. Bu değişimler en uygun yağ sınıfı veya yağ kalitesi kullanılmasından ziyade motor işletim şartlarına bağlı olmaktadır. Nasıl insan sağlığını ve yaşamını etkileyen kan ile ilgili analizler yapılıyorsa, yağ ile ilgili yapılan analizler motor gelişim ve sağlık şartını da etkilemektedir (Schilling A., 1972).

3. Yağ Analizi Cihazları

Kullanılmış yağ analizleri için günümüzde oldukça geniş bir alana yayılan cihazlar bulunmaktadır. Bu analizlerin standartta uygun olup, mümkün olan en az hata ile sonuca gidilmesi önem taşımaktadır. Kullanılmış yağ analizleri için kullanılan belli başlı cihazlar şunlardır:

- * **Aşınma ürünleri ICP-AES** (Inductively Coupled Plasma Discharge-Atomic Emission Spectroscopy) Atomik Emisyon Spektroskopisi cihazı ile ölçülür.
- * **Viskozite (40°C ve 100°C)** cam kılcal viskozimetrede ölçülmüştür. ASTM D445/89 standartına uygun olarak yapılır.
- * **Toplam Baz Sayısı** (mg KOH/gr) olarak (ASTM D-445/89) standartına göre ölçülür.
- * **Parlama noktası** (°C) olarak ASTM D 93-80 standartında kapalı kap metodu ile yapılır.
- * **Yağda erimeyenler** milipor kağıdı ve n-pentanda süzerek % erimeyen miktarlar ölçülür.

3.1. Atomik Emisyon Spektroskopisi

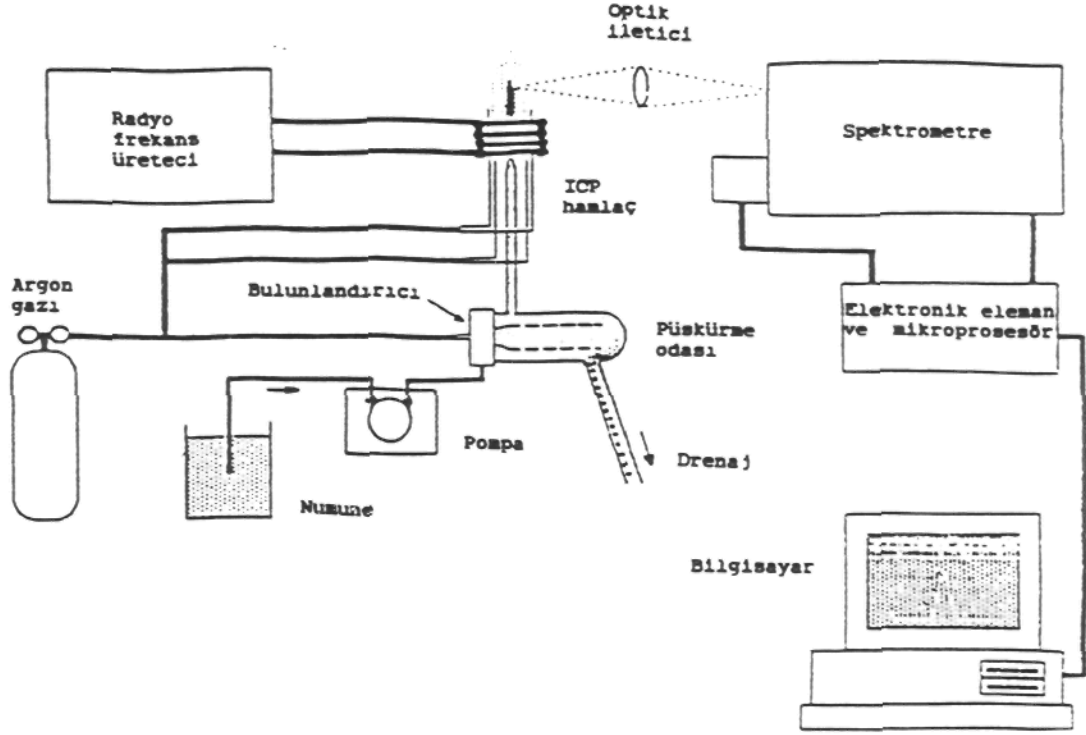
Spektrometrik yağ analizi, yağ içindeki metalik aşınma ürünlerini p.p.m. (milyonda bir tane) mertebesinde ölçmek için kullanılır. Bu durum seyreltilmiş olan yağ numunesinin plazma alevinde yakılması ve ışık yayılımı etkisi ile yağ içindeki elementlerin seviyesinin ölçülmesi suretiyle sağlanır. Seyreltilmiş yağ pnömatik pülverizatör içinden yollar. Pülverizatör argon gazı tarafından beslenerek emilen numuneyi püskürtme odasına yollar. Püskürtme odasında numune ilk olarak akışı bozan cam küreye çarpar. Oluşan iri damlacıklar drenajdan alınır. İnce damlacıklar bulutu ise hamlacın (şalümonun) kanal merkezine ve plazma kaynağına kadar ilerler.

Hamlac (şalümo), R.F. (frekans üretici) indüksiyon bobini ile sarılmış quartz tüpünden ibarettir. Jeneratörden bobine uygulanan yüksek frekanslı enerji, şiddetli manyetik alan yaratıp plazma alevini oluşturur ve yüksek sıcaklık gereksinimini sağlar. Sistemdeki spektrometre kısmının çalışması ise yüksek sıcaklıktaki atomik buharın yaydığı radyasyonun analizine bağlıdır. Sıcak atomik buharın yaydığı radyasyon, spektrometre girişindeki yarık üzerinde odaklanmıştır. Konkav kafes ise radyasyonu kendi analitik dalga boyları içerisinde ayırmaktadır. Bu dalga boyları, çizgisel şiddetin kayıt edildiği her bir çıkış, yarık üzerinde foto-elektriksel detektörler tarafından odaklanmıştır. Her bir yarığın yanına yerleştirilmiş foto-çoğaltıcı tüpler - çizgisel şiddetle orantılı olarak - elektriksel sinyaller vermektedir. Eşzamanla çalışan spektrometrede, odak düzleminde yer alan foto-çoğaltıcı tüpler, çıkış yarıkları adedine göre düzlemde yerleştirilmiştir (Macculloch R., 1989) (Şekil 3).

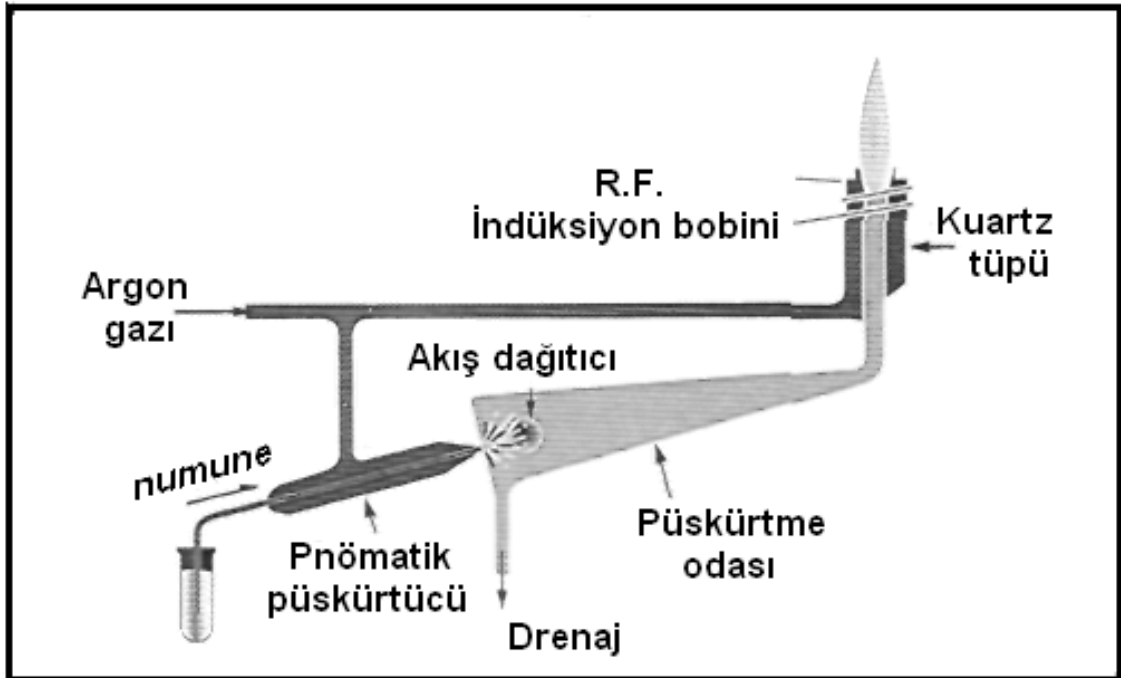
3.2. Viskozite Testi

Viskozite, kılcal viskozimetre adı verilen tüple ölçülür. Standart hacimde ve sıcaklıkta, kılcal tüpteki dar kesitten geçen akışkanın ölçülen süresi kinematik viskoziteyi vermektedir. Birimi centistok (cst veya mm²/s)'dir.

Yağ belli bir seviyede ve işaretlenen noktaya kadar kılcal tüp içine dökülür. Kılcal tüp U şeklinde olup, bir ucundan vakum yapılmak suretiyle üzerinde bulunan ölçekli hazneye yağ çekilir. Vakumun serbest bırakılması neticesinde yağ kendi ağırlığı ile birlikte geri döner; ölçeği belirlenmiş olan yağ seviyesinin zamana göre akışı kinematik viskoziteyi vermektedir (şekil 4).



Şekil 3a. İndüksiyon Plazma tekniği ile çalışan Atomik Emisyon Spektrometresi elemanları şematik resmi.

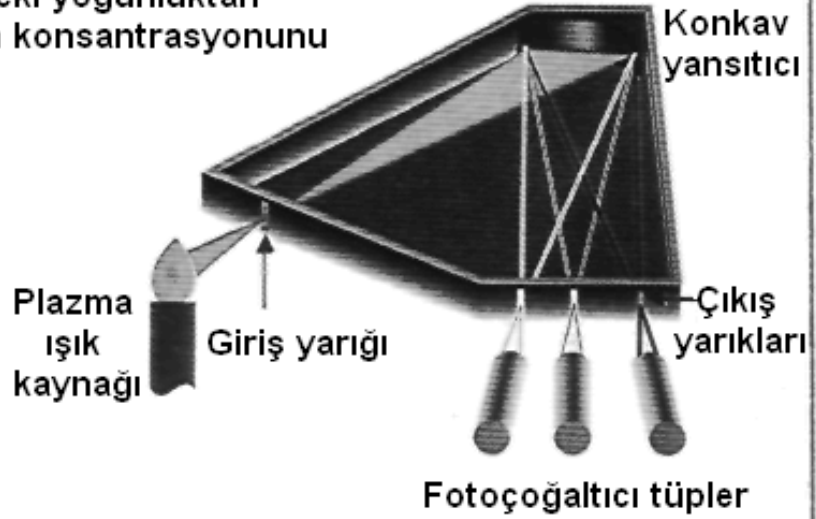


Şekil 3b. Plazma tekniği ile çalışan Atomik Spektrometresine numune girişi.

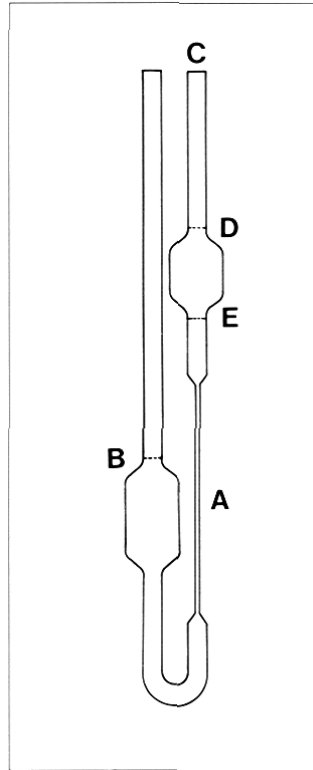
Görevleri:

Dalga boylarından elementlerin varlığını belirlemek,

Hat üzerindeki yoğunluktan elementlerin konsantrasyonunu belirlemek



Şekil 3c. İndüksiyon Plazma tekniği ile çalışan Atomik Emisyon Spektrometresi çalışma prensibi.



Şekil 4. U-tüplü kılcal kinematik viskozimetre

A= Kılcal boru B= Yağ dolum seviyesi C= Yağın D'ye kadar vakum yapıldığı seviye
D,E= D'den E'ye zamana ve sıcaklığa bağlı olarak ölçülmek istenen yağ seviyesi.

Ölçümlerden elde edilen gelişmelere göre akışkanın mutlak viskozitesi olarak da adlandırılan ve birinin diğerine göre bağıl hareketi olan iki plaka arasındaki kesme dayanımına “Dinamik Viskozite” adı verilir. Sözü edilen direnç; bağıl hız ve iki plaka arasındaki mesafeye göre “Poise” olarak ifade edilir. Poise, kesme gerilmesinin (Yük/alan; N/m^2), kesme oranına (hız/mesafe; $m/s/m$) orantılı olarak verilir. 1 Poise $0.1 Ns/m^2$ ’ye eşittir. En uygun Poise "centipoise" 'dır ve bu Poise'm yüzde biridir. Mutlak viskozite yoğunlukla oranlanırsa sonuç direk olarak kılcal viskozimetrede verilen kinematik viskozitedir (centistok). Örneğin mutlak viskozitesi 45 centipoise ve yoğunluğu $0.9 kg/lt$ olan yağın kinematik viskozitesi 50 cst'dir.

Pratikte mineral yağların hepsi 0.870 ila $0.920 kg/lt$ aralığında yoğunluğa sahiptir.

Viskozite test sonucunda kullanılmış yağın viskozitesi, yeni yağ viskozitesine göre % 25'likten fazla artış ve azalış gösterdiği takdirde artık o yağın kullanılmasında sakınca olduğunu göstermektedir (BP Engine Oils 3, 1988).

Yağ, çok sıvı olduğu takdirde segmanları kolay geçer ve supap kılavuzlarından aşağı akarak yanma prosesinde harcanır. Çok sıcak olduğu zaman ise bağlantılardan ve contalardan kaçabilir. Diğer yandan çok kalın ise yataklarda ve genel çalışma sıcaklıklarında sürtünme dayanımını arttırıp daha fazla yakıt harcamına sebep olmaktadır. Bu yüzden viskozite seçimi önemlidir. Motor yağı için en önemli özellik viskozitesidir. Kalınlığı, akmaya karşı olan direnci veya yüksek viskoziteli oluşunu; inceliği ise düşük viskoziteli olduğunu gösterir.

Motor için ideal viskozite yoktur. Bu durum yağın genel görevleri ve yağlanmış olan kısımlarına bağlıdır. Örneğin yüksek viskozite iyi yağlama, krank mili yataklarındaki yağ filmi ve segmanlarla silindir arasındaki sızdırmazlık için gerekmektedir. Diğer yandan düşük viskozite ise; kolay ilk hareket, yakıt harcamındaki azalma, doğrusal ve dairesel hareket eden elemanların kolay soğumasına imkan sağlamaktır. Bilhassa ilk hareket esnasında yağlama yağının kolay sirkülasyonu ile birlikte daha iyi dağılımı söz konusudur. Yağların soğuk ve sıcak ortama göre kalınlaşması ve incelmesi sebebiyle viskozite seçiminde değişiklikler yapılmıştır. Daha önce yaz ve kış olmak üzere ayrı tip yağlar kullanılmakta idi. Günümüzde ise uzmanlar sıcaklık değişiminden etkilenmek suretiyle viskozite derecesini azaltan katkı maddeleri geliştirmişlerdir. Bu tip katkı maddelerine viskozite indeksi arttırıcı katkı maddeleri adı verilip, kullanılan yağa yüksek viskozite indeksli yağ adı verilir. Bunlar dört mevsim çalışabilen "çok dereceli" veya "bitmiş" yağ olarak üretilmiş olup, 20W50 veya 10W30 tipleri örnek verilebilir (BP Engine Oils 1, 1988).

Viskozite artışının nedenleri şunlardır:

- a) Yağın çok yüksek sıcaklıkta çalışması ile oksidasyon, nitrasyonun oluşması,
- b) İsin yağlama yağına karışması,
- c) Yağa başka bir ürünün karışması, dolayısı ile çamur teşekkül etmesi.

Viskozite düşüşünün sebepleri şunlardır:

- a) Yakıt seyrelmesi (alevlenme noktası düşer),
- sebepleri:
- Diesel motorlarında enjektörlerdeki yakıt kaçağı,

- Benzinli motorlardaki karbüratör hatası,
- Aşınmış segman ve silindirler,
- Kırık segmanlar, supapların oturmasındaki hatalar, pompalardan veya hatlardan kaçan yakıtın kartere karışması,
- Benzinli motorlarda kötü ateşleme,
- Benzinli motorlarda ilk hareket sıklığı.

b) Viskozite indeks arttırıcılarının bitmiş yağda kesilmesi.

3.3. Toplam Baz Sayısı Testi

Toplam Baz Sayısı (TBN) testi, potansiyometrik titrasyon metodu ile gerçekleştirilmektedir. Standart ASTM D-445/89 metodu kullanmak suretiyle test yapılır. Kullanılan cihaz (Memotitrator) otomatik olup, hacimsel yöntem ile baz sayısını tayin eder.

Yakıt ve yağdaki oksidasyon ürünleri, polimerizasyon sonucu ergimeyen reçine ve lak (vernik) ürünlerini oluşturur. Bu tip oksidasyon ürünlerinin bazıları asidik nitelikte olup, alkalın katkı maddeleri ile birlikte inanılmaz reaksiyona girer. Yağlama yağı formülasyonunda, alkalın özelliklerini iki kaynaktan alır. Birincisi; metalik yapıdaki kuvvetli baz yapıcı malzemeler, örneğin Ca, Mg, Na ve Ba sülfonatları/fosfonatları/ salisilatları olmak üzere deterjan katkı maddeleri ve ikincisi ise; kül önleyici dağıtıcı katık olarak kullanılan poliiizobütilen süksinimidler (PIBS) dir (Chawla O.P. et al, 1988).

Motor işletim şartlarında alkalın katkı maddeleri, yanma sonucunda oluşan asidik ürünleri nötrale etmek için tükenir. Bu da motor yağlama yağının kullanımı esnasında Toplam Baz Sayısının (TBN) azalmasına yol açar. TBN değerinin % 50'nin üzerinde azalması yağın değişimi için önemli bir uyarıdır (BP Engine Oils 3).

TBN çözeltisi, 300 ml asetik asit ve 600 ml klorobenzen, 2 gr numune yağ ile birlikte karıştırılır, daha sonra bunlar HClO_4 ile titre edilir. Yaklaşık 10 dakika içinde TBN değeri okunur (mgKOH/gr).

3.4. Parlama Noktası Testi

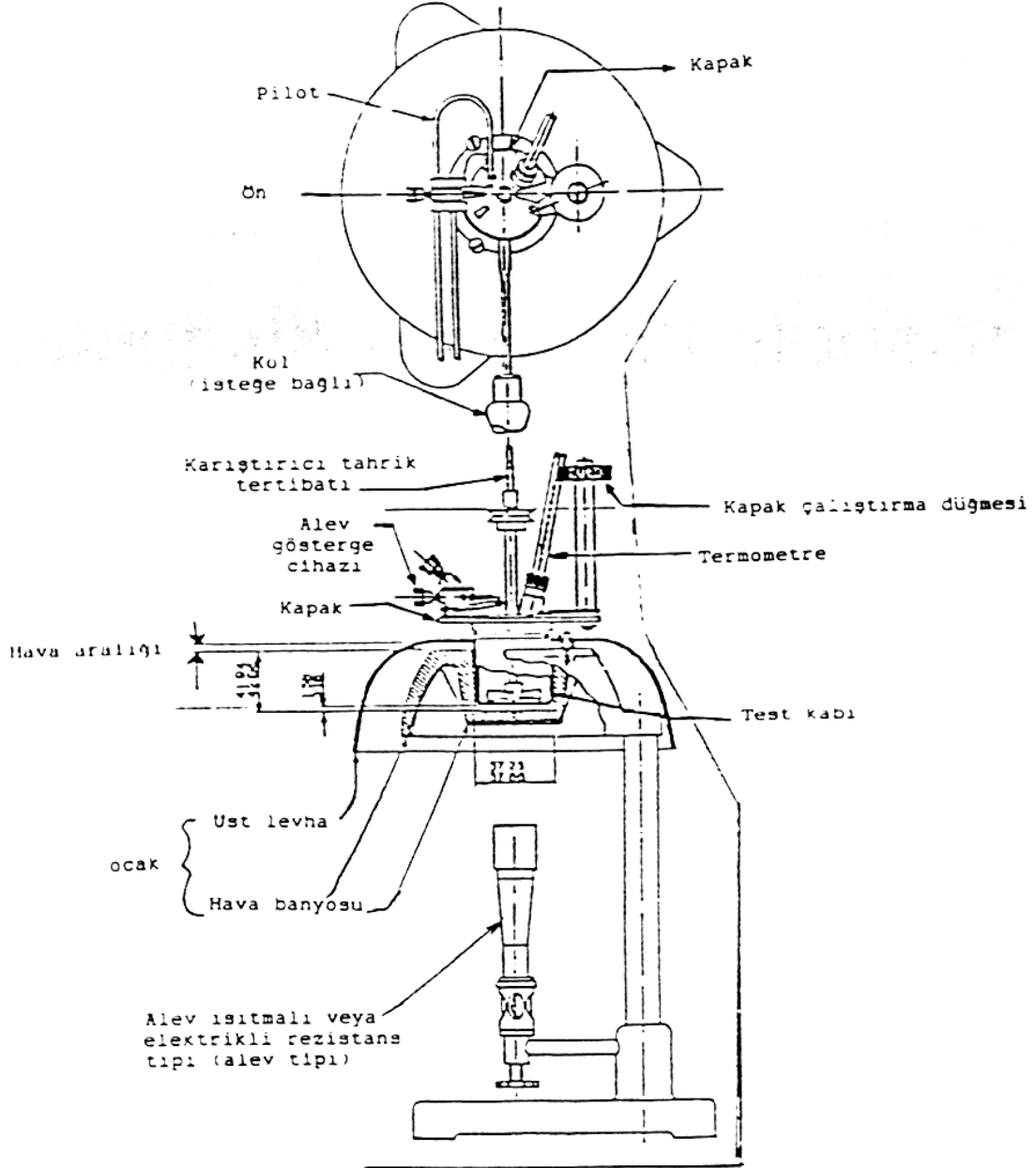
Kapalı kap test cihazı ile parlama noktasının tesbiti için standart test metodu uygulanır (ASTM D 93-80), (şekil 4). Metodun adı PENSKY-MARTENS'dir (Shell Kal. Kont. Merkezi, 1992).

Kapsam

Bu metod, fuel oil, yağlama yağları, katı süspansiyonları, test koşullarında bir yüzey filmi oluşturmaya eğilimli sıvılar ve diğer sıvıların Pensky-Martens kapalı kap test cihazı ile parlama noktasını bulmayı kapsar.

Metodun özeti

Numune sürekli karıştırılarak yavaş, sabit bir hızda ısıtılır. Karıştırma anlık kesilerek düzenli aralıklarla kap içine küçük bir alev yönlendirilir. Parlama noktası, test alevi uygulamasının numune üzerinde tutuşacak buhara yol açtığı en düşük sıcaklıktır.



Şekil 5. Pensky-Martens kapalı kap gaz ısıtmalı test cihazı.

Önemi

Parlama noktası kontrollü laboratuvar koşullarında numunenin ısı ve aleve tepkisini ölçer, ayrıca "tutuşabilir" ve "yanabilir" maddeleri tanımlamak için sevkıyat ve güvenlik düzenlemelerinde kullanılır. Diğer yandan, parlama noktası nispeten uçucu olmayan ya da tutuşur olmayan maddedeki son derece uçucu ve tutuşur maddelerin olası varlığını gösterir.

İki standart termometre kullanılır; değerleri 10° ila 110°C limitleri içine düşen testler için; -7 ila 110°C aralığına sahip ASTM E1 speklerine uygun ASTM Pensky-Martens kapalı kap cihazı (şekil 5) termometresi, değerleri 60-140°C limitleri içine düşen testler için; 10 ila 200°C aralığına sahip ASTM 88F Nebati yağ parlama termometresi kullanılacaktır.

3.5. Yağda (N-Pentanda) Erimeyenler

Milipor kağıdı şartlandırılır, n-heptan'a batırılıp çıkarılır, 80°C etüvde kurutulur ve tartılır.

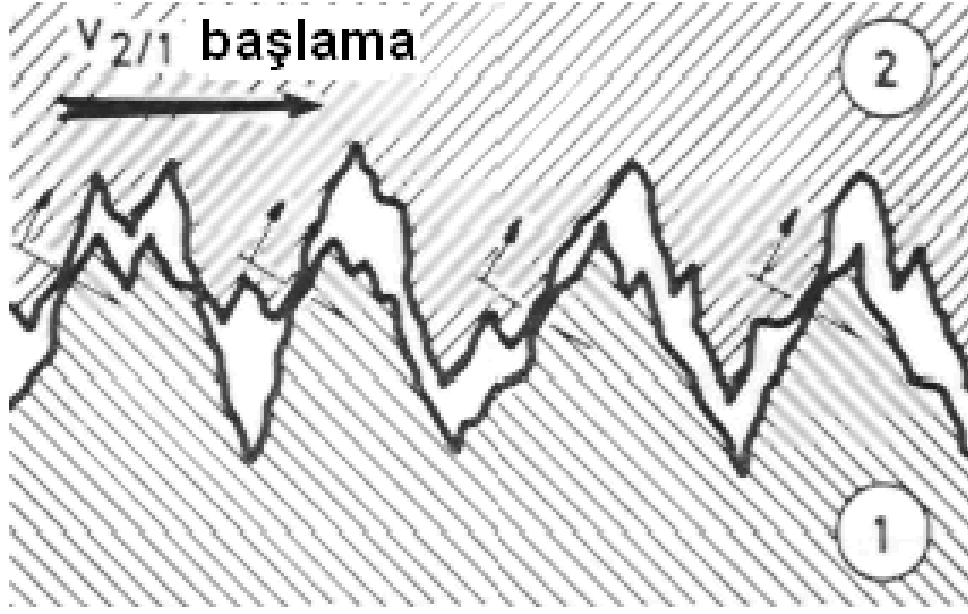
0.5 ila 1.2 gr arası yağ numunesi beher kaba alınır (eğer numune çok viskoz ise tartım 4 grama kadar çıkabilir, analiz eksper bu duruma karar verir). Üzerine 50 ml. n-heptan eklenir ve beher ocakta kaynamaya yakın ısıtılır. Süzme aparatı üzerine milipor kağıdı yerleştirilir ve ısıtılan karışım dökülerek süzme işlemi gerçekleştirilir. Tekrar az bir miktar n-heptanla beher yıkanarak süzme işlemi yeniden yapılır. Milipor kağıdı süzme aparatından alınarak etüvde 80°C'da kurutulur. Desikatöre alınıp soğutulur. Hassas terazide tekrar tartılmak suretiyle iki tartım arasındaki fark, n-heptanda çözülmemiş madde miktarını belirler.

4. SÜRTÜNME VE AŞINMA

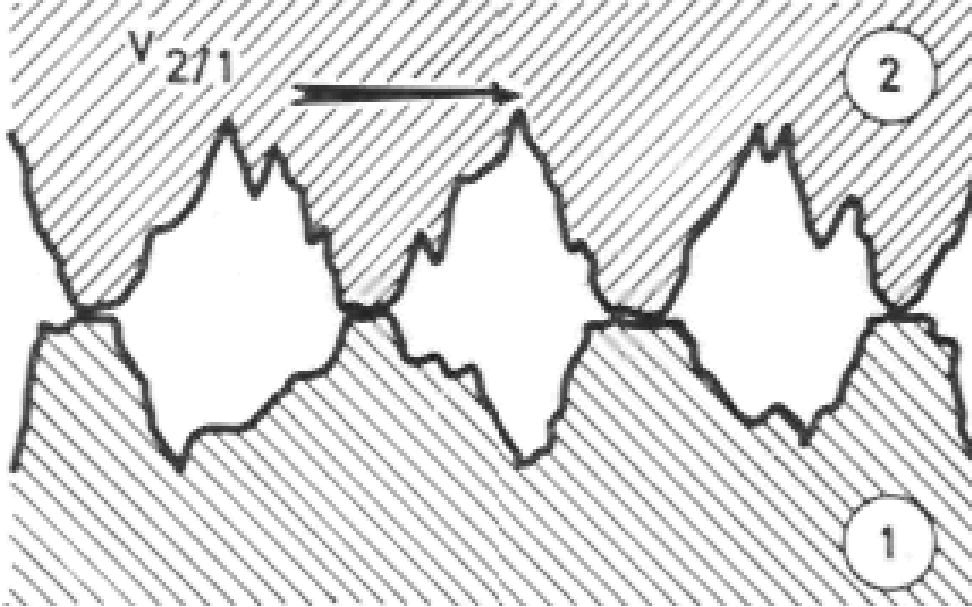
4.1. Sürtünme

Motorlarda meydana gelen aşınma mekanizmalarını incelemekten önce sürtünme veya metal sürtünmesi, yağlanma şartlarındaki etkilerinin bilinmesi gerekir. Metallerin birbiri ile sürtünmesi oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu durum yağlama olmaksızın kuru ortamda gerçekleştiği takdirde, kuru sürtünme olarak adlandırılır. Metal yüzeyindeki mekanik ve fiziksel özellikler, kristal yapısı, yüzeydeki binlerce molekül tabakaları bu olaydan etkilenmektedir. Dolayısı ile yüzey durumu, her iki yüzeyin birbirine olan uygunluğu, yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğü yanında bu pürüzlerin asperitleri (pürüz uçları), onların birbirine kaynaması, oksidasyon veya korozyondan dolayı kimyasal yapısının değişmesi veya tamamıyla hasara uğraması sürtünmeye etki eden başlıca faktörlerdir.

Bütün metallerin yüzeyleri ne kadar parlak ve düz bir görünüşe sahip olsa da mikroskopik olarak pürüzlüdür. İki yüzey sürtündüğü takdirde, temas, asperitler (pürüz uçları) arasında gerçekleşir. İki pürüzlü yüzeyi ele alalım; statik ortamda, durgun halde her iki zıt yüzlerin birbirlerine göre hareketine Statik Sürtünme adı verilir. Aralarında yağlayıcı bulunmaması nedeniyle sürtünme katsayısı en yüksek değerindedir. Düşük kayma hızlarında ise sürtünme süresizdir. Hareket yapışma-kayma şeklinde devam eder ve hızdaki artış sonucu sürtünme sadece pürüzlerin en uç kısımlarında gerçekleşir. Dolayısı ile sürtünme katsayısı azalır. Bu son duruma Dinamik Sürtünme adı verilir (şekil 6a,b).



Şekil 6a. Statik sürtünme.



Şekil 6b. Dinamik sürtünme.

Pürüz temasının değişmesi sebebiyle yüzeylerdeki gerçek temas alanı ile gizli temas alanları arasında farklar mevcuttur. Bu oran $1/10^3$ ila $1/10^4$ arasındadır. Buda temas basıncını değiştirmektedir.

İki yüzey birbirine göre hareket halinde iken sürtünme etkisi ile yüksek basınçlara bağlı olarak ısı enerjisi oluşur ve temas eden pürüz uçları plastik deformasyon sonucu birbirlerine kaynarlar. Kaynama; soğuk kaynama veya sıcak kaynama şeklindedir. Sıcak kaynama malzemenin yeniden kristalleşmesi ve iç difüzyonu ile ilgilidir. Soğuk kaynama ise düşük sıcaklıklarda metal yapışması şeklindedir.

$$\text{Sürtünme katsayısı} = \frac{\text{Sürtünme Kuvveti}}{\text{Uygulanan Kuvvet}} \quad \text{olarak tanımlanır.}$$

Sürtünme olayı yağlayıcının varlığı ile daha karmaşık bir yapıya sahip olur. Sürtünme katsayısını azaltmak için en uygun yollardan biri yağ filminin oluşturulmasıdır. İçten Yanmalı Motorlarda yağlama şartındaki sürtünmeye etki eden başlıca faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Yük veya basınç,
- Hareket şekli (Kayma, yuvarlanma, dönme),
- Temas şekli,
- Yüzey sıcaklığı,
- Isı akış şartları,
- Malzeme tipi ve ısıl işlemleri,
- Tolerans boşlukları,
- Yüzey durumu veya topografyası,
- Çevre şartı (tozlu, korozi ortam),
- Yağlayıcının tribolojik karakteristikleri,
- Yağlayıcının yeni veya kullanılmış olduğu'dur.

Değişik yağlama şekilleri bulunmaktadır. Bunu en iyi açıklayan Stribeck eğrisine bakmak gerekir (şekil 7). Gerçek yağlama şartları için bir çok parametreler bulunmaktadır. Pürüzsüz bir yataktaki yüzeyin herhangi bir anındaki teması esnasında, sürtünme katsayısı değişimini en iyi ifade eden ve Stribeck eğrisi adı altında bulunan boyutsuz Sommerfeld sayısı bize değişik tipteki yağlayıcıların incelenmesinde önderlik eder.

$$Z = \frac{\eta \cdot N}{P} \quad (3.1)$$

Z= Sommerfeld sayısı,

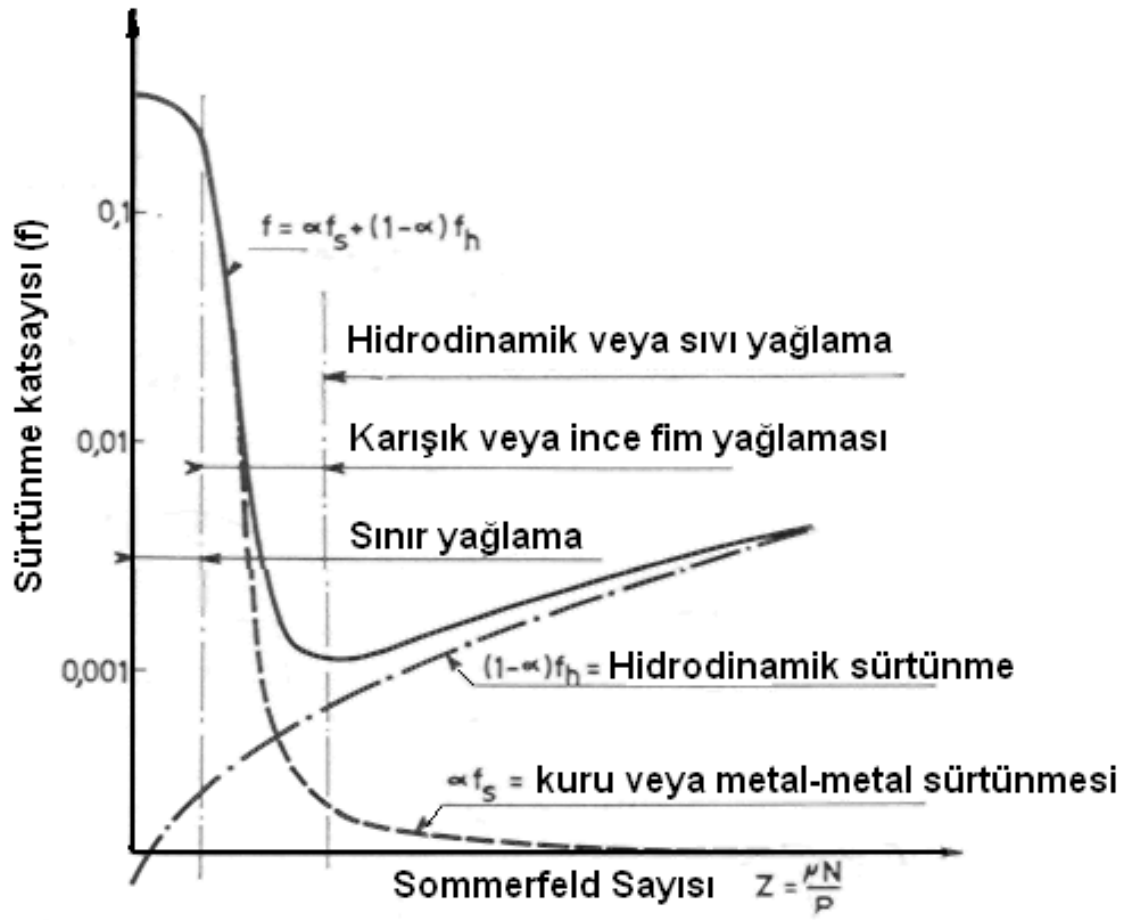
η = Akışkanın dinamik viskozitesi ($N \cdot s/m^2$),

N= Şaftın hızı veya devir sayısı (kayma hızı) (dev/s),

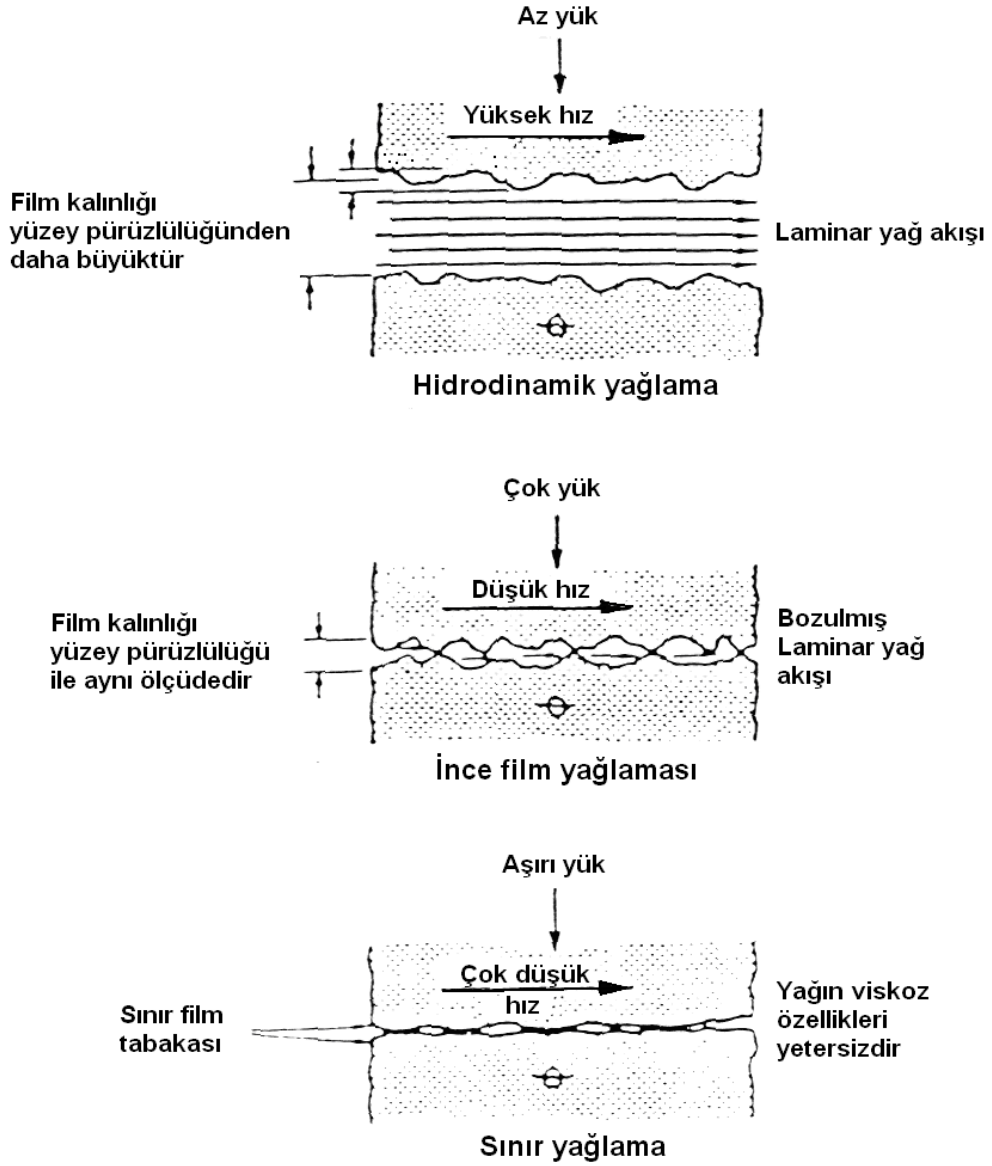
P= Birim yüzeye etki eden yük (temas eden yüzeylerdeki basınç) (N/m^2).

Sürtünme katsayısı f ise şu şekilde ifade edilebilir:

$$f = \alpha \cdot f_S + (1 - \alpha) \cdot f_h \quad (3.2)$$



Şekil 7 Yağlama Bölgeleri.



Şekil 8. Yağlama Şekilleri.

Burada:

f_s = Metalden metale kuru sürtünme katsayısı.

f_h = Yağlayıcı moleküllerin iç viskoz sürtünmesinden dolayı oluşan akışkan veya hidrodinamik sürtünme katsayısı.

α = 0 ve 1 değerleri arasında değişen metalden metale temas sabiti.

Şayet α 1'e çok yakın bir değer aldığı takdirde $(1-\alpha)$ ihmal edilebilir, dolayısı ile f , f_s değerine çok yakın olur ve sürtünme sınır sürtünme şeklinde olup, kuru (katı) veya metal sürtünmesine yaklaşır. Yağ filmi bir veya birçok molekül tabakaları arasında yok denecek kadar az olup, pürüz uçları arasındaki metal-metal teması önlenemez.

Şayet α 0'a yaklaşırsa f de f_h sıvı sürtünmesine doğru gider ve yağlayıcı sürtünen yüzeyleri tamamen ayırarak kalın bir yağ filmi oluşturur. Bu durumda sürtünme viskoz veya hidrokinamik sürtünme olarak adlandırılıp, yağlama şartları "sıvı" veya "tam" veya "dengeli" veya "kalın film" yağlanması şeklinde ifade edilebilir.

Şayet α , 0 ila 1 arasında ise o zaman "iki yağlama şekli birbiri üstüne binmiştir" denir. Sürtünme karışık veya yarı-hidrokinamik olarak adlandırılıp, yağlama şartları ise "kısmi" veya "dengesiz" veya "yarı sıvı" veya "ince film" yağlanması olarak ifade edilebilir (şekil 8).

Günümüzde motor dizaynındaki ilerlemeler yakıt ekonomisini iyileştirme açısından sürtünmelerin azaltılması yönündedir. Sürtünmeden dolayı oluşan güç kaybı yağın kendisindeki ve su soğutmalı radyatördeki ısı kayıplara dönüşmekte, dolayısı ile yakıt harcamadaki iyileşme daha çok ısı kayıpların azaltılması ve yanma veriminin arttırılması doğrultusunda ele alınmaktadır. Ayrıca sürtünme kayıplarındaki azalma yağlama yağının çalışma performansını arttırmaktadır.

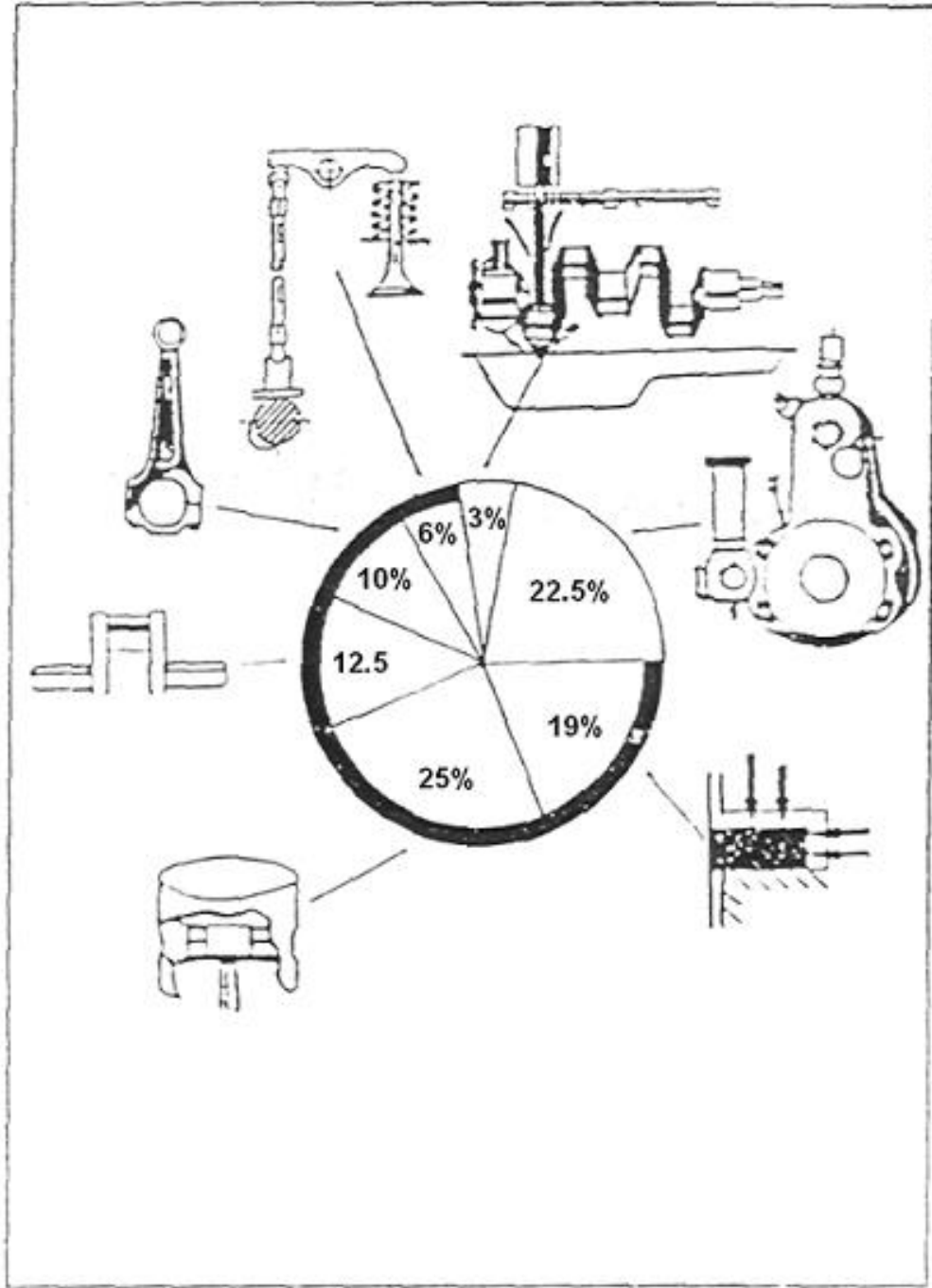
İçten Yanmalı Motorlarda sürtünme kayıpları ısı kayıpların toplamından düşüktür. Dr. Lang (Daimler Benz) tarafından yapılan enerji dağılımına göre yakıttan alınan mevcut olan enerjinin % 30'u egzoz gazlarına, diğer % 30'u silindir soğutulmasına, geri kalan % 40'ı ise motor indike işi olarak verilmektedir.

İçten Yanmalı Motorlarda mekanik kayıplar yaklaşık olarak silindirdeki indike işin % 25'ini kapsamakta olup, toplam enerjinin % 10'unu teşkil etmektedir. Dr. Lang'a göre sürtünme kayıpları toplam mekanik kayıpların % 72.5'ini içermekte olup, geri kalan kısımlar yağ ve su pompaları, soğutma fanı, jeneratör, kompresör ve hidrolik pompalar vs.. gibi yardımcı organlar tarafından harcanmaktadır.

Sürtünme kayıpları şu şekilde ifade edilebilir :

- Biyel yatakları % 10,
- Ana yataklar (krank) % 12.5,
- Piston % 25,
- Segmanlar % 19,
- Supap mekanizması % 6 dır.

$$\begin{array}{r} + \\ \hline \% 72.5 < 100 \end{array}$$



Şekil 9. İçten Yanmalı Motorlarda sürtünme kayıpları dağılımı.

Bu değerler ortalama değerler olup, silindir sayıları farklı olan çeşitli hız ve yüklerde çalışan motorlardan elde edilmiştir; dolayısı ile motor işletim şartlarına ve motor tipine göre değişebilmektedir. Ancak motorlarda meydana gelen sürtünme kayıpları için önemli bir skala oluşturmaktadır. Bu kayıplar en fazla piston ve segmanlarda meydana gelmektedir. İçten Yanmalı Motorlarda enerji tasarrufu açısından sürtünme kayıplarında % 10'luk bir azalma % 1 ila 3 arasında yakıt harcamında ekonomi sağladığı tahmin edilmektedir. Sürtünme kayıplarının azalması ise motor dizaynındaki değişiklik (ağırlığın azaltılması), aerodinamik yapı, uygun yağlama, tekerleğin yola olan dönme direncinin azaltılması gibi unsurlara dayanmaktadır (Davis F.A.: Martin F.A., 1985).

4.1.1. Sınır Yağlama Şartları

Sınır yağlama şartları, motorların ilk hareketinde ve durması esnasında yatak, segman ve silindirlerde; motorların değişik işletim şartlarında ise bilhassa piston-segman ve silindir yüzeyleri arasında, oldukça ağır yük altında çalışan Alt ve Üst Ölü Noktalarda ve yavaş hareket eden supap sapları ve iticilerinde, krank mili yataklarında, yağ pompası dişlilerinde meydana gelir.

Birbirlerine göre bağıl hareket eden iki yüzey arasında, viskozitenin dışında, aşınma ve sürtünmeyi tanımlayan şartlar yüzey özellikleri olduğu kadar yağlayıcı özelliklerini de içermektedir. Aşınma mekanizmalarının en fazla meydana geldiği sınır, yağlama şartları altında sürtünen malzemelerin seçimi, onların fiziksel ve mekaniksel (sertlik, elastiklik, kayma gerilmesi, vs..) özellikleri, metal-sıvı yapışma enerjisi gibi unsurlar önemli rol oynamaktadır. Sınır yağlama şartlarındaki yağlayıcı özellikleri genel olarak yüzey polaritesi veya kimyasal etkinliği, yani metallerle olan reaksiyonudur. Bu yüzden sınır yağlayıcılar poler moleküllere sahip olup; kükürt, fosfor ve deterjan-dispersan gibi katkıları ihtiva etmektedir. Diğer bir deyişle; bu yağlayıcılar organik metal yapıya sahiptirler.

Sınır yağ filmi çeşitli tabakalardan meydana gelmiştir. Moleküller metal yüzeylerine dik, bu yüzeyler arasında ise paralel şekilde yer almışlardır. Sadece ilk tabaka sınır yağlamada önem taşımaktadır.

Sıvı yağ molekülü hidrokarbon zincirinden oluşmuştur. Bu da onların yüzeye yapışmasını sağlar. Bazı poler gruplar (örneğin COOH grubu), reaksiyon kabiliyeti olan metaller ile kimyasal reaksiyona girebilirler. Bu metaller bakır, kurşun, kalay, kadmiyum vs.. olabilir. Reaksiyon sonucunda en uygun sınır yağlayıcılar olan tuz, metalik sabun gibi yapılar oluşur. Reaksiyonun oluşmadığı hallerde ise kimyasal nüfuz meydana gelir. Kimyasal nüfuz ise basit bir fiziksel yapışma şeklindedir. Bu şekle sınır yağlamada oldukça sık rastlanır.

Sınır yağlamada sıcaklığın etkisi de önem taşımaktadır. Sıcaklıkların yükselmesi sınır film tabakasını etkiler, ısı enerjisinin artması ile poler moleküller hareketlenir ve yönleri bozulur. Ancak, bu durumda film yırtılma eğiliminde olup, metal metale temas sonucunda kritik basınç ve sıcaklıkların etkisi ile sürtünme katsayısı ve aşınmalar artar (Schilling A., 1972).

4.1.2. Hidrodinamik Yağlama Şartları

Hidrodinamik yağlama; birbirine göre bağıl olarak hareket eden veya kayan iki yüzey arasında yeterli sıvı filminin ve basıncının olduğu sürtünme sistemidir. Harekete karşı direnç yağlayıcının viskozitesi ile oluşmuştur. Bu şartlar altında sürtünme katsayısı çok düşüktür ($f = 0.001$ ila 0.005) ve aşınma teorik olarak sıfırdır.

Aşınma, malzemelerin birbirine uygun olmadığı ve Z gibi yüksek Sommerfeld sayılarında (şekil 7), metal metale temasın olmadığı durumlarda da meydana gelebilir. Sıvının, kayma gerilmesinin yüksek olması metal alaşım taneciklerinin yüzeyden kopmasına neden olur ve aşınmaları hızlandırır. Diğer yandan, kalın yağ filminde viskoz sürtünme ile oluşan termal enerji yüksek Z (Sommerfeld) değerlerinde alaşımı eritmeye neden olabilir. Genellikle hidrodinamik yağlama şartında bu durum biyel yataklarında söz konusu olmaktadır.

Hidrodinamik akış Newton-Navier kanunu ile tanımlanabilir:

$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{dU}{dh}$$

Biri sabit diğeri hareket eden iki yüzey arasında akış laminardır.

F: Kesme kuvveti (N)

η : Dinamik viskozite (poise)

S: yükün taşıdığı alan (m²)

dU: iki tabaka arasındaki hız farkı (m/s)

dh: Sıvı film kalınlığı (m)

Hidrodinamik yağlamada yağlayıcının tek önemli özelliği viskozitesidir.

Viskozite işletme şartlarında sıcaklık, basınç gibi parametrelerden etkilenmektedir (Schilling A.,1972).

Viskozite,

$$\eta = \frac{F \cdot dh}{S \cdot dU} \quad \text{olarak tanımlanır.}$$

4.2. AŞINMANIN TANIMI

Aşınma için bir çok tanım yapılmıştır. Bunlardan belli başlı olanları şunlardır :

-Aşınma harekete bağlı olarak, mekanik ve/veya kimyasal proses sonucu yüzeylerden malzemenin ayrılması veya yüzey kalitesinin değişmesidir (David TABOR).

-Aşınma, birbirine temas eden iki yüzey arasında mekanik işlem sonucu oluşan madde kaybıdır. Genellikle bu yüzeyler belirli bir yük altında, kayma ve yuvarlanma hareketine sahiptir. Aşınma ise, çevre faktöründen etkilenmek suretiyle, iç bölgelerdeki yüksek gerilim tesiriyle yerel mekanik zayıflama sonucu meydana gelir (Wear, 1957-58).

-Aşınma, birbirine sürtünen yüzeylerden istenmeyen katı malzemenin ayrılmasıdır (Neale M.J., 1973).

5. MOTOR ÇALIŞMA ŞARTLARININ AŞINMAYA ETKİLERİ

5.1. Motor Gücü ve Ortalama Efektif Basınç

Motor gücünün veya ortalama efektif basıncı attıkça yanma sonucu açığa çıkan daha fazla enerji, çeper sıcaklıklarının yükselmesine sebep olur. Bu artış yağlama yağının viskozitesini düşürür ve sınır yağlamada aşınmaların artmasına neden olur. Şekil 10a'daki sabit hızda çalışan Peter AV1 Diesel motorunda , şekil 10b'de ise değişik hızlarda çalışan benzinli tek silindirli Peter AV1 motorunda yükün aşınmaya olan etkisi görülmektedir. Benzer yüklerde ve benzer hızlarda aynı motor dizaynı ile birlikte maksimum yanma şartlarını korumak şartıyla benzin motorlarındaki aşınma Diesel'inkine göre daha azdır. Ancak bu durum rejim halindeki aşınma için söz konusudur, zira ilk hareket aşınması benzin motorlarında, soğuk cidarda yakıtın yağlama yağını inceltmesi, sınır yağlamadaki bozulma ve korozyon ortamı nedeniyle daha yüksektir (Schilling A., 1972).

5.2. Sıkıştırma Oranı

Diğer şartlarda olduğu gibi sıkıştırma oranının artması yanma sonu basınç ve sıcaklıkları yükseltir, dolayısı ile aşınmalar artar (şekil 11). Ayrıca sıkıştırma oranındaki kademeli artış adhezyon veya kazıma aşınmasına sebep olarak motora zarar verilebilir.

5.3. Sıcaklık

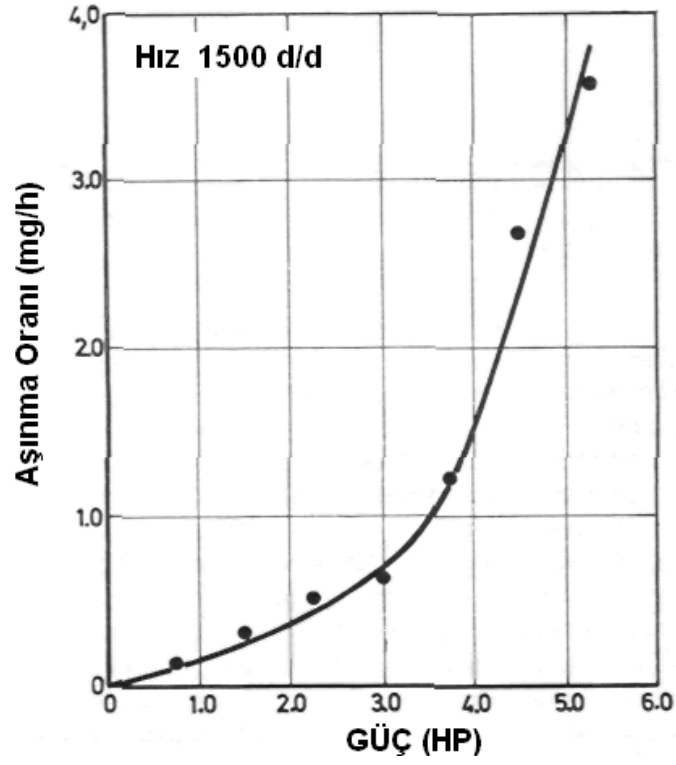
Sıcaklık faktörü aşınmada oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Sıcaklığın artması ile birlikte bilhassa üst segman bölgesinde yağlama yağı viskozitesinin düşmesi, yağ filmi kalınlığının incelmesi, metal yüzeylerinde gerek kesme kuvvetlerinin azalması ve gerekse sertlik değerlerinin düşmesi, dolayısı ile pürüzlerdeki kaynama kabiliyetinin artması, özellikle kuru sürtünme şartında adhezyon aşınmasını hızlandırır.

Aşırı sıcaklıklar metal metale teması arttırdığı gibi gömlek, segman veya piston yüzeylerinde düşük mekanik dayanımlı oksit tabakalarının oluşması ile birlikte genleşmelere ve termik zorlamalara neden olup, piston ile silindir arasında verilen boşlukların azalmasına, pistonun sıkışmasına, esnemelerin artmasına yol açar. Diğer yandan, motor yükünün artmasına bağlı olan ani sıcaklık yükselmesi motordaki aşınmaların artmasında önemli bir etkindir.

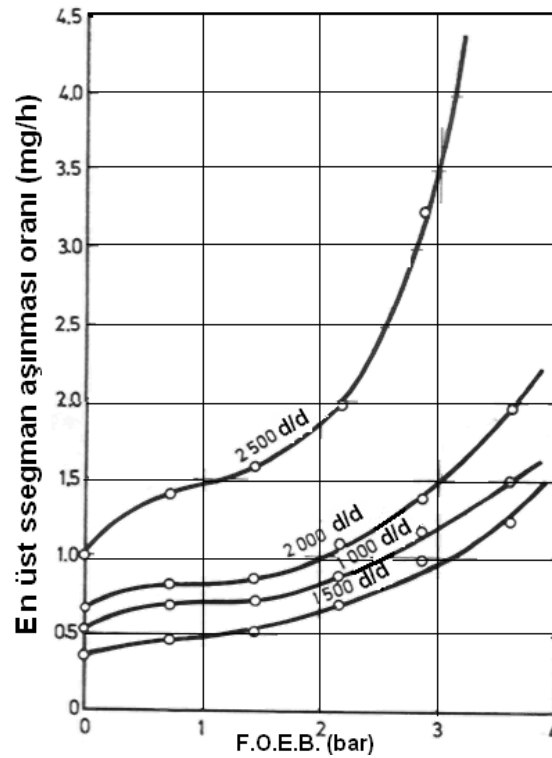
5.4. Devir Sayısı

Devir sayısı veya piston hızının artışı hidrodinamik yağlamayı iyileştirmekte ancak motor sıcaklığını ve yanma basıncını da arttırmaktadır. Sıcaklık ve basınç değişiminin zararlı etkileri hidrodinamik yağlamaya göre daha fazla olup aşınmaları artış yönünde belirlemektedir.

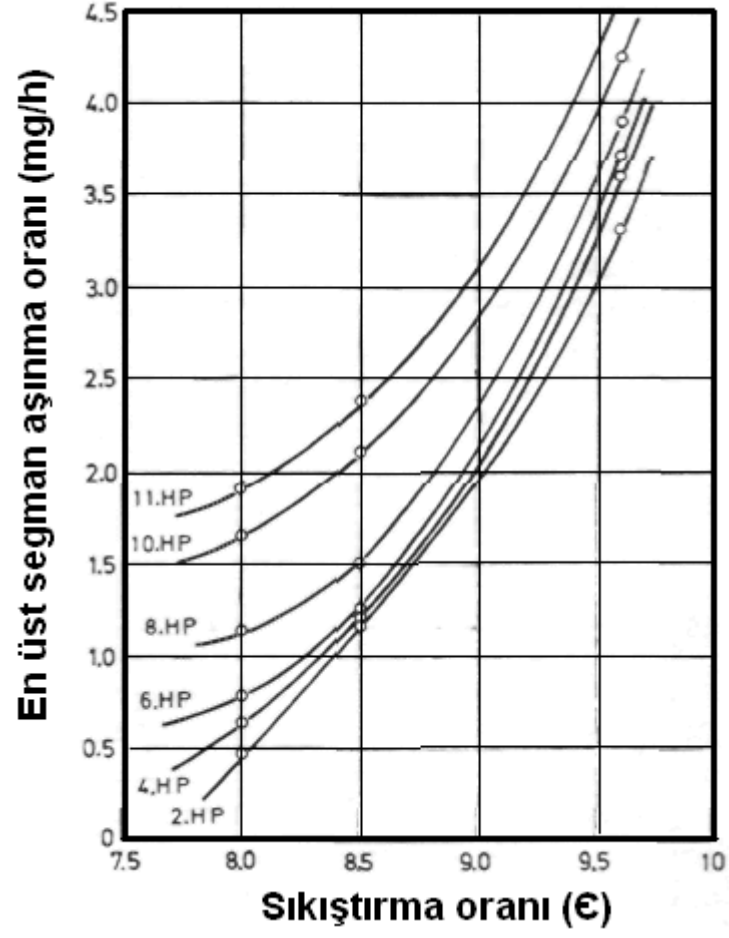
Piston hızı, özellikle ivmesi segman üzerine uygulanan dik atalet kuvvetlerinin şiddetini artırır ve bu kuvvetler segmanın oturma yuvalarında titreşime sebep olur. Piston hızının yavaşladığı Alt ve Üst Noktalarda ise üst segmanın hareketi yağ kayıplarına neden olabilmektedir. Ayrıca, segmanın ve segman oturma yüzeylerinin dizaynında kullanılan malzeme sertliği bağlı bulunduğu yüzeye oluşturduğu çekiç darbesi sonucunda aşınmaları arttırır. Genel olarak benzinli motorlarda segman aşınması, atalet kuvvetlerinin segman üzerinde oluşturduğu gerilimler, Diesel motorlarında ise ortalama efektif basıncın yükselişine bağlıdır. Benzinli motorlarda oluşan gerilimler segmanın üst ve alt boşluğunda meydana gelen yüksek basınç farklarıdır (şekil 12).



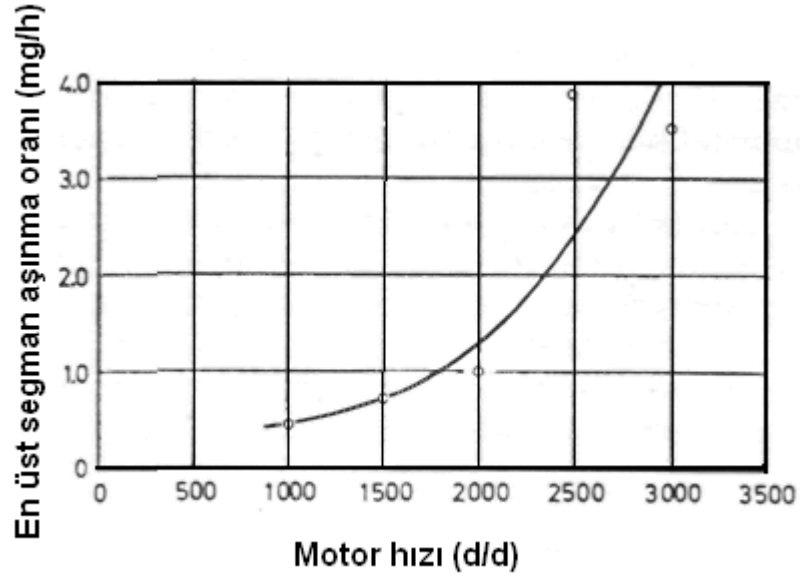
Şekil 10a. PETER AVI Diesel motorunda yüke bağlı segman aşınma oranı.



Şekil 10b. Tek silindirli PETER AVI Benzin motorunda yüke bağlı segman aşınma oranı.



Şekil 11. Tek silindirli bir motorda, sıkıştırma oranının üst segman aşınmasına etkisi.



Şekil 12. Motor hızının üst segman aşınmasına etkisi.

5.5. Hava Fazlalık Katsayısı

Benzinli motorlarda hava fazlalık katsayısının 0.84'den küçük olduğu durumlarda oluşan zengin karışım, yağlama yağına karışarak incelmesine ve viskozitesinin düşmesine sebep olur, hidrodinamik yağlamayı bozar. Bu durum motor ilk hareket aşınmasını önemli derecede arttırmaktadır. Katsayının 1.6'dan büyük olduğu durumlarda oluşan fakir karışım ise, Diesel motorlarında, oksijen fazlalığı nedeniyle yüksek sıcaklıktaki gazların temas ettiği yüzeyleri oksitlemesine, bu arada SO₂'in H₂O ile kimyasal reaksiyonundan dolayı oluşan asit ortamı, korozyon aşınmasını meydana getirir (şekil 13).

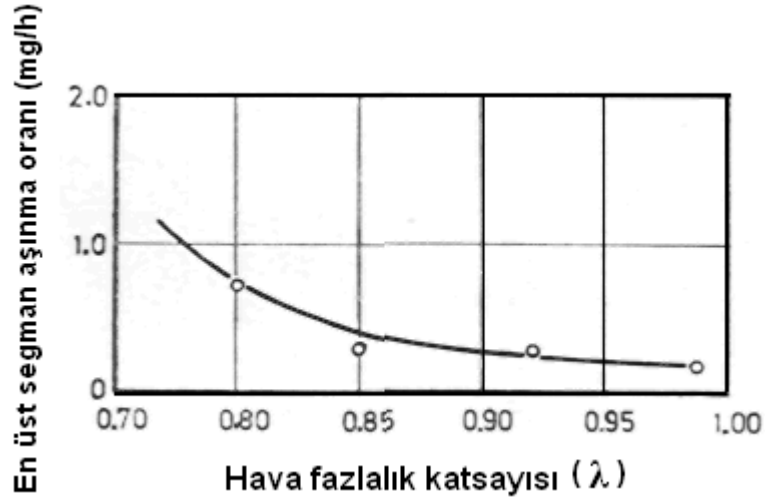
5.6. Motor İlk Hareketi

Motor ilk hareketi esnasında, henüz yağ filmi var olmadığından Alt ve Üst Ölü Noktalar dışında, hidrodinamik yağlama tam olarak gerçekleşemez. Uygun yağ basıncının oluşması ve yağın segman bölgesine ulaşması için kısa bir süre gerekir. Bu süre zarfında cidarlarda bulunan yağlama yağı kartere geri dönmeye çalışmakta, piston ve segmanın çeperlerle olan kuru sürtünmesi sebebiyle aşınmaları hızlandırmaktadır. Bilhassa soğuk motorun ilk harekete geçirilmesindeki hızlı aşınmalar, henüz sıcaklığı çok düşük olan ortamda gaz fazına geçmesi güç olan yakıtın cidarlardaki yağlama yağını inceltmesi ve yağ filminin bozulması sonucu meydana gelir. Ayrıca motor durdurulduğu zaman silindirde bulunan ve yanma sonucu oluşan gazların yoğunlaşması korozyon etkisini önemli ölçüde arttırmaktadır. Diğer yandan motorun tekrar ilk harekete geçirilmesi ile birlikte cidarlarda korozyondan dolayı oluşan aşınma ürünlerinin yağlama yağına karışması abrazyon aşınmasını olumsuz yönde etkilemektedir. İlk hareket aşınması yüzey kalitesini (hassasiyetini) azaltmakta, rejim halinde ise aşınma oranı düşük ve sabit bir seyir göstermektedir (şekil 14).

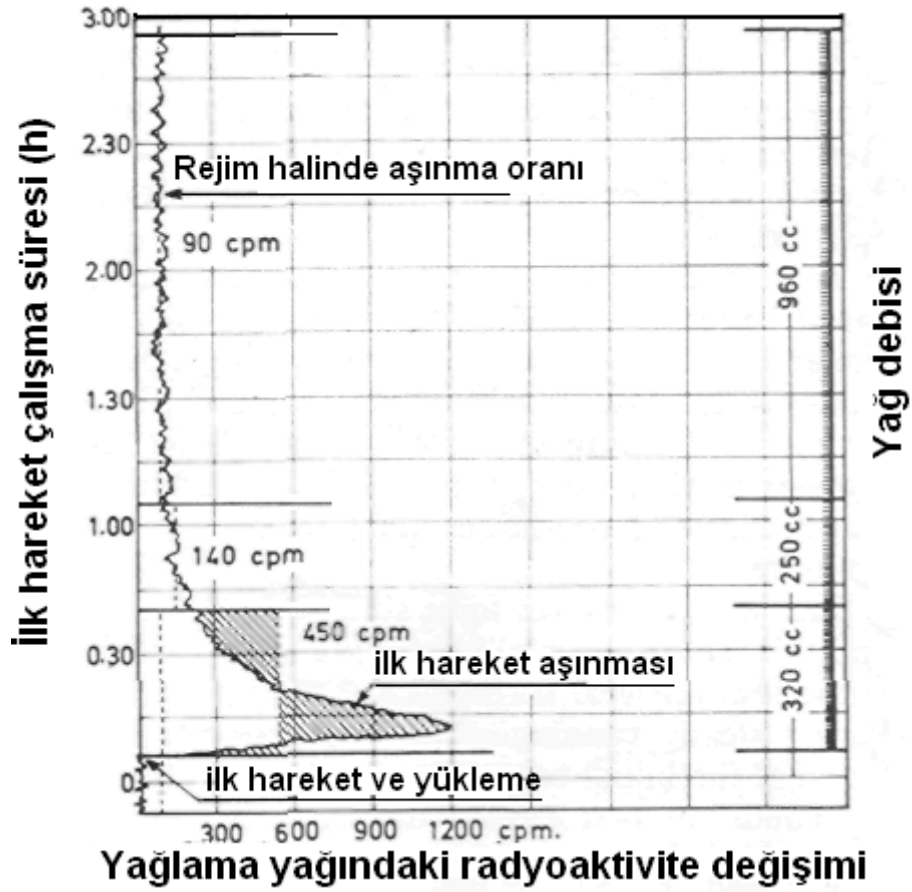
5.7. Yakıt Etkisi

Yakıt kaynama noktasının 180 °C'ın üzerine çıkması halinde oldukça zararlı fraksiyonlara sebep olur. Bu da yağlama yağı viskozitesinin azalmasında önemli bir etkidir. Diesel motorlarında, yakıt tipi ve püskürtme verimi yanma şartlarına etki ettiği gibi yakıtın yağlama yağına karışması suretiyle aşınmaların artması üzerinde de önemli rol oynar. Bilhassa yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarının artırılması (şekil 15) ve yanma süreci sonucu yağlama yağına karışması ile ilgili korozyon aşınması üzerindeki etkisi bilinmektedir.

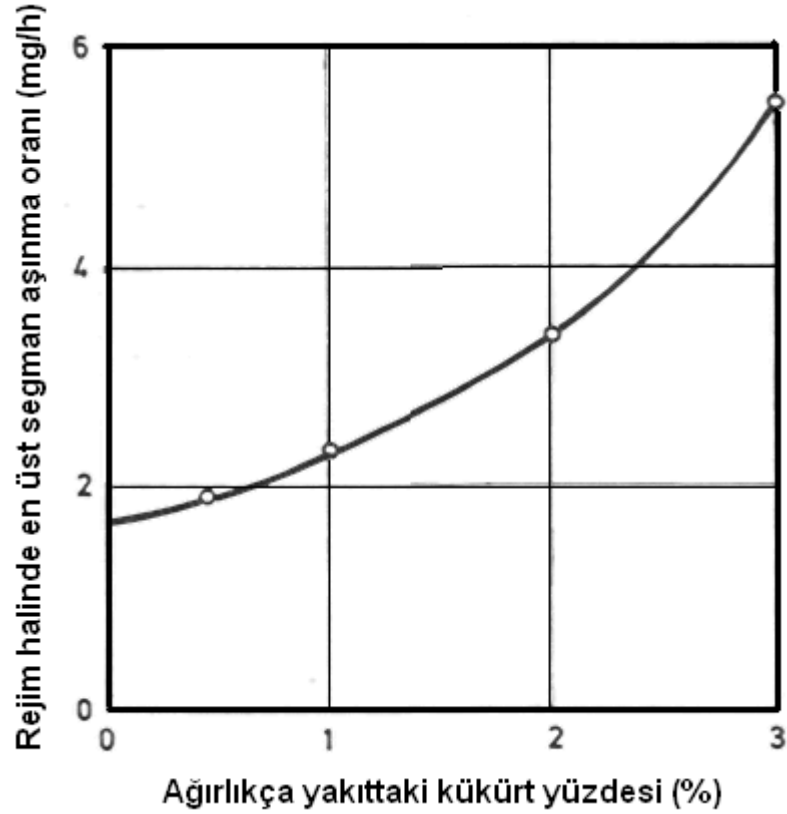
Motorun çalışması esnasında gerek emilen fazla havadan gerekse yanma sonucu oluşan su buharı, kükürt (S) ile reaksiyona girerek SO₂'i meydana getirir. Genel olarak Diesel motorlarında SO₂ ekzost gazları ile birlikte dışarı atılır, ancak bir kısmı çeper yüzeylerine veya yağ filminin kapladığı yüzeylere yapışır. Başlangıçta Üst Ölü Nokta civarında, üst segman seviyesine tekabül eden kısımda, soğutma etkisiyle düşük cidar sıcaklıklarında ve oksitlenmiş yüzeylerin katalitik etkisi sonucu, SO₂ SO₃'e bazen de H₂SO₄'e dönüşür. Sıcaklıklar daha fazla düştüğü takdirde asit hızla seyreilmekte ve korozyon yapıcı etkisi artmaktadır. Bu reaksiyon oldukça sınırlıdır; çünkü SO₂'nin SO₃'e dönüşümü büyük miktarda değildir, ayrıca SO₂'nin geri kalan kısmı yağ filmi ile temas halindedir. Yağ filminin yenilenmesi ile SO₂'nin metal yüzeyi üzerindeki korozyon etkisi devam eder. Ancak bu filmin yenilenmediği durumlarda ise yüzeyde paslı film tabakası oluşmakta ve yüksek SO₂-H₂O konsantrasyonu korozyon oranını arttırmaktadır.



Şekil 13. Hava fazlalık katsayısının üst segman aşınmasına etkisi.



Şekil 14. İlk hareket aşınması.



Şekil 15. PETER AVI Diesel motorunda, rejim halindeki çalışmada kükürt miktarının en üst segman aşınmasına etkisi.

Motor durdurulduktan sonra ise bir önceki çevrimden silindir içerisinde kalan su buharı, yağ içerisindeki SO_2 'yi SO_3 'e, daha sonra H_2SO_4 'e dönüştürmektedir. Su buharı miktarı oldukça düşüktür ve SO_2 'nin H_2SO_4 'e dönüşümü süre açısından sınırlanmış olup, değişim bir kaç dakika içerisinde meydana gelmektedir. SO_2 ve SO_3 'ün yağ filmi içerisinde kaldığı bilinmektedir. İlk hareket süresinde cidarların soğuk olması yanma sonucu oluşan su buharını yoğunlaştırmakta, SO_2 ve H_2SO_4 meydana gelmesi ile birlikte özellikle yağ filminin düşük miktarda koruduğu yüzeylere önemli ölçüde etki etmektedir.

Yakıtın benzinli motorlarda oluşturduğu korozyon ürünleri, Diesel motorlarınınkine göre farklıdır. Benzinli motorlardaki bu ürünler:

- Yanmadan dolayı oluşan (CO_2) karbon dioksit,
- N_2O_3 ve N_2O_4 'ün ayrışmasından veya (NO) nitrik oksit in oksidasyonundan oluşan (NO_2) nitrojen peroksit,
- Benzinin az miktarda kükürt içermesine rağmen SO_2 ve SO_3 kükürt türevleri;
- Kurşun tetraetil ve tetrametil ile desteklenmiş etilen diklorid ve dibromidin ayrışmasından dolayı meydana gelen klor ve brom türevleridir (Schilling A.,1972).

6. Aşınma Tipleri

İçten Yanmalı Motorlarda gerek ilk harekette ve gerekse rejim halinde çalışmada yapılan incelemelerden sonra çeşitli aşınma mekanizmaları oluşmaktadır. Bunlar

-Adhezyon aşınması;

Temas eden pürüz uçlarında birinden diğerine metal transferi.

- Kazıma aşınması;

Şekil değiştirme ve sürtünmeye dayalı ısınmalar sert tabaka veya "beyaz tabaka" adı verilen sıcak lekeleri oluşturur. Mikroyapısı 1000 Vickers sertlik derecesi üzerindedir.

-Abrasyon aşınması;

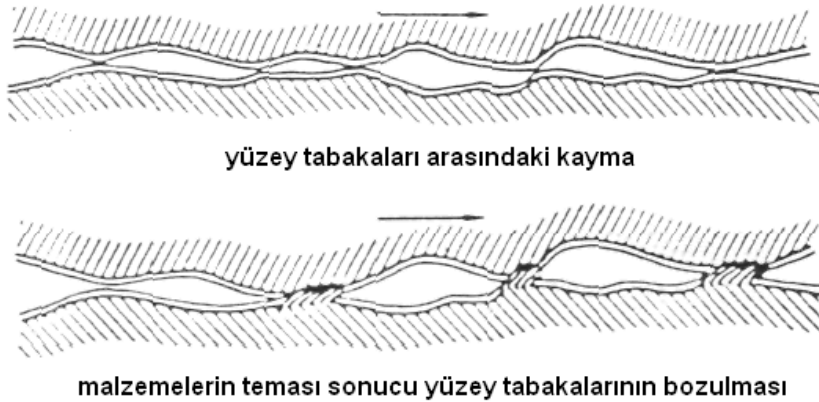
Sert bir partikül ile yumuşak bir yüzey üzerinde tıpkı tarlada saban sürülmesi şeklinde oluşan çizgisel aşınma.

-Korozyon aşınması;

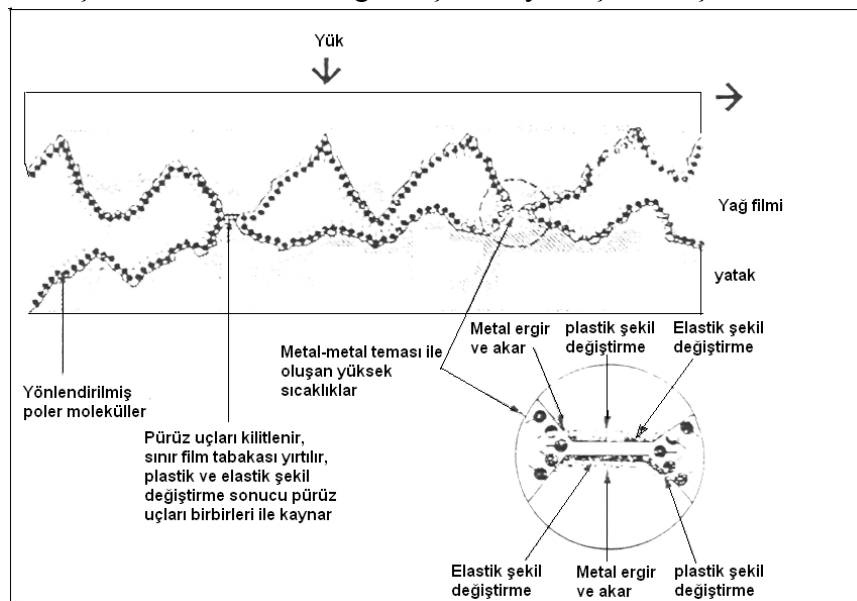
Mekanik hareket sonucu korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu kimyasal değişim.

-Yorulma aşınması (örnek: Pitting);

Yüksek gerilim değişimlerinden dolayı oluşan yorulma nedeniyle yırtılan parçaların soyulması ve kopmasıdır (Schilling A., 1972).



Şekil 16a. Basite indirgenmiş adhezyon aşınması şeması.



Şekil 16b. Sınır yağlamada adhezyon aşınması.

6.1. Adhezyon Aşınması

Kayma şartları altında her iki yüzeyin pürüz uçları temas eder, yapışır ve normal ve teğetsel kuvvetler altında plastik deformasyona uğrar. Bu şartta adhezyon aşınması meydana gelir. Normal yük altında mikro pürüzlerin kaynaması ve kırılması sonucu bir yüzeyden diğerine metal transferi oluşur. Temas eden pürüz uçlarında basınç oldukça yüksektir; sürtünme sıcaklığı artarak kaynama ve kopma ile birlikte yüzeyde plastik şekil değiştirme meydana gelir. Aşınmanın azalması pürüz uçlarının sertliğine bağlıdır. Bu uçlar ne kadar sert ise temas alanı o kadar düşüktür (Eyre T.S., Wear diagnosis 1985) (Şekil 16a,b).

$$\text{Aşınma hacmi} = \frac{K.S.P}{P_m} \quad (4.3.1.1)$$

K=Aşınma sabiti, S=Kayma mesafesi, P=Uygulanan yük, P_m = Kayma gerilmesi
K, aşınma sabiti kullanılan malzemeye ve aşınma şartlarına göre değişmekte olup,
 10^{-2} ila 10^{-9} arasında yer alır.

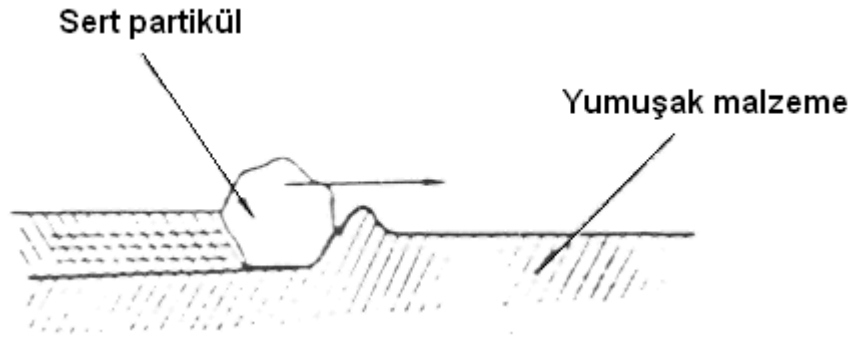
6.2. Kazıma Aşınması

Yapılan incelemeler "kazıma aşınması" adhezyon aşınmasının bir uzantısı olduğunu göstermektedir. Segman ve silindirlerde meydana gelen "kazıma aşınması", adhezyon aşınmasını takiben İçten Yanmalı Motorlarda gaz kaçağının meydana gelmesi ve yağ harcamına sebep olur. Bu tip aşınma tıpkı tıbbi alanda bir virüsün bulaşması gibidir. Aşınma tiplerinden en zarar verici olan "kazıma aşınması" felaket derecede motor hasarına sebep olabilmektedir. Bu tip aşınmanın tanımı ise "Birbiri ile kayan yüzeyler arasında yağ filminin bozulması (yağ açlığı) ve metal metale temas önderliğinde, yerel kaynamaların oluşumuna bağlı olarak belirlenen büyük bir yüzey hasarıdır". Aşınma ilerledikçe yüzeylerdeki derinlik, genişlik ve uzunluklardaki artış yağ tutma özelliğini kaybettirmektedir. Dökme demir malzemesinin kullanılması durumunda yapılan incelemeler yerel yüksek sıcaklık şartları altında yüzeylerde yüksek karbon miktarına sahip olan sert beyaz faz tabakası (white layer) olduğunu göstermiştir. Bu sert karbon tabakası yüksek aşınma oranlarını sağlamaktadır. Bu tabakanın çatlaması pürüzlü bir yüzey topoğrafyası meydana getirir ki bu da yüzeyin sızdırmazlık kabiliyetinin kaybına sebep olur. Yanma odasından kaçan gazlar yağlayıcıyı yüzeyden uzaklaştırır ve mevcut durumu daha da kötüye götürür (Munro R. et al, 1975).

6.3. Abrasyon Aşınması

Sert partiküllerin yüzey içerisinde kalması ve malzeme üzerinde uzun çentikler meydana getirilmesi abrazyon aşınmasını oluşturur. Diğer bir deyişle düzgün yüzey, üzerinde yapışık metal partiküllerininde bulunabileceği, düzenli uzun yarıkların olduğu pürüzlü bir yüzey haline gelir. Bu tip hasar, kuvvet derecesine bağlı olarak, tırmalama veya çizgisel sıyırma veya uzun oluklar meydana getirme şeklinde de tasvir edilebilir.

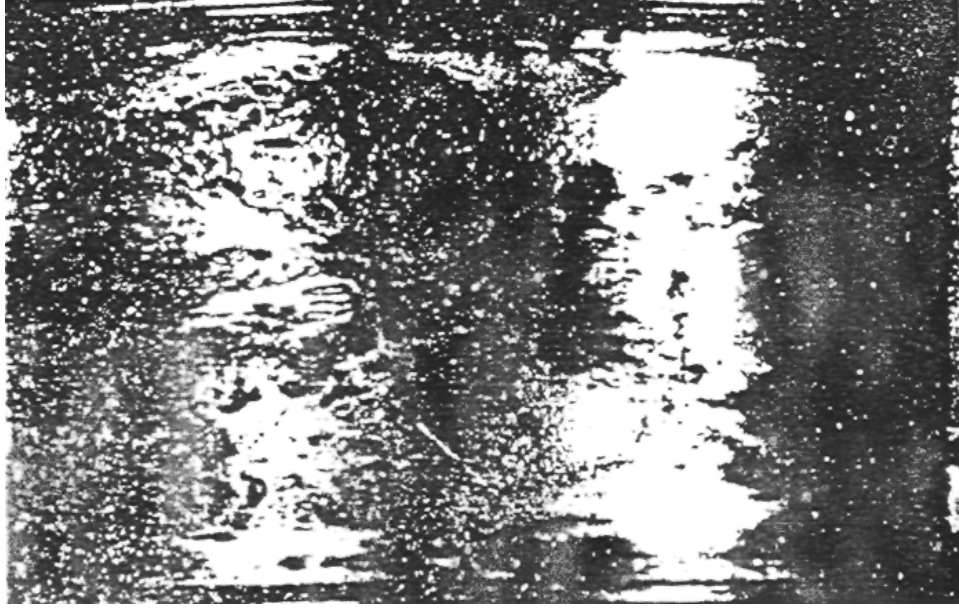
$$\text{Şiddet derecesi} = \frac{\text{Partikül üzerine gelen yük}}{\text{Yüzey sertliği}} = \frac{W}{H_v} \quad (4.3.3.1)$$



Şekil 17. Abrazyon aşınması teşekkülü.



Şekil 18. Bir M.A.N. Diesel motorunda korozyon aşınması.



Şekil 19. Kaymalı bir yatakta meydana gelen yüzey yorulması.

$$\text{Aşınma hacmi} = \frac{W}{H_v} \cdot A \cdot L \quad (4.3.3.2)$$

A= Yarığın kesit alanı, L= Yarık uzunluğu.

İçten Yanmalı Motorlarda, bilhassa segman ve silindir cidarlarında oluşan en genel aşınma tipi abrazyon aşınmasıdır. Aşınma gerek malzeme sürtünmesinden gerekse yanma sonucu yağ filmine karışan katı partiküllerden dolayı meydana gelmektedir. Abrazyon miktarı segman yüzeylerinde ve silindir Üst Ölü Nokta civarında oldukça yüksek mertebededir. Aşınma ile birlikte orijinal yüzey işleme kaybolmaya başlayıp grafit yapı oluşur (Eyre T.S., Wear diagnosis 1985) (Şekil 17).

6.4. Korozyon Aşınması

Bu tip aşınma atmosferdeki hava, nem, CO₂ ile reaksiyona girebilen ürünlerin kimyasal etkisi, yağlayıcının oksidasyonu veya hal değiştirmesi sonucu meydana gelir. Hal değişimi ile birlikte organik asitler oluşur (şekil 18).

Diesel motorlarında yakıt içerisindeki kükürtün reaksiyona girmesi, benzinli motorlarda ise kurşun tetrametilin oluşturduğu hidrobromik asit korozyon aşınmasına öncülük eder. İlk safhada yüzeyler korozif reaksiyona uğrarlar. Bu işlem oldukça hızlı bir seyir alır, daha sonra yüzeyde oluşan uygun bir koruyucu film tabakası ile yavaşlar. Bu film tabakası metal oksidasyonu, organik tuzlar, sülfid veya kloridler olabilir. Kimyasal reaksiyonun sabit hızda ve belirlenemeyen bir zaman süreci içerisinde gerçekleşmesi mümkündür. Bu durumda reaksiyon ürünleri sıvı, gaz veya uygun olmayan esnek gözenekli katı maddelerdir.

Korozif aşınmadaki ikinci adım ise sürtünme nedeniyle reaksiyon ürünlerinin yüzeyden atılmasıdır. Bu hal şartında yüzeyler çıplak kalır ve yeni bir korozif reaksiyon ile aşınma devam eder.

Bir çok durumda korozyon ürünleri ayrıldıkları yüzeylerden daha serttir ve oluşturdıkları film tabakası incelinece kadar aşınmaya karşı dayanıklılık gösterir. Kritik kalınlığa erişildiği takdirde sürtünme kuvvetinden dolayı yüzeyden ayırma işlemi devam eder ve proses tekrar edilir.

Bazı durumlarda ise korozyon ile oluşan film tabakası düşük kesme kuvveti olan yumuşak yapıdaki (metal klorid, sülfid ve fosfat) malzemeleri içerir. Bu ürünler sınır yağlama için uygun olup, düşük aşınma oranları gösterirler. Bu tip yumuşak korozif aşınması aşırı basınç katık kullanılan yağlamadan sonra gerçekleşmektedir (Schilling A., 1972).

6.5. Yorulma Aşınması

Yüksek gerilimden dolayı yorulma sınırında kayma ve yuvarlanma hareketi sonucu genelde gevşek partiküllerin yüzeyden ayrılmasıdır. Bu tip aşınma bilyalı yataklarda, düz yataklarda ve dişlilerde meydana gelir. Hasar yüzeyde ve yüzey altında "Pitting" i oluşturur (şekil 19).

6.5.1. Yorulma Aşınmasına Bağlı "Pitting" Teşekkülü

Birbirine göre yuvarlanan, kayan ve yuvarlanan elemanlar, yüksek basınç teması altında yükün birçok defa tekrarı suretiyle yüzeyler üzerinde adeta pul pul meydana gelen kabuklara veya bunların soyulması ile deliklerin oluşmasına neden olur. "Pitting", temas gerilmeleri ile oluşan metal yorulmasıdır. "Pitting" teşekkülüne etki eden faktörler temas gerilimi, malzeme özellikleri ve yağ filmini de içine alan temas yüzeylerdeki kimyasal ve fiziksel karakteristiklerdir. Temas yüzeyinde ve altında oluşan gerilmelerin dağılımı ve büyüklüğü Hertz tarafından tasvir edilmiştir. Yuvarlanma-temas yorulmasındaki ana gerilim kaynağı, yuvarlanma yönünün ters istikametindeki kesme gerilmeleridir. Yuvarlanma esnasındaki kesme gerilmeleri düz satıhın hemen alt yüzeyinde meydana gelmekte ve burada yorulmaya bağlı çatlaklara neden olabilmektedir. Bu çatlaklar tekrar edilen yüklerde ilerlemekte, yüzeye erişmek suretiyle tıpkı pulların soyulması gibi küçük delikler veya "Pitting"i oluşturmaktadır.

6.5.2. Korozyona Bağlı "Pitting" Teşekkülü

Metaller üzerinde meydana gelen "Pitting" yüzey üzerinde oluşan keskin çukurların ürettiği yerel korozyondur. "Pitting", yüzey üzerinde metal ile temasta olan korozyon yapıcı maddenin yerel hareketi ve metal yüzeyinin anod kutbunu oluşturması ile meydana gelir. "Pitting", korozyonun en beklenmedik şekliyle oluşan kısmıdır. Metal üzerinde küçük ağırlık kayıplarını üretmesi ile arızayı meydana getirebilir. "Pitting" in bazen laboratuvar testlerinde ve hizmet esnasında teşhis edilmesi zordur; zira çukurların gözle görülür bir boyuta gelebilmesi için korozyon yapıcıya ve metale bağlı olarak aylar veya yıllar alabilir.

Korozyona bağlı olarak "Pitting" in meydana geliş sebepleri arasında metal yüzeyinin homojen olmayan durumu, koruyucu oksit tabakasının kimyasal veya mekaniksel olarak çatlaması, katı bir partikül altında metal iyonunun veya oksijen konsantrasyonunun oluşumu sayılabilir. Ayrıca "Pitting" oranının artması solüsyondaki korozyon yapıcı maddenin şiddeti ve elektriksel iletkenliğidir. Verilen herhangi bir metaldeki "Pitting" olasılığı bazı spesifik iyonlardaki artışla hızlanmaktadır. Oksitleyici solüsyonlara örnek olarak hipokloritler, kromatlar, nitratlar ve sülfür bileşikler sayılabilir (Metals Handbook, 1975).

6.6. İçten Yanmalı Motorlarda Aşınma

Günümüzde, genel olarak makinaların, özellikle İçten Yanmalı Motorların çalışma ömrü, kullanılabilirliği ve dayanıklılığı onu oluşturan parçaların bozulması veya hasara uğraması ile sınırlanmıştır.

Yeni geliştirilen malzemeler, modern teknik kontrol ve metodlar ciddi makina kazalarını azaltmaktadır. Ancak, Triboloji alanında çalışan mekanizmalarda yağlamanın bozulması çeşitli aşınma prototiplerini ortaya çıkartmıştır.

İçten Yanmalı Motorlarda aşınma, çeşitli yollarla ortaya çıkabilir:

Motor performans kayıpları; bunlar, aşırı yüklenme, ivmelenme eksikliği, gürültü, titreşim, ekzost gazı emisyonların artışı vs.. gibi nedenlerin taşıt kullanım aksaklığına sebep olmasıdır. İşletim masraflarının artışı; bunlar yağ ve yakıt harcamı ile yağ değişim ihtiyacının artması, yedek parça değişimi ve motor ömrünün kısılması gibi etkenlerdir.

Motor aşınması yalnızca yağlayıcıya bağımlı olmamakta, aynı zamanda malzeme teknolojisi, kullanım şartları, konstrüksiyon ile ilgili toleranslar, imalatçıya bağlı olarak uygunluk derecesi, kullanılan yakıt tipi, yanma verimi, sıcaklık, basınç, nem, korozyon ortam (deniz-hava) ve abrazyon ortam (toz) gibi çevresel iklim faktörleri de etkili olmaktadır.

1. MOTORLARDA SOĞUTMA

Motorlar, silindirler içerisindeki yakıtın yanmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinalardır. Bu sebepten dolayı motor parçaları çalışma esnasında yüksek sıcaklıklara maruz kalırlar.

Silindirdeki hava yakıt karışımı yanarken, yanmış gazların sıcaklığı anlık olarak 2000-2500°C'ye kadar çıkmaktadır. Oluşan bu ısının bir kısmı silindir çeperleri, silindir kafası ve pistonlara ısı transferi ile iletilir. Motorun sağlıklı çalışması açısından motor parçalarının maruz kaldığı sıcaklıklar kritik değerleri aşmamalıdır. Parçaların dışında parçalar arasında aşınmaları engellemek için bulunan motor yağının da belli bir çalışma sıcaklık aralığı vardır. 150°C'den sonra uygun çalışma özelliklerini kaybetmeye başlayan motor yağı günümüzde 300 °C civarında yanmaya başlar.

İşte bütün bu sebeplerden dolayı motorun, emniyetli bir şekilde çalışabilmesi için gerekli olan çalışma sıcaklık aralığının sağlanması için motorlu taşıtlarda soğutma sistemlerine ihtiyaç vardır.

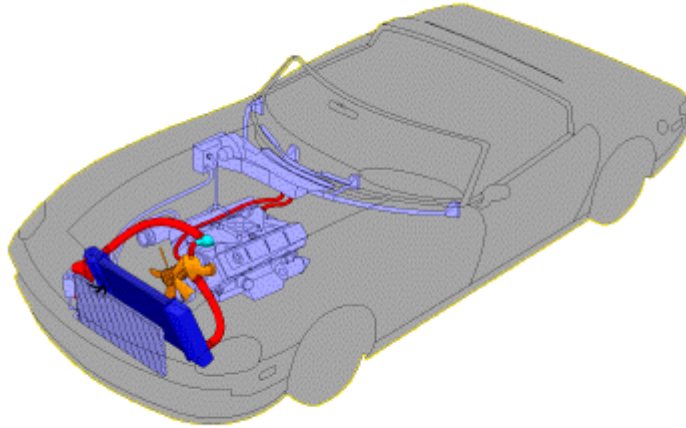
2. MOTORLARDA SOĞUTMA SİSTEMLERİ

2.1 Soğutma Sistemleri

Benzinli motorlar, çok gelişme göstermelerine rağmen, kimyasal enerjiyi mekanik güce dönüştürme konusunda hala yeterince verimli değildir. Yakıt enerjisinin çoğu (yaklaşık %70) ısıya dönüştürülür, ve bu ısının icabına soğutma sistemi bakmak durumundadır. Taşıtın yokuş aşağıya indiğini düşünürsek, soğutma sistemi ortalama 2 tane evin ısıtma ihtiyacını karşılayacak ısıyı dağıtır. Soğutma sisteminin asıl görevi motoru aşırı ısınmadan ısıyı havaya atmak suretiyle korumaktır, fakat bunun yanında farklı görevler de yapar.

Otomobillerdeki motor en iyi yüksek hava sıcaklıklarında çalışır. Motor soğuk olduğunda, motor bileşenleri daha hızlı aşınır/eskir, motor verimi düşer ve daha fazla hava kirliliği meydana gelir. Yani soğutma sisteminin bir diğer önemli görevi de motorun olabildiğince çabuk ısıtmak ve daha sonra da sabit derecede tutmaktır. İdeal olanı çalışma şartları ne olursa olsun soğutma sistemi motoru en verimli ısıda çalıştırmalıdır.

Soğutma sisteminin gereği ve önemi :



Şekil 2.1 Soğutma Sistemi /2/

- Motorları, ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelerdir. Motorlar ısı enerjisini mekanik enerjiye çevirirken aynı zamanda çok ısınırlar.
- İş zamanında yanma odasındaki sıcaklık 2000 - 2500° C a kadar ulaşır. Bu durum çok kısa sürse bile, bazı motor parçalarının 800° C ısınmalarına sebep olur.

Motor parçaları soğutulmadığı takdirde;

- **a.)** Parçaların mekanik dayanımı zayıflar.
- **b.)** Parçalar üzerinde aşırı genleşmeler meydana gelir ve hareketli parçalar arasında bulunan yağ boşluğu sıfıra iner. Yağlanamayan parçalar kuru sürtünme sonucu oluşan ısının da etkisiyle birbirine kaynar veya sıkışır kalır. (Pistonun silindirde sıkışması ve yatak sarma gibi olaylar.)
- **c.)** Motor yağı, yağlama özelliğini kaybederek görevini yapamaz. Bu durumda, kuru sürtünmeye yol açar ve aynı sonuçları meydana getirir.
- Yukarıda açıklanan olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için, motorun tamamen soğutulması da çözüm değildir. Çünkü, motor çalışma sıcaklığına ulaşmadan istenilen gücü veremez. O hâlde soğutma sisteminin görevi; motor parçalarının, motor yağının aşırı ısınmasını önlemek ve motorun tam güç verecek şekilde çalışma sıcaklığında kalmasını sağlamaktır.

Otomobil motorunda benzin sürekli yanmaktadır. Bu yanma sonucu meydana gelen ısının çoğu dışarıya atılır, fakat bir kısmı motor üzerinde kalır ve ısıyı artırır. Motor, en iyi soğutucusunun 93 ° C civarında olduğu zamanlarda çalışır. Bu sıcaklık derecesinde:

- Yanma döngüsü, daha iyi yanma sağlamak ve emisyonları azaltmak için benzini buharlaştıracak kadar sıcaktır.

- Yağ, motoru yağlamak için kullanılır, böylece motor bileşenleri serbestçe hareket eder ve motor, kendi bileşenlerini kullanmak için daha az enerji kullanmış olur.
- Metal parçalar daha uzun ömürlü olurlar. /2/

2.2 Motorun Sıcak Çalışmasının Sakıncaları

- Hareketli parçaların çok çabuk aşınmalarına ve bunun sonucu çatlamalarına sebep olur.
- Piston, segman ve yataklar gibi hareketli parçaların arasındaki boşluklar azalır. Segman kaynaması meydana gelebilir.
- Çalışan parçaların fazla genleşmeleri, çalışma yağ boşluğunu ortadan kaldırır. Yağ filmini yırtar. Parçaların kısa zamanda aşınmasına yol açar.
- Motor parçalarının mekanik dayanımları zayıflar. Bu durum parçaların kısa zamanda yorulmasına yol açar.
- Fazla ısınmadan dolayı yağ incelir, yapışkanlık ve yüzey gerilimi özelliğini yitirir ve yağlama özelliğini yitirir. Yağ sarfiyatı artar. Sıcaklık 250°C'yi geçince yağ yanmaya başlar. Yanan yağ, yanma odasında kurum oluşturur. Motor sıkıştırma oranı değişir, motor vuruntulu çalışır.
- Yüksek sıcaklıktan dolayı gerçekleşen erken ateşleme sonucu vuruntu meydana gelir.
- Silindir kapağı ve silindir bloğunun fazla ısınması sonucu şekil değiştirip çatlamalarına neden olur.
- Gereğinden fazla ısınan taze karışım fazla genleşeceğinden silindirlere giden yakıt miktarı azalır, karışım sevk verimi düşer.
- Motor güçten düşer, çekişi azalır, çalışma düzeni bozulur.

2.3 Motorun Soğuk Çalışmasının Sakıncaları

- Silindir yanma odasına giren taze karışımın yanma sıcaklığına erişememesine ve karışımın bir kısmının yanmadan, ısı enerjisine dönüşmeden dışarı atılmasına yol açar. Bunun sonucunda motorun termik verimi düşer.
- Bütün silindirlere eşit oranda taze karışım giremez. Motorun dengeli çalışması sağlanamaz, motor titreşimli çalışır.
- Havanın yoğunlaşması sonucu hareketli yüzeyler arasındaki yağlama yağına karışması sebebiyle motor yağı çabuk kirlenir ve sulanır. Bunun sonucunda yağlama düzgün olmaz ve korozyon meydana gelir.
- Soğuk çalışan parçalar normal genleşme yapamadıkları için:
 - a) Kompresyon kaçağı olur,
 - b) Yağlama düzgün olmaz,
 - c) Yakıt sarfiyatı artar,
 - d) Motor gücü düşer,
 - e) Kompresyon kaçağı karter yağının viskozitesini düşürür,
 - f) Yanma odasında kurum toplanır,
 - g) Egsoz borusundan siyah duman çıkar,
 - h) Motor yağ yakar.

2.4 İyi Bir Soğutma Sisteminin Özellikleri

1. Motorun en iyi şekilde yağlanması sağlanmalı,
2. Motor parçalarının mekanik dayanımını tehlikeye düşürülmemeli
3. En yüksek termik verimin alınması sağlanmalıdır.

Motorun ilk çalıştırılması ve çalıştırma sıcaklığına çabuk ulaştırılması amacı ile,soğutma donanımının normal çalışmasının engelleyen ek düzenekleri vardır.Böylece motorun,çalışma sıcaklığına kolayca ulaşması sağlandığı gibi,soğuk koşullarda,motorun verimsiz çalışması önlenmiş ve soğuk çalışacağı zaman kısalmış olur.Motor,normal çalışma sıcaklığına ulaşınca,soğutma donanımı da görevine başlar./13/

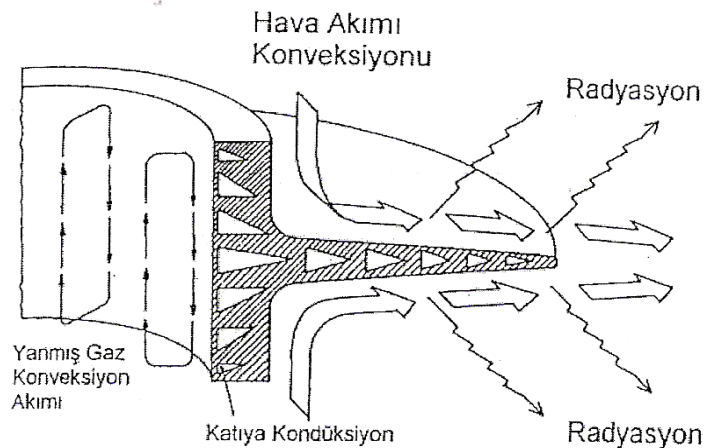
2.5 Isı İletiminin Temel Kanunları

Motorlarda meydana gelen yanma sonu sıcaklığının değişik yollarla dışarı atıldığını, bir kısım ısının ise motorun verimli çalışabilmesi için parçalar üzerinde kaldığını anlatmıştık.İşte,bu dışarı atılan ısı değişik şekillerde motordan alınır.

Soğutma sistemlerini,ayrı ayrı incelemeden önce,ısının cisimler içindeki akışına ve bu konudaki temel kanunları kısaca açıklamakta yarar vardır.İsı üç şekilde iletilir: /13/

2.5.1 Kondüksiyon ile Isı İletimi (Temas)

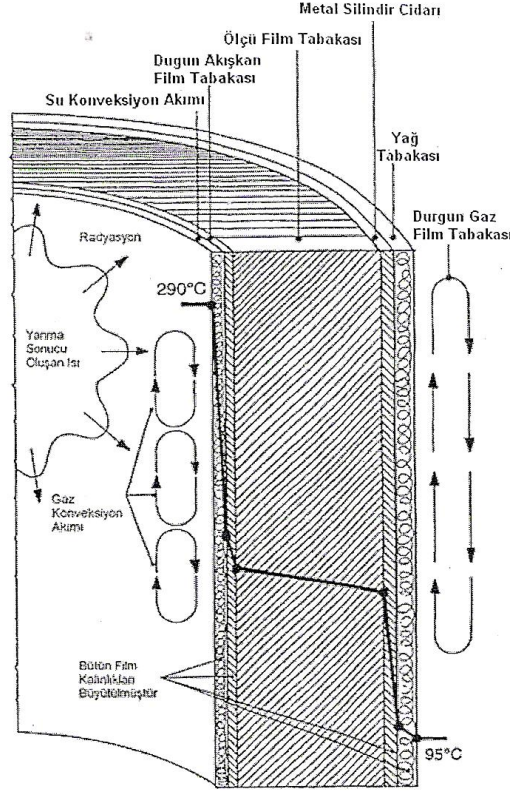
Kondüksiyonla ısı iletimi,ısının bir cismin molekülünden diğer moleküle iletilmesi ile olmaktadır.İsıyı alan moleküller daha çabuk hareket eder ve enerjilerini diğer moleküllere aktarırlar.Temasla ısı iletiminde,ısı iletimi parçanın içinde,ancak parçada hareket olmadan yapılır.Buna göre;bir cismin içinde temasla iletilen ısı miktarı,ısıyan cismin ısıyı iletme yeteneğine,ısının geçtiği kesitlerin büyüklüğüne, mesafenin uzunluğuna ve sıcaklık farkına göre değişir.Mesela;dökme demir ile bakırın ısı iletimleri molekül yapıları ile çok farklı olur./13/



Şekil 2.2 Hava soğutmalı motorlarda ısı transferi /6/

2.5.2 Konveksiyon ile Isı İletimi

Hareket eden sıvı veya gaz cisimlerle ısı iletimidir.Bu şekilde ısı iletiminde daima bir katı cisimden,sıvı veya gaz cisme ısı iletildiği gibi,sıvı veya gaz cisimden katı cisme de ısı iletilebilir.Örnek silindirlerde sıkıştırma sonu,yanan karışımın(gaz) ısısı,piston ve silindirlere iletir.Yanan haz moleküllerdeki ısı piston yüzeyine geçer ve katı cismin yeteneğine göre(piston malzemesine) ısı iletir./13/



Şekil 2.3 Su soğutmalı motorlarda ısı transferi /6/

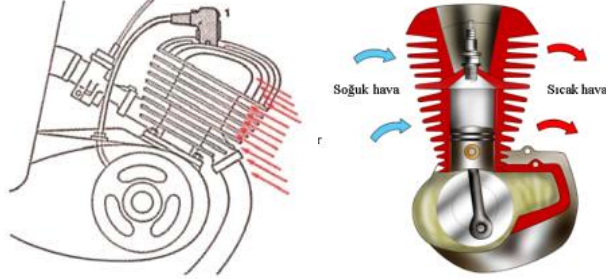
2.5.3 Radyasyon ile Isı İletimi

Radyasyonla ısı iletiminde arada ısıyı ileten herhangi bir cisim olmayabilir.Bu tip ısı iletimi elektromagnetik dalgalarla olur.Bu dalgalar bir cisimden çıkarken,sıvı veya katı cisimlerin yüzeyleri,bu dalgaların bir kısmını yansıtırlar,bir kısmı ise cisimlerin bünyesinde kalır.Radyasyonla ısı iletimi parçaların yüzeylerinin,parlak ve mat oluşuna göre değişir.Örneğin;bir yüzey parlak ise üzerine gelen ışık demetini aynı açı altında yansıtır.Mat ise,ışık demeti kırılır,dağınık yansıtırlar. /13/

3. SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

3.1 Hava Soğutmalı Motorlar

Otomobil motorları genellikle su soğutmalıdır. Hava soğutmalı motorlar daha çok motosikletlerde, çim biçme makinalarında ve bazı küçük araçlarda kullanılır.



Şekil 3.1-Motosikler motoru üzerindeki hava soğutma kanatçıkları /14/

Silindir ve silindir kapağı ısı dağılan yüzeylerinin arttırılması için soğutma kanatçıkları ile donatılmıştır. Fan kullanılmayan sistemlerde, hareket sırasında oluşan rüzgar, silindir ve krank muhafaza gövdesinden geçerken bu yüzeylere temas eder ve ısı doğrudan dışarı atılır.

Hava yönlendirmesi için fan kullanılan hava soğutmalı motorlarda, soğutma sıvısı, radyatör, su pompası, genleşme kabı, radyatör kapağı, radyatör hortumları, motorun su kanalları ve kalorifer radyatörü bulunmaz. Sadece motor soğutma kanatçıkları, hava yönlendirme saçları ve soğutma fanı bulunmaktadır. Hava ile soğutma işlemi soğutucu hava akışı ve bir fan (vantilatör) yardımıyla sağlanır. Fan, havayı eksenel yönde emer ve çevresel yönde dışarı atar. Hava yönlendirme sacı havayı silindirlere yönlendirir. Soğutma işlemi silindirlerin ve silindir kapağının üzerinden veya etrafından fan ile üflenlen havanın geçmesi ile mümkün olmaktadır. Silindir ve silindir kapağının dışına daha iyi soğutma sağlamak için ince hava kanatçıkları yapılmıştır.

Bu sistemin özellikleri:

- Birim güce isabet eden motor ağırlığı azdır.
- İşletmesi emniyetli ve bakım gerektirmez.
- Çalışma sıcaklığına daha erken ulaşır.
- Donma olayı olmaz.
- Fanı hareket ettirmek için motordan güç kullanılır.
- Daha büyük piston boşluğu gerektirir.

3.2 Hava Soğutmalı Sistemlerin Sınıflandırılması

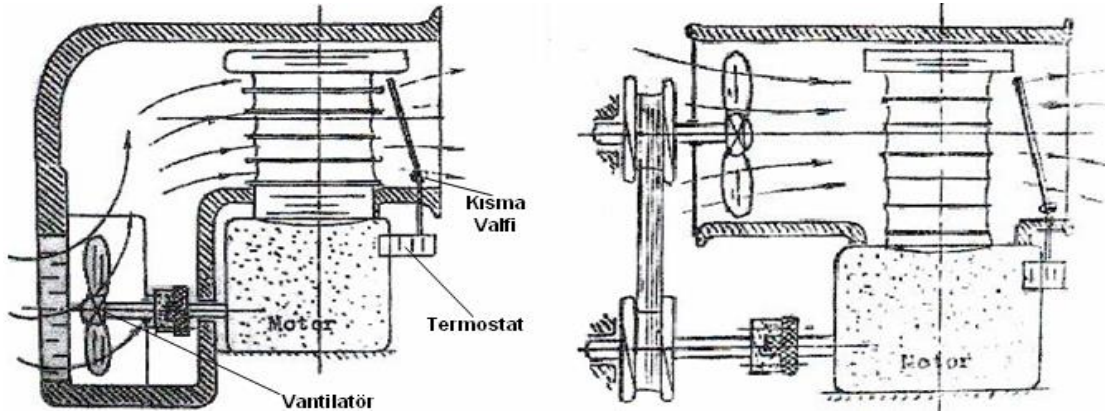
Hava soğutmalı sistemler vantilatör ile soğutma ve rüzgar ile soğutma olmak üzere 2'ye ayrılır.

3.2.1 Vantilatör İle Soğutma Sistemi

Bu sistemde Kranktan hareket alarak çalışan bir vantilatör sürekli motor bloğuna hava üfler. Şekilde görüldüğü gibi gövdeye kanallar yapılmıştır, hava bu kanallardan geçerken gövdeyi bir uçtan bir uca soğutur. Bu sistemde soğuk havanın kaynağı atmosfer olup vantilatör bu havayı motor etrafındaki kanallara üfler ve ısı doğrudan havaya verilmiş olur. Eğer soğutucu su veya bir başka özel gaz olmuş olsaydı, o zaman bir sirkülasyon söz konusu olur, akışkanın soğutulurken çıkıştan girişe sevk edilmesi

gerekirdi. Buradan hareketle hava ile soğutma sisteminin basit bir sistem olacağı anlaşılmaktadır. Vantilatörlerin çok uzun ömürlü ve çok basit aletler oluşu sistemin bakıma muhtaç olmayacağını da ifade eder. İlk hareket sırasında motor soğuk olduğundan vantilatör ya çalışmamalı veya havanın soğutucu etkinliği yok edilmelidir. Bu durum genel olarak ele alındığında, motorun çeşitli hava koşullarında cidar sıcaklığının 300-400°C civarında kalabilmesi için hava debisini sürekli ayarlayan bir otomatik sisteme ihtiyaç vardır. Şekilde görüldüğü gibi motor cidar sıcaklığından etkilenen bir termostata bağlı bir mekanik sistem hava çıkışını az veya çok kapalı tutar.

Motor soğuk iken çıkış kapalıdır, sıcaklık yükseldikçe kapak cidar sıcaklığına uygun olarak açılır. Bazı motor konstrüksiyonlarında sıralı dört silindirli motorlarda olduğu gibi, hava yönlendiricileri sayesinde havanın önemli motor parçaları ve silindirler arasında dağılımını sağlar.



Şekil 3.2- Volan tipi ve kayış kasnaklı hava soğutmalı motor/1/

3.2.2 Rüzgar İle Soğutma Sistemi

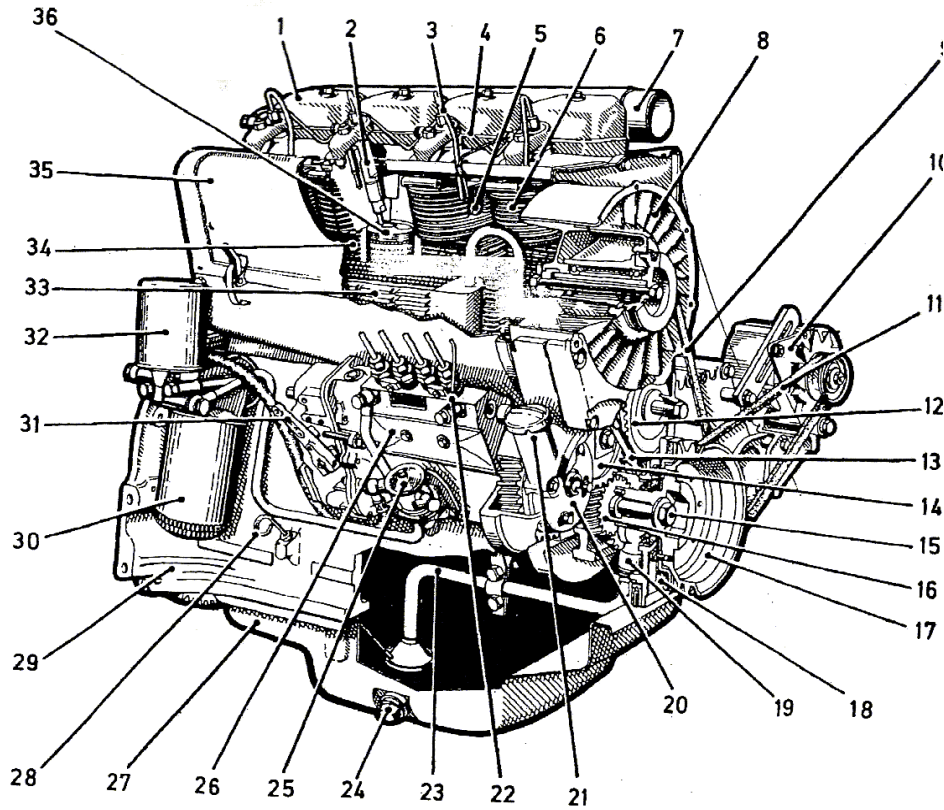
Silindir ve silindir kapağı, ısı dağılan yüzeylerinin artırılması için soğutma kanatçıkları ile donatılmıştır. Hareket rüzgarı silindir ve karark muhafaza gövdesi etrafını yalayarak geçer ve ısı doğrudan doğruya dışarı atılır. Soğutma havasının, soğutma yoluyla atılması gerekli ısıyı iletebilmesi için, silindir çevresine yerleştirilen soğutma kanatlarıyla elde edilen soğutma yüzeyinin yeteri kadar büyük olması gereklidir. Ayrıca bitişik silindirler arasındaki soğutma kanatlarından yeteri kadar havanın geçebilmesi için, silindirler arasında uygun bir uzaklık bulunmalıdır. Bununla birlikte malzemenin en efektif bir şekilde kullanılmasına özen gösterilmeli ve soğutma nedeniyle silindirler arasında gerekli olan uzaklığın, gereksiz yere motor boyutunu uzatması da önlenmelidir. Bu nedenle sıra motorların hava soğutmalı olarak yapılması pek uygun değildir. Motorun az yer kaplaması yönünden, karşı pistonlu motorlar ve V tipi motorlar hava ile soğutma yönünden daha uygun olmalarına karşın, su soğutmalı motorlarda suyun dağıtımındaki güçlükten dolayı pek uygun silindir dizilişi değildirler.

3.3 Soğutma Havasının Sirkülasyonu

Hava soğutma sistemi ile motor aksamı direkt olarak havanın yüksek ısıya sahip yüzeylerine temas eden hava ile soğutulur. Bunlar soğutulacak aksama gönderilirken havaya daha geniş bir soğutma yüzey alanı sağlayabilmek için non-motor çevrim uygulamalarında güçlü bir pompa aracılığıyla pompanın etrafında bulunan yüzgeçlerin pompanın çevresinde sirküle etmeye zorlanmasıyla gerçekleşir. Taşıtın motor tasarımı

genellikle tamamen metal tabakalı bir t p içinde olacak şekilde dizayn edilir.Benzer dizayn şekilleri dizel motorlar için de kullanılır.Y n de i tiriciler havanın akışının silindirler ve silindir kafalarının üzerine yönlendirilmesiyle onları so utmayı sağlamaktadır.Düzenli seyreden bir sıcaklık sağlamak için pompadan gönderilen hava,silindirlerin ve silindir kafalarının çevresindeki akışın y n  soğutma y zge lerine olacak şekilde sirkulasyona zorlanır.Bu yüzgeçler,soğutma için yeterli alanı sağlamak üzere silindir kafasının yüksek sıcaklıktaki egzost sübabı kısmına doğru akış sağlamaktadır.Sistemin tamamı plenum odası olarak bilinen iç hava basıncının atmosferik basınçtan yüksek olduğu bir form oluşturur.

Son olarak,motor aksamında ısıyı alan hava,plenum odasından tmosfere gönderilir veya taşıtın i ini ısıtmak üzere hava kanallarından taşıtın içine yönlendirilir. /1/



- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1. Kapak | 19.Ya  pompası |
| 2. Enjektör | 20.Geciktirme  nitesi |
| 3. 3 nolu silindir enjektörü | 21.Ya  tıpası |
| 4. Geri sızıntı yolu | 22.Ta ma yolu |
| 5. Silindir ba ı kilidi | 23.Ya  emme borusu |
| 6. Silindir kilidi | 24.Ya  boşaltma borusu |
| 7. Hava giriş manifoldu | 25.Yakıt besleme pompası |
| 8. Soğutma fanı | 26.Mekanik pompa |
| 9. Soğutma fanı V-Bandı | 27.Ya  karteri |
| 10. Jeneratör | 28.Ya   l me  ubu u |
| 11. Jeneratör V-Bandı | 29.Dirsekli kol muhafazası |
| 12. Makara mili di lisi | 30.Ya  filtresi |
| 13. Ya  deposu | 31.Hız kontrol manivelası |
| 14. Boş dönen di li | 32.Yakıt filtresi |
| 15. Kilit | 33.Ya  so utucusu |
| 16. Krank di lisi | 34.Silindir |
| 17. V-Bant kasna ı | 35.Hava kapağı |
| 18. Titreşim damperi | 36.Piston |

Şekil 3.3– Hava soğutmalı motor kesidi /1/

3.6

Hava Soğutmanın Faydalı Yönleri

1. Radyatör yoktur.
2. Donma tehlikesi yoktur.Kritik bölgelerde tercih olabılırler
3. Hafiftir,özellikle küçük motorlar yönünden önemlidir.
4. Kireçlenme problemleri yoktur.
5. Su pompası ve arızası yoktur.
6. Rejim haline geçiş daha kısa sürede(kütle daha azdır)gerçekleşir.Dolayısıyla aşınma daha az olur.

Bu sistemde silindir bloklarının dış kısımları genellikle alüminyum alaşımı, sürtünme yüzeyleri ise(silindirler ve subap oturma yüzeyleri)çelik alaşımdan yapıldığı ve soğutma sıvısına gerek olmadığı için,soğuk iklimler için,daha geniş kullanma alanları vardır.Bu gibi yerlerde suyun donma tehlikesi olabileceği gibi hava soğutmalı motorlar üstün tutulur./13/

3.7

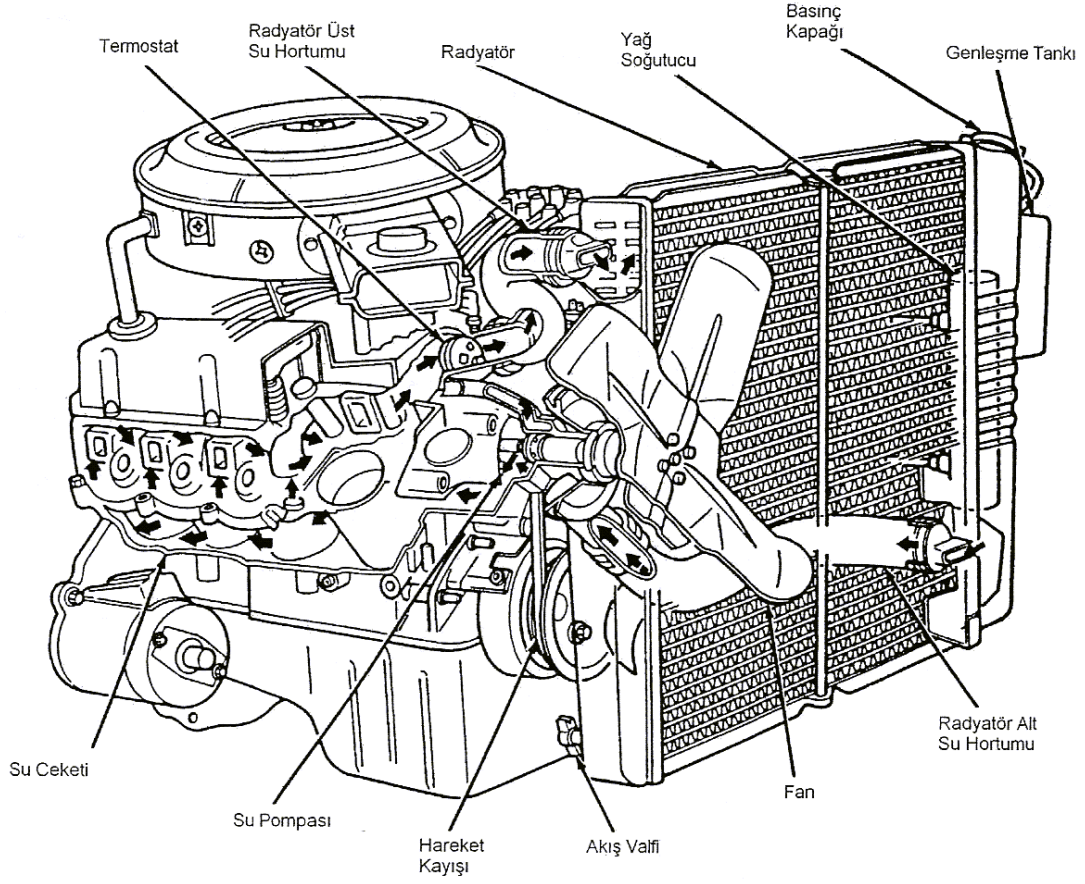
Hava Soğutmasının Zararlı Yönleri

1. Vantilatör gereklidir. Özel tipler hariç; diğer araçlardaki seyir esnasındaki rüzgar etkisi soğutmayı tam sağlayamamaktadır.
2. Vantilatör gürültü yapmaktadır.
3. Motorun gürültüsü daha çok duyulur. Çünkü su kanalları gibi gürültü emici aralıklar yoktur.
4. Silindirler daha parçalı yapılmak zorunda olduğundan gürültü kaynağı daha fazladır.
5. Ortalama olarak daha sıcak çalışırlar, piston egzost sübabı civarı ısıl zorlamaya maruzdur.

Bu sistemin sakıncaları, yararlarına göre daha fazldır. Hacmi büyük olan motorları hava ile soğutmak imkansızdır.Çünkü bu motorlarda oluşan ısı miktarı,silindir çapının küpü ile,soğutma yüzeylerinin karesi ile orantılıdır.İklim ve motor hızı değiştikçe soğutma oranı da değişeceği için motorun soğutulması yetersiz kalır.Bu motorlar uzun süre rölantide çalıştırılmaz.Fazla sıcak iklimlerde sık sık silindir kapaklarının yanmasına sebep olur.Aracın hızına göre silindirlerin sıcaklığı değişeceği için motordan her zaman beklenen verim alınamaz.Soğutma yeterli olmadığı için motorun yağlanması iyi olmaz. /13/

3.8

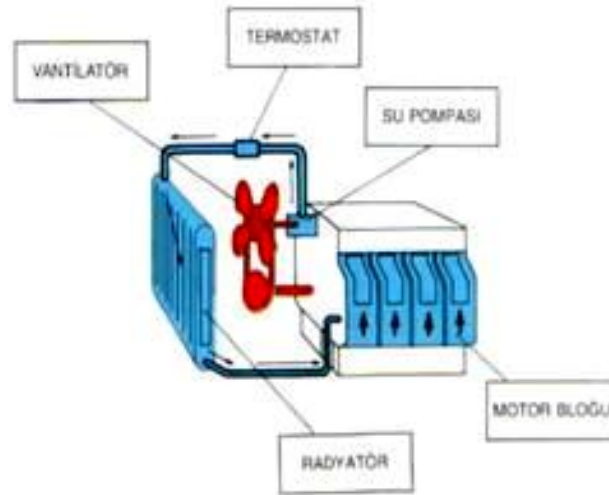
Su Soğutmalı Motorlar



Şekil 3.4– Su soğutmalı motor kesidi /4/

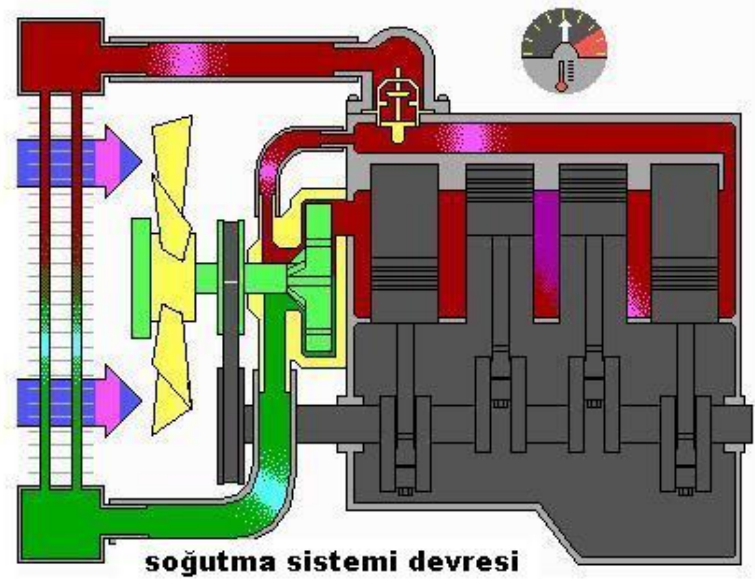
3.8.1

Genel Yapısı



Şekil 3.5-Su soğutmalı sistem /2/

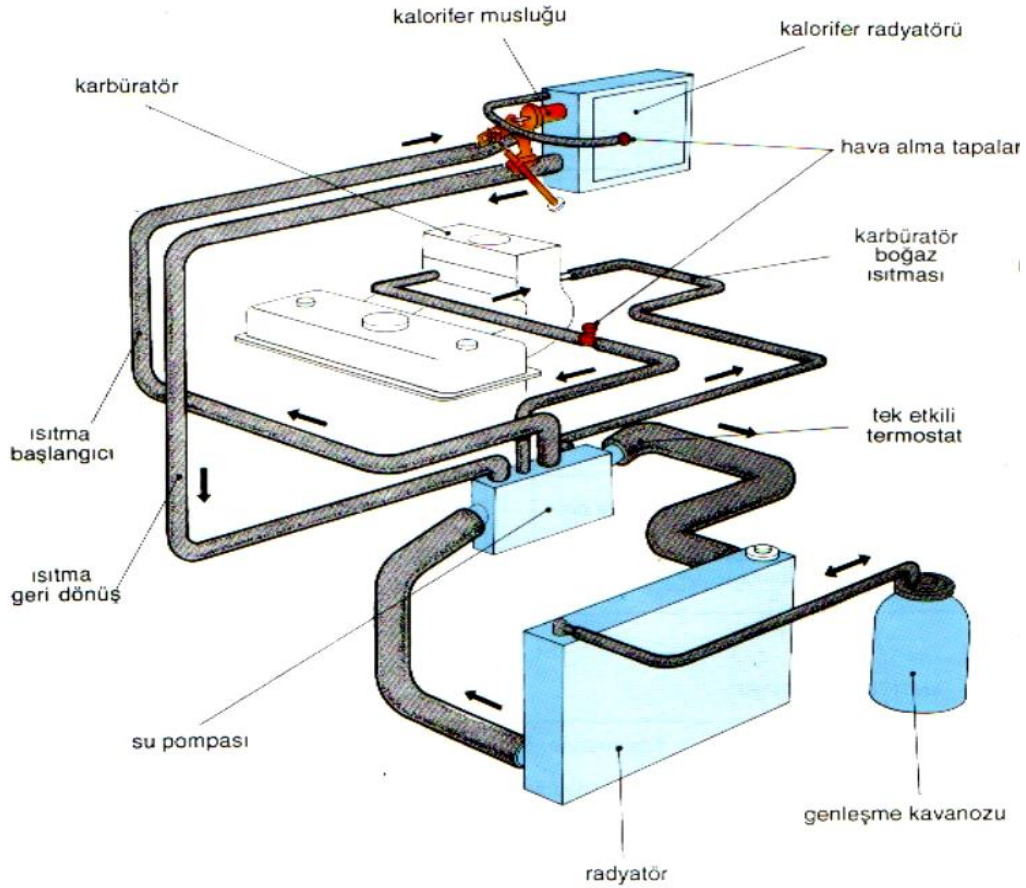
Sıvı soğutmalı motorlarda soğutucu akışkan olarak genellikle su kullanılır. Su soğutmalı motorlarda, motorun içerisinde meydana gelen ısı, motor soğutma suyu tarafından alınır ve radyatörde soğutulur. Soğutma suyu, su pompası vasıtasıyla devridaim ettirilir. Radyatör içerisindeki sıcak olan motor soğutma suyu, radyatör fanının dönmesi ile birlikte veya aracın ileriye doğru gitmesiyle birlikte doğal olarak içeri giren hava ile soğutulur.



Şekil 3.6-Soğutma sistemi devresi /2/

Soğuk bir motor çalıştırıldığı zaman, motorun çabuk ısınması için, radyatöre giden su kanalı bir termostat tarafından kapatılmıştır ve bu yüzden soğutma suyu sadece motorun su ceketleri içerisinde devridaim edilir. Motorun ısınması ile birlikte, termostat açılır ve soğutma suyunun radyatöre gitmesine izin verilir.

Soğutma suyunun bir kısmı hava-yakıt karışımının daha iyi buharlaşabilmesi için emme manifolduna gönderilir. Soğutma suyu aynı zamanda kalorifer peteklerinin içerisinde devridaim ettirilerek araç içerisinde ısıtılmasında da kullanılır. Bazı araçlarda ise jikle tartibatı motor suyu sıcaklığına bağlı olarak hareket eder.



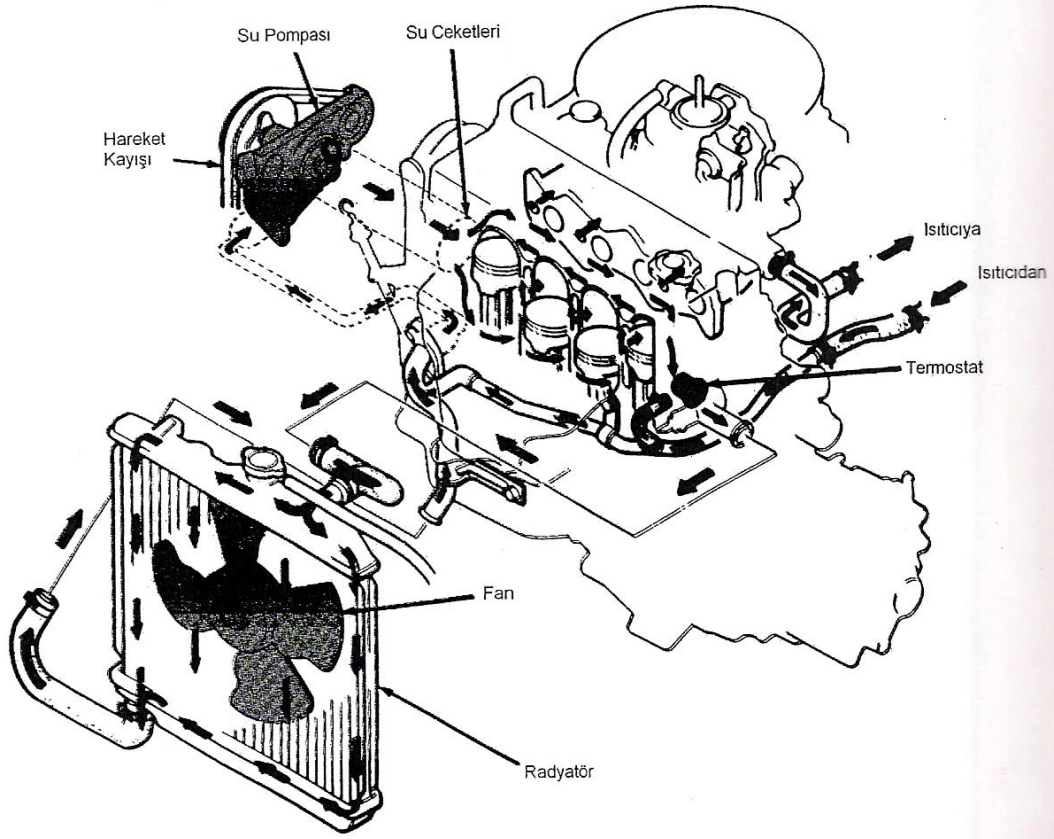
Şekil 3.7-Soğutma sistemi devresi /2/

Sıvı soğutmalı motorlarda, soğutucu sıvısı(antifriz ve su karışımı) şekil 1.4'te görüldüğü gibi motor bloğu ve silindir kapağındaki kanallarda dolaşır.Soğutucu sıvı motor parçalarıyla dolaylı biçimde temas eder.Parçaların içinden geçerken ortaya çıkan ısıyı üzerine alır ve radyatörün içinden geçerek ısıyı havaya verir.Sonra,aynı yolu tekrar dolaşır.Bu işlem motor çalıştığı müddetçe devam eder.

Motor bloğu ile radyatör üst haznesi arasındaki üst soğutma suyu hattına bir termostatik sübap monte edilmiştir. Termostattan su pompasına direkt bir kısa devre kanalı ayrılır.

3.8.2 Soğutma Suyunun Sirkülasyonu

Doğal ve termosifon usulü sirkülasyon olarak bilinen sulu soğutma sisteminin çok basit bir formu 1930'ların sonlarına kadar motorlarda kullanılmış ve ve sistemin anlaşılması bakımından kullanılmıştır. Bu çeşit sulu soğutma sistemleri aşağıdaki ünitelerden oluşur. /1/

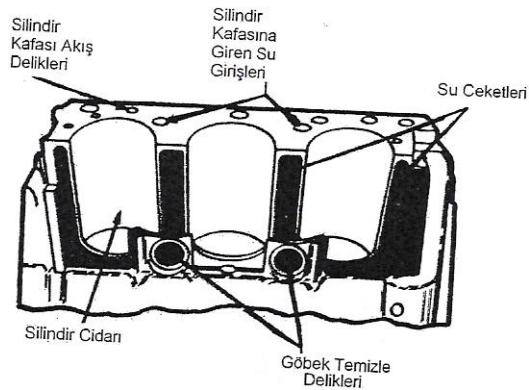


Şekil 3.8- Soğutma Suyunun Sirkülasyon Şeması /4/

3.9 Su Soğutma Sistemi Elemanları

3.9.1 Su Ceketleri

Kısmen silindir bloğunda kısmen de silindir kafasında bulunan ve silindir çeperlerini, tutuşma çemberini ve valf portlarını çevreler. Aşağıda giriş ve yukarıda da bazen başlık borusu denilen çıkış bağlantısı vardır.

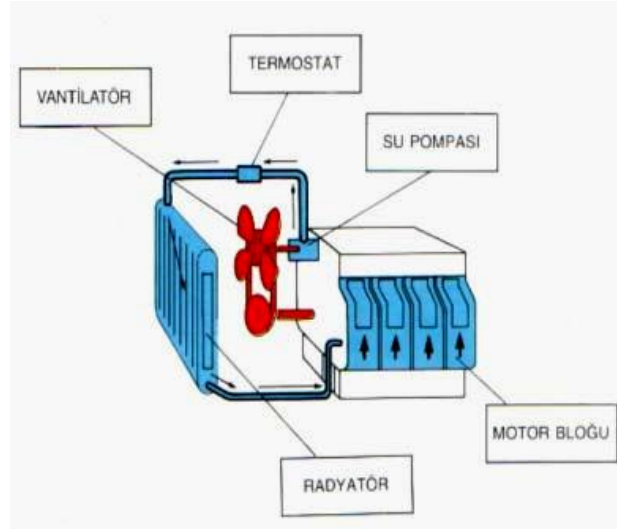


Şekil 3.9 – Silindir Kafasındaki Su ceketi /4/

3.9.2 Radyatör

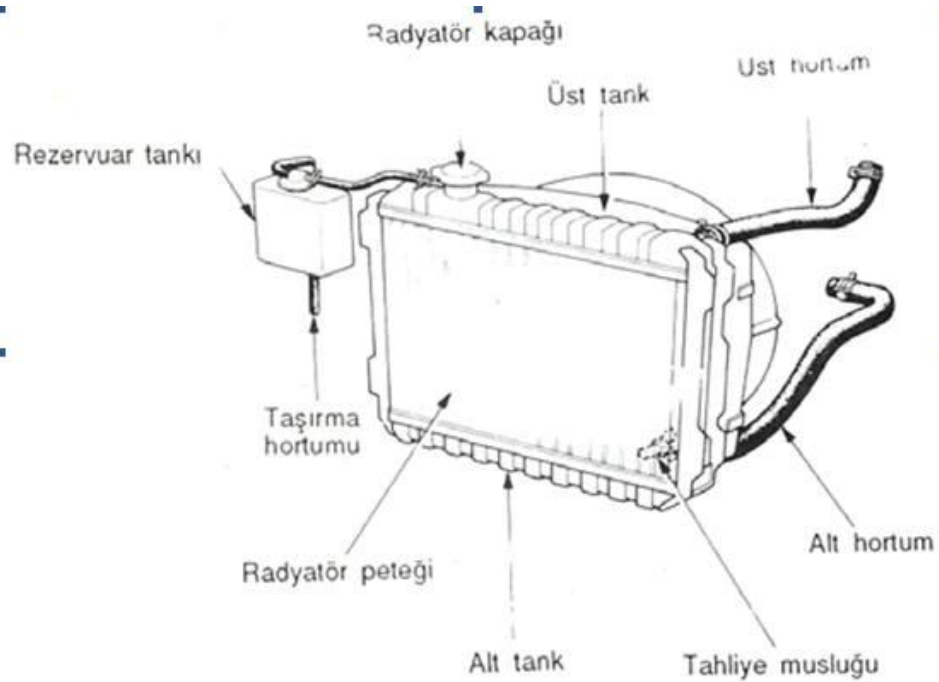
3.9.2.1 Görevleri

Silindir temas yüzeylerinden alınan ısıyı dolaşım yapan su yardımı ile dış ortama aktarır.

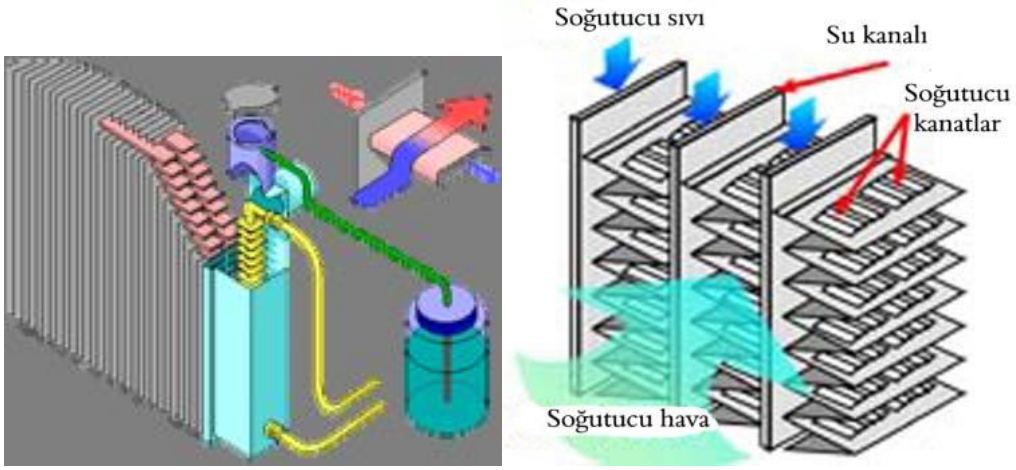


Şekil 3.10-Soğutma Sistemi Devresi /2/

Radyatör, motordan alınan ısıyı havaya aktaran parçaya verilen isimdir. Azami miktarda suyu, kanallarda tutup, atmosferle büyük bir alanını temas ettirerek soğutma işlemini gerçekleştirir. Su taşıyan kanallardan oluşan petekleri ve suyun girişini sağlayan üst kazan ve motora tekrar geri gönderen alt kazandan meydana gelir. Bazı radyatörler ise yandan kazanlıdır. Çalışma sırasında motordaki su, üst kazana gelir ve kanallara üstten dağılır. Su kanallardan aşağıya akarken ısısını gelen hava akımı sayesinde kaybeder.



Şekil 3.11- Radyatör yapısı /2/



Şekil 3.3-Radyatörde hava akımı /2/

Radyatör, motordan gelen sıcak suyu, bünyesinde bulunan çok ince hava ile temas yüzeyleri vasıyasıyla soğutulur.

Radyatör malzemeleri, bakır veya pirinç olmakla beraber son yıllarda alüminyum alaşımından yapılmış radyatörler kullanılmaktadır. Radyatörlerin bakır veya pirinç malzemeden yapılmasının nedeni; bu malzemeler korozyona karşı dayanıklı oldukları gibi ısı iletkenlikleri de çok iyidir. Ayrıca kolay lehimlenebilmektedirler. Radyatör, bir üst bir alt su deposu ve depoları birleştiren dikey borulardan oluşur. Üst ve alt depoları birleştiren boruların etrafına, soğutma yüzeylerini genişletmek amacı ile bakır veya pirinçten yapılmış çok ince hava kanatçıkları lehimlenir. Motorun su ceketlerinden ısınarak, üst su deposuna gelmiş olan su, birleştirme borularından alt su deposuna geçerken ısınıp önce borulara, borulardan ince kanatçıklara, oradan da radyatör üzerinden hızla geçmekte olan havaya ileterek soğur.

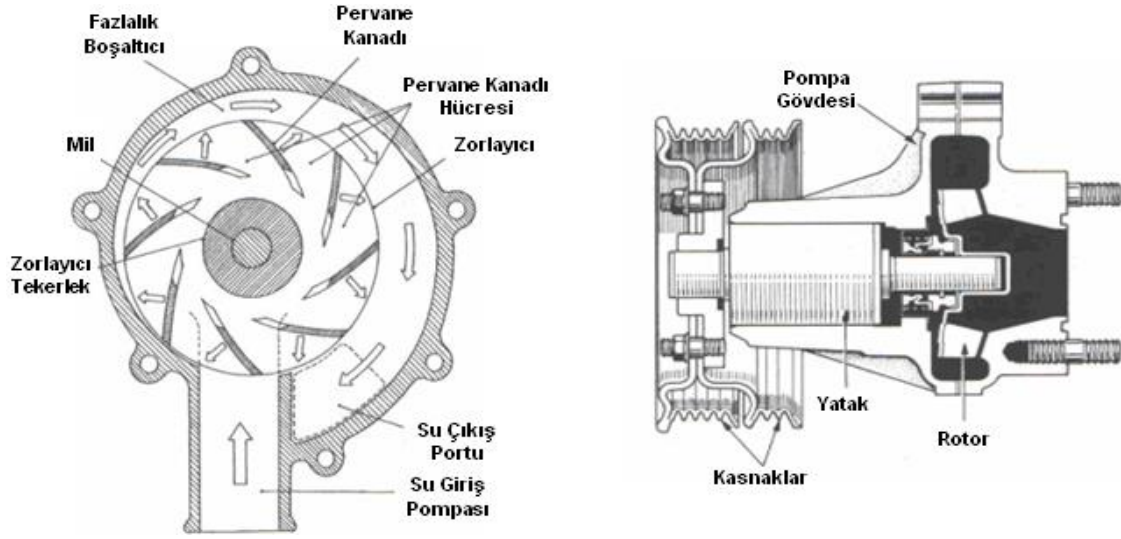
Radyatörlerin üst deposunda su doldurma kapağı bulunur. Bazı radyatörlerin üst su deposına giriş borusunun ağzına su yönleticileri lehimlenmiştir. Bu yönleticiler üst depoya gelen sıcak suyun bütün borulara dağıtılmasını sağlar. Radyatör, üst deposundan aşağı doğru uzanan bir taşıma borusu vardır. Alt depoda ise çıkış borusundan başka, su boşaltma musluğu bulunur.

Bazı radyatörlerde hava akışını ayarlayan panjurlar bulunur. Bu panjurlar, motorun çabuk ısınması istendiği durumlarda kapatılır. Böylece hava akışı azalacağından radyatör yeterli soğutma yapamaz ve motor çabuk ısınır.

2.12 Su Pompası

Su pompaları, motorun krank mili kasnağından bir (V) kayışı ile aldıkları hareketle suya basınç kazandırıp suyu motor su ceketlerinden dolaştırıp soğuması için radyatöre

gönderir.



Şekil 3.18- Su Pompası /4/

Çeşitleri ve Yapısı

Su pompaları millerinin yataklandırılış şekline göre, burçlu, bilyeli yataklı ve salmastralı diye isimlendirilirler. Bugün genellikle daha kullanışlı olması nedeni ile bilyeli yataklı pompalar kullanılmaktadır. Pompadaki salmastranın etrafına bir halka geçirilir ve özel bir somun ile salmastra sıkıştırılır. Bu salmastra zaman zaman sıkıştırılır ve eskiyince değiştirilir. Şekilde bilyeli yataklı su pompası kesiti görülmektedir.

Milin yataklandırılması hangi tip olursa olsun hepsinde de suyun sızmasını önleyen contalar (salmastra) vardır. Genellikle borçlu tip pompalarda ayar edilebilen salmastralar ve günümüzdeki yüksek devirli motorlarda daha çok kullanılmakta olan bilyeli tip pompalarda Su pompaları, genellikle santrifüj tip bir pompa olup, silindir bloğunun ön tarafına, blok ile radyatör arasına yerleştirilmiştir. Motorda iyi bir soğutma için suyun basınçlı olarak su ceketlerinden dolaştırması gerekir. Ortalama olarak bir su pompası saatte 40000 litre suyu dolaştırması gerekir. Krank kasnağı ile su pompası kasnağı arasındaki devir oranı 0.8-1.5 arasındadır. /2/

2.13 Fan

Fanın amacı radyatör matrisinde, özellikle de düşük araç hızlarında ve aracın dırgın olduğu zamanlardaki motor tembelliği durumunda yeterli hava akışını sağlamaktır. Başka bir deyişle, fan başka şekilde olmayacak doğal hava hızlandırma işini alternatif olarak yapma görevini üstlenir. Yüksek araç hızlarında, aracın hızlı bir hareketle havadan geçerek yarattığı zorlama etkisi radyatörde tatmin edici bir hava sirkülasyonuna neden olur.

Pervanelerin normaldeki fan hızı arttığında gürültüsünü azaltmak için düzensiz olarak yerleştirilmiş multi pervaneli bir fan su soğutma sisteminin radyatör fanı boyunca açılacak bir akış yaratmakta kullanılır. Fan, geleneksel olarak, radyatör ve motor arasında fanın iç kısmındaki depresyon tarafından yaratılan havayı çekmek üzere çekici tipindedir. Daha seyrek olan pervanelerin karşıt açıldırılmış bir itici fan, tipik olarak havayı arka motorlu otobüslerin radyatörleri boyunca itmek üzere gerekebilir. /1/

2.14 Termostat

Motorun en kısa sürede ısınmasını ve ısındıktan sonrada motor sıcaklığının istenilen değerde kalmasını sağlar yani soğutma sıvısını en uygun sıcaklıkta tutmaya çalışır.

Termostatın içinde, ısı etkisine göre mekanik hareket oluşturan yüksek genleşme katsayılı materyal vardır. Motor suyu ısındığında termostat da ısınır. Termostatın ısınması ile içindeki madde gaz haline dönüşerek meydana getirdiği basınç ile ana valfi açar. Soğuduğu zaman termostat içindeki gaz da yoğunlaşarak vakum meydana getirir. Oluşan vakum, ana valfin dolayısıyla termostatın kapanmasını sağlar. By-pass valfi ana valf ile karşılıklı çalışır. (Ana valf açıldığında by-pass valfi kapanır.)

3.15 Soğutma Sıvıları

Motorun değişik elemanlarını soğutur ve sıcaklığı tahliye eder.

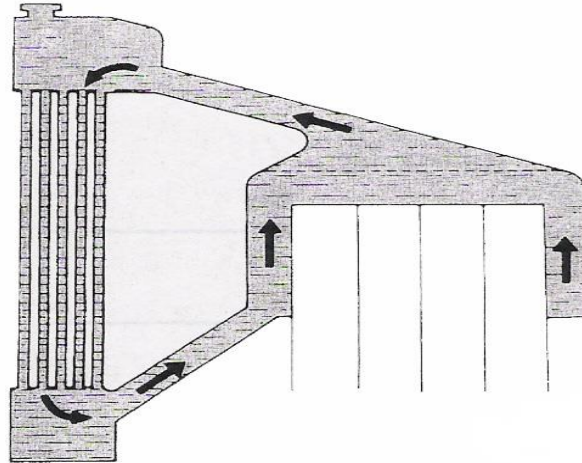
3.15.1 Motor Soğutma Suyu

Uygun korozyon inhibitörlü antifriz solüsyonları kullanımı, tüm kıtalarda bütün yıl içinde, aşağıdaki avantajları sağlamaktadır.

1. Soğutma Sistemini soğuk iklimlerde buzlanmasını engeller.
2. Soğutulan Kısımlar hem sıcak hem de soğuk iklimlerde korozyona karşı korunur.
3. Sıcak iklimlerdeki avantajı suyun kaynama sıcaklığını yükseltmesidir.

3.16 Su ile Soğutma Sistemleri

3.16.1 Sifon ile Soğutma Sistemi

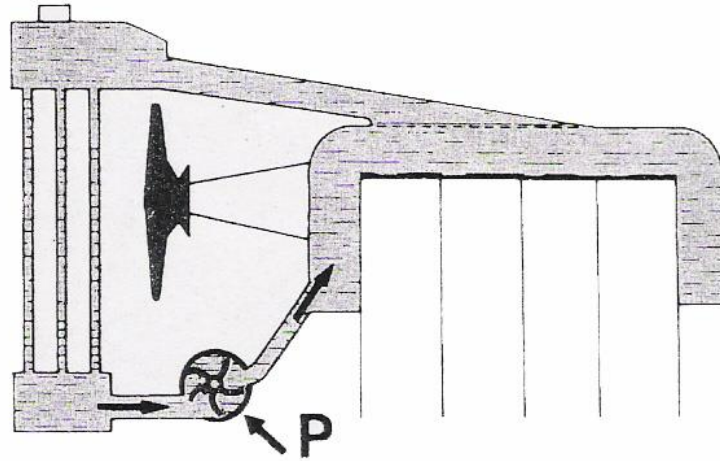


Şekil 3.25- Sifon ile soğutma sistemi /2/

- Silindirlerde temas yüzeyi ile ısınan su, radyatör üst deposuna gelir. Bu gelen sıcak su radyatörün alt kısmında soğutulur.
- Suyun akış hızı çok zayıftır. (15cm/s)
- Bu sistem yalnız başına bulunmaz, fakat tüm su dolaşım devrelerinde bulunur.

3.16.2

Pompa ile soğutma sistemi

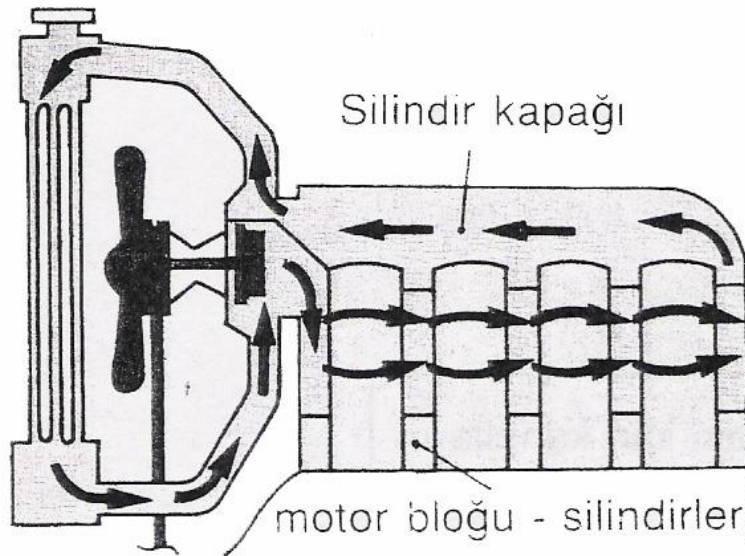


Şekil 3.26- Pompa ile soğutma sistemi /2/

- Pompa radyatör ile motor arasında devrenin en alt noktasında devamlı devrededir.
- Suyun akış hızı 1m/s ile sınırlandırılmıştır.
- Herhangi bir nedenle pompa durduğunda soğutma gerçekleşmez.

3.16.3

Pompa ile tahrikli sifon sistemi



Şekil 3.27- Pompa ile tahrikli sifon sistemi /2/

- Su sirkülasyonunu hızlandırmak için sifon sistemine ilave bir pompa konulmuştur
- Silindir kapağı veya motor bloğu üzerine soğuk su çıkışına konulan pompa, suyu motor bloğu tarafına doğru hareket ettirir. Su buradan hareketle silindir kapağına doğru çıkar ve radyatöre geri döner.
- Pompanın arızalandığı durumlarda sifon tarafından hafif bir su dolaşımı olur.

3.17 Su ve Hava Soğutmalı Motorların Karşılaştırılması

- Hava soğutmalı sistemde sadece vantilatör ve hava kanatları sistemi oluşturduğundan, su ile soğutma sisteminde olan, radyatör, su boruları, termostat, silindir ve kafadaki su kanallarına gereksinim yoktur. Su ile soğutma sisteminde olan; sızdırmazlık, periyodik olarak sistem elemanlarının bakım ve değiştirilme gereksinimine lüzum yoktur.
- Hava soğutmalı sistemde pompa, radyatör, soğutucu ve su borularına gerek olmadığından, su soğutmalı motorlara göre kayda değer oranda daha hafif ve kompakt yapılabilir. Dizayn ve konstrüksiyona bağlı olarak her iki cins motorun ağırlıkları değişiklik göstermesine rağmen, aynı güç için hava soğutmalı motorlar su soğutmalılardan en az %10 daha hafiftir. Su soğutmalılarda bulunan soğutma suyu bu durumu yaratan en önemli nedendir.
- Belirli strok hacmi ve hız için, normal çalışma şartları altında hava ve su soğutmalı motorların performansları arasında pek kayda değer bir farklılık yoktur.
- Hava soğutmalı motorların en önemli üstünlüklerinden bir geniş atmosferik sıcaklık şartlarında, aşırı ısınma ve buzlanmadan etkilenmeksizin çalışabilmeleridir. Kış aylarında su soğutmalı motorlar için gerekli olan antifriz ihtiyacı yoktur.
- Hava soğutmalı motorlar, genellikle tam yük bölgesine yakın sınırdaki çalıştırılmadıkları sürece, aşınma yönünden su soğutmalı motorlardan daha iyidirler. Tam yük bölgesinde sürekli çalıştırılmaları halinde ise, aşınma su soğutmalı motorlardan biraz daha fazla olur.
- Genellikle hava soğutmalı motorların silindir ve silindir kafaları ayrı ayrı yapıldıklarından tamir ve bakımları daha kısa sürede ve daha kolay olur.
- Su soğutmalı motorların silindirlerinde bulunan soğutma suyunun motor gürültüsünü söndürücü etkisi hava soğutmalı motorlarda olmadığından daha gürültülü çalışırlar.
- Silindirler arasından yeterli soğutma havasının geçebilmesi için, silindirler arasında belirli bir uzaklığın bulunması gereklidir. Bu durum aynı şartlardaki hava soğutmalı motorun boyunun daha uzun olmasını gerektirir. Hava soğutmalı motorun soğutulması için eksenel vantilatör kullanılması halinde ise motorun genişliği su soğutmalı motordan biraz daha büyük olur.
- Silindir sıcaklıkları su soğutmalı motorlarınkinden biraz daha yüksektir. Emniyet sınırları içinde kalması halinde bir mahzur teşkil etmemesine karşın, sıcaklığın aşırı yükselmesi çarpımalara ve volumetrik verimin düşmesine sebep olur. Fakat bu mahzur günümüz motorlarında uygulanan soğutma sistemi kontrolü vasıtasıyla, önemli bir problem teşkil etmemektedir.
- İş makineleri ve tarımda kullanılan hava soğutmalı motorların vantilatörlerinin toz ve pislikten zaman zaman temizlenmeleri gereklidir. Aksi halde, soğutma sisteminin verimi düşeceğinden motorda aşırı ısınmalar meydana gelebilir.