

34724

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

34724

**YAKIT, YAĞLAMA YAĞI VE SOĞUTMA
SİSTEMLERİNDEKİ SON GELİŞMELERİN
İNCELENMESİ VE İŞLETME HATALARI SONUCU
ANA MAKİNADA MEYDANA GELEBİLECEK
ARIZALAR VE ALINACAK TEDBİRLER**

Gemi İnşaatı ve Gemi Mak. Müh. İbrahim ÇINAR

**F.B.E. Gemi İnşaatı Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nihat TEKİN

İSTANBUL, 1994

İÇİNDEKİLER :

SAYFA

TEŞEKKÜR.....	I
ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLOLAR LİSTESİ.....	XIV

BÖLÜM 1. YAKIT SİSTEMLERİ

1.1.Gemi diesel motorlarında yakıt sistemlerine giriş	1
1.1.1.Yakıt sistemi ve devresi	1
1.1.2.Püskürtme sistemi.....	5
1.2.Yakıt püskürtme sistemi elemanları.....	10
1.2.1.Püskürtme pompası.....	10
1.2.1.1.Püskürtme pompasının sınıflandırılması.....	11
1.2.1.2.Kam mili ile tahrik edilen püskürtme pompası.....	13
1.2.1.3.Dağıtım tertibatlı püskürtme pompası.....	27
1.2.2.Enjektörler.....	27
1.2.2.1.Enjektörlerin sınıflandırılması.....	28
1.2.2.1.1.Açık meme.....	28
1.2.2.1.2.Kapalı meme.....	31
1.3.Gemilerde kullanılan yakıtın özellikleri.....	38
1.4.Gemilerde kullanılan yakıt temizleme sistemleri ve geleceğin yakıtlarının seçilmesi.....	52
1.4.1.Giriş.....	52

1.4.2. Konvansiyonel yakıt temizleme sistemleri.....	52
1.4.2.1. Temizlemenin esasları.....	52
1.4.2.2. Klasik purifayer çalışma sistemi.....	53
1.4.2.3. Klasik klarifayer çalışma sistemi.....	54
1.4.2.4. Purifayer ve klarifayerin avantaj ve dezavantajları.....	55
1.4.2.5. Purifayer ve klarifayerin seri olarak çalışması.....	55
1.4.3. Günümüzün yoğunluk limitleri.....	56
1.4.4. Yüksek yoğunluklu yakıtların işlenmesi.....	58
1.4.4.1. Purifayerler.....	58
1.4.4.2. Klarifayerler.....	59
1.4.4.3. Yüksek yoğunluk separatörü - ALCAP.....	64
1.4.4.4. ALCAP'ın çalışma prensibi.....	64
1.4.4.5. Su transduserinin kontrol ikaz prensibi.....	65
1.4.4.6. Boşaltım prensibi.....	66
1.4.4.7. Deneylerden elde edilen sonuçlar.....	67
1.4.4.8. Otomatik viskozite kontrol sistemi.....	69
1.4.5. Makinaya ait yakıt özellikleri.....	71
1.4.5.1. Katalitik ince partiküller (cat-fines).....	71
1.4.5.2. Kükürt.....	73
1.4.5.3. Su.....	75
1.4.5.4. Yoğunluk.....	76
1.5. Ağır fuel-oil yakıtlardan katı partiküllerin separasyon çalışmaları ile ilgili bir uygulama.....	80
1.5.1. Amaç.....	80
1.5.2. Yakıt.....	80
1.5.3. Separatörler.....	80
1.5.4. Katı partiküller ve katalitik ince partiküllerin analizi.....	80
1.5.4.1. Partikül sayısı.....	81
1.5.4.2. Katalitik ince partiküllerin analizi.....	81
1.5.5. Arayüzey pozisyonu.....	82
1.5.5.1. Doğru arayüzey pozisyonu.....	82
1.5.5.2. Arayüzeyin doğru olmayan pozisyonu.....	83
1.5.6. Separatör çalıştırma modu (yerleştirilmesi).....	83
1.5.7. Deney sonuçları.....	84
1.5.7.1. Akış oranının etkileri.....	84
1.5.7.2. Arayüzey pozisyonunun etkileri.....	85

1.5.7.3.Çalışma modunun etkileri.....	86
1.5.7.4.Alınan verilere göre elde edilen sonuçlar.....	88
1.5.8.Gemide yapılan araştırma sonuçları.....	88

BÖLÜM 2.YAĞLAMA YAĞI SİSTEMLERİ

2.1.Yağlama ve triboloji.....	89
2.2.Yağlama rejimleri.....	90
2.2.1.Hidrodinamik yağlama rejimi.....	90
2.2.2.Sınır yağlama rejimi.....	92
2.2.3.Geçiş yağlama rejimi.....	93
2.3.Yağlama çeşitleri.....	93
2.3.1.Sıvı yağlama çeşidi.....	93
2.3.2.Katı yağlama çeşidi.....	94
2.3.3.Gaz yağlama çeşidi.....	95
2.4.Sürtünme.....	96
2.4.1.Sürtünmenin tanımı.....	96
2.4.2.Yağlamalı durumda sürtünme.....	96
2.4.2.1.Kuru yağlama rejimi sonucu kuru-sınır sürtünme.....	97
2.4.2.2.Hidrodinamik yağlama rejimi sonucu sıvı sürtünme.....	98
2.4.3.Yuvarlanma sürtünmesi (Elastohidrodinamik yağlama).....	99
2.4.4.Sürtünme işi.....	100
2.4.5.Sürtünme ile sıcaklık artışı.....	101
2.4.6.Sürtünmenin silindirdeki etkisi.....	104
2.4.6.1.Silindir sürtünmelerinde segmanların etkisi.....	105
2.4.6.2.Silindirde sürtünme kuvvetleri.....	109
2.4.7.Sürtünmenin yataklardaki etkisi.....	111
2.5.Gemi diesel motorlarında yağlama problemi.....	117
2.5.1.Newton'un yağlama prensibi.....	117
2.5.2.Gemi diesel motorlarında yağlamanın amacı.....	118
2.6.Gemi diesel motorlarında yağlama gerektiren elemanlar.....	119
2.6.1.Yatakların yağlanması.....	119
2.6.1.1.Yağın yataklara sevkı.....	119
2.6.1.2.Krank ana yatağının yağlanması.....	124
2.6.1.3.Krank kolu yataklarının yağlanması.....	130
2.6.1.4.Piston pimi yataklarının yağlanması.....	133
2.6.1.5.Eksenel yatakların yağlanması.....	135
2.6.1.6.Crosshead kızakları ve yataklarının yağlanması.....	138

2.6.2.Yatak yağlama problemleri.....	141
2.6.2.1.Muylu ile yatak arasında oluşması gereken boşluk.....	142
2.6.2.2.Yağın yatağa sevk.....	142
2.6.3.Silindirlerin yağlanması.....	146
2.6.3.1.Silindir yağlama sistemleri.....	148
2.6.3.1.1.Lubrikatörler.....	150
2.6.3.1.2.Akümülatiyonlu yağlama sistemi.....	154
2.6.3.1.3.Yağ nozülllerinin önündeki basınç değişimleri.....	155
2.6.3.1.4.Akümülatörünün çalışma sistemi.....	156
2.6.4.Pistonların yağla soğutulması.....	158
2.6.4.1.Yağlama açısından piston konstrüksiyonları.....	163
2.6.4.1.1.Trunk pistonlar.....	163
2.6.4.1.2.Crosshead'lı pistonlar.....	166
2.6.4.2.Pistonun yağla soğutulmasında dikkat edilecek hususlar.....	166
2.7.Gemi diesel motorlarının ana elemanlarının uygun bir yağlama sağlamak için kontrol edilmesi gereken parametreler.....	169
2.8.Diesel motorlarda kullanılan yağların bozulması ve yağların otomatik kontrollü santrifüj separatör ile arıtılması.....	175
2.8.1.Rafineri artığı yakıtların genel karakteristikleri.....	175
2.8.2.Rafineri artığı yakıt yakan diesel motorlarda kullanılan ağır hizmet yağlarının genel karakteristikleri.....	176
2.8.3.Diesel motorlarda kullanılan yağların bozulması.....	178
2.8.3.1.Suyun kirlenmedeki ve bozulmadaki etkisi.....	178
2.8.3.2.Oksidasyonun bozulmaya etkisi.....	179
2.8.3.3.Yanma ürünlerinin kirlenme ve bozulmadaki etkisi.....	180
2.8.4.Kullanılmış diesel motor yağlarının arıtılması.....	181
2.8.4.1.Yağ arıtma santralleri.....	181
2.8.4.1.1.Dinlendirme tankı.....	181
2.8.4.1.2.Döner fırçalı filtre.....	181
2.8.4.1.3.Santrifüj separatörler.....	183
2.8.5.Otomatik kontrollü santrifüj separatör ile kullanılmış ağır hizmet yağlarının arıtılması.....	185
2.8.5.1.Otomatik kontrollü santrifüj separatörlerinin kullanılması ağır hizmet yağlarının arıtılmasında sağladığı avantajlar.....	186
2.8.5.2.Separasyon işlemine etki eden faktörler.....	186
2.8.5.3.Otomatik kontrol işlemi.....	191

BÖLÜM 3. SOĞUTMA SİSTEMLERİ

3.1. Motorda genel olarak ısı transferi.....	194
3.2. Soğutmanın önemi.....	196
3.3. Makinada ısı dağılımı.....	198
3.4. Isı transferi mekanizmalarının genel olarak incelenmesi.....	200
3.4.1. Isı iletimi (conduction).....	200
3.4.2. Isı taşınımı (convection).....	201
3.4.3. Isıl ısıma (radiation).....	206
3.5. Yanma odasında hava ile yakıtın reaksiyonu sonucu açığa çıkan ısının hesabı.....	207
3.6. Sıcaklığın ısı transferine etkisi.....	210
3.7. Isının pistondaki etkileri.....	211
3.7.1. Pistonda sıcaklık dağılımı.....	211
3.8. Isının silindirdeki etkileri.....	212
3.9. Gemi diesel motor elemanlarının soğutulması.....	213
3.9.1. Silindir çeketlerinin soğutulması.....	213
3.9.2. Silindir başlıklarının soğutulması.....	216
3.9.3. Egzos valflerinin soğutulması.....	219
3.9.4. Enjektörlerin soğutulması.....	220
3.9.5. Turbochargerlerin.....	220
3.9.6. Yatakların soğutulması.....	220
3.9.7. Pistonların soğutulması.....	221
3.10. Gemi diesel motorlarında yanma odası elemanlarının delik soğutma yöntemi ile soğutulması.....	229
3.10.1. Delik soğutma yönteminin uygulamaları.....	232

BÖLÜM 4. YAKIT, YAĞLAMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ETKİLERİ İLE

MOTORDA GÖRÜLEN HASARLAR - " AŞINMALAR "

4.1. Aşınma çeşitleri.....	237
4.1.1. Adhezyon aşınması.....	237
4.1.2. Abrazyon aşınması.....	238
4.1.3. Korozyon aşınması.....	238
4.1.4. Kavitasyon aşınması.....	240
4.1.5. Yorulma aşınması.....	240
4.2. Motorlarda aşınma ölçme yöntemleri.....	243
4.2.1. Spektroskopî.....	243
4.2.2. Ferrografi.....	244

4.2.3. Radyoaktif metod.....	245
4.3. Motorda aşınmaya etki eden faktörler.....	248
4.4. Silindirlerdeki aşınmalar.....	250
4.5. Segmanlardaki aşınmalar.....	252
4.6. Motorlarda aşınma ile ilgili bazı araştırma sonuçları.....	254
4.6.1. ilk aşınmasına etki eden faktörler.....	254
4.6.2. Yakıt cinsinin aşınmaya etkisi.....	259
4.6.3. Cidar sıcaklığının aşınmaya etkisi.....	260
4.6.4. Motor yükünün aşınmaya etkisi.....	263
4.6.5. Laboratuarda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.....	264
4.7. Gemi diesel motorları için yapılmış olan araştırmalar.....	265
4.7.1. Kısmi yükte çalışan gemi diesel motorlarında değişik soğutma sartlarına bağlı segman ve silindir gömleği aşınması.....	265
4.7.1.1. Deneyin tasarımı.....	265
4.7.1.2. ince tabaka aktivasyonu ile aşınma analizi (İTA).....	266
4.7.1.3. Deneysel araştırma sonuçları.....	267
4.7.2. Büyük motorlarda segmanların aşınma tutumlarının analizi ve değiştirilme zamanlarının önceden belirlenmesi.....	277
4.7.2.1. Segmanların değiştirilme zamanlarının önceden belirlenmesi.....	278
4.7.2.2. Deney objesi.....	280
4.7.2.3. Aşınma ölçümü verileri.....	280
4.7.2.4. Yükleme şartları.....	281
4.7.2.5. Sonuçlar.....	281
EKLER.....	288
SONUÇ.....	334
REFERANSLAR VE YARARLANILAN KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	

TEŞEKKÜR

Devamlı üzerinde incelemeler yaptığım bir konuda yüksek lisans tez konusu olarak araştırma olanağını sağlayan ve çalışmalarım da bana destek olan Sayın Hocam Prof.Dr. Nihat TEKİN'e teşekkür etmeyi zevkli bir görev sayarım. Ayrıca araştırmalarım da yardımcı olan Y.T.Ü.Gemi inşaatı Müh. bölümü Aras.Gör.Nurten VARDAR, Tamer YILMAZ ve diğer öğretim görevlisi olan hocalarıma da teşekkür ederim. Enerji Bölümü'nde Y.Müh. Mustafa BENLİDAYI hocama desteklerinden dolayı tekrar teşekkür ederim.

Endüstri kuruluşlarından DENTEK Deniz Teknik Hizmetler A.Ş. 'dan Sayın Tarık YILMAZÇELİK ve ALFA-LAVAL 'den Sayın Burak PABUÇCUOĞLU'na gösterdikleri ilgi ve yardımdan dolayı teşekkür ederim.

ibrahim ÇINAR

istanbul-1994

Gemi ins. & Mak.Müh.

ÖZET

Tüm içten yanmalı makinalarda olduğu gibi, değişik tipteki gemi diesel motorlarında hareket eden elemanların sayılarının çok olmasından ve bu elemanların birbirleriyle uyumlu olarak fonksiyonlarını yerine getirme zorunluluğundan dolayı, gelişen teknolojiye rağmen gemi işletmecileri olan personelin karşısına değişik problemler çıkmaktadır.

Gemide kullanılan makinalardan istenilen önemli özellik, işletme emniyeti ve basitliktir. Gemideki tahrik tesisinin devre dışı olması, hem geminin hem de gemide bulunan yolcu ve mürettebatın hayatlarıyla, taşınan malın tehlikeye girmesi demektir. Bu nedenle, gemi ana makinası ve yardımcı sistemlerinin ağır çalışma ve deniz koşullarında bile emniyetli olarak ve bunlarda etkilenmeyecek tarzda çalışmak zorundadır.

işletme emniyeti yanında, gemi makinalarından istenen bir diğer özellik ekonomik olmasıdır. işte bu noktada elimizde bulunan malzemenin bize sağlayacağı faydayı maksimum düzeye çıkarmak için çareler aranmalı ve konu ile ilgili deneyler yapılmalıdır.

Yakıt, yağlama yağı ve soğutma sistemleri üzerinde yapılan deney ve çalışmalar, bu ekonomik faydayı artıracak yönde gelişmektedir. Özellikle 1973-74 ve 1979-80 yıllarında baş gösteren petrol krizleri sonucunda motor üreticileri de verimi artırıcı ve makinarya minimum hasarları verecek olan bu sistemler üzerinde çalışmaya başlamışlardır. Global olarak sayılı birkaç firmanın son yıllarda yapmış olduğu deneyler ve elde ettikleri sonuçları, bu tezde incelenerek yer verilmiştir.

Bölümler itibariyle yakıt sistemlerinde kullanılan son teknolojik gelişmeler genel olarak incelenmiştir. Günümüzde yakıt işleme tesislerinin ham petrolden kaliteli olarak nitelendirebileceğimiz hafif içerikleri, gemi dışındaki tesislerin kullanımı için piyasaya sürerken, gemi makinaları için rafineri artığı denebilecek ağır yakıtların yakılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Gemi makinaları için yakılması zor olan bu yakıtların verdiği hasarlar oldukça büyüktür, özel olarak makinarya hazırlanması gerekmektedir.

Diğer bir bölümde incelenen yağlama yağları ise hareket eden iki yüzey arasında uyumlu çalışmanın gerçekleştirilmesi için zararlı etkenleri ortamdaki uzaklaştırmalı, hidrodinamik kaldırmayı sağlamalı ve soğutmaya yardımcı olmalıdır. Bu görevleri ile yağlama yağı, elemanların ömürlerini artırıcı veya azaltıcı bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca gemide kullanılan yıllık yağ sarfiyatının tonlar mertebesini bulduğu ve bu nedenle kullanılan yağın ömrünü uzatmak için özel işlemlerden geçirilmesi gerekir.

Soğutma sistemini, makinede yağlamadan ayırmak yerine onunla beraber incelenmesinde yarar vardır. Gelişen teknolojiyle artan termik verim ve güç ihtiyacı, silindir içindeki yanma basıncını ve sıcaklıkları artırmış ve bunun sonucunda motor hem değişken mekanik zorlanmalar hem de değişken değişken termik gerilmelere maruz kalmıştır. Bunların sonucunda kabul edilir sınırlar içinde kalmak koşulu ile etkin bir soğutmaya ihtiyaç vardır.

Tezin son bölümünde, bu sistemlerin makinaryı yolda bozularak stop ettirmeden, makinarya zaman içinde nasıl zarar verdiğini birçok araştırmacı tarafından değişik şartlar altında yapılmış olan deneylerden, zamana bağlı olarak aşınma miktarları incelenmiştir. Burada yakıt, yağlama yağı ve soğutma sistemlerinin silindir gömleği ve segmanlar üzerindeki aşınmaları değişik şartlar sağlayarak incelenmiştir. Sonuçları grafikler halinde sunulmuştur.

Gelecekte bu konu üzerinde yapılacak araştırmalarda bir taban olacak olan tezden, makinanın optimum ekonomik çalışma noktalarını ve uzun bir ömrü sağlayabilmek için yararlanılacaktır. Bu nedenle sonuçta, literatür araştırması olarak gelişmeleri yakalayabilmek için hazırlanmış olan bu tez yararlı olduğu kanaatini taşımaktadır.

ABSTRACT

As in all of the internal combustion engines, because of the great number of elements moving in the various types of vessel diesel motors and because this elements have to function harmoniously, the personell in charge of vessel management is confronted with various problems, in spite of the developing technology.

The features that are required from the engines used in vessels are security and simplicity. If the operation equipment in the vessel is out of order, the lives of both the crew and the passangers together with the goods carried, will be in danger. That is why the vessel main engine and the subordinate systems should work securely and in a way in which they will not be affected even by hard working and sea conditions.

Together with management security, a feature that is also required from vessel engines is that they should be economical. In this point, solutions should be searched for to increase the profit which the stocks at hand can supply to us, to a maximum level and also experiments should be made on the subject.

The experiments conducted on fuel, lubrication oil and coolant systems are more and more useful in aiding to increase this economic advantage. The engine suppliers started working on these profit increasing systems which have minimum negative effects on the engines, especially in the years 1973+74 and 1979+80 when petroleum crises arose. The experiments

made recently by some specific firms and the results they have obtained are herewith handled globally.

The recent technology used in fuel injection systems is discussed in parts. Nowadays, the need for using the heavy fuel-oil which can be thought of as refinery residue, arises as the fuel manipulating foundations present to the market for use out of vessels, soft ingredients of crude oil which are considered to have high quality. The damage this fuel causes is quite great since it is hard to burn it in vessel engines. That is why it has to be specially prepared for the engine.

Lubrication oils which are discussed in separate section have to remove the harmful effects so as harmony is achieved between the two moving parts. This oil should provide for hydrodynamic lifting and should aid cooling. With these functions, lubrication oil appears as a factor which increases or decreases the life span of the elements. Also it has to be specially processed so as to increase the life span of the oil used, since the annual oil consumption in vessels reaches tons.

It would be more useful to handle the coolant systems together with engine lubrication, instead of discussing them separately. The need for thermic efficiency and power which increased with the developing technology increased the burning pressure within the cylinder and the temperature. As a result of this the engine was exposed to varying mechanical difficulties and thermic tensions. Consequently, active cooling is needed with the condition that it is applied within acceptable limits.

In the last section of the thesis, the level of wearing away of the systems within time and how they damage the engine breaking down the engine on the road without stopping it, which is found by many researchers who made experiments under varying conditions, is introduced. Fuel, lubrication oil and the cylinder liner of coolant systems and their wearing away on the segments, are examined. The results are demonstrated in graphics

This thesis, which in the future will provide a basis for the researchers on the subject, will be used for the maximum economic work points of the engine and to provide for a long life. That is why in the end, I think that this thesis will be useful as it was prepared as a literary research to grasp the developments.

SEKİL LİSTESİ :

BÖLÜM 1.

1.1. Tipik bir yakıt sistem şeması.....	2
1.2. Tipik bir yakıt püskürtme-basınç diyagramı.....	6
1.3. Basınç kumanda valfli klasik yapıda bir enjektör.....	6
1.4. Yanma hücresi teşkili ve enjektör konumu.....	7
1.5. Tipik ve çok silindirli yakıt pompası.....	8
1.6. Yakıt püskürtme reglaj mekanizması.....	9
1.7. Eğik kamlı püskürtme pompası.....	12
1.8. By-pass'lı püskürtme pompası.....	12
1.9. Kısıcı ile ayarlanan püskürtme pompası.....	13
1.10. Kam tahrikli ve yakıt borulu püskürme sistemi-Bosch.....	14
1.11. Kam tahrikli pompa-enjektör sistemi.....	15
1.12. Yanma odası basıncıyla tahrikli pompa-enjektör püskürtme sistemi....	16
1.13. Yay tahrikli kam kumandalı pompa-Jendrassik.....	17
1.14. Çok silindirli motor için püskürtme pompasının bir silindirinin kesiti.....	19
1.15. Tek silindirli motorun püskürtme pompasının kesiti.....	19
1.14. Tek delikli pompa elemanı.....	20
1.15. Çift delikli pompa.....	20
1.16. İki delikli pompa elemanının hareketi.....	20
1.17. Yakıt miktarının ayarı.....	21
1.18. Basınç supabı çalışma prensibi.....	23
1.19. Otomatik püskürtme avans ayarlayıcısının çalışması.....	26
1.20. Enjektör kesiti.....	28
1.21. Geri tepmeli açık meme.....	29
1.22. Geri tepmeli açık memenin karakteristiklerinin değişimi.....	29
1.23. Delikli meme tipleri.....	30
1.24. Kapalı iğne meme.....	31
1.25. Delikli memede basınç-debi değişimi.....	33
1.26. Çubuklu meme kesidi.....	33
1.27. Çubuklu meme kesit değişimi.....	35
1.28. Yakıtların sıcaklıkla viskozite değişimi.....	43
1.29. Cetan indexi hesaplanmasında kullanılan nomogram.....	47
1.30. Purifayerde doğru arayüzey pozisyonunun gösterilmesi.....	53
1.31. Klarifayerde doğru olan arayüzey pozisyonunun gösterimi.....	54

1.32.Ölçülen aşınma-SIPWA.....	55
1.33.Yoğunluğun sıcaklıkla değişimi.....	56
1.34. 5 nolu yakıtın 98°C sıcaklıkta katalitik ince partiküllerinin ayrıştırılması.....	60
1.35. 5 nolu yakıtta katıların ayrıştırılma performansı.....	60
1.36. 5 nolu yakıt için separatör girişinde çözünmeyen partikül miktarı..	61
1.37. 5 nolu yakıt için klarifayerde sepere edilmiş çözünmeyen partikül sayısı.....	61
1.38. 5 nolu yakıt için klarifayerde sepere edilmiş çözünmeyen partiküller.....	62
1.39. 5 nolu yakıt için klarifayerde sepere edilmiş çözünmeyen partiküllerin tanımlanması.....	62
1.40. 5 nolu yakıt için zamana bağlı olarak klasik klarifayer performansı.....	63
1.41.Kendinden boşaltımlı yüksek yoğunluk separatörü-ALCAP.....	65
1.43.Otomatik boşaltım tetikleme seviyesi.....	66
1.44.Sepere edilmiş suyun otomatik boşaltımı.....	67
1.45. 6 nolu yakıt için yüksek yoğunluk separatörünün zamana bağlı olarak performansı.....	68
1.46.Viskozif sisteminin ana elemanları.....	69
1.47.Osilatörün çalışma prensibi.....	69
1.48.Viskozite transduserinin sisteme yerleştirilmesi şeması.....	70
1.49.Santrifüj sonunda yakıtın kalitesi.....	72
1.50.Yakıt kalitesine bağlı olarak ortaya çıkan ısı karşılaştırmaları....	74
1.51.Silindir layneri ve birinci segman aşınmasında deniz suyunun etkileri.....	76
1.52.Basınçlandırılmış yakıt sistemi şeması.....	77
1.53.SIPWA segman aşınmalarını ölçen bir sistem.....	78
1.54.Düşük devirli gemi diesel motorlar için kullanılan yakıtların özelliklerinin günümüze kadar değişimi.....	79
1.55.Partikül büyüklük dağılımı analizi.....	81
1.56.Katalitik ince partiküllerin analizi.....	82
1.57.Dengeli dinamik sistem-doğru arayüzey pozisyonu.....	82
1.58.Dengeli dinamik sistem-doğru olmayan arayüzey pozisyonu.....	83
1.59.Separatör çalışma modlarının sematik gösterimi.....	84

1.60. Arayüzey pozisyonu ve akış oranına göre katalitik ince partiküllerin purifayer separasyonunun verimliliği.....	85
1.61. Temizlenmiş besleme yakıtında partikül büyüklüklerinin dağılımında paralel ve seri çalıştırma arasında karşılaştırma.....	87
1.62. Arayüzey pozisyonu ve operasyon moduna bağlı olarak katalitik ince partiküllerin separasyonunun verimliliği.....	87
1.63. Arayüzey pozisyonu ve operasyon moduna bağlı olarak 5-6 mm büyüklüğündeki katıların separasyon verimliliği.....	87
1.64. Katalitik ince partiküllerin gemi deneylerinde incelenmesi.....	88
BÖLÜM 2. YAĞLAMA SİSTEMİ	
2.1. Sonsuz yataklarda hidrodinamik yağ basınçları.....	91
2.2. Sonlu yatak hidrodinamik yağ basınçları.....	92
2.3. Sınır yağlamada kısmi temaslar.....	92
2.4. Yüzey pürüzlülükleri.....	96
2.5. Strinbeck diyagramı.....	97
2.6. Kuru, sınır ve sıvı sürtünme yüzeyleri.....	97
2.7. Tabakalar arası kayma.....	98
2.8. Yuvarlanma sürtünmesi.....	99
2.9. Elastohidrodinamik yağlamada Hertz basınçlar.....	99
2.10. Piston hızının fonksiyonu olarak ortalama sürtünme efektif basıncı.....	105
2.11. Basit piston-segman mekanizması.....	106
2.12. Segman-silindir arasındaki basınç kuvvetleri.....	107
2.13. Sulzer'e ait piston-segman mekanizmalarına bir örnek.....	108
2.14. Trunk piston kuvvetleri.....	109
2.15. Crosshead'li piston kuvvetleri.....	109
2.16. Transducer metodu ile krank açısı ve yüke göre layner sürtünme kuvvetlerinin karakteristik değişimi.....	111
2.17. Yatak polar yük eksantristik diagramları.....	113
2.18. Krank ana yatağı Sommerfeld sayısı.....	115
2.19. Krank ana yatağı yaklaşık sürtünme katsayısı grafiği.....	116
2.20. Newton'un yağlama prensibi.....	117
2.21. Birbiri üzerinde kayan plakalar arasındaki yağ filmi.....	118
2.22. Yatak yağ kanalları konstrüksiyonları.....	121
2.23. Krank yağ kanalları.....	122
2.24. Yağ dolaşım seması ve biyel yağ iletim kanalı-Sulzer.....	123
2.25. Ana yatak.....	125

2.26.Çeşitli yatak burç konstrüksiyonları.....	125
2.27.Bir Harland & Wolff iki stroklu gemi diesel makinasına ait yatak yükleri değişim grafiği.....	127
2.28.Hidrodinamik bölgeyi oluşturan min. yağ derbisi.....	130
2.29.Dış boru destekli krankkolu yatağı.....	131
2.30.Krankkolu yatağına yağ sevk eden kanallar.....	132
2.31.FAG-SLC rulman.....	133
2.32."A" biçiminde piston ping yatağı ve aynı biyele ait krankolu yatağı (H&W diesel).....	134
2.33.Bir eksenel yatak.....	135
2.34.Bir başka eksenel yatak.....	136
2.35.Küçük tarafı çatal şeklindeki biyel.....	138
2.36.Crossheat ve kızaklarda yağlama prensibi.....	139
2.37.Crosshead yağlama sistemi.....	140
2.38.Dişli pompa.....	143
2.39.Yağ sirkülasyon şeması.....	144
2.40.Vida tipi bir pompanın çalışma prensibi.....	145
2.41.Vida tipi pompanın dizayn parçaları.....	145
2.42.Segman-layner arası yağ basınç dağılımları.....	147
2.43.Lubrikatör-M.A.N.	149
2.44.Sulzer RL serisine ait akümülatörlü lubrikatör.....	150
2.45.Silindirlerin lubrikatörle yağlanması.....	151
2.46.Silindir layneri ve üzerinde açılmış yağ kanalları-Sulzer	152
2.47.Cebri beslemeli mekanik lubrikatör.....	153
2.48.Çift pompa tipli cebri beslemeli mekanik lubrikatör.....	153
2.49.Silindir yağlama sistemi.....	154
2.50.Yağlama nozüllerinde basınç değişimi.....	155
2.51.Akümlatör şeması.....	156
2.52.Yağ nozülü kesit resmi.....	156
2.53.Yağlama nozülü konstrüksiyon resmi.....	157
2.54.Pistonun soğutulmasında yağ ve suyun karşılaştırılması.....	159
2.55.Piston yağla soğutma devresi.....	160
2.56.Yatay soğutma kanallı trunk piston-M.A.N.....	164
2.57.Dönel piston-Sulzer Z40.....	165
2.58.M.A.N crosshead'li piston yağla soğutma sistemi.....	167
2.59.Götaverken motorlarının piston yağla soğutma sistemi.....	168

2.60. Birikinti oluşum mekanizmasının prensibi.....	179
2.61. Yağ arıtma santrali şeması-Westfalia.....	182
2.62. Santrifüj separator.....	184
2.63. Yoğunluk-sıcaklık diyagramı.....	188
2.64. Elektrozon selloskop.....	190
2.65. Disk aralarının zaman içinde çamurla dolması.....	193
2.66. Otomatik kontrol kumanda panosu.....	193

BÖLÜM 3.

3.1. Malzeme termal özellikleri.....	195
3.2. Ortalama ısı dağılımı.....	198
3.3. Isı iletimi.....	200
3.4. Isı taşınımı.....	201
3.5. Silindeki sıcaklık gradyeni.....	202
3.6. Konveksiyon ısı transfer katsayısı diagramı.....	203
3.7. Soğutucu hızına bağlı olarak film katsayısını veren diyagram.....	205
3.8. Reaksiyonda yanma odasının durumu.....	209
3.9. Bir çevrimdeki sıcaklık değişimleri.....	210
3.10. Piston kafası, valf ve silindirdeki sıcaklık dağılımı.....	212
3.11. Yaş (A) ve kuru (B) tipi silindir ceketleri.....	213
3.12. Sulzer firmasına ait bir silindir ceket uygulaması.....	214
3.13. İki parçadan yapılmış bir silindir kaveri.....	216
3.14. Silindir kaverinin soğutulması.....	217
3.15. Sulzer firmasına ait bir silindir kafası uygulaması.....	218
3.16. Suyla soğutulan bir valf.....	219
3.17. Yağla soğutulan bir valf.....	219
3.18. Enjektörlerin soğutma sistemi.....	220
3.19. Piston soğutma tertibatı.....	221
3.20. Piston soğutma devresi.....	221
3.21. Fiat firmasına ait su ve yağ soğutmalı piston.....	222
3.22. Piston soğutma kanaldan göta verken.....	223
3.23. Motorda piston soğutma yağı sirkülasyonu.....	224
3.24. Sulzere ait piston soğutma şeması-Sulzer RT.....	226
3.25. Motor soğutma sistemi-Sulzer RT.....	227
3.26. Motor soğutma sistemi-Sulzer RT.....	228
3.27. İki zamanlı bir gemi diesel motorunun yanma odası-Sulzer RTA.....	230

4.19. Masraf = $\int$ (Emniyet).....	283
4.20. Masraf = $\int$ (Verim).....	283
4.21. Faydalanma süresinin Artırılmasının Modellenmesi.....	284
4.22. Tipik aşınma prosesinin gösterimi.....	285
4.23. Birinci segmanın genişliği için bulunan ömür sürelerinin reletif sıklığı.....	286
4.24. Birinci segman boşluğu için aşınma değerlerinin yoğunluk dağılımı (tahrik süresine bağlı olarak).....	287

EKLER

E.1. Silindir gömleğinde oluşan aşınmalara toplu bakış.....	288
E.2. Silindir gömleğinde ÜÖN'da birinci segmanın yapmış olduğu aşınma....	289
E.3. ÜÖN'da birinci segman bölgesinde yağ filminin kopması.....	290
E.4. Silindir gömleğinde oluşmuş yığılma katmanları.....	291
E.5. Silindir gömleği yüzeyinde oluşmuş oluk şeklinde aşınmalar.....	292
E.6. Silindir gömleğinde krom segman nedeniyle oluşan oluklar.....	293
E.7. Silindir gömleğinde oluşan kanyon aşınmaları.....	294
E.8. Büyültülmüş kanyon aşınmaları.....	295
E.9. Silindir gömleğinde kanyon oluşumu.....	296
E.10. Silindir gömleğinde kanyon oluşması.....	297
E.11. Silindir gömleğinde cep şeklindeki aşınmalar.....	298
E.12. Silindir yüzeyinde mikroskop altında parlamış bölgenin görünümü....	299
E.13. Silindir gömleğinde meydana gelmiş çizgisel aşınmalar.....	300
E.14. Çizgisel aşınmaların mikroskop altında görünüşü.....	301
E.15. Egzos valfi yüzeyinde oluşan çeşitli hasarlar.....	302
E.16. SIPWA segman aşınma ölçüm yönteminin prensipleri.....	303
E.17. Kompüterize bilginin hafızaya alınması ve sistemin işlemesi.....	304
E.18. Segmental aşınma pilotları.....	305
E.19. Kısa süreli aşınma işleminin değerlendirilmesi.....	306
E.20. Klasik metodlara göre deney yönteminin karşılaştırılması.....	307
E.21. Metodun üç tip motor üzerinde denenmesinin sonuçları.....	308
E.22. Gemilerdeki araştırma programı.....	309
E.23. Segman aşınma görünüşleri.....	310
E.24. Segman aşınma görünüşleri.....	311
E.25. Makina aşınma süreci.....	312
E.26. Segman aşınmasında silindir besleme yağının dengelenmesinin etkisi	313
E.27. Silindir lubrikatör kutuları arasında besleme yağında değişimler...	314

E.28.Silindir besleme yağı miktarlarının segman aşınma hızlarına olan etkisi.....	315
E.29.Aşınma hızına bozulan besleme yağının etkisi.....	316
E.30.Aşırı layner sıcaklığının etkisi.....	317
E.31.Segmantal aşınmada yakıt kalitesinin etkisi.....	318
E.32.Yakıtın içindeki kükürt miktarı ile segman aşınması arasındaki ilişki.....	319
E.33.Silindir yağlama yağı TBN ile segman aşınması arasındaki ilişki....	320
E.34.Silindir yağlama yağı TBN ile segman aşınması arasındaki ilişki....	321
E.35." BP - SIPWA " segman aşınma testleri.....	322
E.36." BP - SIPWA " segman aşınma testleri.....	323
E.37. 50 TBN, SAE "60" silindir yağlayıcısının performansı.....	324
E.38. 85 TBN, SAE "60" silindir yağlayıcısının performansı.....	325
E.39.Sıcaklık/viskozite ile segman aşınma hızı arasındaki ilişki.....	326
E.40.Bazık yağların segman aşınma hızına etkisi.....	327
E.41.Yeniden dengelenen formülasyonların performansı.....	328
E.42.Yüksek performanslı formülasyonun toplam aşınma profili.....	329
E.43.Temel aşınma faktörlerinin reletif etkileri.....	330
E.44.Segman ömrü, tamir masrafları ve aşınma prosesini etkileyen ana faktörler arasındaki ilişki.....	331
E.45.Silindir gömlek sıcaklığı ve yakıtın içindeki kükürt miktarına bağlı olarak aşınma çeşitlerinin değişimi.....	332
E.46.Dört zamanlı orta devirli MaK Motor serilerine ait zaman zaman dilimlerinde meydana gelen silindir layner aşınma miktarları	333

TABLO LİSTESİ :

BÖLÜM 1.

1.1.Kullanılan test metodları.....	39
1.2.Viskozite eşdeğerlikleri.....	42.
1.3.Sıvı yakıtlara ait üst ve alt ısııl değerleri.....	45
1.4.Diesel yakıtların sınıflandırılması.....	51
1.5.Fuel-oil yakıtların sınıflandırılması.....	51
1.6.Çeşitli yakıtların özellikleri.....	59
1.7.Yüksek yoğunluk separatörünün 6 no.ly yakıtla yapılmış olan deney sonuçları.....	68
1.8.Değişik akış oranında temizlenmiş besleme yakıtın gramındaki katı partikül sayısı.....	84
1.9.Arayüzey pozisyonuna göre temizlenmiş besleme yakıtın gramındaki katı partikül sayısı.....	85
1.10.Doğru arayüzey pozisyonunda çalışma moduna göre temizlenmiş besleme yakıtın gramındaki katı partikül sayısı.....	86
1.11.Doğru olamayan arayüzey pozisyonunda çalışma moduna göre temizlenmiş besleme yakıtın gramındaki partikül sayısı.....	86

BÖLÜM 2.

2.1.Yatak malzemelerinin mekanik özellikleri.....	126
2.2.Artık yakıtların tipik özellikleri.....	176

BÖLÜM 4.

4.1.Demir ve kromun nükleer özellikleri.....	247
4.2.ilk hareket ve rejim çalışma aşınmalarının değişik şartlar altında diesel ve benzin motorlarında seyri.....	256
4.3.Değişik şartlar altında yapılan deneylerde, seçilen standart sartlardaki aşınmalara göre sağlanan % aşınma azalması.....	258
4.4.ilk hareket aşınmasında değişen şarta bağlı olarak ortaya çıkan % azalma.....	259

ANNEXE



BÖLÜM 1.

YAKIT SİSTEMLERİ

1.1. GEMİ DİSEL MOTORLARINDA YAKIT SİSTEMLERİNE GİRİŞ

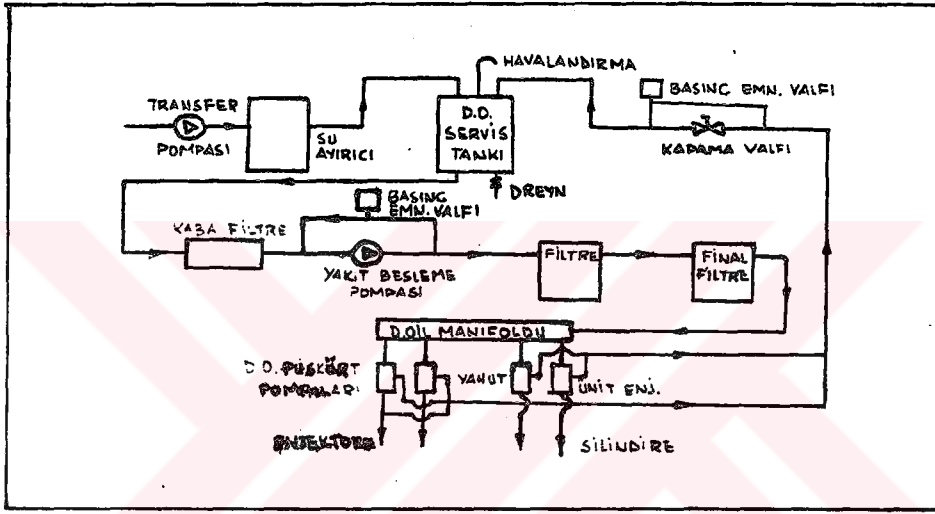
Gemilerde yakıt sistemini iki kısma ayırmakta fayda vardır. Bunlar birinci olarak yakıt püskürtme pompalarına kadar olan kısımdır ve yakıt sistemi olarak adlandırılır. ikinci kısım ise püskürtme pompasından itibaren sonrasını kapsamakta ve püskürtme sistemi olarak isimlendirilmektedir.

1.1.1. Yakıt Sistemi ve Devresi :

Yakıt püskürtme sistemi diesel motorun kalbidir. Yakıt püskürtme sistemi, çok küçük yakıt miktarlarını, yüksek basınçla ve doğru zamanlarda püskürtmek ve püskürtme sonunda ani ve tam kapama yapmak zorundadır. Bundan dolayı, yakıt püskürtme sistemi çok hassas ve duyarlı yapılmaktadır. Bunun için yakıtın, püskürtme pompasına gelmezden önce çok iyi şekilde hazırlanmış olması gerekir. Püskürtme pompasına gelecek yakıtın temiz, katı parçalardan arınmış ve susuz olması lazımdır. Gemi diesel motorlarında ise, deniz suyu büyük tahribat yapabileceğinden bu hususa daha fazla önem verilmelidir. Tuzlu su ihtiva eden yakıtlar, enjektördeki küçük delikleri kemirerek çapsal olarak büyütmede veya daha önce meydana gelmiş korozyon parçacıkları bu delikleri tıkamaktadır. Bunun sonucu, diesel motor gücü düşmekte, pistonun yanması söz konusu olabilmekte, özgül yakıt sarfiyatı artmakta ve dumanlı bir yanma meydana gelmektedir.

Tipik bir yakıt sistemi şekil 1.1'de görülmektedir. Bu sistemde yakıt, günlük tank olarak adlandırılan, yakıt servis tankına bir pompa ile aktarılmakta fakat, tanka girmeden önce, bir su ayırma devresinden geçmekte ve böylece suyun zararlı etkilerini azaltmaya çalışılmaktadır. Bu devre ya bir santrifüj purifayer veya bir su separatöründen oluşmaktadır. Bu yakıt, servis tankından sonra bir filtreden geçerek yakıt besleme pompasına gelir. Yakıt besleme pompası (Booster) küçük güçlü diesel motorlarda, motor kendi sistemleriyle; büyük güçlü motorlarda ise, ayrı bir elektro-motor tarafından tahrik edilmektedir. Yakıt püskürtme pompası girişine gelmezden önce, yaygın

olarak bir ince filtreden ve çoğu kez de final filtre dediğimiz çok hassas filtreden geçmektedir. Yakıt besleme pompasının kapasitesi, yakıt püskürtme pompası kapasitesinin dört katı civarındadır. Artan yakıt, pompa piston ve silindir grubunun soğutulmasında kullanılmakta ve buradan tekrar servis tankına dönmektedir.



ŞEKİL 1.1 Tipik Bir Yakıt Sistem Şeması

Yakıt dönüş devreleri her makinadan ayrı ayrı düzenlenmelidir. Şayet geri dönüş devresi üzerinde bir kapama valfi konulması zorunlu ise, bu takdirde, bir basınç emniyet valfi sistemi by-pass yapmalıdır. Aslında geri dönüş hattına mümkün mertebe valf koymaktan kaçınılmalıdır. Geri dönüş devresinde bir basınç artışı meydana gelirse, boru ve bağlantı yerlerinde meydana gelecek yarıklık ve deliklerden yakıt püskürtmeye veya akmaya neden olabilir ve bir yangın çıkabilir. Bu problemi minimuma indirmek için boru devresinde en az sayıda ek veya bağlantı yapmalı ve bu bağlantılar kaçak yakıtın yağlama yağına karışmasına engel olunacak yerlerde bulunmalıdır.

Sistemde santrifüj separatör (pürifayer) veya statik su separatör cihazı kullanılacağı belirlenmelidir. Pürifayer, kendini temizler tarzda seçilerek, kirli suyun bir toplama tankında birikmesi temin edilebilir. Pürifayerler çeşitli büyüklüklerde yapılmakta ve bir ünite bütün makinalar için gerekli olan yakıt ihtiyacını karşılayabilmektedir. Pürifayerin yatırım masrafları statik su separatörüne nazaran büyük olmasına karşılık bakım masrafları çok düşüktür. Ağır yakıtların işlenmesinde pürifayerin devredeki ısıtıcısı ve kendi servis pompası işletmeye alınmalıdır.

Statik su separatörünün faydası ise, hareketli ve aşınacak şekilde parçalarının bulunmayışıdır. Bunlarda zaman zaman değiştirmek için kartuşlar bulunmaktadır. Bu tür su ayırıcılar artık yakıt ve ağır yağlarda kullanılmaz. Statik su separatörü, bir filtre ve bir su ayırıcıdan oluşmaktadır. Bu tip su ayırıcıda, sulu yakıt önce fenol endirilmiş kağıt filtreden geçirilmekte, burada katı parçacıklar ayrılırken çok küçük parçacıklar ayrılırken çok küçük parçalar halindeki su damlacıkları, filtre kapılar aralıklarından geçerken damlalar halinde birleşmekte ve yerçekimi tesiriyle aşağıya su toplama kabına akmaktadır. Bu arada filtrelenmiş ve bir kısım sudan ayrılmış yakıt ikinci kısım olan su ayırıcıya gelmektedir. Bu su ayırıcı katlanmış, düşey ve su geçirmeme özelliğine sahip bir malzemeden yapılmıştır. Buradaki malzeme, belli poroziteye sahip ve molibdensülfid veya parafin emdirilmiş bir malzemedir. Böylece ikinci kısımdan yalnızca yakıt geçmekte ve yakıt, su ayırıcısının üst tarafından dışarı alınmaktadır. Ayrılan sular ise, aşağıda su toplama kısmında birikmektedir.

Düşük devirli ve büyük güçlü diesel motorlar, genel olarak ağır petrol yakıtı yakmakta ve bunların viskozitelerinin yüksekliği yanında kirlilikleri de büyük olmaktadır. Ağır yakıtların, diesel yakıtlara nazaran büyük farklılıkları bulunduğundan, gerek yakıt sistemine ve gerekse diesel

motorun kendi üzerinde değişiklikler yapılmalı veya uygun önlemler alınması gerekir. Aynı zamanda, ağır yakıt yakan motorların silindir yağlama yağları da özel olmaktadır.

Ağır yakıt ve diesel yakıt arasında şu önemli farklar vardır.

- 1- Ağır yakıtların yoğunlukları diesel yakıtlara nazaran daha büyüktür. Bu nedenle ağır yakıtlardan suyun ayrılması işlemi zorlaşmaktadır.
- 2- Ağır yakıtların viskoziteleri diesel yakıtlara nazaran yüksek olduğundan enjektörde püskürtülebilmeleri için 95-120°C 'a kadar ısıtılmaları gerekmektedir.
- 3- Ağır yakıtların enjektörden püskürtülebilmeleri için önceden ısıtılması gerektiğinden, ağır yakıt yakan motorların işletmeye alınmazdan evvel, enjektör önüne kadar bütün yakıtın ısıtılması zorunludur. Bazı durumlarda ağır yakıt devresi diesel yakıt ile doldurulmakta, ilk işletme ve manevra diesel yakıtla yapıldıktan sonra, denizde sürekli işletmede, ağır yakıtı geçilmektedir.
- 4- Ağır yakıt ile diesel yakıtın yanma karakteristikleri farklı olduğu için motor üzerinde farklılıklar bulunmaktadır. Enjektör püskürtme başlangıcı, ağır yakıtta diesele nazaran daha önce olmaktadır.
- 5- Ağır yakıtların içerisinde büyük miktarda katranımsı maddeler bulunmakta ve bu kısımlar ayrılmazsa, yağlama yağıyla birleşerek lastik şeklinde bileşimler meydana gelmekte, piston segmanları, giriş ve egzoz portları üzerinde ve diğer yerlerde birikintiler yaparak zararlı olmaktadır. Bu katranımsı maddeler santrifüj separatörlerde ayrılmalıdır. Takribe 100°C sıcaklığının üstünde katranımsı maddeler ağır yakıt içerisinde çözündüğü için separasyonları mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, separasyon sıcaklığı 85÷100°C arasında yapılmalıdır.

Yakıt sistemleri ayrıca incelenecektir.

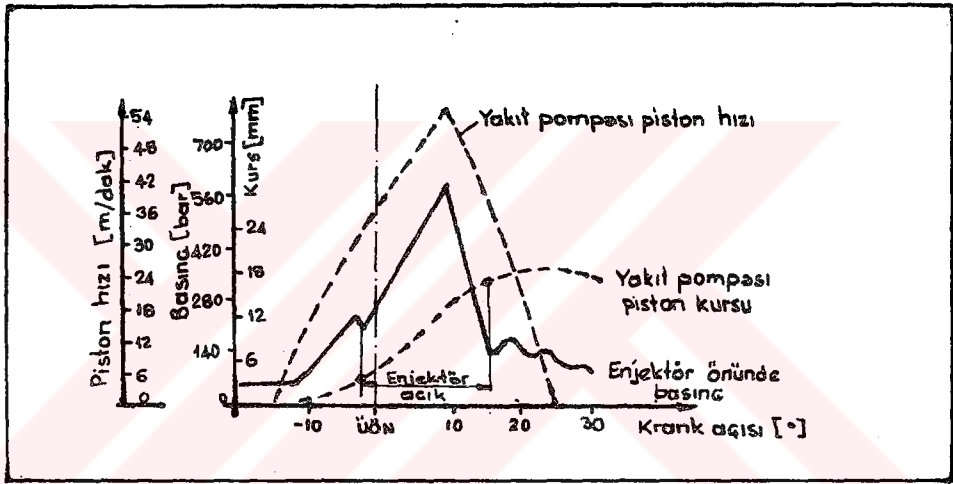
1.1.2 Püskürtme Sistemi :

Daha önce de belirtildiği gibi, yakıt püskürtme sistemi diesel motorun kalbini oluşturmaktadır. Diesel motorlarda, çok küçük miktardaki yakıt, ölçülünerek, yüksek basınçlarda yanma odası içerisine gönderilmekte ve böylece iyi bir yanma sağlanmaktadır. Püskürtme tam ve doğru zamanda gerçekleştirmeli, püskürtme sonunda yakıt ani ve tam olarak kesilmelidir. Ünite enjektörlerde (pompa ve enjektör kombine) tam yükte meydana gelen basınçlar 2800 bar'ın üstünde bulunabilmektedir. Bu basınç çok kısa bir an hüküm sürmektedir. Klasik sistemlerde (pompa ile enjektör ayrı ve bir boru devresi ile bağlantılı) ise, bazı motorlarda, ani basınç değeri bazen 1000 bar'ın üzerine çıkmaktadır. Yüksek devirli diesel motorlarda püskürtmedeki süre 0.001 saniyenin altına inebilmektedir. Enjektör delik çapı 0.12 mm'den başlamakta ve pompa pistonu-silindiri arasındaki boşluk 1.5 μ m. değerinin altında bulunabilmektedir.

Dört zamanlı yüksek ve orta devirli diesel motorlarda yakıt, ya bölünmüş yanma odasına veya doğrudan yanma odasına püskürtülmektedir. İki zamanlı düşük devirli diesel motorlarda ise yakıt doğrudan yanma odasına püskürtülür. Bu tip motorlarda ön yanma odası veya diğer bir deyişle girdap kamarası kullanılmaz. Bu husus göz önünde bulundurulduğu takdirde, buradaki püskürtmenin çok iyi şekilde bir atomizasyonla yapılması gerekmektedir. Yakıtın yanma havası ile karışımını temin etmek için yanma odası içerisinde bir hava hareketi, türbülans meydana getirilmelidir.

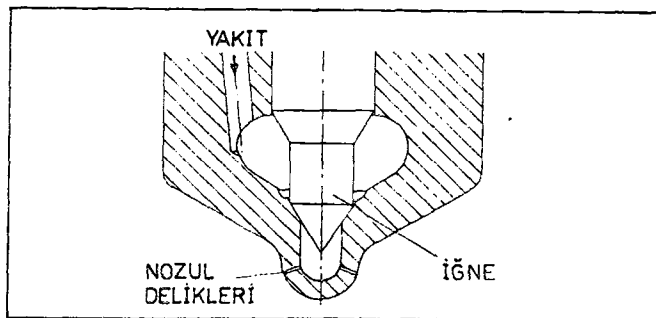
Orta ve düşük devirli diesel motorlarda püskürtme basınç sahası 350÷700 bar değerleri arasında bulunmaktadır. Yakıtın enjektör memesinden çıkış hızı takriben 335 m/s civarında gerçekleşmektedir. Yakıtın yanma odası içine püskürtüldüğü andaki yakıt viskozitesi ise, 35÷125 RWI/ mertebesinde olmaktadır. Yüksek viskoziteli yakıtların püskürtülmeden önce püskürtme

viskozitelerine düşürülmeleri için bir ön ısıtmaya tabi tutulmaları gerekir. Püskürtme periyodu, yakıt kalitesi ve motor devir sayısına bağlı olarak değişmektedir. Düşük devirli diesel motorlarda püskürtme periyodu $15+30^\circ\text{KA}$ krank açısına kadar genişleyebilmektedir. Püskürtme işlemi üst ölü noktadan 10°KA önce başlamakta, yanma olayı ise üst ölü noktadan takriben 5°KA öncesinde başlamaktadır. Şekil 1.2'de yine tipik bir yakıt püskürtme-basınç diyagramı görülmektedir.



ŞEKİL 1.2 Tipik Bir Yakıt Püskürtme-Basınç Diyagramı

Enjektör içerisinde yay kuvveti ile kapanan bir valf bulunur ve valfi meydana getiren iğne ve sit'in iğne kısmı basınç ile kumanda edilir.

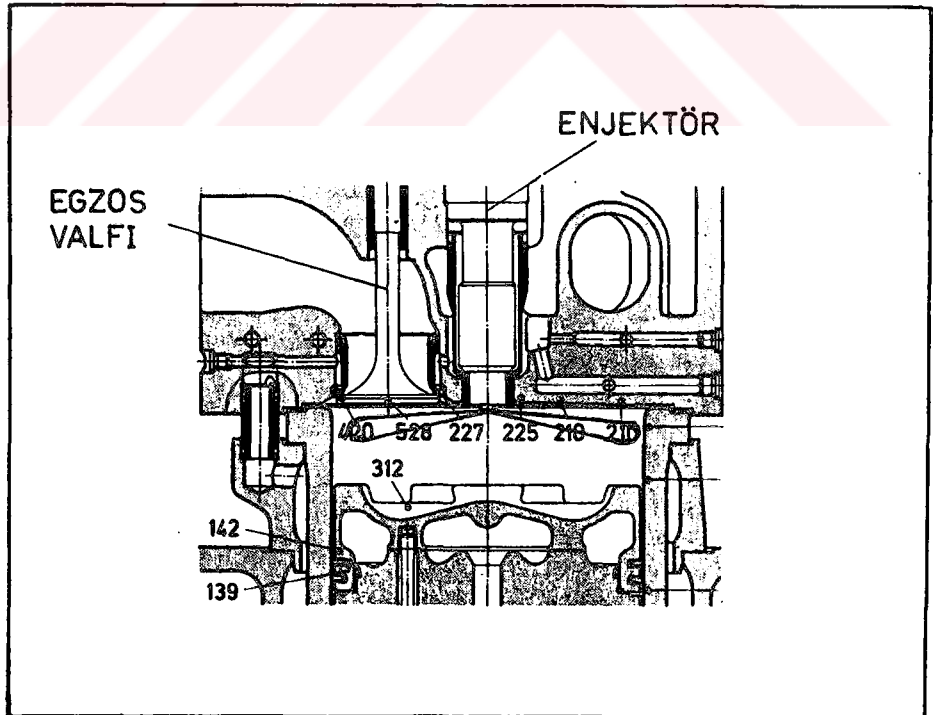


ŞEKİL 1.3 Basınç Kumanda Valfli Klasik Yapıda Bir Enjektör

Şekil 1.3'te böyle bir basınç kumanda valfli klasik yapıdaki bir enjektör kesit resmi basit bir şekilde verilmiştir.Şekil 1.2'te verilen resimde görüldüğü gibi, maksimum basıncın takriben üçte birine ulaşıldığında iğne kumanda edilmekte ve valf açılmaktadır.

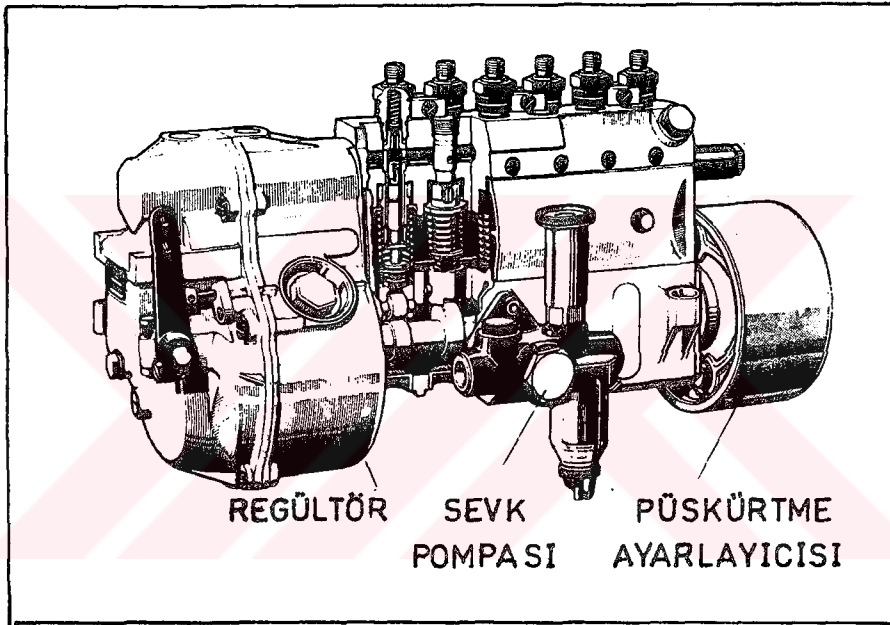
Yanma hücresinin şekli ve enjektörün konumu, püskürtülen yakıtın yakma havası ile azami şekilde karışmasını temin edecek tarzda düzenlenmeli ve yakıt partikülleri yanma odasının içinde, en uzakta bulunan noktalara bile gönderilmelidir.Şekil 1.4'te görüldüğü gibi, enjektörden püskürtülen yakıt yanma hücresi içerisinde uzun bir yol katederek hava ile karışması sağlanmaktadır.Yanma hücresi içerisinde hava hareketi meydana getirilmesi ile de yakıt-hava karışımının homogen bir şekilde olması temin edilmektedir.

Yakıt pompalarına ait pistonlar kamlar vasıtasıyla tahrik edilir. Pistonun geri hareketi ise bir yay kuvveti ile gerçekleştirilir.Tipik bir



ŞEKİL 1.4 Yanma Hücresi Teskili ve Enjektör Konumu

yakıt pompasının resmi şekil 1.5'te görülmektedir. Bütün silindirler için bir yakıt pompası veya basınçlı yakıt deposu kullanılabilmesine rağmen, genellikle her silindir için bir pompa kullanılması daha uygundur. Yakıtın hassas olarak ölçülmesi ve her silindir içerisine aynı miktarda yakıt püskürtülmesi karmaşık bir problemdir. Bu problem, rölanti ve normal işletme durumlarında büyük yakıt miktarı farkı olan, ortalama efektif basıncı yüksek motorlar için daha büyük önem taşımaktadır.

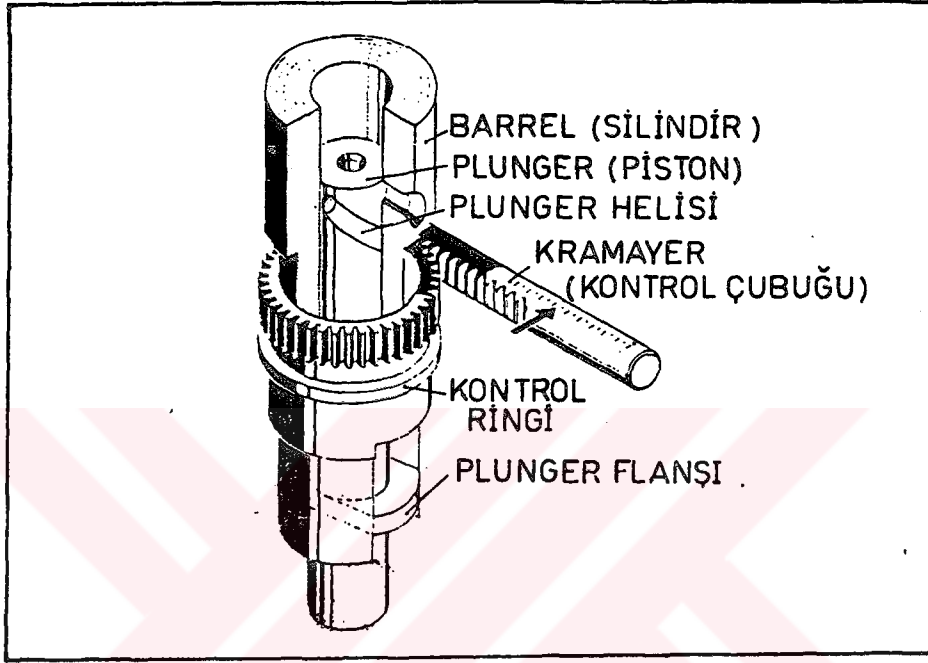


ŞEKİL 1.5 Tipik ve Çok Silindirli Yakıt Pompası

Gemi diesel motorlarının geniş bir devir sahası içerisinde olan çalışma zorunluluğu ve yakıtların yanma özellikleri nedeniyle, silindir içerisine enjekte edilen yakıtın, püskürtme başlangıç veya bitişinin ayarı yapılması gerekmektedir. Yakıt püskürtme pompasının pistonu üzerinde spiral yada helis tarzında bir kanal ve bir kontrol manşonu bulunmaktadır. Kontrol manşonu şekil 1.6'da detaylı olarak görülmektedir.

Kontrol manşonunun döndürülmesiyle piston üzerindeki kanal ve kontrol yarığı giriş deliğine göre döndürülerek yakıtın enjeksiyon sonu

değiştirilmekte ve bu sayede püskürtülen yakıtın miktarı da ayar edilmesi mümkün olmaktadır. Şekil 1.6'da görülen pompada püskürtme başlangıcının değiştirilmesi, kam milindeki pompa kamının döndürülmesi ile sağlanmaktadır.



ŞEKİL 1.6 Yakıt Püskürtme Reglaj Mekanizması

Yüksek püskürtme basıncı nedeniyle, yüksek basınca maruz borularda meydana gelecek genleşme ve diğer taraftan yakıtın sıkışıp hacminin küçülmesi kaçınılmaz bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum enjektör içindeki basınç yükselmesini etkileyeceğinden püskürtmede bir gecikmeye neden olur. Yakıt akışını düzenlemek ve silindirler arasındaki yakıt giriş miktarlarını dengelemek bakımından, bütün yüksek basınç boru devrelerini yani, her silindire giden basınç boru devrelerini yani, her silindire giden yüksek basınç hattı uzunluğunu eşit yapmak, mümkün olabildiğince kısa tutmak ve kalın etli borular kullanmak gerekmektedir.

Daha sonraki bölümlerde yakıt sistemleri tekrar incelenecektir.

1.2. YAKIT PÜSKÜRTME SİSTEMİ ELEMANLARI

Diesel motorlarında yakıt sisteminin amacı yakıtı, tanktan yakıt pompasıyla emip gerekli işlemleri yaparak, son olarak filtrelerden geçirip püskürtme pompası vasıtasıyla enjektör memeleri aracılığıyla yanma odasına göndermektir. Yüksek devirli motorlarda püskürtmenin çok kısa bir zamanda (örneğin 1.6 milisaniye) gerçekleştiği ve dakikada yaklaşık olarak ≈ 1650 püskürtme yaptığı gözönüne alınırsa, yakıt sistemine düşen görevin önemini daha iyi anlamak mümkün olur.

Diesel motorlarında yakıt, yakıt sistemini oluşturan elemanlardan geçerek yanma odasına ulaşır. Yakıt sistemleri motora göre birtakım farklar gösterirse de esasında hepsi aynıdır. Belli başlı şu elemanlardan oluşur ;

- Püskürtme pompası
- Yakıt sevk pompası
- Enjektör
- Filtre

Buna göre yakıt sevk pompası, yakıtı tanktan emer ve önce yakıt filtresine basar. Bunun için genellikle yakıt tankı filtreye nazaran aşağıda bulunur. Filtre, yakıt içinde bulunan hava, buhar habbecikleri, işletme için zararlı pislikleri geri dönüş valfi ile tekrar tanka göndererek temizler. Filtrede temizlenmiş olan yakıt püskürtme pompasına akar. Püskürtme pompası hareketini kam milinden ya bir dişli, yada kavramayla alır. Püskürtme pompası her bir silindire gönderilmesi gereken yakıt miktarını ayarlar ve yakıtı borular ile veya doğrudan doğruya enjektöre, oradan da yanma odasına içine püskürterek yanma olayını sağlar.

1.2.1. Püskürtme Pompası :

Püskürtme pompası genellikle hareketi kardan alır ve piston basınç valfi, yakıt ayarlayıcısı ve regülatörden oluşur.

Ekonomik-güvenilir motor çalışmasına ulaşabilmek için püskürtme pompası ve enjektörün aşağıdaki özelliklerde olması gerekir;

- 1- Püskürtme pompası çevrim başına belli bir miktar yakıt göndermeli ve bu miktar yüke bağlı olarak değişmelidir. Bosta çalışma halinde, tam yükte çalışmaya oranla 4 ila 10 defa daha az yakıt göndermelidir.
- 2- Yakıtın silindir içine püskürtülmesi, püskürtme kanunlarına göre motorda istenilen zamanda olmalıdır. Yani püskürtme tam zamanında başlamalı ve püskürtme süresi saptandığı ölçüde olmalıdır.
- 3- Yakıt, yanma odasına uyacak biçimde parçalanarak püskürtülmeli ve motora emilen taze havanın kullanılmasına uygun olacak biçimde dağılmalıdır.
- 4- Çok silindirli motorların her bir silindirinde karışım oluşumu ve yanma olayının aynı şekilde olması için eşit miktarda yakıt göndermelidir.
- 5- Maximum devir sayısında da enjektörün ard damla yapmamasını sağlamalıdır.
- 6- Bosta çalışma durumunda yakıtın parçalanması, kararsız yanmaya neden olmamalıdır.
- 7- Püskürtme pompasını oluşturan elemanlar olanaklar içinde az aşınmalıdır.
- 8- Boyutu, ağırlığı ve fiyatı en düşük olmalıdır.

Çok çeşitli yapım biçimi ve işletme koşullarına bağlı olan yakıt püskürtülmesi çok karışık ve kararsız bir olaydır. Bugünkü duruma göre bütün bu etkenlerin tam olarak gözönüne alınması ile püskürtme pompası ve bununla beraber enjektörün çalışmasının teorik olarak incelenmesi bazı kabuller ve yaklaşımlarla mümkün bulunmaktadır. Bu incelemeler sonucu püskürtme pompası ve enjektör elemanlarının boyutlandırılması için bazı kurallar elde edilir.

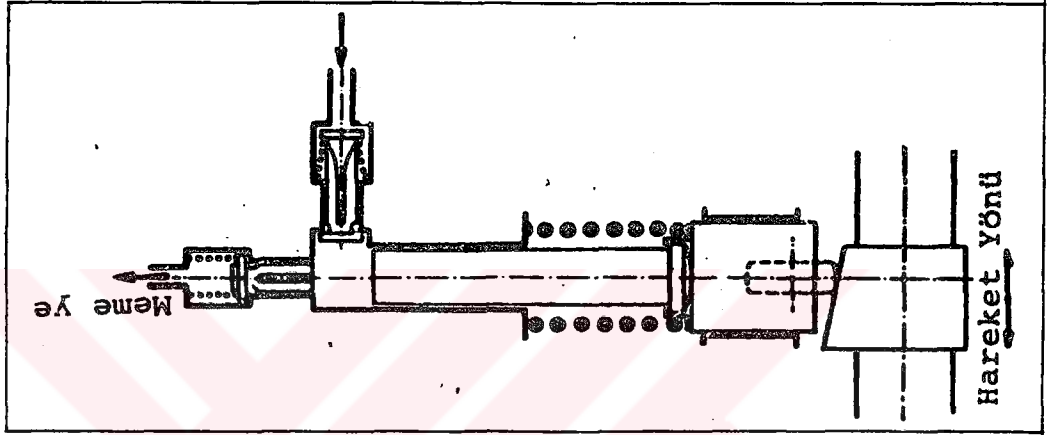
1.2.1.1. Püskürtme Pompasının Sınıflandırılması :

Püskürtme pompası çok çeşitlidir. Bu nedenle birçok şekilde sınıflandırmak mümkündür. Bunun için üç tip sınıflandırma mümkündür ;

a-) Pompa Yakıtının Ayarlanmasına Göre :

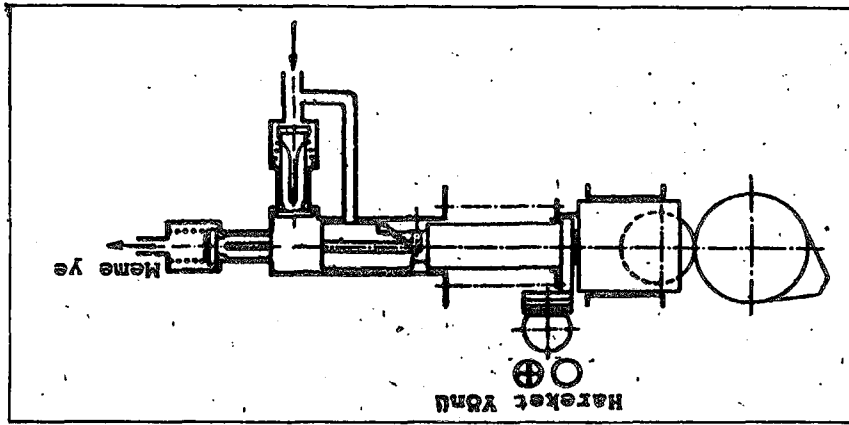
Motordan istenilen güce göre gereken yakıt miktarının ayarlanması şekline bağlı olarak püskürtme pompaları üç gruba ayrılır. Bunlar ;

1- Eğik Kamlı Pompalar : Bu sistemde pompanın pistonu (plunger) bütün strok boyunca yakıt sevkeder. Ancak miktar ayarı, eğik kamla ayarlanan piston stroku ile sağlanır (şekil 1.7). Şekilde görüldüğü gibi pistonu hareket ettiren kamın profili eksenin bir ucundan diğer ucuna doğru değişme olarak küçülmektedir. Bu tip pompalara Deutz ve Ganz pompaları örnek olarak gösterilebilir.



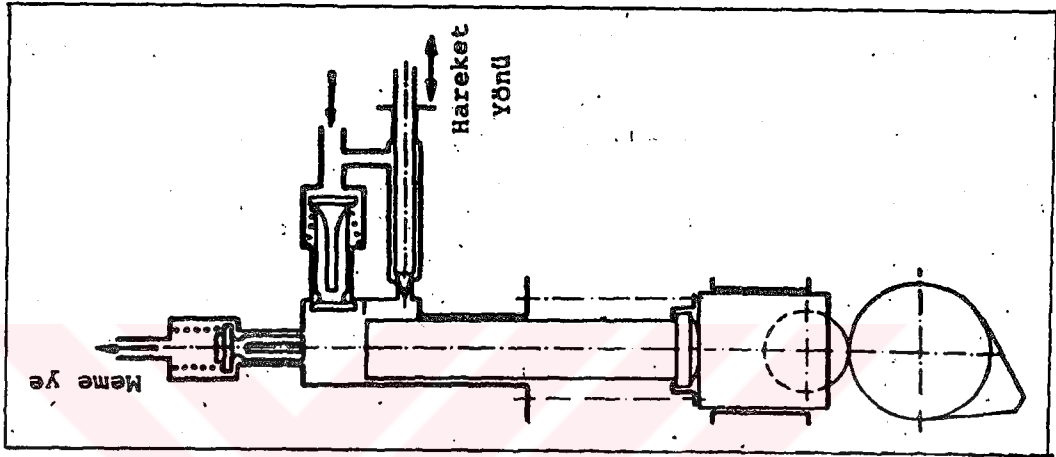
ŞEKİL 1.7 Eğik Kamlı Püskürtme Pompası

2- Bypass'lı Pompalar : Genellikle mekanik püskürtmeli motorlarda kullanılır. By-pass'lı pompalarda piston strokunun yalnız bir kısımdan yakıt göndermek için faydalanır (Şekil 1.8). Geri kalan stroktaki yakıt emme odası yönüne gönderilir. Yakıtın geri akışı piston hareketine bağlı bir subap vasıtasıyla sağlanır. Bu tip en uygun pompa tipi Bosch'tur.



ŞEKİL 1.8 By-pass'lı Püskürtme Pompası

3- Kısılmalı Pompalar : Kısııcı ile ayarlanan pompada sabit piston stroku ile çalışır (Şekil 1.9). Burada pompa boşluğu bir kısııcı üzerinden emme odasına birleştirilerek, gönderme stroku sırasında pistonun ittiği yakıt miktarı ikiye ayrılır. Kısııcının geçiş genişliği değiştirilmek sureti ile memeye gönderilecek miktar ayarlanır.



ŞEKİL 1.9 Kısııcı ile Ayarlanan Püskürtme Pompası

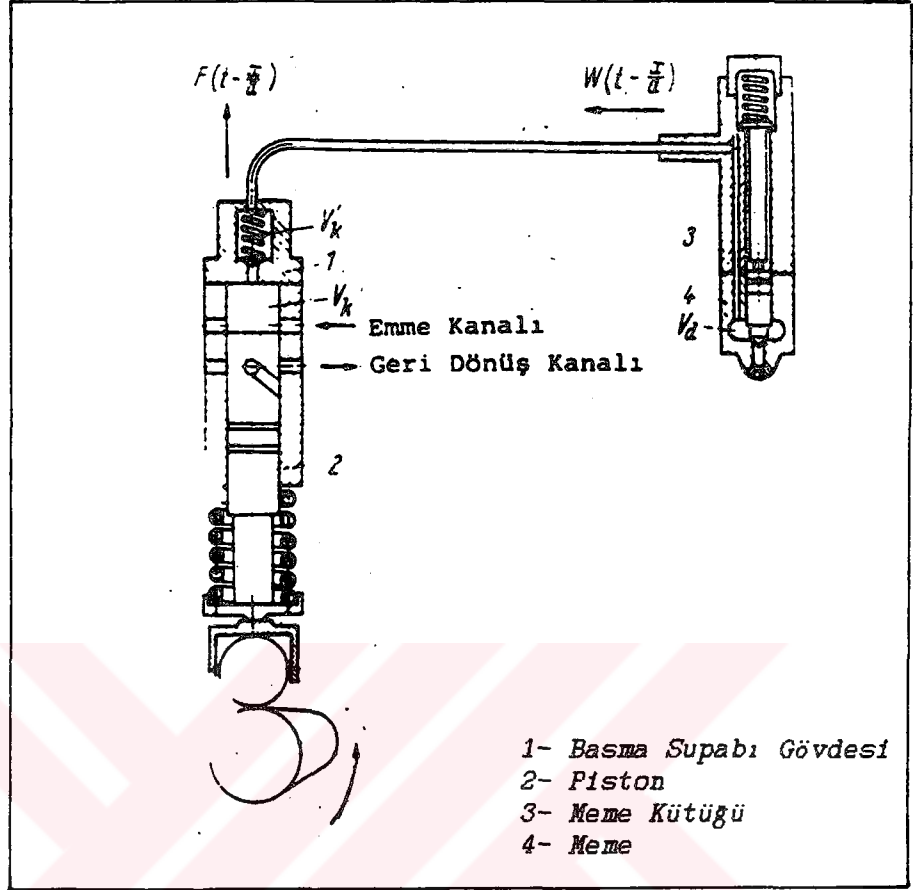
b-) Tahrik Şekline ve Enjektör Bağlantısına Göre :

Püskürtme pompaları burada da kendi arasında dört gruba ayrılır.

1- Kam Tahrikli ve Borulu Püskürtme Pompaları :

En çok kullanılan püskürtme pompasıdır (Şekil 1.10). Bu sistem kısa veya uzun yakıt borusu ile bağlanmış olan enjektör ve püskürtme pompa elemanlarından oluşmaktadır. Mekanik tahrikli püskürtme pompası ile enjektör mümkün olduğu kadar küçük kesitli (1.2÷2.5 mm. çaplı) yakıt borusu ile birleştirilmiştir.

Püskürtme basıncı mekanik tahrikten dolayı daha ziyade motorun dönme sayısına bağlıdır. Sıkıştırılabilir akışkan ile dolu olan pompanın silindir hacminde ve meme ile bunları birbirlerine bağlayan yakıt borusunda oluşan titreşim püskürtme kanununu etkiler.



ŞEKİL 1.10 Kam Tahrıklı ve Yakıt Borulu Püskürtme Sistemi (Bosch)

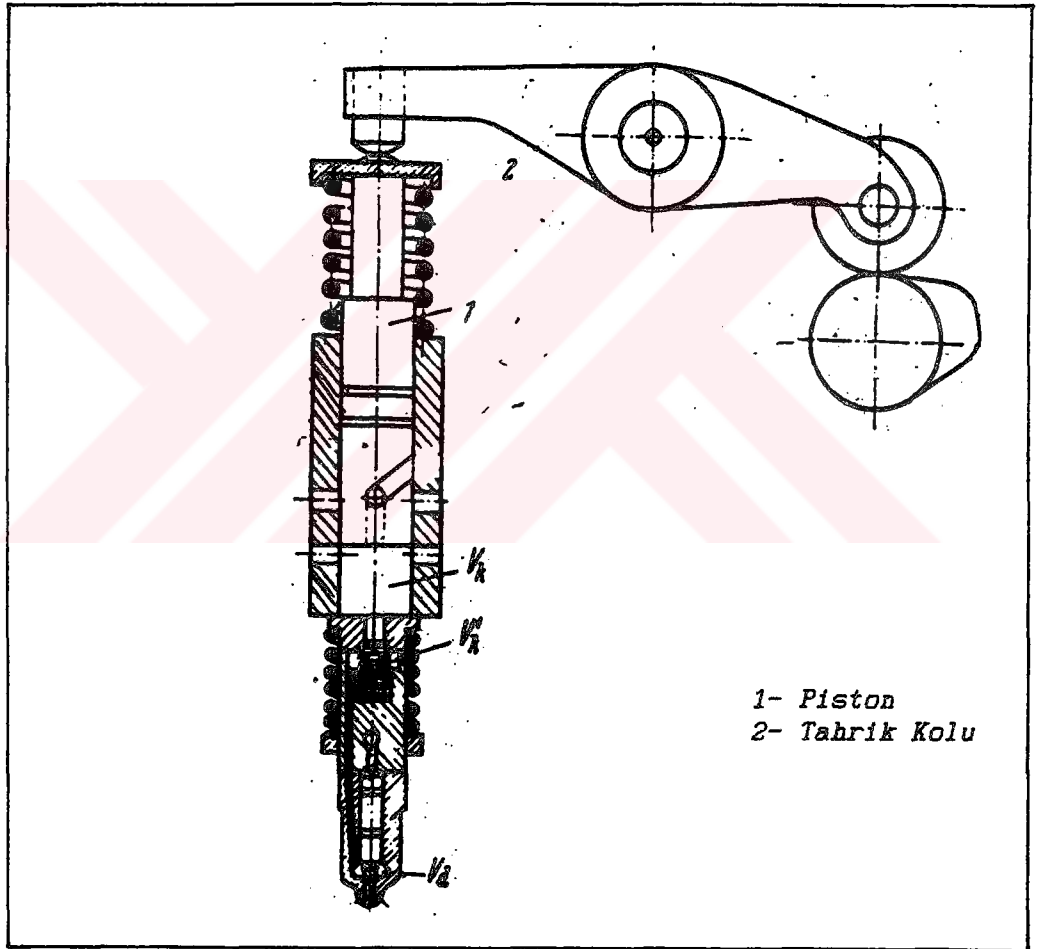
Bu sistemde püskürtme pompasına bağlı olan enjektör genellikle kapalı meme tipindedir.

Her pompa elemanı, silindir ve silindir içinde ileri-geri hareket eden pistondan oluşur. Pompa elemanının sayısı, motorun silindir sayısına eşit olur. Pompa pistonu ile silindiri çok yüksek basınçlarda dahi sızdırmaz olacak şekilde birbirlerine uymalıdır. Bu yüzden arıza halinde pompanın tek bir pistonu veya silindiri değil tamamı değiştirilmelidir. Silindirde genellikle birbirine karşı iki radyal delik bulunur. Buradan emilen yakıt basınç odasına gider. Genellikle piston stroku sabittir. Yakıt miktarı piston üzerinde bulunan çeşitli yarıklar vasıtasıyla ayarlanır. Piston AÖN'da iken basınçlı yakıt silindiri doldurur. Piston yukarıya doğru hareket etmeye

başladığı zaman silindirdeki yakıt sıkışmaya başlar ve piston silindirdeki deliği kapatmadan önce bir kısım yakıt delikten kaçar. Pistonun bu noktadan sonraki hareketi yakıtın basıncını arttırır. Pistonun kendi eksenini etrafında döndürülmesi halinde strokun yakıt basma miktarı değiştirilir.

2- Kam Tahrikli Pompa-Enjektör Sistemi :

Bu sistem bir çok motorda kullanılmaktadır (Şekil 1.11). Sistemde pompa ile enjektör ortak bir gövdede bulunmaktadır. Yakıt borusu ortadan



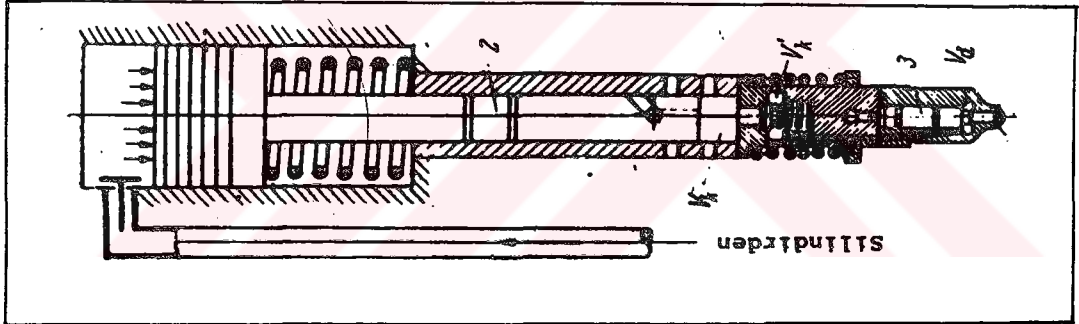
ŞEKİL 1.11 Kam Tahrıklı Pompa-Enjektör Sistemi

kaldırılmıştır. Bu nedenle elastik titreşimlerin etkisi önemli derecede azalmaktadır. Ancak bu sistemde püskürtme kanunu, borulu sisteme göre, piston

sevk kanunundan farklı cereyan etmektedir. Püskürtme sisteminin hesabı da oldukça basitleşmektedir. Bu sistemde kullanılan meme tipleri açık meme veya kapalı meme olabilmektedir.

3- Yanma Odası Basıncı ile Tahrikli Pompa-Enjektör Sistemi :

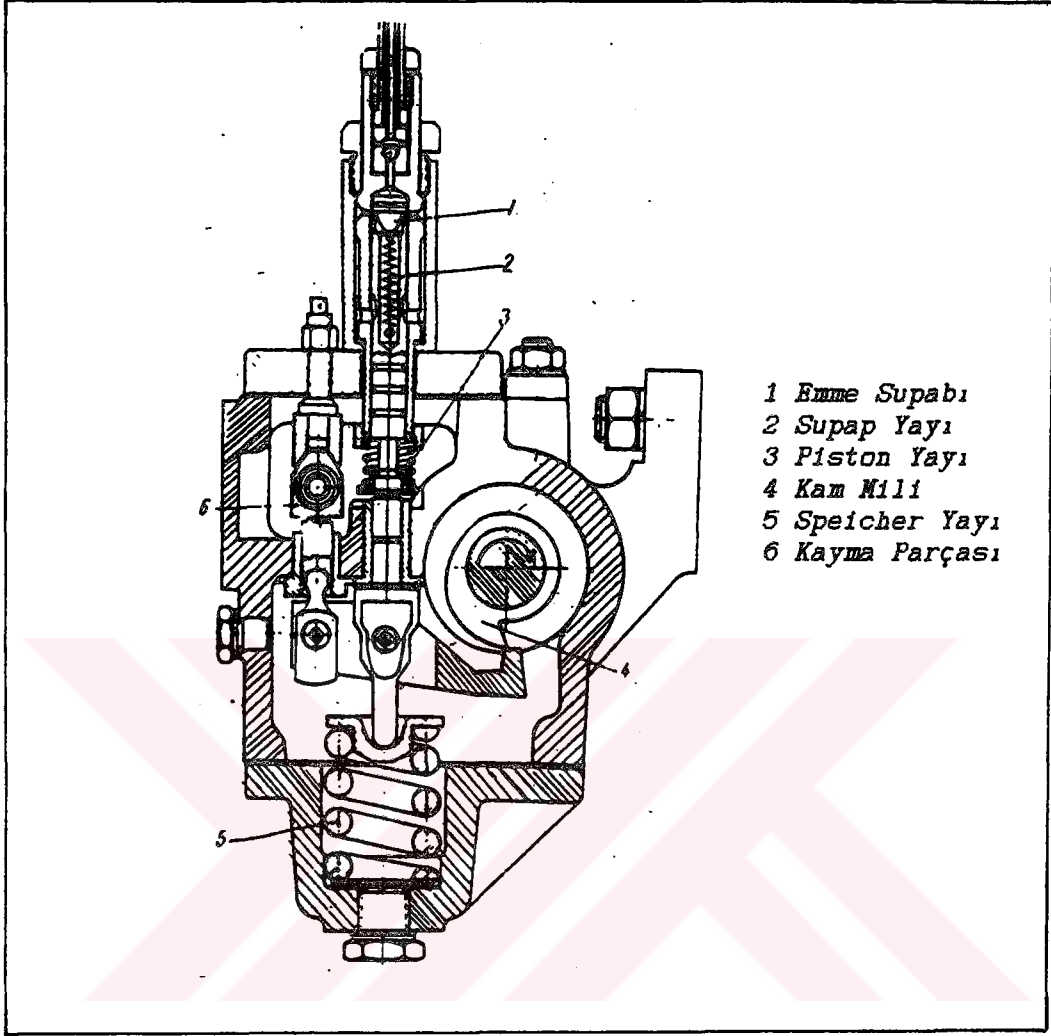
Bu sistemde genellikle pompa-meme aynı gövdede bulunur. Sistemin (Şekil 1.12) öncekinden farkı, kam mili görevini, motorun silindiri ile bağlantılı olan püskürtme pompasının silindir-piston ikilisinin yapmasıdır. Motor silindirindeki basınç istenilen zamanda supabı açar ve pompaya ait silindire etki ederek pompa pistonunu aşağı doğru iter ve böylece püskürtme meydana gelir. Bu sistemde yakıt demetinin parçalanma kalitesi diğerlerine göre daha iyidir. Ancak sistemin hesabı diğerlerinden farklıdır.



ŞEKİL 1.12 Yanma Odası Basıncıyla Tahrikli Pompa-Enjektör Püskürtme Sistemi

4- Yay Tahrikli Püskürtme Pompası :

Bu sistemde tahrik yay etkisiyle yapılmaktadır (Şekil 1.13). Pompadaki emme supabı açıldığında pompa pistonu silindir içinde aşağı doğru hareket eder ve yakıt emme odasından basınç odasına geçer. Speicher yayı ile piston yukarı itilerek emme supabı kapanır ve basma supabı açılır. Böylece yakıt, püskürtme borusunda motora gider. Yay, kaldıraç üzerinde kademesiz kam vasıtasıyla ön gerilme altındadır. Kaldıraca ait dönme noktasının aşağı ve yukarı çekilmesiyle yakıt miktarı ayarlanabilir. Bu sistem düşük devirlerde çalışır.



ŞEKİL 1.13 Yay Tahrikli Kam Kumandalı Pompa (Jendrassik)

de aynı gönderme hızına ulaşabilmektedir. Böylece düşük devirlerde yakıt demetinin parçalanması daha iyi olmaktadır. Bunlarda genellikle açık meme kullanılır, bazen kapalı meme olabilir. Ancak bu sistemde püskürtme basıncı en fazla 200 ila 300 bar olabilmektedir. Bu sistem çok az kullanılmaktadır.

c-) Püskürtme Pompasının Çalışma Şekline Göre :

Püskürtme pompası, çok çeşitli olmakla beraber çalışma şekline göre iki grupta toplanabilir.

- Kam mili ile tahrik edilen püskürtme pompası
- Dağıtıcı tertibatlı püskürtme pompası

1.2.1.2. Kam Mili ile Tahrik Edilen Püskürtme Pompası :

Püskürtme pompası, motorun bütün silindirlerine ait olabileceği gibi her bir silindir için bir püskürtme pompası da olabilir. Genellikle toplam stroku sabit kalan fakat faydalı stroku değişen püskürtme pompaları kullanılır (Bosch). Böyle bir sistemde yakıt besleme pompası, yakıtı tanktan emer ve filtre kanalıyla püskürtme pompasının emme odasına gönderir.

Püskürtme pompası toplu bir durumda şekil 1.5'de gösterilmiş ve şekil 1.14 ve şekil 1.15'te pompaların kesitleri görülmektedir. Burada pompa silindirine gelen yakıt, daha sonra pompa elemanının basınç odasına ulaşır. Kam milinde hareketi alan pompa pistonu, yakıtı basınç supabı üzerinden yakıt borusuna ve oradan meme vasıtasıyla yanma odasına püskürtür. Basma stroku sonunda pompa pistonu, silindir yayı ile tekrar kendi yuvasına oturur.

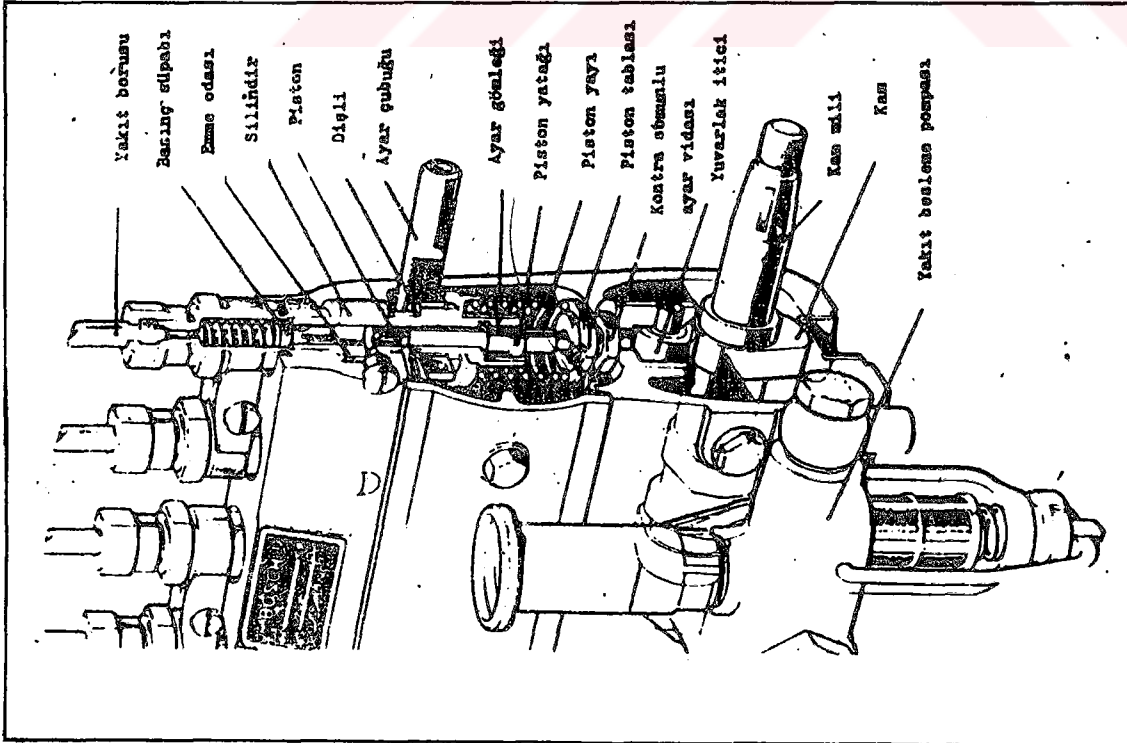
Püskürtme pompası genel olarak; pompa elemanı, basınç supabı, yakıt miktar ayarlayıcısı, regülatör ve püskürtme avansı ayarlayıcısından oluşmaktadır. Şimdi bunları tek tek inceleyelim.

A) Pompa Elemanı :

Her pompa elemanı, yayla yüklenmiş bir piston ve pistonun içinde hareket etmesini sağlayan silindirden oluşur. Pistonun uzantısı pompa, kam milinin kamı üzerine oturur.

Pistonun bir kenarında yarık vardır. Bu yarığa kumanda yarığı adı verilir. Silindirin gövdesinde yakıtın silindire akışını temin etmek için bir veya iki delik açılmıştır. Silindir gövdesinde tek ve iki delik bulunan pompa elemanı, tam ve kısmi yüklerdeki durumuna göre şekil 1.14 ve 1.15'te görülmektedir.

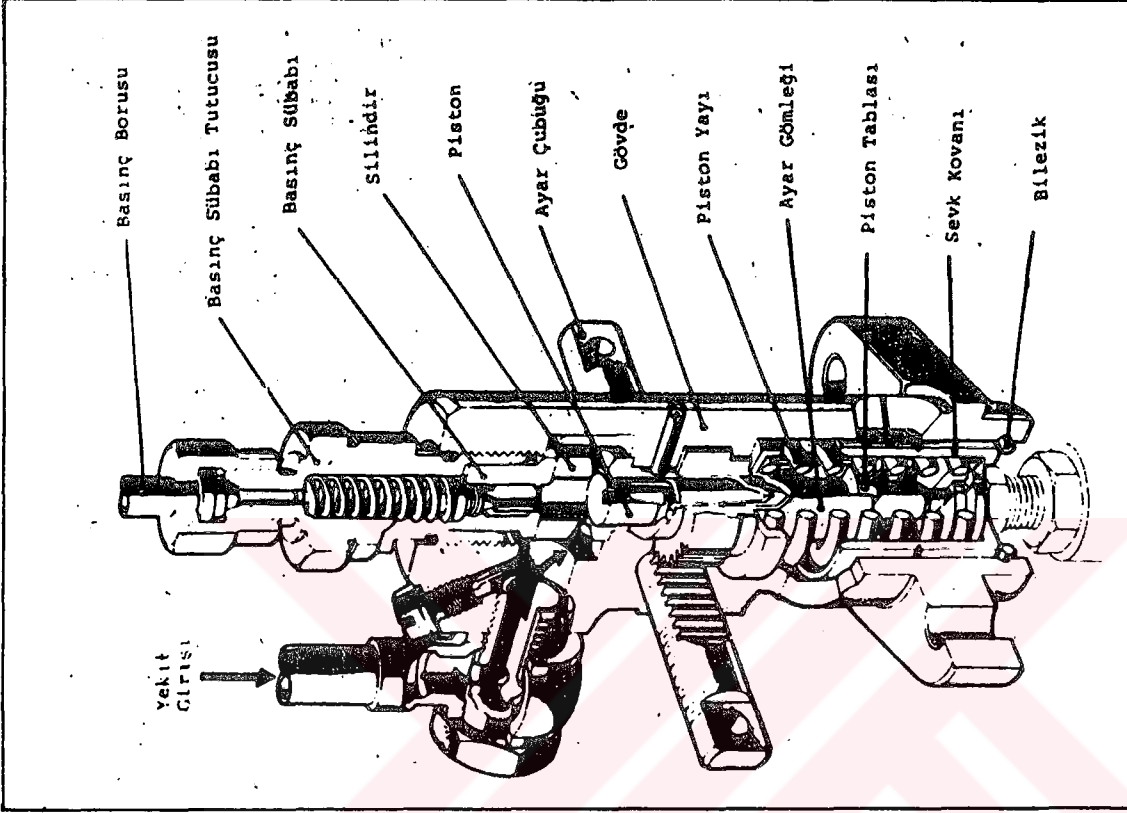
Piston stroku alt ölü noktada iken, basınçlı yakıt silindirin içini, yani pistonun üzerindeki odacığı doldurur. Piston kamın etkisi ile yukarıya doğru hareket etmeye başladığı zaman giriş delikleri kapanarak,



ŞEKİL 1.14

Çok Silindirli Motor için Püskürtme

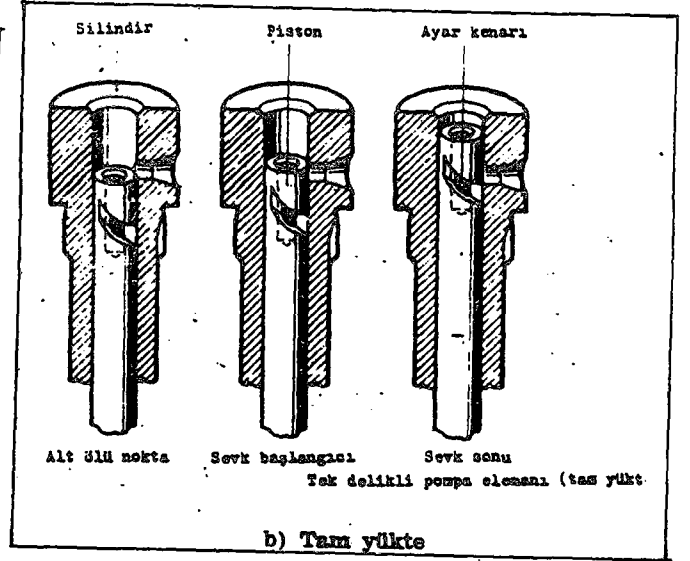
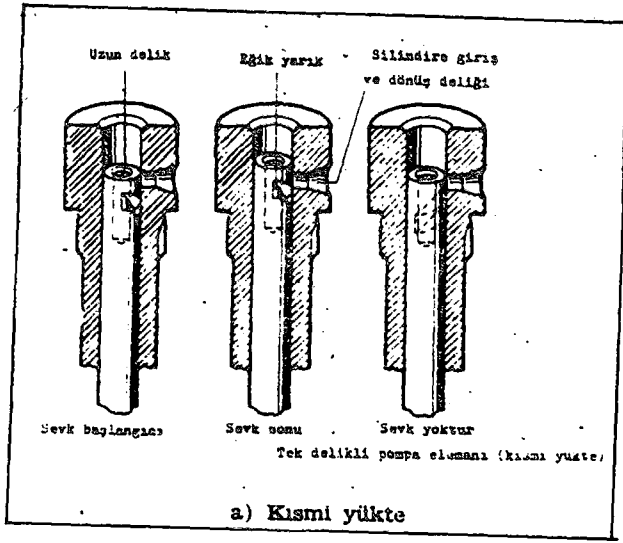
Pompasının Bir Silindirinin Kesiti



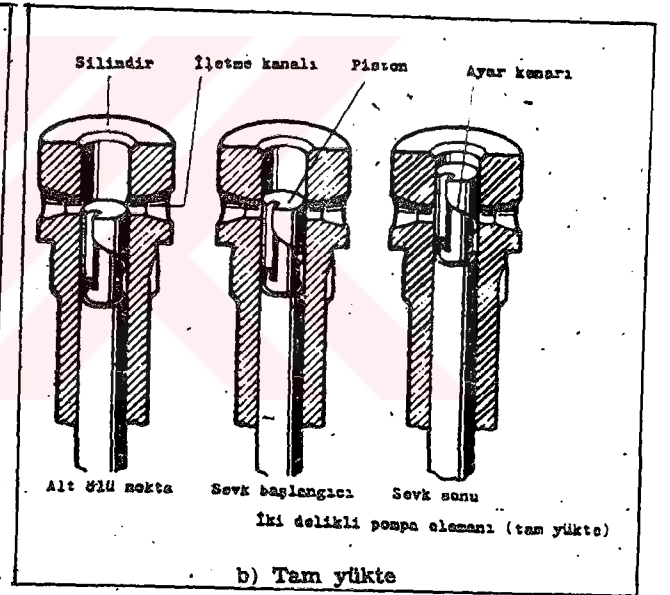
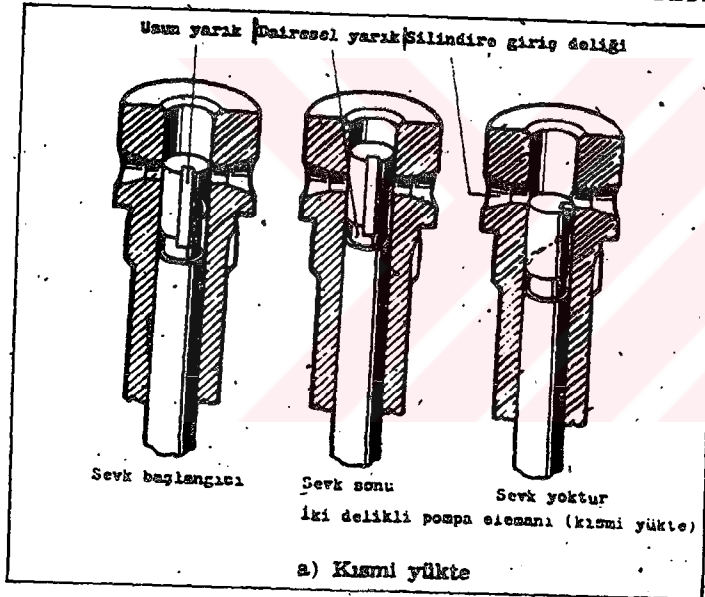
ŞEKİL 1.15

Tek Silindirli Motorun

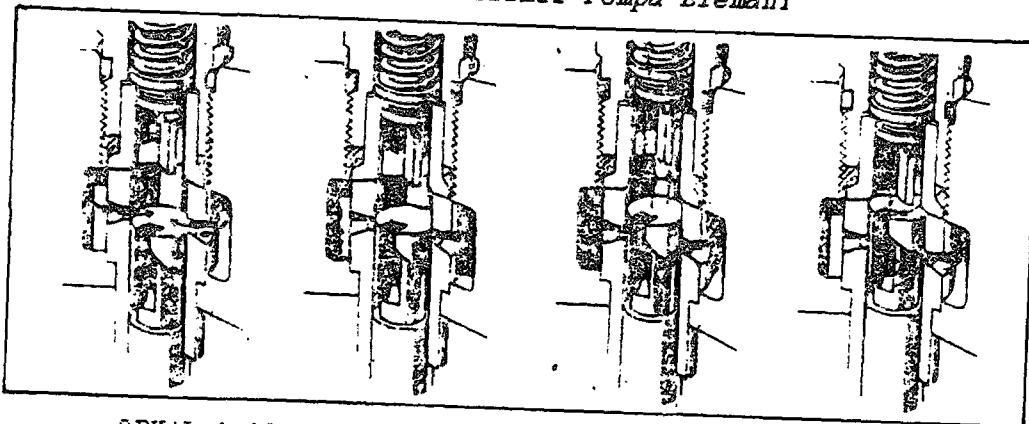
Püskürtme Pompasının Kesiti



ŞEKİL 1.14 Tek Delikli Pompa Elemanı



ŞEKİL 1.15 İki Delikli Pompa Elemanı

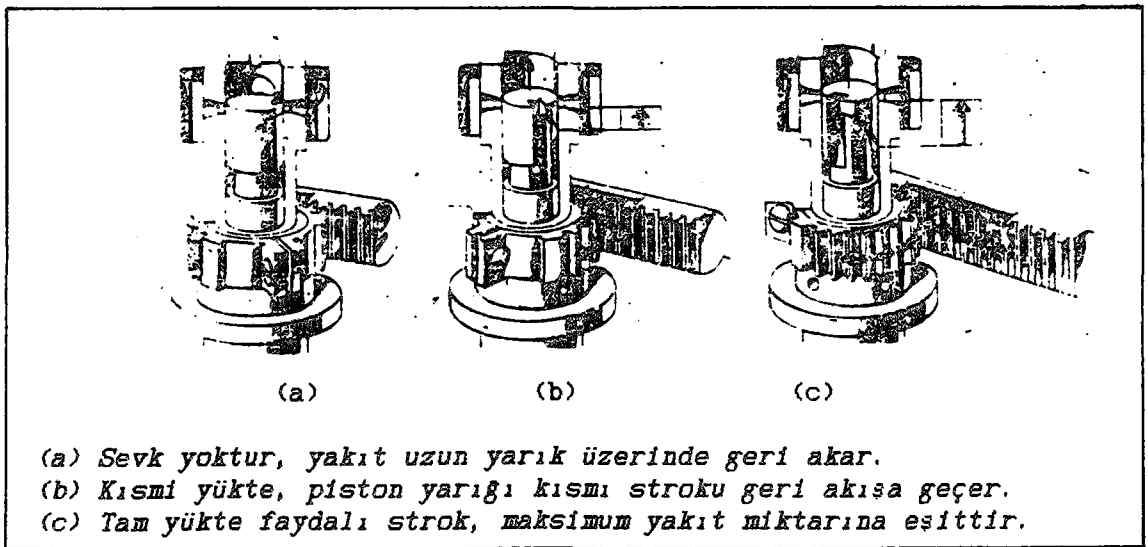


ŞEKİL 1.16 İki Delikli Pompa Elemanının Hareketi

odacıktaki yakıt sıkışmaya başlar. Bu durum şekil 1.16'da görülmektedir. Piston silindirdeki deliği kapatmadan önce bir kısım yakıt delikten geri kaçar. Pistonun bu noktadan sonraki hareketi yakıt basıncını artırır. Bu basıncın etkisiyle basınç supabı açılır ve sıkışan yakıt borulara geçer. Tamamen yakıtla dolu olan borularda da sıkışma başlar ve basınç, püskürtme basıncını aştığı anda enjektörden yakıt püskürtülmeye başlar.

B) Yakıt Miktar Ayarlayıcısı :

Yakıtın püskürtülmesi, pompa pistonundaki helisin herhangi bir noktası ile silindirdeki deliğin karşı karşıya gelmesine kadar (şekil 1.17) sürer. Bu esnada odacıktaki yakıt basınç farkı nedeniyle delikten dışarıya akar. Bu suretle borularda basınç düşer ve basınç supabı kapanır. O halde piston stroku aynı kalmakla beraber, pistonu sağa-sola döndürerek helisin değişik noktaları silindirdeki delikle aynı hizaya getirilmek suretiyle yakıt miktarı ayarlanır. Bu suretle yakıtın pompalamaya başlama zamanı aynı kalmakta, fakat bitirme zamanı değişmektedir. Pistonun sağa veya sola dönme hareketi ayar çubuğu ile yapılmaktadır. Bu ise gaz kumandasına bağlıdır.



ŞEKİL 1.17 Yakıt Miktarının Ayarı

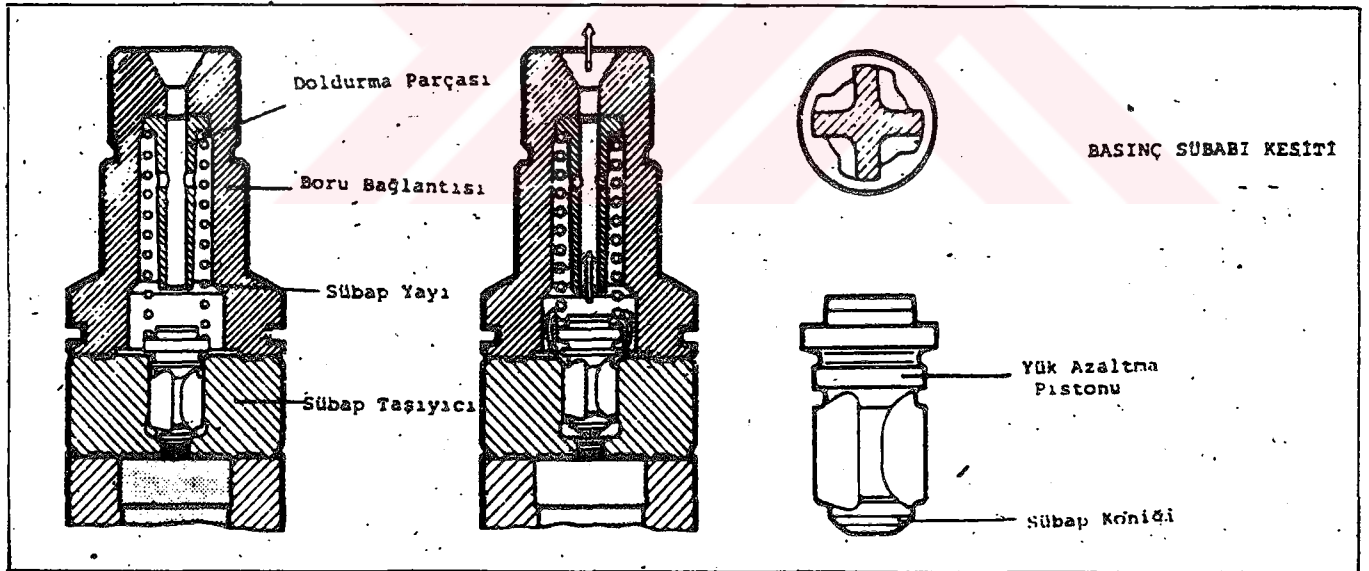
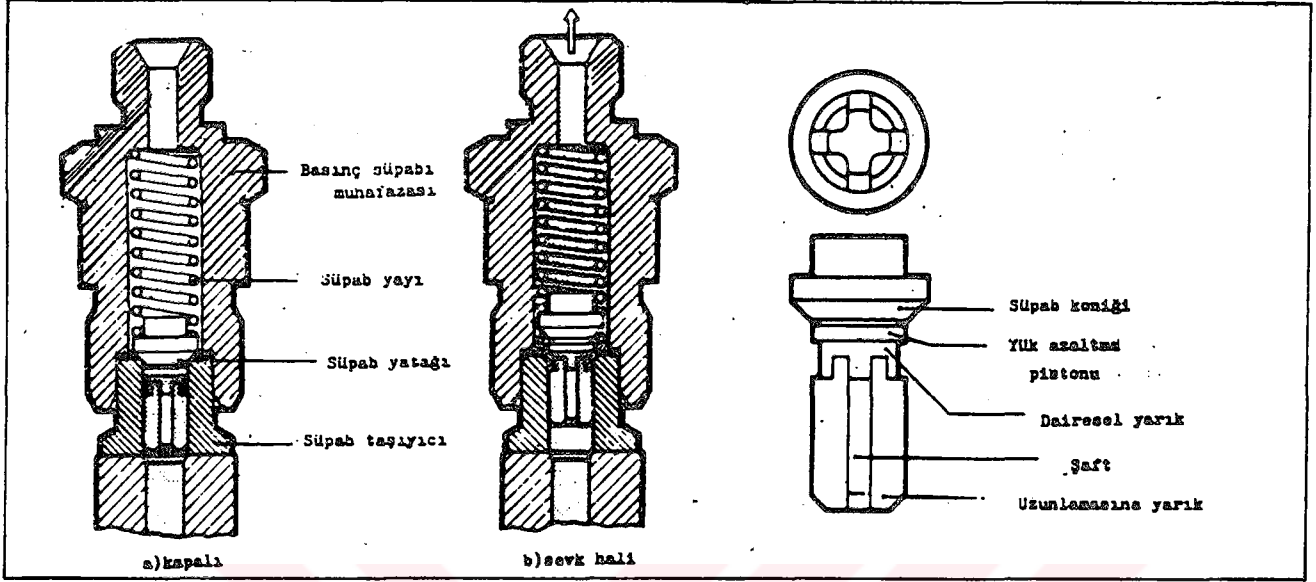
C) Basınç Supabı :

Basınç supabının yapısına göre birkaç görevi vardır. Pistonun hareketi ile artan yakıt basıncı, basınç supabını açarak yakıtın boruya geçmesini sağlar. Silindir odacığında basıncın azalmasıyla, supap yayı yardımıyla basınç supabı yuvasına oturur. Bu suretle basınç supabının asli olan birinci görevi, borudaki yakıtın geri dönüşünü önlemek ve aynı zamanda borunun her an yakıtla dolu olarak kalmasını sağlamaktır. Basınç supabı, yakıt borusunu, gelecek yakıt sevkine kadar kapar (Şekil 1.18).

Basınç supabının ikinci görevi ise yakıt borusunun basınç yükünü azaltmaktır. Zira meme iğnesinin hızla kapanması için ve yanma odasında ard damlanın olmaması için borudaki basıncın bir miktar azalması gerekmektedir. Basınç yükünü azaltacak boşaltma hacminin büyüklüğü yakıt borusunun uzunluk ve içindeki yakıt miktarına bağlıdır. Bu da basınç supabının konstrüksiyonu ile sağlanır. Basınç supabı, mil ile supap taşıyıcısından oluşur. Yakıtın gönderilmesi sırasında, yakıt, supabın oturma yüzeyinden itilmek suretiyle, önce dairesel bir yarıktan, sonra da uzunlamasına yarıkla yakıt borusuna gider. Dairesel yarığın üstünde kısa bir silindirik piston vardır ve supap konisine bağlıdır. Yakıt gönderilmesi sonunda önce supapta bulunan piston silindire oturur ve basınç odasına karşı yakıt borusunu kapar. Bundan sonra konik yuva yerine oturur. Bu suretle supap pistonun stroku kadar bir hacim yakıt borusuna eklenmiş olur. Dolayısıyla hacim artışı için borulardaki basınç düşer ve püskürtme sona erer. Son olarak meme hızla kapanarak ard damlanın oluşmasına engel olur.

D) Pompa Regülatörü :

Diesel motorunu belli bir devir sayısında çalıştırmak için burada bir regülatöre gerek vardır. Çünkü diesel motorun yükü artırıldığı zaman gönderilen yakıt miktarı, silindirdeki havanın, yakabileceğinin üzerine



ŞEKİL 1.18 Basmaçık

çıkabilir. Bu ise karbon oluşmasına, egzoz sıcaklığının artmasına, egzostan koyu dumanların çıkmasına neden olur. Dolayısıyla artan yakıt miktarı motora zarar verdiğinden istenmez. Aynı şekilde yükün azaltıldığı veya tamamen kaldırıldığı zaman dönme sayısı kontrolsüz artar ve motor bir anda çok tehlikeli dönme sayısına erişebilir. Bu durum, püskürtme pompasının artan bir karakteristiğe sahip olmasından ileri gelmektedir. Diğer taraftan motor boşta çalışırken hız azaldığı için, pompa debisi azalır ve motor stop eder.

Bu olayları önlemek için diesel motorunun püskürtme pompasının yakıt miktarını kontrol eden, motor dönme sayısını istenilen degerde sisteme gerek vardır ve bunlara regülatör adı verilir. Regülatörler gerek kullanış amacına gerekse yapısı bakımından sınıflandırılırlar.

1. Regülatörlerin Kullanma Amacına Göre Sınıflandırılması :

- Boşta ve maksimum dönme sayısına göre ayarlı regülatör

Bu regülatör, (boşta) minimum ve maksimum dönme sayısı arasındaki dönme sayıları alanında etkili olamamaktadır. Regülatörün etkisiz olduğu bu dönme alanları için, gaz kolunun yardımıyla ayarı sağlanır. Bu regülatör, motorun durmamasını ve dönme sayısının önceden saptanan bir degerinin üzerine çıkmamasını sağlar.

- Maksimum dönme sayısına göre ayarlı regülatör

Bu regülatör, devamlı maksimum dönme sayısında çalışan motorlar için uygundur. Bu sistem, iş makinalarında elektrik üreten makinalar için uygun görülür. Motor dönme sayısı ayarlanan dönme sayısının üstüne çıkamaz.

- Bütün dönme sayılarına göre ayarlı regülatörler

Bu tip regülatör, bütün dönme sayılarında, otomatik olarak ayarı yapılması gereken motorlar içindir. Bu sistem, gemi motorlarında, traktör motorlarında, tren motorlarında ve taşıt motorlarında kullanılır. Daha doğru olarak bazen alçak bazen yüksek dönme sayısı ile çalışan motorlarda ve dönme

sayısı yükten bağımsız olan yani çeşitli dönme sayılarında tam yük veren motorlarda kullanılır.

2. Regülatörlerin Yapısına Göre Sınıflandırılması :

* Ağırlıklı Regülatörler :

Bu regülatörler motor tarafından tahrik edilir ve ağırlıklar merkezkaç kuvvetin etkisiyle yakıt miktarına etki ederek motor dönme sayısı azaltılır veya çoğaltılır. Pompa miline bağlı bir ağırlık sisteminden, kayan maniveladan ve kumanda kolundan regülatör oluşur. Regülatörün kumanda kolu püskürtme pompasının pistonunu döndüren kramayer dişlisine bağlanmıştır. Dönme sayısı arttıkça regülatör mekanizması pistonları hafifçe döndürerek yakıtı kısar ve dönme sayısı normalin altına düşünce bu defa diğer tarafa pistonlarını döndürerek efektif piston strokunu arttırır.

* Havalı Regülatörler :

Motorun emme borusu üzerine venturi lülesi yerleştirilerek elde edilen bir çeşittir. Burada oluşan alçak basınç bir boru ile bağlantı olan yaylı diyaframı etkiler. Bu diyafram püskürtme pompasının ayar çubuğu olan kramayer ile bağlantılıdır ve ona kumanda eder. Bu suretle püskürtme pompası elemanındaki pistonun dönmesini ve dolayısıyla strokunun değişmesini sağlar. Motorun bosta ve kısmi yükteki çalışmalarında venturi borusunda bulunan kelebek kapalıdır. Bosta ve yükte dönme sayısında kelebeğin açıklığını bir kısıtlayıcı civata vardır. Havalı regülatörün özellikleri, bütün dönme sayılarına göre ayarlı regülatörlerin aynıdır.

E) Püskürtme Avansı Ayarlayıcısı :

Diesel motorlarında iyi bir yanma, dolayısıyla büyük güç, püskürtme başlangıcı, dönme sayısına bağlı olarak belirli KMA' da başladığı taktirde elde edilir. Püskürtme başlangıcı artan dönme sayısı ile KMA'sını değiştirme gereksinimi oluşmaktadır. Bunun için püskürtme pompasına, püskürtme avansı

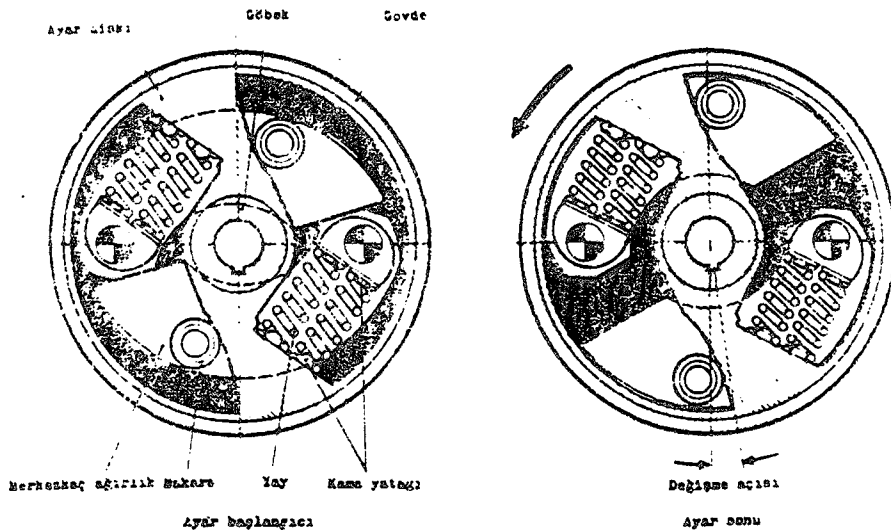
açısı ayarlanır. Püskürtme avansı ayarlayıcısı, dönme sayısına bağlı olarak püskürtme başlangıcının 8 KMA' kadar öne alabilir. Püskürtme avansı ayarlama cihazı yüksek dönme sayılı motorlarda ve yakıt borusu uzun olanlarda uygun olarak kullanılır. Başlıca iki cinsi vardır :

- Elle kumandalı püskürtme avansı ayarlayıcısı

Bu tip eski olup daha ziyade sabit dönme sayılı motorlarda uygun görülmektedir.

- Otomatik püskürtme avansı ayarlayıcısı

Bu sistem dönme sayısına bağlı olarak çalışır. Gerek vakumlu, gerekse ağırlıklı sistemi vardır. Ağırlıklı sistemde merkezkaç kuvvetten faydalanılır. Merkezkaç ağırlıklı otomatik püskürtme avansı ayarlayıcısı şekil 1.19'da görülmektedir. Burada dönme nedeniyle ağırlıkların oluşturduğu merkezkaç kuvvetin etkisiyle püskürtme başlangıcı ayarlanır. Bunun için mil üzerine yataklandırılmış iki merkezkaç ağırlık bulunmaktadır. Gövdede ayar cihazı ayarlayıcı kısmı dönebilir şekilde yataklandırılmıştır. Ayarlayıcı kısım ile ayarlayıcı disk bir göbek ile sabitleştirilmiştir. Ayar disk yayı için dört tane kayma yatağı bulunur. Yaylar, ayarlayıcı disk ve yay arasında merkezkaç ağırlıklı pimlerle desteklenir.



ŞEKİL 1.19 Otomatik Püskürtme Avansı Ayarlayıcısının Çalışması

Artan hızla merkezkaç kuvvetten dolayı ağırlıklar dışı doğru yer değiştirirler. Aynı zamanda ayarlayıcı diskin yörüngesi yönünde basarlar. Bu suretle yay kuvvetini yenerek ayarlayıcı, göbek ile beraber döner. Buna bağlı olan püskürtme pompasına kam mili döner. Dolayısıyla püskürtme başlangıcı öne alınır.

1.2.1.3. Dağıtım Tertibatlı Püskürtme Pompası (DPA Tipi) :

Bu tip pompaların başlıca özelliği, çalıştığı motorun silindir sayısı ne olursa olsun, çalışan parçaları aynı olan bir pompa olması ve bu nedenle fiyatının düşük olmasıdır. Derli toplu olup az yer kaplaması, basit yapımı, kolaylıkla takılması, rahat komuta tertibatı ve yüksek hızda çalışma kabiliyeti teknik faydasıdır. Bunlar 4200 d/d da çalışan motorlara rahatça uygulanabilir. Ancak kullanılma alanı motorun strok hacmi ile sınırlı olduğu için şu anda denizde ticari amaçla kullanılamamaktadır. Strok hacmi en fazla 2 litreye kadar olan yüksek devirli motorlarda kullanılabilir.

1.2.2. Enjektörler :

Motor kafasına yerleştiren ve püskürtme pompasından 80+500 bar basınca kadar varabilen yüksek basınçlar altında gelen yakıtı yanma odasına küçük çaplı damlacıklara (zerre) ayırarak püskürten elemana enjektör denir (Şekil 1.20). Enjektör meme elemanı ile enjektör kütüğünden oluşur. Malzemesi yüksek alaşımlı çeliktendir. Mümkün olduğu kadar en küçük toleranslarla işlenmiş olarak birbirlerine geçirilmiştir.

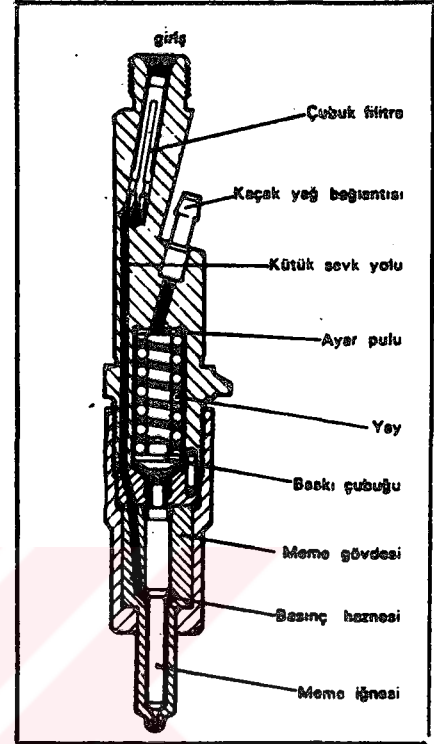
Enjektör memesinin iğnesi, yakıtın basıncı ile hareket eder. Pompa tarafından basılan yakıt iğne yuvasının hemen üzerindeki basınç haznesine dolar. Şayet buradaki yakıt basıncı iğnenin konikleştirilmiş yüzeyinde meydana getirdiği kuvvetin dikey bileşkesi iğneyi yuvasına bastıran yay kuvvetinden büyük ise iğne yukarı doğru hareket eder ve yakıt, enjektörün meme delik veya deliklerinden geçerek bir demet şeklinde yanma odasına

püskürür. iğnenin açılma basıncı, enjektör kütüğünde bulunan yayla ayarlanır. iğne, enjektör kütüğüne dayanıncaya kadar yukarı kalkar.

Yakıt enjektör içinde aşağıdaki yollardan geçer, buna göre ;

- . Yakıt borusu
- . Kütük sevk yolu
- . Memenin yakıt yolları
- . Basınç haznesi
- . Püskürtme delikleri

iğne ile gövde arasındaki temas yüzeyinden sızan yakıt, kütüğün yay haznesi ve kaçak yağ bağlantısı yoluyla depoya döner.



ŞEKİL 1.20 Enjektör Kesiti

1.2.2.1. Enjektörlerin Sınıflandırılması :

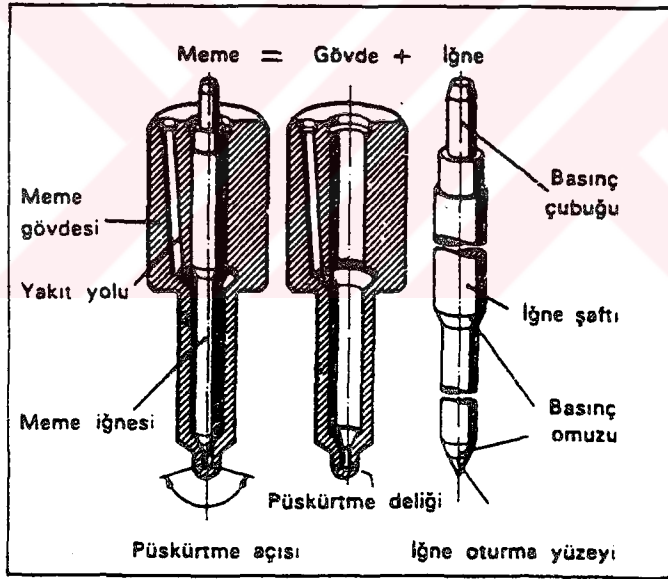
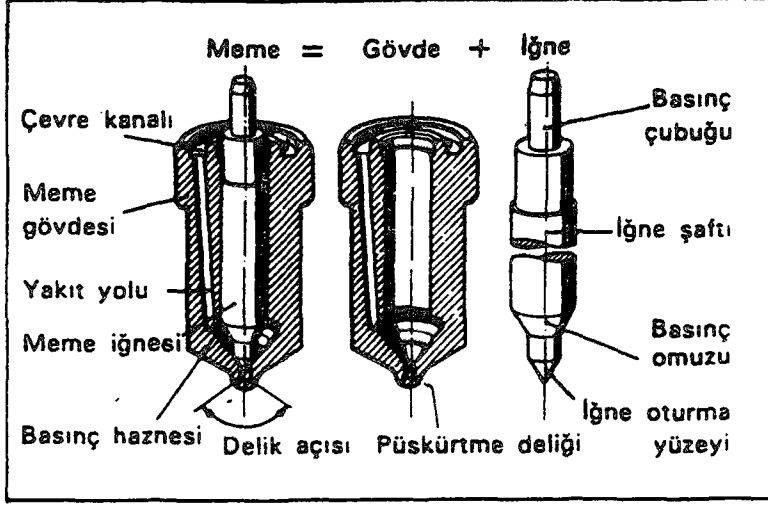
1.2.2.1.1. Açık Meme:

Bu tiplerde meme iğnesi yoktur. Bunlardan en çok geri tepmeli meme kullanılır. Bu nedenle yakıtı enjektördeki kanal ve meme deliği yardımıyla yanma odasına doğrudan doğruya akar. Bu tip memeler MAN enjektörlerinde ve Junkers tipi enjektörlerde bulunur.

Geri tepmeli açık meme olarak inceleyeceğimiz memeler daha ziyade Jendrassik motorlarında kullanılır (Şekil 1.21). Bu meme karakteristikleri olan püskürtme basıncına göre değişimi memedeki denge denklemlerinde bulunur. Buna göre,

$$A + B \cdot x = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot (p - p_1) \quad \dots \dots \dots (1.1)$$

$$0.25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot (p_0 - p_2) + B \cdot x = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot (p - p_1) \quad \dots \dots (1.2)$$



ŞEKİL 1.23 Delikli Meme Tipleri

Kısa ve Uzun

1.2.2.1.2. Kapalı Meme :

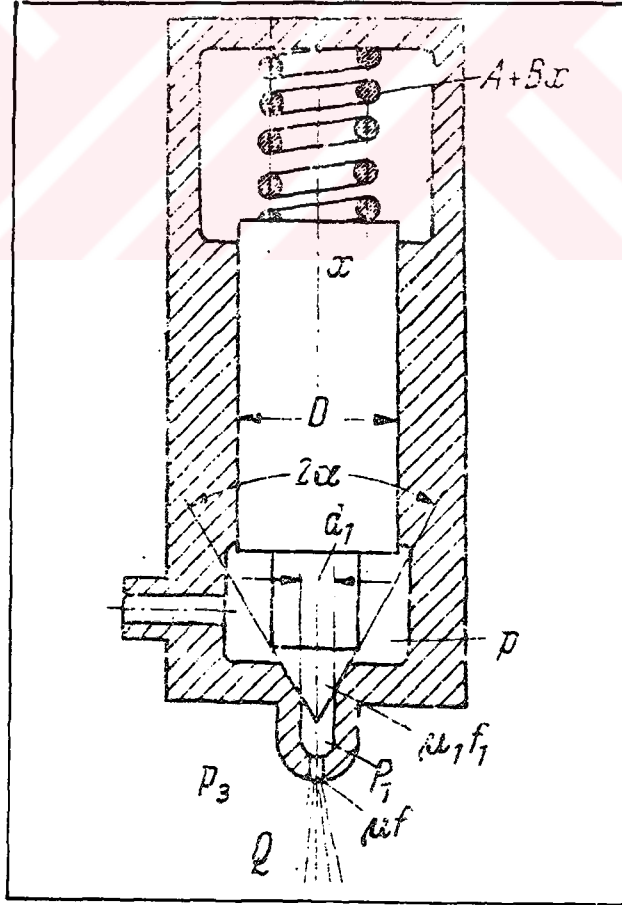
Bu memeler iki tiptir.

1° Delikli Meme (iğne Meme) :

Bu tip memeler daha ziyade direkt püskürtmeli motorlara uygundur. Bunlar tek veya çok delikli olurlar (Şekil 1.23).

.Tek Delikli Meme : Tek delikli memenin ucunda eksenine paralel delinmiş tek bir delik vardır. Bu deliğin çapı 0.2 mm ve daha büyük olabilir. Bunun değişik bir tipi de konik uçlu memedir.

.Çok Delikli Meme : Meme ucunda 2 ila 12 arasında değişen sayıda deliği olan enjektörlere çok delikli meme denilmektedir. En çok rastlanılan tipleri 2,3 ve 4 delikli olanlardır. Deliklerin meme sayısı çapları ve eksenleri arasındaki açıları motor tipine göre değişir. Püskürtme deliğinin



ŞEKİL 1.24 Kapalı iğne Meme

çapı ve uzunluğu, püskürtülen demetin biçimini ve uzunluğunu etkiler. Delik çapları 0.2 mm den 0.7 mm ye kadar olur. Bunlar 0.02 ser mm artarak büyür. Delikli memelerde açılma basıncı genel olarak 150÷250 bar arasında değişir.

Çok delikli memenin karakteristikleri olan püskürtme basıncına göre debinin Q_m değişimi incelenir. Debi denkleminde,

$$p - p_1 = \frac{Q_m^2 \gamma_b}{2g(\mu_1 \pi d x \sin \alpha)^2} \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

ve

$$p_1 - p_3 = \frac{Q_m^2 \gamma_b}{2g(\mu_f)^2} \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

(1.7) ve (1.8) denklemlerini toplarsak

$$p - p_3 = \frac{Q_m^2 \gamma_b}{2g} \left\{ \frac{1}{(\mu_1 \pi d \sin \alpha)^2} + \frac{1}{(\mu_f)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (1.9)$$

bulunur.

Bu sistemdeki delikli memeye statik denge denklemi uygularsak

$$A + B.x = 0.25 . p . (D^2 - d^2) . \pi + 0.25 . p_1 . d^2 . \pi \quad \dots\dots\dots (1.10)$$

dir. iğnenin kalkma başlangıcında bu gerilmeyi $x=0$, $p=p_0$ ve $p_1=p_3$ olduğuna göre denklem (1.10) dan

$$A = 0.25 . \pi . [p_0 (D^2 - d^2) + p_3 . d^2] \quad \dots\dots\dots (1.11)$$

bulunur. Buradan gerilme için gerekli basınç ;

$$p_0 = \frac{4 . A - p_3 \pi d^2}{\pi (D^2 - d^2)} \quad \dots\dots\dots (1.12)$$

elde edilir.

Debi değişimine bağlı olarak basıncı veren $p = f(Q_m)$ ve $x = f(Q_m)$

ifadeleri denklem (1.9) ve (1.10) dan yazılır. Buna göre,

$$p_0 + \frac{4 . B . (\gamma_b / 2g)^{1/2} . Q_m}{\pi (D^2 - d^2) (\mu_1 \pi d \sin \alpha)} . [(p_0 - p_3) - \frac{Q_m^2 \gamma_b}{2g(\mu_f)^2}]^{-1/2} = p + \frac{Q_m^2 \gamma_b}{2g(\mu_f)^2} . \frac{d^2}{D^2 - d^2} \quad (1.13)$$

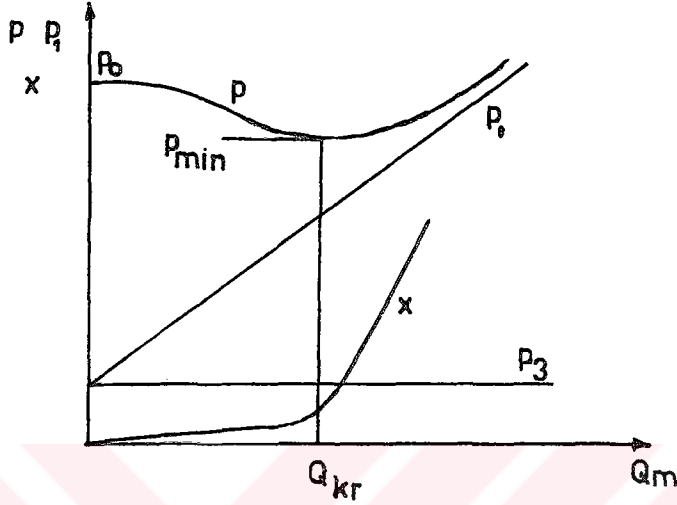
ve

$$1 + \frac{4 . B . x}{\pi (D^2 - d^2) (p - p_3)} = \frac{Q_m^2 \gamma_b}{2g(\mu_1 \pi d \sin \alpha)^2 (p_0 - p_3) x^2} + \frac{Q_m^2 \gamma_b}{2g(\mu_f)^2 (p_0 - p_3)} . \frac{D^2}{D^2 - d^2} \quad (1.14)$$

bulunur.

Bu tip püskürtme memelerinde basıncın debiye bağlı olarak değişim eğrileri şekil 1.25'te görülmektedir. Genellikle p basıncı önce bir minimum

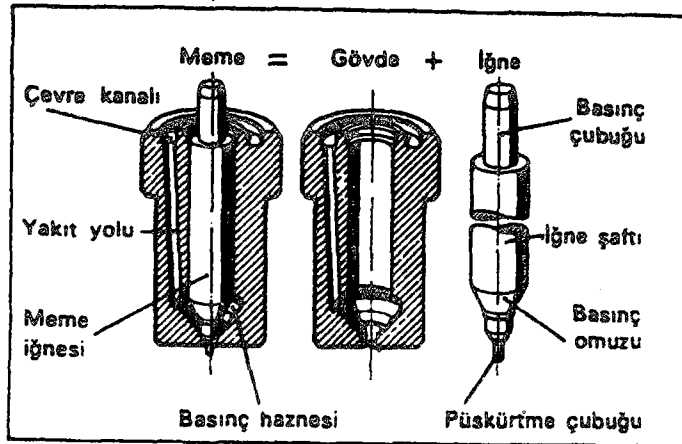
noktasından geçer ve sonu p_1 basıncına teğet olur. Bununla p_1 basıncı bir paralel egrisidir. iğne ise önce yavaş daha sonra yani Q_{kr} değerden sonra hızla artar.



ŞEKİL 1.25 Delikli Memede Basınç-Debi Değişimi

2° Çubuklu Meme (Muylu Meme) :

Çubuklu memelerde meme deliğinin çıkış kesiti daha önceki tipten farklı olarak kademeli koni şeklinde bir iğneden oluşur. Püskürtme kanununa daha uygun olan bu tip memede püskürtmeye karşı önce sadece dar bir aralığı iğnenin kalkışının artmasıyla ise daha geniş ilave bir aralık serbest olur. Bu tip memeler genellikle ön yanma odalı motorlarda kullanılır (Şekil 1.26).



ŞEKİL 1.26 Çubuklu Meme Kesiti

Meme iğnesinin uç kısmında püskürtme çubuğu bulunmaktadır. Püskürtme çubuğu ile gövde deliği arasındaki boşluktan diesel yakıtı, motorun yanma odasına püskürtülür. Püskürtme çubuğunu ve deliğini çeşitli büyüklüklerde yapılıır. Püskürtme çubuguna çeşitli açılar vererek püskürtmede de çeşitli açılar temin edilir. Bu tip memelerde açılma basıncı normal olarak 80+125 bar.dır. Ayrıca bu tip memelerdeki püskürtme çubuğunun şekline biçim verilerek avans gecikmeli çubuklu meme tipi elde edilir. Bunlar bazı ön yanma odalı motorlar içinde bosta çalışmanın yumuşak olabilmesi için demet şeklinin değişik olmasını sağlar. Memenin açılması esnasında kademeli olarak imal edilmiş olan püskürtme çubuğunun evvela 1. kademesi yani giriş kademesi püskürtmeyi sağlar. Bu püskürtmeye ön püskürtme denir. Bu durumda silindire giren yakıt az olacağından diesel vuruntusu diye adlandırılan olay giderilmiş olur. Ön püskürtmede silindire gelecek olan yakıt ana püskürtmeyi ateşlemek için kullanılır. Püskürtme çubuğunun daha fazla açılması halinde, esas püskürtme meydana gelir. Bu tip meme kullanan motorlar daha rahat ve sakin çalışır. Çünkü silindirdeki basınç yavaş yavaş artmaktadır. Bu tip enjektör memeleri için püskürtme çubuğunu çeşitli şekillerde yapmakla ve enjektör kütüğündeki baskı yayını, çeşitli karakteristiklerde kullanmakla istenilen kademeli püskürtme sağlanır.

Bu tip çubuklu memelerde meme deliğinin çıkış kesitinin hareketli iğnesi, kesik koni şeklindedir. iğnenin hareketi esnasında biçiminden dolayı kesit değişir. Memenin statik denge şartları ;

$$0.25 \cdot \pi \cdot [p_0(D^2-d^2)+p_3d^2]+B \cdot x = 0.25 \cdot \pi \cdot [p(D^2+d^2)+p_1(d^2-d_3^2)+p_3d_3^2] \quad (1.15)$$

ve akış denklemleri,

$$p - p_1 = \frac{Q_m^2 \gamma_b}{2g(\mu_1 d \pi x \sin \alpha)^2} \quad \dots\dots\dots (1.16)$$

ve

$$p_1 - p_3 = \frac{Q_m^2 \gamma_b}{2g(\mu_3 f_3)^2} \quad \dots\dots\dots (1.17)$$

Burada ilk kademede eş çıkış kesiti ($\mu_0 f_0$) büyük yaklaşıklıkla sabittir. ikinci kademede iğnenin yükselmesiyle çıkış kesidinin değeri artar ve debi yavaşça çoğalır. Üçüncü kademede çıkış kesidi biraz daha iğnenin yükselmesiyle azalır. Basınç aniden artar. Dördüncü kademede tekrar sabit bir çıkış kesiti olur fakat basınç eğrisi yükselerek gider. Beşinci kademede akış kesiti büyür eğriler yatay gider. Altıncı kademede iğne yerine oturur. Bu durumda çıkış kesiti sabittir ve toplam basınç

$$p - p_3 = \frac{Q_m^2 \gamma_b}{2g} \sum \frac{1}{(\mu_1 f_1)^2} \approx K. Q_m^2 \quad \dots\dots\dots (1.18)$$

olur.

1.2.2.2. Memede Delik Çapının Hesabı :

Püskürtme sistemlerinde kullanılan memelerin delik çaplarının hesabı, püskürtme ve yanma odası basınçlarına göre yapılır. Yakıt yanma odası içinde p_0 püskürtme basıncı ile püskürtülür. Yanma odası içinde bulunan sıkıştırılmış taze hava sıkıştırma sonu basıncında p_2 'dir.

Meme deliklerinden geçen sıvının hızı (V) için Bernoulli denklemi

$$(V^2 / 2g) = (p_0 - p_2) / \gamma_b \quad V = [(2g/\gamma_b) \cdot (p_0 - p_2)]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (1.19)$$

kullanılır. Burada,

- V : Memeden püskürtülen sıvının hızı (cm/s)
 - g : Yerçekimi ivmesi (cm/s²)
 - p_2 ve p_0 : Sıkıştırma sonu ve püskürtme basıncı (kg/cm² , bar)
 - γ_b : Yakıtın yoğunluğu (0.85 gr/cm³)
- Meme deliklerinden geçen yakıtın debisi (ağırlıksal olarak) için;

$$Q_m = \mu_m \cdot \gamma_b \cdot A \cdot V = \mu_m \cdot A \cdot [2g \cdot \gamma_b \cdot (p_0 - p_2)]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (1.20)$$

yazılır, burada

- μ_m : Debi katsayısı (keskin köşeli delik için 0.6 dır)
 - A : Meme kesiti (cm²)
 - V : Püskürtme hızı (cm/s)
 - Q_m : Debi (g/s)
- dır.

Diğer taraftan motorun dönme sayısına, güce ve özgül yakıt sarfiyatına bağlı olarak bir iş periyodunda (bir çevrimde) sevk edilmesi

gereken yakıt debisi bulunur. Buna göre bir iş periyodunda sevk edilen yakıt

$$Q_F = b_e . N_e / 60 . n_a \quad \text{g/püskürtme} \quad \dots\dots\dots (1.21)$$

yazılır. Burada,

b_e : Özgül yakıt sarfiyatı (g/BG.h)

N_e : Motor gücü (BG)

n_a : Püskürtme/dakika

Dört zamanlı motorlarda $n_a = n/2$

iki zamanlı motorlarda $n_a = n$

dir. Bu formülle bulunan püskürtme süresindeki debidir. Ancak birim zamandaki debiyi (saniyedeki) bulmak için püskürtme süresi belirlenmelidir,

$$\text{Püskürtme Süresi : } t = 60 . \phi_e / n . 360 \quad \text{s/püskürtme} \quad \dots\dots\dots (1.22)$$

dır. Burada ϕ_e : Krank mili açısı cinsinden püskürtme açısı

O halde bir iş periyodunda silindire sevk edilen yakıt debisi

$$Q_F = \frac{b_e . N_e . n . 360}{60 . n_a . 60 . \phi_e} = \frac{b_e . N_e . n}{10 . \phi_e . n_a} \quad \text{g/s} \quad \dots\dots\dots (1.23)$$

bulunur.

Bu şekilde meme deliklerinden geçen debi (1.20) ile bir iş periyodunda birim zaman başına geçen debi (1.23) birbirine eşit olacağından meme kesiti (A) ;

$$A = \frac{b_e . N_e . n}{10 . \mu_m . \phi_e . n_a . [2g . \gamma_b . (p_1 - p_2)]^{1/2}} \quad \text{cm}^2 \quad \dots\dots\dots (1.24)$$

bulunur.

Enjektör tek ve çok memeli oluşuna göre meme delik çapı için :

$$d = [4 . A / \pi . i]^{1/2} \quad \text{cm} \quad \dots\dots\dots (1.25)$$

yazılır. Burada i : delik sayısıdır.

Buna göre meme delik çapı hesaplanır. Bu şekilde hesaplanan meme delik öapı ve sayısı, yapısı, şekli ve büyüklüğü deney tesisatında kontrol edilerek saptanır. Yakıt bu meme şekline göre yanma odası içine püskürtmekte ve demet şekillenmektedir. Bu nedenle meme kaliteli bir çelikten ve çok hassas olarak işlenmelidir.

1.3. GEMİLERDE KULLANILAN YAKITLARIN ÖZELLİKLERİ :

Diesel motorlarda kullanılan yakıtlar, gerek motor imalatçıları ve gerekse işletmeciler tarafından belli standartlara sokulmuş ve yakıtların belli özelliklerde olması istenmiştir. Diesel motorlarda ve özellikle gemi diesellerinde, mümkün olduğu kadar ucuz ve kalitesiz yakıtların yakılması arzu edilmekte ve çaba sarfedilmektedir.

Diesel motorlarda kullanılan yakıtların hepsi petrol bazındadır, ve ham petrolün rafinerizasyonu esnasında elde edilmektedir. Rafine işlemi sırasında en hafif ürün LPG olarak adlandırdığımız ve basınç altında sıvılaştırılmış petrolgazi olmaktadır. İkinci ürün grubu ise, havacılıkta ve karada kullandığımız benzin grubudur. Bu grubun buharlaşma sıcaklıkları $32+224^{\circ}\text{C}$ arasında bulunur. Üçüncü ürün grubu ise, $150+286^{\circ}\text{C}$ arasında olan buharlaşma sıcaklıklarını kapsayan kerozin ve jet yakıtı oluşmaktadır. Isıtma amacıyla sıvı yakıt olarak kullanılan yakıtlar ise, $205+344^{\circ}\text{C}$ kaynama sıcaklıkları bandını kapsamaktadır. Diesel yakıtlar ise, $205+400^{\circ}\text{C}$ kaynama sıcaklıkları bandını oluşturmaktadır. Geri kalan ve $315+650^{\circ}\text{C}$ arasında olan kaynama sıcaklıkları bandında oluşan petrol artık ürünleri ise, artık yakıt olarak adlandırılmaktadırlar.

Kullanma yerlerine göre, yakıtlardan bazı özellikler istenmekte, bu özellikler kimyasal ve fiziksel yollarla deneme sonucu belirlenmektedir. Dünya üzerinde bu konuda en büyük araştırmaları yapan iki kuruluştan biri "The American Society for Testing and Materials" yani kısaca ASTM olup, diğeri "British Institute of Petroleum" yani IP dir. Bunlardan başka diğerkuruluşlar tarafından belirlenmiş özellikler bulunmakla beraber birinden diğeri ne geçiş imkanı bulunmaktadır.

Genellikle kullanılan test metodları tablo 1.1 'de verilmiştir. Bu yakıt test metodlarının açıklamaları ise aşağıda belirlenmiştir.

TABLO 1.1 Kullanılan Test Metodları

ÖZELLİKLER	TEST METODU	TEST METODU UYGULAMA SAHALARI			
		YÜKSEK DEVİRLİ DİSEL MOTORLAR	ORTA VE DÜŞÜK DEVİRLİ DİSEL MOTORLAR	K A Z A N	GAZ TÜRBİN TESİSİ
YANMA					
Cetan Numarası	ASTM D-613	x	x	-	-
Diesel Index	IP - 21	x	x	-	-
Cetan Index	ASTM D-976	x	x	-	-
Luminometre Numarası	ASTM D-1740	-	-	-	x
Yakıt Isı Değeri	ASTM D-240	x	x	x	x
Conradson Karbon Sayısı	ASTM D-189	x	x	x	-
Ramsbottom Karbon Sayısı	ASTM D-524	-	x	x	-
UÇUCU KISIMLAR VE YOĞUNLUK					
Destilasyon	ASTM D-86	x	-	-	x
Ağırlık	ASTM D-1298	x	x	x	x
AKISKANLIK					
Akma Noktası	ASTM D-97	x	x	x	-
Viskozite	ASTM D-445	x	x	x	x
EMNİYET					
Tutuşma Noktası	ASTM D-56	x	x	x	x
TEMİZLİK-SAFLIK					
Su Miktarı	ASTM D-95	x	x	x	x
Kül Miktarı	ASTM D-482	x	x	x	x
Tortu Miktarı	ASTM D-473	x	x	x	-
Su ve Tortu Miktarı	ASTM D-1796	-	-	x	-
KOROZYON					
Bakır Şerit	ASTM D-130	x	-	-	-
Kükürt Miktarı	ASTM D-129	x	x	x	x

1.3.1. Ağırlık ASTM D-1298

Bir cam hidrometre yardımıyla yoğunluk, özgül ağırlık ve API ağırlığı ölçülmektedir. Değerler uygun sıcaklıklarda hidrometre skalasından okunmalıdır. Yoğunluk ölçümü için esas olan sıcaklık 15°C olup, özgül ağırlık ve API ağırlığı 15.5°C da ölçülmektedir. Bu değerlerden bir diğerine geçiş mümkündür. Mesela API ağırlığı belirli ise, özgül ağırlık N/dm^3 cinsinden :

$$N/dm^3 = 9.81 \left(\frac{141.5}{131.5 - API} \right) \dots\dots\dots (1.26)$$

API ağırlığı, suyun yakıt içerisinde separasyon esnasında ayrılma özelliğini de ifade eder. Suyun API ağırlığı 10 API derecesi olup, hafif yakıtlar (API derecesi 10) kolaylıkla sepere edilirler. Ağır yakıtlar ise (API derecesi 10 üzerinde) ısıtıldıktan sonra sepere edilebilirler. Isıtma suretiyle yakıtın API ağırlığı artmakta ve aynı zamanda da viskozite düşmektedir. Yakıtın özgül ağırlığı, bileşenlerine ait bir göstergedir. Bu nedenle, gerek ısı değerinin hesabında ve gerekse diesel indeksinde olduğu gibi bazı ampirik bağıntılarda yardımcı olur.

1.3.2. Akma Noktası ASTM D-97

Akma noktası testi, yakıtın katı halinden hangi sıcaklıkta aktığı veya akmaya başladığını belirtmek için uygulanır. Yakıtın pompalanması için akma noktası üzerine kadar ısıtılması gerekir. Isıtma işlemi için gereken seprantiler yakıtın konulduğu tank içerisine düzenlenmektedir.

1.3.3. Viskozite ASTM D-445

Bir sıvının viskozitesi, o sıvının akışa karşı göstermiş olduğu direncidir. Yakıtların belirlenmesinde bir çok deney metodları bulunmaktadır. Bunlardan en fazla kullanılanları Saybolt Universal, Saybolt Furol, Redwood Engler ve Kinematik 'tir. Engler'in dışındaki bütün metodların ölçüm esası, belli miktardaki yakıtın belirli sıcaklık altında kapılar boru veya orifis içinden ne kadar zamanda geçtiğinin ölçümüne dayanmaktadır. Metoddan metoda

elde edilen sonuçlar, rakamlar yönünden farklılıklar göstermekle beraber, birinden diğerine geçiş mümkündür.

ASTM D-445 deneyi kinematik viskoziteyi esas almaktadır. Burada ölçüm esası, yukarıda belirtildiği şekilde, belli sıcaklıkta ve belirli miktardaki yakıtın, kalibre edilmiş kapılar cam boru içerisinden akış için gereken sürenin tayinine dayanmaktadır. Bu süre, kapılar boru için belli bir faktör ile çarpılarak kinematik viskozite "centistokes (cSt)" olarak ifade edilir. Mutlak viskozite ise, centipoise (cP) olarak sembolize edilmekte ve kinematik viskozite değerinin yakıt yoğunluğuyla (g/cm^3) çarpımıyla bulunur

Viskozitenin akışkanın akmaya karşı göstermiş olduğu, bir direnç olduğu gözönüne alınırsa, gerek pompalama işleminin ve gerekse püskürtme işleminin önemli faktörlerinden biri olduğu anlaşılar. Nitekim püskürtme ve pompalama işlemleri için minimum viskozite değerleri belirlenmiştir.

Genel ve ortalama bir değer olarak, yakıtların yüksek basınçlı mekanik püskürtmeli yakıcılarda yakılmaları için ısıtılmak suretiyle viskozitelerinin 43 cSt değerine kadar düşürülmesi gerektiği söylenebilir. Alçak basınçlı hava veya buhar ile parçalamalı yakıcılarda ise, püskürtme viskozitesi 20 cSt civarında olmalıdır. Diesel yakıt enjektör memelerinde püskürtme için arzulanan viskozite değeri ise 18 cSt değerinin altında bulunmalıdır. Çeşitli viskozite değerleri için eşdeğerlikler tablo 1.2 de verilmiştir. Yakıtların sıcaklıkla viskozite değişimi ise şekil 1.28 de verilmiştir. Bu şekil üzerinde pompalama sınırı, yakıtlar için püskürtme viskozite bölgesi ve gemide kullanılan yakıtlar için müsaade edilen alevlenme sıcaklığı belirlenmiştir.

1.3.4. Destilasyon ASTM D-86

Destilasyon testi, bir yakıtın uçuculuğunu yahut buharlaşma sahası belirlenmesinde kullanılır. Miktarı belirlenmiş bir yakıt kapalı kap içinde

TABLO 1.2 Viskozite Eşdeğerlikleri

VIZKOZİTE EŞDEĞERLİKLERİ															
cSt	R	S	E	cSt	R	S	E	cSt	R	S	F	cSt	R	S	F
2,0	30,76	32,64	1,119	23	96,96	110,4	3,215	140	570,1	647,9	18,43	140	570,1	647,9	18,43
2,1	31,01	33,00	1,129	24	100,8	114,7	3,335	145	590,4	671,1	19,06	145	590,4	671,1	19,06
2,2	31,26	33,36	1,139	25	104,6	119,0	3,455	150	610,7	694,2	19,75	150	610,7	694,2	19,75
2,3	31,51	33,72	1,149	26	108,5	123,4	3,575	155	631,0	717,2	20,40	155	631,0	717,2	20,40
2,4	31,76	34,08	1,159	27	112,4	127,8	3,695	160	651,4	740,4	21,05	160	651,4	740,4	21,05
2,5	32,01	34,44	1,169	28	116,3	132,3	3,820	165	671,8	763,4	21,72	165	671,8	763,4	21,72
2,6	32,26	34,76	1,178	29	120,2	136,7	3,945	170	692,4	786,6	22,38	170	692,4	786,6	22,38
2,7	32,51	35,08	1,188	30	124,2	141,1	4,070	175	712,6	809,7	23,03	175	712,6	809,7	23,03
2,8	32,76	35,41	1,198	31	128,1	145,5	4,195	180	733,1	832,9	23,70	180	733,1	832,9	23,70
2,9	33,01	35,73	1,207	32	132,1	149,9	4,320	185	753,5	856,1	24,35	185	753,5	856,1	24,35
3,0	33,26	36,05	1,217	33	136,1	154,4	4,445	190	774,0	879,3	25,00	190	774,0	879,3	25,00
3,1	33,51	36,37	1,226	34	140,0	158,9	4,570	195	794,3	902,5	25,67	195	794,3	902,5	25,67
3,2	33,76	36,69	1,235	35	144,0	163,4	4,695	200	814,6	925,6	26,32	200	814,6	925,6	26,32
3,3	34,01	37,01	1,244	36	147,9	167,9	4,820	210	855,2	971,8	27,65	210	855,2	971,8	27,65
3,4	34,27	37,33	1,253	37	151,9	172,4	4,955	220	896,3	1018	28,95	220	896,3	1018	28,95
3,5	34,52	37,65	1,264	38	155,9	176,9	5,080	230	936,9	1065	30,28	230	936,9	1065	30,28
3,6	34,77	37,95	1,274	39	160,0	181,4	5,205	240	978,0	1111	31,60	240	978,0	1111	31,60
3,7	35,03	38,25	1,283	40	164,0	185,9	5,335	250	1018	1157	32,90	250	1018	1157	32,90
3,8	35,28	38,55	1,291	41	168,0	190,5	5,465	260	1059	1203	34,25	260	1059	1203	34,25
3,9	35,53	38,85	1,300	42	172,0	195,0	5,590	270	1099	1249	35,55	270	1099	1249	35,55
4,0	35,78	39,15	1,308	43	176,1	199,5	5,720	280	1140	1296	36,85	280	1140	1296	36,85
4,5	37,03	40,76	1,354	44	180,1	204,1	5,845	290	1181	1342	38,18	290	1181	1342	38,18
5,0	38,31	42,36	1,400	45	184,2	208,7	5,975	300	1222	1388	39,50	300	1222	1388	39,50
5,5	39,65	43,96	1,441	46	188,2	213,3	6,105	310	1263	1434	40,80	310	1263	1434	40,80
6,0	40,91	45,57	1,481	47	192,2	217,9	6,235	320	1303	1480	42,12	320	1303	1480	42,12
6,5	42,26	47,17	1,521	48	196,3	222,5	6,365	330	1344	1527	43,45	330	1344	1527	43,45
7,0	43,57	48,77	1,563	49	200,3	227,1	6,495	340	1385	1574	44,75	340	1385	1574	44,75
7,5	44,89	50,42	1,605	50	204,3	231,7	6,620	350	1425	1620	46,10	350	1425	1620	46,10
8,0	46,26	52,07	1,653	55	224,6	254,8	7,258	360	1465	1666	47,40	360	1465	1666	47,40
8,5	47,66	53,77	1,700	60	244,8	277,8	7,896	370	1505	1712	48,70	370	1505	1712	48,70
9,0	49,04	55,48	1,746	65	265,2	300,8	8,554	380	1546	1759	50,00	380	1546	1759	50,00
9,5	50,47	57,18	1,791	70	285,5	323,8	9,212	390	1587	1805	51,35	390	1587	1805	51,35
10	51,92	58,88	1,837	75	305,7	347,0	9,870	400	1628	1851	52,65	400	1628	1851	52,65
11	54,94	62,39	1,928	80	326,0	370,2	10,53	450	1832	2082	59,25	450	1832	2082	59,25
12	58,05	66,00	2,020	85	346,3	393,3	11,19	500	2036	2314	65,80	500	2036	2314	65,80
13	61,24	69,70	2,120	90	366,6	416,5	11,85	550	2239	2545	72,40	550	2239	2545	72,40
14	64,50	73,50	2,219	95	386,8	439,5	12,51	600	2443	2777	79,00	600	2443	2777	79,00
15	67,89	77,31	2,323	100	407,3	462,6	13,16	650	2646	3008	85,60	650	2646	3008	85,60
16	71,34	81,21	2,434	105	427,7	485,8	13,82	700	2850	3239	92,20	700	2850	3239	92,20
17	74,80	85,22	2,540	110	447,9	509,0	14,47	750	3054	3471	98,80	750	3054	3471	98,80
18	78,36	89,32	2,644	115	468,2	532,1	15,14	800	3258	3702	105,3	800	3258	3702	105,3
19	82,00	93,43	2,755	120	488,6	555,3	15,80	850	3462	3934	111,9	850	3462	3934	111,9
20	85,66	97,64	2,870	125	509,0	578,5	16,45	900	3666	4165	118,5	900	3666	4165	118,5
21	89,42	101,8	2,984	130	529,3	601,6	17,11	950	3871	4396	125,0	950	3871	4396	125,0
22	93,16	106,1	3,100	135	549,6	624,7	17,76	1000	4074	4628	131,6	1000	4074	4628	131,6

sıcaklığı ve nihai % 10 buharlaşma noktası ise diesellerdeki duman durumu ve kazanlar için önemli bir büyüklüktür. % 50 kısmın buharlaşmasını kapsayan sıcaklık ise, cetan numarasının tayininde bir parametre olarak kullanılır.

1.3.5. Tutuşma Noktası ASTM D-56 ve D-93

Yakıtların tutuşma noktasının belirlenmesinde genel olarak iki metod kullanılmaktadır. Bunlardan biri D-56 olup, tutuşma sıcaklığı 80°C dan düşük olan yakıtlarda kullanılmaktadır. İkinci metod ise, D-53 olup Pensky-Martens kapalı kap metodudur. Her iki test metodunda da yakıt, kapalı bir kap içerisinde ısıtılmakta ve yakıt yüzeyi üzerinden bir test alevi sürekli olarak geçirilmektedir. Yakıt buharının ilk tutuşmayı yaptığı en düşük sıcaklık yakıtın tutuşma sıcaklığı olmaktadır. Bu değer yakıtın risksiz olarak ve patlamadan depolanacağı sıcaklığı ve şartları belirlemektedir. Gemide kullanılan yakıtlar için müsaade edilen en düşük tutuşma sıcaklığı 65°C'dir. Bazı klas kuruluşları bu değerden farklı değerler kabul etmektedir. Tutuşma sıcaklığı bu değerden düşük olan yakıtlar, mesela benzin kullanılmaz.

1.3.6. Luminometre Numarası ASTM D-1740

Luminometre testi, bir yakıtın alev radyasyon karakteristiğinin belirlenmesi için uygulanır. Jet veya destilasyon ürünü yakıtların gaz türbinlerindeki yanma kalitesinin bir göstergesidir. Yakıt alev radyasyon karakteristiği, yakıtın yanması esnasında alev radyasyonunun optik veya diğer yöntemle ölçümüne dayanır. Luminometre numarası özellikle jet gaz türbinlerinin aşırı ısınma veya yakıcı deformasyonlarında önemli tek kriter olarak kullanılmaktadır.

1.3.7. Yanma Isısı ASTM D-240

Yanma ısısı deneyinde sıkı kontrol edilen bir ortamda yanmanın sonucunda meydana gelen ısı miktarının tesbiti yapılmaktadır. Ağırlığı belli olan yakıt numunesi bir oksijen-bomba kalorimetresi içerisinde yakılmakta

ve yanmada meydana gelen ısı miktarı, yanma başlangıç ve sonundaki sıcaklık değerlerinden hesaplanmaktadır. Sonuçlar, termo-kimyasal ve ısı transfer etkilerinin tesirlerine göre düzeltilmekte ve kJ/kg olarak belirlenmektedir. Yanmada meydana gelen toplam ısı, üst ısı değer olarak ifade edilir ve bu ısı miktarı su buharının buharlaşma ısını da kapsar. Net ısı miktarı ise, alt ısı değer diye adlandırdığımız yanma ısı miktarıdır. Toplam yanma ısından suya ait buharlaşma ısının çıkartılması suretiyle hesapları yapılmaktadır. Özgöl ağırlığa bağlı olarak alt ve üst ısı değerler aşağıda tablo 1.3 'te verilmiştir.

TABLO 1.3 Sıvı Yakıtlara Ait Üst ve Alt Isı Değeri

API DERECEİ	ÖZGÜL AĞIRLIK (gr/cm ³)	ÜST ISIL DEĞER H _u (kcal/kg)	ALT ISIL DEĞER H _a (kcal/kg)
6	1.0291	10183.33	9633.33
8	1.0143	10244.44	9688.89
10	1.0000	10300.00	9744.44
12	0.9861	10355.56	9788.89
14	0.9725	10411.11	9838.89
16	0.9593	10466.67	9883.33
18	0.9465	10516.67	9922.22
20	0.9340	10566.67	9961.11
22	0.9218	10616.67	10000.00
24	0.9100	10661.11	10038.89
26	0.8984	10705.56	10072.22
28	0.8871	10750.00	10105.56
30	0.8762	10788.89	10083.33
32	0.8654	10827.78	10172.22
34	0.8550	10866.67	10200.00
36	0.8448	10900.00	10227.78
38	0.8348	10933.33	10255.56
40	0.8251	10972.22	10283.33
42	0.8155	11005.56	10311.11
44	0.8063	11033.33	10333.33
46	0.7972	11066.67	10355.56
48	0.7883	11094.44	10377.78

1.3.8. Cetan Numarası ASTM D-613

Cetan numarası bir diesel yakıtın ateşlenme kalitesini belirleyen büyüklüktür. Bu test, çalışma esnasında sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir motorda yapılmakta, değişik sıkıştırma oranlarında numune yakıtın veya yakıt karışımlarının referans yakıtı göre ateşleme gecikme periyotları yani enjeksiyonla ateşleme arasındaki zaman ölçülmektedir. Referans yakıt olarak normal cetan ile alfa-metilnaftalin karışımı kullanılmaktadır. % 100 cetan olması halinde cetan numarası 100 olmakta ve % 100 alfa-metilnaftalin karışımının cetan numarası ise, 0 sıfır olmaktadır. Burada cetan ile alfa-metilnaftalin karışımı yeni şartlarda numune yakıtın ateşleme gecikme süresini sağlıyorsa, bu durumda, karışımın cetan oranı % olarak alınır ve buna cetan numarası denir. Cetan numarasının yüksek olması, yakıtın ateşleme hızının yüksek olmasını ifade etmektedir. Bu husus yüksek devirli motorlarda büyük öneme sahiptir.

1.3.9 Diesel Index IP-21

Anilin noktası ve API ağırlık derecesi yardımıyla cetan numarası tayinine yarayan bir metottur. Anilin noktası (ASTM D1012) derece Fahrenheit olarak belli miktardaki anilin ve numune yakıtın önceden ısıtılmaları ve daha sonra karıştırılmaları sonunda sıcaklık değerinin ölçülmesine dayanır. Karışımın sıcaklığı yakıtın parafinik özelliğini göstereceğinden, dolayısı ile cetan numarasının tayininde de kullanılabilir. Genellikle söylenebilir ki yakıt ne kadar parafinik ise yakıtın cetan numarası da o kadar yüksektir.

Anilin noktası ve API ağırlığı bir yakıtın kompozisyonunu tayin etmek için "Diesel Index" ismi altında bir tanımda birleştirilmiştir. Diesel Index aşağıdaki formüle göre belirlenir.

$$\text{Diesel Index} = 0.01 \times (\text{Anilin noktası } ^\circ\text{F}) \times (\text{API Ağırlığı}) \quad \dots (1.27)$$

belirtilir. Hafif yakıtlar ile diesel yakıtlarda karbon artığı takriben % 10 civarındadır. Karbon artığı, diesel motor yanma hücrelerinde ve yakıcılardaki depozit miktarının belirlenmesine bir gösterge teşkil etmektedir. Karbon artığı büyük olan yakıtlar diesel motorları daha çok kirletir.

1.3.12 Ramsbottom Karbon Artığı ASTM D-524

Ramsbottom karbon artığı deneyi, yakıtın ısıtma veya buharlaşma sonucu karbon artık miktarının bulunması için yapılmaktadır. Ölçülen numune miktarı ağzı açık bir cam kaba konulmakta ve cam kapta 550°C da bir fırın içerisine yerleştirilmektedir. Belirli süre ısıtılan yakıt soğutulmuş tartılmakta ve cam kap içerisinde bulunan yakıt ağırlığı belirlenmektedir. Sonuçlar değişik şekillerde verilebilmektedir.

1.3.13 Kül Miktarı ASTM D-482

Kül miktarı tesiti, yakıtın içerisindeki yanmayan kısımların miktarının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Artık yahut kül içerisinde kurum, yanmayan kirlilikler ve küçük miktarlarda vanadyum, kalsiyum, sodyum ve potasyum bulunmaktadır. Yakıt içerisindeki kül miktarının fazla olması yakıt meme ve enjektörlerinin tıkanmasına, diesel motorlarda silindir-segman aşınmalarına, gaz türbinlerinde kanat aşınma ve korozyonlarına, kazan duman yolları üzerinde kirlenme teşekkülüne yahut süperhiter borularının korozyon etkilenmesine yol açmaktadır. Yakıt kullanılmadan önce filtrelenebilir, sepiye edilmeli ve kül miktarını minimuma indirmeye gayret gösterilmelidir. Diesel motor ve gaz türbini için bu ihtimam daha da artırılmalıdır.

Vanadyum ve sodyum tarzındaki koroziyon bileşenler ortamda yüksek sıcaklıklarda (takriben 675°C) gaz türbin kanatlarını çok kısa bir sürede korozyona uğratmakta, diesel motorda ise, egzoz valf yüzeyleri ve piston kafasındaki yüksek sıcaklık bölgelerinde korozyona neden olmaktadır.

Vanadyum genellikle petrol içerisinde çözünmüş olarak, sodyum ise

tuzlu su halinde bulunmaktadır. Vanadyum ve sodyum ötetik alarım yaptıkları taktirde ergime noktaları düşeceğinden daha düşük sıcaklıklarda bile etki ederek korozyona neden olabilirler. Diesel motorlarda korozyon genel olarak, konstrüktif tedbirlerle, metalurjik tedbirlerle, egzoz valfi soğutulması ve piston soğutulması yardımıyla kontrol edilebilmektedir. Yakıt içerisinde bazı katkıların katılmasıyla da bu korozyonun kontrol edilmesi mümkün olmaktadır

1.3.14 Su Miktarı ASTM D-95

Depolama, taşıma yahut gemi tanklarındaki yakıt içerisindeki su miktarının tayini maksadıyla yapılan bir testtir. Bu testte, destilasyon esnasında suyu emici ve uçucu bir solvent kullanılmaktadır. Yakıt ısıtılır ve ters akışlı bir kondenserde suyu emmiş olan solvent yoğunlaştırılmakta ve daha sonra da bir kondensstopda biriktirilmektedir. Kondensstop içerisinde su çökerek ayrılmakta ve suyun hacmi doğrudan okunabilmektedir.

Yakıt içerisinde su, diesel motor veya gaz türbininde kullanılmaması için ayrılmalıdır. Çünkü su, tuzlu suya dönüşerek enjektör memelerini tıkamakta ve diesel motorda korozyona neden olmaktadır.

1.3.15 Tortu Miktarı ASTM D-473

Akaryakıt içerisinde bulunan çözünmez kısımlar ile katranımsı ve çözünbilme sınırında bulunan polimerize hidrokarbonlardan tortu oluşumu söz konusudur. Bu kısımların miktarının belirlenmesi için yine burada solvent kullanılmaktadır. Bu ölçüm için özel bir tertibat bulunmaktadır. Bu testte yakıt numunesi bir potaya konulmakta ve bu pota ise, bir şişe içerisinde asılı olarak bulunmaktadır. Şişe içerisindeki toluen ısıtılarak pota içinde bulunan yakıt içerisinde damla damla geçecek şekilde yoğunlaştırılmaktadır. Bu olay bütün numune yakıtın ekstraksiyonuna kadar devam etmektedir. Pota içerisinde kalan tortu ölçülmekte ve numune ağırlığının yüzdesi olarak tortu miktarı belirlenmektedir.

1.3.16 Su ve Tortu Miktarı ASTM D-1796

Bu test yakıt içerisindeki su ve tortu miktarını beraber olarak belirleyebilmektedir. Bu testte alınan iki eş numune özel laboratuvar cihazı olan santrifüjde, yine belirli şartlar altında ve solvent ile muameleye tabi tutulmakta ve su ile tortu miktarı direkt olarak okunabilmektedir.

1.3.17 Bakır Şerit Testi ASTM D-130

Bakır şerit korozyon testinde, yakıt içerisindeki koroziv etki ortamlarının varlığı ve miktarları hakkında bilgi edinilir. Bu testte numune yakıt bir kap içerisine konulmakta ve bu kap da sıcaklığı 100°C olan suyun içerisine otulmaktadır. Daha sonra parlatılmış bakır şerit, numune içerisine batırılmakta ve üç saat bekletilmektedir. Deney sonunda çıkartılan şerit standart seritle karşılaştırılarak koroziv etki konusunda yargıya varılır.

1.3.18 Kükürt Miktarı Testi ASTM D-129

Yakıt içerisindeki kükürt miktarının tayininde kullanılan bir testtir. Deney, oksijenle basınçlandırılmış bir kap (bomba) içerisinde yapılmakta ve daha sonra birkaç kimyasal madde katkısı ve filtrasyon neticesi kükürt miktarı ağırlık olarak belirlenmekte ve numunenin % si olarak ifade edilmektedir.

1.3.19 Yakıt Spesifikasyonları ASTM D-975 ve D-396

Endüstriyel tesislerde ve enerji tesislerinde yakıtlardan istenen özellikler genellikle iki noktada toplanmaktadır. Bunlardan birinci olarak yakıtın maksata uygulugu sayılabilir. Yani diğer bir deyişle sistemde tıkanma kirlenme, korozyon ve yanma zorlukları meydana getirmeyecek bir yakıt. Diğer ikinci özellik ise, bu yakıtın fiyatıdır. Yakıt ne kadar ucuz olursa işletme sorumlusu için o kadar avantajlı olmaktadır. Fakat, yakıtlar genellikle ham petrol ürünü olduğu için destilasyon ürünleri derecesi arttıkça maliyetleri ve dolayısıyla da fiyatları artmaktadır.

Konstrüktörün amacı en ucuz yakıtı kullanabilmek olup, görevi bu amaç için gerekli düzenlemeleri yapmaktır. Her konstrüksiyon veya her amaç için bir yakıt yapılırsa, sonsuz çeşitte yakıt ortaya çıkacaktır. Bunu önlemek ve ekonomik bir çözüm bulmak amacıyla yakıtların da sınıflandırılma yöntemine gidilmiştir. Bu sınıflandırma diesel yakıtlar için tablo 1.4 de verilmiştir. Bugün orta devirlerde başlayıp düşük devirli diesel motorlarda ağır yakıtlar kullanıldığından fuel-oil'lere ait tablonun da verilmesi faydalı olacaktır. Sınıflandırma tablo 1.5 te verilmiştir. Bu tabloda no.1 , no.2 ve no.4 diesel yakıtları ifade etmektedir.

TABLO 1.4 Diesel Yakıtların Sınıflandırılması

DIESEL YAKIT TİPİ	TUTUŞMA SICAKLIĞI [°C] min.	KİNEMATİK VİSKOZİTE [cSt] min. max.		KÜKÜRT MİKTARI [%] max.	CETAN NUMARASI min.
NO.1-D	37.8	1.4	2.5	0.5	40
NO.2-D	51.7	2.0	4.3	1.0	40
NO.4-D	54.4	5.8	26.4	2.0	30
NOT : Daha değişik gruplamalar mevcuttur.					

TABLO 1.5 Fuel-oil Yakıtlarının Sınıflandırılması

FUEL-OIL TİPİ	TUTUŞMA SICAKLIĞI [°C] min.	KİNEMATİK VİSKOZİTE [cSt] min. max.		API DERECESİ max.	% 90 DESTİLAYON SICAKLIĞI [°C] min. max.	
NO.1	37.8	1.4	2.2	35	-	288
NO.2	37.8	2.0	3.6	30	282	337
NO.4	54.4	5.8	26.4	-	-	-
NO.5 hafif	54.4	32	65	-	-	-
NO.5 ağır	54.4	75	162	-	-	-
NO.6	60.0	-	-	-	-	-

1.4. GEMİLERDE KULLANILMAKTA OLAN YAKIT TEMİZLEME SİSTEMLERİ VE GELECEĞİN YAKITLARININ SEÇİLMESİ

1.4.1. Giriş :

Bundan birkaç yıl evvel, petrol krizi ile başlayan problemler sonucunda gemilerde kullanılan diesel artık yakıtının kalitesinde düşüş olduğu herkes tarafından bilinmektedir. Bugün için kullanılan yakıtların yakın gelecekte nasıl bir tutum göstereceği araştırılmaktadır. Gerçekten, şu anda kullanılmakta olan arıtma teknolojisi ve buna bağlı olarak arıtmanın sonunda elde edilen artık yakıtların zararlı etkileri olan kırılgenlik ve katalitik aşındırma üzerinde pek çok makale yazılarak yayınlanmıştır. Bugün gemilerde kullanılmakta olan artık yakıtlarla ilgili sınırlamalar sonucu yaklaşık olarak aşağıdaki şu değerler ortaya çıkmaktadır.

Yoğunluk	991 kg/m ³	(15°C)
Viskozite	600 mm ² /s	(50°C)
Conradson karbon	20 %	
Kükürt	5 %	
Vanadyum	600 ppm	
Alüminyum	30 ppm	

Buradan görüldüğü gibi buhar tesislerinde yakılan kazan yakıtları bile daha kaliteli olmaktadır.

Artık yakıtların gemilerde kullanılması ile ilgili olarak Sulzer motor firması tarafından uzun zamandır yapılan araştırmalar bu bölümde belirtilecek ve elde edilen yakıt temizleme sistemleri açıklanarak motorda kullanılan yakıtların etkileri açıklanacaktır.

1.4.2. Konvansiyonel Yakıt Temizleme Sistemleri :

1.4.2.1. Temizlemenin Esasları :

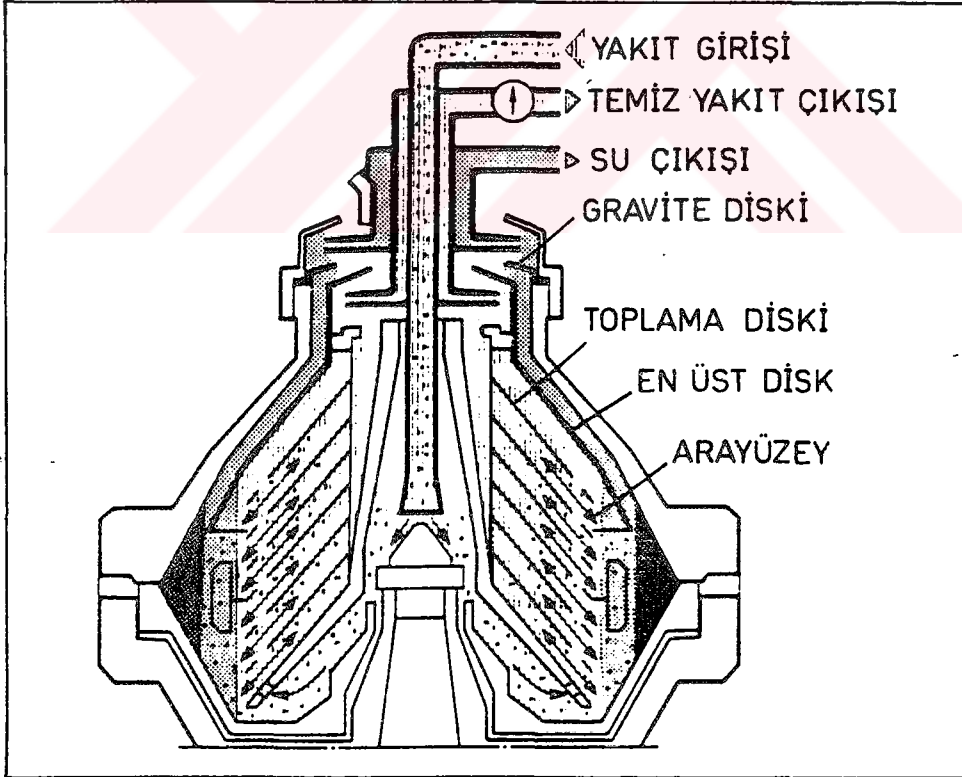
Gemilerde yakıtın verimli ve uygun olarak yakılması için aşağıda sıralanan zararlı katı partiküllerin azaltılması gerekmektedir,

- . Katıların ayrıştırılması;
- . Tuzlu suyun ayrıştırılması;
- . Tatlı suyun ayrıştırılması;

Artık yakıtların doğru olarak kullanılması son derece önemlidir. Bu konuyu gemi sahipleri ve operatörleri dikkatlice değerlendirmelidirler. Artık yakıtların yanma odasına olan enjeksiyonunda başarı sağlamak için arıtıcı ve temizleyici santrifüj cihazlarının sisteme yerleştirilme gereği motor üretici firmalar tarafından devamlı olarak vurgulanmaktadır.

1.4.2.2. Klasik Purifayer Çalışma Sistemi :

Purifayer, devamlı işletim sırasında yeterli derecedeki farklı yoğunluklar sayesinde katı ve sıvıların ayrıştırılma işlemini bir santrifüj



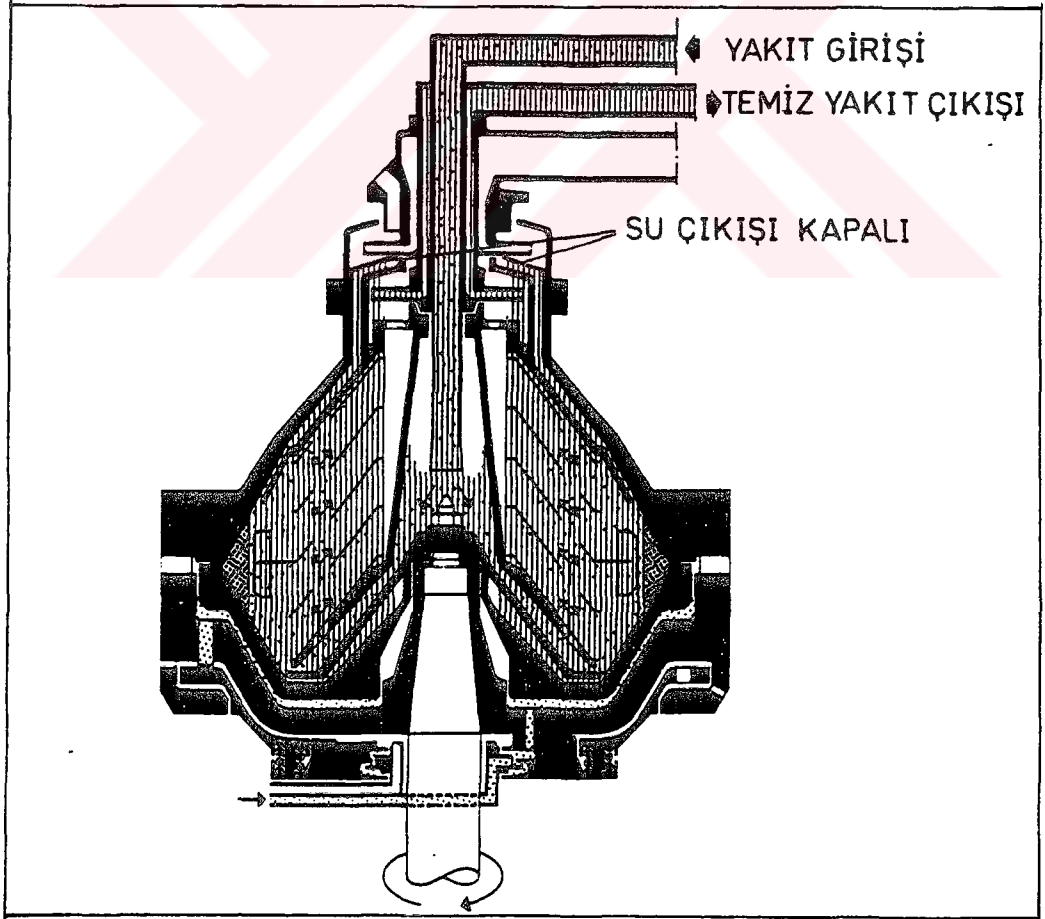
ŞEKİL 1.30 Purifayerde Doğru Olan Arayüzey Pozisyonunun Gösterilmesi

ile yapabilmektedir. Ağır ve hafif yoğunluk fazları arasındaki hidrolik denge purifayer kabının içinde sağlanmalıdır (Şekil 1.30).

Gemilerde kullanılan purifayerler için ağır faz olarak tatlı su alındığında ağır faz olarak da fuel-oil alınması gerekmektedir. Yoğunluk farklılığı denge durumunda ortaya çıkmaktadır. Tatlı su bulunduğunda ağır faz olarak alınan fuel-oil'in yoğunluğu 15°C sıcaklıkta 991 kg/m³ olarak belirlenmektedir.

1.4.2.3 Klasik Klarifayer Çalışma Sistemi :

Klarifayer, daha hafif fazlar için daha ağır olan katıları ayırma işlemini bir santrifüj kuvvetiyle yapabilmektedir. Burada sıvıların ayrılma olayı gerçekleştirilebilmekte fakat işlem devamlı yapılamamaktadır. Ana işlem iki faz arasında hidrolik dengede değişmez (Şekil 1.31).



ŞEKİL 1.31 Klarifayerde Doğru Olan Arayüzey Pozisyonun Gösterimi

1.4.2.4 Purifayer ve Klarifayer'in Avantaj ve Dezavantajları

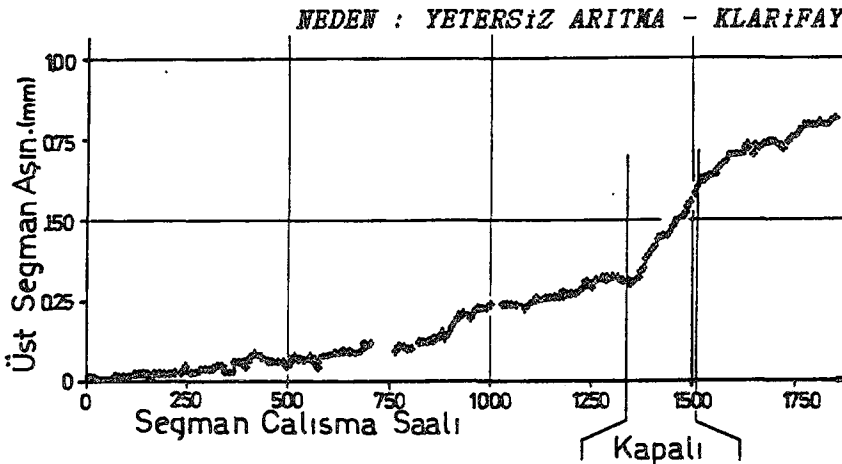
	<u>avantajlar</u>	<u>dezavantajlar</u>
Klasik Purifayer	.Devamlı olarak suyun ayrıştırılması ve boşaltılması .Optimum çalışma noktası için su ve katıların yeterli ayrıştırma	.Ayarın elle yapılması ve optimum çalışma noktasının bulunması .Maksimum yakıt yoğunluğu 15°C de 991 kg/m ³ ile sınırlandırılması
Klasik Klarifayer	.Katıların ayrıştırılması .Mükemmel su ayrıştırma fakat sınırlandırılmış değerlerde .Hidrolik arayüzey olmaz. .Elle ayarlama olmaz. .Optimum genişlikte çalışma bandı	.Yüksek miktardaki su içeren yakıtlarda etkili olamaz. .Boşlukta bulunan çamurlu suyun boşaltılmasıyla katıların ayrıştırma verimi teklikeye girer.

1.4.2.5 Purifayer ve Klarifayer'in Seri Olarak Çalışması :

Purifayer, değişik şartlar altında dengeli olarak çalışabilmesine rağmen optimum çalışma bandı ve ayrıştırma kabiliyeti şu faktörlere bağlı ;

- . Yoğunluk
 - . Viskozite
 - . Akım Hızı
- ve elle ayarlanması durumunda
- . Gravite Diskinin Seçimi

Pratikte bu ifadelerin optimum separasyon verimine etkileri her zaman doğru olarak sağlanamaz.Zayıf ve kötü santrifüj sonucunda yakıtların makina komponentleri üzerindeki aşındırıcı etkileri, bütün operatörler tarafından çok iyi bilinmektedir (Şekil 1.32).

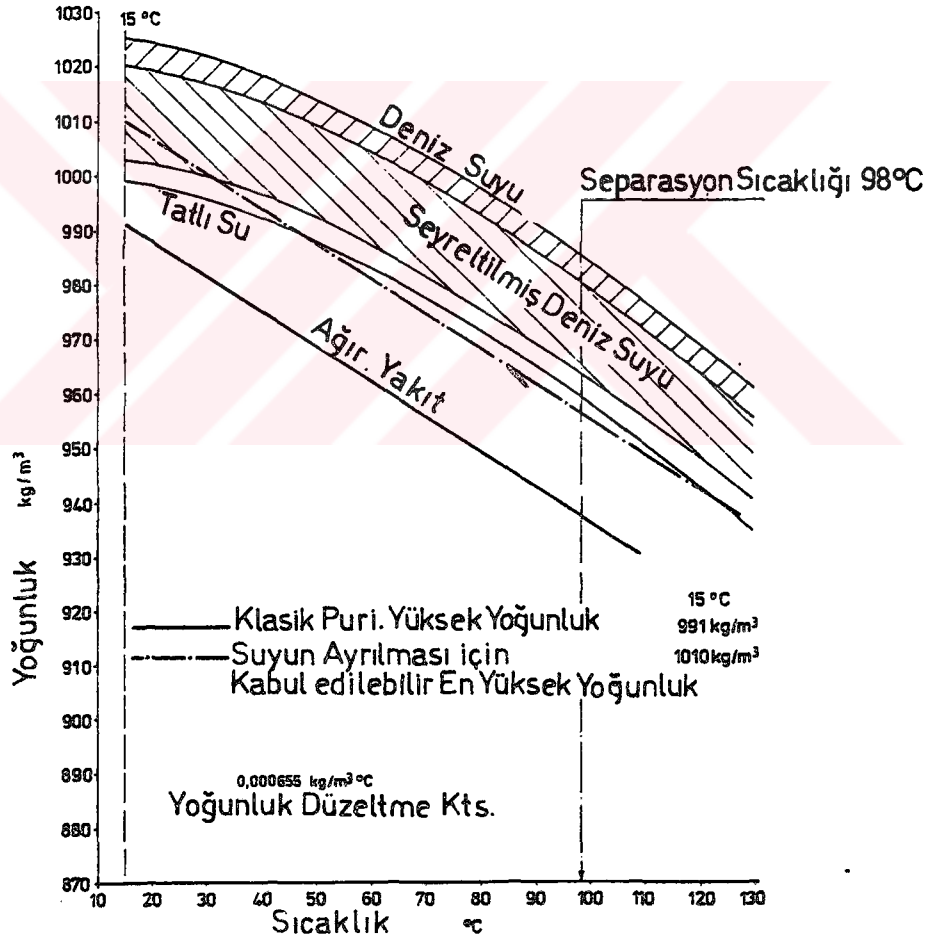


ŞEKİL 1.32
Ölçülen Aşınma (SIPWA)

Eğer klarifayer, purifayerden sonra seri olarak tesis edilmiş ise yakıtın kötü olarak işlenmesi durumunda, ayrıştırılan artıkların miktarında bir azalma olması ile anlaşılmaktadır. Her ne olursa olsun klarifayer'in kullanılması durumunda yakıtın enjeksiyonunda bir iyileşme olur.

Bu konu üzerine yapılmış olan bir takım deneylere bir sonraki konuda yer verilecektir.

1.4.3. Günümüzün ve Geleceğin Yoğunluk Limitleri :



ŞEKİL 1.33 Yoğunluğun Sıcaklıkla Değişimi

Gemilerde yakıtların santrifüj edilmeleri esnasında fuel-oil'in en önemli özelliklerinden biri yoğunluktur (Şekil 1.33).

iyi yapılan rafinerizasyon sonunda elde edilen artık yakıtların yoğunluğu genelde 15°C sıcaklığında 960+980 kg/m³ arasında bulunmaktadır. Kırılganlık ve katalitik çatlatma etkilerine karşı artık yakıtların içine karıştırılan katkıların ilavesiyle bu değerler 980+991 kg/m³ arasında değişmektedir. Diesel motorlarda kullanılan artık yakıtlar üzerinde yapılmış analizlerden, klasik purifayerlerin kullanılması halinde yoğunluğun 15°C de 991 kg/m³ değerine ulaşarak uygun bir noktada çalışıldığı anlaşılmıştır. Uygun viskozitenin yakalanması için yapılan çalışmalarda viskozitenin uygun olduğu durumlarda yoğunluk limitinin aşabileceği ortaya çıkmıştır.

Yoğunlukta elde edilen çok küçük bir miktar artış bile, örneğin 1000 kg/m³ (15°C), diesel operatörü için çok önemli ekonomik fayda sağlar. Var olan yoğunluk limitlerinin hiçbir yüksek verim ve emniyetli alternatifi olmayışı ve kullanılan klasik purifayerlerin yetersiz kalmaları yeni sistem geliştirilmesi gereğini ortaya koymuştur. Bugün gemilerde kullanılan ağır yakıtların yoğunlukları 991 kg/m³ (15°C) ve daha fazla olması alternatif bir sistemi zorunlu kılmaktadır.

Son bir kaç yılda gemilerde denenen klarifayerlerden elde edilen sonuçlara dikkatlice bakıldığında, yoğunlukları 1010 kg/m³ civarında bulunan yakıtların inceltilebilmesi için uygun görülen alternatif sistemlerin kullanılmasıyla iyi sonuçlar alındığı görülür. Bilindiği gibi 1010 kg/m³ yoğunlukta olan bir ağır yakıtın içinde katı zararlılar ve deniz suyu bulunmaktadır. Pratikte görülen tatlı su ve bulanık bileşikler içeren yada seyreltilen tuzlu su içeren yakıtların yoğunluk limitleri seviyesi artar. Eger separasyon işlemi sırasında % 0.5 luk bir yoğunluk farklılığı olursa 1003 kg/m³ yoğunluklu su, 1010 kg/m³ yoğunluğundaki yakıttan 98°C sıcaklık

noktasında verimli bir şekilde ayrıştırılır. Buradan şöyle bir anlam elde etmek mümkündür; 1003 kg/m^3 yoğunluğundan daha fazla değerler yeni sistemde suyun ayrıştırılması mümkün olmaktadır. Yakıtın içinde bulunan bulanık su, yaklaşık olarak 82 kısım tatlı su ile 18 kısım deniz suyundan meydana gelir

Yakıtın içinde bulunması arzu edilen sodyum seviyesini tespit etmeye çalışalım, Na bu seviyenin altında olmalıdır ;

Yakıtta Bulunan Su	Na Seviye Değerleri
Miktarı %	* - ppm
10 %	220
5 %	120
2 %	60

* Alınan numuneler

Yakıtta 20 ppm Na miktarı

Yakıtta 30 ppm tatlı su miktarı

Yakıtta 10561 ppm tuzlu su miktarı

1.4.4. Yüksek Yoğunluklu Yakıtların İşlenmesi :

Son yıllarda Alfa-Laval ve Sulzer tarafından ortaklaşa yapılan çalışmalar sonucunda bölüm 1.4.1 de görülen yakıt özelliklerinden daha kötü olan yakıtların verimli işlenmesi ortaya konulmuştur. Çalışmalar halen devam etmektedir.

1.4.4.1. Purifayerler :

Klasik purifayerlerde 15°C sıcaklıkta 991 kg/m^3 olan yoğunluktaki gravite limitli bir yakıt işlendiğini belirtmiştik. Zararlı ortamın etkisi ortamdaki gravitenin artmasıyla, örneğin yakıtların yoğunluğundan daha fazla olan seyreltilmiş MgSO_4 çözeltisinin ortama karıştırılmasıyla ortamda hidrolik dengenin kurulması sağlanabilir. 15°C ta 1006 kg/m^3 den daha fazla yoğunluktaki yakıtların içinde tuzlu su ayrıştırılabilirken tatlı su ortam

içinde kalabilmektedir.Yapılan deneylerin pratikte uygulanabilirliği söz konusu iken $MgSO_4$ gibi çözeltilerin korozyif etkilerinden dolayı bu yöntem bırakılmıştır.Yüksek yoğunluktaki yakıtları işleyen purifayerler sadece $MgSO_4$ olan ağırlaştırıcı katıklar karıştırılmaz fakat böyle bir durumda optimum separasyonu sağlamak için elle ayarlama zorunluluğu sorun olarak bir dezavantaj yaratmaktadır.

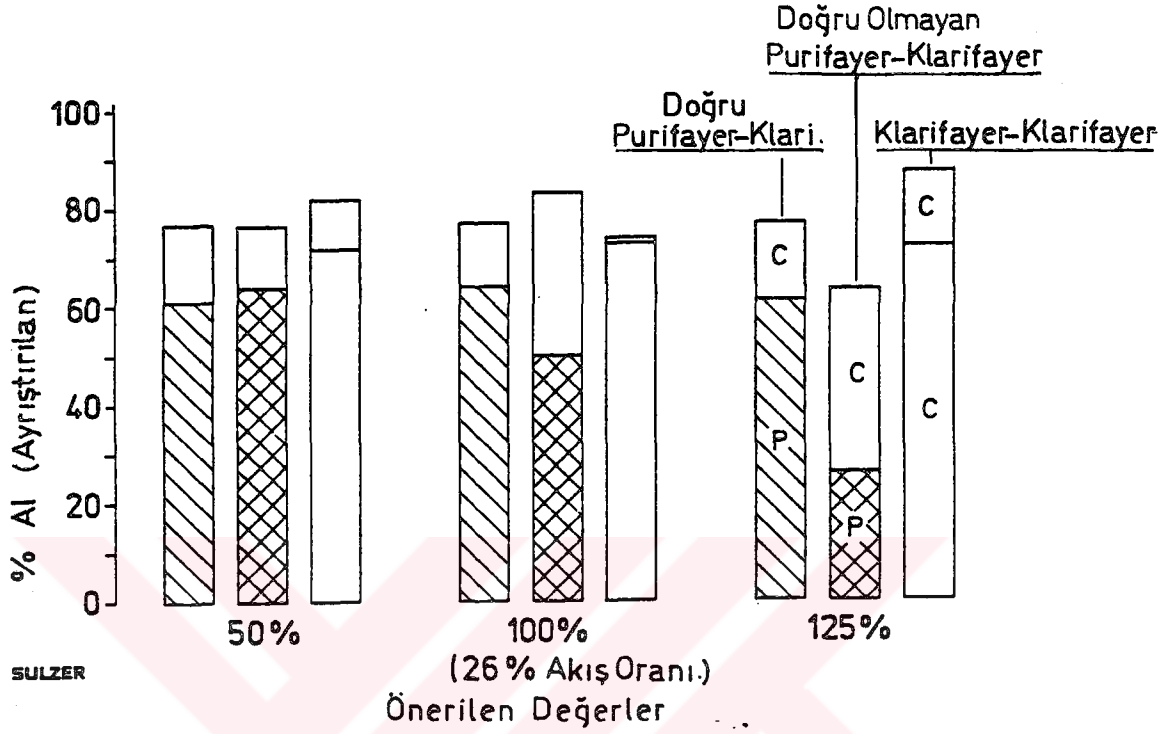
1.4.4.2. Klarifayerler :

Klasik klarifayerlerin tutumları, laboratuvar ve gemi şartlarında deneye tabi tutulmuşlar ve bu araştırmaların sonuçları tablo 1.6'da altı tip yakıt için verilmiştir,

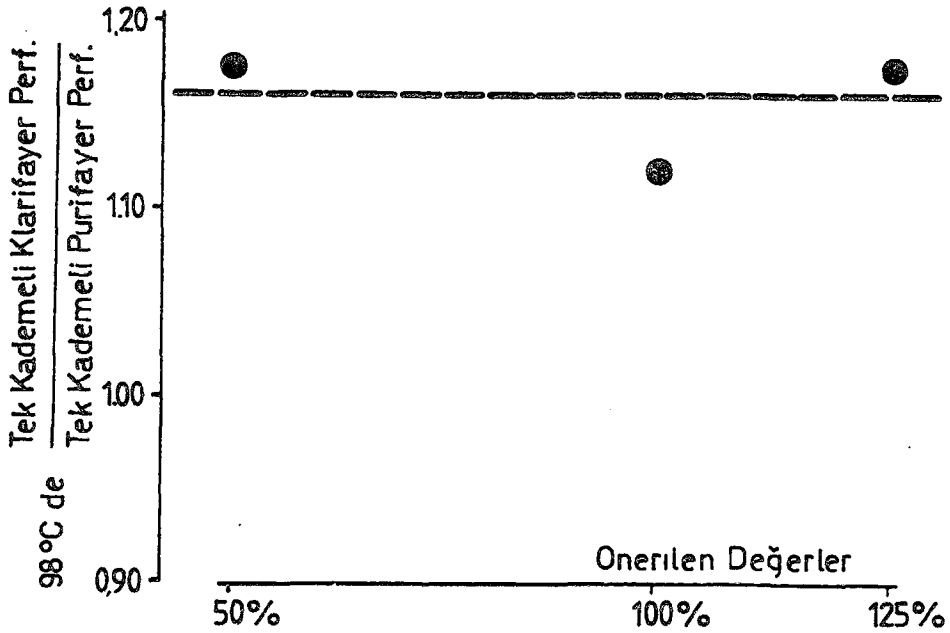
TABLO 1.6 Çeşitli Yakıtların Özellikleri

	Yoğunluk (15°C) kg/m ³	Viskozite (50°C) mm ² /s	C.C.R %	Asfal ten %	Sıcak Filtr %	S %	V ppm	Na ppm	Si ppm	Al ppm	Ni ppm	DI -	CI -
NO.1	978	450	15.0	10.7	0.1	2.4	400	22	10	2	77	41	-
NO.2	988	390	19.0	10.0	0.1	3.6	154	27	5	1	45	42	-
NO.3	998	430	16.2	6.0	0.1	4.0	78	26	<10	2	-	27	32
NO.4	1006	380	16.5	8.2	0.25	3.4	120	47	5	1	-	16	20
NO.5	986	275	12.0	5.3	0.11	2.7	152	15	52	33	-	-	-
NO.6	1013	421	13.1	3.8	0.22	2.9	110	33	32	18	-	14	22
Analiz Metodu	ASTM D1298	ASTM D445	ASTM D189	Din 51596	SM D2622	ASTM AA	AA	AA	AA	AA	AA	IP 21	IP 218

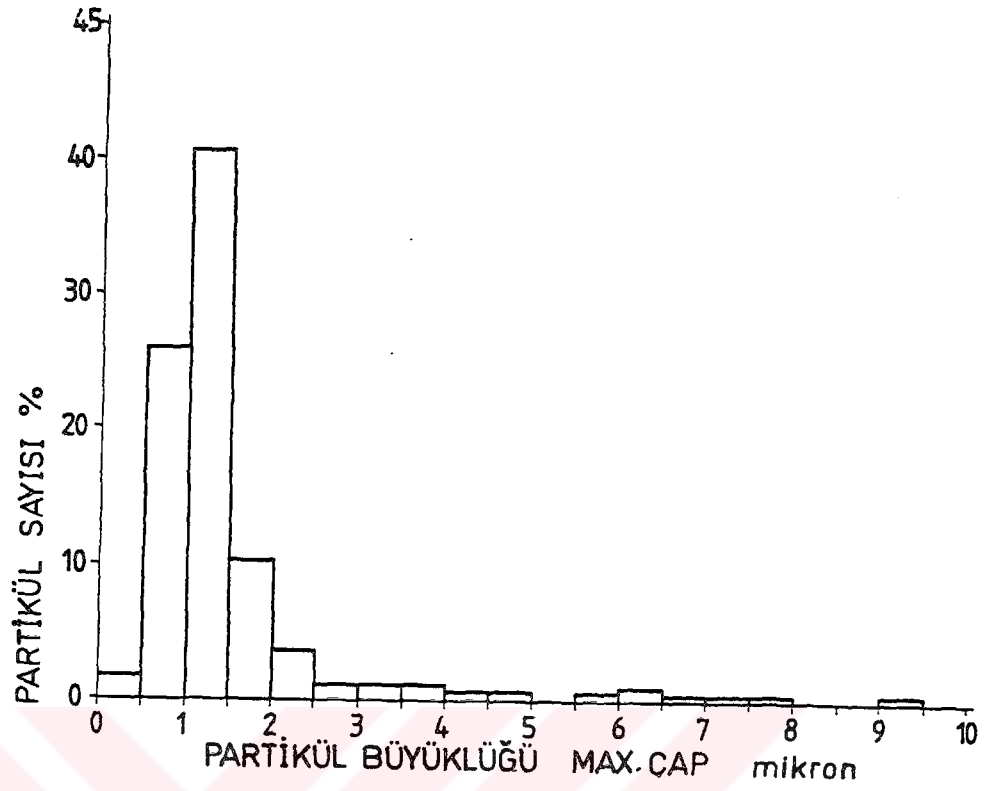
Deneylerin bazı sonuçları şekiller 1.34-1.35-1.36-1.37 ve 1.38 de sunulmuştur.Böylece klarifayerin verimi ve yakıtı işleme kabiliyeti sonuçta değerlendirilebilir.Bu şekillerden anlaşıldığı üzere klarifayer, yakıt işleme tesislerinde max. yoğunluk sahasında gerçekten potansiyel bir güçtür. Günümüzde halen gemi sahipleri klarifayer kullanılarak yapılan yakıtın temizlenmesi işleminin önemini fark edememişlerdir.Klarifayerin kullanımı ile ilgili olarak şekil 1.39 'da zamana bağlı olarak klarifayerin faydası görülmektedir..



ŞEKİL 1.34 5 No.lu Yakıtın 98°C Sıcaklıkta Katalitik ince Partiküllerin Ayrıştırılması

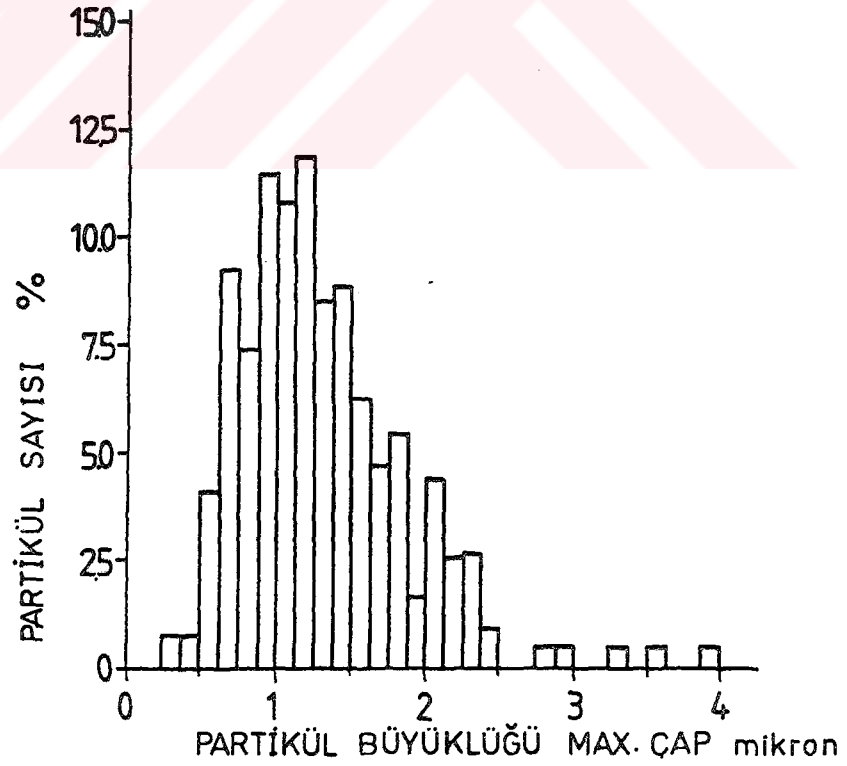


ŞEKİL 1.35 5 No.lu Yakıtta Katıların Ayrıştırılma Performansı

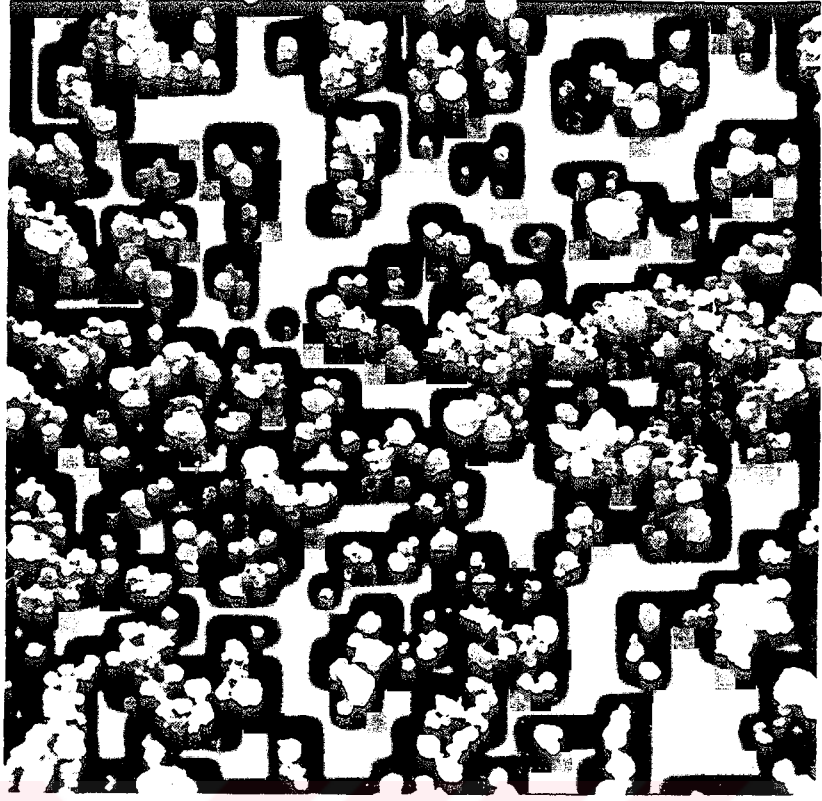


SULZER
0763 3242

ŞEKİL 1.36 5 No.lu Yakıt için Separatör Girişinde Çözünmeyen Partikül Miktarı

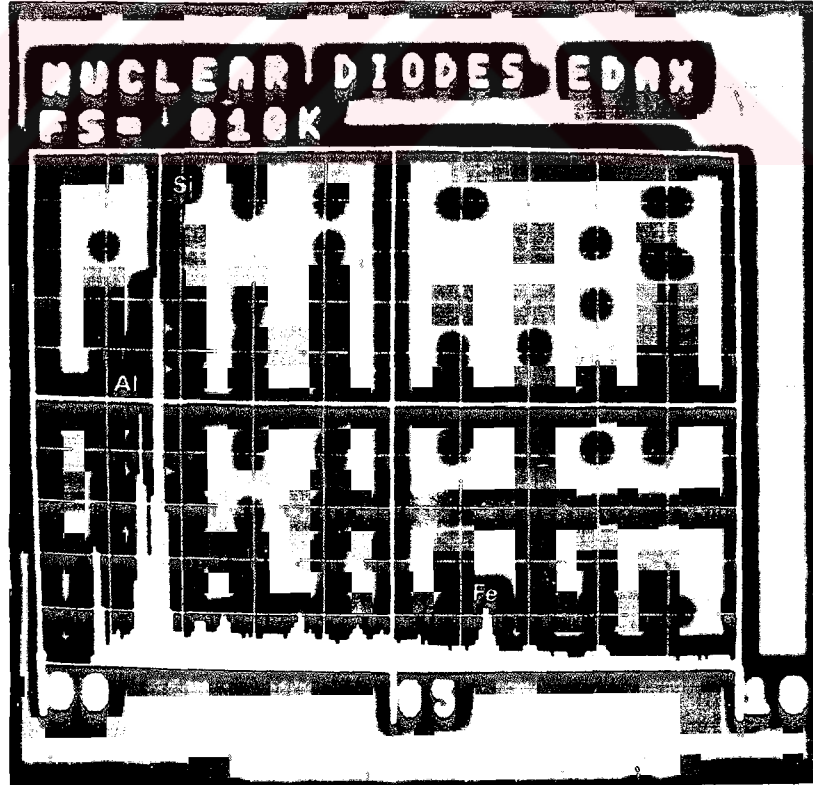


ŞEKİL 1.37 5 No.lu Yakıt için Klarifayerde Sepere Edilmiş Çözünmeyen Partikül Sayısı

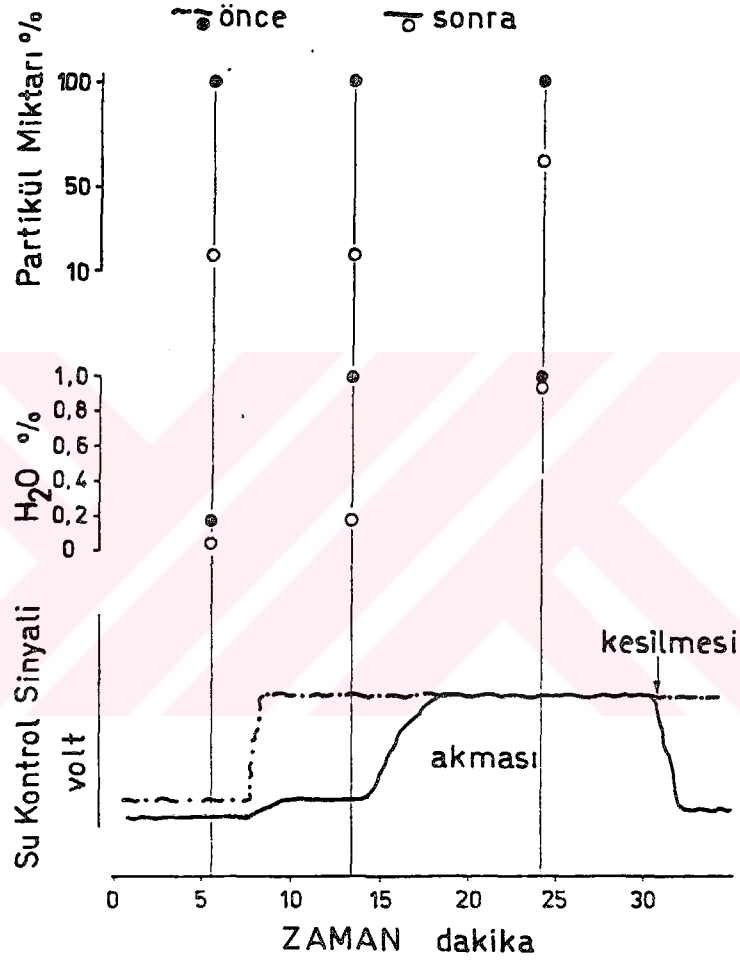


5 μ m

ŞEKİL 1.38 5 No.lu Yakıt için Klarifayerde Sepere Edilmiş Olan Çözünmeyen Partiküller



ŞEKİL 1.39 5 No.lu Yakıt için Klarifayerde Sepere Edilmiş Olan Çözünmeyen Partiküllerin Tanımlanması



ŞEKİL 1.40 5 No.lu Yakıt için Zamana Bağlı Olarak Klasik Klarifayer Performansı

1.4.4.3. Yüksek Yoğunluk Separatörü - ALCAP

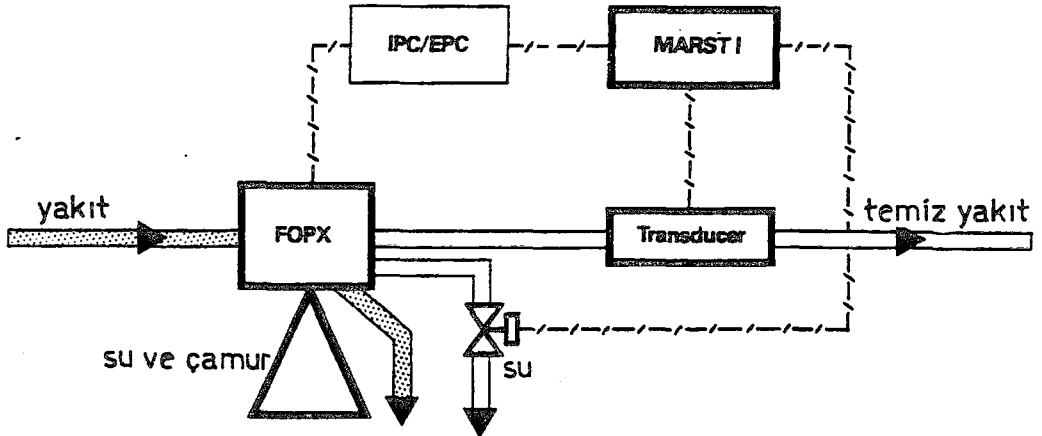
Klasik purifayer ve klarifayerlerin avantaj ve dezavantajlarına bakıldığı zaman, ağır yakıtların temizlenmesinde dikkat edilecek hususlar Alfa-Laval ve Sulzer tarafından yapılmış olan deneyler sonucunda madde madde şöyle sunulmuştur ;

- Basit ve gerçekleştirilmesi kolay işletim
- Yüksek çalışma verimi
- Suyun tıkanmaması
- Yakıt yoğunluk sahasının artışı
- Kendi kendine kontrol sistemi

1979 yılında alınmaya başlanan,Alfa-Laval tarafından geliştirilen ALCAP yüksek yoğunluk separasyon sisteminin Sulzer ile ortaklaşa yapılmış olan deney sonuçları bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

1.4.4.4. ALCAP 'ın Çalışma Prensipleri :

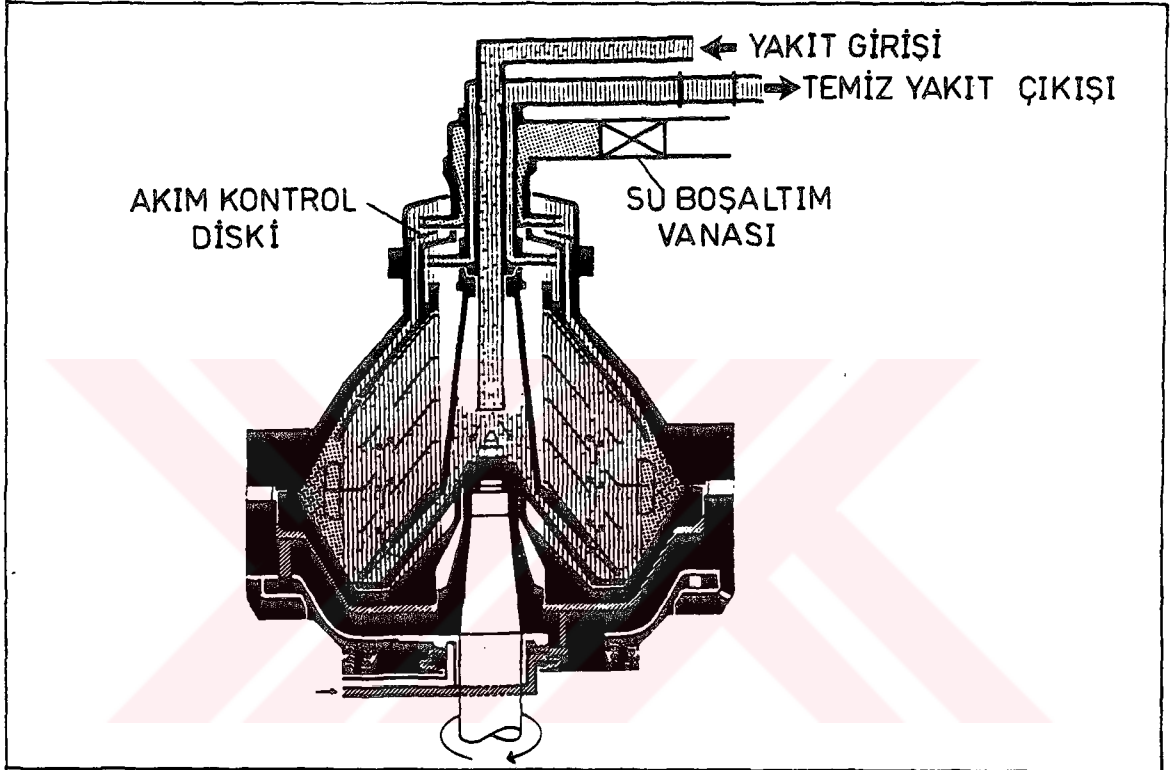
Şekil 1.41 'de ALCAP separasyon sisteminin ana özellikleri ve belli başlı elemanları görülmektedir.



ŞEKİL 1.41 Bir Separasyon Sisteminin Ana Elemanları

- Gravite diskli bulunmayan FOPX separatörü
- Su bileşimindeki değişimi kontrol eden bir su transduseri
- Yakıtın temizlenmesinden sonra bir mikro-işlemci yardımıyla biriken artıkların zaman zaman temizlenmesi

Yakıtın temiz kalması için devamlı olarak separatorün beslenmesi gerekmektedir.FOPX separatorü normalde klarifayer kadar çalıştırılır.Temiz yakıt devamlı olarak temiz yakıt çıkışından sisteme verilmesi gerekir. Şekil 1.42'de sepere edilmiş çamur ve su, separator kabının yüzeylerinde toplanması gösterilmektedir.



ŞEKİL 1.42 Kendinden Boşaltımlı Yüksek Yoğunluk Separatorü (ALCAP)

Sepere edilmiş su, toplama diskini aştığı zaman bir miktar su temizlenmiş yakıtla beraber sisteme sızar.Temizlenmiş yakıtta bulunan su bileşenlerinin artması, temiz yakıt çıkışına yerleştirilmiş olan bir su transduseri sayesinde hemen tespit edilir.

1.4.4.5. Su Transduserinin Kontrol ikaz Prensibi :

Su transduserinin ölçüm prensibi kapasitans temeline dayanır.Su ile yakıt arasında çok büyük bir dielektrik (içyükül) sabiti farklılığı bulunmaktadır.Su ile yakıt mineralleri arasındaki dielektrik sabitine ait

yaklaşık değerler aşağıda verilmiştir;

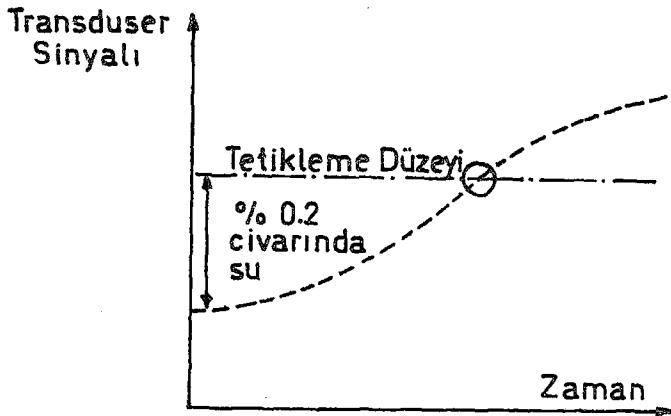
Dielektrik Sabiti	-	Yaklaşık Değerler
Mineral Yakıt		2+4
Su		80

Yakıtın içinde su bileşenleri arttığı zaman yakıtın dielektrik sabiti de artar ve bundan sonra yakıtın içindeki su bileşenlerine ait değişimlerle kondansatör akımında dalgalanmalar oluşur. Kondansatör akımı, MARST I mikroişlemci'ye transduser tarafından sinyaller halinde gönderilir.

Tranduser kabının içine yerleştirilmiş olan test kontrol kartının yardımıyla her 6 saniyede bir osilatör (salınım hareketi yapan bir mil) sayesinde kontrol edilir. Eğer osilasyon miktarı yeterli gelmiyorsa MARST I mikroişlemci'ye alarm verilir. Temiz yakıtın sirkülasyonu sırasında bu daire şeklinde olan kondansatörün içinden geçer, emilmiş ve serbest olarak bulunan su ölçümü yapılır.

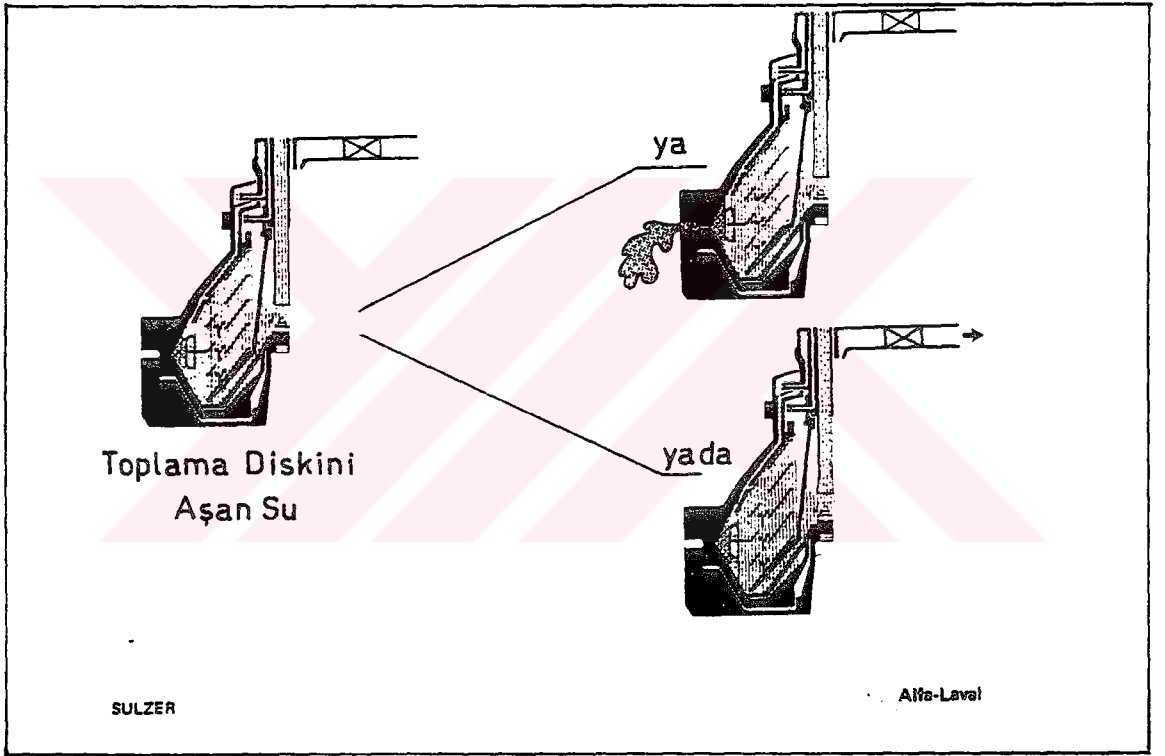
1.4.4.6. Boşaltım Prensipleri :

Temizlenmiş yakıtın içindeki su bileşenleri spesifik tetikleme seviyesine (Şekil 1.43) ulaştığı zaman MARST I mikroişlemcisi, bir sinyal göndererek FOPX separatörünü uyarır, daha sonra biriktirilmiş olan suyun otomatik boşaltımı başlayacaktır.



ŞEKİL 1.43 Otomatik Boşaltım Tetikleme Seviyesi

Su ya separatör kabının yüzeyinde bulunan çamur boşaltımı için kullanılan deliklerin içinden çamur ile, su boşaltım vanasından boşaltılır. Su boşaltımı şekil 1.44 de açıklanmıştır. Minimum 15 dakikada bir sıklıkta çamur boşaltımı sağlanmasıyla, FOPX separatör kabından ayrıştırılmış su, çamurla beraber boşaltılır. Eğer daha önceki çamur boşaltımından sonra 15 dk süresince su toplama diskini aşarsa sepere edilmiş su boşaltım vanasından dışarı atılır.



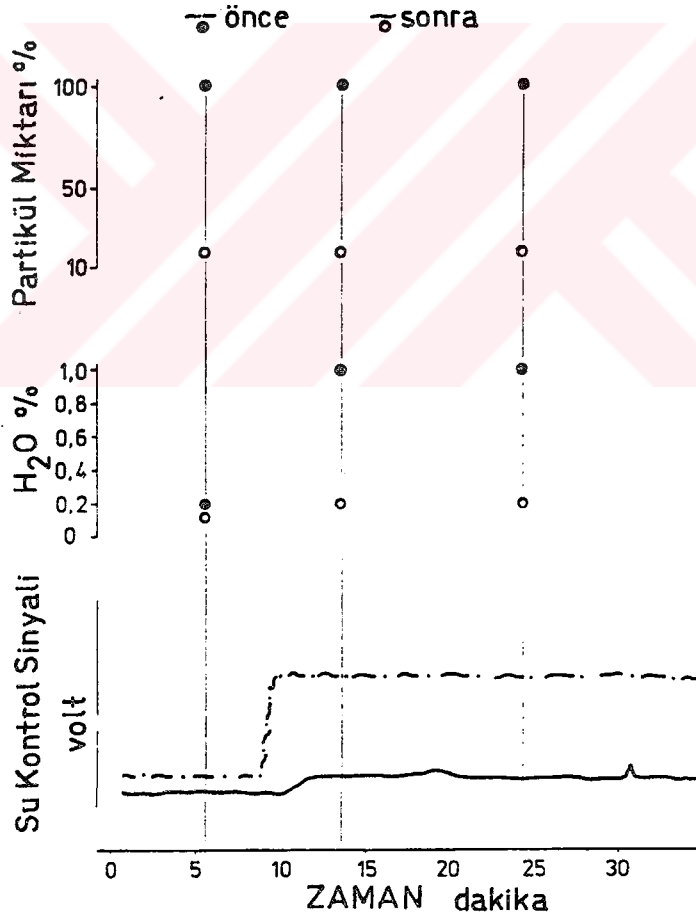
ŞEKİL 1.44 Sepere Edilmiş Suyun Otomatik Boşaltımı

1.4.4.7. Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar :

MV Bilderdijk gemisinde uzun süren araştırmaların sonuçları 1983 Haziranında alınmaya başlandı, bu sonuçlardan bazıları tablo 1.7 ve şekil 1.45'de verilmiştir.

TABLO 1.7 Yüksek Yoğunluk Separatörünün 6 No.lu Yakıtla Yapılmış Olan Deney Sonuçları

SEPARASYONDAN ÖNCE SU MİKTARI	H ₂ O %		Na - ppm		Al - ppm		Si - ppm	
	önce	sonra	önce	sonra	önce	sonra	önce	sonra
TATLI SU	3.0	1.2	34	30	18	4	33	10
1.000 (19°C)	1.8	0.8	-	-	-	-	-	-
TATLI SU	2.4	0.6	88	42	16	3	27	7
1.001 (28.5°C)								
DENİZ SUYU	13.0	1.2	1550	97	14	3	27	8
1.026 (15°C)	1.3	0.5	110	71	18	3	33	10
	0.45	0.2	58	35	18	3	33	10



ŞEKİL 1.45 6 No.lu Yakıt için Yüksek Yoğunluk Separatörünün Zamana Bağlı Olarak Performansı

1.4.4.8. Otomatik Viskozite Kontrol Sistemi - VISKOCHIEF :

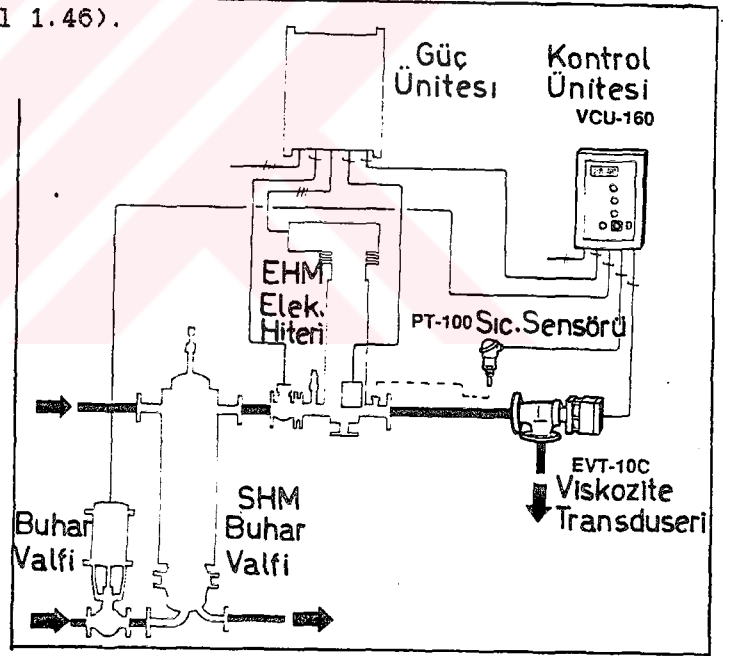
Viskoçif sistemi, fuel-oil viskozitesinin kontrolü ve otomatik olarak izlenebilmesi için yakıt temizleme sistemleri için dizayn edilmiştir. Viskoçif sisteminin kavramını anlayabilmek için sistem anahtar bileşenleri;

- * Elektronik Viskozite Transduseri (EVT-10C)
- * Viskozite Kontrol Ünitesi (VCU-160)
- * Yakıt Hiteri (HEATPAC EHM/SHM)

Viskoçif ve viskozite kontrol ünitesi, elektrikli veya buharlı hiterler ile tesis edilmiş yardımcı sistemlerin tesisatları için özellikle dizayn edilmiştir. Burada viskozite kontrol ünitesi ile elektronik viskozite transduseri çalışır durumda bulunan eski gemilerin yardımcı sistemlerine kolaylıkla takılabilmektedir (Şekil 1.46).

Karakteristikleri ve faydaları ;

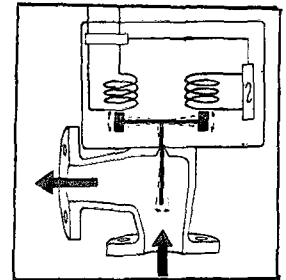
- Hareket eden parçaları yoktur.
- Sağlam bir dizayn
- Tam akış ölçümü
- Tam uyumlu hafif bileşenler
- Viskozite ve sıcaklığın anında takip edilmesi
- Entegre bir sistem olması
- Yardımcı destek sistemleri yok
- Normalin iki katı verim



ŞEKİL 1.46

Viskoçif Sisteminin Ana Elemanları

- . Kolay teçhiz edilmesi
- . Kalibrasyon ve ayara gerek yok
- . Tesisata seri olarak takılması
- . Titreşim etkisi yok, hassasiyet yüksek
- . Akış dalgalanmaları ve basınçtan etkilenmeme



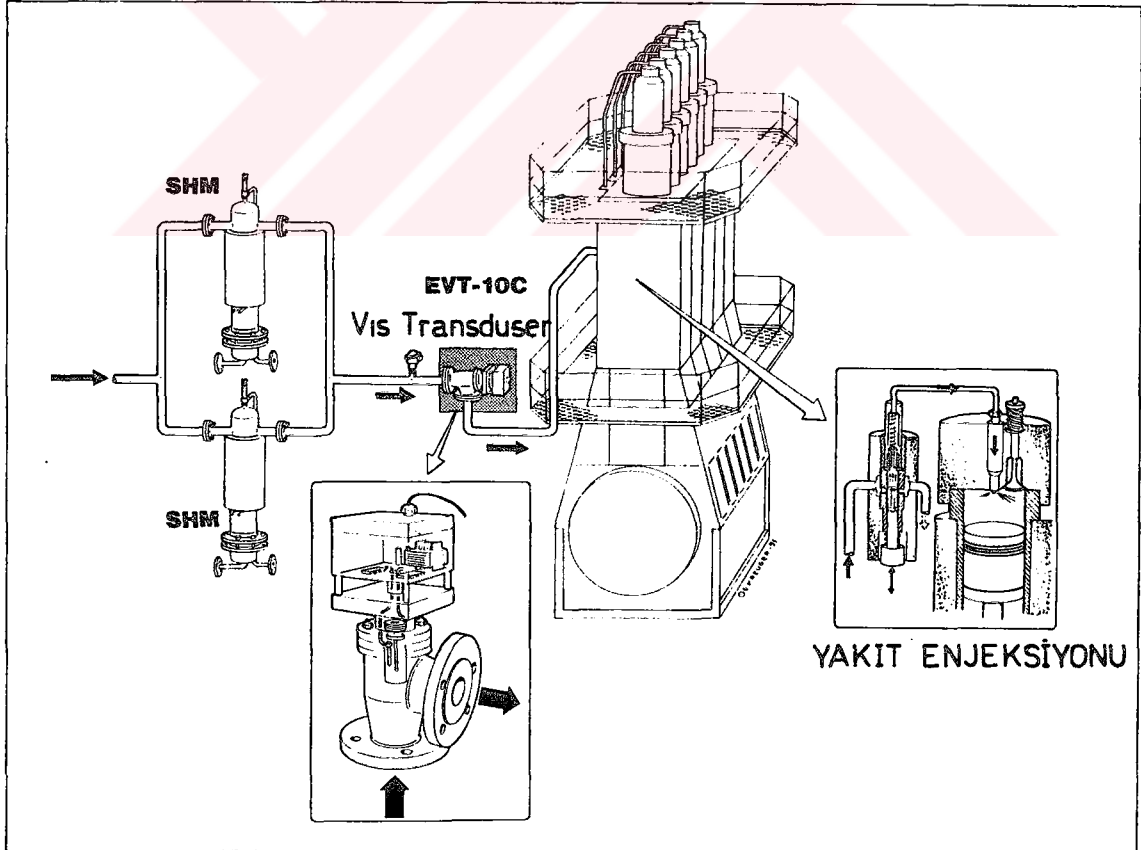
ŞEKİL 1.47

Osilatörün Çalışma Prensipli

Viskoçif sisteminin bütün elemanları dünya çapında önde gelen bütün klas kuruluşları tarafından onaylanmıştır. Viskozite transduseri, yakıt viskozite değerlerini devamlı olarak monitörden takip edilmesine yardımcı olmaktadır (Şekil 1.47). Bu ölçümler kontrol ünitesinde değerlendirilir. Buradan geri gelen sinyaller hiterin çalışmasındaki etkiyi artırır yada azaltır. Viskoçif sistemi üç modda çalıştırılması mümkündür ;

- Marine diesel yakıtı modunda (MDO)
- Ağır fuel-oil yakıtı modunda (HFO)
- Buhar kontrollü valfin elle çalıştırılmasında

Bu modlar basit bir salter sayesinde seçilebilmektedir. Şekil 1.48 de yakıt enjeksiyonunda kullanılan viskozite transduserinin sisteme yerleştirilmesinin basit bir şeması görülmektedir.



ŞEKİL 1.48 Viskozite Transduserinin Sisteme Yerleştirilme Şeması

1.4.5. Makinaya Ait Yakıt Özellikleri :

Aşağıdaki verilen yakıt özellikleri uzun süren testler boyunca dikkatlice incelenmiştir ;

	Bugünkü Limit	Test Değeri
Yogunluk kg/m ³	991	1013
Conradson Karbon %	20	20
Ateşleme Kalitesi (Diesel Index)	-	16
Kükürt %	5	4
Katalitik ince Partiküller ppm Al	30	33
Su %	1	6 tatlı/4 tuzlu

Deneyin yapılabilmesi için MV Bilderdijk gemisine Sulzer 9 RND 90 tipi bir makina yerleştirilmiştir. Bu makina üzerinde iki silindirinde, aşınma ve termodinamik yönden incelemeler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Bu deneylere ilave olarak Winterthur'da Sulzer'e ait RND-M ve RLB serisi makinalar içinden bir RSAD 76 tipi 120 rpm, bmep 10.46 bar olan bir makina üzerinde de laboratuvar şartlarında deneyler yapılmıştır. Böylece elde edilen sonuçların karşılaştırılması mümkün olmuştur.

1.4.5.1. Katalitik ince Partiküller (Cat-fines)

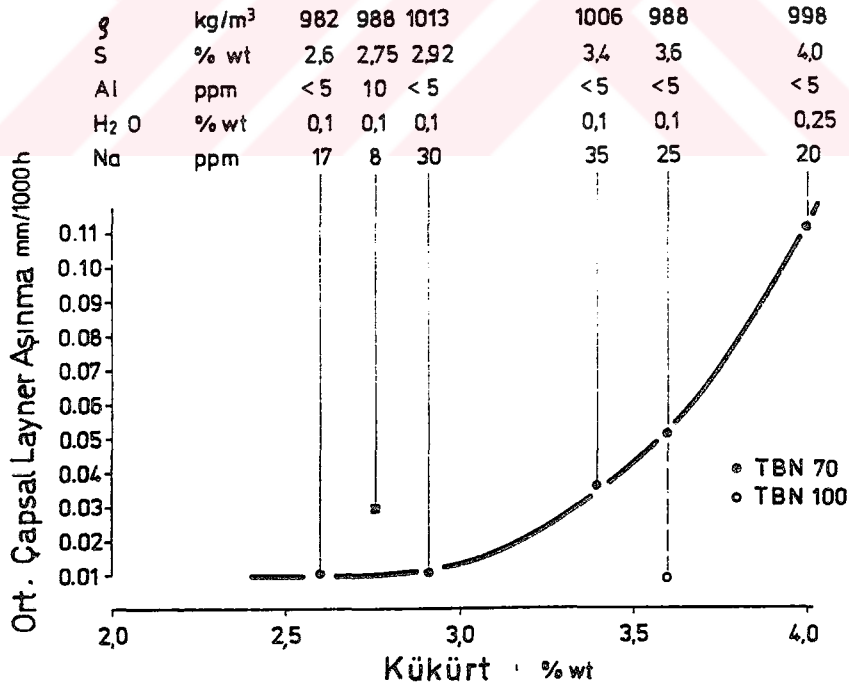
Gemi diesel yakıtları için genellikle maksimum katalitik ince partikül miktarı, limit 30 ppm Al olarak kabul edilmektedir. Bu değer deniz yakıtları için kabul edilen BSMA 100 standartlarına uygun olarak alınmıştır. Bu standartlara uyulması amacıyla MV Bilderdijk gemisinin yakıtının bu değeri sağlayacak miktarda partikül karıştırılması yoluna gidilmiştir.

Tablo 1.6 da 5 no.lu yakıt için bu değerler görülmektedir.

Yakıtın enjeksiyonundan önce bir arıtma ve temizleme işlemi ile filtreden sadece 37 µm. büyüklüğündeki partiküllerin geçmesi sağlanmıştır. Yapılan deneylerle son 1200 saat boyunca yakılan yakıtın 10 ppm Al içerdiği

ölçümlerle belirlenmiştir. Silindir gömleği aşınmasında 10 ppm Al ile temsil edilen katalitik ince partiküllerin etkisi şekil 1.49'da gösterilmiştir. Makinaya sadece partikül büyüklüğü 10 μ m den daha küçük olan 10 ppm Al luk katalitik partiküllerin girmesi önemsizmiş gibi görünse de bunlarında aşınmalar üzerinde etkisi büyüktür. Bu da segman ve silindir gömleğinin aşınmaları ile ilgili topografik denemelerin sonucunda anlaşılmıştır, sonuç olarak abrasif aşınmaya etkili olduğu görülmektedir. Bölgesel çizilmelerin büyük partiküllerden daha çok küçük partiküllerin sebebiyet verdiği deney sonunda anlaşılmıştır.

Burada deneylerde 10 ppm Al miktarındaki yakıtın içerdiği, bir temizleme ile katalitik ince partiküllerin etkileri incelenmiştir.



SULZER

ŞEKİL 1.49 Santrifüj Sonunda Yakıtın Kalitesi

1.4.5.2. Kükürt

Aslında yakıtların içinde bulunan kükürt miktarları ham petrol olarak çıkarıldıkları bölgelere göre değişmektedir. Günümüzde kullanılan artık yakıtların içerdiği kükürt miktarı % 2+4 arasında değişmekte ve bu değerler içinden % 3 kükürt miktarı genelde bulunmaktadır.

Yanma boyunca kükürt önce SO_2 ve SO_3 oluşturur ve daha sonra ortamda bulunan su ile reaksiyona girerek H_2SO_4 asidine dönüşür. H_2SO_4 'ün bölgesel korozyon etkisi, silindir basıncına göre değişmektedir. Yüzeylerin sıcaklıkları, silindir yağlarının alkalitesine (TBN) ve yanan gazlar bu korozyon etki üzerinde rol oynarlar. Uzun süren çalışmalar sonunda H_2SO_4 'ün ortamda yoğunlaşarak zarar verici etkisi olduğu ve bu etkiye karşı mücadelenin ne kadar önemli olduğu anlaşılmıştır. Artan aşınma genelde dengelerin bozulmasına neden olmaktadır. 100 TBN kalitesine sahip bir silindir yağının etkisinin önemi şekil 1.49 'dan anlaşılmaktadır.

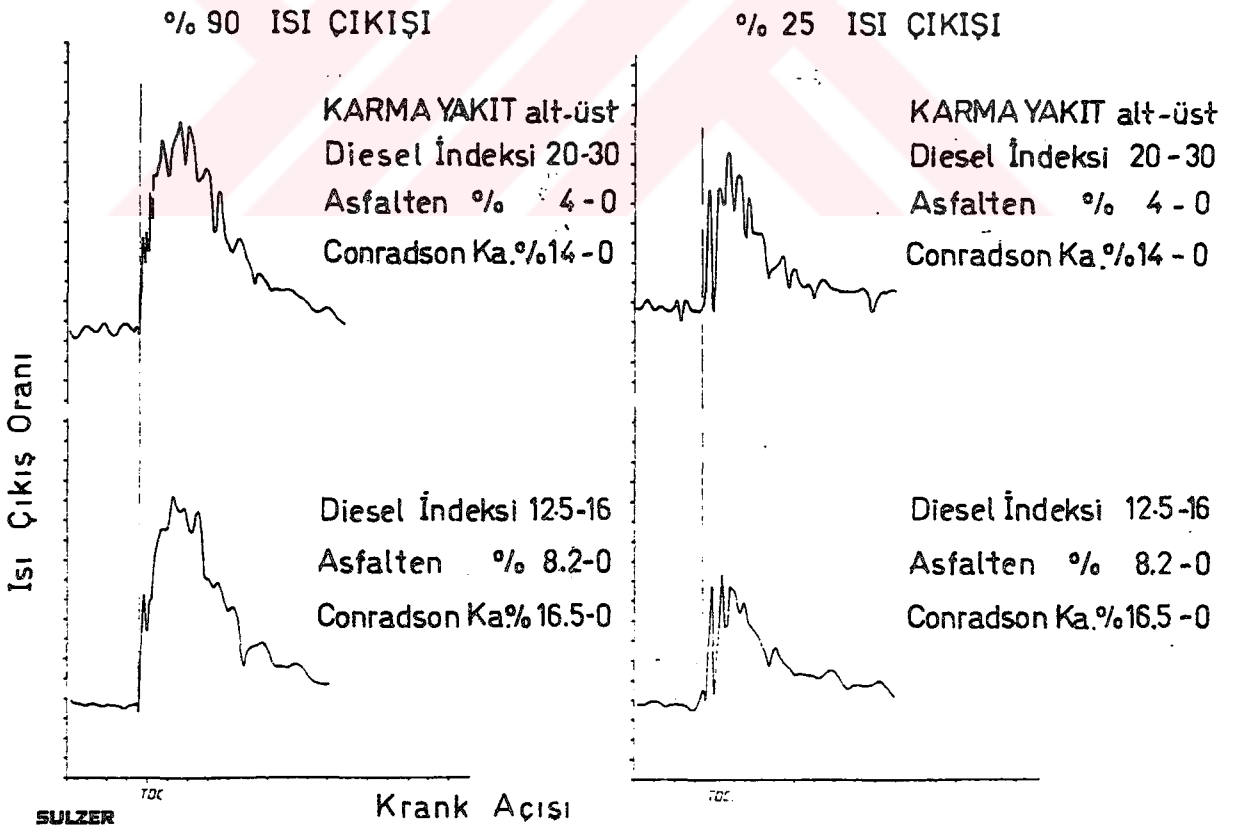
Yapılan aşınma ile ilgili araştırmalarda korozyon etki ile yağlama yağı ve silindir soğutma suyu sıcaklıklarının etkileri ölçümlerde birbirine karıştırılmamalıdır.

1.4.5.3. Atesleme Kalitesi

Gemi diesel motorlarında artık yakıtların atesleme kalitesi ile ilgili olarak çok çeşitli araştırma kuruluşları incelemeler yapmaktadır. Daha belirleyici bir alternatif metodun yokluğunda çok kolay uygulanabilir bir metod olan IP 21 ve cetan indeksi IP 218 kullanılmaktadır. Diesel indeksi belirlemek için ASTM D-611 uygun olarak görülmektedir. ASTM D-1160 metodunda 760 mm Hg basıncında 350°C sıcaklıkta vakum ile damıtma şeklinde yakıtlar incelenmektedir. 2 ve 4 no.lu yakıtların diesel index skalasındaki değerleri

	Karışık yakıt	Üst değer (350°C ve 760 mm Hg)
2 No.lu Yakıt	19	42
4 No.lu Yakıt	13	16

4 nolu yakıt ile gerçekleştirilen gemide yapılan deneylerden önce laboratuarda tek silindirli bir motor üzerine Shell firması ile beraber bir takım deneyler yapılmıştır. Bu deneyin sonuçları bize 4 nolu yakıtın 2 nolu yakıttan daha kaba ve kötü bir yakıt olduğu anlaşılmıştır. Bununla beraber, bu iki yakıtın kullanılması sonucunda Sulzer RND 90 motorunda oluşan yanma sonucunda MV Bilderdijk gemisinde yapılan deneylerle büyük farklılıklar göstermediği söylenebilmektedir. Şekil 1.50'de yakıt kalitesine bağlı olarak ortaya çıkan ısı oranını göstermektedir. Bu bulgular pilot enjeksiyonlu cetan sayısının sıfır olduğu ve yine aynı özellikteki, fakat içine % 15 oranında aromatik seyreltici konmuş pilot enjeksiyonsuz olan yakıtla başarı ile çalıştırılan RNAD 76 motorunda yapılan deneylerden ortaya çıkmıştır. Bütün bunlar artık yakıtların değişik kaliteli olanlarının kullanılması için düşük devirli gemi diesel makinalarının uygun olduğunu göstermektedir.



ŞEKİL 1.50 Yakıt Kalitesine Bağlı Olarak Ortaya Çıkan Isı Karşılaştırmaları

1.4.5.3. Su :

Tatlı ve tuzlu su, her ikisi birden ağır artık yakıtların içinde bulunabilir. Rafineriden gelen yakıtın içinde bulunan su bileşenleri miktarı % 1'den fazla olabilir, burada muhtemelen büyük çoğunluk tuzlu su olacaktır. Tuzlu su rafineri işleminde, zararlı bir etken olduğu için istenmez. Rafineri sonucu artık yakıtların içinde sodyum sevitesi 40 ppm civarında olmaktadır. Bununla beraber, taşıma ve depolama esnasında tatlı ve tuzlu su yakıta bir miktar karışabilir. Tuzlu suyun karışmasında potansiyel kaynaklar, balast ve bunker tanklarında yakıt değişimleri sırasında, tankların temizlenmesinde ve sızıntılardan olacaktır. Burada sistemin dikkatli olarak planlanması sonucu bu seviyelerin minimuma indirilmesi mümkündür. Su yakıtın içinde ya serbest olarak yada emülsiyon olmuş halde bulunur.

Gemilerde yakıtın makınaya uygun hale getirilmesi için yapılan işlemler sırasında suyun ayrıştırılması devamlı olarak arzu edilen bir kavramdır. Purifayerden geçen su sızıntıları makina elemanları için zararlı olmaktadır. Suyun ayrıştırılmasından önce purifayerlerin hatalı olarak ayarlanması sonucu içinden geçen zararlı yabancı katı partiküller daha önemli arızalara neden olmaktadır. Purifayerde işlenen yakıtın içinde % 0.2 oranından daha az miktarda su bulunması halinde, su ve katı partiküllerin yeterli miktarda ayrıştırıldığı kabul edilir.

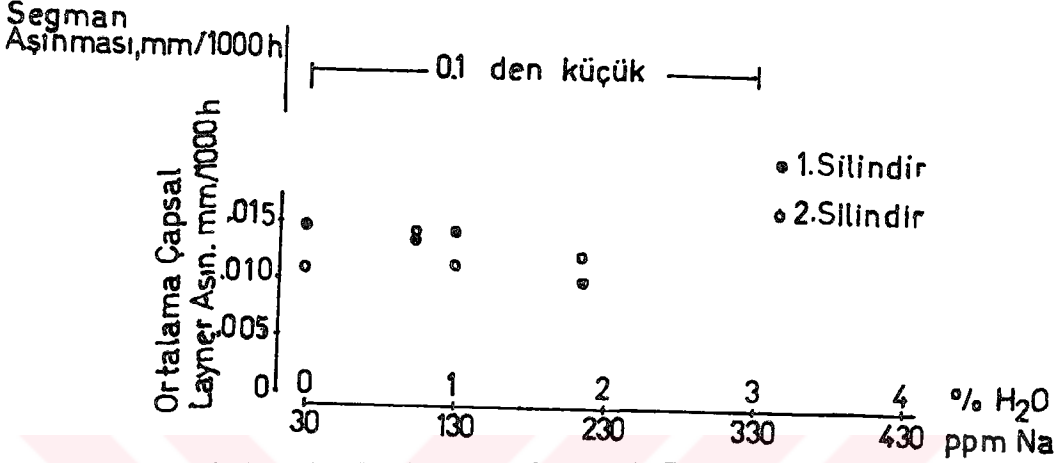
Tatlı ve tuzlu suyun etkilerini araştırmak için temizliği çok iyi yapılmış olan artık yakıtla yapılacak bir deney sonunda motor elemanlarının durumu referans alınarak bu deneyler diğer yakıtlar üzerinde çoğaltılması mümkündür. Bu deneylerde Sulzer tarafından geliştirilen bir metodla yakıtın içinde bulunan su damlacıklarının büyüklükleri 15+50 µm civarında olması gerçekleştirilebilmektedir. 400 ppm Na miktarı, % 6 tatlı su ve % 4 tuzlu su değerlerinden daha zararlı olarak görülebilir (Şekil 1.51).

YAKIT :

Conradson Karbon = 12÷15 %
Asfaltan = 3.4÷6.7 %
Kükürt = 2.5÷2.9 %
Vanadyum = 70÷199 %

SİLİNDİR YAĞI :

70 TBN
0.7 g/BHPH



ŞEKİL 1.51 Silindir Gömleği ve Birinci Segman Aşınmasında Deniz Suyunun Etkileri

Toplam 2600 saat çalıştırılan motorda, su zerrecilerinin emilsiyon halinde yakıtın içinde bulunurken deney sonuçları alınmıştır. Bu sonuçlarda suyun fazla bir zarara uğratmadığı görülmektedir fakat oluşturduğu CaSO_4 nedeniyle hiterin veriminde düşüşler oluşturmıştır.

1.4.5.4 Yoğunluk :

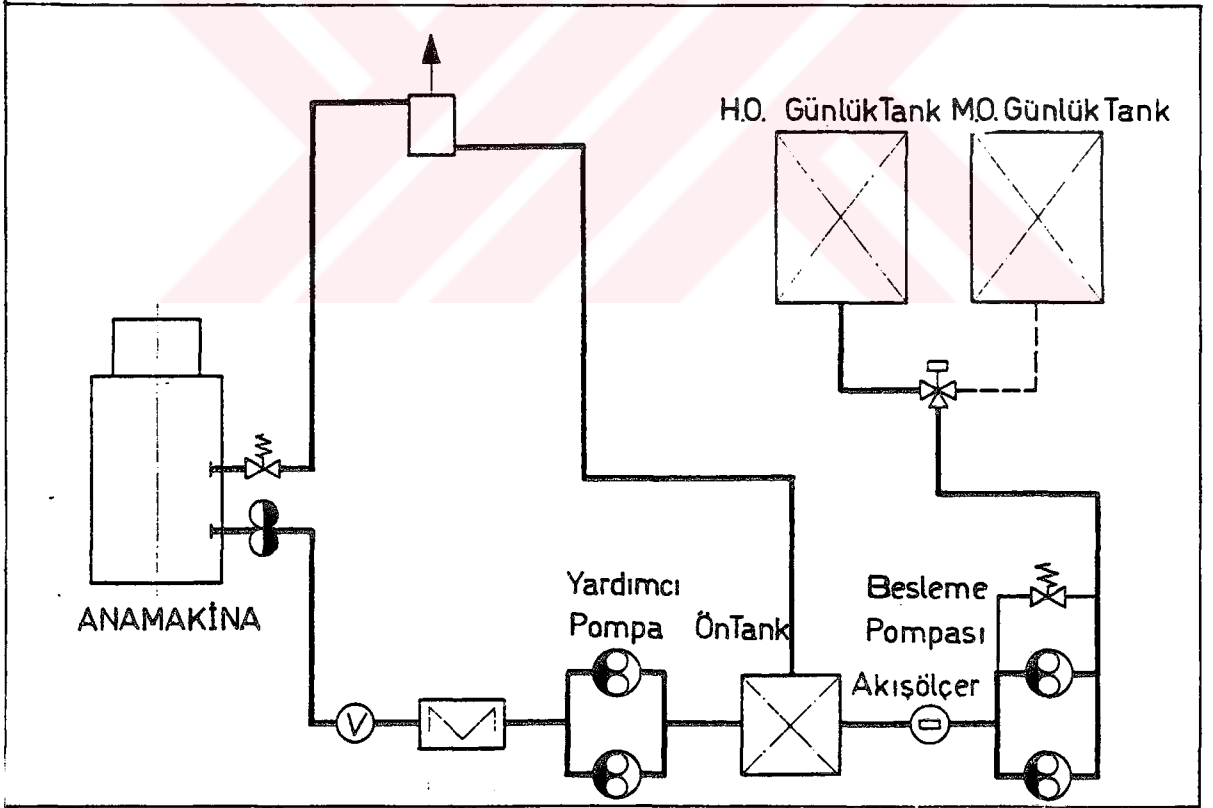
Şekil 1.49'dan görüldüğü üzere yoğunluk, her ne kadar yakıtın doğru olarak işlenmesi için gereken parametrelerden biri ise de, makina aşınmasında doğrudan doğruya etkili değildir. Genel durumda yoğunluk için, aromatikliğin bir belirtisi olduğunu söyleyebiliriz. Burada 15°C sıcaklıkta 991 kg/m³ değerinden daha yüksek yoğunluklardaki yakıtlar daha çok aromatik eğimli olduğunu söyleyebiliriz. Bundan düşük yoğunlukta bulunan yakıtlar düşük kaliteli ateşleme değerlerine doğru gidilmektedir. Mv Bilderdijk gemisinde yapılan deneyler sırasında bu yoğunluk değerinden daha yüksek yoğunluklar için (1010 kg/m³ 'e kadar) verimde hiçbir aşılmaz zorluklar oluşabilceği

daha önce düşünülememiştir. Genelde dikkat edilecek bir kaç nokta burada, yakıtın yoğunluğu ile stabilitesi arasındaki ilişki olmaktadır. Yoğunluğun artmasına etki eden taraf stabilitenin iyileşmesidir.

1.4.5.5. Çıkarılan Sonuçlar :

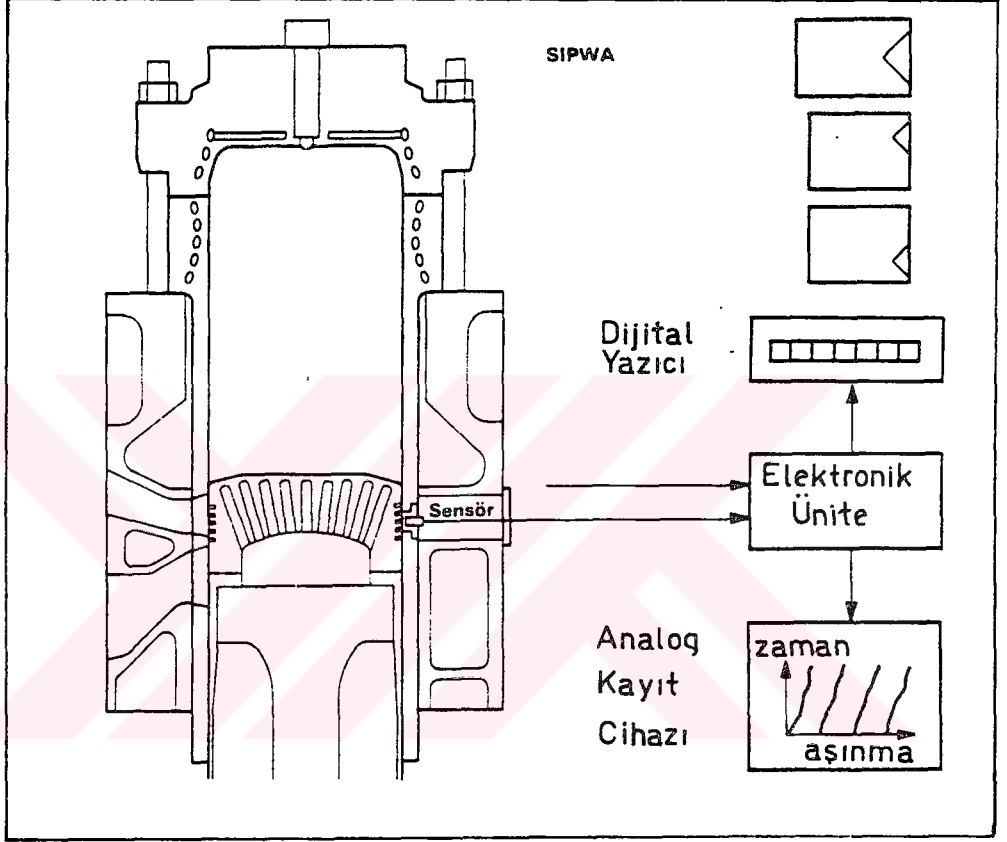
Maksimum spesifik limitlerin içinde ve ötesinde bulunan yakıtlar kullanıldıkları alanlara göre ve geleceğin yakıt işleme yöntemlerinin elde edilen sonuçlarından çıkan maddeler;

- Şekil 1.52'de görülen basit şemadaki açıklamalara uygun bir şekilde dizayn edilen ikincil sistem doğru olarak çalıştırılmasıyla yakıt işleme tesisleri, düşük devirli yüksek güçlü gemi diesel makinaları için artık yakıtların yakılması uygundur.



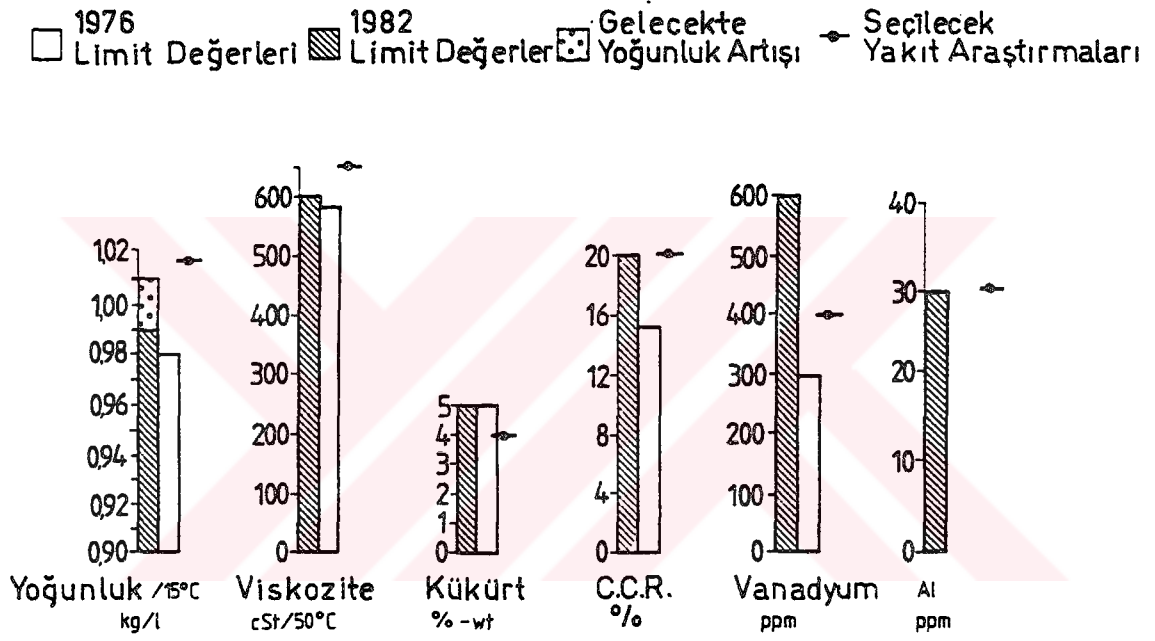
ŞEKİL 1.52 Basınçlandırılmış Yakıt Sistemi Şeması

- Şekil 1.53'de görülen SIPWA (Sulzer Integrated Piston ring Wear detecting Arrangement) sistemi Sulzer tarafından geliştirilen piston segmanının aşınmasını toplayarak kontrol eden bir sistem olarak oluşabilecek yanlıgıları anında önlemektedir.



ŞEKİL 1.53 SIPWA - Segman Aşınmalarını Ölçen Bir Sistem

- Yapılan testler farklı makina yardımcı sistemler için de geçerli olduğu kanıtlanmıştır.
- Yakıt işleme yoğunluğunun geniş olması diğer özellikler yanında önemli bir etken olduğunun belirtilmesinde yarar vardır. Aynı şekilde diğer özelliklerin günümüze kadar nasıl değiştiğini şekil 1.54 verir



ŞEKİL 1.54 Düşük Devirli Gemi Diesel Motorlar için Kullanılan Yakıtların Özelliklerinin Günümüze Kadar Değişimi

1.5. AĞIR FUEL-OIL YAKITLARINDAN KATI PARTİKÜLLERİN
SEPARASYON ÇALIŞMALARI İLE İLGİLİ BİR UYGULAMA

1.5.1. Amaç :

Yapılan deneylerin amacı, katalitik ince partiküllerini de içeren katı partiküllerin separasyon verimini aşağıdaki parametreler, hangi yönde etkilediklerini araştırmaktır ;

- * Akış oranı
- * Purifayer arayüzey pozisyonu
- * Separatör çalışma modu

1.5.2. Yakıt :

- . Denenen yakıtın viskozitesi 344 cSt/50°C
- . Yoğunluğu 941 kg/m³ - 50°C veya 964 kg/m³ - 15°C
- . Yaklaşık olarak 13 ppm Al olan katalitik ince partikül içermektedir.
- . Separasyon sıcaklığı 98 ± 2 °C

1.5.3. Separatörler :

Denemeler iki adet WHPX507 TGD tipi kısmen boşaltılabilir ve kontrollü separatörler üzerinde yapılmıştır. WHPX507 tipi separatörün firma tarafından tavsiye edilen maksimum kapasitesi, viskozitesi 380 cSt/50°C olan yakıt için işlem hacmi 2200 litre/saat'tir. Tavsiye edilen bu değer cihazın % 26 işlem kapasitesine karşılık gelmektedir.

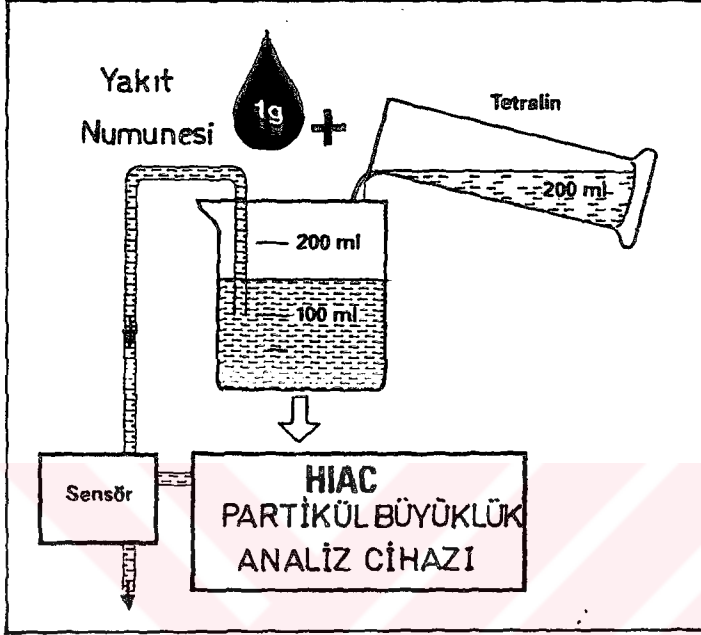
Deneyde 90 mm. çaplı gravite disk kullanıldığı zaman doğru olan arayüzey pozisyonu sağlanmıştır. Fakat 80 mm çaplı gravite disk kabın içine yerleştirildiğinde doğru olmayan arayüzey pozisyonu elde edilmiştir. Deneyde kullanılan 80 mm çaplı disk çok küçük gelmiştir.

1.5.4. Katı Partiküller ve Katalitik ince Partiküllerin Analizi :

Yakıtın içinde bulunan katı partiküllerin miktarı partikül sayısı olarak hesaplanmıştır. Al içerikleri ise yine katalitik ince partikül olarak alınmış ve hesaplamalar bu şekilde yapılmıştır.

1.5.4.1. Partikül Sayısı :

Partikül sayısını bulmak için deneyde 200 ml tetralin ile 1 gram yakıt karıştırılır (Şekil 1.55).



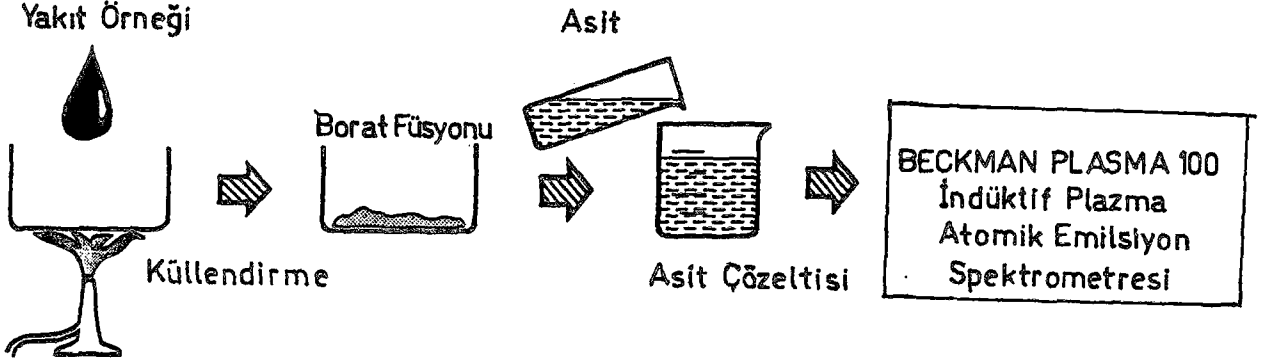
ŞEKİL 1.55 Partikül Büyüklük Dağılımı Analizi

Tetralin, asfalten ve diğer yüksek moleküllü ağır yakıt içerikleri kapsayan yakıtın içinde çözünür. Böylece katı partiküller tetralinin etkisi ile çözünmeden ayrışırlar.

Yakıt-tetralin numunesi, HIAC PC-305-SSTA tipi partikülleri sayan bir cihaz sayesinde hesap edilir. Bu model bir cihazla ölçülebilen en küçük partikül büyüklüğü 5 μ m. dir.

1.5.4.2. Katalitik ince Partiküllerin Analizi :

Katalitik ince partikül olarak yakıtın içinde bulunan alüminyum analiz edilir. Yakıttan alınan 25 gram numune ile Al analizi yapılır, önce yakıt küllendirilir ve bu kül, boratın içinde erimeye bırakılır (Şekil 1.56)



ŞEKİL 1.56 Katalitik İnce Partikülleri Analizi

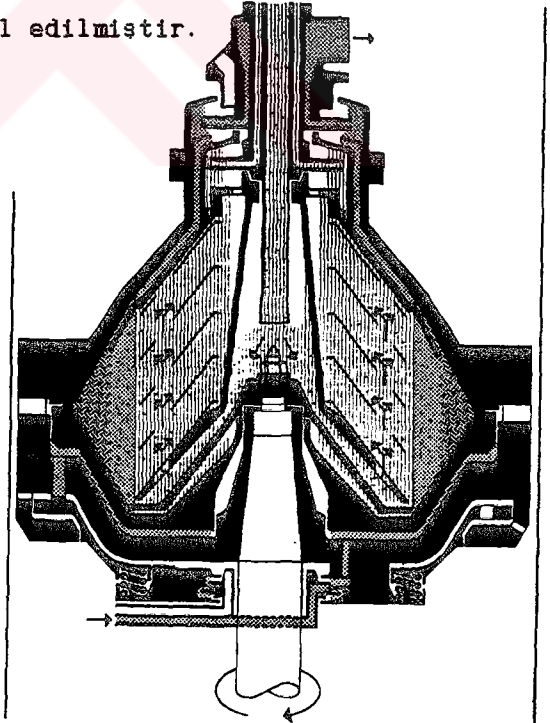
Beckman Plasma 100 adı verilen indüktif plazma, atomik emilsiyon spektrometresi yardımıyla analiz edilecek seyreltilmiş hidroklorik asidin içinde solusyon halindeki yakıtta hesaplamalar yapılır. Bu analizler deney sırasında Det Norske Veritas tarafından kontrol edilmiştir.

1.5.5. Arayüzey Pozisyonu :

Yapılan testlerin bir amacı da separasyon veriminde arayüzey pozisyonunun etkisini araştırmaktır. Purifayer işleme esnasında separator kabının içinde bir arayüzey oluşturur. Bu arayüzeyi meydana getiren su fazı ile yakıt fazı arasındaki yoğunluk farkıdır (Şekil 1.57).

1.5.5.1. Doğru Arayüzey Pozisyonu

Arayüzeyin doğru pozisyonu ile yakıt toplama diskinin tam uzunluğu boyunca toplama diskinde, diskler arasında ince



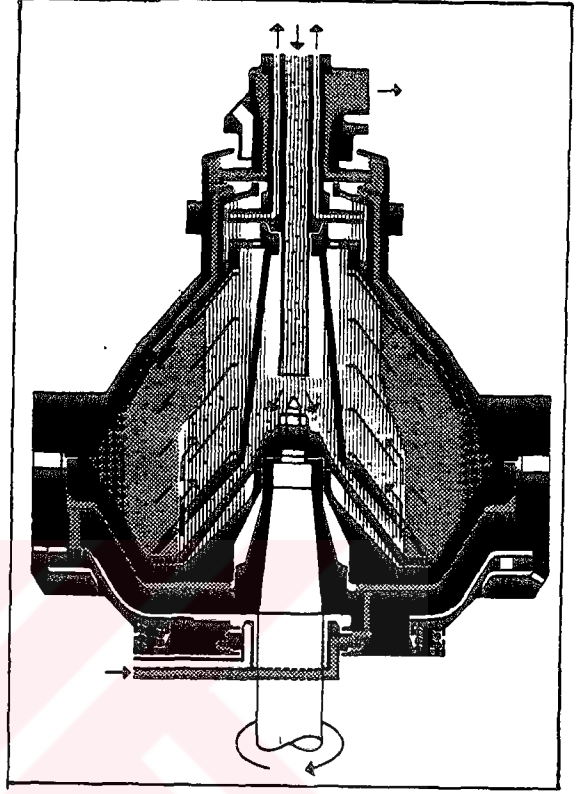
ŞEKİL 1.57
Dengeli Dinamik Sistem
Doğru Arayüzey Pozisyonu

kanallardan girebilmektedir (Şekil 1.57).

Separasyonda bu kanallar çok önemli rol oynarlar.

1.5.5.2 Arayüzeyin Doğru Olmayan Pozisyonu

Eğer arayüzey toplama diskinin içinde bulunuyorsa, temizlenmiş yakıtın içine zararlı sıvılar karışabilir (Şekil 1.58).



ŞEKİL 1.58
Dengeli Dinamik Sistem
Doğru Olmayan Arayüzey Pozisyonu

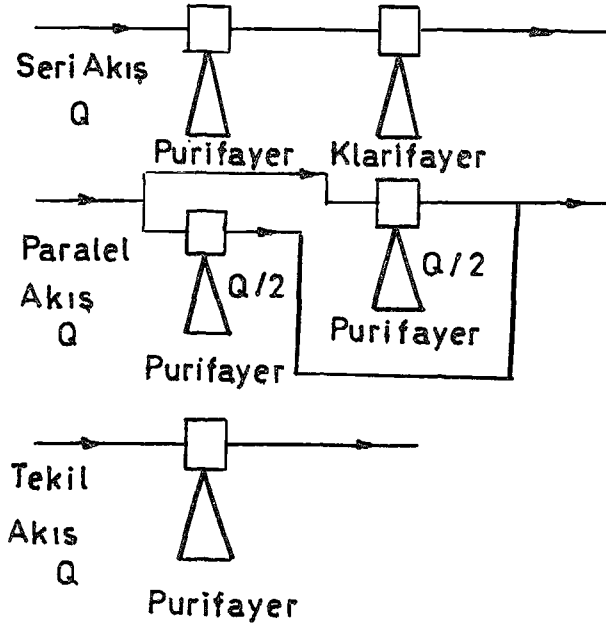
1.5.6. Separatör Çalıştırma Modu (Yerleştirilmesi) :

Bu deneylerin diğer bir amacı separatörlerin çalışma modunun separasyon verimi üzerindeki etkilerini araştırmaktır.

Çalışma modunun test edilmesinde ;

- Seri Çalışma Modu, bir klarifayerin purifayeri sıra şeklinde takip etmesi
- Paralel Çalışma Modu, toplam akışın % 50 sini işleyen iki purifayer
- Tekil Çalışma Modu, toplam akışın tamamı tek bir purifayera verilmesi

Bu modların şemaları şekil 1.59'da gösterilmiştir.



ŞEKİL 1.59 Separatör Çalışma Modlarının Şematik Gösterimi

1.5.7. Deney Sonuçları :

1.5.7.1. Akış Oranının Etkileri :

Üç farklı akış oranından alınan yakıt örneklerinde katı partikül sayısı için elde edilen sonuçlar tablo 1.8 'de verilmiştir.

TABLO 1.8 Temizlenmiş Besleme Yakıtının Gramındaki Katı Partikül Sayısı

Büyüklik Aralığı μm	5÷6	6÷8	8÷10
Normalde	16300	13600	6400
Temizlenmiş Halde			
Değişik Akış Oranı %			
- 100	1600	1100	440
- 50	910	760	400
- 25	150	90	60

Bu tablodan anlaşılacağı üzere akış oranı ne kadar azalırsa katı partikül temizlenmesi açısından o kadar iyi sonuç vermektedir. Tekil yani

bir tek purifayerin kullanıldığı modda, doğru gravite diskinin seçilmesiyle arayüzey pozisyonu doğru olduğundan yakıt beslemesi uygun olmaktadır.

1.5.7.2. Arayüzey Pozisyonunun Etkileri :

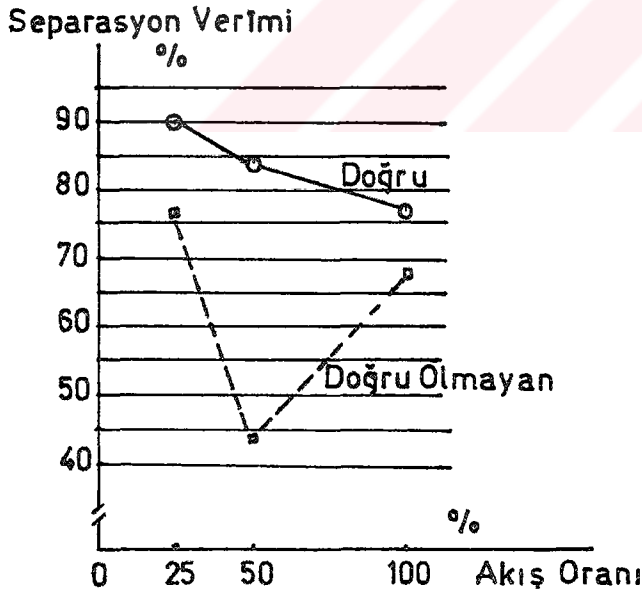
Doğru ve doğru olmayan arayüzey pozisyonlu temizlemede alınan yakıt örneklerinden çıkan sonuçlar tablo 1.9'da gösterilmiştir.

TABLO 1.9 Temizlenmiş Besleme Yakıtının Gramındaki Katı Partikül Sayısı

Büyüklik Aralığı μm	5+6	6+8	8+10
Normalde	16900	14100	6700
Temizlenmiş Halde			
Arayüzey Pozisyonları			
- Doğru	1600	1100	440
- Doğru Olmayan	4400	2700	920

Bu tablodan anlaşılaçağı üzere arayüzey pozisyonunun doğru seçimi sonucu çok büyük oranda etkilemekte ve iyileştirmektedir.

Aliminyum yani katalitik



ince partiküller için elde edilen analiz sonuçları şekil 1.60'da görülmektedir. Burada akış oranı ve arayüzey pozisyonuna göre yapılan separasyonun kat. ince partikülü arıtma verimi verilmiştir. Burada separasyon veriminin artmasında ;
-Akış oranının azaltılması
-Arayüzey pozisyonunun doğru olması önemli rol oynar.

ŞEKİL 1.60

Arayüzey Pozisyonu ve Akış Oranına Göre .
Katalitik ince Partiküllerin Purifayer
Separasyonunun Verimliliği

1.5.7.3. Çalışma Modunun Etkileri :

Farklı çalışma modundaki temizlenen yakıttan alınan numunelerin incelenmesi sonucunda elde edilen değerler tablo 1.10'da görülmektedir.

TABLO 1.10 Temizlenmiş Besleme Yakıtının Gramındaki Katı Partikül Sayısı
NOT Doğru Arayüzey Pozisyonu için

Büyüklik Aralığı μm	5÷6	6÷8	8÷10
Normalde	16100	13300	6200
Temizleme Modu			
- Seri	380	190	60
- Paralel	910	760	400
- Tekil	1600	1100	440

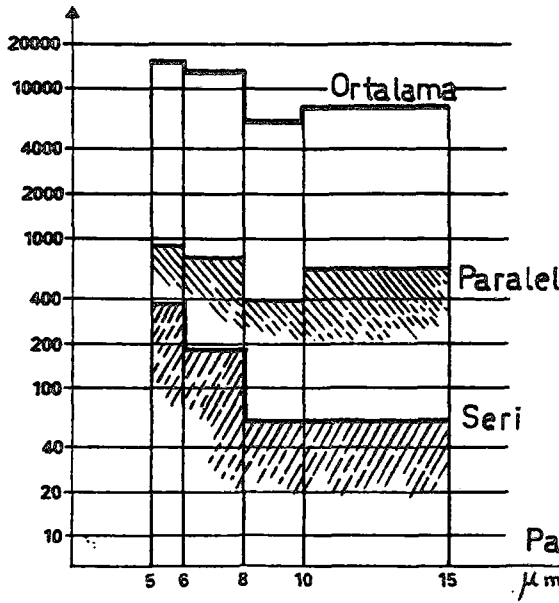
Aynı deneyin doğru olmayan arayüzey pozisyonu için tekrarlandığı zaman sonuçların tablo 1.11'de görüldüğü gibi çok fazla kötüleşmektedir.

TABLO 1.11 Temizlenmiş Besleme Yakıtının Gramındaki Katı Partikül Sayısı
NOT Doğru Olmayan Arayüzey Pozisyonu için

Büyüklik Aralığı μm	5÷6	6÷8	8÷10
Normalde	15300	12800	6100
Temizleme Modu			
- Seri	530	420	220
- Paralel	5000	3100	900
- Tekil	4400	2700	920

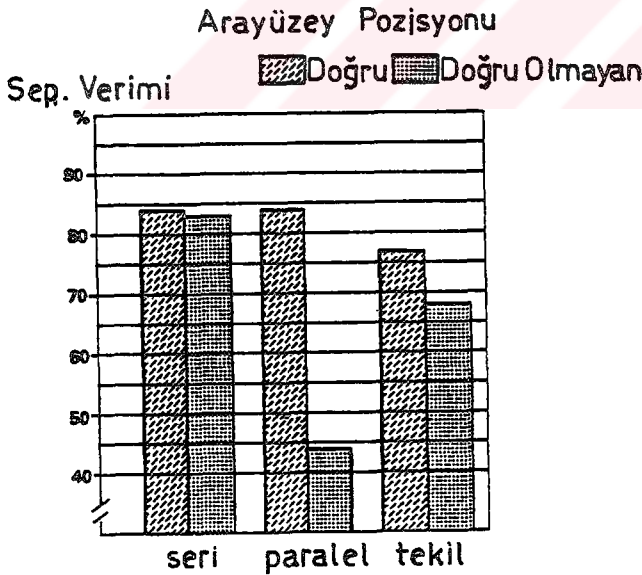
Temizlenmiş yakıtın içindeki partikül büyüklük dağılımı, paralel ve seri çalışma şartları arasında yapılan karşılaştırmalar şekil 1.61'de görülmektedir.

Büyüklik Aralığındaki Partikül Sayısı

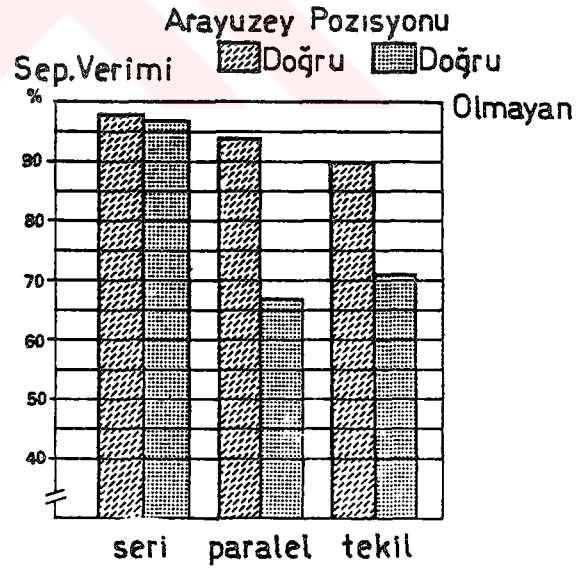


ŞEKİL 1.61 Temizlenmiş Besleme Yakıtında Partikül Büyüklüklerinin Dağılımı için Paralel ve Seri Çalıştırma Arasında Karşılaştırma

Çalışma modunun katalitik ince partiküllerin separasyon verimine etkileri arayüzeyin doğru olmasında şekil 1.62 ve doğru olmamasında 1.63 açıklamaktadır.



ŞEKİL 1.62 Arayüzey pozisyonu ve operasyon moduna bağlı olarak katalitik ince partiküllerin separasyonunun verimliliği



ŞEKİL 1.63 Arayüzey pozisyonu ve operasyon moduna bağlı olarak 5÷6 μm büyüklüğündeki katıların separasyonunun verimliliği

Arayüzeyin doğru olup olmamasına göre yapılan separasyonların karşılaştırmalarını şöyle yapabiliriz (Şekil 1.62) ;

- Arayüzey pozisyonunun doğru olması durumunda seri ve paralel çalışma birbirine denktir.
- Seri çalışmada her iki halde de değerler birbirine yakın olduğundan seri çalışma emniyetlidir.
- Paralel ve tekil çalışmada doğru olmayan arayüzey pozisyonları için çok kötü sonuçlar elde edilmiştir.

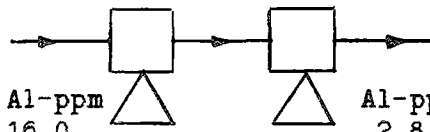
1.5.7.4. Alınan Verilere Göre Elde Edilen Sonuçlar :

Separasyon verimi,

- . Düşük kapasitelerle artmaktadır.
- . Arayüzey pozisyonunun doğru olmaması yani hatalı gravite diski seçiminde büyük oranda düşmeler olur.
- . Arayüzey pozisyonunun doğru olmaması durumunda bile seri çalışmada iyi neticeler alınmıştır.

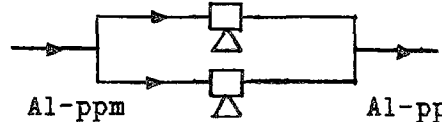
1.5.8. Gemide Yapılan Arastırma Sonuçları :

Katalitik ince partiküllerin separasyonu ile ilgili olarak gemide yapılan deneylerin sonuçları şekil 1.64'de gösterilmiştir. Burada her iki koşulda da arayüzey pozisyonu doğrudur. Yakıtın viskozitesi 190 cSt/50°C ve yoğunluğu da 989 kg/m³ - 15°C olarak belirtilmiştir. Separasyon verimi seri çalıştırmada % 81 ve paralel çalıştırmada % 77 olarak gerçekleşmiştir.



Al-ppm	Al-ppm	Verim %
16.0	2.8	83
12.0	2.6	78
12.4	2.4	81
12.6	2.2	83
13.3 ORTALAMA	2.5	81

Seri çalışma



Al-ppm	Al-ppm	Verim %
19.0	4.5	76
16.2	4.8	70
14.2	2.7	81
16.8	3.5	79
16.6 ORTALAMA	3.9	77

Paralel çalışma

ŞEKİL 1.64 Katalitik ince Partiküllerin Gemi Deneylerinde incelenmesi

BÖLÜM 2.

YAĞLAMA YAĞI SİSTEMLERİ

2. YAĞLAMA YAĞI SİSTEMİNİN TEMELLERİ

2.1 YAĞLAMA VE TRIBOLOJİ :

Triboloji bilimi sürtünme, aşınma ve yağlama arasındaki ilişkiyi kapsar. Yağlamada temel amaç ; temasta olan ve birbirlerine göre izafi harekette bulunan iki yüzey arasındaki sürtünme ve aşınmayı makul olan minimum seviyeye indirmektir. Ancak bunun yanında diesel teknolojisindeki gelişmeler yüksek ısı problemlerini de beraberlerinde getirmiş ve yağlama soğutma sistemlerinin de bir parçası olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzün yüksek güçlü gemi diesel motorlarında yardımcı sistemler hariç en az aşağıdaki sekiz eleman yağlamanın çeşitli işlevlerinden yararlanma ihtiyacı gösterir.

YÜZEY	RELATİF HAREKET	RELATİF HIZ	YÜK
Segman-Layner	çizgisel	orta-düşük	düşük
Pis. pimi-yatağı	salınım-kayma	düşük	yüksek
Krankkolu-yatağı	dönel-kayma	orta	yüksek
Krank-Ana yatak	dönel-kayma	orta	yüksek
Krank-Srastyatak	dönel	orta	düşük
Kam-Kam yatağı	dönel-kayma	düşük	düşük
Kam-itme kolu	dönel-surgu	orta	yüksek
Valf-Valf kızığı	çizgisel	düşük	düşük

Diesel makinalarda yağlama sebepleri şu başlıklar altında toplanabilir.

1-)Maksimum mekanik verim elde etmek için makinanın global sürtünme direncini en aza indirmek.

2-)Makinadaki hareketli elemanlarla sabit elemanlar arasında aşınmayı önlemek.

3-)Piston soğutmasına katkıda bulunmak ve boşa harcanan sürtünme işini azaltmak.

4-)Tüm zararlı birikinti ve artıkları yağlama bölgesinden uzaklaştırmak.

5-)Gaz ve yağ sızıntısını kabul edilebilir minimum seviyede tutmak (özellikle segman bölgelerinde).

2.2. YAĞLAMA REJİMLERİ :

Konvansiyonel diesel makinalarda tüm elemanlar petrol kaynaklı yağlarla yağlanır.Bu yağların birbirine yakın çalışan parçalar arasında oluşturduğu film kalınlığı yağlama rejimleri için belirleyici faktördür. Söz konusu film kalınlığına göre yağlamanın mekanik karakteristiği ortaya çıkar.Örneğin orta güçlü gemi diesel makinalarında yanmanın en üst noktasında hidrodinamik yağlama rejimi oluşabilmesi için minimum yağ kalınlığı 1 μm 'dir.Bu değerin altına inildiğinde rejim değişerek sınır yağlama rejimi başlar.

Temel olarak üç türlü yağlama rejimi vardır.

2.2.1 Hidrodinamik Yağlama Rejimi :

Eğer yağ film kalınlığı temas eden yüzeylerin yüzey pürüzlülüğünü aşarsa, yağ viskozitesi söz konusu yüzeylerin birbirlerine göre relatif hareketleri sonucu hidrodinamik basınç kuvvetleri oluşturur.Bu basınç kuvvetleri yüzeyleri birbirinden ayırarak temas ve sürtünmeyi önler.

Hidrodinamik yağlamanın gerçekleşebilmesi için ;

- * Yüzeyler arası belli bir relatif hız olması
- * Yağ tabaka kalınlığının hareket yönünde değişken olması (daralması)
- * Yüzeyler arasındaki pürüzlülüğü aşacak miktarda yağ bulunması gerekmektedir.

Mil yataklarının ve piston-layner iç yüzeyi yağlamaları bu rejimde yapılır. Bu durumda korelasyonlarda belirleyici boyutsuz ifade vardır: $[\mu N/\sigma]$

Söz konusu $[\mu N/\sigma]$ ifadesinde

μ : yağın mutlak viskozitesini

N : relatif dönme hızını ve

σ : yataktaki birim alana gelen yükü

temsil etmektedir. Tüm dönel elemanlar bu boyutsuz ifadeye bağlı olarak çıkarılan sürtünme katsayısı grafiklerine göre dizayn edilir. Bu tür parçaların yağlanmasına "sonsuz yatak hidrodinamik yağlama rejimi" denir. Bu durumda hidrodinamik yağlama rejimini oluşturan basınç değerleri; sürtünme

hareketi ve relatif hıza bağlı olarak :

$$\frac{\delta}{\delta x} (h \cdot h^2) + \frac{\delta}{\delta z} (h \cdot h^2) = 6N\mu \frac{\delta h}{\delta x} \quad \dots (2.1)$$

ŞEKİL 2.1 Sonsuz Yataklarda Hidrodinamik Yağ Basınçları

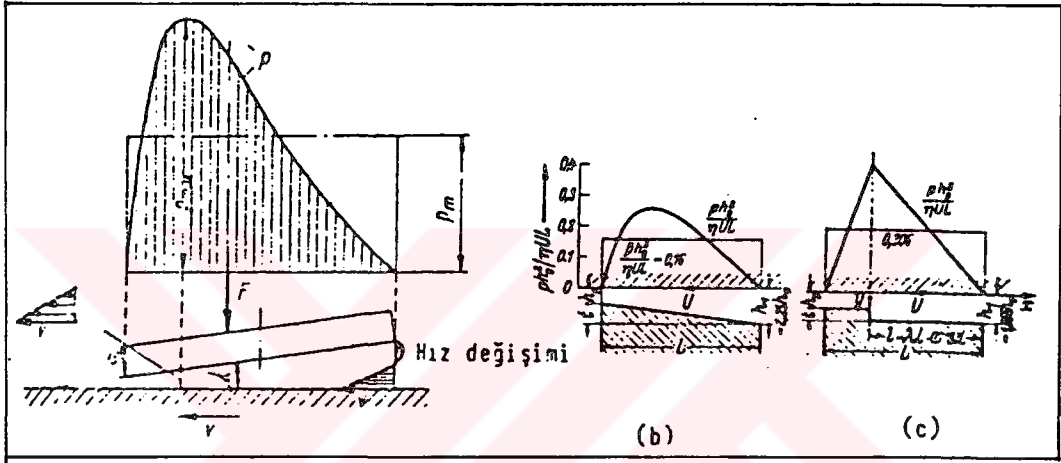
denklemleri ile ifade edilir. Bu denklem Navier-Stokes denklemlerinin Reynolds tarafından geliştirilen formudur. Denklemden h : yağ tabakasının kalınlığı; P : yağ tabakasının hidrodinamik basıncını temsil etmektedir. $\delta P/\delta x$ 'e (yani yağ film kalınlığının hareket yönünde küçülmesine) ve relatif hıza bağlı basınç değişimi $\delta P/\delta x$, $\delta P/\delta z$ şekil 2.1 'de sonsuz yataklar için görülmektedir.

Ancak piston pimi gibi bazı elemanlar devamlı dönme hareketine maruz kalmazlar. Bu durumda kabul edilebilir bir yağlama, makina hareketi esnasındaki yük değişimleri ile sağlanır. Buna "sonlu yatak hidrodinamik yağlaması" denir. Sonsuz yataklar için verilen Navier-Stokes denklemlerinin Reynolds formu (2.1) sonlu yataklar için :

$$\frac{d}{dx} (h \cdot h^2) = 6 \cdot U \cdot \mu \frac{dh}{dx} \quad \dots (2.2)$$

şeklinde diferansiyel hale gelir (U : düzlemsel relatif hız). Sonsuz yataklardaki boyutsuz $[\mu \cdot N/\sigma]$ ifadesi ise sonlu yataklar için $[\mu \cdot U/\sigma \lambda]$ şekline gelir (λ : kayan yüzeyin hareket yönündeki genişliği).

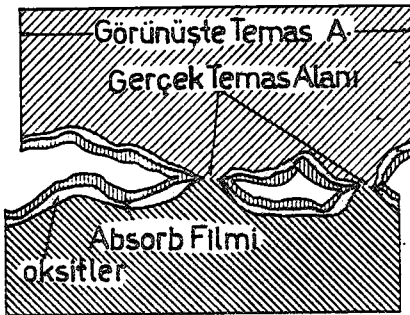
Sonlu yatak hidrodinamik yağlamasının en iyi örnekleri segman-layner arası yağlamada görülür. Pistonun yukarı aşağı hareketinde layner ile segman arasında bulunan yağ filmi hidrodinamik direnç göstererek iki yüzeyi birbirinden ayırır. Sonlu yataklar için hidrodinamik yağlama prensibi şekil 2.2'de görülmektedir.



ŞEKİL 2.2 Sonlu Yatak Hidrodinamik Yağ Basınçları

2.2.2 Sınır Yağlama Rejimi :

Eğer iki yüzey arası film limit kalınlığı indirilirse söz konusu yüzeyler arası sürtünme yükselerek yağ film kalınlığına bağlı olarak makul bir değerde sabit kalır. Buna sınır yağlama denir. Genelde piston hızının hidrodinamik yağlama koşullarına uygun olmadığı durumlarda görülür. Burada



ŞEKİL 2.3 Sınır Yağlamada Kısmi Temaslar

yağ film tabakası $1 \mu m$ 'nin altında bir kalınlıkta dır. Sınır yağlama düşük devir hızının dışında ; piston, yatak ve segmanların harekete başlama ve durma süreçlerinde, piston segmanları için krankkol yatağının en dip ve en üst noktada bulunduğu anlarda, valf ve camshaft zamanlama dişlilerinde

görlür.Sınır yağlama rejiminde dezavantaj srtünme,aşınma ve ısı oranının yüksek olmasıdır.Katı yağlama da bu rejime dahildir.

Sınır yağlama rejiminde söz konusu srtünme kısmı temas yüzey alanı yük ve yatak malzemesinin mekanik özelliklerine bağlıdır.

$$Ar = \frac{Fn}{\sigma m} \dots\dots\dots (2.3)$$

formülünde görüldüğü gibi "Ar" gerçek temas alanı "Fn" normal yük kuvveti nin, "σm" yatak malzemesine bölümü ile hesaplanabilir.Buna göre yüzeylerin birbiri üzerinde normal kuvvete dik yönde hareketini sağlayan kuvvet "Ft":

$$Ft = Ar.Tm \dots\dots\dots (2.4)$$

formülü ile hesap edilebilir (Tm:Yatak malzemesi burulma mukavemeti).

2.2.3 Geçiş Yağlama Rejimi :

Diğer iki yağlama rejimi arasında bir geçiş rejimidir.Camshaft genellikle büyük yüklere maruz kaldığından yağın hidrodinamik özellikleri yağlama açısından yeterli olmaz.Bu durumda geçiş rejimi ortaya çıkar.Yağ filminin kalınlığı, büyük güçleri taşıyabilecek şekilde dizayn edilmiş edilmiş camshaftların sayesinde valf ivmesinin maksimum limitte tutulmasıyla sağlanır.ivme ne kadar yüksek olursa relatif hız o kadar artacağı için tam hidrodinamik özelliklere ulaşılmasa bile srtünme teması büyük ölçüde önlenir.Yağların içindeki sentetik katıkların yağ viskozite direncini arttırması da bu rejimi meydana getiren etkenler arasındadır.

2.3. YAĞLAMA REJİMLERİ :

2.3.1 Sıvı Yağlama Çesidi :

Konvansiyonel petrol kaynaklı, sentetik destekli yağlarla yapılan en yaygın yağlama çesididir.Bu yağlamada göz önünde bulundurulması gereken en önemli husus yağın faydalı ömrü olmalıdır.Sıvı yağlamada petrol kaynaklı ve sentetik katık ilaveli yağlar ortalama 120°C'ta 250 saat özelliklerini kaybetmezken, sentetik yağlar 250°C civarında, polyphenyl-ether yağlar

350°C'ta ve polyfluoraalkil-ether yağlar 470°C'ta aynı ömre sahiptirler.

Üst segman sıcaklığının 500-600°C'a kadar ulaştığı günümüzün yüksek güçlü diesellerinde soğutma sisteminden geçirilmeyen bir yağın karterdeki sıcaklığının 120°C civarında olduğu gözlenmiştir. Bu durumda yağın ömrünün uzatılması için özellikle gemi diesellerinde yağ soğutulması zorunlu olmaktadır.

2.3.2 Katı Yağlama Çesidi :

Katı yağlayıcılar, sıvı yağlayıcıların kullanılamadığı sıcaklık seviyesinin yüksek olduğu bölgelerde kullanılır. Katı yağlama tribolojik yüzeylerde ihtiyaç halinde yapılan bir yöntem değişikliği ya da teknolojik ilerlemenin bir göstergesi olarak tanıtılabilir. Üç tip katı yağlama vardır:

A-) Süspansiyon Tipi Katı Yağlama: Bu yöntemde yağlama maddeleri; bir taşıyıcı akışkan içerisinde süspansiyon şeklinde bulunur. Örneğin grafit partikülleri veya molybdenum-disulphate katı yağlama maddeleri olup hava veya sentetik sıvı taşıyıcı ile yağlama yüzeylerine iletilirler. Bu durumda "gaz destekli yada sıvı destekli katı yağlama maddesi" adını alırlar.

Grafit 480°C'a kadar yağlama özelliğini koruyup dekompozite olmazken, bu özelliklerini 540°C'a kadar muhafaza eden ester türevi katı yağlama maddeleri de mevcuttur. Burada katı yağlayıcıların ısı dayanımının ne denli yüksek olduğu görülmektedir.

B-) Kalıcı Yağ Filmi Tipi: Polyphenyl-ether içindeki phosphate-ester gibi maddeler, özellikle soğutmasız veya az soğutmalı bölüm yüzeylerinde; taşıyıcı sıvının özelliğinin kaybettirilmesi yoluyla çökertilerek bir film formu oluşturulabilir. Aynı sonuç yağlama yüzeyiyle yağlama maddesi arasında bir katalizör yardımı ile reaksiyon oluşturarakta sağlanabilir. Bu tip yağlama ile yüksek sıcaklıklarda metal-metal sürtünmesi makul bir değerde sabit tutularak sınır yağlama rejimi oluşturulur.

C-)Self-Yağlama Tipi Katı Yağlama: Bir üçüncü ve en yeni katı yağlama tipi de kendi kendine yağlama özelliği gösteren malzemeler yardımı ile yapılan self-yağlamalardır. Self-yağlama maddeleri genelde seramik türevi "cer-met" (ceramics & metal) malzemelerdir. Örnek olarak bu maddelerin ; . sürtünme önleyici krom-oksit (chromium-oxide) kaplı silindir laynerleri içinde kayan piston segmanlarındaki kullanımı gösterilebilir.

Seramik rulmanlı yataklar düşük sürtünmeli katı yağlama için kapsamlı potansiyele sahiptir. Ayrıca grafit yağlayıcılar silikon-nitride rulman bilyaları ile birlikte 540°C'ın üzerinde fonksiyonel özellik gösterirler. 1989 yılında FAG firması tarafından bu yöntemle çalışan self-yağlama yapan bir rulman yatak geliştirilerek kullanıma sunulmuştur.

Katı yağlamanın genel problemi sıvı yağlamaya oranla sürtünmenin yüksek olmasıdır. Tipik sürtünme katsayısı yağ soğutmalı diesellerde hidrodinamik yağlama rejimi için ortalama 0.004 iken sınır rejim katı yağlamada bunun en az 20 katıdır. Ancak bu sürtünme kayıpları yakıt ve yağ ekonomisi ile karşılanabilir.

2.3.3 Gaz Yağlama Çeşidi :

Bilindiği gibi sıvı yağlar yüksek segman sıcaklıklarına uygun değildir. Katı yağlama da aşırı sürtünme durumunda besleme açısından belirsizlik gösterir. Buna benzer durumlarda en uygun yağlama çeşidinin gaz yağlama olduğu düşünülmektedir. Bu çok yeni bir yağlama çeşidi olup: tek silindir hacmi 0.5 lt. olan seramik pistonlu, segmansız, iki stroklu motorlar için laboratuvar şartlarında denenmiştir. Sistemin temeli pistonun alt tarafından birkaç nozullu hava jeti ile üflenen havanın piston-layner arasına girerek yağlama işlevini görmesidir. Söz konusu parçalar arası açıklık radyal toleransı 0.05 mm limitinde tutulmuştur. Çünkü daha yüksek açıklık değerlerinde sızdırmazlık yeterli ölçüde sağlanamamıştır. Ticari uygulaması henüz yoktur.

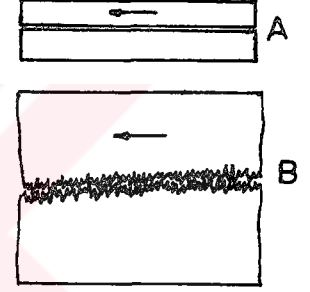
2.4. SÜRTÜNME

2.4.1. Sürtünmenin Tanımı :

Sürtünme birbirine göre izafi hareketli parçalar arasında görülen ve kesin olarak engellenemeyen bir etkidir. Bu etki birbirine temas yüzeyi bulunan hareketli parçalar arasında hareketi önleyici yönde oluşur. Sürtünme sonucunda aşınma ve güç kayıpları meydana geldiğinden elden geldiğince düşük seviyede tutulmaya çalışılır. Şekil 2.1'de birbirine göre hareketli ve çok iyi işlenmiş yüzeylere sahip cismin (A) temas yüzeyleri mikroskop altında incelendiğinde (B), bu yüzeylerin gerçekte geometrik olarak pürüzsüz olmadıkları görülmektedir. Bu durumda yüzeylerin pürüzleri birbirlerine takılarak hareketin tersi yönünde bir direnç oluşturur. Oluşan bu dirence "sürtünme kuvveti" adı verilir:

$$F_s = \mu \cdot W \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

formülü ile ifade edilir. Burada μ : sürtünme katsayısı ve W : bir parçadan diğerine etkiyen

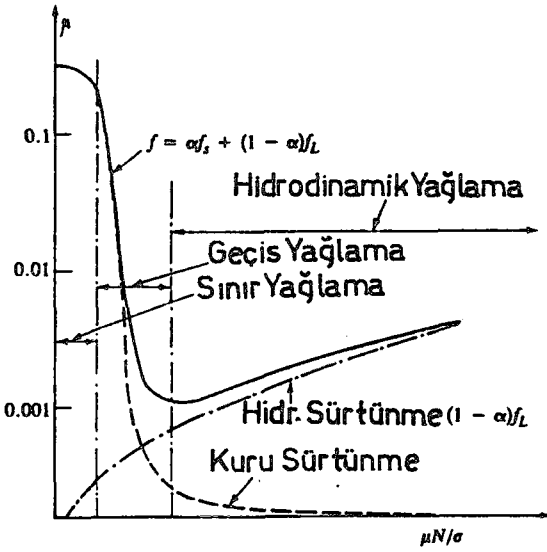


ŞEKİL 2.4 Yüzey Pürüzlülükleri

yüktür. Görüldüğü gibi sürtünme kuvveti temas yüzeyi pürüzlülüğünden ve relatif kayma hızlarından bağımsız, sadece yük ile bağıntılıdır.

2.4.2. Yağlamalı Durumda Sürtünme :

Yağlanmış yüzeyler arası sürtünmede bilinmesi gereken en önemli konu bölgedeki kuvvetlerin (yüklerin) büyüklük değerleridir. Bu yük durumuna göre bölüm 2.2.1'de bahsedilen boyutsuz oran hesaplanır. Söz konusu $[\mu \cdot W / \sigma]$ oranı sürtünme katsayısı ile birlikte yağlama rejimini belirleyici özellik taşır. Bu orana göre çizilen "STRINBECK" diagramı yağlama bölgesindeki rejimi temsil eder. Şekil 2.5'de Strinbeck diagramı kaymalı yataklar için görülmektedir. Yağlamalı durumda sürtünme katsayısı Bowden-Tabor formülünde



ŞEKİL 2.5 Strinbeck Diagramı

$$\mu = \alpha \cdot \mu_m + (1-\alpha) \cdot \mu_h \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

olarak bulunmaktadır. Burada $\alpha = 0+1$ arasında değişen metal-metal temas sabiti,

μ_m : metal kuru sürtünme katsayısı ve

μ_h : hidrokinamik sürtünme katsayısıdır.

Bu formül için α 'nın alt ve üst sınır larına yaklaştığı durumlar için irdelenirse :

2.4.2.1. Sınır Yağlama Rejimi Sonucu

Kuru-Sınır Sürtünme :

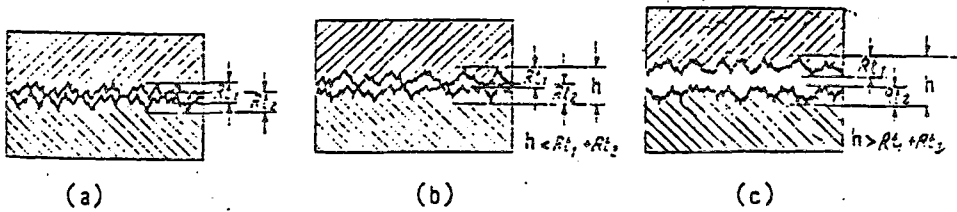
$$\lim_{\alpha \rightarrow 1} \mu = \mu_m$$

olduğu görülür. Bu durumda yağlama rejimi sınır yağlamaya dahil olur. Bu şartlar kuru sürtünmeye yaklaşıldığını gösterir. Teoride $\alpha=1$ olduğunda yüzeyler arasında yağ, oksit, hava v.s. tabakaları bulunmayıp metal-metal teması meydana gelir. Bu kuru sürtünme durumudur. Kuru sürtünme halinde sürtünme katsayısı Coulomb-Amontons kuralına göre :

$$\mu_m = \frac{F_t}{F_n} = \frac{T_m}{S_m} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

şeklinde formülize edilebilir.

Ancak pratikte $\alpha=1$ 'e yaklaştığı durumlarda yağ film kalınlığı bir veya birkaç molekül tabakadan oluşur ve yüzey pürüzlülükleri arasında kısmi metal-metal teması meydana gelir [Şekil 2.3]. Yüzeyler arası yağlayıcı madde molekülleri "adsorbsiyon" sonucu madensel yüzeylere muntazam şekilde yapı



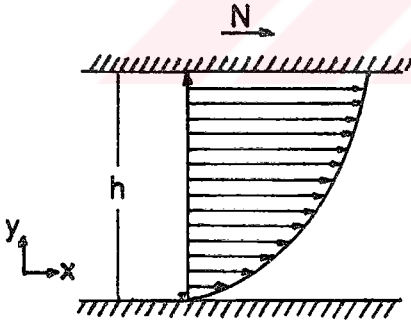
Sürtünme çeşitleri
a. Kuru; b. Sınır; c. Sıvı

ŞEKİL 2.6 Kuru, Sınır ve Sıvı Sürtünme Yüzeyleri

sırlar. Bu durum en çok polar karbonlu hidrojen moleküllerinin karboksil grupları ile metalik yüzeylere bağlanması şeklinde görülür. Böylece söz konusu bir-birkaç molekül kalınlığındaki yağ ve oksit tabakası oluşur. Şekil 2.6 'da kuru, sınır ve sıvı sürtünmeli yüzeyler şematik olarak gösterilmiştir. Sınır yağlama rejiminde sürtünme katsayısı genelde 0.02 ± 0.1 arasındadır. Bu katsayı (2.7) numaralı formülde de görüldüğü gibi yüzeylerin birbirine göre relatif hızından bağımsızdır.

2.4.2.2. Hidrodinamik Yağlama Rejimi Sonucu Sıvı Sürtünme :

lim $\mu = \mu h$ olduğu görülür. Böylece hidrodinamik yağlama için gerekli şartlar $\alpha \rightarrow 0$ gerçekleşmiş olur. Bu durumda yağ film kalınlığı yüzeyleri birbirinden ayırmak için yeterli değere ulaşmış demektir [Bkz: Bölüm 2.4.2.1]. Metalik yüzeylerle doğrudan temasta bulunan yağ tabakası adsorbsiyon yoluyla bu yüzeylere tamamen yapışmıştır. Buna göre "N" hızıyla hareket eden yüzeyde yağ tabakasının hızı N ve sabit yüzeydeki yağ tabakasının hızı "0" (sıfır) kabul edilir. Böylece ara tabakaların hızları yağ film tabakası kalınlığına bağlı olarak 0'dan N'e kadar değişir. Bu değişim tabakalar arasında bir kayma



ŞEKİL 2.7 Tabakalar Arası Kayma

gerilmesi meydana getirir. Şekil 2.7'te tabakalar arasındaki kayma görülmektedir. Bu rejimde sürtünme katsayısı T_k kayma gerilmesine bağlıdır.

$$T_k = \mu \left(\frac{dN}{dy} \right) \Big|_0^h \dots \dots \dots (2.8)$$

şeklinde ifade edilen kayma gerilmesine göre sürtünme kuvveti

$$F_s = \mu \left(\frac{dN}{dy} \right) \cdot A \dots \dots \dots (2.9)$$

formülü ile hesaplanabilir. Buna göre pratikte basit hesaplar için :

$$F_s = \mu \left(N/h \right) \cdot A \dots \dots \dots (2.10)$$

Bu formüllerde F_s : sürtünme kuvveti, A : yüzey-yağ temas alanıdır.

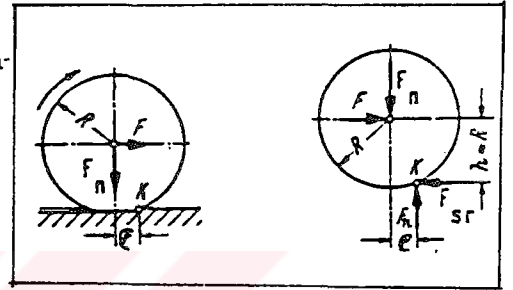
2.4.3. Yuvarlanma Sürtünmesi (Elastohidrodinamik Yağlama) :

Yuvarlanma sürtünmesi yuvarlanma hareketine karşı temas yüzeyinde oluşan dirençtir. Teorik olarak tam rijit ve yüzeyi pürüzsüz olan silindirik veya küre şeklindeki bir elemanın, pürüzsüz düzlem yüzeyde yuvarlanmasında hiç bir kuvvet meydana gelmez. Burada hareketi engelleyici direnç : temas yüzeylerinde yuvarlanma harici oluşan kaymalara ve geometrik bozukluklara bağlı olarak ortaya çıkar.

$F_s = \mu \cdot W$ durumunda $e/R < \mu$ olursa, kaymadan yuvarlanma ; $e/R > \mu$ olursa yuvarlanmadan kayma oluşur (e : yuvarlanmadan sürtünme moment kolu ve R : yuvarlanan cismin yarıçapı). Burada yuvarlanma sürtünme katsayısı :

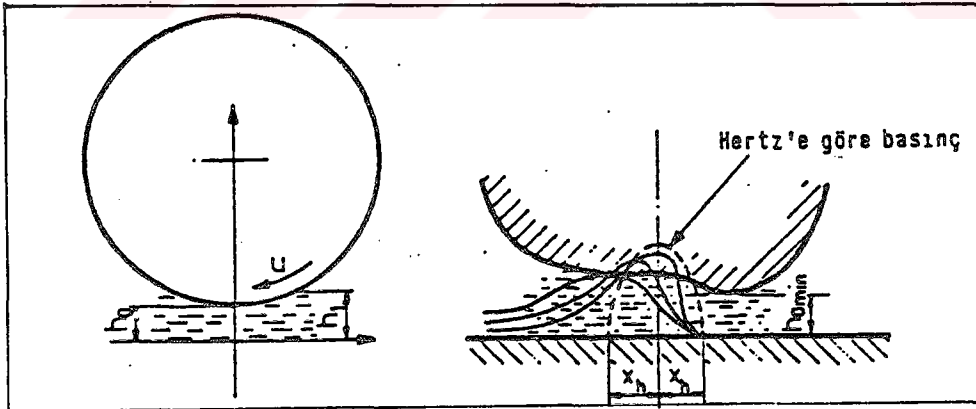
$$\mu_y = e/R \dots\dots\dots (2.11)$$

oranı ile hesap edilir (Şekil 2.8).



ŞEKİL 2.8 Yuvarlanma Sürtünmesi.

Yuvarlanan yüzeyler arasında yeterli film kalınlığı olduğunda hidrodinamik yağlama rejimi meydana gelebilir. Ancak Şekil 2.9'da görüldüğü gibi yuvarlanan parçalar üzerinde "Hertz Elastik Deformasyonları"nın yol



ŞEKİL 2.9 Elastohidrodinamik Yağlamada Hertz Basınçları

açtığı yağ basınç dağılımı dalgalanmaları bu bölgede hidrodinamik rejimden farklı bir elastohidrodinamik yağlama oluşturur. Bunun örnekleri pratikte hareketli dişliler, camshaftlar ve rulmanlarda görülür.

2.4.4. Sürtünme işi :

1°) Yakıt karışımını giriş sistemine ve silindir içine sevk etmek ve yanmış gazları silindirden ve egzoz sisteminden dışarı atmak için gerekli pompa işini $[W_p]$,

2°) Birbirine göre izafi hızı bulunan ve temas eden yüzeylerde (segman-layner, piston pimi-yatakları, camshaft-camshaft yatakları v.b.) oluşan sürtünme direncini $[W_{rr}]$ kapsar.

Silindir içindeki yanma gazlarından pistona transfer olan işin tamamı şaft hareketinden alınamaz. indike işten, efektif işe kadar olan kayıplar sürtünme işi olarak adlandırılır. Sürtünme işinin tam tanımı iş akışkanının silindir içindeki görevini görmesiyle pistona verilen iş (genişleme ve sıkıştırma stroklarında) ile ; yararlı iş arasındaki fark olarak verilebilir. Buna göre toplam sürtünme işi :

$$W_{Tr} = W_p + W_{rr} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

şeklinde ifade edilir. Burada W_p işi makina sistemindeki akışkan akımını sağlayan ıstır. Akışkan akımının oluşabilmesi için bir basınç farkı gereklidir. III. Bernoulli teoremine göre :

$$P_1 + 0.5 \cdot \tau/g \cdot V^2 = P_2 = \text{SABİT} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

(iki ortam arası yükseklikler ihmal edilerek) olduğu için söz konusu W_p işi akışkan hızının karesi ile orantılıdır. (P_1 : I. ortam basıncı, P_2 : II. ortam basıncı, τ : Akışkan özgül ağırlığı, g : Yerçekim ivmesi, V : Akışkan hızı)

Süpürme olayında olduğu gibi söz konusu akışkan hızı da piston hızıyla orantılı olacağından ; W_p pompa işinin piston hızının karesi ile orantılı olduğu söylenebilir. Buna göre pompa işi $[C_p \cdot S_p^2]$ şeklinde ifade edilir (S_p : piston hızı).

W_{rr} sürtünme dirençleri ise sınır yağlama durumunda relatif hızdan bağımsız olarak formül (2.7) den $[C_1]$ sabiti ile ; hidrodinamik

yağlamalı bölgelerde ise relatif hıza bağlı olarak formül (2.8) den $[C_2.N]$ şeklinde ifade edilir.Buna göre toplam sürtünme kayıpları :

$$W_{Tf} = C_1 + C_2.N + C_3.S_p^2 \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

olarak formülize edilir (C_1, C_2, C_3 : katsayılar).Sürtünme kayıplarının boyutlarını anlayabilmek için deneysel olarak çıkarılmış C_1, C_2, C_3 katsayılarını formülde yerine koyarsak: (6 silindirli, orta devirli, 140 mm silindir çaplı, direkt enjeksiyonlu diesel makina için)

$$W_{Tf} = (110\div114) + 0.048 .N + 0.4 .S_p^2 \quad [\text{kPa}]$$

olduğu görülür.Buna göre oluşan maksimum kayıplar yağlamalı bölgelerdeki sürtünme kayıplarıdır.Yağlamanın amacı bu kayıpları makul minimum seviyeye indirmektir.

2.4.5. Sürtünme ile Sıcaklık Artışı :

Daha önceki bölümlerde söz edildiği gibi sürtünme kuvvetinin oluşumu esas olarak bir enerji yayılımı mekanizmasıdır ve kayma yüzeyleri üzerinde bir sıcaklık artışı meydana getirir.Geçiş yüzeyindeki bu sıcaklık artışı aşağıda gösterildiği gibi bağımsız değişkenlerin fonksiyonu olarak kabul edilir.

$$\Delta T = f (\mu, W, V, a, A) \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

Bu eşitlikteki $\mu = F_s/W$ olarak sürtünme katsayısı olduğu hatırlanmalıdır. Ayrıca V :Relatif kayma hızı, a :Metalin ortalama ısı iletkenliğidir.

$$a = 1/2 . (a_1 + a_2) \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

Burada a_1 ve a_2 sırasıyla 1. ve 2. kayan cisimlerin ısı iletkenliğidir.

Buchingham Pi teoremine göre $\Pi_1 - \Pi_2$ boyutsuz parametreler olarak

$$f (\Pi_1 , \Pi_2) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

denklemini verir. $\Pi_1 = \mu$ dersek ;

$$\Pi_2 = \frac{\Delta T . a . A^{1/2}}{W . V} = \frac{\Delta T . a . L}{W . V} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

T.A.
Eskişehir

eşitliğini yazabiliriz. O halde ;

$$f \left(\mu , \frac{\Delta T \cdot a \cdot L}{W \cdot V} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

yazabiliriz. Veya ;

$$\Delta T = \text{Const} \left(\frac{\mu \cdot W \cdot V}{a \cdot L} \right) \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

olarak yazabiliriz. Burada L genelleştirilmiş uzunluk boyutudur.

(2.20) nolu eşitliği değişik bir şekilde de bulabiliriz. Şöyle ki; Sürtünme nedeniyle ısı oluşumu Q_p' , açığa çıkan ısı da Q_c' ile gösterilsin " ' notasyonu zamana göre türevi göstermektedir ". O halde ;

$$Q_p' = F_m \cdot V = \mu \cdot W \cdot V \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

$$Q_c' = a \cdot (\Delta T / L) \cdot A = a \cdot \Delta T \cdot L \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

yazılabilir,

$$\frac{Q_p'}{Q_c'} = \frac{\mu \cdot W \cdot V}{a \cdot \Delta T \cdot L} = q = \text{Const} \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\Delta T = \text{Const} \left(\frac{\mu \cdot W \cdot V}{a \cdot L} \right) \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

bulunabilir. Bu eşitlik çok düşük kayma hızlarında doğru kabul edilmektedir.

Relatif kayma hızı yüksek olduğu zaman sürekli belirli bir hızla

yaklaşmakta olan soğuk yüzey nedeniyle ayırma yüzeyindeki sıcaklıklarda

sabit değerlere ulaşamaz. Burada hareketli yüzeyin termik yayınma özelliği

önemli rol oynamaktadır. Değişken koşullarda ısı iletimi için Fourier Kanunu

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \cdot \left(\frac{d^2T}{dx^2} \right) \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

şeklinde bir boyutlu olarak yazılabilir. Boyutsuz olarak daha kullanışlı bir

şekle getirirsek,

$$\frac{dT'}{dt'} = \left(\frac{\alpha \cdot t_0}{L^2} \right) \cdot \left(\frac{d^2T'}{dx'^2} \right) \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada $T' = T/T_0$, $t' = t/t_0$, $x' = X/L$ ve T_0 , t_0 ve

L sırasıyla sıcaklık, zaman ve uzunluk için referans değerleridir. (2.25)

denklemdaki $[\alpha \cdot t_0 / L^2]$ oranı sabiti Fourier sayısı olarak anılır ve F_0

ile gösterilir.

F_o sayısı bir başka tanım sayısı olan Peclet sayısına da dönüştürülebilir ;

$$F_o = \frac{\alpha \cdot t_o}{L^2} = \frac{\alpha}{V \cdot L} = \frac{1}{P_e} \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

Böylece yüksek relatif kayma hızlarında bulduğumuz Fourier F_o ve ya Peclet P_e sayısı 3. boyutsuz sayı olarak kabul edilir , Π_3 olarak adlandırılır ise ;

$$f (\Pi_1 , \Pi_2 , \Pi_3) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

$$f (\mu , \frac{\Delta T \cdot a \cdot L}{W \cdot V} , P_e) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

veya

$$T = f (\frac{\mu \cdot W \cdot V}{a \cdot L} , P_e) \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

yazabiliriz. Kayma esnasında sürtünmenin etkisi ile üretilen ısı Q_c

miktarı ayırma yüzeyinden dışarı kaçar. Hareketli yüzeyde biriken ısı

miktarı Q_m kadardır. Q_p ve $(Q_c + Q_m)$ arasındaki oran karakteristik N sayısı

$$\frac{Q_p}{Q_c + Q_m} = q = \text{Const} \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

olarak tanımlanır. Termodinamik kanunlarından Q_m için ,

$$Q_m = \rho_1 \cdot C_{p1} \cdot \frac{DT}{Dt} \cdot L^3 = \rho_1 \cdot C_{p1} \cdot \Delta T \cdot L^2 \quad \dots\dots (2.32)$$

yazabiliriz. 1 indisi hareketli parçayı gösterirse ρ_1 yoğunluk, C_{p1} sabit

basınçta hareketli yüzeyin özgül ısısıdır. Denklem (2.31) de Q_p , Q_c , Q_m ve

$\alpha_1 = a_1 / \rho_1 \cdot C_{p1}$ değerlerini yerlerine koyarsak,

$$\Delta T = \text{Const} (\frac{\mu \cdot W \cdot V}{(a + a_1 \cdot P_e) \cdot L}) \quad \dots\dots\dots (2.33)$$

eşitliğini yazabiliriz.

Kaymanın başlangıcında yüzeyde bir ısı birikmesi oluşur. Kayma devam ettikçe bu biriken ısı miktarı yayılır. Kayma hareketindeki bu değişken sıcaklıklar sürtünme yüzeyinde malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin de değişmesine neden olur. Sıcaklığın artmış olduğu bu bölgelerde sürtünme lokal aşınmaya ve kesmeye neden olur. Daha sonra işlenecek olan bölümlerde bu lokal bölgeler tek tek incelenecek ve meydana gelen hasarlar belirtilecektir.

2.4.6. Sürtünmenin Silindirlerdeki Etkisi :

Diesel motorlarında daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi silindir çeperi, silindir kafası ve piston yüzü ile çevrelenmiş yanma odasına püskürtülen yakıt iş strokunun ilk anlarında yanarak dikkate değer . bir ısı açığa çıkarır.Bu ısının yaklaşık olarak 1/3 'ü motor tarafından faydalı güce dönüştürülür, 1/3 'ü egzoz gazları ve radyasyon ile atmosfere atılır, 1/3 'ü de yanma odası çeperlerine geçer.Çeperlere geçen bu yüksek ısının özellikle port bölgelerinde olmak üzere çeperlerde termik deformasyonlara neden olur.

Ayrıca yanma sonucunda oluşan yüksek gaz basınçları segmanlarla silindir arasındaki sürtünmenin etkisini artırarak aşınmalara neden olur. Bir diesel motorunda sürtünme tarafından absorbe edilen güç, silindirlerde elde edilen güç ile safttan elde edilen gücün farkına eşittir.Yani,

$$P_F = P_I - P_S \quad \dots\dots\dots (2.34)$$

P_F : Sürtünme gücü
 P_I : Motordan elde edilen güç
 P_S : Şafttan elde edilen güç

Sürtünmeye harcanan bu P_F gücünün büyük bir kısmı segmanlarla silindirler arasındaki sürtünmenin absorbe ettiği dir.Piston-segman sürtünmesinin absorbe ettiği gücü P_F' ile gösterirsek ,

$$P_F' = \mu_{pc} . W . V \quad \dots\dots\dots (2.35)$$

yazabiliriz.Burada

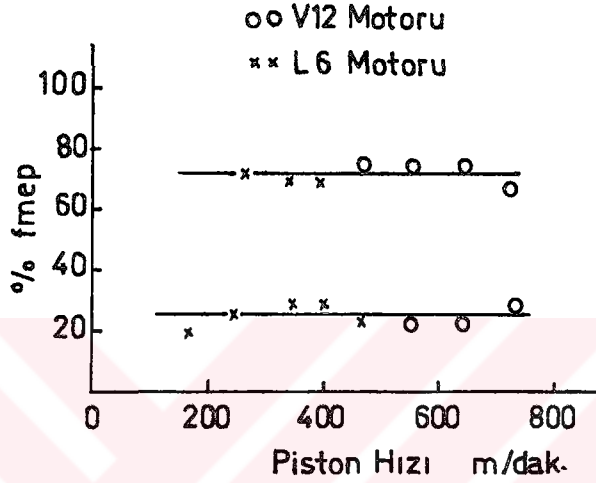
μ_{pc} : Piston segmanı ve silindir arasındaki sürtünme katsayısı
 W : Silindir ile piston arasındaki yük
 V : Ortalama piston hızı ise

Sürtünme ortalama basıncı

$$P_{pc} = \frac{c . P_F'}{A . V} = \left(\frac{c . W}{A} \right) . \mu_{pc} \quad \dots\dots\dots (2.36)$$

Bu denklemdaki c sabiti iki stroklu motorlar için 2, dört stroklu motorlar için 4 alınır.Şekil 2.10'da m/dak. piston hızına karşılık piston

segman ve yataklar için P_{pc} yüzdesini vermektedir. Bu diagrama göre sürtünme efektif basıncının ortalama piston hızından bağımsız olduğunu ve piston segman sürtünmesinin toplam mekanik sürtünmenin yaklaşık 3/4 'ü olduğunu görüyoruz. Sürtünme etkisi iki stroklu motorlarda, dört stroklu motorlardan daha uzun ve daha ağır, pistonları ve buna bağlı olarak daha fazla segmanları olduğu için daha fazladır.



ŞEKİL 2.10 *Piston Hızının Fonksiyonu Olarak Ortalama Sürtünme Efektif Basıncı*

2.4.6.1. Silindir Sürtünmesinde Segmanların Etkisi :

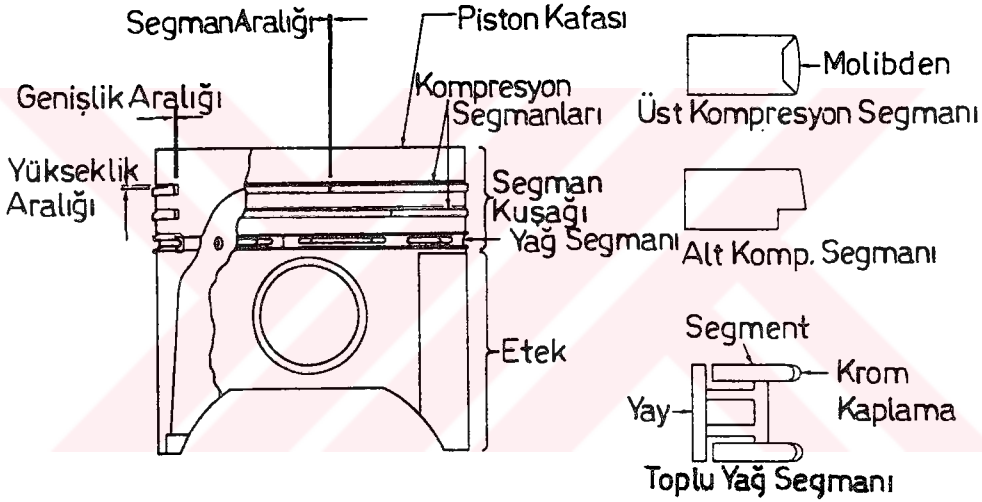
Yüksek güçlü gemi diesel makinalarında silindir içerisindeki sıkıştırma basıncı 350÷700 PSI (24.6÷49.3 kg/cm²) ve yanma basıncı daha fazla olarak 600÷1200 PSI (42.3÷84.5 kg/cm²) arasında değişmektedir. Bu büyük basınç değerleri piston hareketini sağlarken bir yandan da piston ile layner arasında bir sürtünme meydana getirir. Ayrıca bu basınç değerleri yanma gazlarının piston-layner arasındaki boşluktan sızmasını sağlayarak güç kayıplarına neden olur. Bu yüzden piston dış çeperine monte edilen çapsal genişlemeye yay yüklü segmanlar kullanılır.

Temel olarak iki tip segman vardır :

1° Kompresyon Segmanı : Gaz sızdırmazlığını sağlayan segmandır.

Bir pistonda en az iki adet (üst kompresyon ve alt kompresyon segmanı olmak üzere) bulunur.

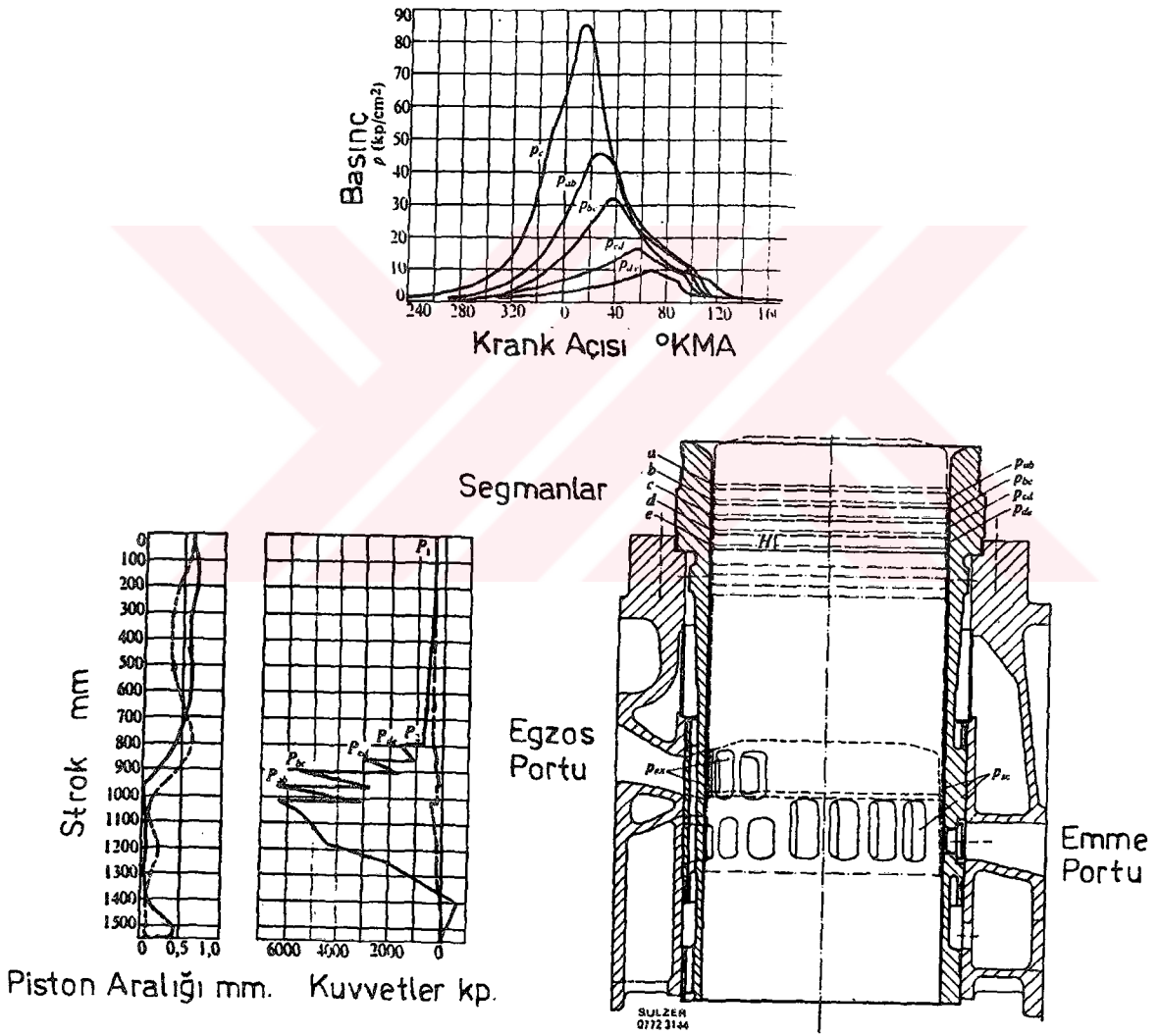
Üst kompresyon segmanı genelde dökme demirden imal edilir. Yanal yüzeyi hidrodinamik yağlamayı gerçekleştirecek geometride dizayn edilmiştir. Dış yüzeyi krom kaplanmış ya da molibden doldurularak aşınma dayanımı arttırılmıştır. Alt kompresyon segmanı prensip olarak üst segmandan sızan basıncı tutmak için kullanılır. Ayrıca yağ kontrolunda yardımcı olur. Alt kompresyon segmanı, üst kompresyon segmanına göre daha elastik malzemeden imal edilir.



ŞEKİL 2.11 Basit Piston-Segman Mekanizması

2° Yağ Segmanı : Silindire verilen yağın laynerde eşit dağılımını sağlamak için bir pistonda en az bir adet bulunur. Pistona verilen yağın bir kısmının silindire geçebilmesi için yağ segman kanalında boşluklar bulunabilir. Ayrıca yağ segmanı silindire verilen yağın dağıtımını yaparken genişleme stroku sırasında fazla ve iş görmüş yağları sıyırarak kartere dönüşünü sağlar. En basit haliyle bir piston-segman mekanizması şekil 2.11 de görülmektedir.

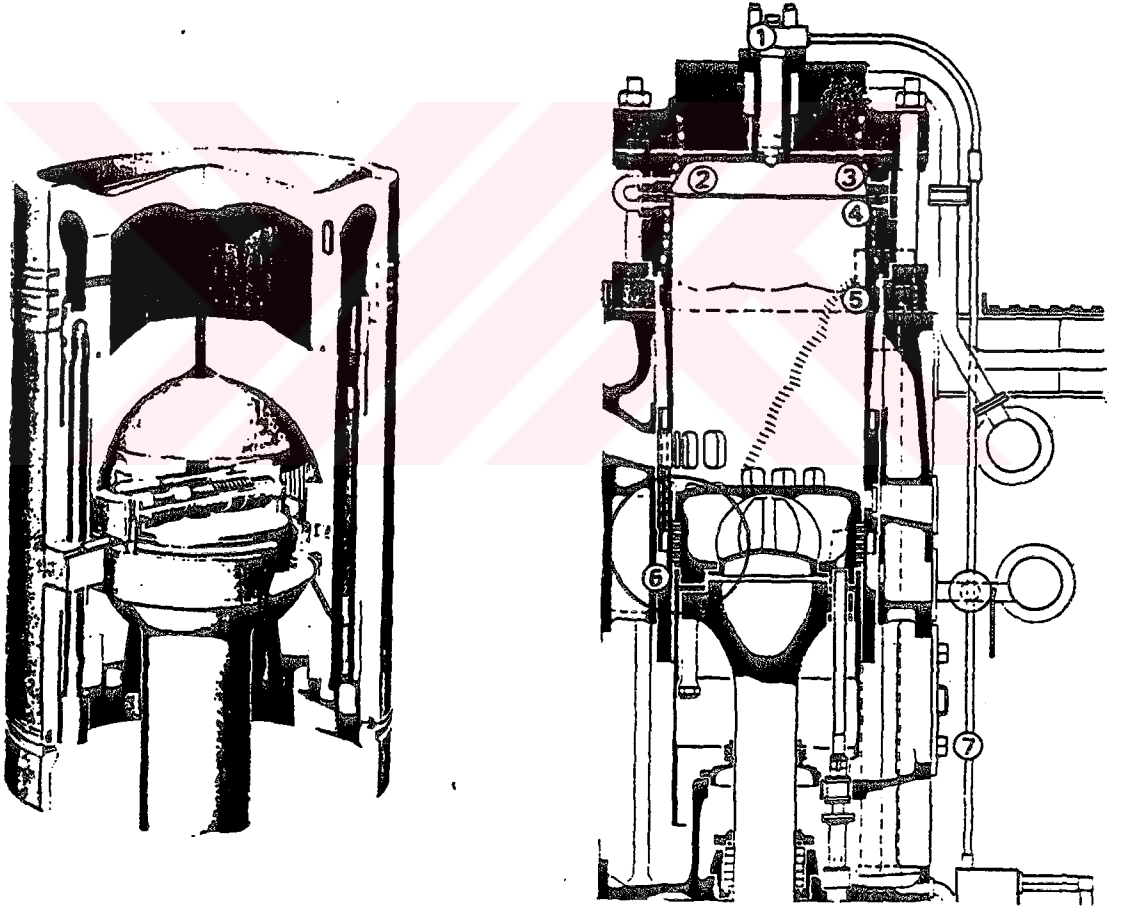
Temel olarak bir pistonda şekil 2.11'de görülen üç segman bulunur. Ancak yüksek güçlü gemi diesel makinalarında sürtünme, iç basınç ve sıcaklık değerleri yüksek olduğundan daha fazla segman kullanılır. Hatta iyi bir sızdırmazlık sağlamak ve süper uzun stroklu silindirlerde piston eteği sürtünmesini önlemek için, hem piston üst tarafında hem de piston eteğinde olmak üzere iki adet segman bölgesi bulunabilir. Şekil 2.12'de silindir cidarına gelen kuvvetleri, segman ve silindir arasındaki basınç kuvvetlerini



ŞEKİL 2.12 Segman-Silindir Arasındaki Basınç Kuvvetleri

emme ve egzoz portlarına gelen kuvvetleri göstermektedir. Pistonla silindir arasındaki sürtünmenin kötü etkilerini silindir yüzeyi üzerinde görmek mümkündür.

Sulzer firması TAD 48 yüksek güçlü makinalarında piston üst bölgelerinde 5, piston eteğinde 5 adet olacak şekilde silindir başına 10 ; RL ve RND serisi makinalarında üst piston bölgesinde olmak üzere silindir başına 5 segman kullanılırken ; dönel pistonlu ZA 40 serisi makinalarında piston açısıl hareketinin aşınma azaltıcı etkisini göz önünde bulundurarak 3 ana segman yeterli görülmüştür.



ŞEKİL 2.13 Sulzer'e Ait Piston-Segman Mekanizmalarına Bir Örnek

2.4.6.2. Silindirde Sürtünme Kuvvetleri :

Piston konstrüksiyonlarında layner duvarı ile sürtünen bölümlerin segmanlar ve piston eteği olduğu bilinmektedir. bu sürtünmeyi ortaya çıkaran kuvvetler ;

- 1° Segman yay yükü (segman dizaynı ve malzemeye bağlı)
- 2° Yüke bağlı gaz kuvvetleri
- 3° Atalet kuvvetleri (piston hızı ve kütlesine bağlı)

başlıkları altında toplanabilir.

Trunk pistonlarda iç gaz basınçlarından ortaya çıkan kuvvetlerin piston eksenine dik bileşeni sürtünmenin en büyük bölümünü oluşturur. Bu kuvvet bileşeni $[F_t]$ şekil 2.14 'da görülmektedir.

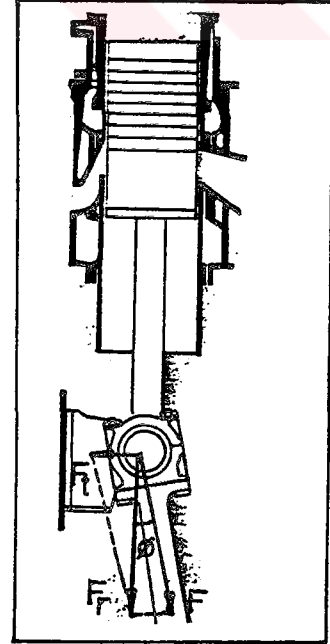
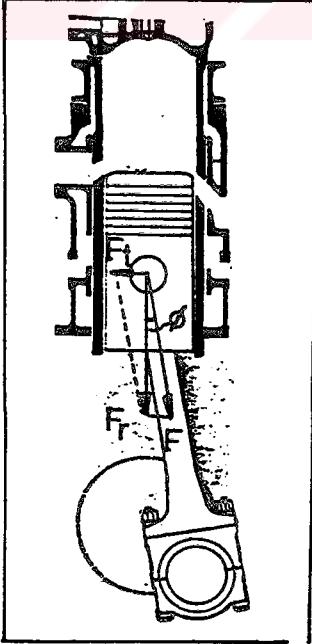
Newton'un hareket kanunlarından :

$$F = m.a \quad \dots\dots\dots (2.37)$$

$$m \cdot \frac{dS_p}{dt} = - F_r \cdot \cos\theta + \frac{\pi \cdot B^2}{4} \cdot P \pm F_f \quad \dots\dots\dots (2.38)$$

$$F_t = F_r \cdot \sin\theta = \left(- m \cdot \frac{dS_p}{dt} + \frac{\pi \cdot B^2}{4} \cdot P \pm F_f \right) \cdot \operatorname{tg}\theta \quad \dots\dots (2.39)$$

şeklinde formülize edilir (trunk pistonlar için).



ŞEKİL 2.14 Trunk Piston Kuvvetleri ŞEKİL 2.15 Crossheadli Piston Kuvvetleri

Bu formüllerde :

F_t : Pistonu laynere iten kuvvet

F_r : Biyeldeki yük

dS_p

———— : Piston ivmesi

dt

B : Piston çapı

P : Yanma gaz basıncı

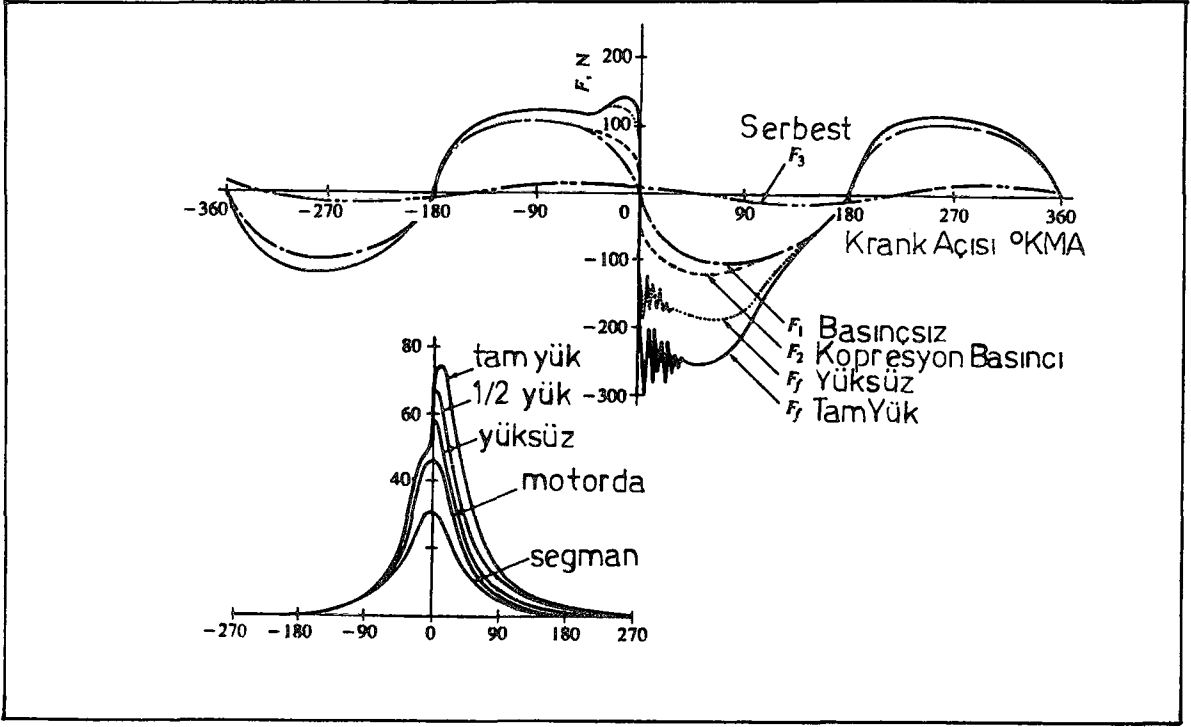
F_r : Toplam piston sürtünme kuvveti [Piston hareketi AÖN'ya doğru iken (-) , piston hareketi ÜÖN'ya doğru iken (+)]

$\emptyset$: Biyelin piston eksenini ile yaptığı açı

Yüksek güçlü gemi diesel makinelerinde söz konusu F_t kuvveti segman ve laynerde büyük aşınmalar oluşturun layneri dairesel formdan uzaklaştırır. Ayrıca pistonda meydana gelen (özellikle etek kısmında) tek yönlü aşınma kısa periyotlu bakım ve onarım maliyeti gerektirdiğinden Sulzer firması tarafından geliştirilen ve M.A.N. ve MaK makinelerinde de uygulanması görülen dönel (rotating) pistonlar kullanılır.[Bkz şekil 2.13]

iki stroklu gemi diesel makinelerinde crosshead kullanımı ile silindir içindeki F_t yönlü kuvvet minimuma indirilmiş ve bu yöndeki kuvvet minimuma indirilmiş ve bu yöndeki kuvvet bileşeni crosshead kızaklarına yüklenmiştir.Şekil 2.15 'de crosshead kızaklarına gelen kuvvet bileşenleri görülmektedir.Bu kızaklar iyi bir yağlama ile sürtünmeyi azaltarak güç kazancı sağlamaktadır.Ancak layner-segman sürtünmesi gemi makinelerinde toplam mekanik sürtünmenin yaklaşık 3/4 'ünü kapsar.Bu oran iki stroklu makinelerde daha ağır ve uzun piston kullanımı sebebiyle artar.Dolayısıyla crosshead kullanımındaki kazancın bir kısmı bu yüzden yitirilir.

Silindirde oluşan sürtünme kuvvetleri direkt olarak da ölçülebilir.Bunun için kullanılan en iyi yol elektronik yük transducer'leri ile ölçüm metodudur.Şekil 2.16'de diesel makinelerde layner sürtünme kuvvetlerinin krank açısına ve yük durumuna göre karakteristik değişimi transducer metodu ile çizilmiş grafiklerle görülmektedir.



ŞEKİL 2.16 Transducer Metodu ile Krank Açısı ve Yüke Göre Layner Sürtünme Kuvvetlerinin Karakteristik Değişimi

2.4.7. Sürtünmenin Yataklardaki Etkisi :

Yüksek ısı ve sürtünmenin problem haline geldiği diğer elemanlar da yataklardır. Diesel motorlarında kaymalı yataklar adı verilen silindirik metal yataklar ve rulmanlı yataklar kullanılır. Kaymalı yataklar "kep" adı verilen iki yarım silindir parçası şeklinde yapılırlar. Her iki yatak kepi muylunun çevresinde silindirik bir yüzey oluşturacak şekilde yapılırlar.

Aşınan, bozulan ya da saran yatakları yerlerinden çıkarmak ve değiştirmekte kolaylık sağlamak amacıyla yatak kepleri içerisine iki yarım silindir şeklinde yapılmış "şel"ler yerleştirilmiştir. Şellerin muylu tarafındaki yüzeyleri antifriksiyon yatak alasımları ile kaplanır.

Yatakların maruz kaldığı sürtünme birim alana gelen yük ile doğru orantılıdır. Sınırlı alana sahip olduğu için birim alanına maksimum yük etkileyen yataklar piston pimi yataklarıdır. Gemi diesel makinalarında bu yük ortalama 2000 PSI (141 kg/cm²) civarındadır. Krank kolu yatakları da büyük yüklere maruz kalmalarına rağmen alanları daha geniş olduğundan birim alana

etkiyen yük miktarı piston pimi yataklarına oranla daha azdır. Ana krank saft yataklarında ise bu yük ortalama 1000 PSI (71 kg/cm²) civarındadır.

Bu bölgelerde yüklerin büyüklükleri ve yönleri değişiktir. Motorun çalışması esnasında çevrimin her noktasında yataklar, değişen yükler tarafından etkilenir. Bunlar ;

1° Eksenel hareketli parçaların atalet kuvvetleri [F₁]

2° Pistona gelen gaz basınç kuvvetleri [F_p]

3° Biyelin ağırlık merkezinin altında kalan kütlesinin oluşturduğu , krank muylu ve krank kollarını etkileyen merkezkaç kuvvet [F_m]

Söz konusu hareketli parçaların atalet kuvvetleri :

$$F_1 = (W_p/g) . r . \omega^2 . [\cos\theta + (r/L_E) . \cos\theta] \dots\dots\dots (2.40)$$

$$F_1 = \frac{W_p}{g} . r . \omega^2 . \cos\theta + \frac{W_p}{g} . \frac{r^2 . \omega^2}{L_E} . \cos 2\theta \dots\dots\dots (2.41)$$

formülleri ile hesaplanabilir. Bu formüllerde :

W_p : Atalet kuvvetleri

r : L/2 krank saft dairesi yarıçapı

θ : Krank saft açısı

ω : Krank saftın açısal hızı

L_E : Biyel boyu

Pistona etkileyen gaz basınç kuvvetleri, motor silindirlerinden endikatör cihazı ile bulunan endikatör diyagramlarından alınır.

Aynı bölgeler için merkezkaç kuvvetler ise ;

$$F_m = (W_r/g) . r . \omega^2 \dots\dots\dots (2.42)$$

formülü ile hesap edilebilir. Motor yükü değişmedikçe sabit kalır. Formülde

W_r : Dönel parçaların ağırlığı, g : Yerçekimi ivmesi 'ni ifade eder.

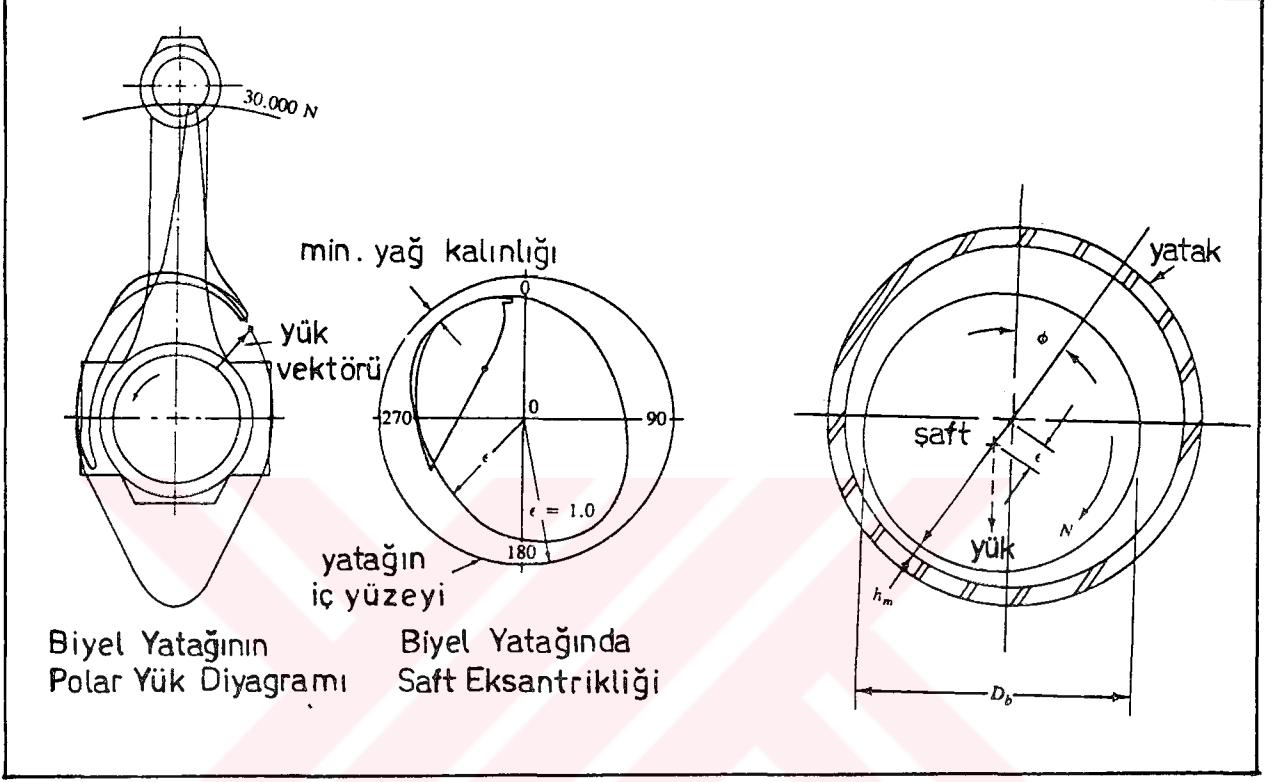
Bulunan bu yük değerlerinden yararlanılarak şekil 2.17'da görülen polar yük-eksantrisite diagramları yapılır. Bu diagramlar yatak dizaynı için bir parametre ve yatak yağ film kalınlığı için belirleyici kriterdir.

Sonuç olarak çok silindirli motorlarda değişik devir sayılarında değişik yatak yükleri oluşmaktadır. Söz konusu kuvvetlerin yatak ile mil

arasında oluşturduğu basınç ortalama olarak ;

$$P_m = \Sigma F / (d.L_v) \dots\dots\dots (2.43)$$

formülü ile tayin edilir [d :mil çapı, L_v :milin yataklanmış kısmının boyul



ŞEKİL 2.17 Yatak Polar Yük Eksantrikite Diagramları

Basınç gerçekte yatak ile muylu arasındaki sürtünme yüzeyine bağlıdır; diesel motorlarındaki yataklar,yağlamayı problem haline getirecek şekilde çalışırlar.Yatakların çalışması esnasında sürtünme yüzeyinde ısı açığa çıkar.Bu ısının bir kısmı yağ tarafından alınır.Bir kısmı da yatak metalinden dışarı transfer olur.Gemi diesel motorlarında yatak sıcaklıkları 80-100°C olmalıdır.Bu nedenle yatakların ısınma ve sürtünmeye karşı sürekli olarak korunması gerekir.

Yatak toplam sürtünme katsayısının bulunabilmesi için Vogelpohl tarafından geliştirilen yaklaşık ampirik formül :

$$\Gamma = 6. \pi. S \quad (S > 0.16) \dots\dots\dots (2.44)$$

$$\Gamma = 7.52 . \pi. S^{1/2} \quad (S < 0.16) \dots\dots\dots (2.45)$$

Vogelpohl'un formüllerinde bilinmesi gereken "S" Somerfeld tarafından geliştirilen boyutsuz bir katsayıdır. Boyutsuz Somerfeld sayısının tanımında yatak boyutlarına bağlı olarak :

$$\pi = D_v/d = R_v/r \quad \dots\dots\dots (2.46)$$

$$\delta = h/\Delta r = h/\pi r \quad \dots\dots\dots (2.47)$$

π : izafi boşluk, δ : izafi minimum yağ film tabakası kalınlığı ve $[L_v/d]$ oranı vardır. Yüksek güçlü dieseller için $\pi \approx 0.75 / 1000$ ve $L_v/d \approx 0.9$ olarak kabul edilebilir. Buna göre Somerfeld sayısı ;

$$S = \frac{\mu. n}{P_m. \pi^2} \quad \dots\dots\dots (2.48)$$

şeklinde ifade edilebilir. [n:devir sayısı, μ :yağ kinematik viskozitesi]

Alman literatüründe tanımlı Somerfeld sayısının bir başka ifadesi ise ;

$$S' = \frac{P_m. \pi^2}{\mu. \omega} = \frac{1}{2. \pi. S} \quad \dots\dots\dots (2.49)$$

şeklindedir. Böylece Somerfeld sayısı, dolayısıyla radyal yatağa ait sürtünme katsayısı hesaplanmış olur. Somerfeld sayısındaki değerler yüksek güçlü orta devirli bir gemi diesel makinası için ;

μ : 55 cp (centipoise) = 0.0055 N.s² /m [SAE 40 yağı, 50°C sıcaklığı için]

π : 0.00075 [R_v :yatak yarı çapı / r:mil yarıçapı]

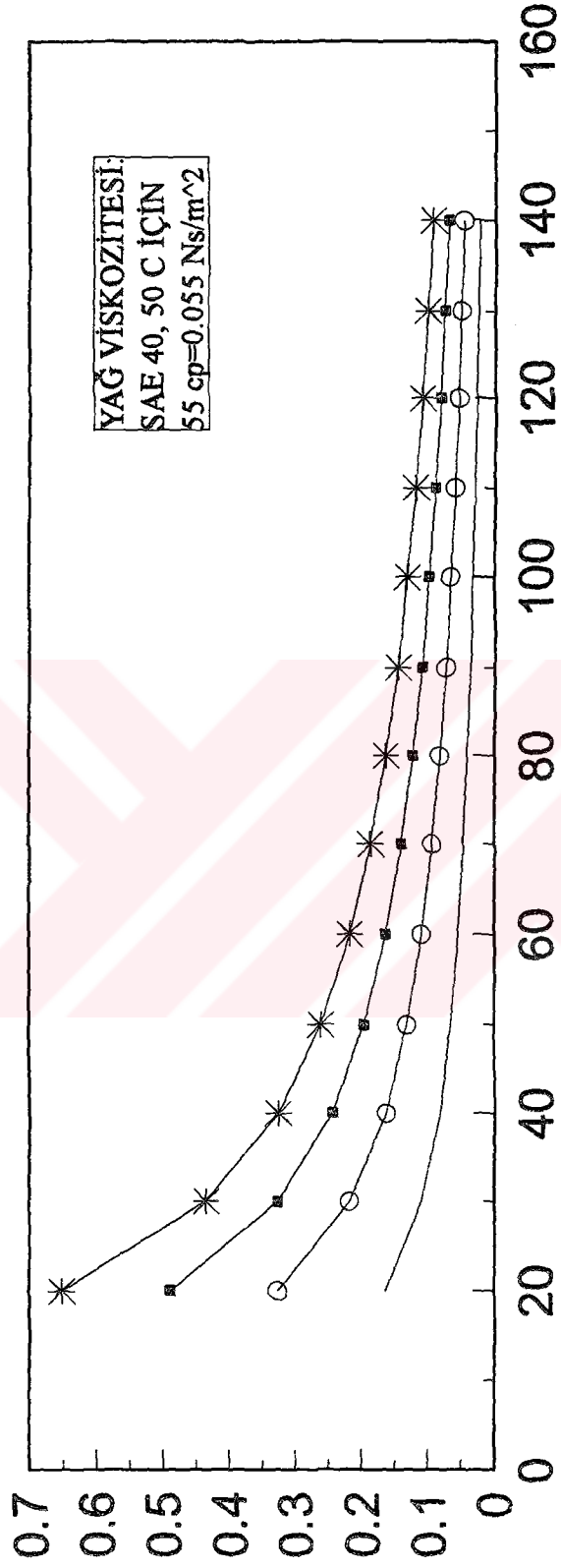
n : mil devir sayısı [d/d veya d/s]

P_m : yatak basıncı=silindir içi yanma basıncı [atalet kuvvetleri ihmalıyla] kabul edilerek ampirik bir formül oluşturulmuş ve aşağıda verilmiştir :

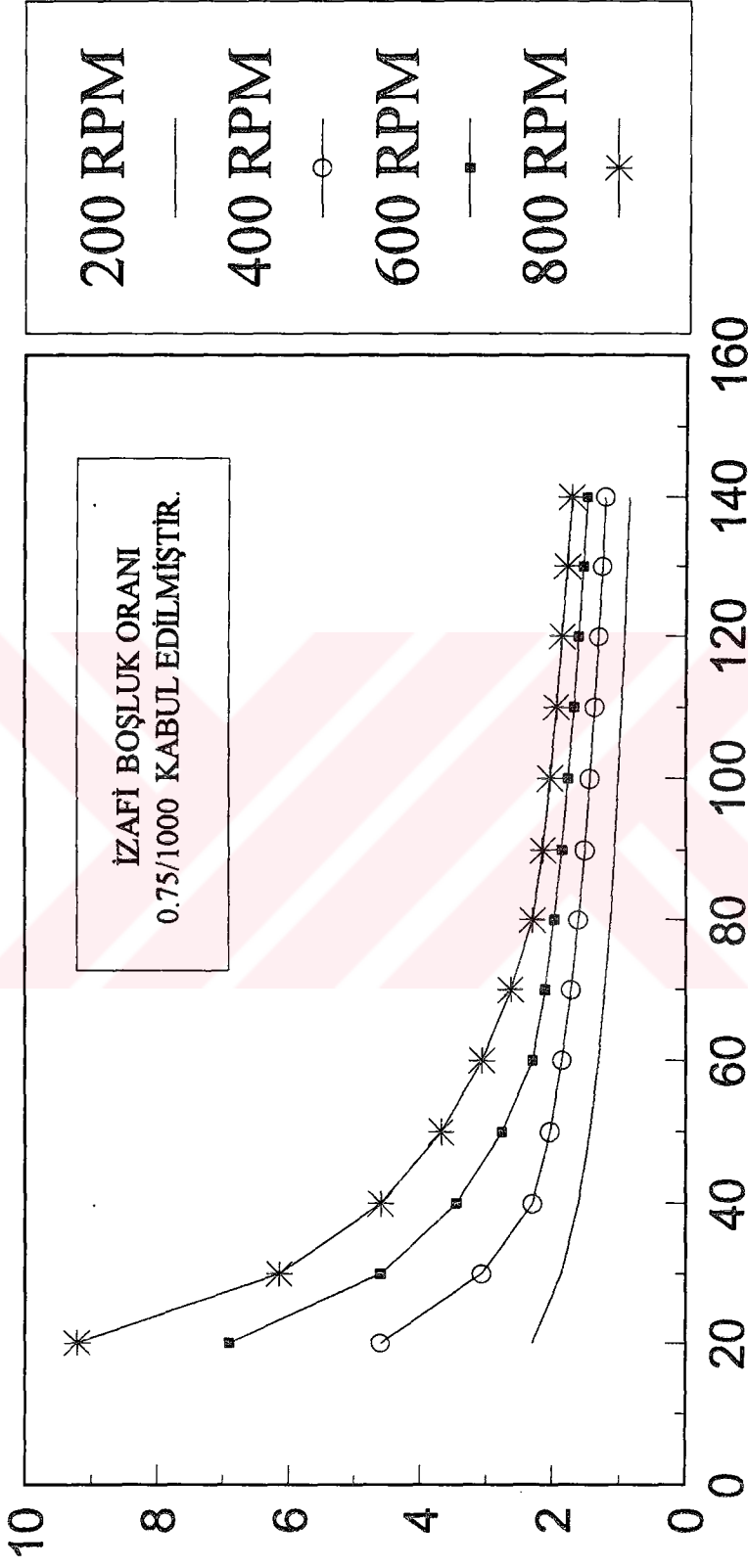
$$S = 0.01629 . (n/P_m) \quad \dots\dots\dots (2.50)$$

Buna göre Somerfeld sayısı krank ana yatağı için devir ve yanma basıncına bağlı olarak şekil 2.18'deki grafikte ifade edilmiştir. Söz konusu Somerfeld değerlerinden yararlanarak çıkarılan sürtünme katsayısı grafiği ise şekil 2.20 'de görülmektedir.

KRANK ANA YATAĞI SOMERFELD SAYISI SOMERFELD SAYISI



KRANK ANA YATAĞI YAKLAŞIK SÜRTÜNME KATSAYISI VOGELPOHL'A GÖRE SÜRTÜNME KTS [$\times 10^{-3}$]



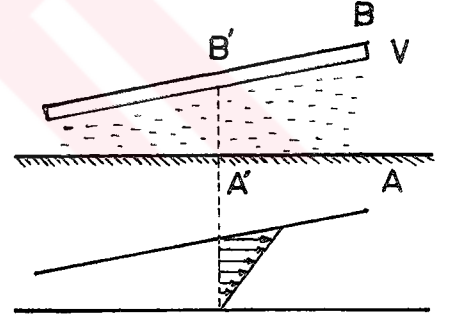
SİLİNDİR İÇİ YANMA BASINCI [BAR]
KRAK DEVRİ VE SOMERFELD SAYISINA BAĞLI

2.5. Gemi Diesel Motorlarında Yağlama Problemi :

Silindir cidarı, yanma odasında yanma sonucunda açığa çıkan ısıyı çekerek sürekli bir ısıl gerilim altında kalmaktadır. Silindir dışından bir soğutucuyla devamlı soğutulan silindir cidarı iç yüzeyden de sürekli olarak yağ ile soğutulmalıdır. Ayrıca piston segmanlarıyla silindir yüzeyi arasında bulunan sürtünmeyi önlemek ve birbiri ile eş çalışan yüzeyler üzerindeki girinti ve çıkıntılı bölgeler arasında bir yağ filmi oluşturarak bu pürüzlerin birbiriyle temasının önlenmesi gerekir. Yağlama yağı hem yüzeyde bulunan çukurları doldurarak, hem de yüzeyler arasında bir yağ filmi oluşturarak yüzeyleri birbirinden ayrı tutar.

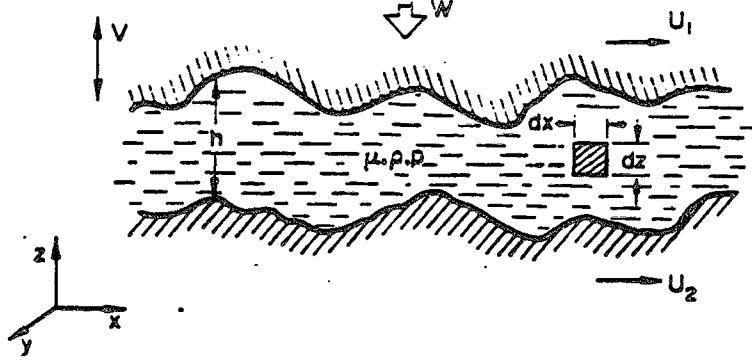
2.5.1. Newton'un Yağlama Prensibi :

Şekil 2.20 'deki sabit A plakası ile ona göre V hızı ile hareket eden B plakasının arasına konulan yağın A 'ya yakın olan molekülleri A plakasına yapışarak sabit kalacak, B 'ye yakın olanlar B plakasına yapışarak V hızıyla hareket edecek, arada kalanlar ise V 'den 0 'a doğru azalan hızlarla hareket edeceklerdir. Hareket devam ettikçe sıkışan yağın basıncı artacak ve üstteki plakayı kaldırarak teması önlemek suretiyle sürtünmeyi ortadan kaldıracaktır.



ŞEKİL 2.20 Newton 'un Yağlama Prensibi

ince yağ filminin içindeki basınçlar, yüzeyler arasında kayma hareketi olsun ya da olmasın normal olarak birbirine yaklaşmış yüzeyler arasında bulunan basma kuvvetinden dolayı oluşur. Bu basma kuvveti yüzeyler arasındaki sıkıştırma kuvveti ve yüzeyler arasındaki bağl titreşimler nedeniyle oluşur.



ŞEKİL 2.21 Birbiri Üzerinde Kayan Plakalar Arasındaki Yağ Filmi

Şekil 2.21 'de p kısmi basınç, ρ yağın yoğunluğu, μ viskozite, u_1 ve u_2 üst ve alt plakanın hızları, h_m ortalama film kalınlığıdır.

Film içinde hidrodinamik basıncın oluşumu en genel şekilde

Reynolds denklemiyle görebiliriz :

$$\frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{\rho \cdot h_m^3}{\mu} \cdot \frac{\delta p}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{\rho \cdot h_m^3}{\mu} \cdot \frac{\delta p}{\delta y} \right) = 6 \cdot (v_1 - v_2) \cdot \frac{\delta(\rho \cdot h_m)}{\delta x} + 6 \cdot \rho \cdot h_m \cdot \frac{\delta}{\delta x} (u_1 + u_2) + 12 \cdot \frac{\delta(\rho \cdot h_m)}{\delta t} \quad (2.51)$$

Bu denklemden de görüldüğü gibi yükün kaldırılmasını sağlayan hidrodinamik basıncın oluşumu

kesme	$6 \cdot (v_1 - v_2) \cdot \frac{\delta(\rho \cdot h_m)}{\delta x}$
gerilme	$6 \cdot \rho \cdot h_m \cdot \frac{\delta}{\delta x} (u_1 + u_2)$
basma	$12 \cdot \frac{\delta(\rho \cdot h_m)}{\delta t}$

kuvvetlerinin fonksiyonudur.

2.5.2. Gemi Diesel Motorlarında Yağlamanın Amacı :

Yağlamanın amaçlarını maddeler halinde şöyle sıralayabiliriz ;

- ∴ Sirkülasyonu ile ısınan bölgeleri soğutmak
- ∴ Birbiri üzerinde çalışan parçalar arasında sürtünmeyi azaltmak
- ∴ Sürtünme yüzeylerini soğutmak
- ∴ Karbon ve aşınan metal partiküllerini yıkayarak yüzeyleri temizlemek

∴ kompresyon segmanlarına yardımcı olmak

∴ Asitlerden gelen aşınmayı içine katılacak katkılarla önlemek

Diesel motorlarında arızasız bir işletme için gereken yerlerin uygun şekilde yağlanması ve yağlama işlemine önem verilmesi gerekir.

2.6. Gemi Diesel Motorlarında Yağlama Gerektiren Ana Elemanlar :

1. Yataklar
2. Silindirler
3. Pistonlar

Sayılan bu elemanların tümünün uygun şekilde yağlanması motorun işletilmesi için zorunludur. Uygun yağlama koşullarının sağlanması için ,

- Silindir çeperlerinde kesiksiz yağ filmi oluşturulması
- Yatak ve diğer hareketli kısımlarda bozulmayacak nitelikte bir yağ filmi oluşturacak şekilde yeterli miktarda yağ gönderilmesi
- Yağın soğutma özelliğinin iyi olması
- Yağın motoru koruyucu ve temizliğini sağlayıcı şekilde seçilmesi gerekir.

2.6.1. YATAKLARIN YAĞLANMASI :

2.6.1.2. Yağın Yataklara Sevki :

Diesel makinalarda en önemli hareketli parçaların yağlanması , yüksek basınçlı yağ sistemleri sayesinde gerçekleştirilir.

Genel olarak bir gemi diesel makinasının yağ sevki şu şekildedir,

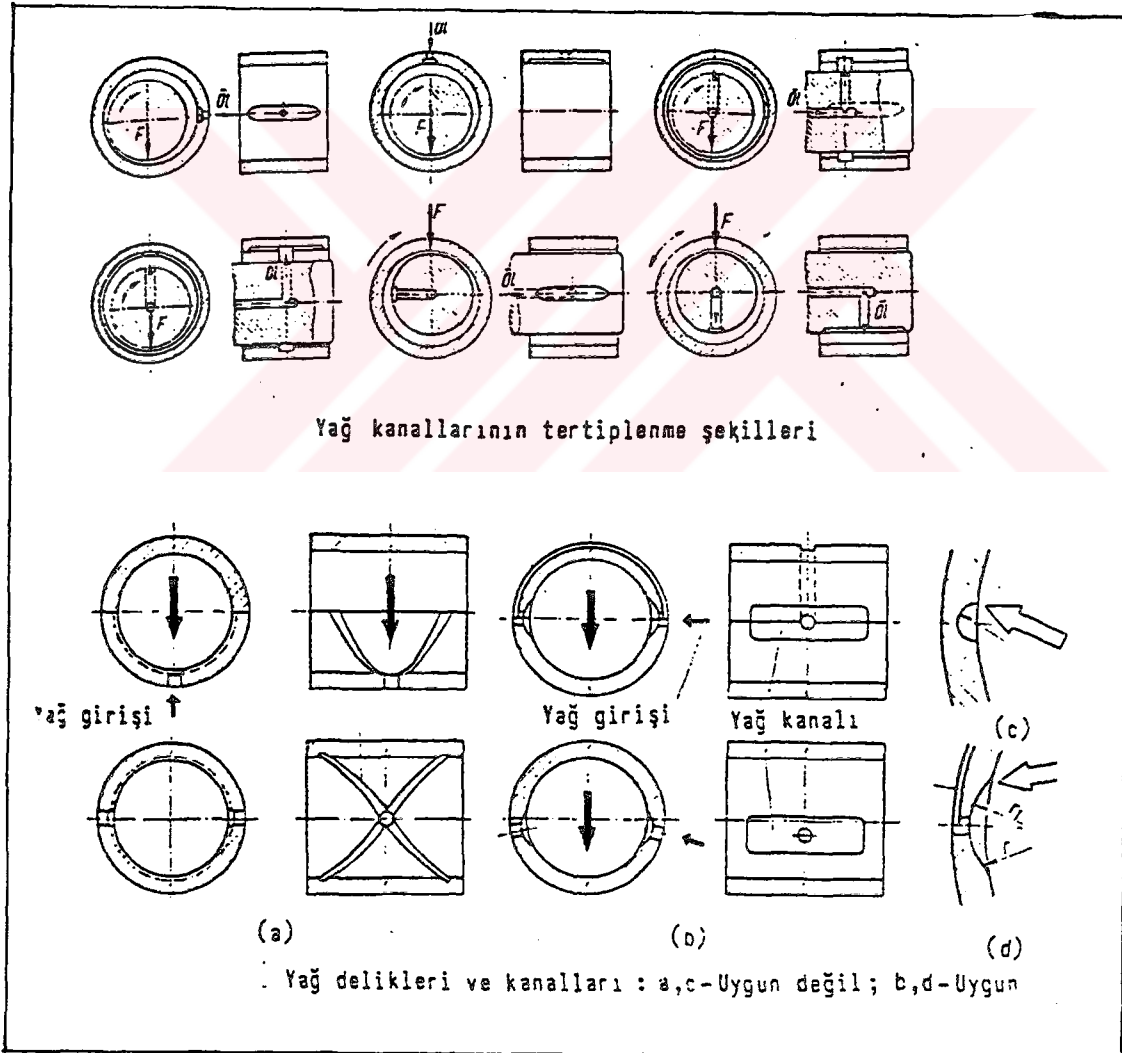
- 1-) Yağ pompası kullanılmış yağı karterden emerek kontrol valfinden geçirip yağlama yağı tankına sevk eder.
- 2-) Bu tanktan da bir pompa sayesinde yağ separatörüne gönderilir, ama daha önce seperasyon işleminin daha iyi olması için yağın viskozitesi gerektiği kadar düşürülür. Bunun için yağı bir miktar ısıtmamız gerekir. Isıtma işlemini separatörün önüne konan bir hiter sayesinde gerçekleşir ve yağ özelliklerini bozan bir takım aşınma ürünlerini ve suyu içinden

almak için separatöre gider. Burada ayrıştırılan yağ tekrar ilk maddede belirtilen yağlama yağı tankına gönderilir. Bu devri-daim diesel motor çalıştığı sürece devam eder.

- 3-) Yağlama yağı tankından başka bir pompa ile alınan sıcak yağ tekrar ana makineye sevk edilmek üzere harekete geçirilir. Ana makineye yağ, belli bir viskozitede yani belli bir sıcaklıkta girmelidir. Bunun için önce, tatlı su devresi ile soğutulan bir kulere yağ girer. Burada gerçekleşen ısı transferi sonucunda istenilen sıcaklığa düşürülen yağ kulerden çıkarak yoluna devam eder, kulerde bırakılan sıcaklık miktarı birkaç derece olmasına rağmen, ana makineye devamlı olarak aynı özellikte yağın girmesi sağlandığı için önemlidir.
- 4-) Kulerden çıkan sabit sıcaklıktaki yağ son olarak da makineye girmeden önce küçük partiküllerin takıldığı bir filtreden geçirilir.
- 5-) Bundan sonra bir yağ pompası tahriki ile basınçlandırılan sabit sıcaklık ve aralıktaki yağ ; ana yatak, sırt yatak, silindir (ve / ve ya lubrikatöre), kam şaft yataklarına iletilir.
- 6-) Kam şaft yataklarındaki boşluktan itme kolu mekanizmasına, krank şaft kanallarından krank kolu yataklarına ulaşan yağ bu bölgeleri yağlar. Eğer crosshead konstrüksiyonu mevcut ise, piston soğutmasından dönen ya da biyel kanalından yukarı çıkan yağ, crosshead kızaklarında bulunan yağ kanallarından geçerek bu bölgeyi yağlar. Bazı konstrüksiyonlarda crosshead kızaklarına direkt yağ püskürtülmesi de söz konusu olabilir.
- 7-) Genellikle piston soğutma ve silindir yağlama yağı, piston pimi kanallarından geçerek piston pimi yatağını yağlar. Buradan biyel içinde bulunan yağ kanalı yardımıyla krank kolu yatağına akarak yatağı yağlar.
- 8-) Ana zamanlama dişlileri sıçrama yardımı ile yağladıktan sonra, iş görmüş yağ kartere dökülür ve devri-daim olayı devam eder.

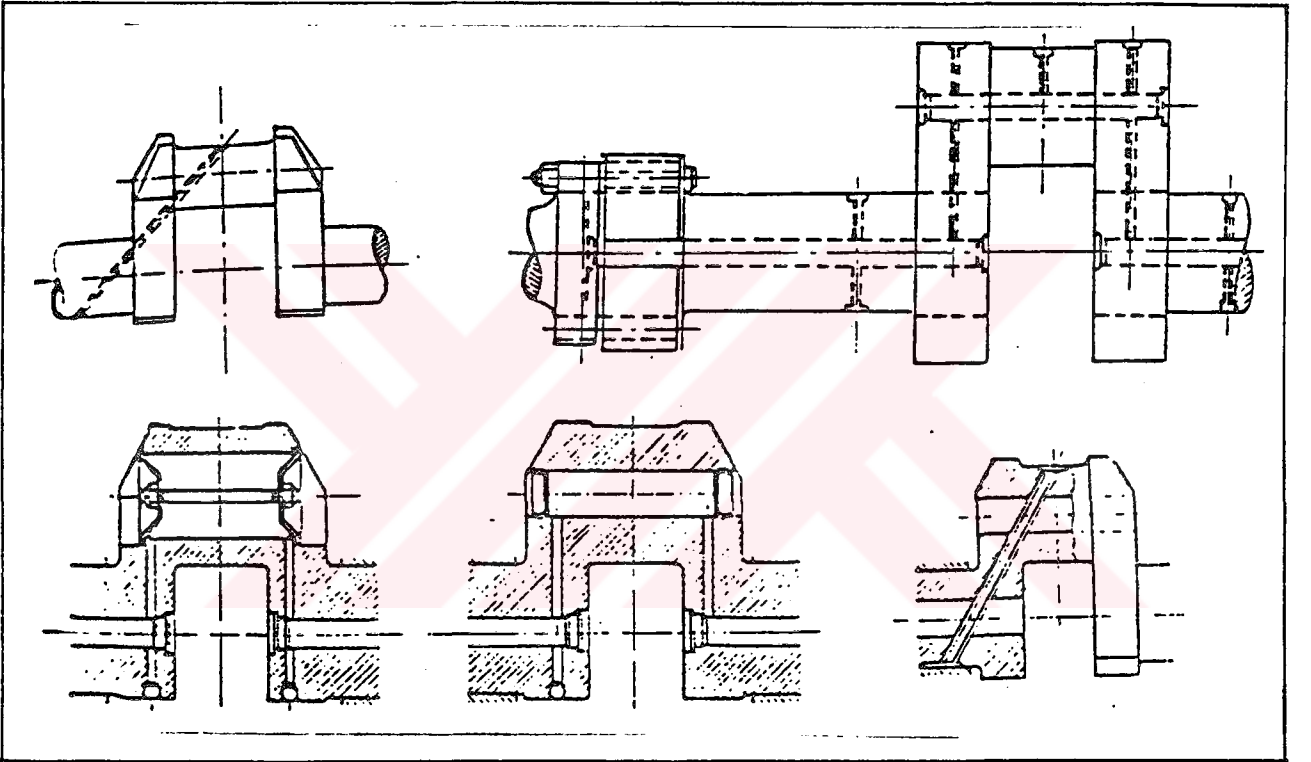
Yağın ana yatağa sevki alt veya üst parçadan yapılabilir. Ancak alttan sevkte yatak yükünü karşılayacak yüksek yağ basınçları gerektiğinden üst kısımdan sevk daha uygundur. Son yıllarda, konstrüksiyonlarda genelde yatak yan kısımdan [Bkz şekil 2.22] yada 90° 'lik açılarla karşılıklı dört yağ kanalından yağ sevki yaygınlaşmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, yan taraflardan delikli konstrüksiyonlarda deliklerin yatağın hidrodinamik kısmında olmamasıdır. Hidrodinamik kısım yatağın alt bölümünü oluşturan 180° 'lik (π) bölgedir.

Ana yatağa gönderilen yağ basınç ve krank şaft dönme hızının



ŞEKİL 2.22 Yatak Yağ Kanalları Konstrüksiyonları

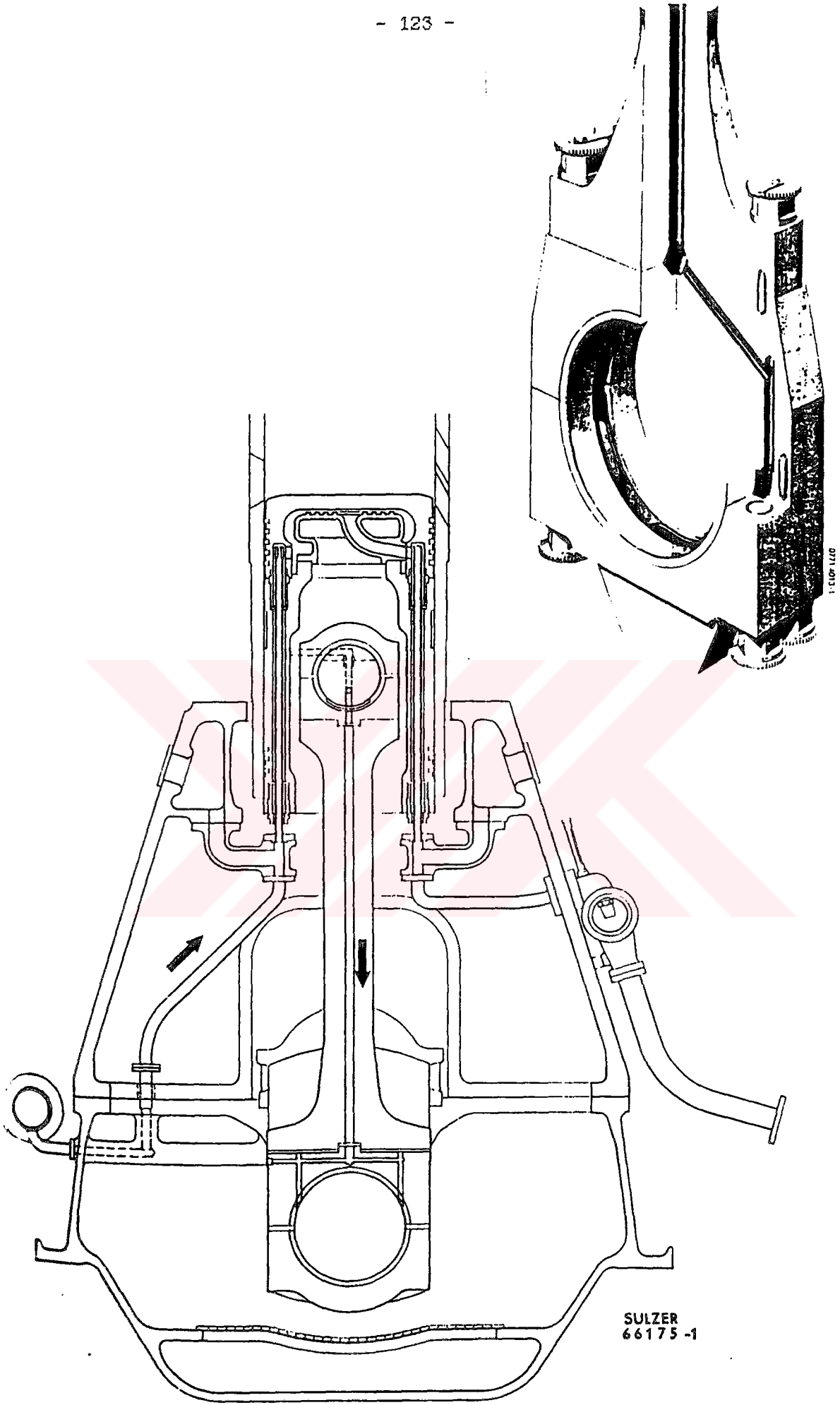
etkisi ile krank saft içine açılmış kanallardan geçerek krank kolu yatağına ulaşır. Bu kanallar mukavemet açısından dairesel kesitli olarak imal edilirler. içi boş krank saft konstrüksiyonlarında ise kanallar dairesel kesitli borular yardımı ile oluşturulur. içi dolu krank saftlarda söz konusu kanallar mekanik mukavemeti oldukça düşürür. Bu delikler yataktan yatağa açılabileceği gibi krank saftın bir ucundan diğerine de açılabilir. Bu kanallara ait çeşitli konstrüksiyonlar şekil 2.23 'de görülmektedir.



ŞEKİL 2.23 Krank Yağ Kanalları

Krank kolu yataklarına yağ iletimi bir kısmı da silindirden piston pimi yataklarına geçen veya piston soğutmasından dönen yağın biyel içine açılmış yağ kanallarından aşağı akması ile gerçekleşir.

Bazı konstrüksiyonlarda da tam tersine bu kanalın yağı yukarı iletip crosshead kızaklarına yada piston pimi yataklarına ulaştırdığı görülür. Bir Sulzer makinasına ait dolanım şeması ve biyel yağ iletim kanalı



ŞEKİL 2.24 Yağ Dolaşım Şeması ve Biyel Yağ İletim Kanalı

şekil 2.24 'de görülmektedir.

Akümülatör veya lubrikatör yardımıyla silindir yağlanması yapılan makinalarda ise yağ, krank şaft ana yatağından crosshead kızıağına veya piston pimi yatağına ulaşabilir. Bu tür makinalarda diğer bir yöntem de crosshead yakınlarından bir pompa tahrikiyle verilen yağın, biyel yağ kanalı yardımı ile aşağıda krank kolu yatağına, yukarıda ise piston pimi yatağına ulaştırılmasıdır. Bu uygulamanın örnekleri Sulzer, Götaverken, Doxford, Mak, M.A.N. B & W ve Caterpillar marka gemi diesel motorlarında görülür.

2.6.1.2. Krank Ana Yatağının Yağlanması :

Ana yatak, krank kolu yatağı ve piston pimi yatağı ile birlikte, gemi diesel makinalarında en özenle yağlanan elemanlardır. Ana yatak yağlamasının nedenleri ;

- 1° Yağ film kalınlığı ile krank şaftın, yatak malzemesinden tamamen ayrılarak metal-metal temasının dolayısıyla aşırı ısı ve sürtünmeye bağlı güç kayıplarının önlenmesi. Bu sayede olası deformasyonların ortadan kaldırılması
- 2° Yatağa yabancı madde ve pislik girmesinin engellenmesi ve burada oluşan birikintilerin uzaklaştırılması
- 3° Özellikle yüksek güçlü gemi makinalarında çoğunlukla görülen aşırı yatak sıcaklıklarının düşürülerek yatağın soğutulması

başlıkları altında toplanabilir.

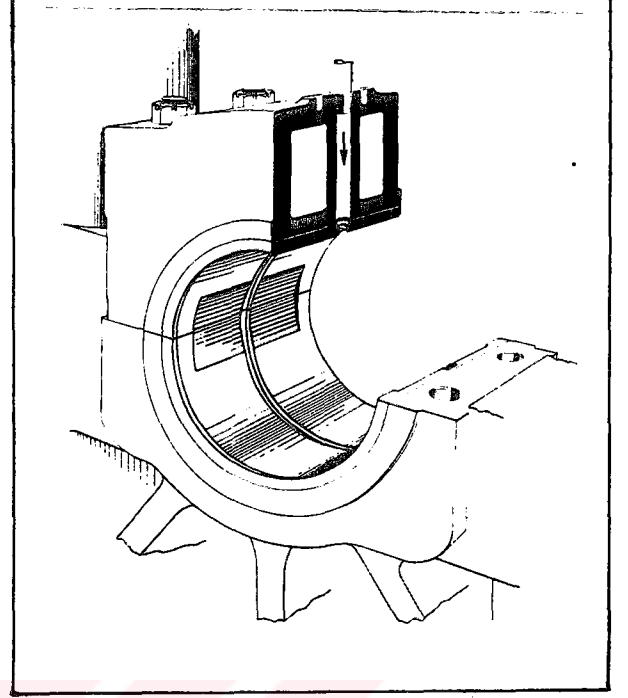
Gemi krank şaft ana yatakları genellikle iki parça olarak imal edilirler. Bu parçalar alt ve üst kep (keep) adını alır. Söz konusu parçalar şekil 2.25 'de ve şekil 2.26 'de görülmektedir. Bu parçaların içlerine monte edilmiş durumda bulunan yatak malzemesini taşıyacak burçlar mevcuttur. Yatak burçları da genellikle iki parçalı olarak yapılır. Burçların yatağa tespiti, kapak kepi gövdeye bağlayan civataların sıkılması yoluyla yapılır. Ayrıca

burçların aksenal yönde de kaymaması gerektiğinden faturalı imal edilirler. Bu burçlar genelde dökme demir veya dökme çelik malzemeden yapılır, ancak hafiflik bakımından çelik tercih edilir. Çelik burçlar için taşıdıkları ağırlıkların büyüklükleri son derece önemsizdir. Çünkü buradaki burçlar fazlasıyla mukavemetli yapırlar. Bu günün çelik burçlarında alaşım maddeleri uygun bağlama konstrüksiyonları yapılmasını önleyici etkiler gösterir.

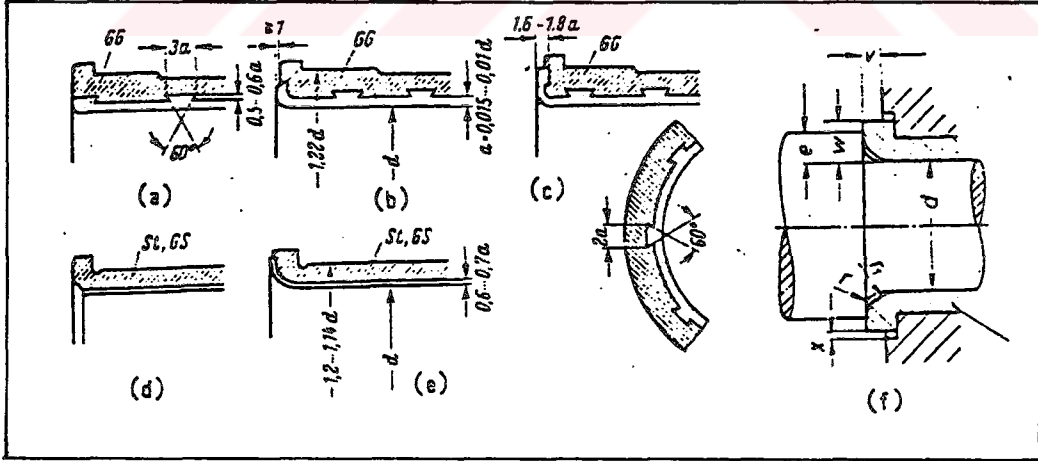
Bu yüzden çelik burçlarda genellikle krom

ve nikel kullanılmaz, magnezyum ve karbon da limit degerde bulunur.

Yatak burçlarına ait çeşitli konstrüksiyonlar şekil 2.25 'de ; gemi diesel makinasındaki bir uygulaması ise şekil 2.26 'de görölmektedir.



ŞEKİL 2.25 Ana Yatak



ŞEKİL 2.26 Çeşitli Yatak Burç Konstrüksiyonları

Burçların içleri yatak malzemesi ile kaplıdır. Bu malzeme genelde beyaz metal olarak seçilir. Burç içine dökme yoluyla yerleştirilen beyaz

TABLO 2.1 Yatak Malzemelerinin Mekanik Özellikleri

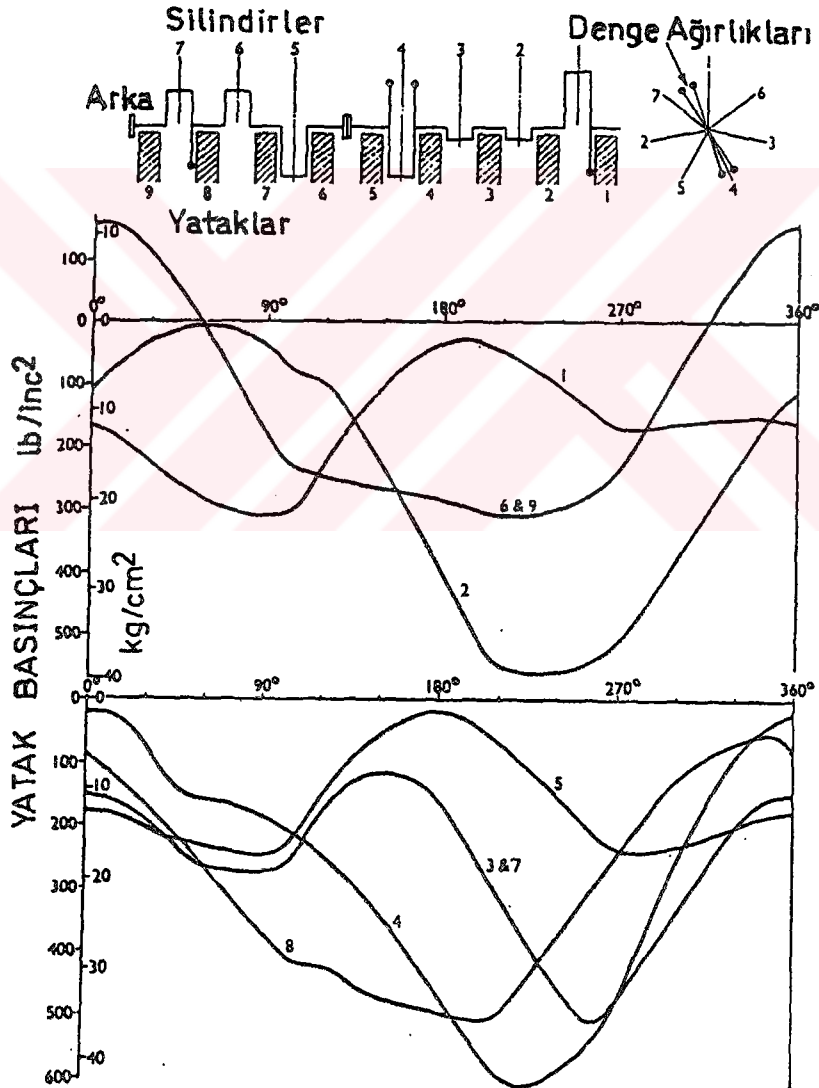
Yatak malzemesi	Sertlik, HB		Elastik-lik modülü	Isıl genleş-lik		Isıl ilet-me	Koruma malzeme	Yorulma mukavemeti	Çalışma kabiliyeti	Korozyon	Koruma
	20°C	50°C		α	β						
LgPbSn 80 (MM 80)	27	20	5300	21	34	3,00...1,90	Srm	6	1	1	
LgPbSn 10 (MM 10)	23	16	3100	24	24	2,50...1,55	Srm	6	1	3	
LgPbSn 9 Cd	28	23	3100	24		2,55...1,60	Srm	4	2	5	
LgPbSb 12	18	14	3000	25		1,80...1,10	Srm	5	1	5	
LgPb	28	23	2600	30	21	3,10...1,95	Srm	5	1	5	
G-CuSn 5 Zn 7 (Rg 5)	60	55	9000	17	60	4,00...2,50	Sr(Srm)	2	5	3	
Gz-CuSn 5 Zn 7 (Rg 5)	80	70	9000	17,5	60	4,20...2,60	Sr	2	5	3	
G-CuSn 10 Zn 4 (Ri 10)	65	60	10000	17,5	48	5,00...3,10	Sr(Srm)	2	5	3	
Gz-CuSn 10 Zn 4 (Rg 10)	85	75	10000	18	48	5,20...3,25	Sr	2	5	3	
G-CuSn 10	60	58	10500	17,5	42	5,00...3,10	Sr(Srm)	1	4	2	
G-CuSn 12	80	78	10500	18	37	5,00...3,10	Sr	1	4	2	
Gz-CuSn 12	95	93	10500	18	37	5,20...3,25	Sr	1	4	2	
Gz-CuPb 25	35	34	7500	19	70	3,60...2,25	Sr,Srm	2	3	4	
Gz-CuPb 15 Sn	70	65	8200	18	52	4,30...2,70	Sr	2	3	4	
Gz-CuPb 22 Sn	55	53	8200	18	64	4,40...2,75	Sr	2	3	4	
G-Cu 57 ZnAlFeMnF 45	110	110	10000	17,5	58	3,80...2,40	Sr	2	4	2	
G-CuAl 9 FeMnF 45	105	105	11000	19	76	4,40...2,75	Sr	2	4	2	
Gz-CuAl 9 FeMnF 45	120	120	11000	19	76	4,80...3,00	Sr	2	4	2	
G-AlFe 5 MnCr	58	45	7100	21		3,90...2,45	Sr	2	4	2	
Gz-AlFe 5 MnCr	45	40	7100	21		4,20...2,60	Sr	2	4	2	
AlSi 12 CuNi	110	87	7500	19,5	134	8,80...5,50	Sr	1	4	2	
GG - 26	200	170	13000	10	58	2,00...1,00	Sr	3	6	6	
GGG	230	185	17000	9	37	2,00...1,00	Sr	1	6	6	
Fa 71	13		700	30	0,37	1,60...1,00	Sr,Srm	3	2	2	
Fs 74	13		800	30	0,37	1,80...1,10	Sr,Srm	3	2	2	
MgW 2088	13		800	25	0,34	3,00...1,90	Sr,Srm	3	2	2	
Polymid	5...12		90	110	0,33	1,40...0,90	Sr,Srm	3	2	2	
Epilox	19		350	80	0,27	4,00...2,50	Sr,Srm	3	2	2	
Yumuşak lastik			200	80	0,14	0,60...0,40	Srm	4	1	1	
Suni kömür	5...25		1400	4	13	1,60...1,00	Sr	4	1	1	

1) $v \leq 1m/s$ için yatak, $v = 2...4m/s$ için ara, $v > 5m/s$ için alçak değerlerden seçilmelidir.
2) Değerlendirme, en iyi davranış gösteren 1, en kötü davranış gösteren 6 olmak üzere yapılmıştır.
Sr=Sertleştirilmiş, Srm=Sertleştirilmemiş

metal kırlangıç kuyruk profilleri ile tespit edilebileceği gibi, çelik burçlarda ince bir burç şeklinde imal edilip preslemeyle burca bağlanabilir

Yüksek güçlü gemi diesel makinalarında krank saft ana yatağı , yatak malzemesi (beyaz metal) kalınlıkları ortalama $300 \div 600$ [mm.] civarındaki krank saft çapları için, $8 \div 10$ [mm.] arasındadır. Söz konusu yatak malzemelerine ait tablo 2.1 'de verilmiştir.

Yüksek güçlü, düşük devirli bir gemi diesel makinası ana krank saft yatağı yükleri yaklaşık 285 PSI [20 kg/cm^2] den 1565 PSI [110 kg/cm^2] ye kadar değişir. Ortalama olarak bu yük değeri 1000 PSI kabul edilebilir. Bu



ŞEKİL 2.27 Bir Harland & Wolff iki Stroklu Gemi Diesel Makinasına Ait Yatak Yükleri Değişim Grafiği

yüklerin yoğunluğu günümüzün yüksek güçlü gemi makinalarında yağ stabilite değerini her an muhafaza edebilecek durumda olmalıdır. Söz konusu yüklere ait bir diagram " Harland & Wolff " iki stroklu gemi makinası için şekil 2.27 'de verilmiştir.

Film formasyonu bu tip diesellerde tam hidrodinamik yağlamayı sağlayacak şekilde oluşur. Diesel yağ sirkülasyon sistemi ana yatağa gereğinden çok daha fazla yağ sağlar. Böylece hem hidrodinamik yağlama yapılırken hem de yatak klerensleri muhafaza edilerek bu kısımlardan taşan yağların soğutmayı en iyi şekilde yapması sağlanır.

Yüksek güçlü gemi diesellerinde ana krank shaft yatağının yağlanma işlemi aşağıdaki şekilde gerçekleşir :

- 1-) Dişli yağ pompası yardımı ile basınçlandırılan yağ, yatağın uygun yerlerine açılmış (genellikle üstte veya karşılıklı dört adet) yağ kanallarına gelir. Buradan üst burç yüzeyindeki beyaz metal malzemesi üzerine açılmış çevresel kanaldan kayarak ve bu bölgeyi yağlayarak alt burca iner. Bu yağ tüm klerensleri dolduracak hatta taşacak miktardadır. Bu durum shaft dönme hareketinin başlangıcıdır.
- 2-) Bundan sonra dönmenin yavaş yavaş başlamasıyla bir yandan shaft tahrikli pompa, yağ basıncını arttırır ; bir yandan da dönüş yönünde yatak malzemesi ile krank shaft arasında kama biçimli yağ dolu klerens oluşur. Bu iki etkinin sonucu olarak krank shaft ile yatak arasında metal-metal sürtünmesi azalarak kısmi temaslar oluşur. Krank shaft bu ince yağ film tabakasına sahip yüzeyde sürtünmeli olarak kaymaya başlar. Bu durumda geçici sınır yağlama rejiminin meydana geldiğini gösterir.
- 3-) Krank shaft devri yeterli hıza eriştiğinde hidrodinamik yağlamayı sağlayacak basınç kuvvetlerini oluşturur. Bu arada kama biçimli yağ filmi tam kalınlığa ulaşmış ve mil altında, dönüş yönünde eksantrisite oluşturacak şekilde yerleşmiştir. Bu durumda yatak malzemesi ile tam

hidrodinamik yağlama gerçekleşmiş olur.

Orta ve yüksek güçlü gemi diesel makinalarında film formasyonu efektif yağ filmi ve viskoziteye bağlıdır. Hidrodinamik yağlamanın tam olarak yapılabilmesi için krank saft ana yataklarında yağ film kalınlığının en az $2+3 \mu\text{m}$. olması gerekir.

Yataga giren yağ miktarı yatak uçlarından akan yağ miktarına eşit olduğu takdirde, hidrodinamik yağ tabakası çevre uzunluğu teorik çevre uzunluğuna yaklaşır ve basınç kuvvetleri şekil 2.1 'deki gibi düzenli yayılır. Yataga giren yağ miktarı, yatak uçlarından akan yağ miktarından az olduğu takdirde hidrodinamik yağlama tabakasının çevre uzunluğu azalır, kalınlığı düşer, sıcaklığı artar. Ayrıca basınç dağılımı bozulur ve yatak işlevini göremez. Yataga giren yağ miktarının yatak uçlarından akan yağ miktarından daha fazla olmasının mahsuru olmadığı gibi yararları büyüktür. Bu durumda basınç dağılımı etkilenmez ve düzenli dağılımını korur. Hidrodinamik çevre uzunluğu ise ideale yakın olduğu ölçüde kalır. Ancak yatak sıcaklığı yağa transfer olan ısının artmasıyla düşer. Bu durumda yatak soğutması en iyi şekilde sağlanır.

Bu durumda hidrodinamik yağlamayı oluşturacak minimum yağ debisi;

$$Q = K_{\omega} . \omega . d^2 . L_v . n \quad \dots\dots\dots (2.52)$$

formülü ile hesap edilebilir.

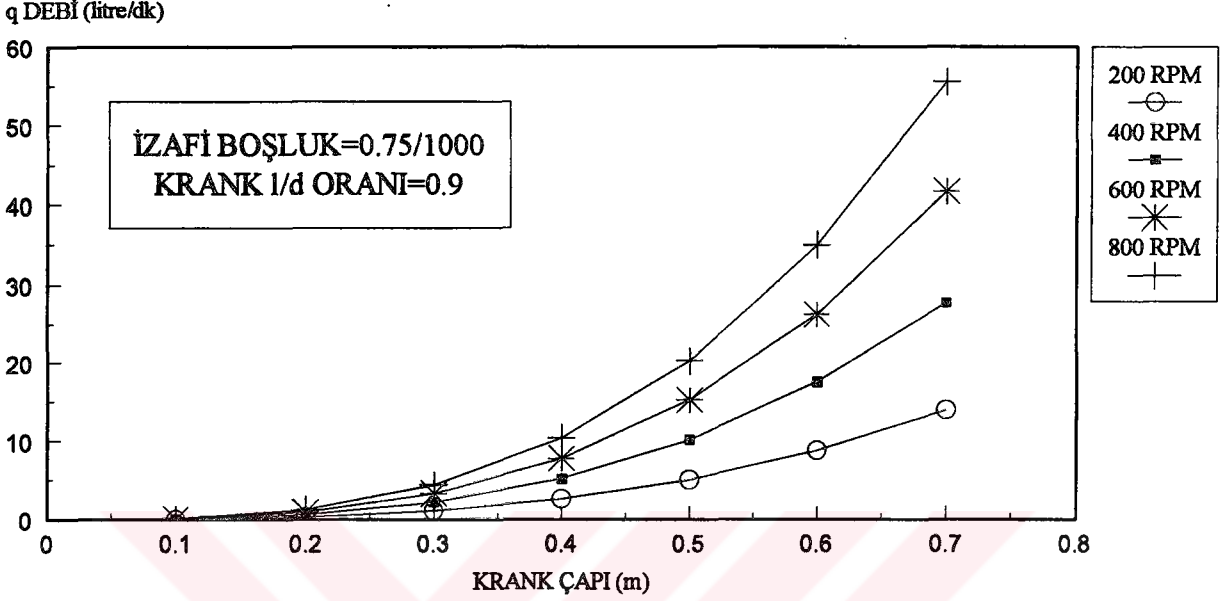
- K_{ω} : Yağ debi faktörü
- d : Yatak çapı
- L_v : Yataklanan mil uzunluğu
- n : Devir sayısı
- ω : izafi boşluk

Ancak hesaplarda pratik olması açısından ;

$$Q = (0.3+0.35) . \omega . d^2 . L_v . n \quad \dots\dots\dots (2.53)$$

kabul edilir. (Şekil 2.28)

HİDRODİNAMİK BÖLGEYİ OLUŞTURAN MİN. YAĞ DEBİSİ (ANA YATAK)



ŞEKİL 2.28

2.6.1.3. Krank Kolu Yataklarının Yağlanması :

Krank kolu yataklarının konstrüksiyonu ana yataklarınki ile aynı olmaktadır. Genellikle iki parçalı olarak yapılırlar. Bu yataklarda , üzerlerine yatak malzemesi kaplanacak çelik burçlar bulunur. Bunlara ana yatağa oranla daha ince bir beyaz metal tabakası yerleştirilir. Krank kolu yataklarına büyük yükler etkidüğinden beyaz metal üzerine yaklaşık aynı kalınlıkta kurşun-bronz, sonra bunun üzerine yaklaşık 1/10 'u kalınlıkta nikel ve son olarak nikel kalınlığında kurşun-bakır-kalay karışımı kaplanır. Bu son tabaka % 20-24 Pb ve % 2 Sn içeren 40+50 Brinell sertlikli yatak malzemesidir.

Krank kolu yatağının yağlama prensibi de temelde ana yatağınki ile aynıdır. Bölgeye yağ sevki krank saft yağ deliklerinden ve biyeldeki yağ

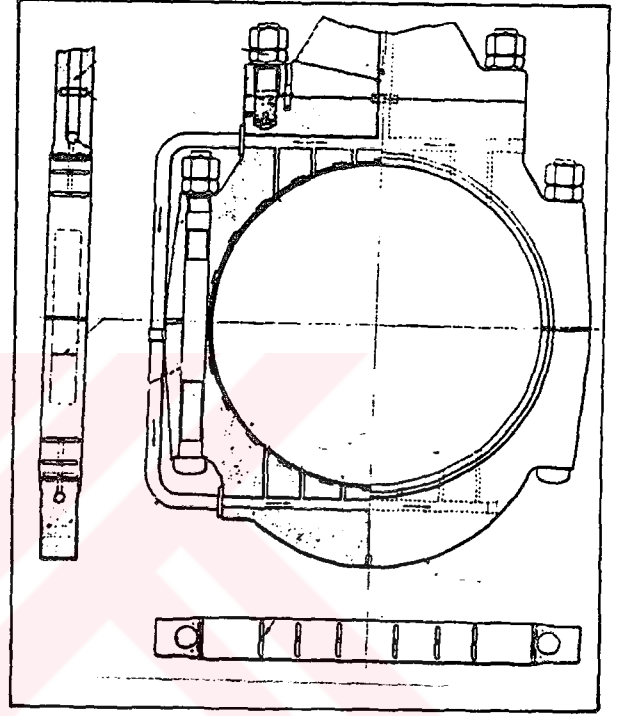
kanalından sağlanır. Bazı durumlarda da her iki yola ek olarak piston soğutmasından dönen yağ, yatak üst tarafından verilirken bir yandan da dış bir boru yardımı ile alt kısımlara iletilir. Şekil 2.29 'da bu tür bir krank kolu yatağı konstrüksiyonu görülmektedir.

Yağlama yağı bu yataklarda milin yüklenmemiş kısmından yatak burcuna milin yüklenmesinden az önce girer. Bu yataklar 180°'lik değil 360°'lik hidrodinamik bölgeye sahiptirler. Yani yatağın her tarafı hidrodinamik tabaka oluşturmak durumundadır. Ayrıca bölgeye sevk edilen yağ buraya ulaşana kadar epeyce ısınmıştır. Hatta bazı konstrüksiyonlarda ulaşmadan önce piston soğutması yapmış ve böylece viskozitesi düşmüştür. Gaz değişiminin ölü noktalarında da yatak ile mil arası boşlukların artması çok miktarda yağlama yağı kaybına neden olur. Bütün bu olaylar

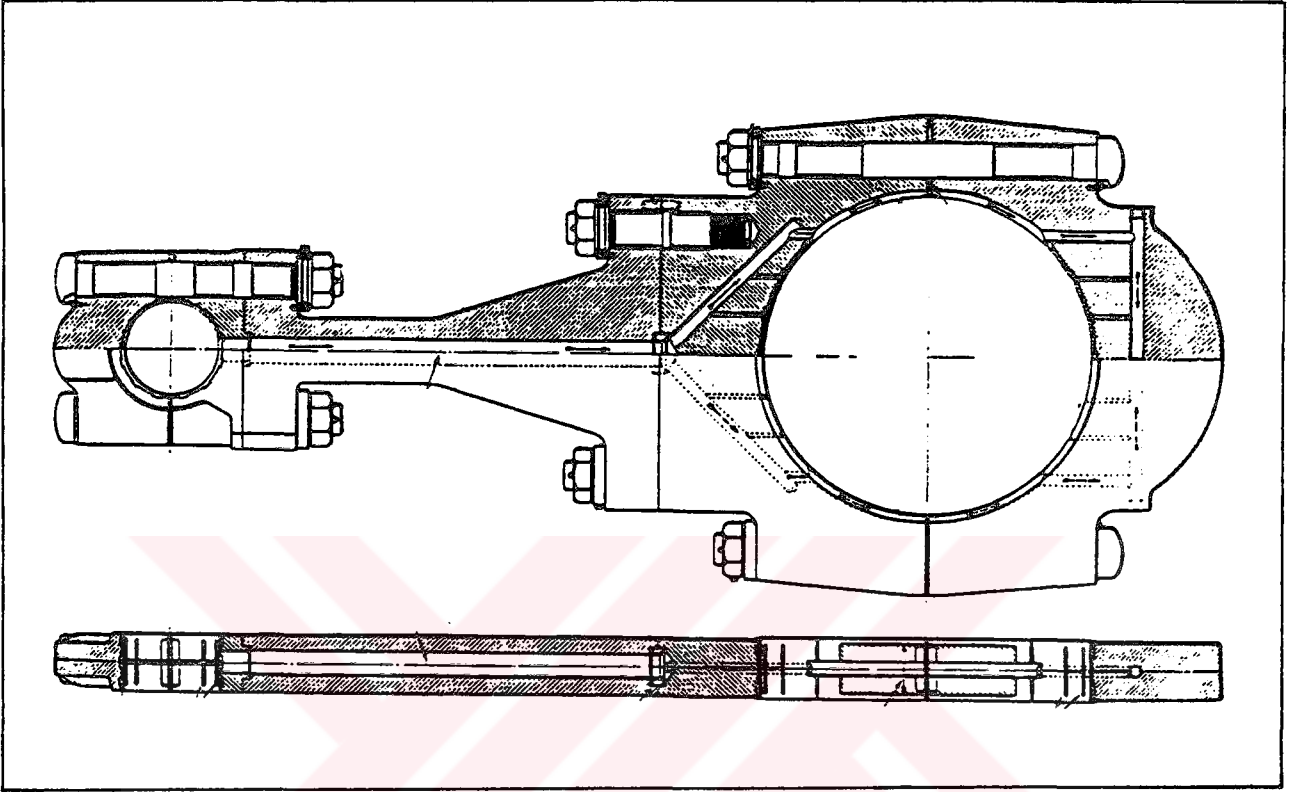
hidrodinamik yağlamayı zorlaştırıcı

etkiler yapar. Ancak yanma sonucu oluşan basıncın ilk bu bölgeye ulaştırdığı ani etki söz konusu olumsuzlukları ortadan kaldırır. Çünkü yağ filmi hızla artan basınç yükselmesi sonucu yatak içinde düzenli olarak dağılır. Bu sayede mile daha iyi bir destekleme ve daha iyi bir kama sağlar.

Bu tür yataklarda yağ çıkışı en uygun olarak kurs yönüne göre enine doğrultudadır. Piston aşağı yukarı hareketinde krank eksenine paralel yönde yağ çıkışı sağlanır. Böylece patlama basınç kuvvetleri ve kütle kuvvetlerine maruz kalan yatağın her bölgesi yağlama yağıyla beslenmiş olur



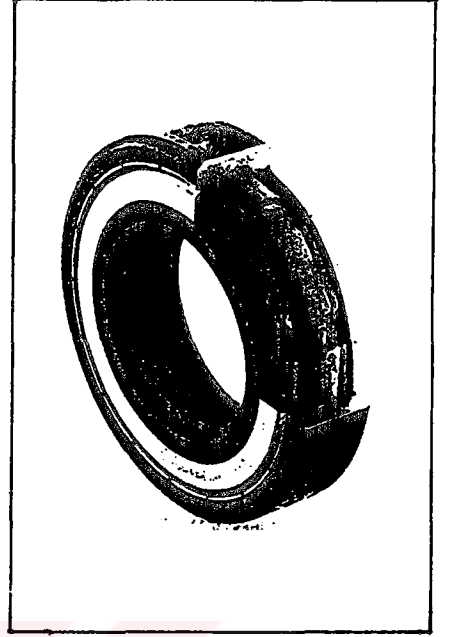
ŞEKİL 2.29 Dış Boru Destekli
Krank Kolu Yatağı



ŞEKİL 2.30 Krank Kolu Yatağına Yağ Sevk Eden Kanallar

Burada teknik bir yenilikten söz etmekte yarar görmekteyim. Gemi diesel makinalarında ana yatak, krank kolu yatağı, kam saft yatağı gibi tam dönel harekete sahip radyal yataklarda kaymalı tipte yataklar kullanılır. Bunun sebebi rulmanlı yatakların oluşan büyük yükleri taşıyamaması ve açığa çıkan yüksek sıcaklıklarda grease yağların özelliklerini kaybetmesidir. Ayrıca kam saft mekanizmalarında oluşan oluşan çok da rulmanlar tarafından taşınmaz. Ancak FAG firmasının 1989 yılında geliştirdiği bir rulman çeşidi - henüz yüksek güçlü gemi diesellerinde uygulaması olmamakla beraber - tüm bu olumsuzlukları ortadan kaldıracak niteliktedir. Bu rulman yataklar [SLC] (Self Lubricating Bearing Compound System) olarak adlandırılan bir

sistemi kapsar. Bu sistem katı yağlama rejiminde bahsedilen kendi kendini yağlama metodudur. 200°C 'tan yüksek sıcaklıklarda çok büyük yükleri taşıyabilen ve şokları absorbe edebilen SLC serisi rulmanlar kompleks bölgelerdeki yağlama problemlerini ortadan kaldırmaktadır. Kendi kendini yağlayan SLC 'ler oldukça uzun ömürlüdür. SLC 'nin iç kısmı hemen hemen tamamen katı yağlayıcı doludur. Her dönme hareketinde yuvarlanma elemanları bir miktar katı yağlama partiküllerini alarak kayan yüzeyler arasında 1 µm. kalınlığında film tabakası oluşturur.



ŞEKİL 2.31 FAG-SLC Rulman

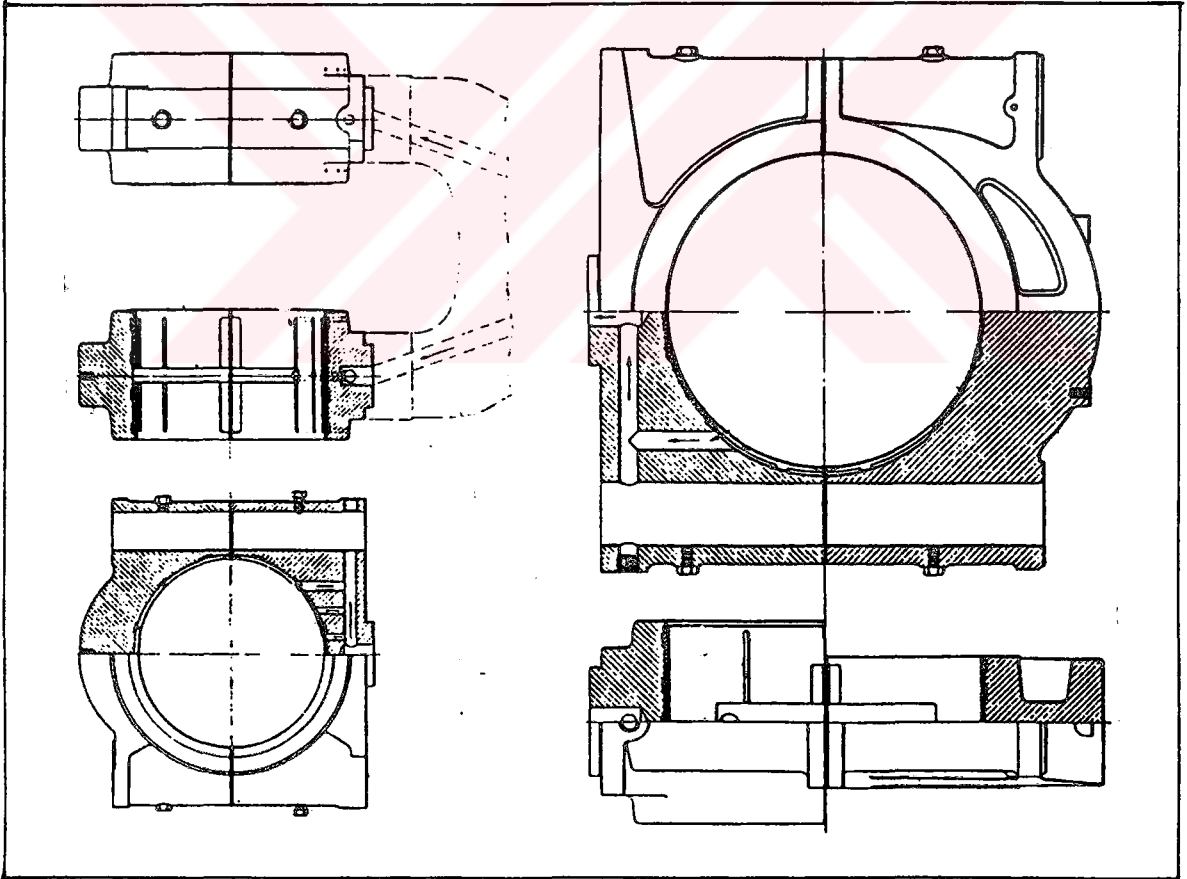
Henüz SLC-2 ve SLC-6 olarak iki versiyonu bulunan 20÷100 mm. çaplı üretilen bu çok yeni yatakların büyük makinalar ve diesellerdeki uygulamaları araştırılmaktadır. Teknolojik gelişmelere paralel olarak gemi diesellerinin özellikle kam şaft yatakları, soğutma yağlama ekipmanları ile krank kolu yataklarında kullanılabilecek bu yataklar için detaylı bilgi : [Ball & Roller Bearing Engineering, FAG Industrial Engineering Technical Information No: WL 43-1188]

2.6.1.4. Piston Pimi Yataklarının Yağlanması :

Bu yataklar piston piminin tam dönme hareketine maruz kalmaması nedeniyle istenilen hidrodinamik özellikleri sağlayamaz. Çünkü biyelin yaptığı salınım hareketi kama tipli yağ filmini oluşturmak için yeterli sürekliliğe sahip değildir. Ancak bu bölgenin maruz kaldığı dinamik yükler temas yüzeylerini birbirinden ayıracak yağ filmini oluştururlar. Bu tabakaya " Sıkıştırılmış Film " (Squeeze film) denir. Sıkıştırılmış film şu şekilde gerçekleşir :

- 1-) Yatak normal akış klerensleri ile çalışma durumunda iken aniden artan yük, pimi radyal yönde yük destekleme (taşıma) bölgesine bastırarak yağı sıkıştırır.
- 2-) Yağ viskozitesinden dolayı bu sıkıştırmaya tepki gösterir.
- 3-) Yağ filmi içinde söz konusu yükü taşıyabilecek bir basınç oluşturur.
- 4-) Oluşan bu basınç, pimi yataktan uzaklaştırıp yüzey temasını önler.

Bu olaya " Hareketli Sıkışma " (Squeeze Action) denir. Aynı olay yatağa gelen yük yönlerinin tam değiştiği durumlarda yada crosshead mili yataklarında da görülür. Şekil 2.32'de bir piston pimi yatağı (biyel küçük başı) görülmektedir ;



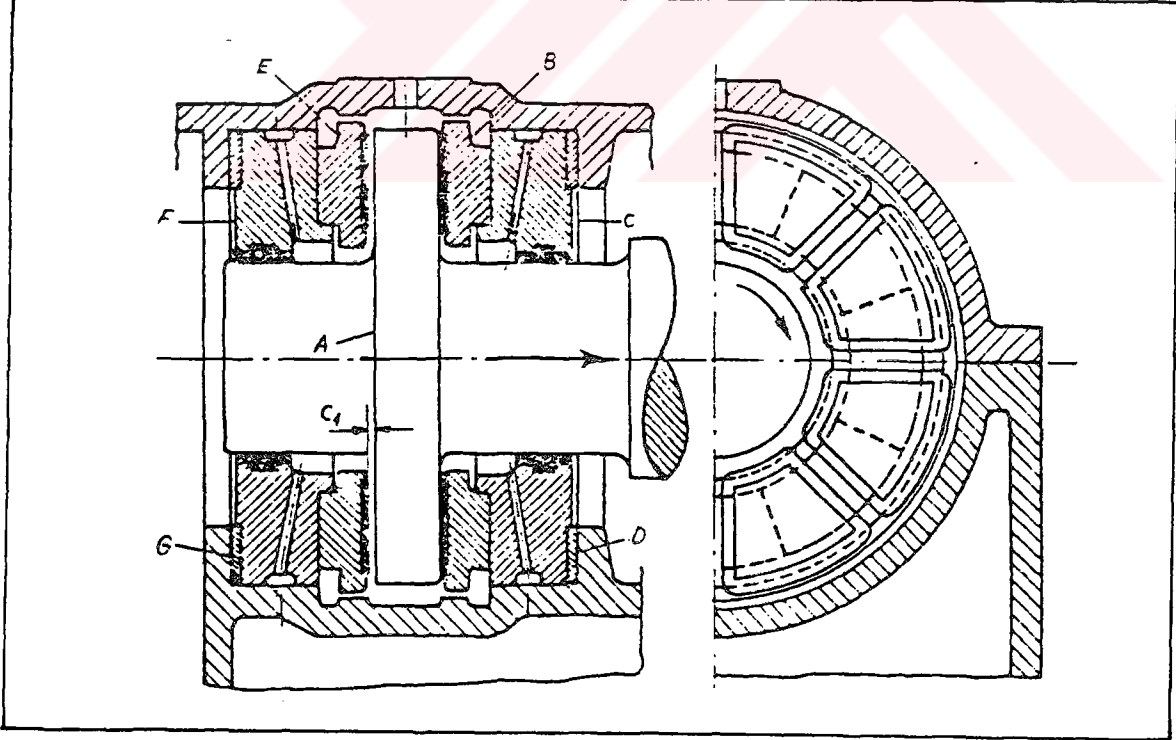
ŞEKİL 2.32 " A " Biçiminde Piston Pimi Yatağı ve Aynı Biyele Alt Krank Kolu Yatağı (H & W Diesel)

Piston pimi yataklarına yağ sevki :

- # Piston soğutmasına giden yada dönen yağın yağ kanallarından bölgeye akması sonucu
- # Silindire verilen yağın segman kanalından geçerek yatağa ulaşması sonucu
- # Kranktan krank kolu yatağına geçen yağın, biyel yağ kanalından yukarı çıkıp yatağa ulaşması sonucu
- # Crosshead mekanizmalarında kızağa verilen yağın biyel kanalından yatağa ulaşması sonucu gerçekleşir.

2.6.1.5. Eksenel Yatakların Yağlanması :

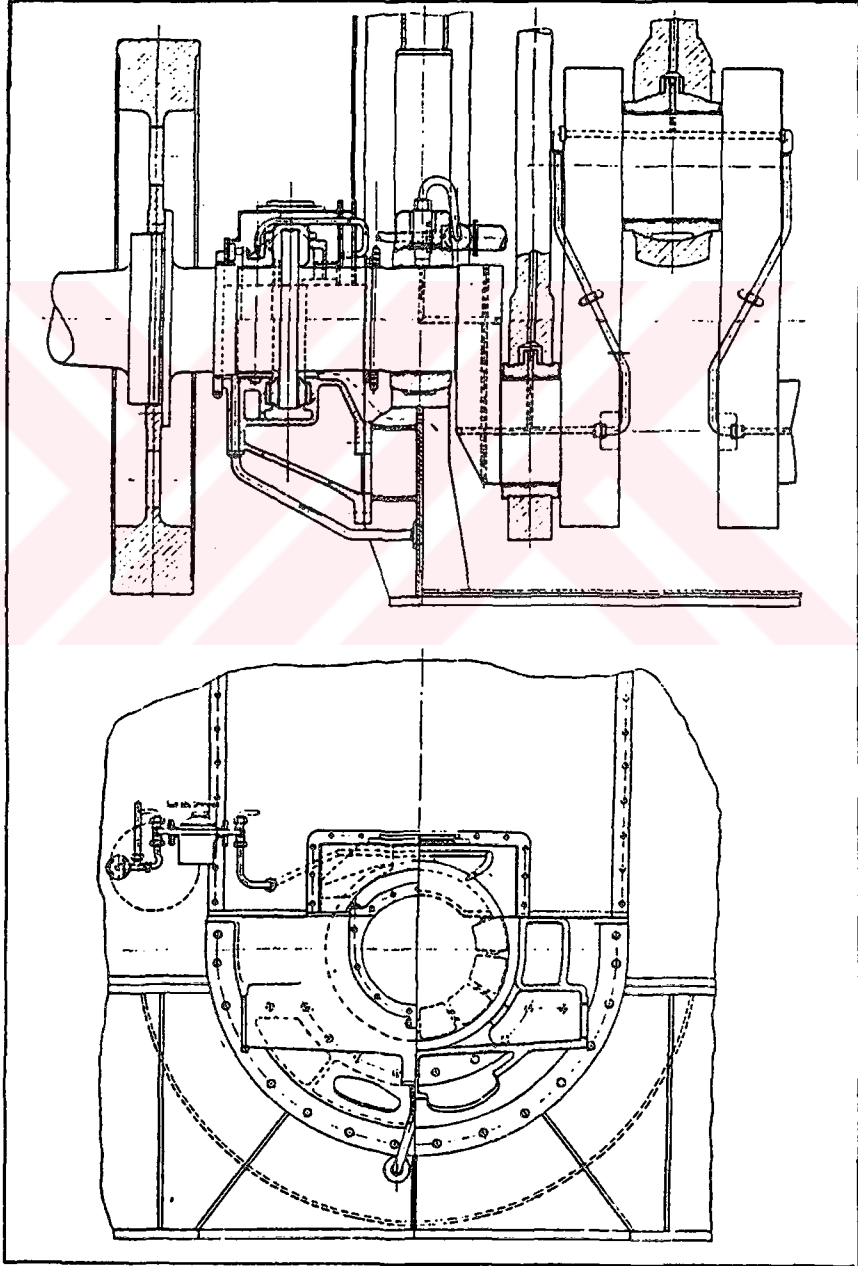
Gemi diesel motorları silindirlerinde üretilen gücün tümü, krank şaft ve ara şaftlar yardımıyla pervaneye iletilir. Pervane tepkisinin motora zarar vermemesi için krank şaft ile pervane arasına bu tepkiyi önleyen ve bu tepkiyi döşek yardımıyla gemi bünyesine ileten bir yatak yerleştirilir. Bu yatak eksenel yataktır [şekil 2.33].



ŞEKİL 2.33 Bir Eksenel Yatak

Şekilde C₁ ile gösterilen boşluk, yağ boşluğu olarak adlandırılır. Yağ kanallarından gönderilen basınçlı yağ bu boşlukta bir yağ katmanı oluşturur. Böylece bu bölgedeki sürtünme aşınmaları en aza indirilmiş olur.

Eksenel yataklar motorun yağlama sisteminden yağlanır. Yağlama yağının yatak keysinin dışına kaçmasını önlemek amacıyla shaftın yatak keysinden çıktığı kısımlara yağ sıyırma segmanı yerleştirilir. Buradan sıyrılan yağ bir boru yardımıyla kartere gönderilir.



ŞEKİL 2.34 Bir Başka Eksenel Yatak Konstrüksiyonu

Temeli eğik plaka sistemine dayanan bu yataklarda hidrodinamik yağlama için gerekli kama biçimli yağ filmi, lokma adı verilen pedlerle sağlanır. Ancak eksenel yataklarda bulunan lokmalar arası boşluklar bir yük taşıma alanı kaybı yaratır. Bu kayıp % 80 'e varan ölçüdedir. Buna göre ;

$$P_E = \frac{F}{A} = \frac{F}{z.b.l} = \frac{F}{0.8 . (\pi . D_o . b)} \dots\dots\dots (2.54)$$

şeklinde bir basınç taşınabilir.

Eksenel yataklarda hidrodinamik yağlamanın gerçekleşebilmesi için en uygun durum $[l/b] \approx 1$ olduğundadır. Bu durumda minimum yağ tabakası filmi,

$$h_E = 0.253 . \left[\frac{\mu . v . b}{P_E} \right]^{1/2} \dots [mm.] \dots\dots\dots (2.55)$$

kalınlık olarak bulunur. Bu değer gibi sürtünme katsayısı da yaklaşık olarak

$$\mu_r \approx 0.003 . \left[\frac{\mu . v}{P_E . b} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2.56)$$

şeklinde formülize edilir. Yatak boyutları ve tegetsel hıza bağlı olarak değişen hidrodinamik yağ tabakasını oluşturacak minimum yağ debisi ise ;

$$Q = 42 . z . b . v . h_E \dots\dots\dots [lt/dk] \dots\dots\dots (2.57)$$

şeklinde yaklaşık olarak hesaplanabilir.

l	: Lokma boyu	[m]
b	: Lokma genişliği	[m]
z	: Lokma sayısı	
D _o	: Ortalama yatak çapı	[m]
v	: Tegetsel hız	[m/s]
μ	: Yağ viskozitesi	[N.s/m ²]
μ _r	: Sürtünme katsayısı	

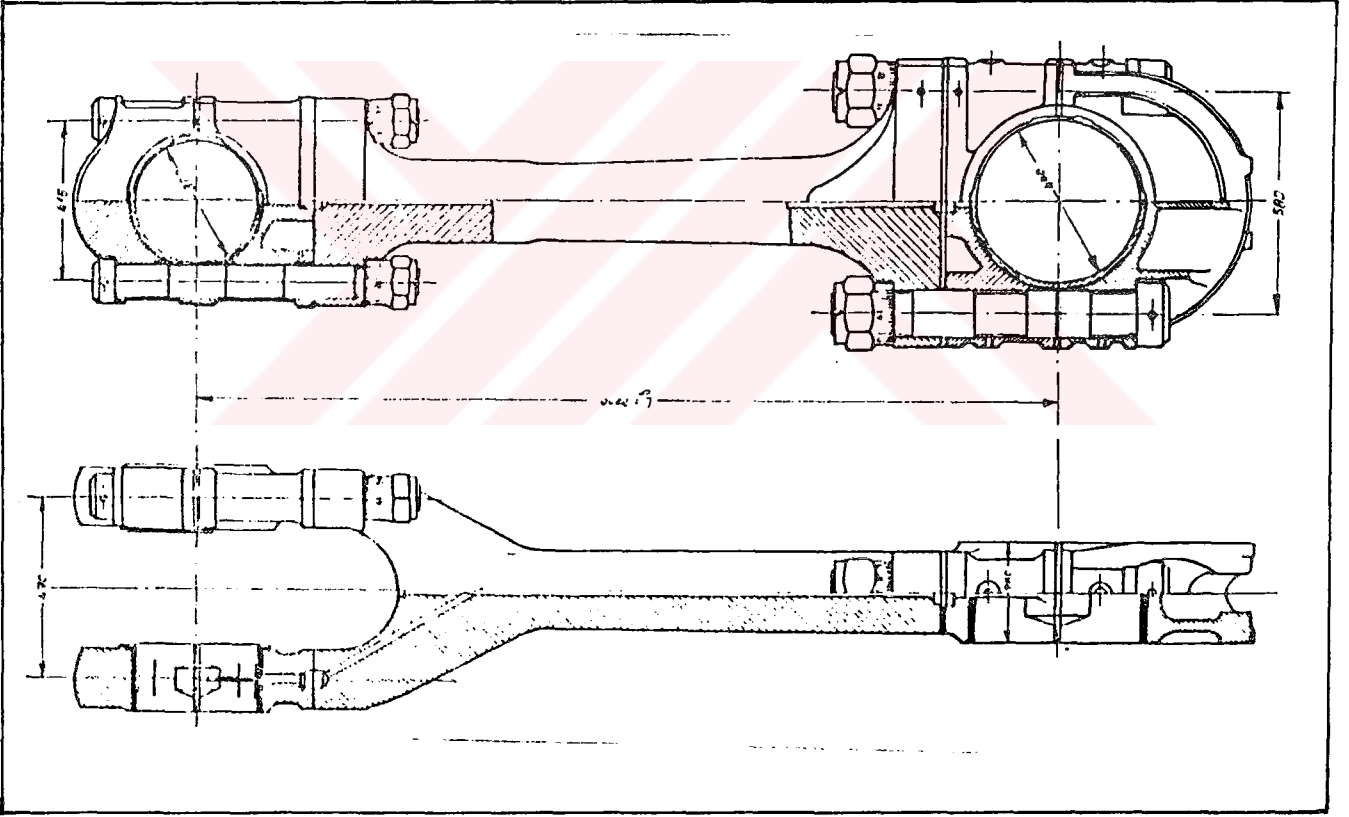
Pedlerden dreyn edilen yağ ise, eksenel yatağın alt kepinde bulunan yağ tavaasında toplanır. Sırt yataklarında metal-metal sürtünmesi söz konusu değildir. Sadece koler ve pedler arasında bir miktar ısı üretilir. Bu da uygun yağlama yağı kullanılarak etkisiz hale getirilir. Bu noktada üretilen ısının yatağın dışına taşınması iki türlü olur ;

- 1° Yataktaki yağlama yağının içerisine borulu bir soğutucu yerleştirilir. Yağ tavaası içine yerleştirilen soğutucu boruların içinden geçen suyun yağı kirletmemesi gerekir.

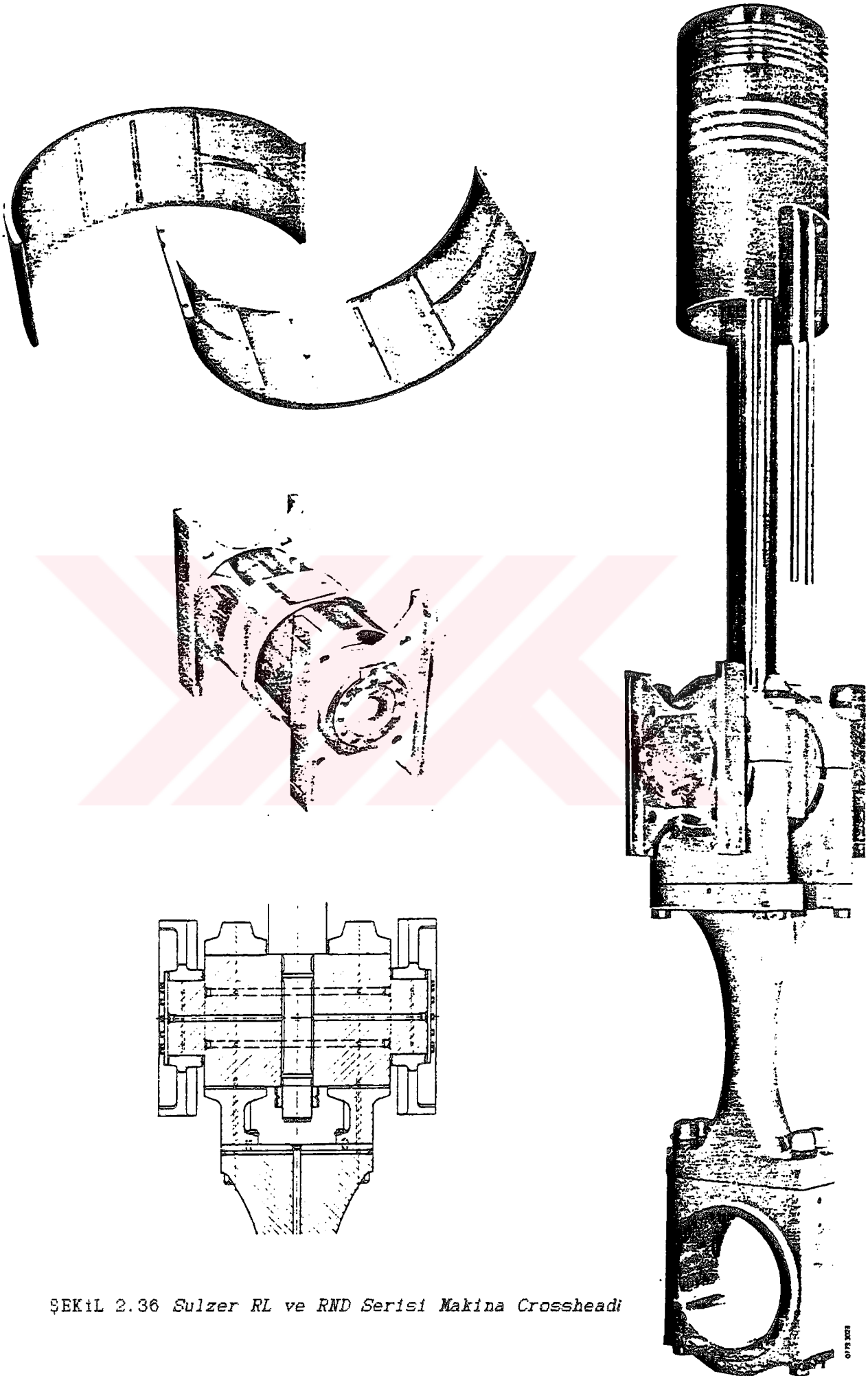
2° Motorun cebri yağlanması sırasında soğutulmasıdır.

2.6.1.6. Crosshead Kızakları ve Yataklarının Yağlanması :

Crosshead 'ler pistonun yükünü piston kolu aracılığı ile biyele aktarmaya yararlar. Crosshead blokuna gelen gaz basınç kuvvetlerinin yatay bileşeni olan normal kuvvet kızak yardımı ile gayıtlara aktarılarak giderilir. Crosshead 'li makinalarda biyelin küçük tarafı çatal şeklinde yapılır ve bu kısım iki yarı yatak ile crosshead blokun muylusuna bağlanır. Bu yataklara crosshead muylu yatağı adı verilir [Şekil 2.35].

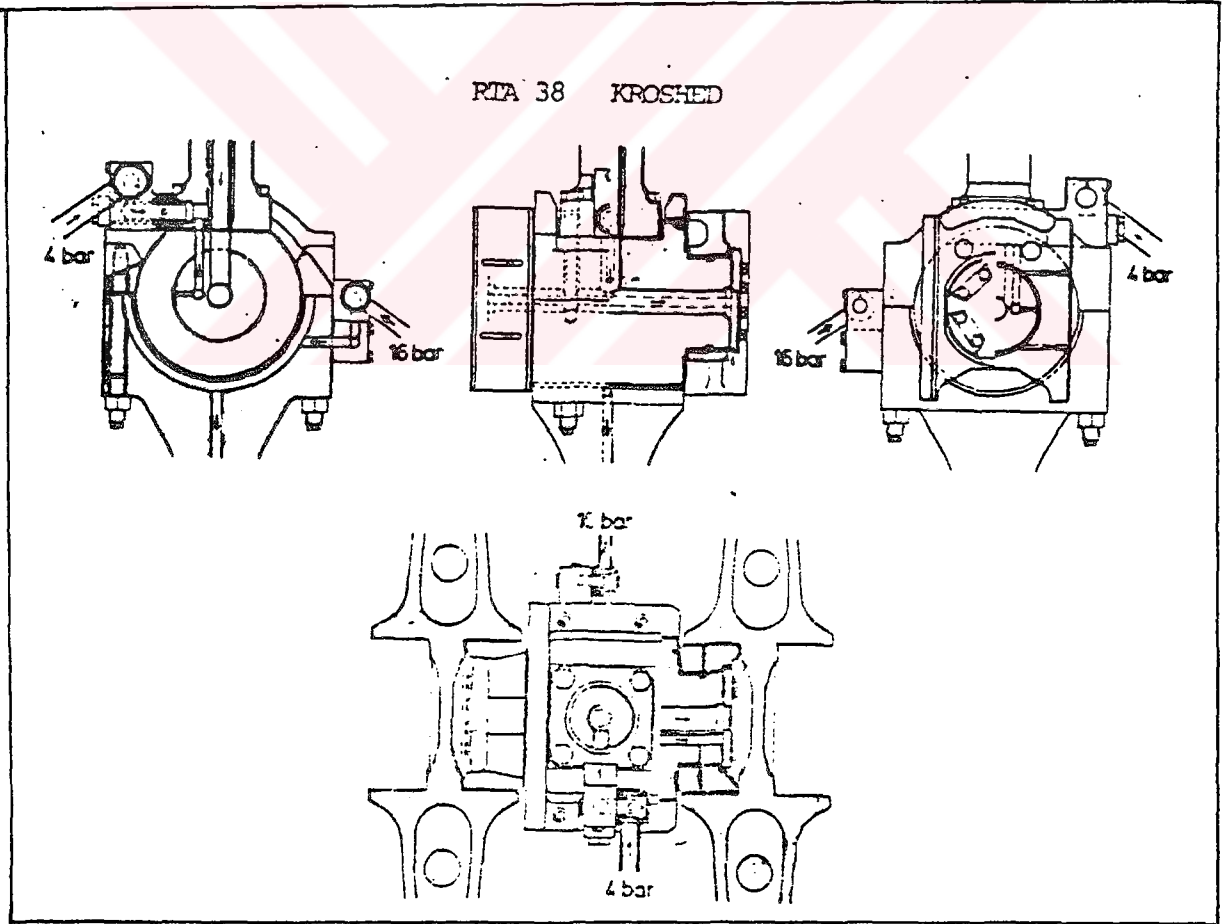


ŞEKİL 2.35 Küçük Tarafı Çatal Şeklindeki Biyele



ŞEKİL 2.36 Sulzer RL ve RND Serisi Makina Crossheadi

Crosshead muylularının çok sınırlı salınım hareketleri ve hızın çok yüksek olmamasından dolayı, gaz kuvvetlerinin atalet kuvvetlerinden büyük olması sonucu zorlanmanın hep aynı yönde olması nedeniyle yatak içerisinde düzgün bir yağ filmi oluşturulamamaktadır. Yani motorun diğer elemanlarını yağlayan normal yağlama sistemi crosshead muylu yataklarının yağlanması için yeterli gelmemektedir. Bu nedenle sadece crosshead muylu yataklarının yağlanması için başka bir pompa kullanılması gerekir. Bu pompa crosshead 'in salınım hareketi ile tahrik edilip crosshead'e basınçlı yağ sevk etmektedir. Şekil 2.36 'de crosshead ve kızaklarda yağlama şeklini göstermektedir. Ayrıca şekil 2.37 'de Sulzer firmasının bir çok dizaynında bulunan crosshead kızakları ve muylusuna bir örnek olarak RTA 38 tipi gemi



ŞEKİL 2.37 Crosshead Yağlama Sistemi - RTA 38

diesel motorunun bu sisteminin yağlama şeması görülmektedir. Piston kolu direkt olarak crosshead muylusuna bağlanmıştır. Piston soğutma yağı 4 bar basınçla crosshead kızaklarını besler. Ayrıca crosshead yatakları yüksek yanma basınçları ve düşük hızlarda 16 bar basınçta yağla beslenir.

Crosshead mil yataklarında kama profilili yağ kanalları bulunur. Kanallarla yatakların kesiştiği noktalar keskin kenarlardan oluşmuştur. Bu sayede yataklarda uniform yağ dağılımı sağlanır. Aksi halde yağın yatak yüzeyine dağılımı bozulurdu. Crosshead 'in muylular dışında kalan yan yüzeylerine kızaklar bağlanır. Bu kızaklar yağlamada herhangi bir zorluk çıkarmaz. Yağ içi oyuk muylulardan kızakların sürtünme yüzeylerine iletilir. Yağlamanın fazla olması bu bölgelerde herhangi bir sorun çıkarmaz. Buradaki kızaklarda sonlu yatak hidrodinamik yağlaması oluşur.

2.6.2. Yatak Yağlama Problemleri :

Gemi diesel motorlarında yatakların yağlanmasının özenle gerçekleştirilmesi motorun emniyetli çalışması için şarttır. Bilindiği gibi yataklar sürekli olarak sürtünmeyle ve bu sürtünmeden dolayı ısınmaya maruz kalacak şekilde çalışırlar. Sürtünme yüzeyleri arasındaki ısıyı

$$Q = 8.45 \cdot P \cdot v \cdot \mu_r \quad [\text{kcal/h}] \quad \dots\dots\dots (2.58)$$

olarak tanımlayabiliriz. Burada P: yatak yükü, v: kayma hızı, μ_r : sürtünme kts. olarak verilmiştir. Bu ısının bir kısmı cidardan atılıp bir kısmı da yağ tarafından alındığına göre ;

$$Q = Q_{\text{yağ}} + Q_{\text{cidar}} \quad \dots\dots\dots (2.59)$$

yazılabilir. $Q_{\text{yağ}}$: yağ tarafından alınan ısıyı, Q_{cidar} : cidardan atılan ısıyı ifade etmektedir. Yağ tarafından alınan ısı aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$Q_{\text{yağ}} = G_{\text{yağ}} \cdot c_{\text{yağ}} \cdot (T_o - T_{\text{g}}) \quad \dots\dots\dots (2.60)$$

Burada kullanılan ifadeler ;

$G_{yaş}$: Dolastırılan yağ miktarı
 $C_{yaş}$: Yağın özgül ısısı
 T_g : Yağın giriş sıcaklığı
 T_c : Yağın çıkış sıcaklığı

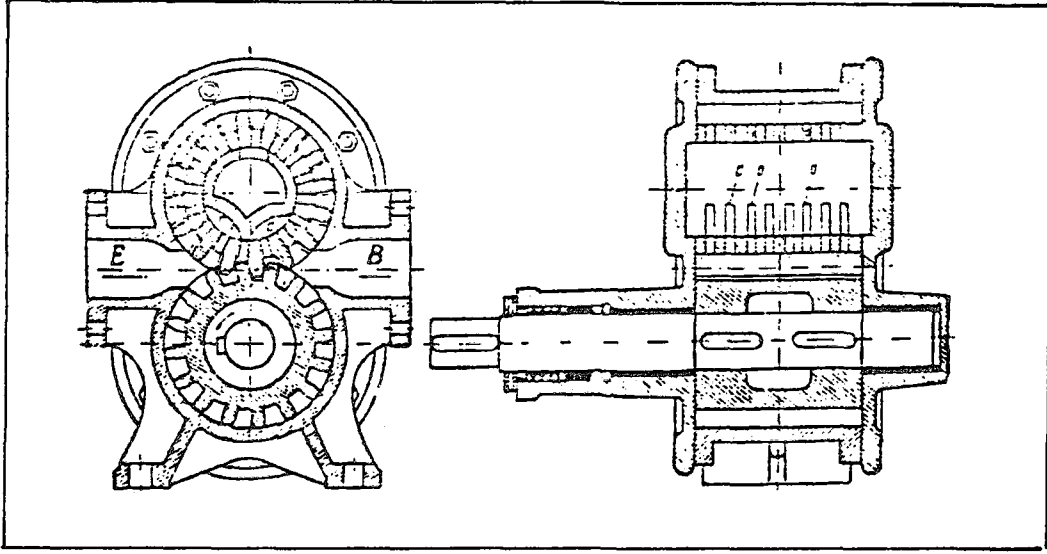
Yağ sirkülasyon sistemi bütün yatakların boşluklarını her zaman dolu olarak tutmak için gerekenden fazla yağ ile besler.Yağ yeterli viskoziteye sahip olduğu takdirde, muyluyu kaldırıp yüzer pozisyonda tutabilecek basınca sahip bir yağ filmi meydana getirir.

2.6.2.1. Muylu ile Yatak Arasında Oluşması Gereken Boşluk :

Yatakların gerektiği şekilde yağlanabilmesi için muylu ile yatağı arasında yağın dolaşmasına müsaade edecek ve böylece hidrodinamik hareketi olusturacak bir yağ boşluguna gereksinim vardır.Yatak boşlugunun gereğinden fazla olması halinde, yağın yatak içindeki akımı iyileşir.Fakat muylunun yatak içinde kontrolsüz hareketine neden olur.Bunun sonucu yatak metalinde çatlaklar meydana gelebilir.Bu nedenle yatak boşlukları verilirken belirli kurallara uymak gerekir.Örneğin kalay kökenli metallerde yatak çapının % 0.1 'i veya daha küçük değerlerde yapılır.Kursun kökenli metallerde boşluk biraz daha büyük yapılabilir.Kursun kökenli yataklarda daha büyük yapılmasının nedeni, kalay kökenlilerin çalışma sıcaklığında daha fazla ısıl genleşmeye müsaade etmeleridir.

2.6.2.2. Yağın Yatağa Sevki :

Yağın yatağa sevkı, yağın karterden emerek ana yataklara basınç altında gönderen bir pompa tarafından yapılır.Basıncı sağlayan pompanın mümkün olduğu kadar basit bir konstrüksiyonda olması gerekir.Bunun için en uygun pompa tipi dişli pompalardır.Bu tip pompalar çok emniyetli olup işletme esnasında bakıma gerek göstermemektedirler.Dişli pompalar yağın viskozitesinden etkilenmeyip bir devirde gönderdiği yağ miktarı her iki dişlinin dişlerinin hacmine eşittir.Şekil 2.38 'de basit bir dişli yağ



ŞEKİL 2.38 Dişli Pompa

pompası gösterilmiştir. Bu durumda pompanın bir saatte gönderdiği yağ miktarı aşağıdaki gibi hesap edilebilir :

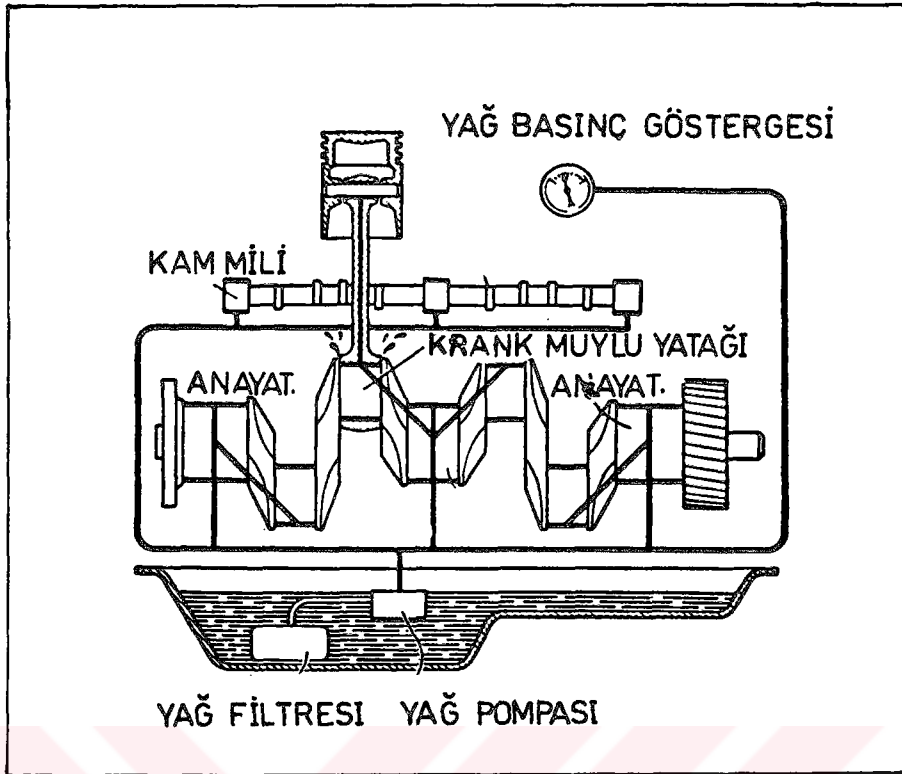
$$Q_G = n \cdot 2 \cdot z \cdot f_{diş} \cdot L_{diş} \cdot 60 \cdot \eta \quad [\text{lt/h}] \dots\dots\dots (2.61)$$

Bu formülde verilen değerler ; $\eta = 0.90-0.95$: pompanın volümetrik verimi, $2 \cdot z \cdot f_{diş} \cdot L_{diş}$: dişliler tarafından bir devirde basılan yağ hacmi, yine burada z : diş sayısı, $f_{diş}$: diş kesit alanı, $L_{diş}$: diş uzunluğu ve son olarak n : pompanın devir sayısı (800+1000 devir/dak.'dan daha fazla olmaması gerekmektedir.) olarak alınmıştır.

Dişli pompalar genellikle krank milinden bazen de kam milinden tahrik edilirken bazı yeni gemilerde bir elektrik motorundan aldığı tahrik ile ana makinadan ayrılmıştır. Pompanın tahriki için gereken güç :

$$N_{pom} = \rho \cdot Q_G \cdot P_{yas} \cdot 10 / 3600 \cdot 75 = 37 \cdot 10^{-6} \cdot \rho \cdot Q_G \cdot P_{yas} \quad (2.62)$$

olarak verilebilir. Bu denklemden Q_G : gönderilen yağ miktarı, P_{yas} : yağ basıncı ve ρ ; yağın özgül ağırlığı olarak alınmalıdır. Bu tip pompa ile yapılan bir yağ sirkülasyonu şeması basit olarak şekil 2.39'de verilmiştir.



ŞEKİL 2.39 Yağ Sirkülasyon Şeması

Pompa krank milinin üst veya alt taraflarına yerleştirilir. Eğer yağ pompasını alt karterde yağ içine koymak imkanı yoksa yağ bir boruyla pompaya getirilir. Bu kanalın çok dar olmaması ve yağ hızının en yüksek devir sayılarında bile 1.5 m/s hızını geçmemesi gerekir.

Dişli pompaların yanında günümüzün gelişen teknolojisinde üstün bir kaliteyle üretilmeye başlanılan vida tipi pompalar da artık yeni gemilerde makina dairelerinde yerlerini almaya başlamışlardır. Bu vida tipi pompaların diğer tip olan dişli pompalarına olan üstünlüklerini iki madde ile şöyle sıralayabiliriz :

∴ Dişli olan pompaların konstrüksiyonları gayet basit olmasına rağmen yağ iki dişin arasından basılmadan önce küçük de olsa bir basınç düşümüne sebep olmaktadır. Oysa vida tipi pompalarda böyle bir sorun yoktur. Devamlı olarak sabit basınçta yağı sevk etmektedirler.

2.6.3. SİLİNDİRLERİN YAĞLANMASI :

Silindir yüzeyindeki yüksek sıcaklık ve sürtünmeler nedeniyle oluşan deformasyonların minimuma düşürülmesi ve silindirlerden maksimum gücün alınabilmesi için, silindir şartlarında ortaya çıkan yüksek sıcaklık ve basınçlara rağmen silindir cidarında koruyucu bir yağ filmi oluşturmak gerekmektedir. Silindir yağlamasında kullanılan yağın standart viskozitesi 210°F (99°C)'ta 60÷97 SUS (Saybolt Universal Seconds, 10.3÷19.8 cSt) olarak verilir. Oysa silindirdeki yüksek sıcaklıklarda (örneğin 350°F = 177°C) bu değer 34÷39 SUS'a (2.3÷3.9 cSt.) kadar düşer. Buna rağmen bu yağ filminin silindir cidarı ile segmanlar arasındaki sürtünmeden dolayı meydana gelen deformasyonları minimum seviyeye indirilmelidir. Yağın bu işlevini yerine getirebilmesi yağın film oluşturma kabiliyetine ve yanmanın kalitesine bağlıdır. Şöyleki; eksik yanma olduğu takdirde silindir içinde kalan yanması gerçekleşmemiş yakıt silindir cidarındaki yağın viskozitesini düşürür.

Silindir cidarında yoğunlaşan yanma ürünü su buharının yakıtın içindeki kükürtle reaksiyona girerek oluşturduğu H_2SO_4 silindirdeki aşınmayı artırıcı bir faktördür.

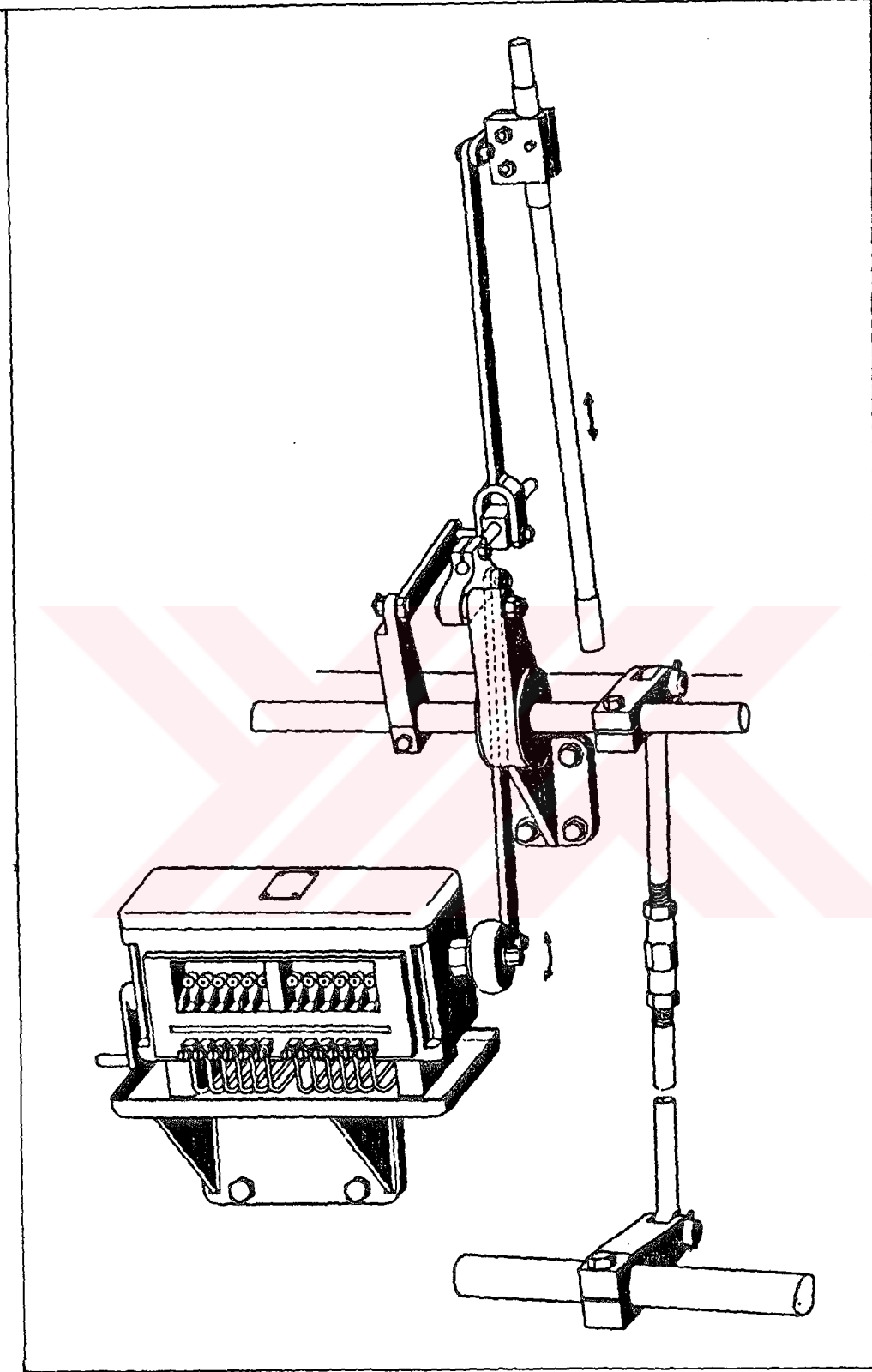


Zaten aşındırıcı etkisi olan su, asit haline gelince bu özellik daha da artar. Bu nedenle oluşan korozyif aşınmalar günümüzde önemli bir problem haline gelmiştir. Bunun önlenmesi için yağlama yağlarının içine bir miktar alkali katıkların katılması gerekir. Yüksek kalitede alkali yağlar kullanılarak silindir aşınması bir saat için 1.97 mg.'dan 0.19 mg. değerine düşürülebilmektedir. Aşınmalara neden olan diğer bir özellikte ; silindir içine emme havasıyla girmiş olan toz, kum, katılar v.b. sert yapıya sahip olup kötü yağlama yağlarının yanması sonucunda oluşan birikintiler ile karışarak aşındırıcı bir karışım meydana getiren yabancı maddelerdir. Bu karışım silindir cidarına yayılarak, cidardaki yağ filmine rağmen aşınma ve

Gemi diesel motorlarında piston ortalama hızı 800÷1600 fpm[ft/dk] yani 244÷488 mpm [m/dak] arasında değişir. Bu hız AÖN 'da ve ÜÖN 'da minimum olurken strok ortasında maksimumdur. Hızın maksimum olduğu bu anda bölgedeki hidrodinamik yağlama için ideal durum meydana gelir. Ancak AÖN ve ÜÖN 'ya yaklaşıldığı anlarda sınır yağlama rejimine geçilir. Aynı olay düşük piston hızına sahip yüksek güçlü gemi diesel makinalarında daha belirgin olarak görülür. Bu tür diesellerde yanma sıcaklıkları da oldukça yüksek olduğundan yağ viskozitesi çok düşer. Bu yüzden silindir-segman arasındaki sonlu yatak hidrodinamik yağlama bölgesinin tüm strok boyuna oranı diğer makinalara göre daha azdır. Ayrıca özellikle iki stroklu diesellerde gaz akımları da yağ filmini bozucu etkilere neden olur. Bu yüzden söz konusu bölge yağlama yağı tarafından sürekli bir biçimde desteklenmelidir.

2.6.3.1. Silindir Yağlama Sistemleri :

Günümüzde kullanılan gemi diesel motorlarının hemen hemen hepsinde cebri yağlama sistemi kullanılmaktadır. Cebri yağlama sisteminde yağın sirkülasyonu bir pompa tarafından sağlanır. Pompa yağı karterden emerek motor elemanlarına gönderir. Küçük motorlarda krank shaft, dönmesi esnasında karterdeki yağa çarparak yağı sıçratır ve silindirlere ulaştırır. Küçük motorlarda bu sistem silindirlerin yağlanması için yeterlidir. Hatta çok fazla yağ geldiği için sıyırıcı yağ segmanlarına gerek görülmüştür. Motor boyutları büyüyüp devir sayısı azaldıkça çarpmanın etkisi azalır. Yağ silindir çeperine düzgün şekilde dağıtılamaz. Özellikle iki stroklu motorlar için oluşan gaz akımları silindir çeperindeki yağ filmini bozar. İşte bu nedenlerden dolayı silindirlerin yağlanması için ayrı bir düzeneğe gerek duyulmuştur. Bu tip yağlama sisteminde silindirlere yağ gönderilmesi için lubrikatör denilen cihazlar kullanılır.

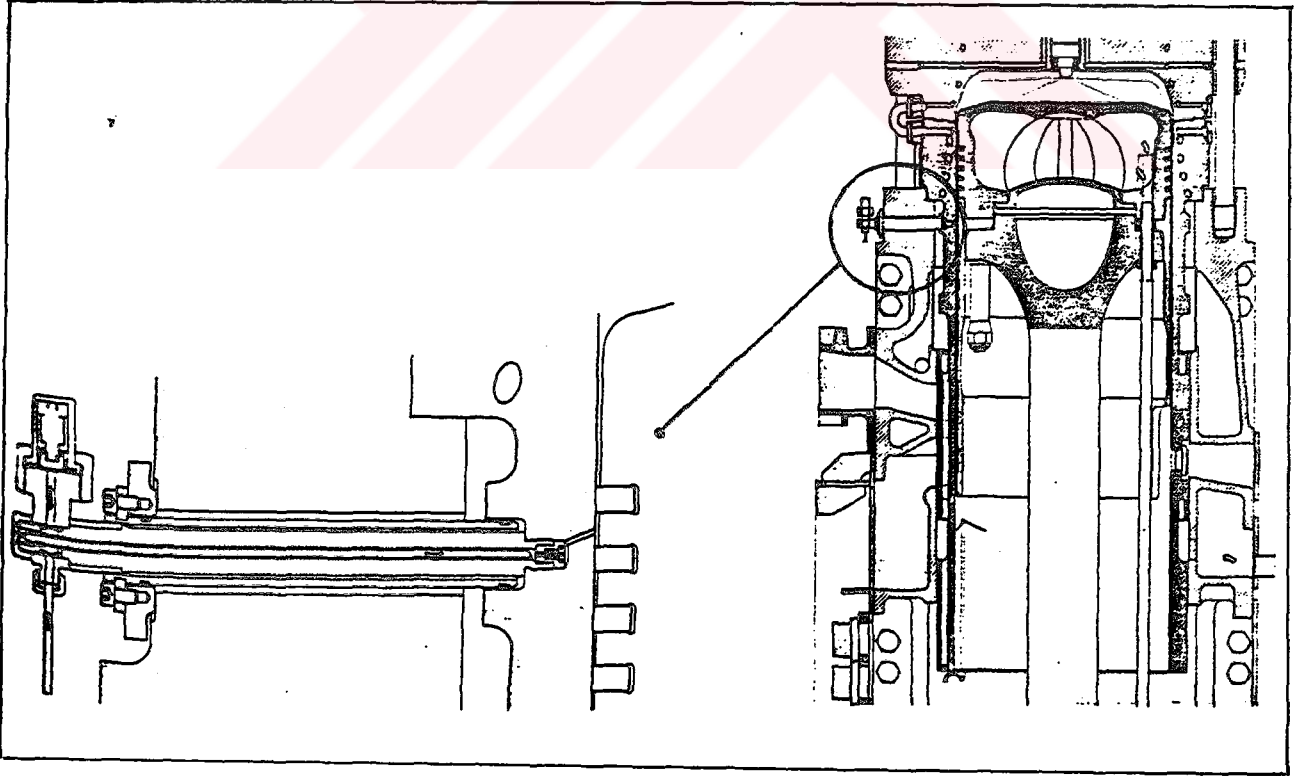


SEKİL 2.43 Lubrikatör Ayarlama Sistemi - M.A.N.

2.6.3.1.1. Lubrikatörler :

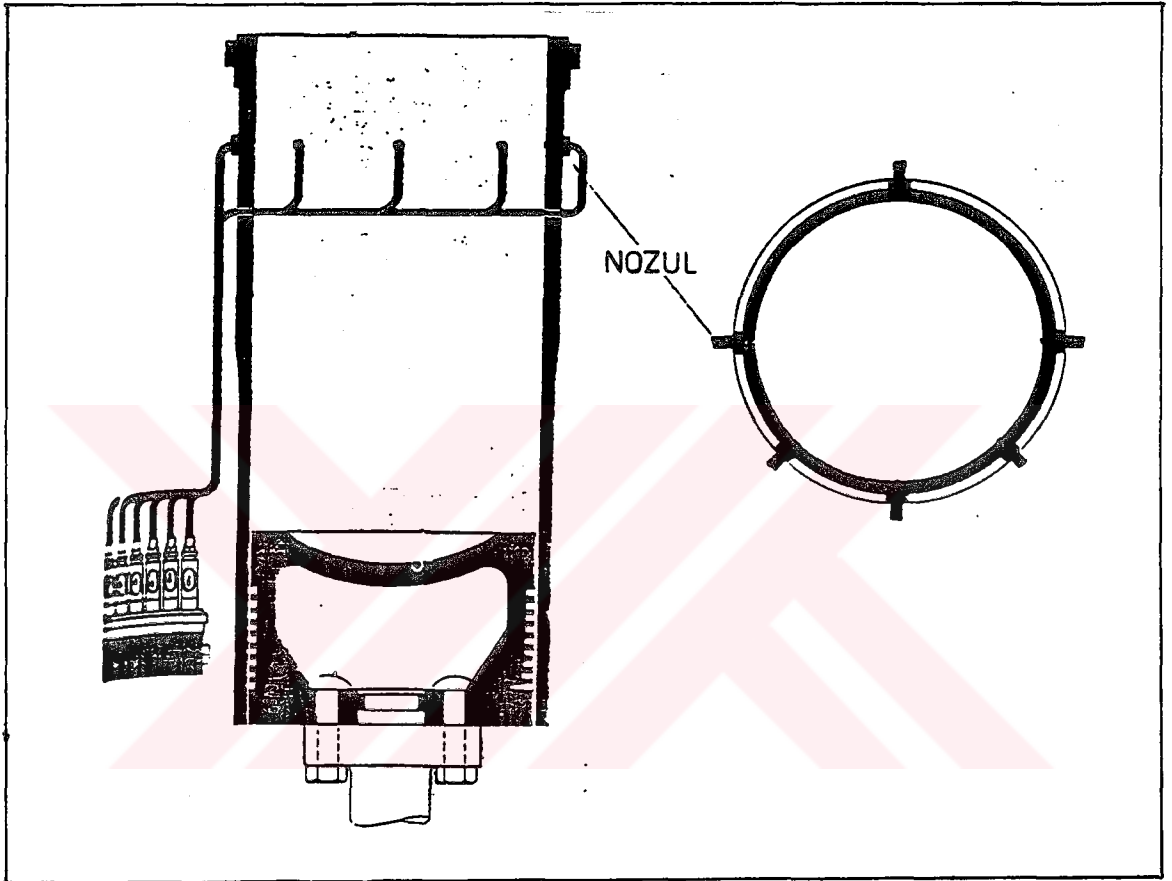
Lubrikatörler, basit olarak bir yağ rezervuarına oturtulmuş bir pompanın bir dişli ve manivela sistemiyle krank saft yada kam safttan tahrik edilerek plancerlerle motorun bir devrinin yaklaşık 1/12 'si kadar bir sürede gereken yağ miktarını silindirlere gönderirler.Şekil 2.43'de M.A.N firması tarafından geliştirilmiş bir lubrikatör görülmektedir.

Krank saft tahriki ile plancerlere bağlı pompa yağı emerek ince yağ borularına sevk eder.Silindir çevresinde bulunan yağlama deliklerine girmeden önce check-valve'den geçen yağ silindire ulaşır.Bu yağ delikleri genellikle ikiden fazla sayıda silindir layneri üst bölgesinden ya da portların hemen üstünden açılır.Bunun sebebi silindir içinde uniform yağ dağılımı sağlayabilmektir.Örneğin ; Sulzer RL serisi makinalarda her silindirde sekiz adet olacak şekilde yerleştirilmişlerdir [Şekil 2.44]. Ayrıca yağ deliklerinin arasındaki mesafeler de önemlidir.Silindirde piston



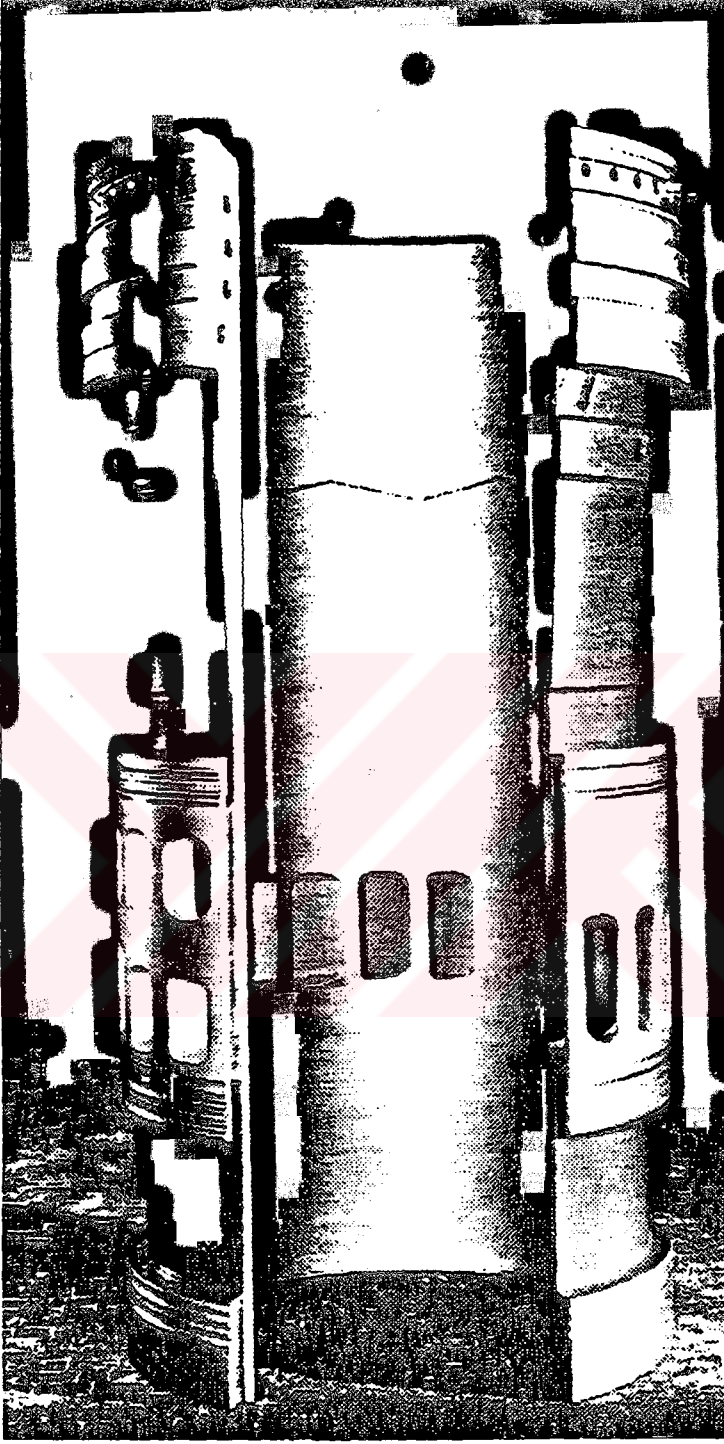
ŞEKİL 2.44 Sulzer RL Serisine Ait Akümülatörlü Lubrikatör

sürtünmesi konusunda açıklanan yatay piston kuvvetlerinin etkidiği tarafta daha fazla yağ gereksinimi ortaya çıkacağından bu bölgede yağ delikleri arası mesafeler diğerlerine oranla daha kısadır.Yağ deliklerinin yerleşimi için bir örnek şekil 2.45'de görülmektedir.

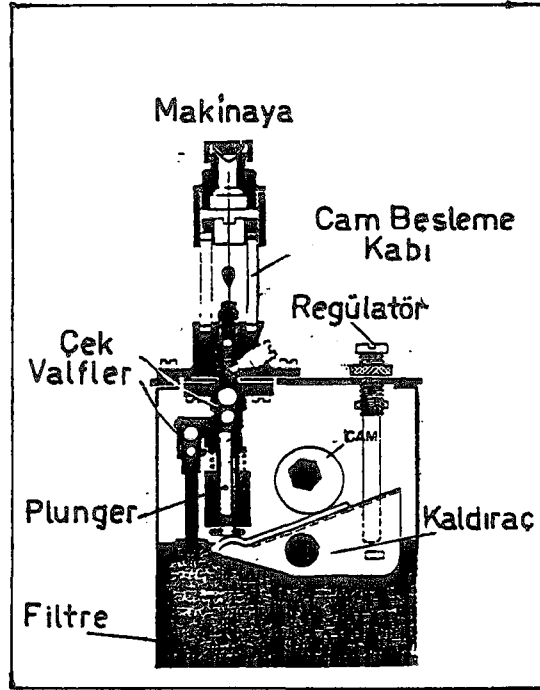


ŞEKİL 2.45 Silindirlerin Lubrikatörle Yağlanması:

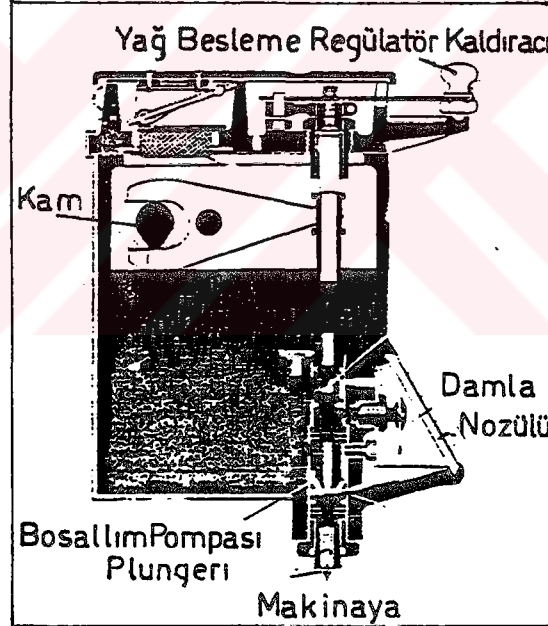
Mekanik lubrikatörlerde, lubrikatörden yağ giriş deliklerine gelen yağ check-valve'den geçerek silindir laynerindeki yağ kanallarına geçer. Piston silindir içinde hareket ettikçe segmanlar tarafından sıyrılan yağ silindir cidarına dağıtılır. Şekil 2.46 'da dizaynı SULZER firmasına ait bir silindir layneri ve onun üzerinde de açılmış yağ kanalları görülmektedir. Mekanik lubrikatör tiplerine örnek olarak da şekil 2.47 ve şekil 2.48 'de iki adet çok kullanılan lubrikatörlerin basit birer şemaları verilmiştir.



ŞEKİL 2.46 Silindir Layneri ve Üzerinde Açılmış Yağ Kanalları



ŞEKİL 2.47 Cebri Beslemeli Mekanik Lubrikatör

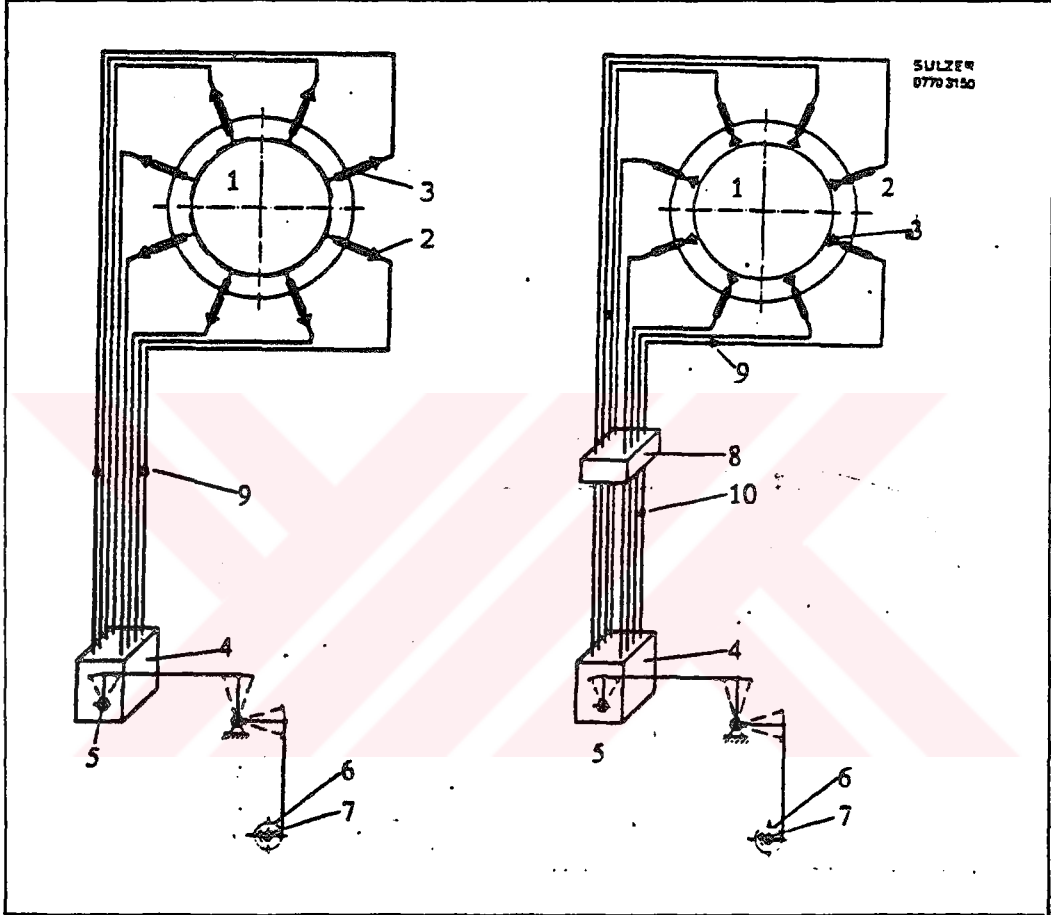


ŞEKİL 2.48 Çift Pompa Tipli Cebri Beslemeli Mekanik Lubrikatör

Segmanlar tarafından silindir cidarına dağıtılan yağ, silindir içerisinde oluşan yüksek sıcaklıklar nedeniyle yanar veya buharlaşarak bu yüzeyden ayrılır. Bunu önlemek için akümülayonlu yağlama sistemi ortaya çıkmıştır, böylece silindir yağlamasında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

2.6.3.1.2. Akümülayonlu Yağlama Sistemi :

Bu tip yağlama sisteminde her bir strokta küçük miktarlardaki yağ silindirlere gönderilir.Yağın gönderilmesi yanma odasındaki bağı olup, otomatik olarak ayarlanır.Şekil 2.49 'da şematik olarak silindir yağlama . sistemleri gösterilmiştir.



1-Silindir 3-Nozül 5-Kumanda mili 7-Kam mili 9-Nozüle yağ gidişi
2-Checkvalve 4-Lubrikatör 6-Eksantrik mil 8-Akümlatör 10-Akümlatöre yağ

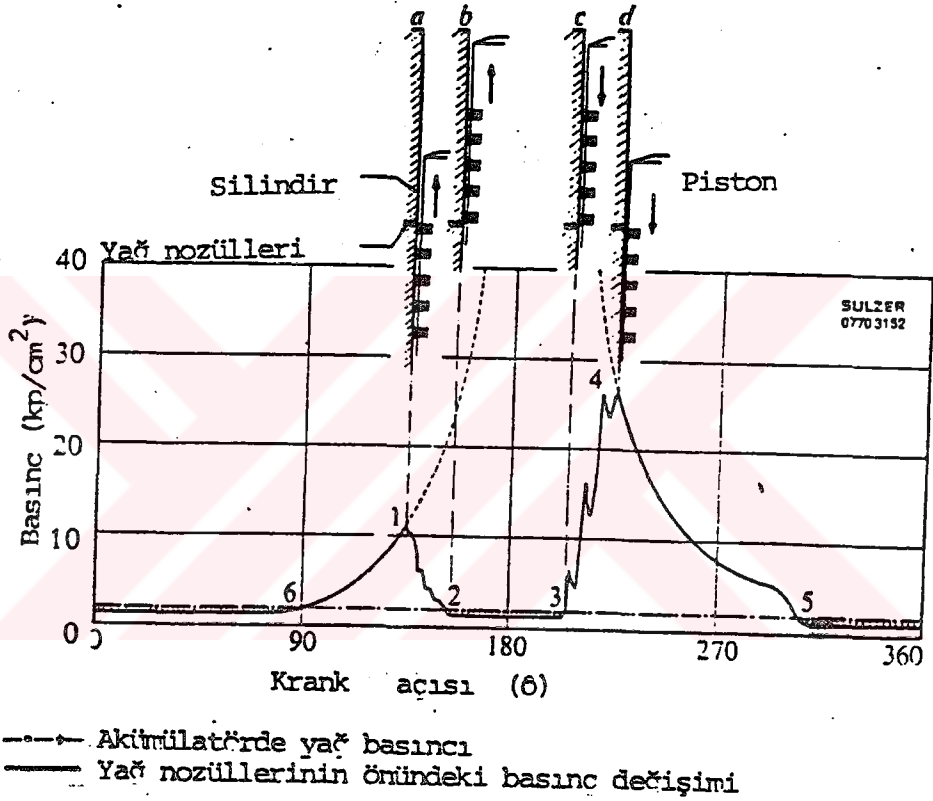
ŞEKİL 2.49 Silindir Yağlama Sistemi

Normal Sistem (SOL) - Akümülatörlü Sistem (SAG)

Böylelikle yağın silindire girmesi silindir içerisindeki en düşük basınç ve sıcaklıkta gerçekleştiği için yağın yanma ve buharlaşma ile kaybolması ihtimali azdır.Aynı zamanda yağlama nozüllerinin konstrüksiyonu ve silindir çeperindeki dağıtma kanallarının daha ince yapılması durumunda

yağın silindir yüzeyindeki dağılımı daha düzgün olur. Böylelikle yağın bozulması ve pislik oluşumu daha az olur. Bu sistemde gönderilen yağ miktarı motor yükü ile ayarlandığından silindirlere fazla yağ gönderilmesi söz konusu olmaz. Yağ sarfiyatı düşer ve fazla yağlamanın dezavantajları ortadan kaldırılmış olur.

2.6.3.1.3. Yağ Nozüllerinin Önündeki Basınç Değişimleri :



ŞEKİL 2.50 Yağlama Nozüllerinde Basınç Değişimi

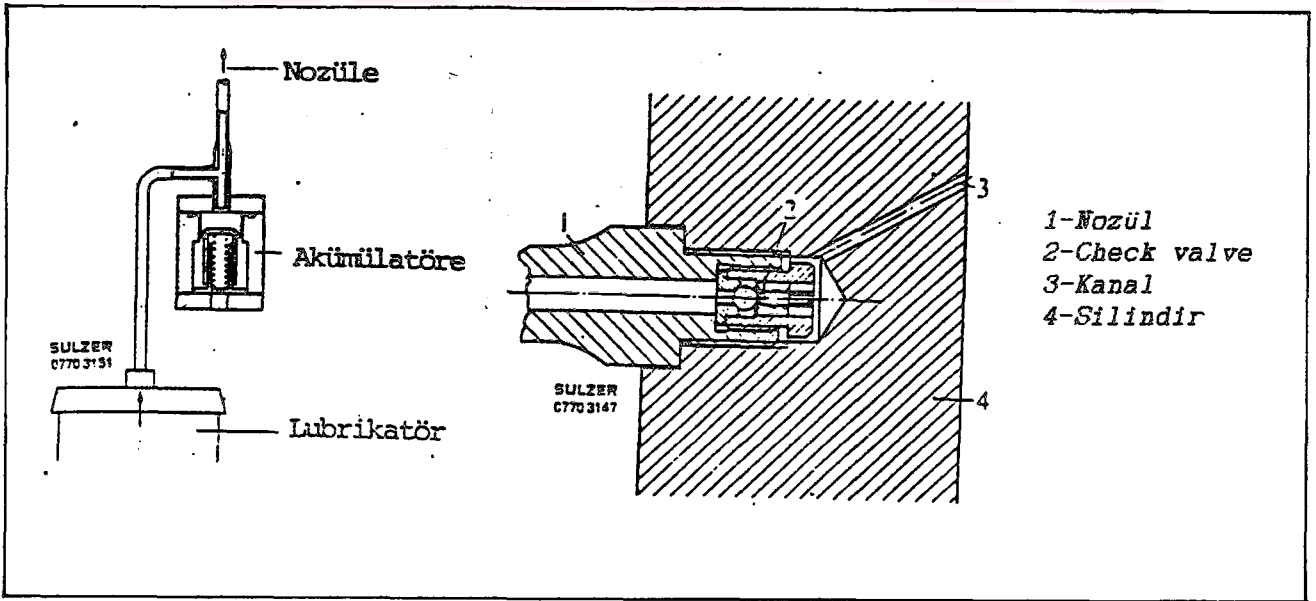
Şekil 2.50 'deki diagram bir motor devrinde silindir içerisinde yağ nozüllerinin önündeki basınç değişimini göstermektedir. Segmanların nozüle göre yerleri ve bu esnadaki nozüle gelen basıncın değeri diagramda eğri üzerindeki noktalarla belirtilmiştir; a durumunda segmanlar nozülin altındadır. Bu durumda nozüle etkiyen basınç 1 noktasındadır. b durumunda

bütün segmanlar nozülün üst kısmına geçmiştir. Bu durumda basınç 2 noktasına düşmüştür. Bu noktada etkiyen basınç süpürme havasının basıncıdır. Yanma gerçekleştikten sonra piston aşağı doğru inmeye başlar, bu esnada basınç sabittir ve 3 noktasına gelir. Piston aşağı doğru inmeye devam ederken nozül önündeki basınç yükselmeye başlar.

Segmanların tamamı yağ giriş nozülünün altına indiği anda nozül direkt olarak yanma odasına açılmaktadır ki bu anda basınç maksimum olup 4 noktasına gelinmiştir. Motorun her bir devrinde 2 ve 3 noktalarında basınç süpürme havasının basıncına eşittir.

2.6.3.1.4. Akümülatörün Çalışma Sistemi :

Daha önce anlatılmış olduğu gibi akümülatör silindir içerisindeki basınçlara göre otomatik olarak ayarlanır. Şekil 2.51 'deki diagrama göre valf 2 noktasında açılır, 3 noktasında kapanır. O halde piston sadece AÖN ve ÜÖN'da iken silindirlere yağ gönderilir denilebilir. 3 noktasında kapanan valf 5 noktasında tekrar açılır, 6 noktasında kapanır. Bu şekilde basınç ve sıcaklık minimum değerde iken silindirlere yağ gönderilmiş olur.

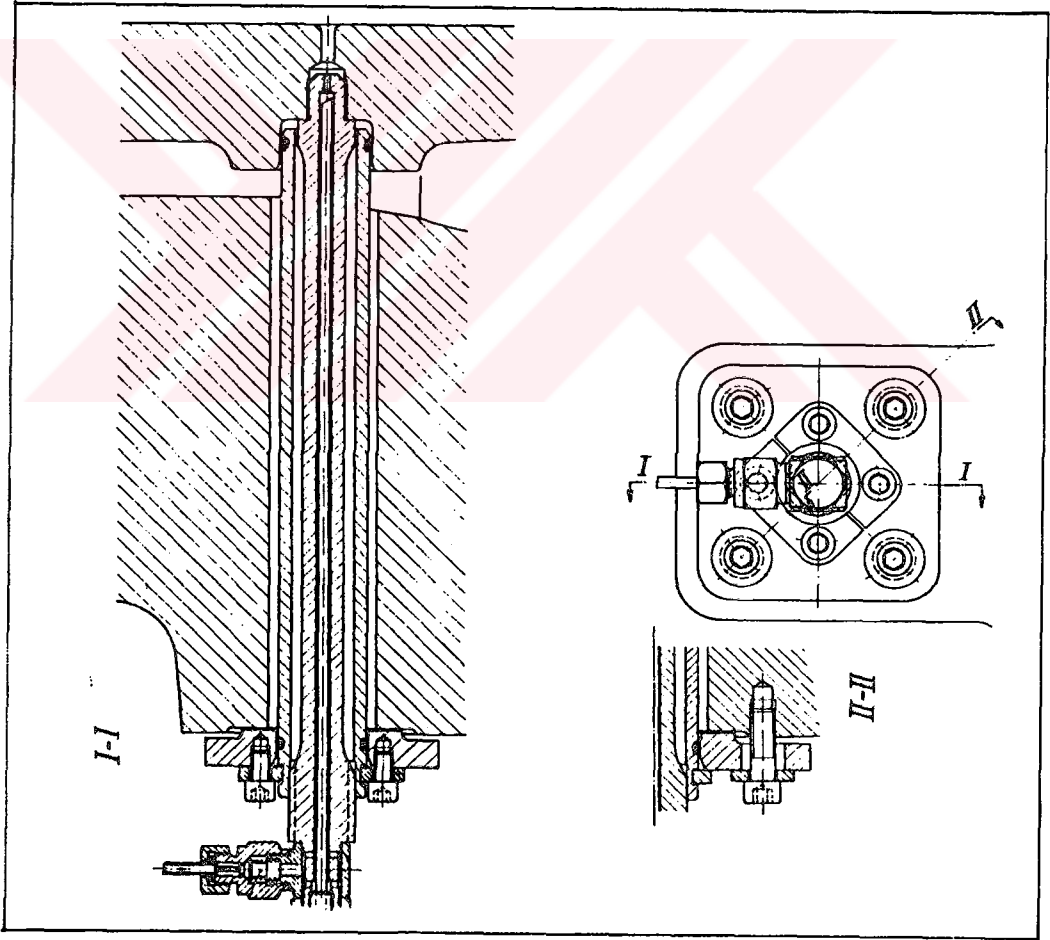


ŞEKİL 2.51 Akümülatör Şeması ŞEKİL 2.52 Yağ Nozülü Kesit Resmi

Yağ silindirdeki nozüllerin hepsine birden aynı anda gönderilir. Yağın deliklere dağıtım şeması şekil 2.49 'da gösterilmektedir. Şekil 2.51 basit bir akümülatör şemasını göstermektedir.

Silindir cidarındaki yağ nozüllerinin önünde bulunan check-valve sistemleri, yağlama periyodunda delikten çıkan yağın geri dönmesini önler.

Şekil 2.52 'de görüldüğü gibi yağ 3 numaralı kanaldan geçerek silindir yüzeyine gider ve silindir yüzeyi daima yağlanmış pozisyonda kalır. Bu sistemle check-valve silindir içindeki sıcak yanma gazlarından ve pisliklerden korunmuş olur. Şekil 2.53'de bir nozül konstrüksiyonu verilmiş.



ŞEKİL 2.53 Yağlama Nozülü Konstrüksiyon Resimi

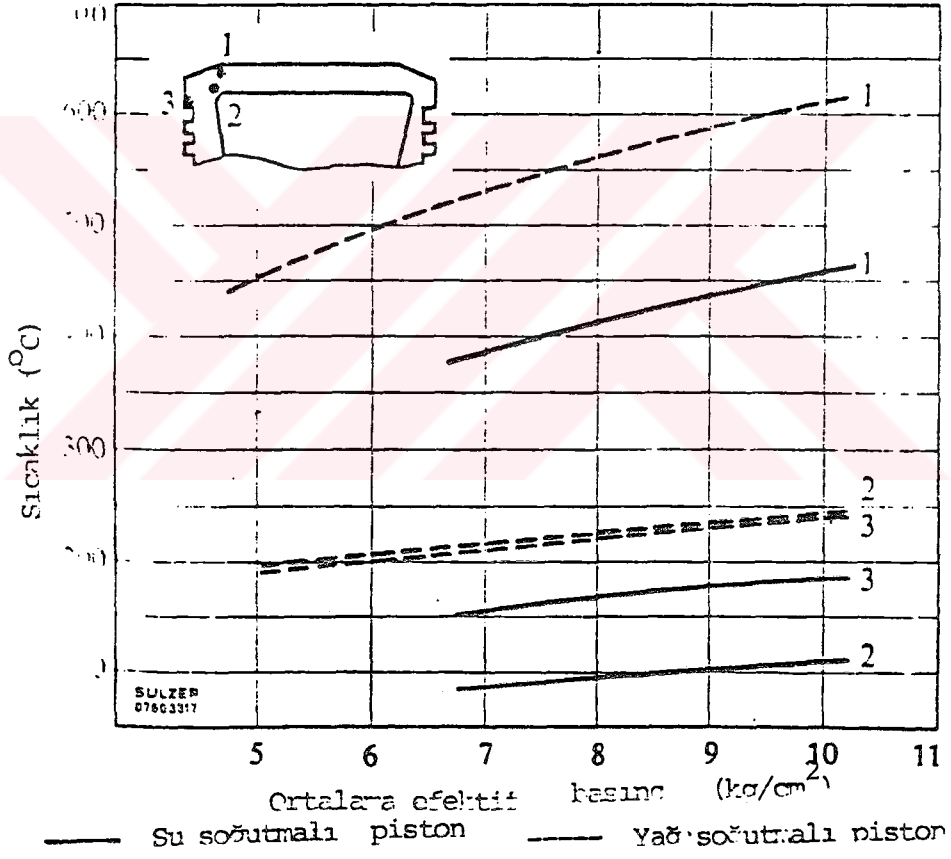
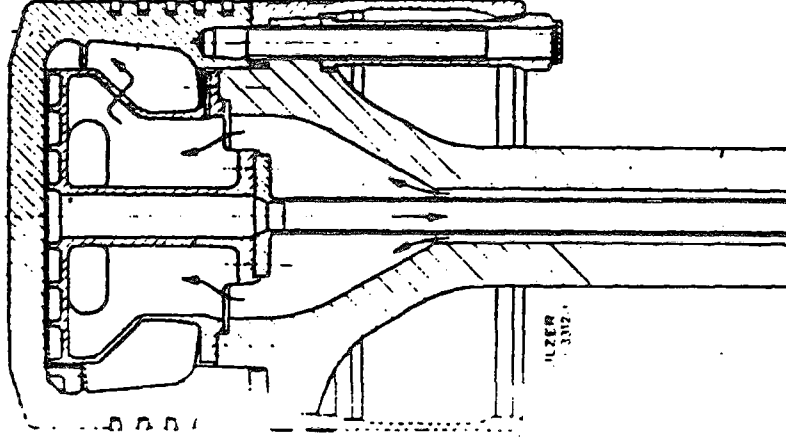
2.6.4. PİSTONLARIN YAĞLA SOĞUTULMASI :

Özellikle yüksek güçlü gemi diesellerinde yanma sonucu ortaya çıkan sıcaklıkların ve termal gerilmelerin ne denli yüksek olduğu bilinmekte ve bulardan doğacak hasarların önüne geçilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Silindir içinde en yüksek sıcaklık değerlerinin olduğu ve sonuçta hasar yaratabilecek elemanın piston olması, etkili bir biçimde piston soğutma mekanizmaları geliştirilmesini sağlamıştır. Bu piston soğutma mekanizmalarından biri de yağın soğutucu akışkan olarak kullanıldığı " yağ ile piston soğutma " sistemidir.

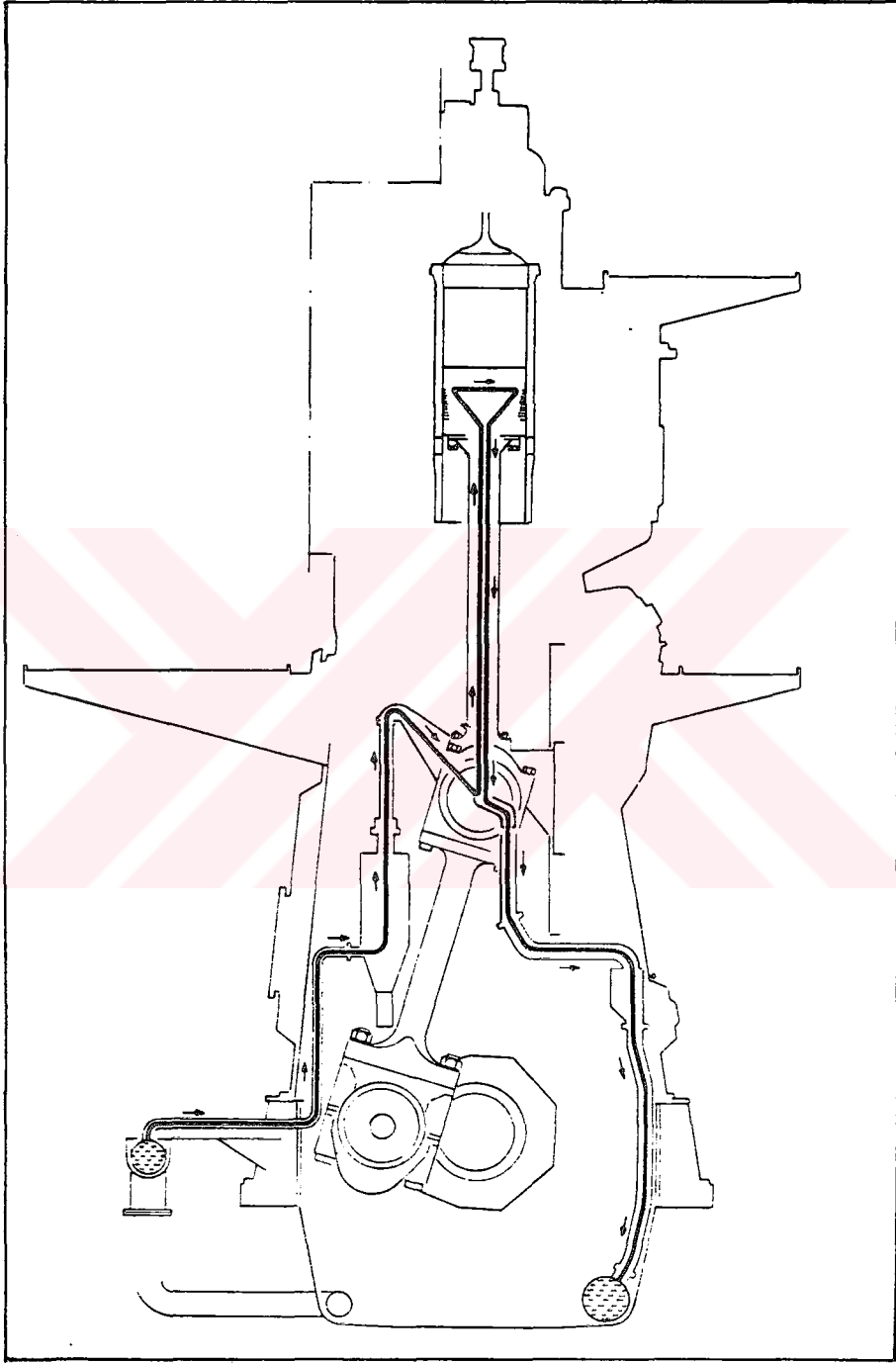
Diesel motorlarında çok kötü şartlarda çalışan pistonların mukavemetlerini kaybetmemeleri ve deformasyonlarının önlenmesi için sürekli soğutulmaları gerekir. Pistonların soğutulmaları için deniz suyu, tatlı su veya yağ kullanılmaktadır. Pistonların su ile soğutulması halinde soğutma suyunun kartere sızarak yağın özelliklerini bozması tehlikesi vardır. Buna karşın soğutma yeteneği yağinkine göre iki kat daha fazladır. Yağın özgül ısısı yaklaşık 0.45 kcal/kg°C, suyun özgül ısısı ise 1 kcal/kg°C 'dir. Yani yağın özgül ısısı suyun özgül ısısının yarısından daha azdır. Demek ki yağla soğutma yapılırsa, aynı miktar soğutma için suyun iki katı miktarda yağ kullanmak gerekir. Ayrıca ısınan yağı soğutmak için kabaca yağın iki misli suya ihtiyaç vardır [şekil 2.54]. Buna karşın soğutmada kullanılan yağ yağlama için kullanılan yağla aynı olduğu için, soğutmada kullanılan yağın kirletilmesi tehlikesinin olmaması büyük bir avantajdır.

Pistonun yağla soğutulması durumunda, pistonun alt kısmındaki yatakları yağlayan yağ, biyelin içindeki kanaldan yukarı çıkarak piston kafasına gelir ve burada soğutma işlemini gerçekleştirir.

Yağlama yağı piston kafasını soğuttuktan sonra kanalın içine yerleştirilmiş olan borudan kartere geri döner. Doğal olarak soğutmada kullanılan bu yağın karterdeki yağı bozması söz konusu değildir [şekil 2.55]



ŞEKİL 2.54 Pistonun Soğutulmasında Yağ ve Suyun Karşılaştırması



ŞEKİL 2.55 Piston Yağla Sogutma Devresi

Bazı konstrüksiyonlarda yatak yağlama yağı aynı zamanda piston soğutma yağı olarak da kullanılır. Bir pompa yardımıyla yağ tankından emilen yağ, filitasyon ve soğutucudan geçtikten sonra krank shaft yatağına verilir. Küçük bir kısım yağ bu bölgeyi yağlarken bir kısmı da krank kolu yatakları yağlaması için bölgeye geçer, burayı yağladıktan sonra biyelden yukarıya doğru çıkıp crosshead mekanizmasını yağlar. Bu yağ crosshead mekanizmasından yukarı çıkıp basıncı etkisi ile pistonu çarparak soğutur ve kartere dökülür. Bu tip konstrüksiyonlarda yağ kanalları pistonu yeterli yağ sevkedebilecek genişlikte dizayn edilmelidir.

Piston çapı 20 inch (50.8 cm) den büyük olan makinalarda piston sıcak yüzeyi geniş olduğundan yağın soğutma özellikleri ön plana çıkarak yağlama ve soğutma sistemleri ayrılır. Bu sistem genellikle bir pompa ile basınçlandırılan yağın pistonu soğutup yardımcı bir kanal yardımı ile kartere dökülmeden makina dışına alınması prensibine dayanır.

Piston soğutma yağları bazı farklı özellikler getirir. Bunların başında karbonlaşma ve oksidasyon önleyici katık mineral maddeler gelir. Bu yağlar genellikle $0.903 \div 0.907 \text{ kg/m}^3$ özgül ağırlıklı ve 415°F (212.8°C) tan yüksek parlama noktasına sahip soğutuculardır.

Piston yağ ile soğutma sisteminin uygulanması makina verimini iyileştirici bir özelliktir. Yağın ısı absorbe edebilme kapasitesi suya göre daha az olmakla beraber su soğutmalı pistonlarda soğutma akışkanının karterdeki yağa karışmasını önlemek için gerekli ilave ekipmanlar bu sistem içinde kullanılmadığından son derece pratik bir yöntemdir. Ancak yüksek sıcaklıkları absorbe ederek yağlama özelliğini yitiren yağın karterdeki yağlama yağına karışıp sıcaklığını arttırması sarfiyatı da fazlalastırır. Bu yüzden yağ bir soğutma sisteminden geçirilmelidir. Böylece silindir soğutma yağının 60°C 'tan yüksek sıcaklıkta olmaması sağlanır.

Pek çok yağ soğutmalı konstrüksiyonlarda uygun yağ seçimi ve yeterli yağ debisi sayesinde herhangi bir sorun çıkmadan rahatlıkla soğutma gerçekleştirilir. Ancak bazı durumlarda iyi kalite yağ kullanılmasına rağmen soğutma yağında meydana gelebilecek kesinti soğutma yüzeylerinde karbon bozulmaları sonucu karbonlaşmaya (karbon birikimi) neden olur. Bu durumda oluşan karbon çöküntüsü yağa olan ısı transferini düşürerek sonuçta termal gerilmeleri arttırır. Piston soğutma bölgesinde oluşan bu çöküntü, sert ve yumuşak olarak iki kısımda incelenir. Sert çöküntü soğutma yağı debisinin düşüklüğü ve aşırı sıcaklıklar nedeniyle özellikle en sıcak noktalarda oluşur. Kalınlığı yaklaşık 1/8 inch (0.3175 cm) kadardır. Yumuşak çöküntü ise uygun olmayan yağ kullanımı yüzünden meydana gelir. Yumuşak çöküntü, sert çöküntüden daha tehlikelidir. Çünkü kalınlığı sert çöküntüden daha fazladır ve yağ giriş-çıkış kanallarında birikerek tıkanmalara yol açar.

En yüksek sıcaklıklar makina durduktan hemen sonra oluşur. Çünkü bu anda soğutucu akışkanların dolası durmuş ve silindir duvarı, silindir kafası, piston arası ısı transferleri artmıştır. Bu durum çöküntü oluşumu için ideal durumdur. Bunu önlemek için makina durduktan sonra bir süre daha soğutma yağı sirkülasyonu devam ettirilmelidir. Söz konusu sirkülasyonu sağlayabilmek için genellikle yağ basıncı makina durduktan sonra hemen düşmeyerek bir süre daha muhafaza edilecek ve piston sıcaklığı, piston soğutma yağı giriş sıcaklığına düşene kadar yağ sevkine devam edecek tipte dizaynlar yapılır.

Yaygın bir uygulamada yağ kanalı piston soğutma bölgesine bağlandığı noktada geri dönüşsüz bir valf bulunur. Bu valf makina durunca piston soğutma bölgesine giren yağın basınç düşüklüğü nedeni ile geri akmasını önler. Başka bir uygulama ise yardımcı bir piston soğutma yağı pompası makina durmasına rağmen pistonu beslemeyi sürdürür.

2.6.4.1. Yağlama Açısından Çeşitli Piston Konstrüksiyonları :

Günümüzde diesel motorlarında kullanılan piston tipleri ;

1- Trunk piston

2- Crosshead 'li piston

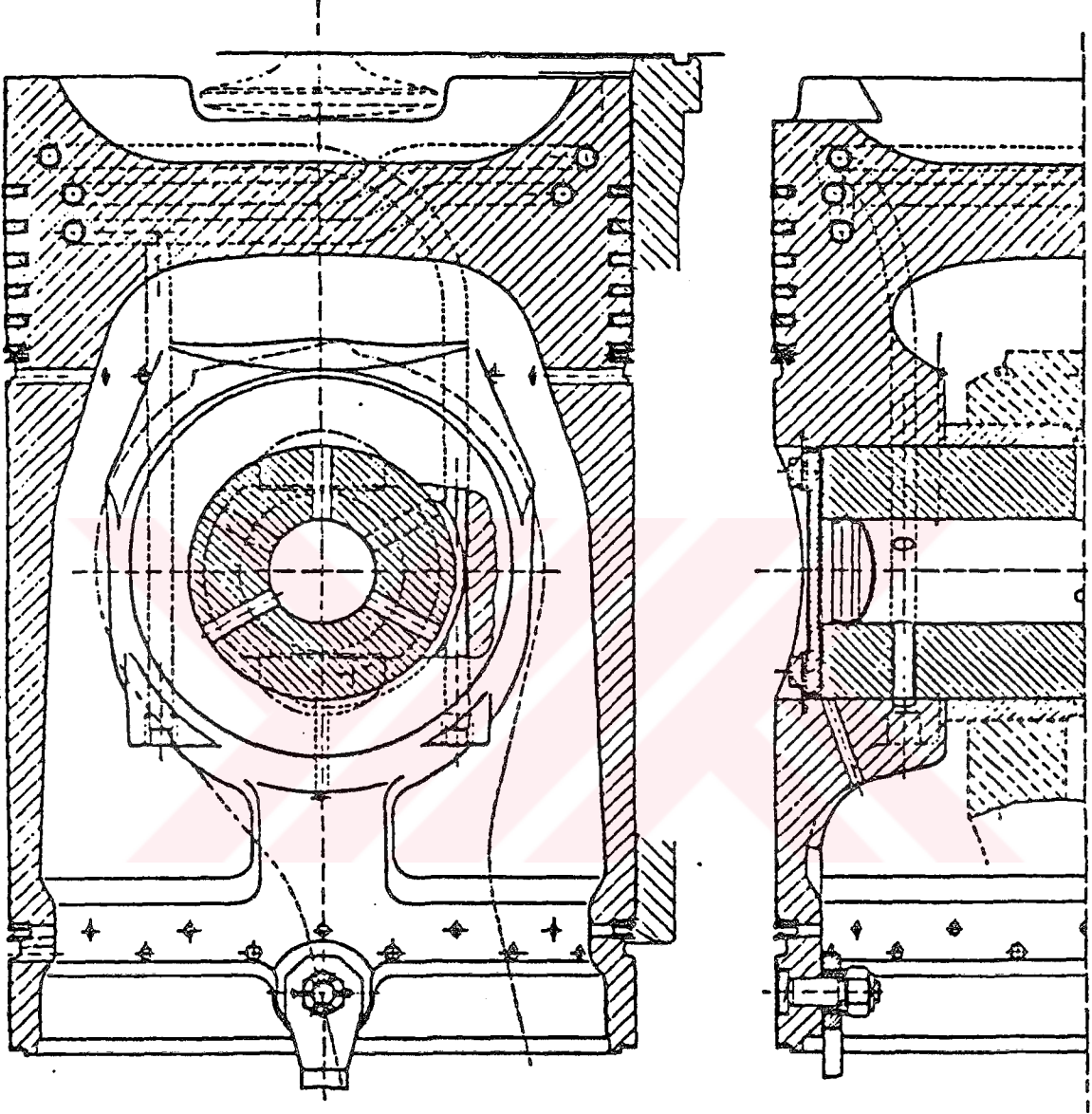
olmak üzere iki tiptir. Günümüzde ağır devirli diesel motorları 4 bin beygir gücüne kadar trunk pistonlu yapılmaktadır. Daha büyük güçlü makinalarda ise normal kuvvetin kızaklar yardımıyla gayıtlara aktarılmasını sağlamak için crosshead'li motor pistonları kullanılmaktadır.

2.6.4.1.1. Trunk Pistonlar :

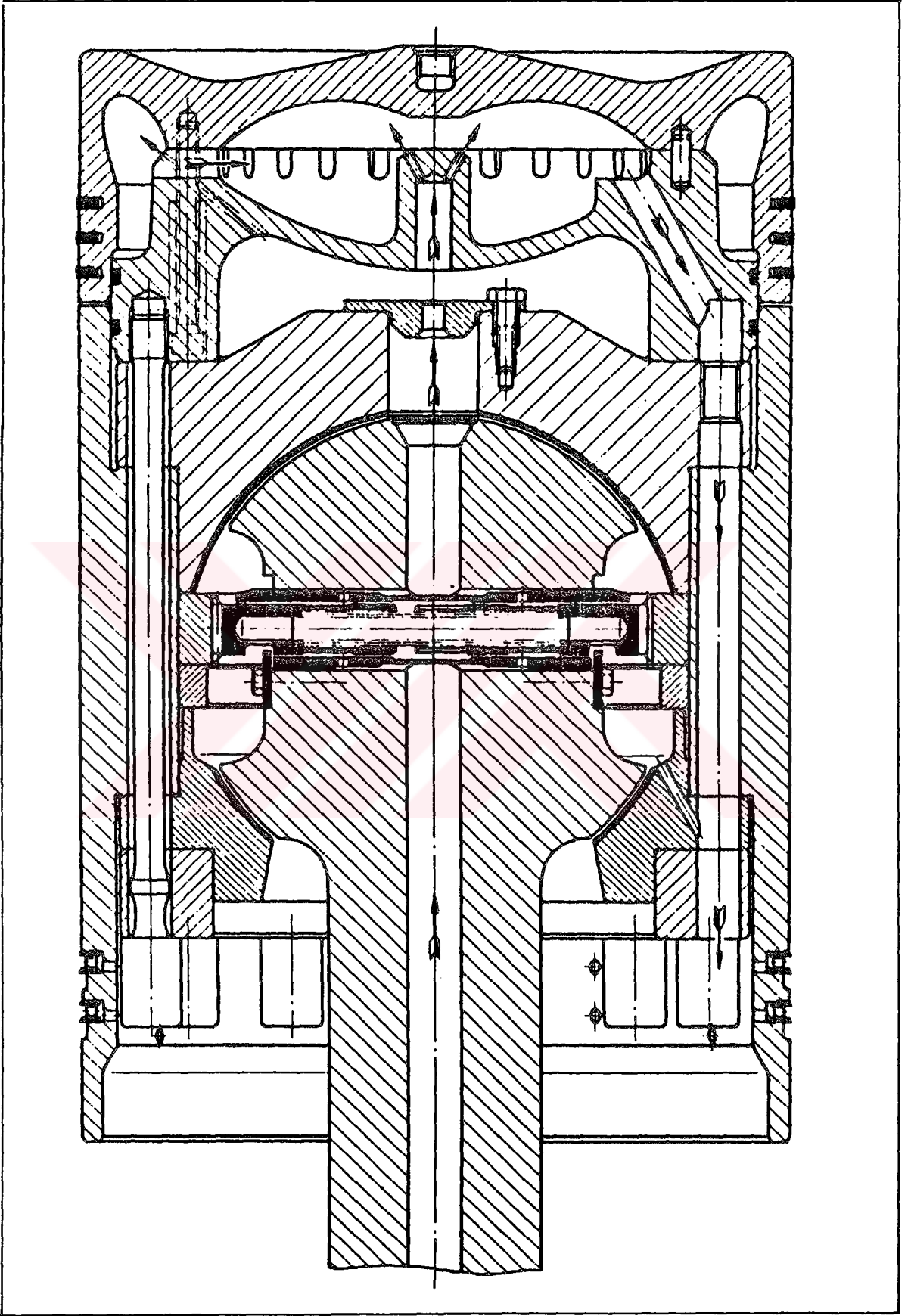
Dört bin beygir gücünü geçmeyen iki stroklu motorların tümü ve dört stroklu motorların hepsinde bu tip pistonlar kullanılmaktadır. Bu tip pistonlar piston pimi, biyel ve krank muylu yatağı ile doğrudan doğruya krank şafta bağlanırlar. Şekil 2.56 'da görüldüğü gibi piston kafasına yatay yağ kanalları açılmıştır. Biyelin orta eksenini boyunca açılmış dairesel kanal içinden soğutucu yağ bir yandan piston piminin içinin boş oluşu nedeniyle yatay soğutma kanallarına geçmektedir. Yukarı doğru yükselen yağ hem piston kafası hem de segman yuvalarını soğuttuktan sonra en üstteki yatay kanala bağıntılı dikey bir kanalla kartere geri döner.

Son zamanlarda daha iyi bir işletme durumu, daha az ve düzgün bir silindir ve segman aşınması sağlamak amacıyla dört ve iki stroklu diesel motorlarda dönel piston kullanılmaya başlandı. Sulzer firmasına ait böyle bir trunk piston uygulaması şekil 2.57 'de görülmektedir.

Piston yağla soğutulmakta olup kendi çevresinde dönmektedir. Gerçekte dönme hareketi biyelin salınım hareketi nedeniyle meydana gelmekte ve bunun çalışma prensibi çok özel ve hassas olmaktadır. Bu tür piston pimi yatağı kullanma zorunluluğu vardır. Piston kafasının soğutulması biyelin dikey eksenine açılmış dairesel kanaldan yağın küresel piston pimi yatağına oradan da piston kafasına verilmesiyle sağlanmaktadır.



ŞEKİL 2.56 Yatay Soğutma Kanallı Trunk Piston - M.A.N.



ŞEKİL 2.57 Dönel Piston - Sulzer Z40

2.6.4.1.2. Crosshead'li Makina Pistonları :

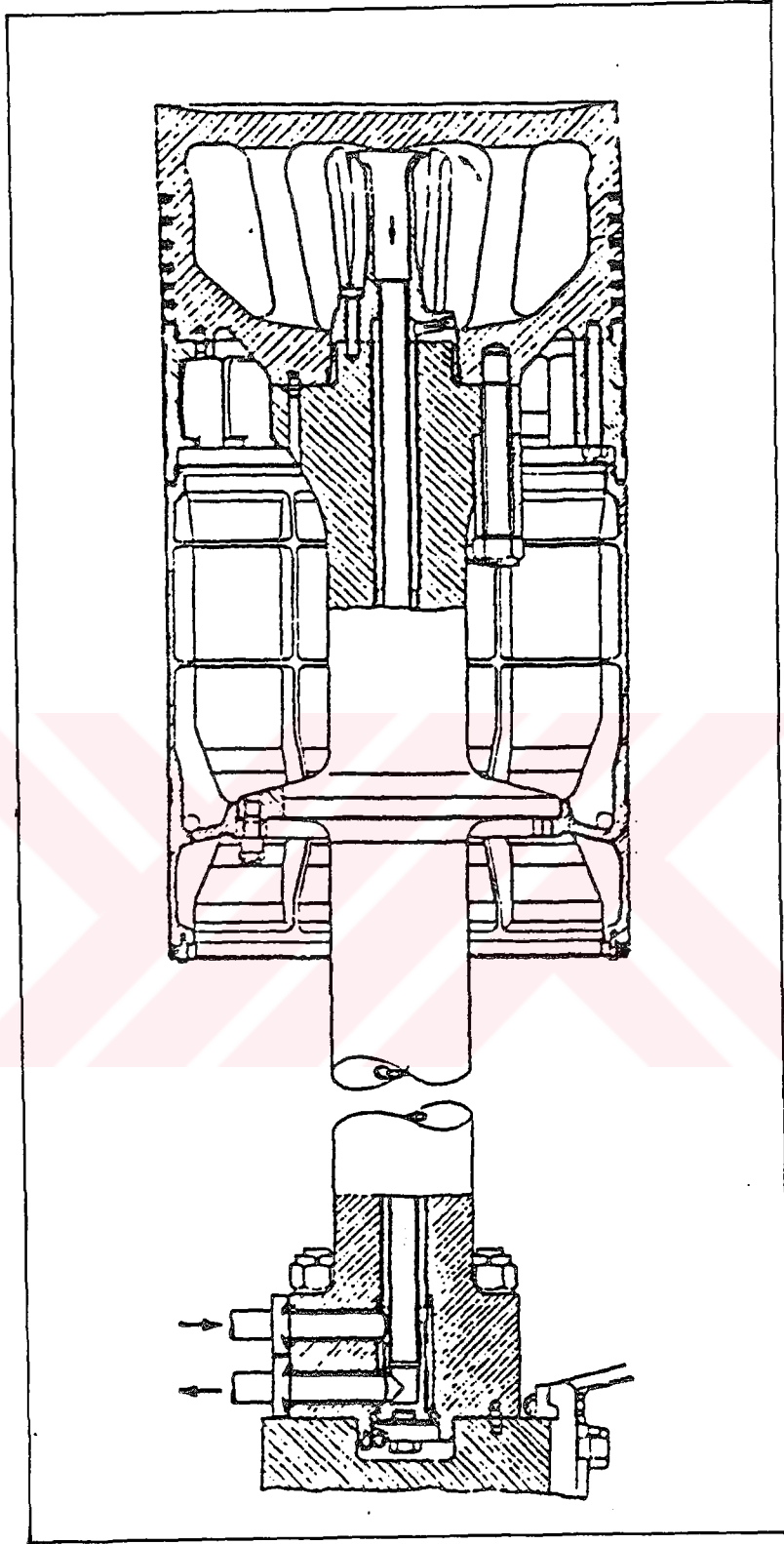
Daha önce de belirtildiği gibi gücü dört bin beygiri geçen gemi diesel motorlarında crosshead kullanılması zorunludur. Crosshead'li motorlar için de krank muylu yatağı ile piston pimi arasında crosshead bloku vardır. Piston, piston kolu ile crosshead blokuna bağlanır. Diğer yönden küçük olan tarafı çatal şeklinde yapılan biyel küçük (şekil 2.35) tarafından crosshead muylusuna, büyük tarafından krank şafta bağlanır. Şekil 2.58'de M.A.N motor firmasının kullandığı crosshead'li motor pistonu görülmektedir.

Şekil 2.59'de Götaverken firmasının kullandığı crosshead'li motor pistonu görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi teleskopik borudan gelen yağ piston kafasının içerisine dağılarak soğutma işini tamamladıktan sonra tekrar geri döner.

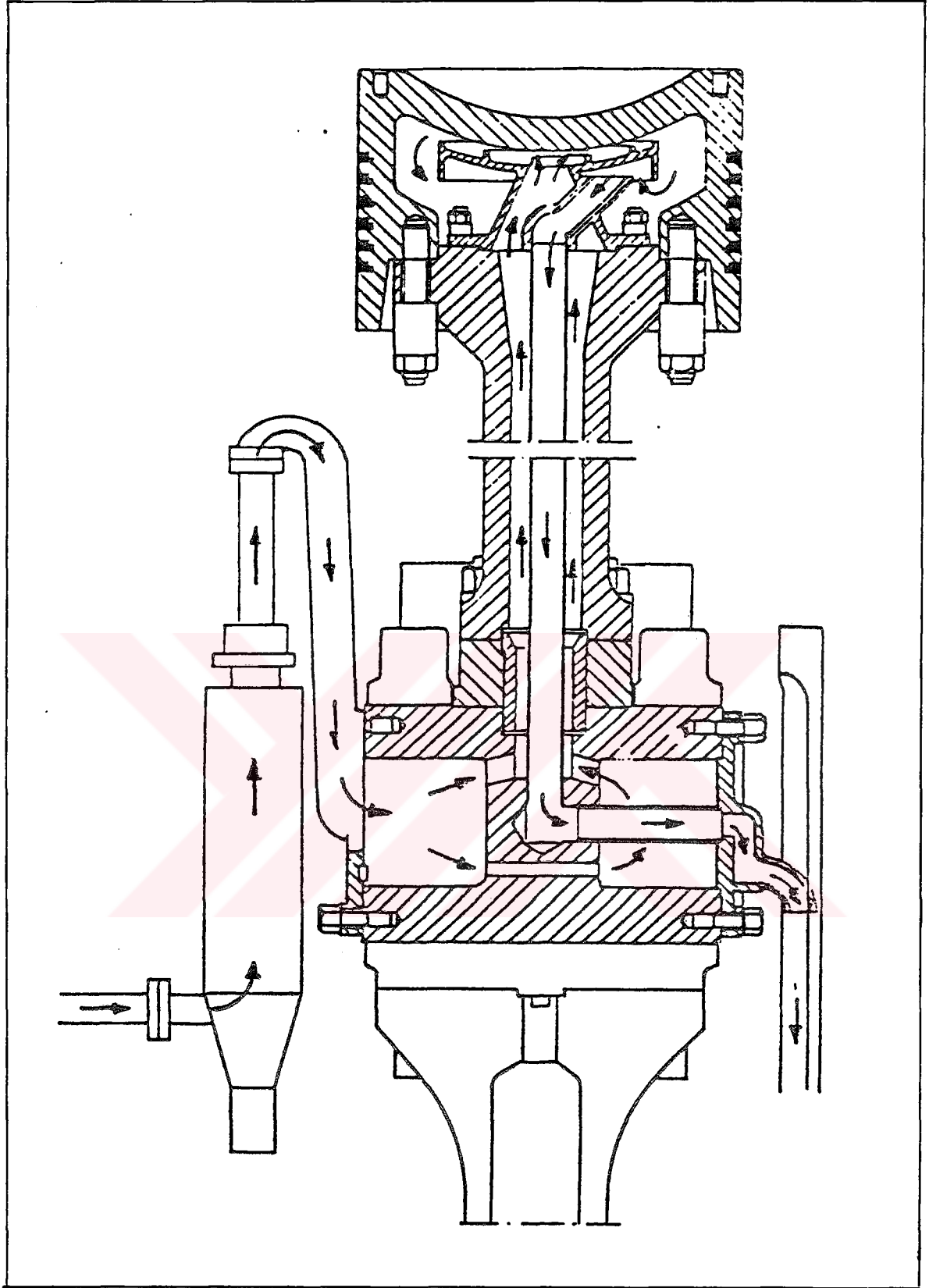
2.6.4.2. Pistonun Yağla Soğutulmasında Dikkat Edilecek Hususlar :

Pistonun yağla soğutulmasında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri kavitasyon tehlikesidir. Piston AÖN'yı geçip yukarı doğru çıkmaya başladığında soğutma yağı aşağı doğru henüz ivmelenendirilmiş durumda bulunmaktadır. Bu nedenle yağın yüzeyden ayrılması söz konusu olabilir. Oluşabilecek alçak basınçta yağın buharlaşması söz konusu olacağından , kavitasyon tehlikesi ortaya çıkabilir. Bunu önlemek için yağ belli bir basınçla göndermek gerekir. Örneğin 7.5 m/s 'lik bir piston hızı için 3.5 at civarında bir basınç gerekmektedir.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir hususta yağ kayıplarıdır. Burada kullanılan yağlama yağı nispeten pahalı bir soğutucu olduğu için kayıp miktarının minimumda tutulması gerekir. Pistonlar iyi dizayn edilir ve uygun nitelikte yağ kullanılırsa herhangi bir güçlük çıkmaz. Eğer pistonların çok ısınmasına izin verilirse, yüksek sıcaklıklar nedeniyle yağın buharlaşarak ve yanarak kaybolması söz konusu olabilir.



ŞEKİL 2.58 Crosshead'li Piston Yağla Soğutma Sistemi



ŞEKİL 2.59 Crosshead'lı Piston Yağla Soğutma Sistemi - Götaverken

Piston ısısının çok artması yağ kaybından başka ısı transferinin kötüleşmesinde de önemli rol oynar. Çok ısınan pistonlarda amaca en uygun nitelikte yağ kullanılsa bile yağ karbonize olur. Yüzeylerde biriken karbon partikülleri pistondan yağa ısı transferini engeller. Bunun sonucunda piston sıcaklıkları çok artar. Bu nedenle piston sıcaklıklarının kontrol altında tutulması gerekir.

2.7. GENİ DİSEL MOTORLARININ ANA ELEMANLARININ UYGUN BİR YAĞLAMA

SAGLANAK İÇİN KONTROL EDİLMESİ GEREKEN PARAMETRELER :

$$Q_{yas} = G_{yas} \cdot c_{yas} \cdot (T_g - T_s)$$

Denklemleri sirkülasyonu sırasında, soğutma yağına transfer edilen ısı miktarını vermektedir. Bu denkleme göre yağ tarafından motordan alınan ısı tüm bu parametrelerin fonksiyonu olmaktadır. Motor yağlamasının uygun nitelikte olması için tüm bu parametrelerin gerekli değerlerde tutulması gerekir. Ana makina işletimcisi için bu parametrelerin en önemlisi dolayısıyla bulunan yağ miktarıdır.

Yağlama ve soğutma için kullanılan yağ miktarı önemli olan makina bölgelerinde aşırı yağlamaya ve aşırı soğutmaya neden olmayacak şekilde yeterli miktarlarda gönderildiği takdirde yağlama ve soğutma işlemi çok daha iyi olacaktır. Yağın gereken miktardan az olması, yağın çok fazla ısı yüklenmesine dolayısıyla çok çabuk bozulmasına, ayrıca bazı kısımlarda da yağlama için gereken hidrodinamik basıncın oluşturulmamasına neden olur. Bu gibi istenmeyen olayların oluşmaması için yağ miktarının sürekli gereken mertebede tutulması gerekir.

Uygun soğutmada yağın soğutma kabiliyeti de önemli bir etkidir. Bilindiği gibi yağın özgül ısısı $c_{yas} \approx 0.5 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ 'tır. Suyunkine göre oldukça düşük olmasına rağmen daha önce de söz edilen nedenlerden dolayı diesel motorlarda soğutma amacıyla kullanılmaktadır. Denklemlerde de görüldüğü

gibi yağın özgül ısısının mümkün olan en yüksek değerde olması soğutma işlemini iyileştirecek ve bozulması daha geç olacaktır.

Dolaştırılan yağ miktarı ve yağın özgül ısısının yanı sıra yağ giriş ve çıkış sıcaklıklarının da soğutmada etkinliği vardır. Motorun sıcaklıklarından etkilenecek kısa bir sürede ısınan yağ giriş sıcaklığı yüksek olduğu takdirde daha kısa sürede daha fazla ısı çekecektir. Bunun önlenmesi için yağın giriş sıcaklığının amaca uygun olarak minimum ve sabit kalacak şekilde sistemler seçilmesi gerekir. Bunun için sirkülasyon işlemi sırasında ısınan yağın, yağ soğutucularında gereken değere düşene kadar soğutulması gerekir. Yağın çıkış sıcaklığının da motor soğutulmasındaki rolü çok önemlidir. Soğutma işini bitiren yağın sıcaklığı, motor yağlaması ve soğutmasının iyi olup olmadığını göstermektedir. Isı transfer yüzeylerinin temiz olması ve yağ sirkülasyon hızının normal seviyede olması yağ çıkış sıcaklığını etkiler. Normal olarak pistonları soğutan yağın çıkış sıcaklığı 50÷55°C, yatakları yağlayıp soğutan yağın sıcaklığı 75÷80°C olmalıdır. Yağ giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki fark da 8÷10°C kadar olmalıdır.

Tüm bu önlemlerin yanı sıra yağlama ve soğutma için kullanılan yağın iyi nitelikte, kaliteli yağ olması ve amaca uygun şekilde katıkları ihtiva etmesi çok önemli bir etken olmaktadır.

2.7.1 Yağın Viskozitesinin Yağlamaya Etkisi :

Yağın viskozitesi, yağ moleküllerinin birbirini tutma yani kohezyon kuvvetidir. Viskozitesi yüksek yağların molekülleri arasındaki kohezyon kuvveti daha büyük olduğundan moleküller birbirlerini daha sıkı tutarlar. Dolayısıyla yağın film teşkil ederek yük taşıma kabiliyeti daha yüksektir. Buna karşın böyle yağların pompalanması daha zordur. Viskozitenin düşük olması halinde pompalama kolaylaşır fakat yeterli ve etkili bir yağ filmi oluşturulamaz. Ayrıca viskozite, sıcaklığa bağlıdır.

Yağlama yağları için viskozite en önemli özelliklerden biri olup, onun akıcılığını gösterdiğini belirtmiştik. Yağlama yağlarının viskoziteleri belirli bir sıcaklıkta, belirli çaplardaki orifis veya deliklerden akması için saniye cinsinden süreyi gösterir. Diesel makinalarında kullanılan yağın viskozitesinin saptanmasında genellikle Saybolt ve Redwood viskozimetreleri kullanılır. Türlü diesel makinalarında kullanılmakta olan yağların viskozite değerleri 54°C (130°F)'de 100÷500 SUS (84÷420 Redwood-saniye) değerleri arasında değişir.

Diesel makinalarının bazı bölümleri diğerlerinden daha yüksek viskozitede yağlama yağı gerektirir. Örnek olarak silindir layneri-segman arasında kullanılmakta olan yağlama yağı gösterilebilir. Bu yağ yataklarda kullanılan yağlardan farklı olup, parlak renkli ve viskozite değerleri 99°C (210°F)'de 150 SUS ile 38°C (100°F)'de 300 SUS arasında değişmektedir. Layner duvarının oldukça yüksek işletme sıcaklıklarında bu yağlar yeterli bir akıcılık kazanır. Böylelikle aşırı sürtünme nedeniyle güç tüketimindeki artışlar önlenmiş olur. Aynı yağ krankkeyste kullanıldığı zaman, sürtünme nedeniyle güç tüketimi artar ve yatak klerenslerinde bulunan yağın hidrolik direnci çoğalır, yatak sıcaklıkları yükselir. Ayrıca yağlama yağı pompasının yükü de artar. Bu ve buna benzer nedenlerle krankkeys yağlarının viskozite değerleri 54°C (130°F)'de 200÷300 SUS (238÷357 Redwood-saniye) değerleri arasında bulunmalıdır. Diesel makinaları yataklarında kullanılan yağlama yağlarının viskozitelerini ise, üç veya daha fazla sıcaklık derecesinde belirtmek alışılmış bir uygulamadır. Böylelikle sözü edilen yağlar için alçak, orta ve yüksek sıcaklıklara uyan viskozite-sıcaklık eğrileri meydana getirilebilir. Böyle bir viskozite-sıcaklık eğrisinde; 21.1÷37.8°C (70÷100°F) sıcaklıkları arasında tüm yağların viskozitelerinin çok hızlı değiştiği, bu noktadan sonra 93.3°C (200°F)'ye kadar değişim daha az hızlı ve bu derecenin

üstünde sıcaklıkta viskozite değişiminin oldukça küçük olduğu görülmektedir

SAE numarası yağlama yağlarının yalnız viskozite yönünden sınıflandırılmasını sağlar, diğer etkenler dikkate alınmaz. Gemi diesel makinalarında kullanılmakta olan krankkeys yağları, hafif olduğu zaman SAE10 dan başlar ve yavaş yavaş SAE 70'e kadar yükselir.

Yağların viskoziteleri viskozimetreler yardımıyla ölçülmektedir. Viskozite indeksi, viskozitenin sıcaklıkla değişimini ifade etmektedir. Bunun için, Pensilvanya petrolü viskozitesi sıcaklıkla çok az değiştiğinden yağın viskozite indeksi 100 kabul edilmiştir. Körfez ülkelerinden elde edilen ham petrol ise, viskozitesinde sıcaklıkla büyük değişimler meydana gelmekte ve bu nedenle yağın viskozite indeksi 0 sıfır olarak kabul edilmektedir. Her iki yağın viskoziteleri 38°C ve 99°C sıcaklıkta ölçülmektedir. Bir yakıtın viskozite indeksi aşağıdaki formülle hesaplanır :

$$VI = \frac{L - U}{L - H} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2.64)$$

Bu formülde :

U : VI 'i hesaplanacak yağın veya yakıtın 38°C deki viskozitesi

L : VI 'i hesaplanacak yağın 99°C deki viskozitesine eşit 0 viskozite indeksli yağın 38°C deki viskozitesi

H : VI 'i hesaplanacak yağın 99°C deki viskozitesine eşit 100 viskozite indeksli yağın 38°C deki viskozitesi

Yağlama yağlarındaki viskozitenin sıcaklıkla değişimi şekil I.LL de verilmiştir. Burada görülen eğrilerin yatayla olan eğimleri ne kadar az olursa yani sıcaklıkla değişimleri küçük olursa viskozite indeksleri için o kadar iyi diyebiliriz.

2.7.2. Yağın Oksidasyon Stabilitesi :

Oksidasyon stabilitesi, bir yağın hızlandırılmış oksidasyona karşı mukavemetinin bir ölçüsüdür. Bu test 300 ml yağın 60 ml suyla karıştırılarak bir kaba konulması ve katalitik etki içinde, çelik bakır bir sargıdan faydalanılması esnasında dayanmakta ve deney esnasında 95°C sıcaklıkta ve

saatte 0.5 litre oksijen geçirilmektedir.Yağın bozulma süresi ölçülerek, buradan, işletmedeki oksidasyon limit ömrü saptanmaktadır.Yağın bozulma süresi yerine nötralizasyon numarası da kullanılmaktadır.

2.7.3. Yağın Nötralizasyon Numarası :

Nötralizasyon numarası, bir yağın asiditesi hakkında bir ölçü vermektedir.Yağ bir solvent ile karıştırılarak bir gram yağın nötralizasyon işlemi için gerekli olan KOH 'in mg olarak miktarına nötralizasyon numarası denir.Nötralizasyon numarası,bir yağın oksidasyon derecesi hakkında çok iyi bir ölçü olduğu gibi, yağın ne zaman değişmesi gerektiği konusunda da bir kriter olmaktadır.

2.7.4. Yağın Karbon Artığı :

Yağ içerisinde karbon artığı miktarının belirlenmesi için yapılan bir deney sonucu ortaya çıkar.Deneyin yapılması Ramsbottom deneyinin aynısı olarak karşımıza çıkmaktadır.Bir yağın karbon artığı miktarı, karbon teşekkülüne meyli gösterdiği gibi içten yanmalı motorlar için de çok önemli bir değerdir.

2.7.5. Yağın Demulsibilite Oranı :

Demulsibilite, bir yağ-su karışımının veya emülsiyonun separasyon meylinin ölçüsüdür.Aynı hacim (40 ml) su ve yağ, 55°C da 5 dakika müddetle iyice karıştırılır.Maksimum demulsifikasyon zamanları belirlenerek burada demulsibilite dereceleri belirlenir.Emülsiyon ne kadar kısa sürede bozulur ise o derece separe edilebilir kabiliyettedir.Emülsiyonu geç çözülen yağlar çamur teşekkülüne meyilli olduklarından zamanla dönüş devrelerini tıkayarak düzgün yağlama yapılmasını önleyebilir.Çamur teşekkülü aynı zamanda yağ soğutucularının (cooler) etkinliğini de azaltır.

2.7.6. Yağın Köpürme Oranı :

Bir yağlama yağının köpük meyli hava-yağ karışımının stabilitesi

değerini ifade etmektedir. Deney 200 ml. yağ numunesi içerisinde 5 dakika müddetle ve dakikada 94 ml hava geçirilmesi halinde meydana gelecek köpüğün hacminin ölçülmesi suretiyle belirlenir. Bu test 24°C ve 93°C da tekrarlanır

2.7.7. Yağın Korozyon Önleme Etkisi :

Bir yağlama yağından, yağlama bölgelerinin ve parlak yüzeylerin dış tesirlerden ve korozyondan korunması arzu edilir. Bu özelliğe yağın korozyon önleme özelliği denir. Buhar türbin yağlarının korozyon önleme özelliği, 300 ml türbin yağı içerisine 30 ml deniz suyu katılarak 60°C da ve 24 saat müddetle çok düzgün yüzeyli ve temizlenmiş düşük karbonlu çelik çubukların bu karışıma daldırılması ve sonuçta test kriteri olarak kullanılması esasına dayanır.

2.7.8. Yağın Tutuşma, Alevlenme ve Yanma Noktası :

Bu üç nokta, ısıtılmakta olan bir numunenin sıcaklıkları ile numune üstündeki buharın yanma durumları ile ilgilidir. Tutuşma noktası, distant küçük bir alevle ilk tutuşmanın meydana geldiği numune sıcaklığıdır. Yanma noktası ise, dış bir alev yardımı olmaksızın numunenin kendi kendine yanmaya başladığı sıcaklığıdır. Yüksek sıcaklıklarda olanları daha iyidir.

2.7.9. Yağın Akma Noktası :

Yağın akmaya başladığı en düşük sıcaklık akma noktası olarak alınır. Pompalama ve soğukta ilk hareket için önemlidir.

2.7.10. Gres Penetrasyonu :

Penetrasyon, standart bir koninin 5 sn. müddetle yağın içerisine dalma miktarı olarak ifade edilir. Milimetrenin onda biri, bir penetrasyon olarak alınmaktadır. Bu değer rulmanlar için yağ seçiminde önemli etkindir.

2.7.11. Gres Damlama Noktası :

Bu değer, bir koni ağzından gresin damlamaya başladığı sıcaklık olarak alınır, takriben gresin ergime noktasını da ifade etmektedir.

2.8. DIESEL MOTORLARDA KULLANILAN YAĞLARIN BOZULMASI VE YAĞLARIN OTOMATİK KONTROLLÜ SANTRİFÜJ SEPARATÖR İLE ARITILMASI :

özellikle denizcilik sektöründe trunk pistonlu ve rafineri artığı yakıt yakan diesel motorlarının kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır.

Trunk pistonlu motorlar, pistonların ve silindirlerin karterden diafram ile ayrılmış olduğu crosshead'li diesel motorlardan yapısal olarak farklıdır. Trunk pistonlu motorların silindirleri kartere açıktır. Bir iş periyodundan sonra segmanlardan akmalar, yanma odasından sızıntılar ve motor içinde dolaştırılan yağın kartere geri dönmesiyle, motorun sistem yağında bir miktar kirlenmeler oluşur.

Bundan başka, crosshead'li motorlarda biyelin yana doğru itmesi crosshead kızakları tarafından karşılandığı halde, trunk pistonlu motorda bu itmenin silindir cidarı ve segmanlar tarafından karşılanması da yağın üzerine fazladan bir yük ekler.

Diesel motorlardaki önemli derecedeki termik yüklere ilave olarak genellikle yüksek oranda sülfür, vanadyum, sodyum içeren ve kül oluşturma eğilimleri fazla olan rafineri artığı yakıtların yakılması da yağın içinde oluşan kirlenmeyi arttırır ve ömrünü kısaltır.

Açıklanan bu olumsuz koşullar karşısında yağlama yağı piston segmanlarının yapışmasını, pistonlarda ve motorun diğer bölgelerinde birikinti oluşmasını, yanma nedeniyle oluşan asitlerden etkilenen yüzeyler üzerinde korozyon ve aşınmadan etkilenmesini önlemeli ve belirli bir ömür süresinde, bütün işletme durumlarında performansını korumalıdır.

2.8.1. Rafineri Artığı Yakıtların Genel Karakteristikleri :

Bu tip yakıtlar değişik rafineri yöntemlerinden sonra arta kalan sıvı tortulardan elde edilir. Diesel motorlarda kullanılan rafineri artığı yakıtların viskozite değerleri 100°F 'da 200, 1000, 1500, 3500 RI olarak 4

tanedir. Bu yakıtlar genelde makina performansı için garantili olmaksızın satılırlar. Bu yakıtların karakteristikleri geniş aralıklarda değişmekle beraber genelde yüksek oranda sülfür, sodyum, vanadyum ve asfaltan içerirler. Ayrıca fazla kül oluşturmaya meyillidirler.

Rafinasyon artığı olan bu yakıtların kullanılmaya başlanmadan evvel santrifüjlenmesi gerekir. Bu tip yakıtların yanma karakteristikleri distile yakıtlara göre daha kötüdür, fakat ateşleme kabiliyetlerinin daha iyi olduğu söylenebilir.

Bu tip yakıtlar tam yanma özelliğine sahip olmalarına rağmen yavaş yanma özellikleri nedeniyle, tam yanabilmeleri için gereken sürenin uzunluğundan dolayı oluşan kısmi yanma sonucunda motorda aşınma ve kirlilik oluşumunu artıran ürünler meydana getirirler.

Distile yakıtlarla karıştırıldığında, korozyon aşınma ve makina kirliliği problemlerinin yağ tarafından çözülmesini kolaylıkla sağlayabilen bu tip rafinasyon artığı yakıtların kullanılması daha avantajlı görülür. Tablo 2.2'de artık yakıtların yağlarla ilgili bazı özellikleri verilmiştir

TABLO 2.2 Artık Yakıtların Tipik Özellikleri

ARA YAKITLAR				AĞIR YAKITLAR
Yakıt Numarası	2	10	150	
Viskozite 100°F ta Red.s	200	1000	1500	3500
Konradson Sayısı	6.9	7.4	11.01	9.4
Asfaltan %	3.2	3.5	3.00	3.6
Kül %	0.05	0.02	0.03	0.04
Sülfür %	1.6	2.95	3.15	3.17
Sodyum ppm	35	55	42	54
Vanadyum ppm	182	20	75	67

2.8.2. Rafineri Artığı Yakıt Yakan Diesel Motorlarda Kullanılan

Ağır Hizmet Yağlarının Genel Karakteristikleri :

Son zamanlarda genel pazar eğilimi gittikçe artan hafif yağlama

yağı arzına doğru hareketlenerek, ağır yağ istekleri düşmüştür. En son olarak yapılan tahminler, tüm mineral yağlarla kıyaslandığında ağır yağ isteginin (1975 de % 37, 1985 de % 28 olarak gerçekleşti) 2000 yılında % 8 e düşeceği yönündedir. Artan hafif yağ ihtiyacını karşılamak için, ham petrolün daha . özenle rafinasyonu özellikle de katalitik kraking işlemi ağır hizmet yağlarının kalitesini düşürmektedir.

Daha yüksek viskozite, daha yüksek yoğunluk, fazla miktarda aşındırıcı partikül ve çabuk kirlenme özellikleri ağır hizmet yağlarının katalitik kraking nedeniyle oluşan karakteristikleridir. Buna rağmen yüksek güçlü, düşük devirli diesel motorlarda bir problem oluşturmaksızın sürekli kullanılırlar.

Diesel motorlarda başarılı bir yağlama gerçekleştirebilmek için, yağın yeterli derecede alkali madde, katı kirleticileri parçalama özelliği ve oksidasyon dengesine sahip olması gerekir. Bir diesel motor yağında bu gereksinimlerin seviyesi ve formülasyonu, motorun tipi ve uygulama sahası tarafından belirlenir. Tanımı basitleştirmek için bir örnek verilebilir. Birincisi % 7 sülfürlü distile yakıt (örneğin Marine Diesel), ikincisi % 3 sülfürlü, 100°F 'da 950 RI viskoziteli rafinasyon artığı yakıt yakan ve değişik yakıt kullanmaları dışında aynı şartlarda çalıştırılan, birbirine es A ve B motorlarının yağlama koşullarını inceliyelim. B motoru yağındaki en önemli özellik, rafineri artığı yakıtın yanmasıyla açığa çıkan birim kütle başına çok yüksek orandaki sülfirik asidi nötralize edebilecek seviye değerine sahip olması gerektiğidir. Ayrıca rafineri artığı yakıtların yanma sonucunda daha çok kirletici madde oluşturması nedeniyle, bu kirletici katı maddeleri parçalamak için daha çok parçalayıcı katık içermesidir.

Genelde rafineri artığı yakıtlar yandığında çok yüksek eleman sıcaklıklarına neden olmadığından her iki yağın anti-oksidant gereksinim

miktarlarının aynı olduğu kabul edilebilir. Buna rağmen rafineri artığı yakıtların, yakıt püskürtme sistemini kirletmesi ve turbocharger ile diğer motor elemanlarında yüksek sıcaklıklara neden olması distile yakıtlara göre daha muhtemeldir. Bu nedenle B motorunun yağı, A motorunun yağına oranla daha fazla anti-oksidant karakteristiğe sahip olmalıdır demek motor açısından daha güvenli olur. Ağır hizmet yağlarında alkalilik, katı maddeleri parçalama özelliği ve oksidasyon dengesi katıklarla sağlanabilir. Alkalilik genelde magnezyum, kalsiyum, baryum veya organik asit-çinko tuzları gibi metalik katıklarla sağlanabilir. Bu katıklar metal sülfidler ile reaksiyona girerek sülfirik asidi nötralize ederler. Bu katıkların çoğu yüksek bazlıkta tuzlar olarak bulunurlar. Tuz sıvı içerisinde serbest şekilde veya sıvı içerisinde çözünen ve tutunabilen fazla bazın mikronaltı büyüklükteki tanecikleri ile bileşik halinde bulunabilirler. Yağın gereksinimi olan bu özellikler daha başka katıklar kullanılarak sağlanabilir veya yükseltilebilir.

2.8.3. Diesel Motorlarda Kullanılan Yağların Bozulması :

Diesel motorlarda kullanılan ağır hizmet yağları, çeşitli etki ve kaynaklardan yağa karışan su, oksidasyon ve yanma ürünleri tarafından kirletilerek kullanım amacına hizmet edemeyecek duruma gelir. Bu bölümde, yağın özelliklerini bozan bu etkenlerden her biri ayrı başlıklar altında incelenecektir.

2.8.3.1. Suyun Kirilenmedeki ve Bozulmadaki Etkisi :

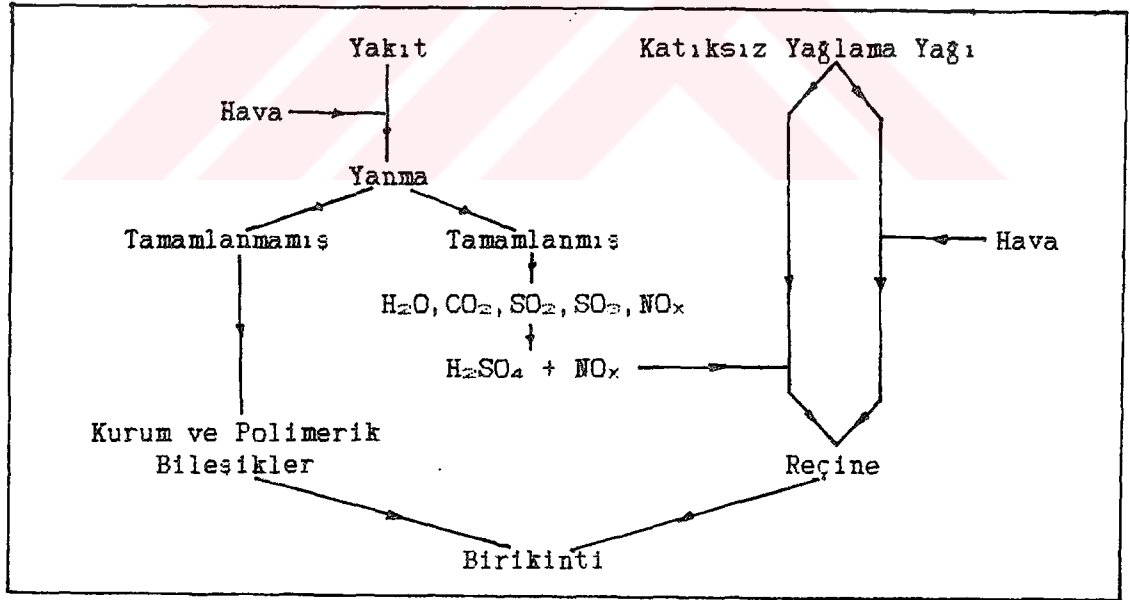
Bir diesel motor sistem yağında kirlenme ve bozulmanın en başta gelen etkilerinden biri, motor soğutma sistemindeki teleskopik bağlantılardan çift dip tankından vb. kaynaklardan sızarak yağa karışan sudur.

Katıksız mineral yağlarla karışan suyun, yağı kalınlaştırması, çamurlaştırması ve yağ kanallarında tıkanmaya neden olması mümkündür. Bir diğer olasılık da deniz suyunun karışması durumunda motor elemanlarının

yüzeylerindeki korozyon tehlikesidir. Bu şekilde katıksız mineral yağlar kolaylıkla sudan ayrılarak yeniden kullanılabilir. Buna karşın bir çok gemi diesel motorunda kullanılan ağır hizmet yağları bünyelerindeki suyu kolay atamaz fakat içlerindeki katıklar nedeniyle çamurlaşma, yağ kanalı tıkanması ve korozyona karşı daha yüksek bir koruma seviyesi sağlarlar.

2.8.3.2. Oksidasyonun Bozulmaya Etkisi :

Diesel motorlarda kullanılan ağır hizmet yağlarının bozulmasının en önemli nedenlerinden biri de oksidasyondur. Yağ, motordaki soğutma ve yağlama sisteminin yapısı gereği motor içerisinde sürekli dolastığından, doğal olarak yüksek sıcaklıklara maruz kalır. Bu yüksek sıcaklıkların etkisi ile yetersiz oksidasyon dengesine sahip yağlar hızla bozulurlar. Bununla beraber yağlama yağı, eksik yanma ve oksidasyon ürünlerinden etkilenerek motor içerisinde birikinti oluşumuna neden olur. Şekil 2.60 motor içerisinde birikinti oluşum mekanizmasının prensibini göstermektedir.



ŞEKİL 2.60 Birikinti Oluşum Mekanizmasının Prensibi

Şekil 2.60'ta görüldüğü gibi yanmadaki hava fazlalığı normalde motorun yanma hacminde bulunan sülfür bileşenleri SO_2 ve SO_3 'in oksidasyon

miktarını arttırır.Sülfür yanma esnasında su buharı ile birleşerek kuvvetli bir oksidasyon göstergesi ve korozyon nedeni olan H_2SO_4 'ü oluşturur.Olusan bu sülfirik asit yağlama yağının bünyesine girerek yağın bozulmasını sağlar ve yağda çözünmeyen, yapışkan karakterli reçineler oluşturur.Bu yapışkan karakterli reçineler, yağda çözünmeyen diğer maddelerle (kurum,pas vb.) birleşerek birikintiler oluşturur.Bu birikintiler piston soğutma yüzeyleri üzerinde toplanarak pistondan silindire ısı akışını engeller.Bu olayın sonucunda piston sıcaklığı artar ve birikinti oluşumu artan sıcaklığın etkisi ile hızlanır.Birikintilerin segmanlara yapışması ile segmanların sızdırmazlık özelliklerini yitirmesi, gaz kaçaklarını arttırır.

Tüm bu olumsuz koşulların gerçekleşmesi motorda güç kaybına ve onarım gerektirecek nitelikte arızalara neden olabilir.

Kirliliğin etkisi ve yüksek sıcaklık nedeniyle olusan oksidasyon, piston soğutma yüzeylerindeki muhtemel çatlak ve kötü contalardan dolayı sızıntılarla daha da şiddetlenir.Bu nedenle etkisiz piston-biyel salmastra ve çatlaklar gibi bütün sızıntı yollarını ortadan kaldırmak için çaba sarfetmek gerekir.Özellikle piston biyel salmastralarının akıntıları temizlenmeden önce kesinlikle sisteme geri gönderilmemelidir.

2.8.3.3. Yanma ürünlerinin Kirlenme ve Bozulmadaki Etkisi :

Diesel motor yağlama yağlarının su ve oksidasyondan başka yanma ürünlerinin etkisi ile de bozulabilir.Özellikle segman bölgesinde yağ ve yakıtın tam veya eksik yanmasından açığa çıkan ürünler, birikinti oluşumuna neden olarak yağ kanallarını ve filtreleri tıkayabilirler.Bu nedenle yağlar partiküllerin birbirine veya metal yüzeylere yapışmasını önleyecek, katı maddeleri parçalayıcı katıklar içermelidir.Bu şekilde yağ içindeki katılar zerreler halinde, süspansiyon oluşturarak, yağ kanallarını tıkamayacak ve filtrelere zarar vermeyecek büyüklükte olanların dışındakiler ayrılmalıdır.

2.8.4. Kullanılmış Diesel Motor Yağlarının Arıtılması :

Artık yağlar, yağ kullanılan gemicilik de dahil olmak üzere bütün endüstri kollarının bir atık ürünüdür. Endüstrinin her kolundan çıkan bu yağlar değişik viskozite, yoğunluk ve kirlilik seviyesindedir.

Artık yağlar her biri değişik yoğunlukta ve yoğunlukları da her zaman sürekli olarak değişen maddeler içerirler. Yağı kirleten ve özellik kriterlerinin bozulmasına neden olan bu maddeler ayrıştırılarak yağın temizlenmesi, ömrünün uzatılması ve yeniden kullanılması sağlanabilir. Yağın tekrar kullanılabilmesi için özellikle su, tuz (deniz suyundan gelen), asit çözeltileri (yanma ve oksidasyon ürünü), kurum ve pas gibi katı kirletici maddelerden temizlenmelidir.

2.8.4.1. Yağ Arıtma Santralleri :

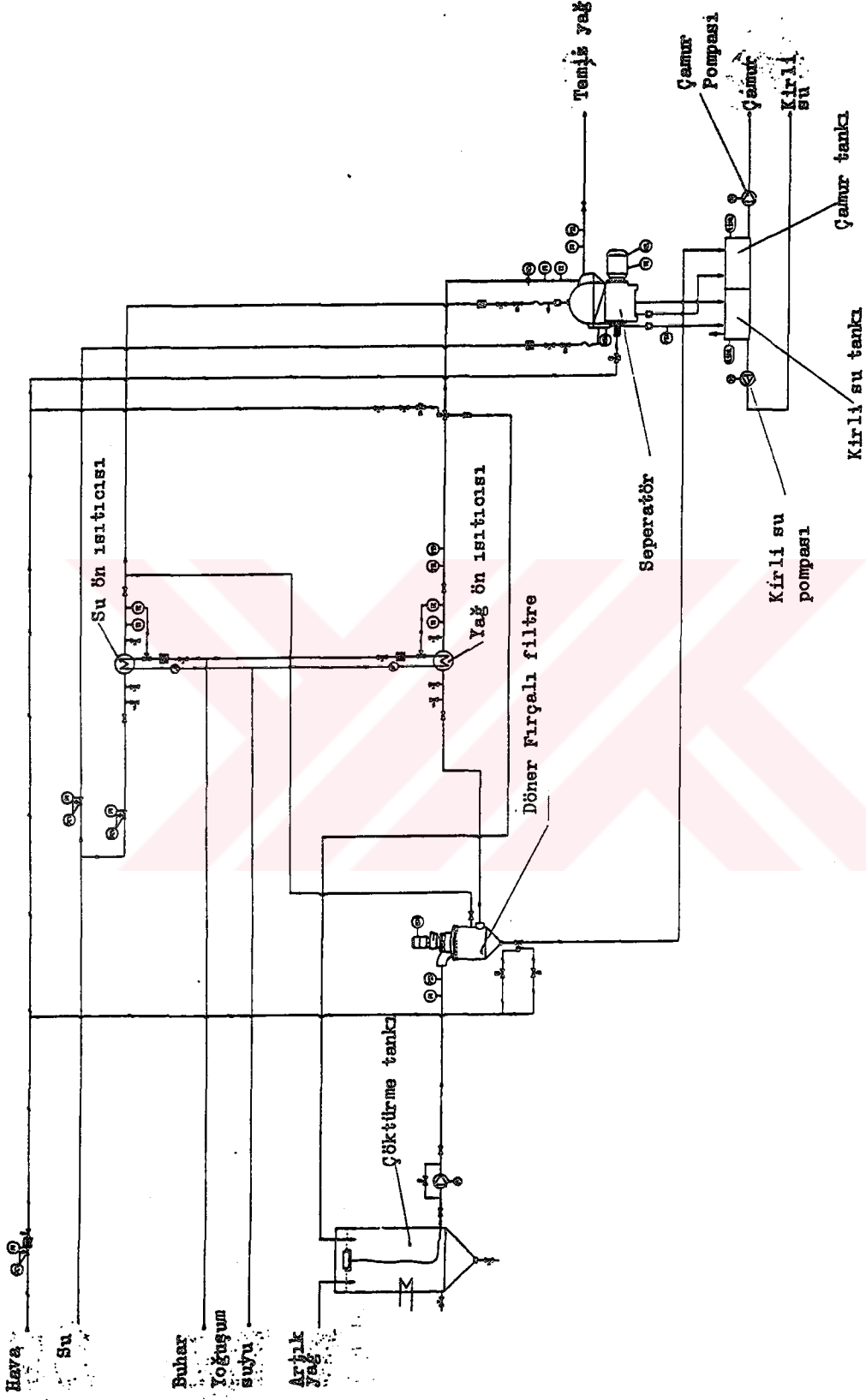
Şekil 2.61'de Westfalia Separatör A.G firmasına ait olan, esas elemanları dinlendirme tankı, dönel fırça filtre ve santrifüj separatör olan bir yağ arıtma santralının şeması görülmektedir. Yeni tip santrallerde bu sistemlere ek olarak ısıtıcı (heater) ve soğutucular (cooler) da konulmakta ve bunlar da otomatik bilgi işlemcilerle bağlanmaktadır. Artık yağlar bu tip santrallerde temizlenerek yeniden kullanıma sunulmaktadır.

2.8.4.1.1. Dinlendirme Tankı :

Tesisat seviyesinin üzerinde yerleştirilen dinlendirme tankında artık yağı öncelikle kaba bir separasyonu yapılır. Separasyon verimini artırmak için tank bir ısıtma sistemi ile teçhiz edilmeli, sıcaklık yağın özelliklerine göre tespit edilip ayarlanmalıdır. Dinlendirme tankının dibine çöken tortular belirli periyotlarla temizlenmelidir.

2.8.4.1.2. Döner Fırçalı Filtre :

Döner fırçalı filtre, artık yağın içindeki kaba partikül şeklinde bulunan kirleticileri ayırarak separatörün yükünü azaltır. Artık yağ burada



ŞEKİL 2.61 Yağ Arıtma Santrali Şeması - Westfalia

filtrenin içinden geçerken kaba partiküller filtreye takılır ve dönen fırça kanatları ile toplanarak partikül tutucu konik yüzeylere doğru itilir. Konik hacimde biriken tortular periyodik olarak manuel veya otomatik şekilde boşaltılır. Plastik fırça kullanılması durumunda 160 mikrometrelik delik ölçülü tel kafesler ; paslanmaz çelik fırçalar kullanıldığı durumda 0.9 - 1 ve 2 mm çaplarda delinmiş plakalar kullanılmalıdır.

2.8.4.1.3. Santrifüj Separatörler :

Artık yağ içindeki, filtreden geçebilen katı kirletici maddelerin ve çeşitli kaynaklardan yağa karışmış olan suyu ayrıştırılması için önemli bir eleman olarak kullanılır. Separatördeki yüksek santrifüj kuvvetleri sadece katı partikülleri değil, farklı yoğunluklara sahip olmak kosulu ile değişik sıvıları da birbirinden ayırır.

Separasyon etkisi kirletici maddenin şekli, büyüklüğü, yoğunluğu, yapısı, çözünülebilirliği ve temizlenecek olan yağın viskozitesi, katı maddeleri parçalayıcılığı, çözünebilirliği vb. özelliklere bağlıdır.

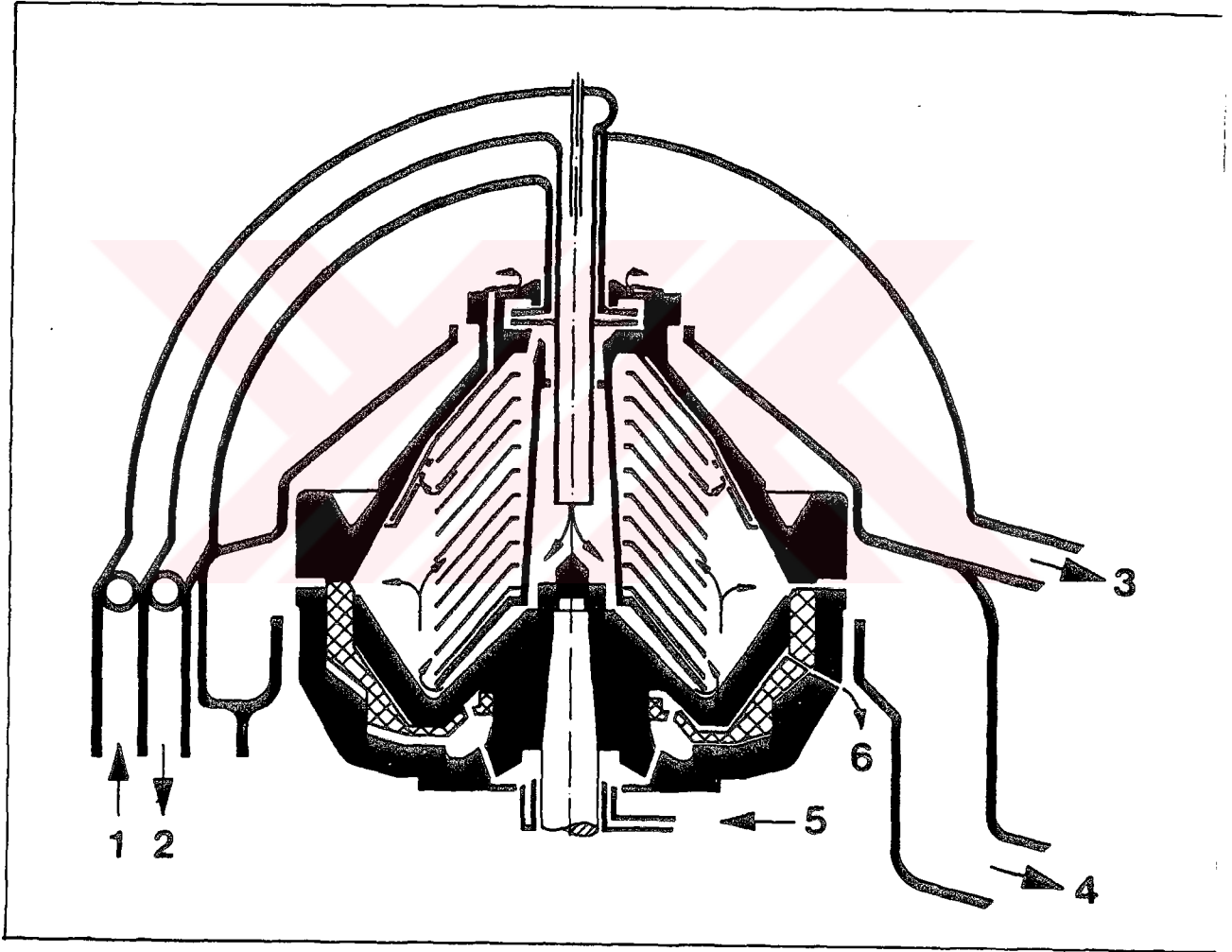
Bir santrifüj separatörden maksimum sürekli verim almak için aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekir ;

- Kendi kendine temizlenen tipte separatör olmadıkça, en az her 24 saatlik işletmeden sonra durdurulmalı, yeniden çalışmaya başlamadan evvel bütün dönen elemanlar gözden geçirilmeli ve temizlenmelidir.
- Santrifüj hızı yapımcının önerdiği değerde olmalıdır.
- Separatöre giren yağın sıcaklığı 75÷80°C sıcaklıkta olmalıdır. Biraz daha yüksek sıcaklıklara çıkmak separatör veriminde iyileşme sağlayabilir, fakat çok yüksek sıcaklıklara çıkmak sadece yağın özelliklerinin bozulma sonucunu doğurur.
- Bir seperatör maksimum debinin % 100 'ünü separe edebilmesine rağmen, genelde maksimum verim % 50 debi ile elde edilir. Örneğin 1000 galon/h

kapasitesine sahip bir separatör 500 galon/h 'lık bir kapasite ile kullanıldığında maksimum separasyon verimi elde edilir.

- Separasyon disklerinin boyutları doğru olarak seçilmelidir. Burada makina operatörlerinin en çok yaptığı hata olarak diskin çapının ya büyük yada küçük olarak seçmeleri sonucunda separasyon verimini kötü yönde etkiler.

Şekil 2.62 'de mekanik tip bir konvansiyonel santrifüj separatör sisteminin çalışma prensibi görülmektedir



1 Kirli Yağ Girişi
2 Temiz Yağ Çıkışı

3 Kirli Su Çıkışı
4 Çamur Çıkışı

5 Temizlik Suyu Girişi
6 Temizlik Suyu Çıkışı

ŞEKİL 2.62 Santrifüj Separatör

Kendi kendine temizlenen, otomatik kontrollü santrifüj separatör cihazlarının kullanımı artık yağların temizlenmesi için çok uygundur.

Bundan sonraki bölümde artık yağların temizlenmesinde otomatik kontrollü santrifüj separatörlerinin kullanımı için Westfalia A.G 'nin geliştirmiş olduğu bir metod açıklanacaktır.

2.8.5. Otomatik Kontrollü Santrifüj Separatör ile

Kullanılmış Ağır Hizmet Yağlarının Arıtılması :

Belirli bir uygulama sahası için, santrifüj separatörlerin uygun olması ekonomik ve teknik kriterlere bağlıdır. Burada santrifüj separasyon teknolojisinde karşılaşılan fiziksel kanunlar; ağır hizmet yağı bileşenleri için her birinin değişik yoğunluklara sahip ve birbirinden ayrılabilir nitelikte olmasını gerektirmektedir.

Bugüne kadar yapılan çalışmaların amacı yağın separasyonunu ilk önce mümkün mertebede daha iyileştirmek, bakım ve işletme personelinin işini kolaylaştırmak olmuştur. Bu amaç karmaşık olmayan sistemlerin seçilmesi ve arıtma santralının doğru olarak planlanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, personel daha iyi işletme ve kontrol işlemleri ile rahatlatılmıştır.

Yaklaşık 10 yıl önce geliştirilen, kendi kendine temizlenen adı VARIZONE isimli separatör, çok düşük kaliteli yağların separasyonunda bile tatmin edici sonuçlar vermiştir.

Bu konudaki çalışmalar sürekli olarak devam etmiş ve son yıllarda daha gerçekçi, yeni gelişmeler sağlanmıştır.

Varizone separatör sistemi yoğunluk, viskozite ve sıcaklık gibi fiziksel özelliklerin değişmesi durumunda bile mükemmel sonuçlar sağlamış ve hatta debideki düzensiz değişimden etkilenmemiştir. Bu sistem ağır hizmet yağlarının yanı sıra günümüzdeki düşük dereceli yakıtların problemlerine dahi çözüm sağlamıştır.

2.8.5.1 Otomatik Kontrollü Santrifüj Separatörlerinin Kullanılması

Ağır Hizmet Yağlarının Arıtılmasında Sağladığı Avantajlar

Bu avantajları şöyle sıralayabiliriz ;

- ∴ Yüksek seviyede temizlik
- ∴ Başarılı yağ ve su separasyonu
- ∴ Başarılı tuz arıtması
- ∴ Daha az tortu (Artıkları yok etme masrafında azalma)
- ∴ Basit işlem
- ∴ Otomatik kontrol işlemi ile uzun işletme süresi
- ∴ Düşük aşınma seviyesi
- ∴ Düşük bakım masrafları

2.8.5.2. Separasyon işlemine Etki Eden Faktörler :

Daha önceki bölümlerde açıklanan nedenlerden dolayı ağır hizmet yağları daha yüksek viskozite, yoğunluk ve kirlenme özelliğine sahiptir. Bu özelliklerin separasyon işlemine etkisi ayrı başlıklar altında işlenecektir

a) Separasyon Limiti :

Ağır yağların daha yüksek verimle separasyonu için yapılan tane boyutu araştırmaları hızla sürmektedir.

Bu araştırmalara dayanarak Dr. K.H.BRUNNER'in ileri sürmüş olduğu kuramsal partikül limit çapı formülleri pratikte de başarı ile kullanılmış. Separatöre ait veriler ve artık yağın özelliklerine bağlı olarak (2.65) formülü, sadece artık yağların özelliklerine bağlı olan (2.66) nolu formül aşağıda verilmektedir.

$$d_{limit} = \left\{ \frac{27 \cdot \tan \alpha \cdot Q \cdot \gamma \cdot \rho_F}{\pi \cdot [1 - (r_{d1}/R_{d1})^3] \cdot R^3 \cdot N_d \cdot \omega^2 \cdot (\rho_S - \rho_F)} \right\}^{1/3} \quad (2.65)$$

$$d_{limit} = Constant \left\{ Q \cdot \gamma \cdot \left[\frac{\rho_F}{\rho_S - \rho_F} \right] \right\}^{1/3} \quad \dots\dots\dots (2.66)$$

- d : Partikül çapı (m)
 α : Santrifüj separatörün çeperinin yatayla yaptığı açı (°)
Q : Debi (m³/s)
 ν : Kinematik viskozite (m²/s)
 ρ_F : Artık yağın yoğunluğu (kg/m³)
 ρ_S : Katı partikülün malzemesinin yoğunluğu (kg/m³)
 r_{di} : Disk iç yarıçapı (m)
 R_{dd} : Disk dış yarıçapı (m)
 N_d : Disk sayısı
 ω : Açısal hız

b) Yüksek Viskozitenin Separasyon işlemine Etkisi :

Separatörler daha önceleri 380 cSt / 50°C 'a kadar viskoziteli yağları ayırtırmak için yapıldı ve separasyon sıcaklığı 95°C olarak tavsiye edilirdi. Oysa yakın bir gelecekte endüstride 700 cSt / 50°C lık ve daha yüksek viskoziteli yağlarında kullanılacağı tahmin edilmektedir.

Yapılan deneyler otomatik kontrollü santrifüj separatörlerde, 1670 cSt / 50°C (85 cSt / 100°C) viskoziteli yağların mükemmel şekilde ayırtırılabilceğini göstermiştir. Viskoziteleri 30+1670 cSt/ 50°C arasında olan, çok değişik tiplerdeki ağır hizmet yağları Alman Shell firmasınınca, Westfalia Separatör A.G 'nin imal etmiş olduğu yağ arıtma santralleri kullanılarak, Hamburg'da başarı ile arıtılmıştır.

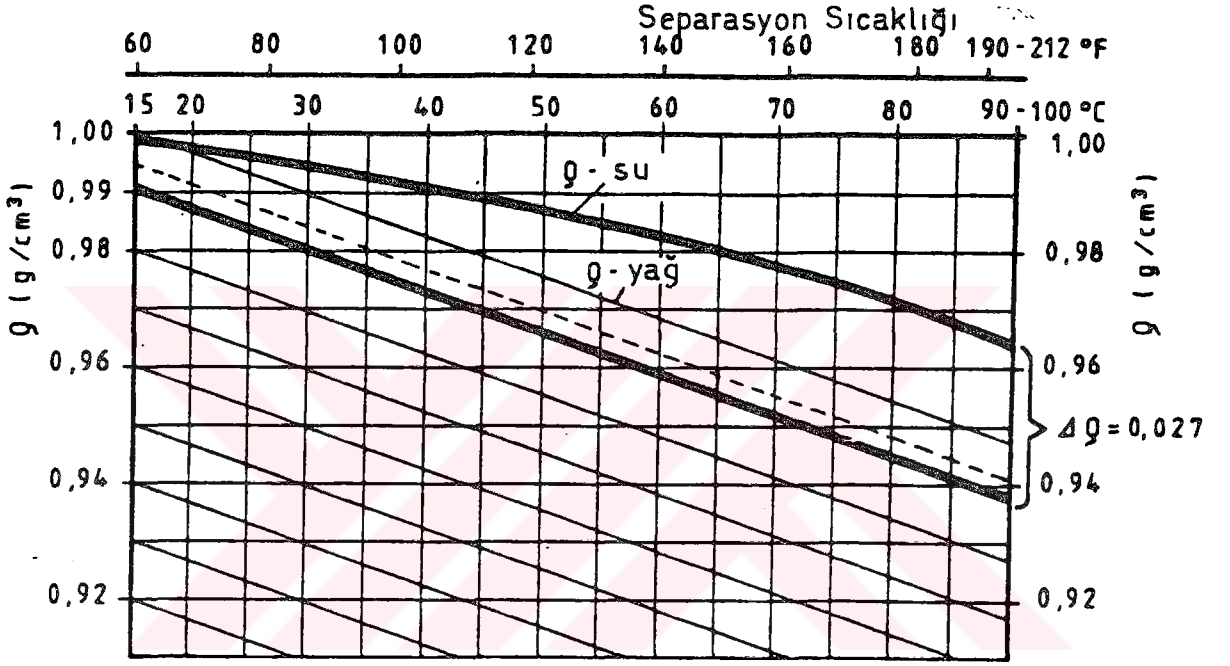
Görülmüştür ki; en iyi sonuçlar $\nu = 1670$ cSt / 50°C ile en yüksek viskoziteli yağın ayırtırılmasında alınmıştır. Bu iyi neticeleri almak için viskozite değeri arttıkça yağ debisinde bir azaltma yapmak gerekir. Pratikte de başarılabilinen, teorik separasyon limitini tanımlayan (2.65) ve (2.66) formüllerden de görülebileceği gibi karekök içindeki değerin sabit kalması için, aynı partikül çapı ve artan viskozite değerlerinde yağ debisinde bir azaltma gereklidir.

c) Yüksek Yoğunluğun Separasyon işlemine Etkisi :

Santrifüj separasyon işleminde, birbirinden ayrılacak maddelerin değişik yoğunluklara sahip olması temel esastır. Westfalia Separatör A.G deneylerinde $\rho_{15} = 0.9541 + 1.0305$ gr/cm³ yoğunluktaki yağları kullanmış ve

tesislerini bu yoğunluktaki yağlar için teklif edebilmiştir.

Şekil 2.63 'teki yoğunluk-sıcaklık diagramında görüldüğü gibi $\rho_{15} = 1.05 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluktaki bir yağ 100°C 'lık bir operasyon sıcaklığında 0.003 gr/cm^3 lük bir yağunluk farkı ile sudan hafif olup, sudan ayrılması . gayet kolay başarılabilir. .



ŞEKİL 2.63 Yoğunluk-Sıcaklık Diagramı

$\rho_{15} > 1.05 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluktaki ağır hizmet yağının separasyonu için, suyun yoğunluğunun MgSO_4 çözeltisi karıştırılarak artırılması uygun bir işlem olur. MgSO_4 çözeltisi suyun yoğunluğunu artırarak büyük bir yağ-su yoğunluk farkı sağlar ve suyun yağdan ayrıştırılmasını kolaylaştırır. İşlem sonrasında MgSO_4 çözeltisi su ile beraber dışarıya atılır.

MgSO_4 zerrelerinin ağır hizmet yağının içinde kalması, aşağıdaki

nedenlerden dolayı diesel motor için avantajlar sağlayabilir. Şöyle ki; ağır hizmet yağlarının içerdiği % 6 vanadyum yanma esnasında vanadyum-pentoksit (V_2O_5) oluşturur. V_2O_5 diğer oksitlerle birleşerek, korozyona neden olan erime noktası düşük ($\approx 540^\circ C$) ötektik tuzlar oluşturur (Sodyumvanadilvanadat). Bu bileşiklerin eriyerek yapışma sıcaklıkları $500+520^\circ C$ civarındadır. Bu korozif maddeler sıcaklığı $500^\circ C$ 'ın üzerinde olan bölgelerde, örn. egzoz valfleri bölgesinde birikirler. Eğer $MgSO_4$ zerreleri yağın içinde kalmışsa Mg ile V reaksiyona girerek erime noktası sıcaklığı $1135^\circ C$ olan $3 MgV_2O_5$ oluştururlar. Diesel motorun herhangi bir bölgesinde bu kadar yüksek olan sıcaklıklara çıkılmadığından, bu bileşikler sıvı haline gelemeyerek burada birikinti oluşumuna ve korozyona neden olamazlar.

Yüksek yoğunluktaki bir yağın separasyonu için suyun yoğunluğu $\rho_{su} > \rho_{yağ}$ olmalıdır. Bu, suya piyasadan alınabilecek ingiliz tuzunun (% 20 $MgSO_4$ çözeltisi, $\rho_{15} = 1.21 \text{ gr/cm}^3$) çözeltisinin katılmasıyla sağlanır.

d) Asındırıcı Partiküllerin Separasyon işlemine Etkisi :

Motorda sirküle eden yağın içerisindeki toz, kurum, aşınma ürünleri gibi katı partiküller diesel motorun belirli bölgelerinde erozyona neden olurlar. Belirli bir ömür süresini doldurduktan sonra, atık ürün haline gelen yağın tekrar kullanılması için bu katı partiküllerden temizlenmesi gerekir.

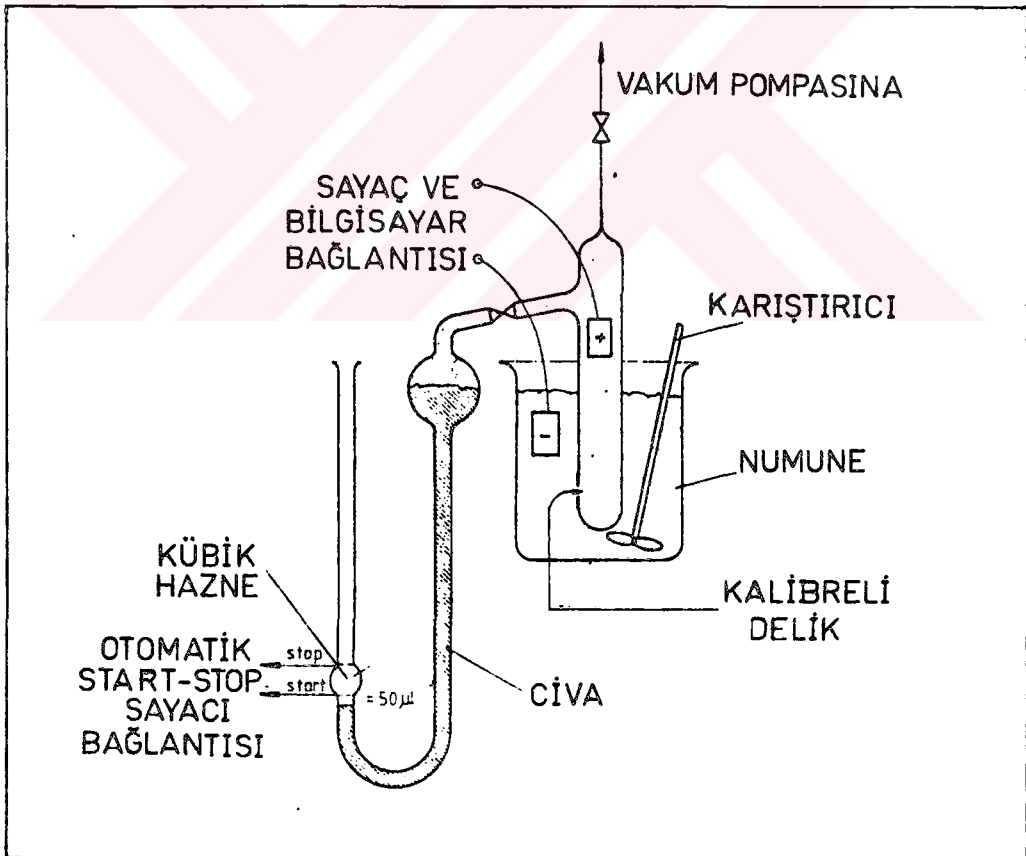
Katı partiküllerin temizlenmesinde santrifüj separatörlerin kullanımı diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar görülür. Westfalia Separatör A.G bu işlem için aşınmaya dayanıklı separatörlerin kullanılmasını tavsiye etmektedir.

Yapılan deneyler otomatik kontrollü Varizone separatörlerin çok yüksek viskoziteli yağın separasyonunda, sürpriz bir sonuç olarak, katı partiküllerin mükemmel şekilde separe edildiğini göstermiştir. Örneğin yağ viskozitesi = $1670 \text{ cSt}/50^\circ C$ ve yoğunluğu 1.005 gr/cm^3 olan bir ağır hizmet

yağının içindeki katı partiküller, 59±69 ppm'den, tek kademede 2 ppm'e iki kademede 1 ppm'e düşürülmüştür. Bu yaklaşık % 96'lık bir separasyon verimine karşılık gelmektedir.

Separasyon limitinin anlatıldığı bölümde açıklanmış olan ifade ve formüllerde de görüldüğü gibi separasyon işleminin başarılı olması için, sepere edilebilecek partikül çapını etkileyen faktörler belirlenmiş ve kuramsal çalışmaların sonucunda elde edilmiş olan bu formüller pratikte de başarıyla kullanılmıştır.

Separasyon veriminin belirlenmesi için separatöre giriş ve çıkış bağlantılarında, artıl yağın içindeki partikül sayısı elektrozon selloskop adı verilen bir cihazla tesbit edilmektedir [Şekil 2.64].



ŞEKİL 2.64 Elektrozon Sellokop

2.8.5.3. Otomatik Kontrol işlemi :

Kullanılmış ağır hizmet yağlarının separasyonu esnasında yağın yoğunluğu, viskozitesi ve debisi, separasyon sıcaklığının değişmesi gibi etkenler tanımlayamayan koşullarda separasyon etkisinin düşmesine neden olurlar. Separasyon etkisinin düşmesinde separasyon disklerinin arasındaki tıkanmaların da önemli oranda rolü vardır [Şekil 2.65].

Yapılan çalışmalar sonucunda uygulanmaya başlanan ;

- Otomatik Açma Sistemleri
- Tam Otomatik Valf Kontrol Sistemleri

ile bu koşulların separasyon etkisini düşürmesi büyük ölçüde önlenmiştir. Bir artık yağ santralinde bütün otomatik kontroller tek bir kontrol ünitesi tarafından idare edilir.

Filtrelerin ve separatörlerin boşaltma işlemi otomatik olarak kendi kendine başlar. Bir işletim hatası olması durumunda bu olay kendini, optik veya akustik olarak kumanda panosunda gösterir [Şekil 2.66].

Otomatik kontrol sisteminin bir bölümü separatör içindeki tortu miktarını belirleyerek görev yapar. Şöyle ki; separasyon esnasında yağın bir kısmı ayrılarak separatör içerisindeki basınç ölçere gönderilir. Buradan sonra bir orifisten geçerek besleme sistemine geri döner. Separasyon disk araları katı maddeler, su veya emülsiyonlarla dolduğu zaman buradan geçmekte olan yağın direnci artar ve basıncı düşer. Bu durumda basınç ölçer kontrol panosuna sinyal göndererek, otomatik boşaltma işlemini başlatır. Bu işlemin sıklığındaki artış yağ içerisinde çok fazla miktarda katı kirleticiler olduğunu gösterir.

Otomatik kontrol işleminin diğer bir bölümü ise su ile yağ arasındaki yoğunluk farkını belirleyerek görev yapar. Separatör içerisine yerleştirilen cihaz, yağ ile su arasındaki yoğunluk farkının çok düşük

olması durumunda kontrol paneline bir sinyal göndererek sistemi uyarır.

Artık yağların arıtım santrallerinde gerekli olan kontrol ve gösterge ünite sistemi aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır ;

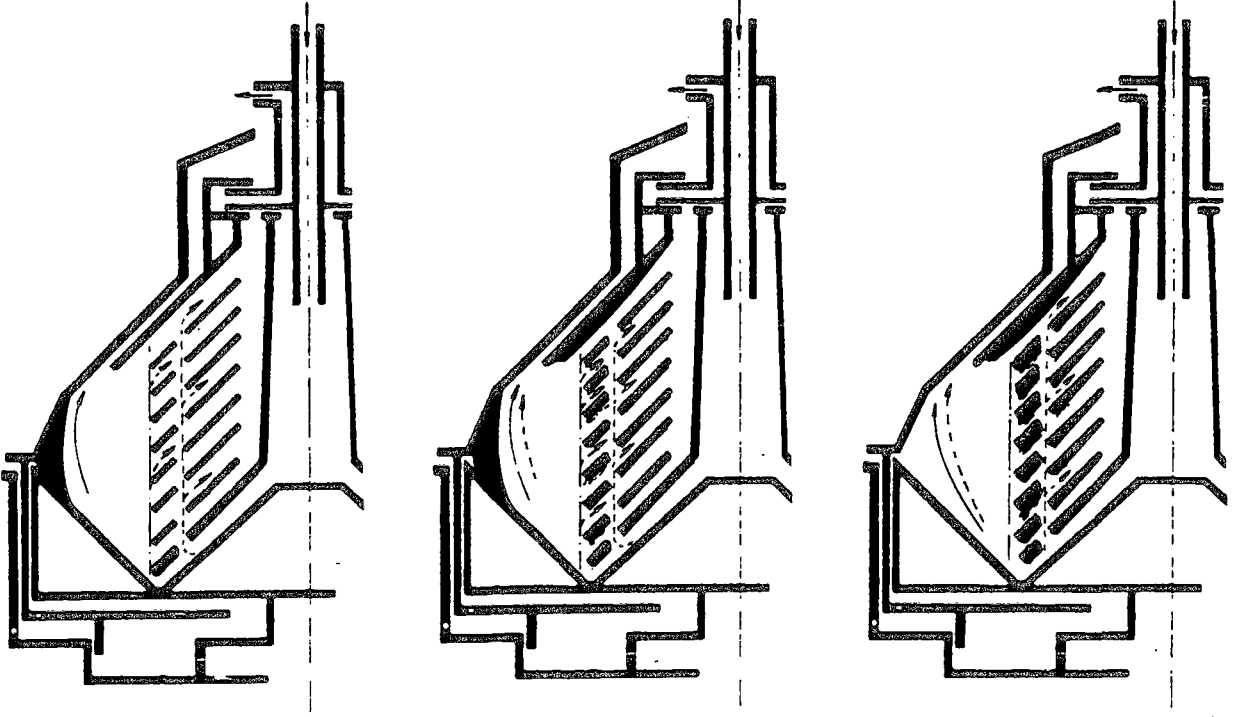
- Birden fazla separatörün aynı anda kontrolü
- Tek veya çift kademeli separasyon
- Separasyon işleminin katı maddelerin seviyesini ve su ile yağ arasındaki yoğunluk farkının tespiti ile kontrolü
- işlemlerin tam olarak elektronikliği
- işlemin basitliği
- Bakım kolaylığı
- Bakım masraflarının düşüklüğü
- Güvenilir ve uzun servis ömrü
- Klas müesseselerine uygunluk

Gösterge tablosundan izlenebilen değerler aşağıdaki gibidir ;

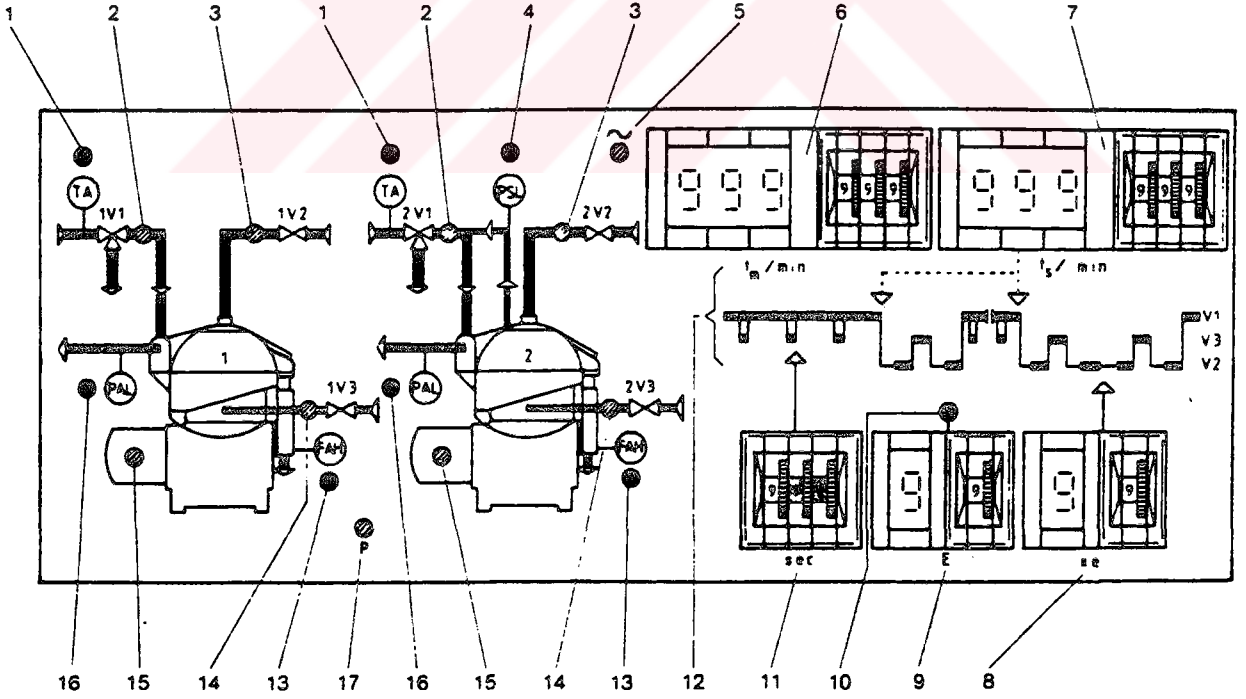
- Yağ debisi
- Yağ sıcaklığı
- Su miktarındaki artış
- Su çıkışından yağ kaçakları (Yağ kaybı)
- Motor sıcaklığı

Otomatik kontrol ünitesi ile santrifüj separatörler ideal bir kombinasyon oluşturarak, işletmeci için aşağıdaki avantajları sağlar ;

- Artık ağır hizmet yağlarının arıtılmasında yüksek verim
- Yoğunluk, sıcaklık, viskozite gibi faktörlerin düzensiz değişmelerinde bile yüksek separasyon verimi
- Kendi kendini temizleme
- Değişik tipte yağların kullanılmasında bile kolay işlem
- Tek ve iki kademeli separasyon seçenekleri



ŞEKİL 2.65 Disk Aralarının Zaman içinde Çamurla Dolması



ŞEKİL 2.66 Otomatik Kontrol Kumanda Fanosu

BÖLÜM 3.

SOGUTMA SİSTEMLERİ

3. DIESEL MOTORLARIN SOĞUTMA SİSTEMLERİ

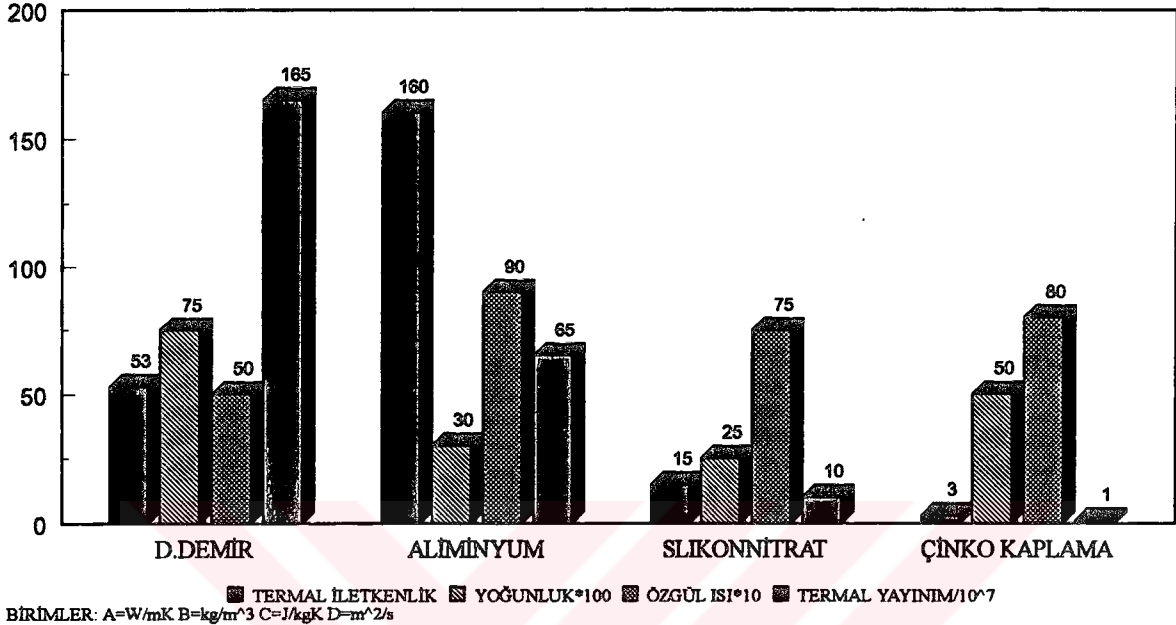
3.1. MOTORDA GENEL OLARAK ISI TRANSFERİ :

Bütün ısı-kuvvet makinalarında olduğu gibi, diesel motor çevriminde de çevreye ısı atılmaktadır. Bu ısı miktarı, diesel motorda yakılan yakıtın vermiş olduğu ısı ile motordan elde edilen iş farkına eşittir. Isı bir taraftan egzoz gazıyla atılırken, bir kısmı soğutma sistemi ve diğer bir kısmı ise yağlama yağıyla dışarı atılmaktadır. Bir kısım ısı miktarı da motor dış yüzeylerinden atmosfere radyasyon ve konveksiyon yoluyla atılır.

içten yanmalı motorlarda yanma gazlarının maksimum sıcaklığı yaklaşık 2500°K ($\approx 2227^{\circ}\text{C}$) civarındadır. Yanma odası çeper sıcaklıkları silindir, silindir kafası ve piston soğutma ile en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Çünkü bu denli yüksek sıcaklıklar malzemenin mekanik özelliklerini kaybetmesine neden olabilir. Yanma periyodunda silindir içinde birim zamanda birim yüzeye düşen ısıнын yaklaşık 10 MW/m^2 olduğu düşünülürse soğutmanın gereği daha iyi anlaşılır. Bununla birlikte, çalışma çevriminin diğer periyotlarında ısı akısı esasen sıfırdır. Aslında akı, yerel olarak değişir : Yanma odası içinde yüksek sıcaklıkta ve hızlı bir hareket halinde bulunan yanmış gazlar genellikle en yüksek akıda bulunurlar. Isı akısının yüksek olduğu bölgelerde termal gerilmeler kesme kırılmalarına yol açan seviyelerin altında tutulmalıdır (Böylece sıcaklık DD için 400°C 'den, Alüminyum alaşımları için 300°C 'den az olmalıdır). Silindir duvarının gaz tarafı, yağlama yağı tabakasının bozulmasını önlemek için yaklaşık 180°C 'nin altında tutulmalıdır. Ateşleme bujisi ve valfler ; aşırı ısınmış ateşleme bujisi elektrodları veya egzoz valflerinden doğan darbe erken ateşleme problemlerinden kaçınmak için soğutulmalıdır.

MALZEME TERMAL ÖZELLİKLERİ

(YANMA ODASI İÇİN)



ŞEKİL 3.1 Malzemelerin Termal Özellikleri

Termal dayanımlı layner malzemeleri termik özelliklerine göre şekil 3.1'de görülmektedir. İstenen yeterli soğutmanın sağlanabilmesi için yüksek sıcaklıklardaki gazlarla temas eden yüzeylerden soğutucu akışkana ısı transferi yüksek oranda olmalıdır. Bu durumda ortamlar arası sıcaklık farkının fonksiyonu olan şiddetli ısı akışları ; termal gerilmeler oluşturarak, söz konusu yüzeylerin mukavemetlerini limit değerlere doğru zorlar. Yanma ortamı ile soğutucu ortam arasındaki sıcaklık farkı ne kadar fazla olursa termal gerilmeler de o kadar yüksek olur. Malzemenin çatlama ve kırılmalarını önlemek için; özellikle gemi dieselleri gibi çok yüksek yanma sıcaklıklarına sahip makinalarda "soğutma suyu ısıtıcısı" ; "soğutma ve yağlama yağı ısıtıcıları" kullanılarak sıcaklık farkı azaltılmaya çalışılır

Dolgu prosesinde yanma odasına giren gazlar silindir duvarından daha soğuk olduklarından duvar ısısının bir kısmı zorlamalı konveksiyonla dolgu havasına geçer.Bu durumda ısı transferi kısa bir süre için silindirden dolgu gazınadır.Sıkıştırma prosesinde dolgu gazlarının sıcaklıkları artarken hızları düşer.Artık,ısı transferi konveksiyon ve radyasyon yoluyla dolgu gazlarından silindir duvarınadır.Yanma esnasında gaz sıcaklıkları birden bire artar.Bu an yanma gazlarından silindir duvarına doğru meydana gelen ısı transferi oranının maksimum olduğu andır.Bundan sonra genişleme prosesinde gaz sıcaklıklarına bağlı olarak ısı transfer oranı da azalır.Egzos valfi açıldığında, üfleme prosesi silindir içerisinde yüksek hızları oluşturur ve gazlar egzos valfini ve portunu geçerler.Egzos gazlarından valfe, porta ve manifolda doğru olan esas ısı transferi egzos prosesi sırasında gerçekleşir.İsı transferi oranı silindir basıncı, yanmamış ve yanmış gaz sıcaklıkları, yanma odası yüzey alanı ve duvar sıcaklığı ve ortalama piston hızına karşılık gelen gaz hızlarından tahmin edilir.

3.2. SOĞUTMANIN ÖNEMİ :

Yukarıda anlatılanlardan sonra soğutma sistemlerinin dolayısıyla soğutmanın ne kadar önemli olduğu gayet iyi anlaşılmasına rağmen bu başlık altında konuyu yeniden irdelemenin yararlı olacağını düşünmekteyim.Diesel makinalarında yanma sırasında oluşturulan ısıнын bir bölümü, gazlar yardımıyla silindir duvarına eriştiğini ve onların sıcaklığına yükseldiğini daha önce belirtmiştik.Pistonları soğutulmayan makinalarda, silindir duvar sıcaklığının belirli bir değere,yaklaşık olarak 160°C'ye yükselmesine izin verilir.Bu sıcaklıkta yağlama yağının hafif bölümleri, hızlı bir biçimde buharlaşmaya başlar.Bunun sonucu hem piston ve hem de silindirlerde hasar oluşabilir.Aynı zamanda, makina parçalarının bazılarındaki yüksek lokal sıcaklıklar ; örneğin silindir başlığı ve pistonlar vb. parçalarda aşırı

gerilmelere ve dolayısıyla çatlamalara neden olabilir. Böylece piston ve silindir laynerleri arasındaki sürtünme nedeniyle ek bir ısı oluşabilir. yağla soğutulan pistonlarla, silindir layner sıcaklığı güvenlik sınırları içinde kaldığı halde, soğutulmayan pistonlara göre oldukça düşüktür.

Daha önce de belirtildiği gibi, diesel makinalarının operasyonları sırasında, yanma odalarında yüksek bir sıcaklık (1400-2200°C) oluşur. Bunun sonucu olarak, çalışma çevrimi sırasında ve tam yük altında bir silindirdeki gazların ortalama sıcaklığı 500-800°C değerleri arasında değişir.

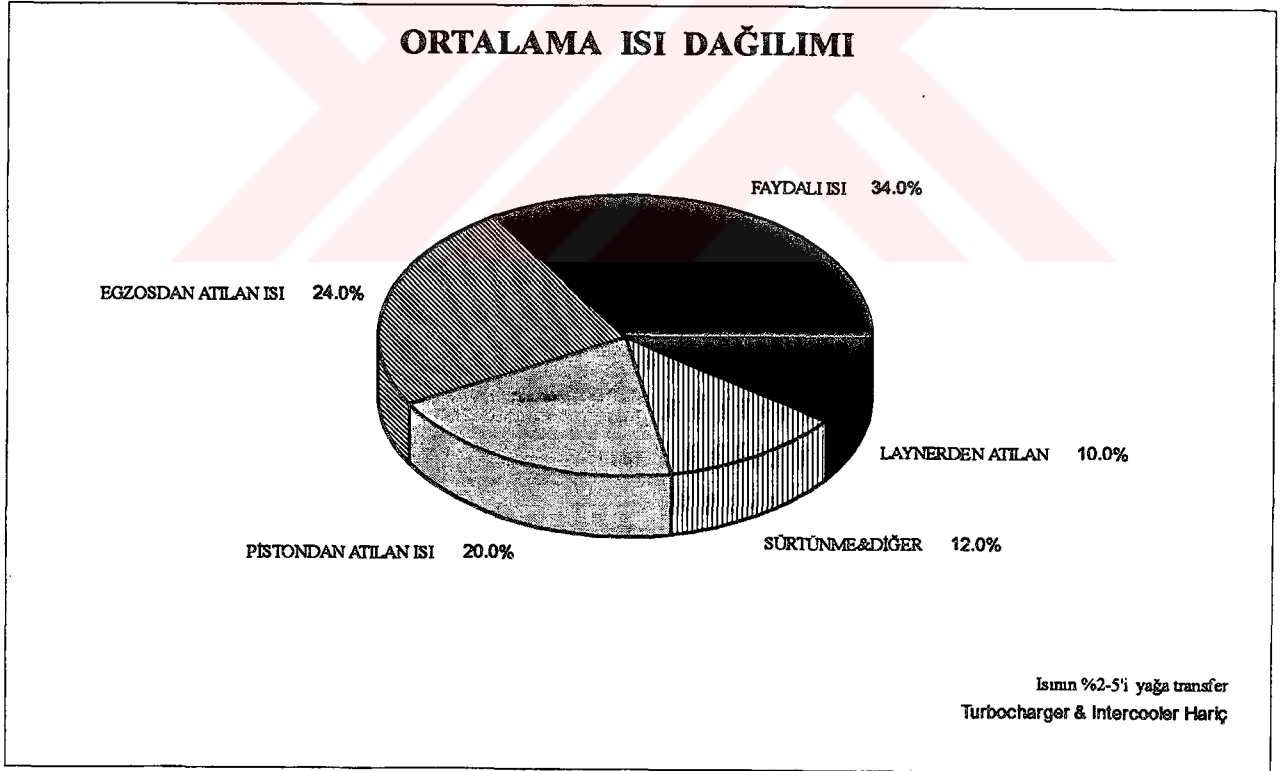
Bu sıcaklıktaki gazların ısısı silindir duvarı tarafından emildiği için makinanın yağlama açısından operasyonu yeterince güvenli olmaz. Bu durumda silindir duvarındaki yağ filmi hızlı olarak yanacağından, sürtünen parçalar arasındaki klerensler ortadan kalkar ve bu bölümler hızlı bir biçimde aşınır, piston kafası ve valf diskleri tavlanıp yanar. Bu bakımdan müsaade edilir sıcaklığı sürdürebilmek için, piston kafalarının zorunlu olarak soğutulması gerekir. Pistonların, operasyon sırasında sürtünmeleri nedeniyle oluşan ısı, silindir laynerleri tarafından soğutma suyuna aktarılır. Bu arada yataklardaki sürtünmeden gelen ısı yağlama yağı tarafından yatak dışına, krankkeyse ve oradan da kulere taşınır ve oradan deniz suyuna aktarılır. Böylece zorunlu soğutma sistemi yardımıyla makinanın çalışan parçalarında düşük bir sıcaklık sağlanır ve sürdürülür.

Yakıtın yanmasıyla diesel makinaları silindirlerinin yanma odalarında üretilen ısı miktarı, yaklaşık olarak 1250-2200 kcal/bhp.h değerleri arasında değişmektedir. Deneyler suyla soğutulan makinalarda bu ısının %28-%33'ünün soğutma suyu ; hava ile soğutulan makinalarda ise %15-%25'inin havayla makina dışına taşındığını göstermektedir. Eğer bu ısının çıkarılması için bir işlem yapılmayacak olunursa ; silindir metal sıcaklığı, yanma gazlarının silindirleri terkederken taşıdıkları sıcaklığa yaklaşır. Bu

sıcaklığın makinalara vereceği zarar, başka hiçbir şeyle kıyaslanamayacak kadar önemlidir. Sonuç olarak ; gemi ana ve yardımcı makinalarının soğutulması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

3.3. MAKİNADA ISI DAĞILIMI :

Motor yanma odasında oluşan ısının bir kısmı faydalı işe çevrilirken diğer bir kısmı da çeşitli sebeplerden kaybedilir. Bu kayıpların başlıcalarını egzoz gazları ile atılan ısı, soğutucu akışkana transfer olan ısı ve eksik yanma sonucu kaybedilen ısı başlıkları altında toplamak mümkündür. Şekil 3.2'de orta güçlü gemi diesel motorları için ortalama ısı dağılımı görülmektedir. Motorda ısı dağılımı çalışma koşullarını tanımlayan yük, devir, karışım bileşenleri gibi etkilere bağlıdır. Bu nedenle çevrimin



ŞEKİL 3.2

verimi için ısı önemli bir faktördür. Verimin hesaplanabilmesi için ne kadar ısının faydalı ise çevrildiği, ne kadarının kaybedildiği bilinmelidir.

Temel olarak yanma sonucu oluşan ısıyı şöyle ifade edebiliriz :

$$Q_{TOP} = Q_e + Q_{soğ} + Q_{egz} + Q_{ik} + Q_R \dots\dots\dots (3.1)$$

Q_e : efektif iş [kcal/h]
 $Q_{soğ}$: soğutucu akışkana geçen ısı
 Q_{egz} : egzoz gazları ile atılan ısı
 Q_{ik} : eksik yanmada kaybedilen ısı
 Q_R : diğer kayıplar

Bu durumda ısı dağılımının tam olarak hesaplanabilmesi için belirtilen ısı kayıplarının ayrı ayrı bilinmesi gerekir. Buna göre :

Yanma Sonucu Oluşan Isı : Saatteki yakıt harcamasına göre

$$Q_{TOP} = H_L \cdot B_e \dots\dots\dots (3.2)$$

olarak tanımlanır. Burada H_L : yakıtın alt ısı değeri, B_e : saatteki yakıt sarfiyatıdır.

Faydalı Isı : Motor çıkışından alınan efektif güce eşdeğerdir. Bu gücün saattan ölçülmesi ile bulunabilir ($Q_e \approx N_e$ [Watt])

Egzoz Gazı ile Atılan Isı : Egzoz gazları dışarı atılırken bünyesindeki ısıyı da beraberinde götürür. Buna göre,

$$Q_{egz} = B_e \cdot [M_b \cdot (\tau \cdot C_p) \cdot T_{gaz} - M_a \cdot (\tau \cdot C_p) \cdot T_o] \dots\dots\dots (3.3)$$

şeklinde formülize edilir. Bu formülde :

$B_e \cdot M_b \cdot (\tau \cdot C_p)$: Egzoz gazları ile silindirden atılan ısı
 $B_e \cdot M_a \cdot (\tau \cdot C_p)$: Taze hava ile silindire alınan ısı
 $\tau \cdot C_p$: Sabit basınçta yanma ürünleri molar ısı kapasiteleri
 $\tau \cdot C_p$: Sabit basınç taze hava molar ısı kapasitesi
 T_{gaz} : Egzoz gazları sıcaklığı
 T_o : Taze hava sıcaklığı

Eksik Yanma Nedeniyle Kaybedilen Isı : Bu ısı kaybı karışım özelliklerine bağlı olarak ifade edilir. Eksik yanmayı tanımlayan değer karışım oranı " ϕ " ile değişen karışım alt ısı değeri " H_k " dır.

$$H_k = 28650 \cdot (1-\phi) \cdot A_{tH} \dots\dots\dots (3.4)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir [$A_{tH} \approx 0.5$ kmol]. Bu bağıntıdan eksik yanma

ısı kaybını ifade eden

$$Q_{1e} = H_k \cdot B_e \dots\dots\dots (3.5)$$

bağıntısına geçilebilir. Her iki bağıntıda sadece $\phi < 1$ koşulunda geçerlidir çünkü $\phi > 1$ durumunda meydana gelen eksik yanma ısı kaybı tesbit edilemez.

Sogutucu Akışkana Geçen Isı : Yanma odasında oluşan ısıнын bir kısmı da çeperlerden transfer olarak sogutucu akışkana geçer. Hesaplarda bütün çeperlerin her noktasında sıcaklığın sabit ve aynı olduğu ideal model düşünülerek işlem yapılır. Silindir içi yanma sonucu akışkana transferinde bir kısmının radyasyon yoluyla bir kısmının da konveksiyonla geçtiği bilinmektedir. Buna göre sogutucu akışkanlara toplam ısı transferinin :

$$Q_{soğ} = Q_{rad} + Q_{kon} \dots\dots\dots (3.6)$$

şeklinde ifade edilmesi gerekir. (Q_{rad} :Radyasyon yoluyla transfer olan ısı Q_{kon} :Konveksiyon yoluyla transfer olan ısı)

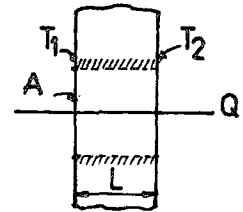
3.4. ISI TRANSFERİ MEKANİZMALARININ GENEL OLARAK İNCELENMESİ

3.4.1. Isı iletimi (conduction) :

Bir ortamın farklı sıcaklıkta bulunan bölgeleri arasında veya birbirleri ile doğrudan doğruya temasta sıcaklıktaki ortamlar arasında makroskopik manada bir hareket olmaksızın meydana gelen ısı transferi şeklidir

a. Kinetik teoriye göre yüksek sıcaklıktaki atom ve moleküllerin kinetik enerjileri ; düşük sıcaklıktaki atom ve moleküllerin kinetik enerjilerinden daha fazladır. Bunun neticesi olarak, yüksek sıcaklıktaki atom ve moleküller kinetik enerjilerini düşük sıcaklıktaki atom ve moleküllere iletirler.

b. Serbest elektron teorisine göre ısı iletiminin özel kanunun çıkarılmasında aşağıdaki deneyden faydalanılır. Bunun için L kalınlığında homojen ve izotropik bir levha göz önüne alınır (Şekil 3.3). Levha içinde kesit alanı A olan hayali ve izole bir silindir seçilir. Levhanın



ŞEKİL 3. Isı iletimi

yüzey sıcaklıkları T_1, T_2 ve $T_1 > T_2$ olsun. Termodinamiğin birinci kanununa göre, sürekli rejim halinde, levhanın paralel yüzeyleri arasında sabit bir Q ısısı geçmelidir. Termodinamiğin II. kanununa göre ise, ısının geçiş yönü yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğrudur. $(T_1 - T_2)$ sıcaklık farkı levhanın özelliklerini değiştirmeyecek kadar küçük ise, azalan sıcaklık yönünde, birim zamanda iletilen ısı miktarının,

$$Q = k.A. (T_1 - T_2) / L \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

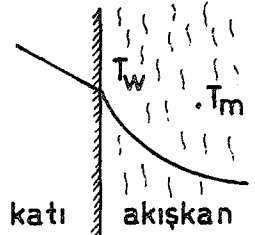
şeklinde olduğu görülür. Burada k 'ya levha malzemesinin ısı iletim katsayısı denir. Bu formül homojen ve izotropik ortamlar için Fourier'in ısı iletim kanunu olarak bilinir. Fourier kanunu hareketsiz sıvı ve gaz ortamlarda uygulanabilir. Isı iletim katsayısı genellikle sıcaklıkla değişir.

3.4.2. Isı taşınımı (convection) :

Bir ortam içindeki akışkanın makroskopik seviyedeki hareketinden dolayı meydana gelen ısı transferi şeklidir. Akışkan hareketi, sadece sıcaklık farkının bir neticesi olan yoğunluk farkından dolayı meydana geliyorsa buna doğal ısı taşınımı (tabii konveksiyon) adı verilir. Eğer akışkan hareketi, akışkan üzerine dışarıdan uygulanan basınç tesiri ile meydana geliyor ise buna da zorlanmış ısı taşınımı denir. Isı taşınımı esnasında birbirinden farklı sıcaklıktaki akışkan zerreleri arasında, ısı taşınımına oranla azda olsa, ısı iletimi (kondüksiyon) da vardır.

Isı taşınımı genellikle katı cisim ile akışkanın birbirine temas ettiği ara yüzey üzerinden olmaktadır. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi katı yüzeyle temasta bulunan akışkanın ortalama sıcaklığı T_m , katı yüzey sıcaklığı T_w ve ara yüzeyin alanı A ise, katı yüzey ile akışkan arasında birim zamanda taşınım ile

$$Q_m = h.A. (T_w - T_m) \quad \dots\dots\dots (3.8)$$



kadar ısı geçer. h : yüzey ısı transfer katsayısı

ŞEKİL 3.4 Taşınım



Bu denklem literatürde Newton'un soğuma kanunu olarak bilinmektedir. h katı yüzeyin geometrisine, akış şartlarına akışkanın fiziksel özelliklerine, sıcaklık, makina akış kanalının geometrisine ve giriş şartlarına bağlıdır.

Silindir içindeki yanmış gazların ısı ; gazın hareketi sonucu zorlamalı konveksiyon yoluyla silindir duvarına transfer olur. Duvar içinde ısı transferi kondüksiyonla meydana gelir. Duvar dış yüzeyinden soğutucu akışkana geçen ısıda yine zorlamalı konveksiyon yoluyla gerçekleşir. Bu üç ısı transfer basamağı şekil 3.5'te silindir cidarından transfer olan ısının sıcaklık ve cidar kalınlığına bağlı grafiği olarak görülmektedir.

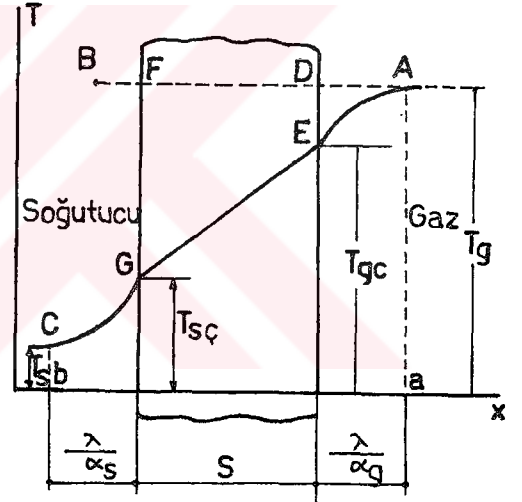
Yanma Gazlarından Silindir Duvarına Geçen Isı :

$$Q_n = h \cdot A_s \cdot (T_g - T_{so}) \quad \dots\dots (3.9)$$

Formülü ile ifade edilen ısı miktarı zorlamalı konveksiyonla yanma gazlarından silindir duvarına (çeperine) geçer. Burada T_g : gazların sıcaklığı, T_{so} : silindir çeperinin gaz tarafı sıcaklığı

Bu formülde bilinmesi gereken önemli parametre " h " film katsayısıdır. Bu katsayı ilk olarak Nusselt tarafından :

$$h \approx (P^2 \cdot T)^{1/3} \quad \dots\dots\dots (3.10)$$



ŞEKİL 3.5 Silindirdeki Sıcaklık Gradyeni

şeklinde ifade edilmiş; (P :yanma basıncı, T :yanma odası ortalama sıcaklığı) daha sonra Brilling tarafından piston hızına (S_p) bağlı olarak :

$$h \approx 0.99 \cdot (2.45 + 0.185 \cdot S_p) \cdot (P^2 \cdot T)^{1/3} \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

şekline dönüştürmüştür. Bunlara ek olarak bugün yüksek güçlü, iki stroklu makineler için kullanılan " h " formülü Eichelberg tarafından geliştirilmiştir. Buna göre aşağıdaki formül elde edilmiştir :

$$h \approx 2.1 \cdot (S_p)^{2/3} \cdot (P)^{1/2} \cdot T \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

Pflaum yüksek güçlü ve aşırı dolgulu makinaları da göz önüne alarak "h" ı dolgu basıncı (P_L) ve piston hızının fonksiyonu olarak :

$$h \approx f(P_L) \cdot f(S_p) \cdot (P)^{1/2} \cdot T \quad (3.13)$$

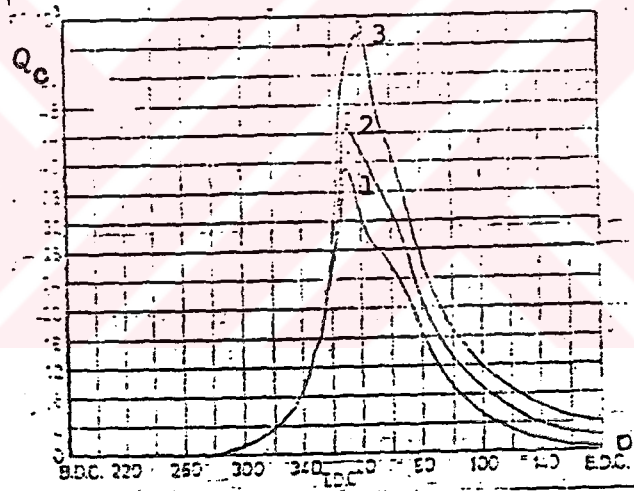
şeklinde ifade etmiştir. Bu formülde :

$$f(S_p) \approx 6.9 - 5.9 [(4.5) \exp(-0.098 \cdot S_p)^{1.6}] \quad (3.14)$$

$$\text{Piston ve kafa için} \quad f(P_L) \approx 2.3 \cdot (P_L)^{0.25} \quad (3.15)$$

$$\text{Silindir duvarı için} \quad f(P_L) \approx 0.8 \cdot (P_L)^{0.66} \quad (3.16)$$

olarak hesap edilmiştir. Şekil 3.6'da h'nin krank açısına göre değişimi çeşitli bilim adamlarının teorileri ile hesaplanarak verilmiştir.



Konveksiyon yoluyla ısı transferi nin açısal yolun fonksiyonu olarak değişimi. 1- yüksüz 2- yarım yük 3- tam yük.

ŞEKİL 3.6 Konveksiyonla Isı Transfer Katsayısı Diagramı

Çeper içinde Isı Transferi : Bu transfer duvarın iç yüzeyinden dış yüzeyine kadar kondüksiyon yoluyla gerçekleşir. Transfer olan bu ısı ; sıcaklık farkları ve yüzeye bağlıdır.

Çeper içinde kondüksiyonla ısı transferi :

$$Q = (k/L) \cdot A_s \cdot (T_{\infty o} - T_{\infty c}) \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

şeklinde formülize edilir. Bu formül bir önceki bölümde çıkarılmış ve $T_{\infty o} = T_1$, $T_{\infty c} = T_2$ olarak verilmişti.

Çeperden Soğutucu Akışkana Isı Transferi : Bu transfer soğutucu hareketinden dolayı konveksiyon yoluyla gerçekleşir. Çeperden soğutucuya transfer olan ısı (3.8) formülünde daha önce verilmişti.

Toplam Isı Transferi :

Transfer edilen ısı daha önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi aynı olduğundan toplam transfer edilen ısı için genel bir bağıntı yazılabilir :

$$Q_{TOP} = C \cdot A_{TOP} \cdot (T_{\infty o} - T_{\infty c}) \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

Bu formül, bütün transfer basamağı formülleri ile eşitlendiğinde :

$$\frac{1}{C \cdot A_{TOP}} + \frac{1}{h_g \cdot A_g} + \frac{L}{k \cdot A} + \frac{1}{h_s \cdot A_s} \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

şekline dönüşür. Bu durumda silindir çeper alanı aynı olacağından $A_{TOP} = A_g = A_s$ göz önüne alınırsa ısı transfer katsayısı "C" :

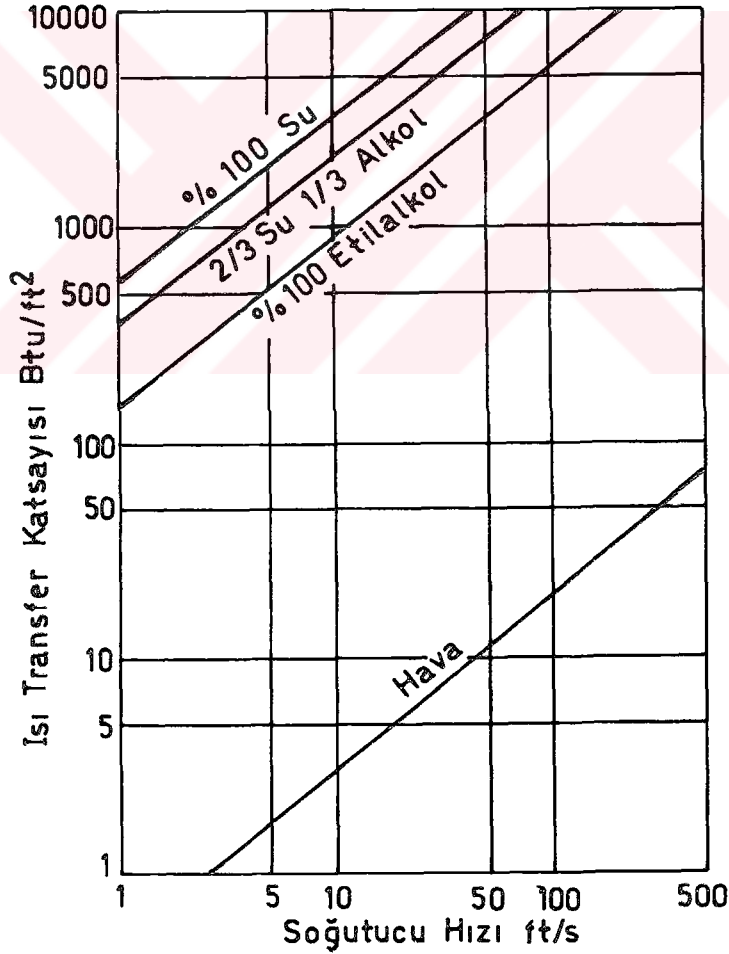
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{h_g} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_s} \quad \dots\dots\dots (3.20)$$

olarak ifade edilebilir. Böylece yanma odası ısı transferi birleştirilmiş bir formülle yaklaşık olarak hesap edilebilir.

Konveksiyonla ısı transferi (3.8) nolu eşitliğinin en önemli faktörü olan film katsayısı h bir çok faktöre bağlı karmaşık bir faktördür. Genelde ısı transfer yolunun uzunluğuna ve akışkanın kondüktivitesine bağlıdır. Yüzey filminin kalınlığı yani ısı transfer yolunun uzunluğu esas olarak yüzey üzerindeki akışkanın hızının, cinsinin ve türbülans miktarının bir fonksiyonudur.

Piston hızındaki herhangi bir değişme durgun film katmanını süpürneye meyilli yanma gazlarının hızında ve türbülansında bir artış

meydana getirir. Sonuç olarak film katsayısında hızlı bir artış ve buna bağlı olarak transfer olan ısı miktarında hızlı bir artış meydana gelir. Film katsayısının tayininde diğer önemli bir faktör silindir içindeki gazların yoğunluğudur. Fakat gaz yoğunluklarının ısı transfer miktarı üzerindeki etkisi, diesel motorlarında gaz yoğunluklarının yüke bağlı olarak değişmemesi nedeniyle yaklaşık olarak sabit kalır. Özgül ısı, konduktivite, iletkenlik ve akışkanın viskozitesi de ısı transferinde önemli rol oynar. Bu faktörler özellikle kullanılan soğutucu akışkanın tipine göre değişir. Su, su-alkol, etil alkol ve havanın soğutucu olarak kullanıldığı durumlarda film katsayısının değişimini veren diagram şekil 3.7'de gösterilmiştir. Herhangi bir hızda film katsayısının en büyük değerini su vermektedir.



ŞEKİL 3.7 Soğutucu Hızına Bağlı Olarak Film Katsayısını Veren Diyagram

3.4.3. Isıl Isıma (Radiation) :

Diesel motorlarda ısı transferinin %10-30'luk bir kısmı radyasyon yoluyla gerçekleşmektedir. Özellikle genişleme strokunda bu oran alt sınırdadır. Ancak yine de yüksek teknoloji motorlarındaki ısı transferi hesaplamalarında radyasyon ısı transferi ihmal edilmez.

Yanma odasından radyasyonla ısı transferini sağlayan maddeler simetrik moleküllü karbondioksit ve su partikülleridir. Buna göre ısınım yoluyla transfer olan ısı değeri (gaz sıcaklığı duvar sıcaklığından yüksek olduğu kabul edilecek) :

$$Q = \epsilon_g \cdot \epsilon_y \cdot C_s \cdot A \cdot \left\{ \left[\frac{T_g}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{gq}}{100} \right]^4 \right\} \cdot t \quad \dots (3.21)$$

$$C_s = \sigma_{SB} \cdot 100000000 \quad \dots (3.22)$$

$$\epsilon_g \approx \epsilon_y \cdot [T_g/T_{gq}]^{0.65} \quad \dots (\text{karbondioksit için}) \dots (3.23)$$

$$\epsilon_g \approx \epsilon_y \cdot [T_g/T_{gq}]^{0.45} \quad \dots (\text{su buharı için}) \dots (3.24)$$

σ_{SB} : Stefan-Boltzmann sayısı ($\sigma_{SB} \approx 4.965 / 100000000$)

ϵ_g : Yutma katsayısı

ϵ_y : Yayınım katsayısı (sıcaklık ve basınca bağlı olarak grafikler halinde literatürde yer alır)

t : süre (saat)

şeklinde hesaplanabilir. Ancak pratikte bu formülden türetilen :

$$Q_{RAD} = C_{RAD} \cdot [(T_g/100)^4 - (T_{gq}/100)^4] \cdot A \cdot t \quad \dots (3.25)$$

formülü diesel makinalar için yaygın olarak kullanılır. Bu formülde C_{RAD} radyasyon katsayısı Nusselt'in araştırmaları sonucu [$C_{RAD} = 0.362$] olarak bulunmuştur.

Tüm bu sonuçların verilmesine rağmen bu sonuçların doğrulukları kesinlikle ispatlanamamıştır. Öncelikle alevin radyasyonunun hesaplanamaması CO_2 ve H_2O buharının radyasyonunun silindir içerisindeki düşük kısmı basınçlardaki verilere göre hesaplanması, farklı silindir koşullarının sonuçları etkilemesi gibi şüpheli noktalar vardır. Buna rağmen ısı transferinde radyasyonla ısı transferi önemli bir yer almaktadır.

3.5. Yanma Odasında Hava ile Yakıtın Reaksiyonu Sonucu

Açığa Çıkan Isının Hesabı :

Diesel motorlarında termal enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi esnasında, sıkıştırma sonucunda termodinamik olarak sıcaklığı artmış olan hava içersine yakıt püskürtülünce oluşan reaksiyonda hava-yakıt karışımının yapısındaki kimyasal değişimlerden dolayı yüksek sıcaklıklar ortaya çıkar.

Yanma odası içersinde alevin ulaştığı ve alevin ulaşmadığı bölgeler olarak iki bölge kabul edilir. 1. Bölge alevin ulaştığı bölge olarak yanma gazları, taze hava, artık gazlar ve yanmamış çok zengin karışım ihtiva eder. 2. Bölge ise alevin ulaşmadığı bölgedir ve sadece artık gazlar ve yanmamış taze hava ihtiva eder. 1. ve 2. bölge için sırasıyla durun denklemlerini yazarsak ;

$$P_1.V_1 = Mb_1.Rb_1.Tb_1 + (Ma_L.Ra_1 + Mf_L.Rf).T_L \quad \dots\dots\dots (3.26)$$

$$P_2.V_2 = Ma_2.Ra_2.Ta_2 \quad \dots\dots\dots (3.27)$$

Sırasıyla 1. ve 2. bölge için enerji denklemlerini de yazarsak ;

1. Bölgede sıvı fazda

$$Mf_L.ef_L = Q_{eL} + hf_L.Mf_L \quad \dots\dots\dots (3.28)$$

1. Bölgede gaz fazda

$$Mb_1.eb_1 + (Ma_L.ea_L + Mf_v.ef_v) = Q_{eG} - Q - Q_1 + P_1.V_1 + hf_L.Mf_G \quad (3.29)$$

2. Bölgede

$$Ma_2.ea_2 = - Q_2 + P_2.V_2 \quad \dots\dots\dots (3.30)$$

Mb ₁ :	1. Bölgede yanmış gaz miktarı	M :	Miktar
Rb ₁ :	1. Bölgede yanmış gaz sabiti	R :	Gaz sabiti
Tb ₁ :	1. Bölgede yanmış gaz sıcaklığı	T :	Sıcaklık
Ma _L :	Yanmamış taze hava + artık gaz miktarı	u :	Yanmamış
Ra ₁ :	1. Bölgede taze hava + artık gaz sabiti	b :	Yanmış
Mf _L :	Yanmamış yakıt miktarı	a :	Taze hava + artık gaz
Rf :	Yakıt gaz sabiti	f :	Yakıt
T _L :	Yanmamış gaz sıcaklığı	L :	Sıvı
Ma ₂ :	2. Bölgede taze hava + artık gaz miktarı	G :	Gaz
Ra ₂ :	2. Bölgede taze hava + artık gaz sabiti	v :	Buharlaşmış

T_{a2} : 2. Bölgede taze hava + artık gaz sıcaklığı e : iç enerji
 M_{fL} : Sıvı yakıt miktarı h : Entalpi
 ef_L : Sıvı yakıt iç enerjisi
 Q_{GL} : Buhardan sıvıya transfer olan ısı miktarı
 hf_L : Sıvı yakıtın entalpisi
 M_{fL} : Sıvı yakıt miktarı
 M_{b1} : 1. Bölgede yanmış gaz miktarı
 eb_1 : 1. Bölgede yanmış gaz iç enerjisi
 ea_L : Yanmamış taze hava + artık gaz iç enerjisi
 M_{fV} : Buharlaşmış yakıt miktarı
 ef_V : Buharlaşmış yakıtın iç enerjisi
 Q_{LG} : Sıvıdan buhara transfer olan ısı miktarı
 Q : Açığa çıkan ısı miktarı
 Q_1 : 1. Bölgeden transfer olan ısı miktarı
 Q_2 : 2. Bölgeden transfer olan ısı miktarı

Kütlenin korunumu kanunundan hareketle aşağıdaki esitlikleri yazabiliriz ;

$$M_a = M_{a1} + M_{a2} \quad \dots\dots\dots (3.31)$$

$$M_{a1} = M_{aB} + M_{aL} \quad \dots\dots\dots (3.32)$$

$$M_{b1} = M_{aB} + M_{fB} \quad \dots\dots\dots (3.33)$$

$$M_f = M_{fB} + M_{fV} + M_{fL} \quad \dots\dots\dots (3.34)$$

$$M_{fG} = M_{fB} + M_{fV} \quad \dots\dots\dots (3.35)$$

Yanma sonucunda açığa çıkan ısı miktarı (3.28), (3.29) ve (3.30)

denklemlerinin birbirine eklenmesiyle ve düzenlemeyle aşağıdaki şekilde formüle edilebilir :

$$\begin{aligned} Q = & M_{b1}.eb_1 + (M_{aL}.ea_L + M_{fV}.ef_V) + M_{a2}.ea_2 + \\ & (eb_1.(M_{aB} + M_{fB}) - (ea_2.M_{aB} + ef_V.M_{fB}) + (ea_L - ea_2).M_{aL}) + \\ & M_{fG}.(hf_V - hf_L) + M_{fG}.(ef_V - hf_V) + Q_t + P.V \quad \dots\dots\dots (3.36) \end{aligned}$$

Yanma sonucunda açığa çıkan bu ısının bir kısmı faydalı güç olarak kullanılır, bir kısmı sürtünme, egzoz ve radyasyonla atmosfere atılır. Bir kısmı da soğutma sıvısı ve yağlama yağına geçer. (ba) numaralı denklemdeki Q_t , 1. ve 2. bölgeden transfer olan ısının toplamı olarak yanma odası çeperlerine transfer olan ısı miktarıdır.

$$Q_t = Q_1 + Q_2 \quad \dots\dots\dots (3.37)$$

Yanma odasında kaybolan ısıdır.

$$Q_t = Q - M_{b1}.e_{b1} - (M_{aL}.e_{aL} + M_{fV}.e_{fV}) - M_{aZ}.e_{aZ} - \\ (e_{b1}.(M_{aB} + M_{fB}) - (e_{aZ}.M_{aB} + e_{fV}.M_{fB}) + (e_{aL} - e_{aZ}).M_{aL}) - \\ M_{fG}.(h_{fV} - h_{fL}) - M_{fG}.(e_{fV} - h_{fV}) - P.V \quad \dots\dots\dots (3.38)$$

Yanma odasındaki prosesler; hızla değişen gaz sıcaklık ve basınçları, yüksek veya düşük mertebedeki akışkan hızları nedeniyle çok karmaşıktır. Yüksek hızlarda gerçekleşen bu olaylar bölgesel gaz basınçları, sıcaklıkları, hızları ve de şüphesiz olarak çeperlerin aleve göre konumları ile değişir. Yanma gazlarından yanma odası çeperlerine ısı transferi radyasyon ve konveksiyonla olur. 1. bölgedeki ısı transferi Q_1 konveksiyonla ısı transferi Q_{C1} ve radyasyonla ısı transferi Q_r 'nin toplamıdır. 2. bölgede ise sadece konveksiyonla ısı transferi olur ve Q_2 diye isimlendirilir.

$$Q_1 = Q_{C1} + Q_r \quad \dots\dots\dots (3.39)$$

$$Q_2 = Q_C - Q_{C1} \quad \dots\dots\dots (3.40)$$

1. ve 2. bölgenin yanma odasındaki durumu şekildeki (şekil 3.8) gibi düşünülerek ısı transfer yüzeyine göre hacim oranları yazılabilir ;

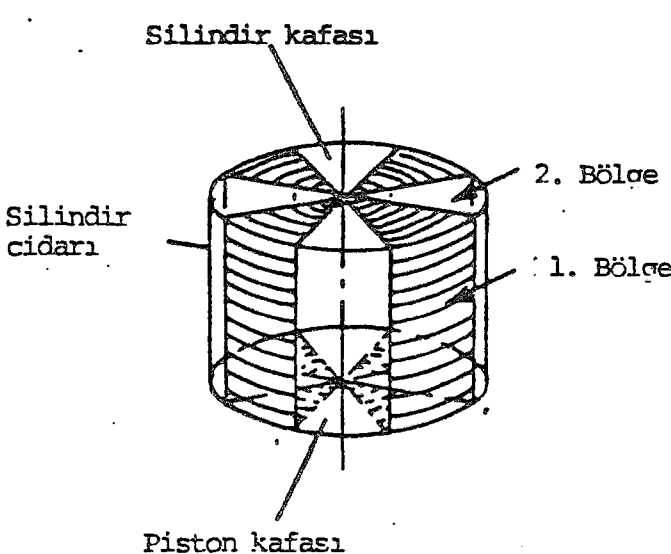
$$v_1 = V_1 / V \quad \dots\dots\dots (3.41)$$

$$v_2 = V_2 / V \quad \dots\dots\dots (3.42)$$

Isı transfer katsayılarını eşit kabul edersek 1. ve 2. bölge için ;

$$Q_{C1} = h . A . v_1 . (T_1 - T_w) \quad \dots\dots\dots (3.43)$$

$$Q_2 = h . A . v_2 . (T_2 - T_w) \quad \dots\dots\dots (3.44)$$



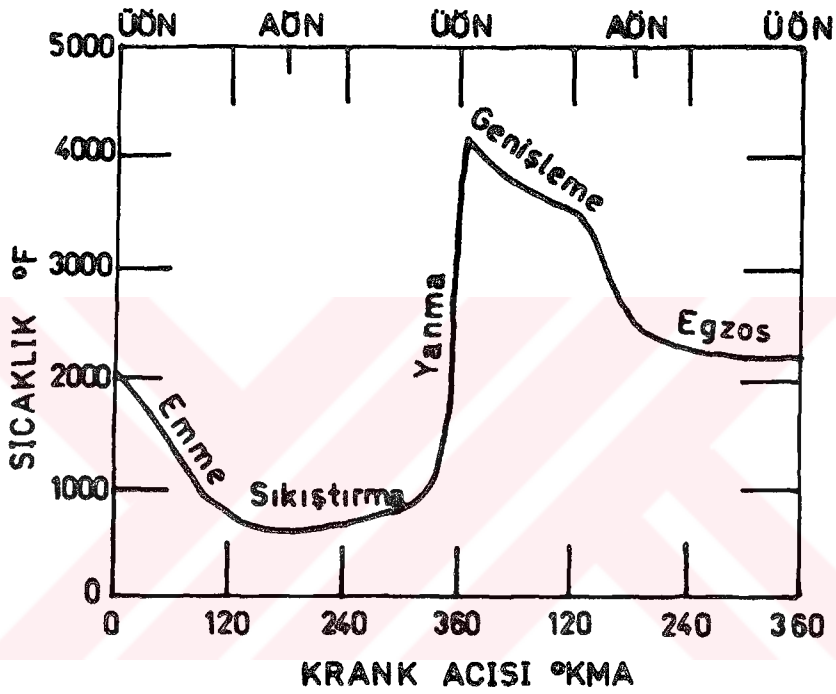
1. bölgeden oluşan konvektif ısı transferiyle beraber radyasyon ısı transferinin toplam ısı transferine oranı 1/3 tür. Yani

$$\frac{Q_r}{Q_C + Q_r} = \frac{1}{3} \quad \dots\dots\dots (3.45)$$

ŞEKİL 3.8
Reaksiyonda Yanma Odasının Durumu

3.6. Sıcaklığın Isı Transferine Etkisi :

Silindir içerisindeki sıcaklık değişimleri silindir duvarları ve film içerisinden ısı transferini büyük ölçüde etkiler. Sıcaklık farklılıkları ve silindir içindeki gazların sıcaklıkları, çalışma esnasındaki her bir çevrimdeki prosesler için çok geniş olarak değişim gösterir. Bu durum şekil 3.9'de bir grafikte gösterilmiştir.



ŞEKİL 3.9 Bir çevrimdeki Sıcaklık Değişimleri

Emme strokunun başlangıcında silindir içinde bir önceki çevrimden kalan artık gazların sıcaklığı vardır. Emme strokunda içeri giren soğuk taze dolgu, artık gazlar ve silindir çeperleri tarafından ısıtılır. Yani içeri dolan taze dolgu ortam sıcaklığını hızla düşürür. Sıcaklık sıkıştırma strokunun sonunda oldukça artar. Püskürtülen yakıtın yanmasıyla açığa çıkan Q_t ısıyla sıcaklıklar maksimum mertebeye çıkar. Genişleme stroku boyunca gazların genişlemesi sıcaklıkta belirgin bir düşme ortaya çıkarır, egzoz

valfi açıldığı zaman sıcaklıkta hızlı düşme devam etmektedir. Egzos stroku devam ettiği sırada da sıcaklıkta küçük bir miktar düşme görülür (Şekil 1.9)

Hava yakıt oranının değişimi de sıcaklıkları büyük ölçüde etkiler. Karışım oranı stokiometreden daha zengin bölgelere doğru artarsa (3.38) denkleminde de görüldüğü gibi açığa çıkan ısı miktarı artar. Netice olarak çeperlere transfer olan ısı miktarı da artar.

3.7 Isının Pistondaki Etkileri

Tüm diesel motorların pistonları, emme strokundaki çok küçük bir hava basıncıyla maksimum yanma basıncı arasındaki farktan meydana gelen bir mekanik zorlanmaya ve ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar nedeniyle oluşan ısı zorlanmalarına maruz bir şekilde çalışırlar. Yakıtın yanması sonucunda yanma odasındaki sıcaklık 1400+1500°C'tir. Böylece dökme demir ve piston yapımında kullanılan çeliklerin 340°C'ta kızmaya başladıkları ve 980°C'ta dövülebilir duruma geldikleri göz önünde bulundurulursa pistonların maruz kaldığı sıcaklığın büyüklüğü anlaşılır. Sonuçta pistonun sağlamlığı, bütün motorun güvenilirliğini etkilemektedir. Pistonun güvenliliği ise iyi bir yapının dışında ısı şartlarına bağlıdır.

3.7.1. Pistonda Sıcaklık Dağılımı :

Pistonun alt yüzeyine transfer olan ısının değeri yağ sıcaklığı T_o ve ısı transfer katsayısı h_o 'a bağlıdır. Bu ısı,

$$q_o = k \cdot (dT / dx) \quad \dots\dots\dots (3.46)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada k : kondüksiyon katsayısıdır.

Pistonun et kalınlığını h_{et} kabul edersek, $x = h_{et}$ olduğu durumda q_o sıcaklık gradyanı olarak tanımlanan Z_o 'a eşit olmaktadır.

$$Z_o = f (T_o, h_o) \quad \dots\dots\dots (3.47)$$

olarak T_o ve h_o 'a bağlıdır.

$$Z_o = h_o / k \cdot (T_{het} - T_o) \quad \dots\dots\dots (3.48)$$

Burada ;

T_{het} : $x = h_{et}$ durumunda pistonun alt yüzeyinin sıcaklığı

T_o : Yağ sıcaklığı

h_o : Isı transfer katsayısıdır.

Isı transfer katsayısı h_o soğutucu tipine bağlı olarak yüzey boyunca değişir. Fakat şu andaki soğutma metodlarına göre yüzey sıcaklığı aşağı yukarı sabittir. Dolayısıyla h_o ve Z_o sabit sayılabilir. Sıcaklık gradyeni boyutsuz koordinatlarla tanımlanan bir sayıdır. Ayrıca ısı transfer katsayısının hesabında önemli rol oynamaktadır. Burada gerekli ısı transferi denklemlerinin çözümü neticesinde pistondaki ısı yayılımı denklemi aşağıda görüldüğü şekilde ifade edilebilir.

$$\theta = T_o - \frac{Q}{F} \left(\frac{1}{h_m} + \frac{h_{et}}{k} + \frac{D}{k} \gamma \right) \dots \dots \dots (3.49)$$

Bu denklemde

T_o : Ortalama gaz sıcaklıkları

Q : Pistona transfer edilen ısı miktarı

F : Isı geçiş yüzeyi

h_m : Ortalama ısı transfer katsayısı

h_{et} : Piston et kalınlığı

D : Piston çapı

k : Kondüksiyon katsayısı

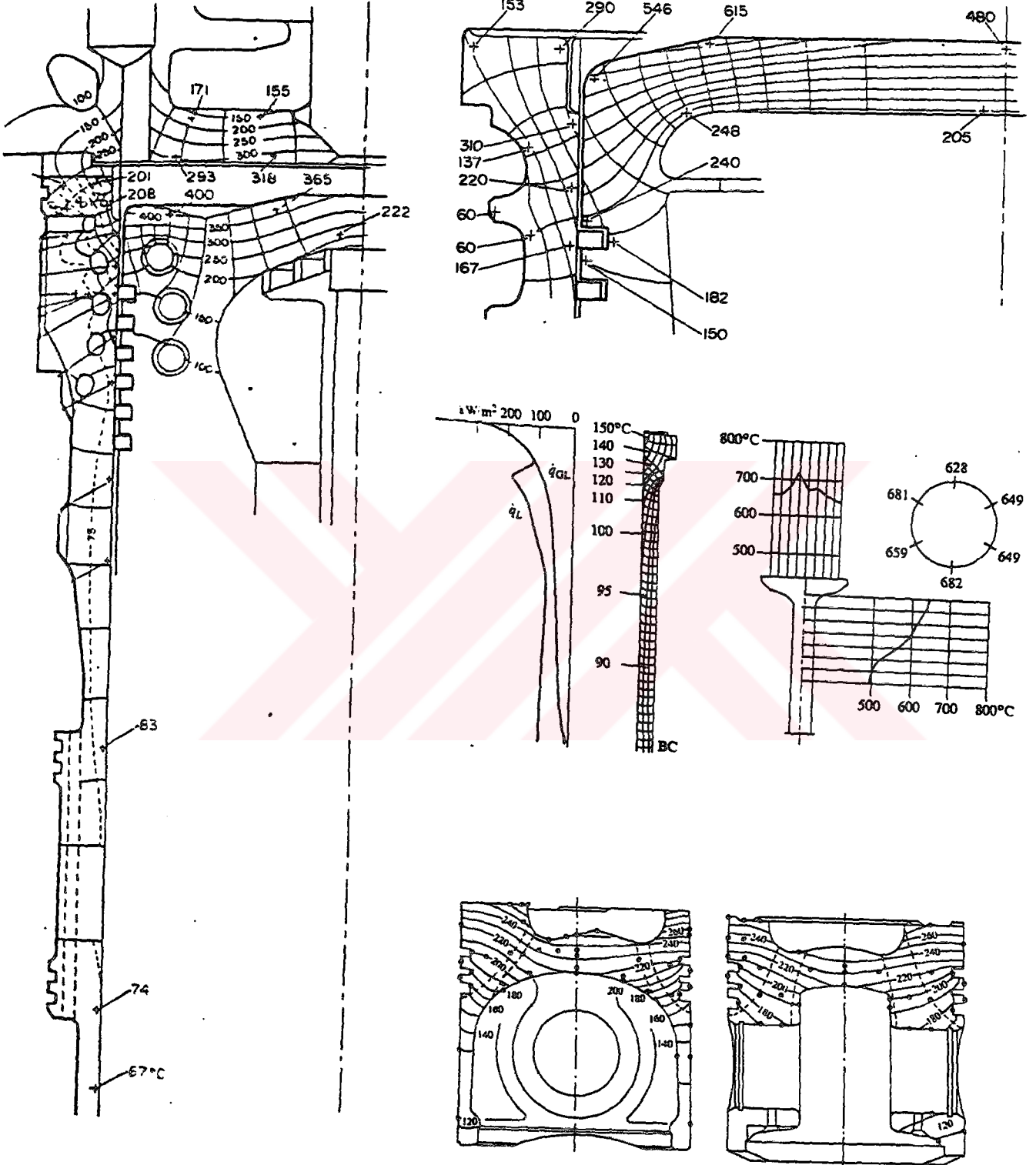
γ : Boyutsuz bir değer

$$\gamma = f (Bi, Gr, Nu, Pr, Re) \dots \dots \dots (3.50)$$

olarak tablolar halinde verilmektedir.

3.8 Isının Silindirdeki Etkileri:

Diesel motorlarında yanma odasında üretilen ısıнын büyük bir kısmını absorbe eden silindir cidarı gerekli önlem alınmadığı takdirde yüksek sıcaklık artışları meydana gelir. Bu da motorda hasara, hatta motoru durdurabilecek zorlanmalara neden olur. Silindir çeperindeki aşırı ısınmalar erken ateşlemeye neden olan sıcak noktalar meydana getirir. Aşırı sıcaklık nedeniyle karbonize olan yağ partikülleri aşınma ve çiziklere neden olur. Bu ısı transferine maruz kalan cidarların bakım ve onarımı, motorun verimi açısından çok önemlidir. Silindir cidarlarının sıcaklığı silindir yağlama ve sürtünme durumu etkileyecektir. Piston kafası, valf ve silindirdeki sıcaklık dağılımı eğrilerini ve sıcaklık değerleri şekil 3.10 'da görülmektedir.



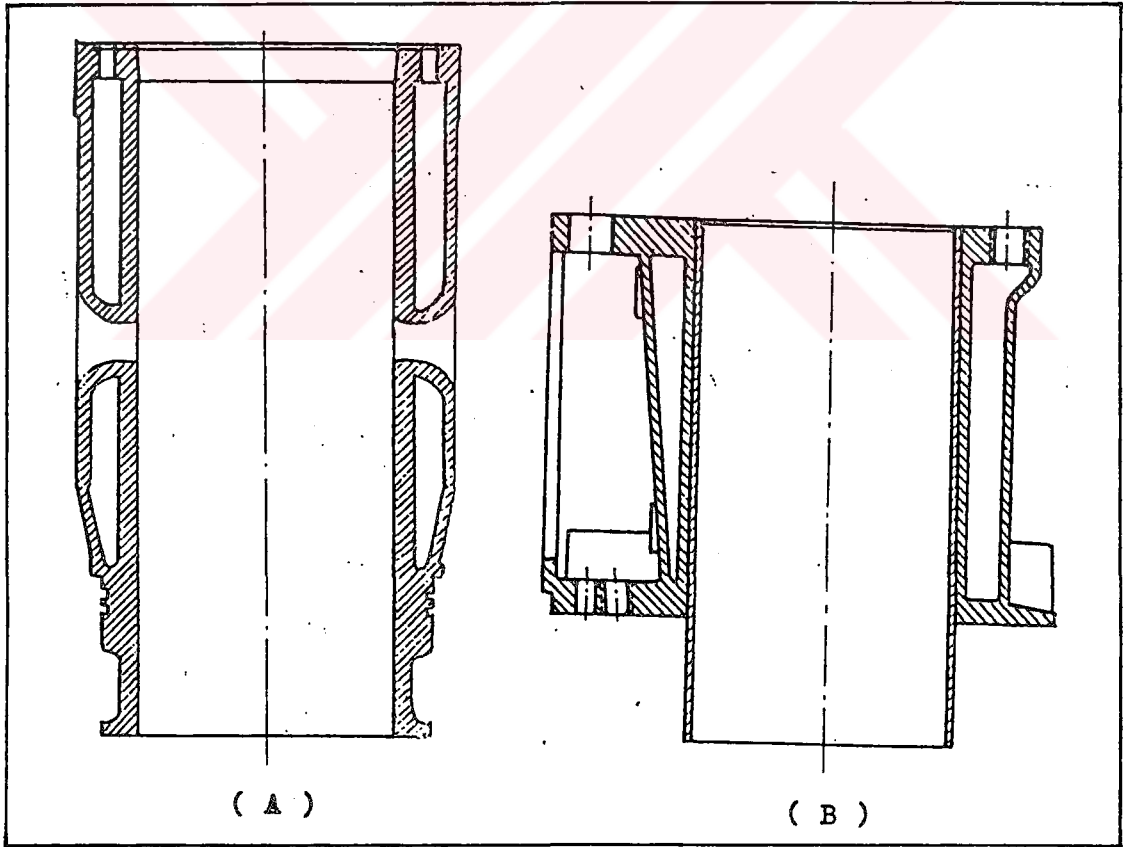
ŞEKİL 3.10 Piston Kafası, Valf ve Silindirdeki Sıcaklık Dağılımı

3.9. GEMİ DİSEL MOTOR ELEMANLARININ SOĞUTULMASI

3.9.1. Silindir Ceketlerinin Soğutulması :

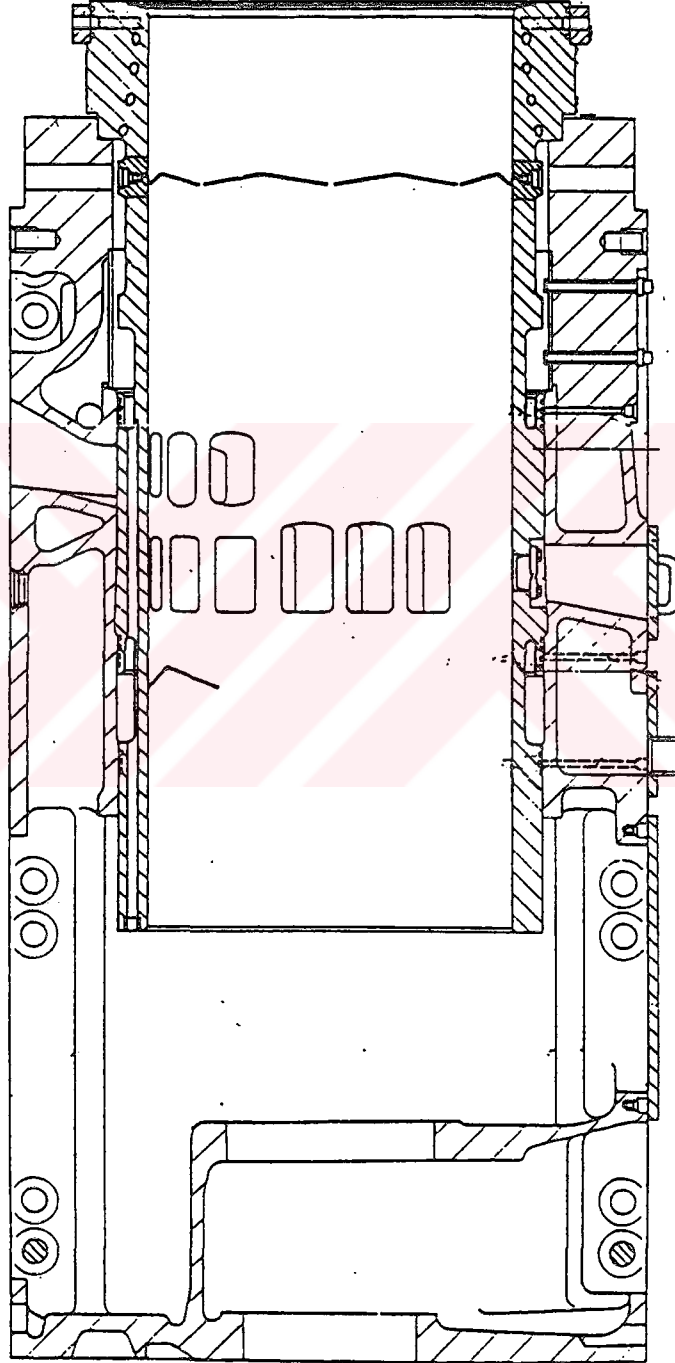
Yüksek güçlü gemi diesel motorlarında silindirlerin soğutulması için açık ve kapalı soğutma devrelerinden yararlanılır. Soğutma suyu genel halde silindir bloğunun alt tarafında bulunan nozul veya flenslerden girer ve bünyede doladıktan sonra üst tarafta bulunan borulardan silindir başlığına geçer. Böylece ısınmış haldeki soğutma suyu kollektör vasıtası ile su kulerine dönerek çevrimi devam ettirir.

Motorlarda pistonlar silindir ya da silindirlere geçirilmiş gömlekler içerisinde hareket ederler. Silindir ya da gömleklerin soğutulması için içlerinde soğutma suyunun dolaşacağı kanallar açılmıştır.



ŞEKİL 3.11 Yas (A) ve Kuru (B) Tip Silindir Ceketleri

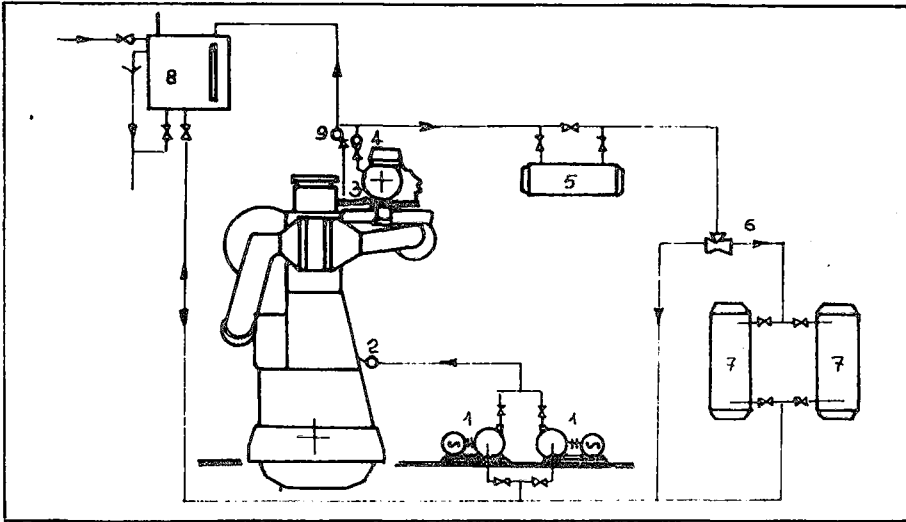
Silindir gömlekleri yaşı (A) ve kuru (B) tip olarak ikiye ayrılır. Kuru tip silindir gömleğinin dış yüzü silindir bloğunun iç yüzü ile temas halindedir. Bu tip gömleklerin soğutma suyu ile temasları yoktur. Yaşı tip silindir gömleklerinin dış yüzünün bir kısmı soğutma suyu ile temas halinde bulunur.



ŞEKİL 3.12 Sulzer Firmasına Ait Bir Silindir Ceket Uygulaması

Yüksek güçlü gemi makinalarında silindirlerin soğutulması işlemi için kullanılan soğutucu akışkan yaygınlıkla tatlı sudur. Ancak, normal içme suyu kullanılması halinde kısır katmanı açısından, silindir ceket yüzeyleri kontrol edilmesi gerekir. Şekil 3.12b'de görülen bir gemi ana makinasının kapalı soğutma suyu devresinde bir dolaşım pompası (1) tarafından genişleme tankından (8) alınan tatlı su, oldukça düşük bir basınçla giriş manifolduna (2) ve silindir ceketlerine verilir. Daha sonra kavere geçen soğutma suyu, makinanın çıkış manifoldu (3) ve turboblovere (4) gönderilir. İyice ısınmış olarak makina ve turboblover çıkış manifoldlarından çıkan suyun çok büyük bir bölümü termostatik valf (6) yardımıyla soğutuculara girer. Burada deniz suyu tarafından soğutulan tatlı su, tekrar pompaların alıcı tarafına gelir. Devrede makinadan hemen sonra bir distiller de (5) bulunmaktadır. Bunun görevi tatlı suyun içindeki metal tuzların zararlı etkilerini gidermek ve soğutma devresine damıtık su sağlamaktır.

Termostatik valf özellikle, makinanın hazırlanışı sırasında silindir ceketlerinde dolastırılan suyun sıcaklığını sabit tutmak açısından kulere girmesini önler ve by-pas edilmesini sağlar.

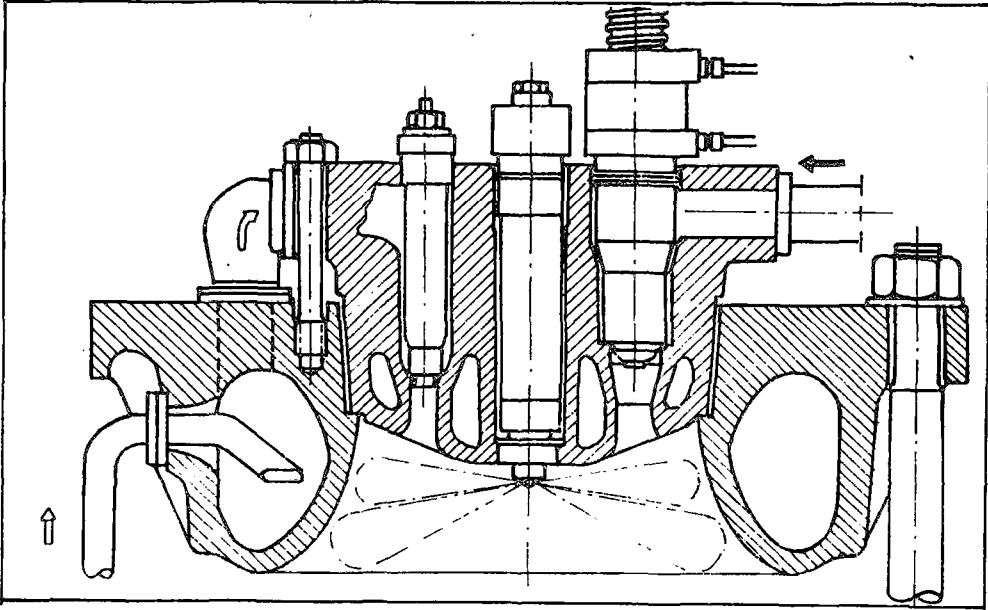


ŞEKİL 3.12b Silindir Ceket Soğutma Suyu Devresi

3.9.2. Silindir Başlıklarının Soğutulması :

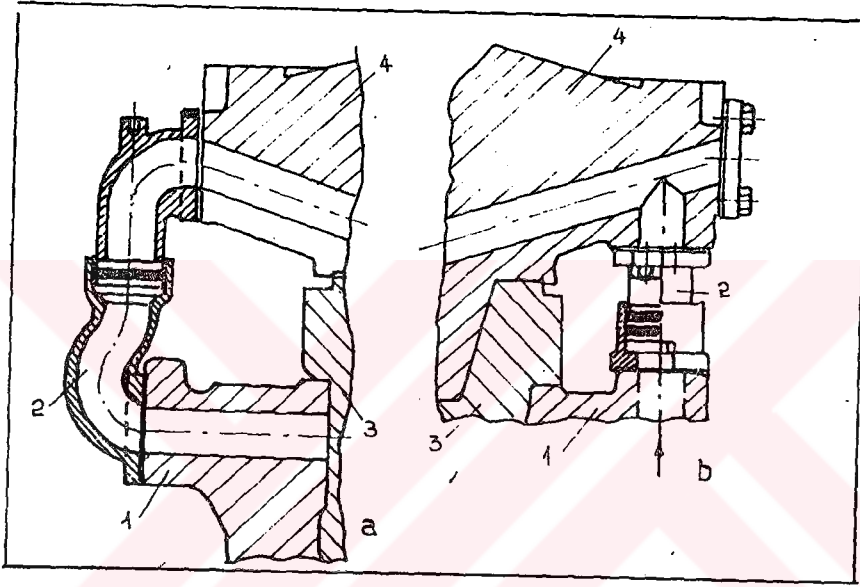
Silindir başlıklarının (kaverlerinin) soğutulmasında başlıca iki yöntemden yararlanılır. Bunlardan birincisinde silindir ceketinin en üst kısmında ve tüm çevresine açılmış dairesel kanallardan yararlanılır. Burada laynerin dairesel kanallarından geçen soğutma suyu, bu kanalların karşısında bulunan ve kaverin silindir gömleğine oturan yüzüne açılmış dairesel kesitli kanallara verilir. Başlıktaki her kanal içine, çevresine lastik contalar yerleştirilmiş birer nipel donatılmıştır. Bazen soğuma kanalları dikdörtgen kesitli yapılır ve böylelikle nipeller ortadan kaldırılır. Bu dizaynda her soğutma kanalının çevresine conta görevi yapacak birer gazket yerleştirilir. Silindir başlıkları için çok iyi bir su dağıtımı sağlamakla beraber, bu yöntem silindir kaveri contasına ek olarak çok sayıda su contası gerektirmek gibi sakıncalara sahiptir.

Ceketteki soğutma suyunun silindir başlıklarına iletilmesindeki ikinci yöntemde bir veya iki adet U şeklindeki borudan yararlanılır. Burada şekil 3.13 'de görülen U borularının bir ucu silindir ceketine ve diğer ucu ise silindir başlığına bağlanmaktadır.



ŞEKİL 3.13 iki Parçadan Yapılmış Bir Silindir Kaveri

Şekil 3.14'de şekil 3.13 dekine benzeyen bir dizayn görülmektedir. Silindir ceketinden gelen soğutma suyu, ceket ile kaveri dıştan birbirine bağlayan iki boru yardımıyla silindir başlığına geçer. Borulardan herbiri iki parçadan yapılmış olup, silikonlu lastik contalar ile birbirine sıkıca bağlanmışlardır. Şekil 3.14a 'da sözü edilen soğutma borusu 2, silindir bloku 1, silindir layneri 3 ve silindir başlığı 4 sayılarıyla gösterilmiştir.



ŞEKİL 3.14 Silindir Kaverinin Soğutulması

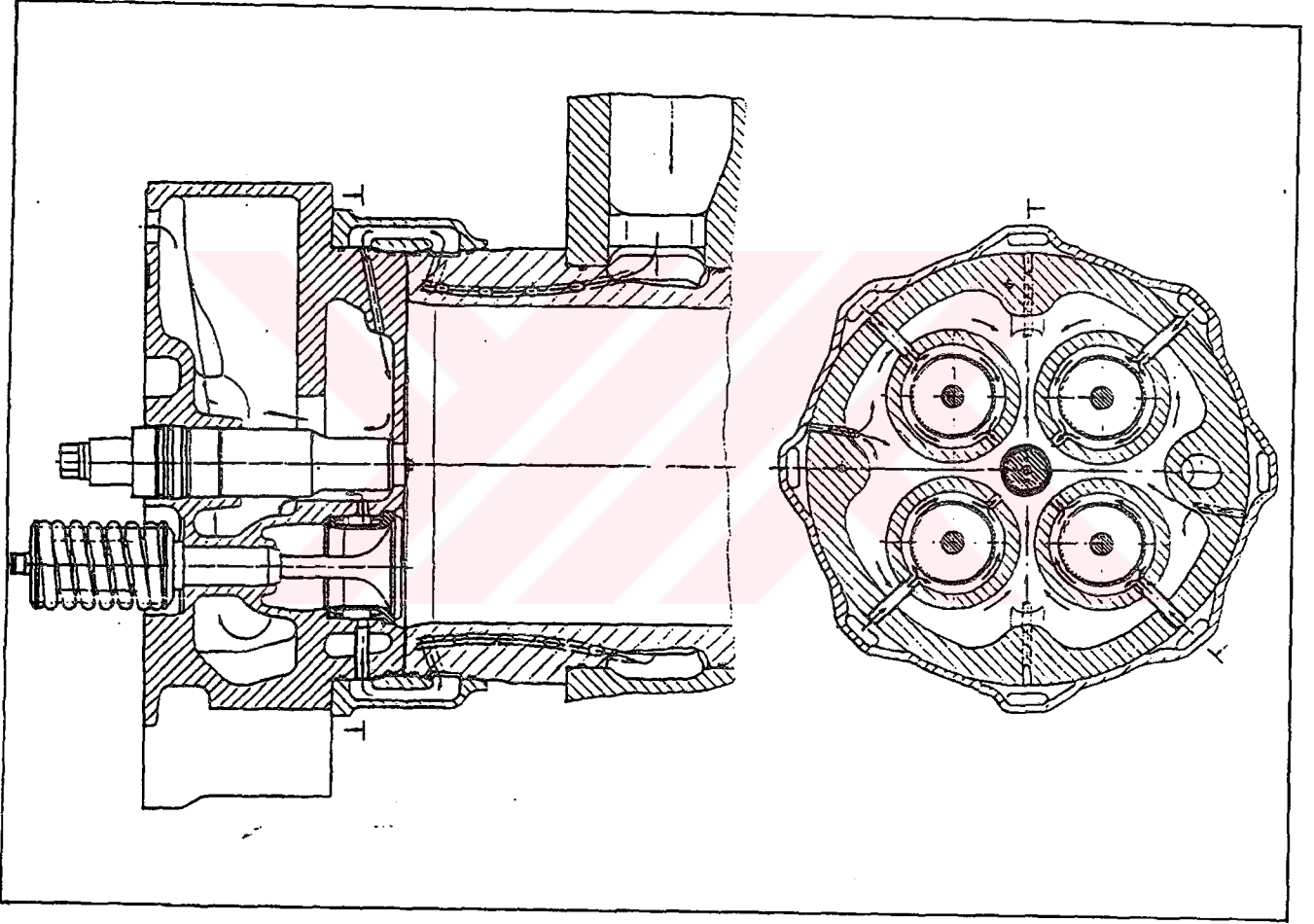
Başka bir dizayn da şekil 3.14b'de görülmektedir. Bu şekilde blok (1) ile kaver (4) arasına genişlemeye engel olmayacak biçimde ve iki parça olarak yapılmış bir soğutma borusu (2) dikey bir şekilde yerleştirilmiştir. Silindir ceketinden gelen soğutma suyu, 2 nolu kanal yardımıyla silindir başlığına aktarılmakta, soğutulması gereken yerlerde dolastırıldıktan sonra çoğu zaman egzoz valflerine ve ya enjektörlerin çevrelerine verildikten sonra silindir başlığından dışarı sisteme verilmektedir.

Şekil 3.14 (a) ve (b) dizaynlarının en önemli yararı; tüm soğutma boruları sökülmeksizin silindir kaverinin fora edilmesine olanak vermesidir

Silindir başlıklarında iyi bir soğutma :

- 1- Hava veya buhar tuzaklarına engel olunma
- 2- Su hacminin her tarafında mümkün olduğu kadar sabit bir su hızı sürdürme
- 3- Dar su kanallarından kaçınmayla elde edilir.

Şekil 3.15 de Sulzer firması tarafından dizayn edilen yüksek güç elde edilen bir diesel motorun silindir kafasının resmi görülmektedir.

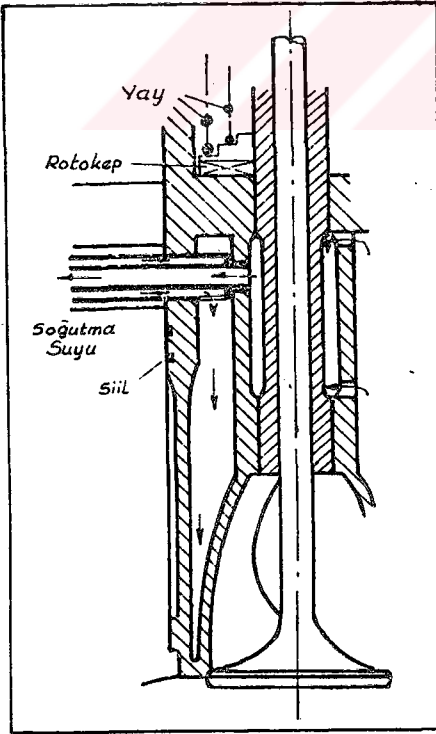


ŞEKİL 3.15 Sulzer Firmasına Ait Bir Silindir Kafası Uygulaması

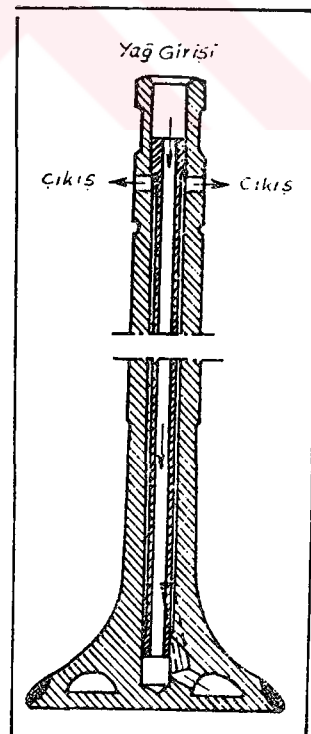
3.9.3. Egzos Valflerinin Soğutulması :

Sadece yüksek güçlü, ağır devirli ve doğru akım süpürmeli gemi diesel motorlarından bazılarının büyük boyutlardaki egzos valfleri su ve yağ ile soğutulmaktadır. Şekil 3.16 'de su ile soğutulan bir egzos valfi görülmektedir. Bu şekilde; soğutucu su içiçe iki boru yardımıyla valfe verilmekte ve ısıtılmış olarak dışarıya atılmaktadır. Su önce dıştaki boru içinden valfin çevresindeki soğutma hacimlerine verilmekte, valf sıpındılı çevresinde dolaştırıldıktan sonra içteki borudan sisteme verilirler. Bu tür dizaynlarda tam yükte egzos valfi sıcaklıkları 500°C 'nin altında tutmak mümkündür. Böylece fuel oil kullanılan makinalarda sodyum-vanadyum (Na-V) bileşiklerinin zararlı etkileri en aza indirilebilmektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi egzos valflerinin soğutulmasında yağlama yağlarından da yararlanılmaktadır. Şekil 3.17 de böyle bir valfe yağ üst tarafından girmekte ve valf diskinden soğutma hücrelerine iletilmekte ve giriş borusunun dışındakibir başka borudan ısınmış olarak atılmaktadır.



ŞEKİL 3.16 Suyla Soğutulan Bir Valf



ŞEKİL 3.17 Yağla Soğutulan Bir Valf

3.9.4. Enjektörlerin Soğutulması :

Yakıt püskürtme valflerinin (enjektörlerin) soğutulmasında kapalı ve ayrı bir tatlı su devresinden yararlanılır (şekil 3.18). Elektrik motoru ile çalıştırılan bir tatlı su pompası (1) yayılma tankından (6) aldığı tatlı suyu, birbirlerine paralel olarak çalışan

soğutuculardan (3) ve termostatik valften

(2) geçirdikten sonra giriş manifolduna verir. Soğutma suyu giriş manifoldundan enjektörlere verilir. Enjektörlerin tümü biri giriş ve diğeri çıkış olmak üzere iki soğutma devresine paralel olarak bağlanmışlardır. Her enjektörün kendi

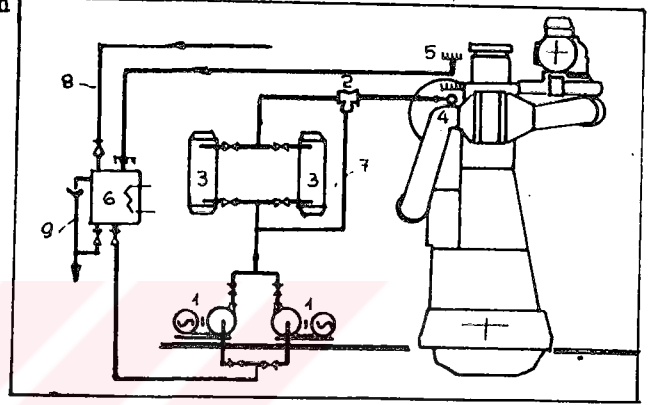
soğutma devresi birer kapama valfi ile donatılmıştır. Böylelikle tüm devredeki

soğutma suyu boşaltılmaksızın herhangi bir enjektörün sökülmesi mümkün

olmaktadır. Enjektör soğutma devrelerinde beygir gücü başına yaklaşık olarak

0.05 litre soğutma suyu kullanılmaktadır. Soğutma suyunun makineye giriş

sıcaklığı 43°C, müade edilen maksimum çıkış sıcaklığı ise 45°C dolayındadır



ŞEKİL 3.18

Enjektörlerin Soğutma Sistemi

3.9.5. Turbocharger'lerin Soğutulması :

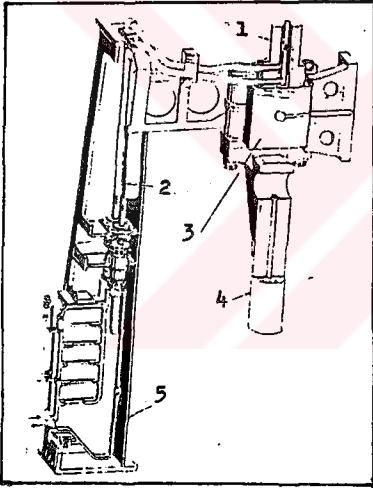
Yüksek güçlü iki stroklu ağır devirli gemi diesel motorlarında; turbobloverden çıkışta bir hayli yüksek sıcaklıkta olan aşırı doldurma havasının soğutulmasına gerek vardır. Turbocharger'den sonra bazen bir ve bazen de iki soğutucudan geçirilerek havanın sıcaklığı 40+50°C değerlerine kadar düşürülür.

3.9.6 Yatakların Soğutulması :

Bu konu yağlama yağ sistemlerinin incelenmesinde ele alınmıştır.

3.9.7. PİSTONLARIN SOĞUTULMASI :

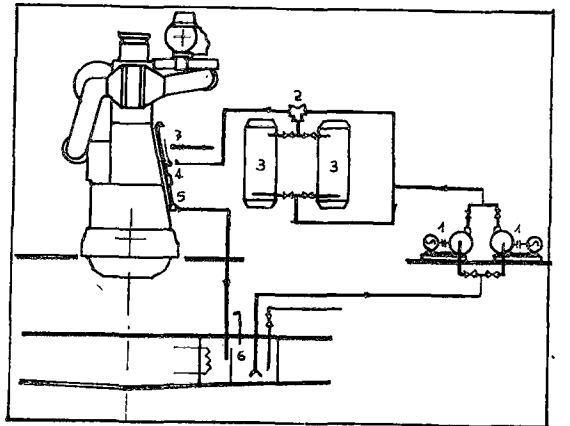
Motorun yanma odasını sınırlayan piston yüzeyi, yüksek basınç ve sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Küçük pistonlar aldıkları ısıyı silindir ve ya gömlekten suya verebilir, fakat 40 cm.den büyük çaptaki pistonların kafalarını soğutmak gerekir. Soğutma işlemi, su yada yağ ile yapılır. Soğutma suyunu piston kafasına götürmek ve pistondan almak için pistonların alt kısmını su devresine birleştiren teleskop biçiminde birbiri içinde çalışan borular kullanılır. Su ile soğutmada, borularda kaçak olmamalıdır. Aksi halde su yağlama yağına karışarak yağın kalitesini bozar ve is görmesini önler. Aşağıda şekil 3.19 'da görülen resimde suyla soğutulan crosshead'li bir pistonun soğutma donanımı verilmiştir.



ŞEKİL 3.19 PİSTON SOĞUTMA TERTİBATI

- 1- Piston Rodu
- 2- Teleskobik Borular
- 3- Crosshead
- 4- Bağlantı Rodu
- 5- Sütunlar

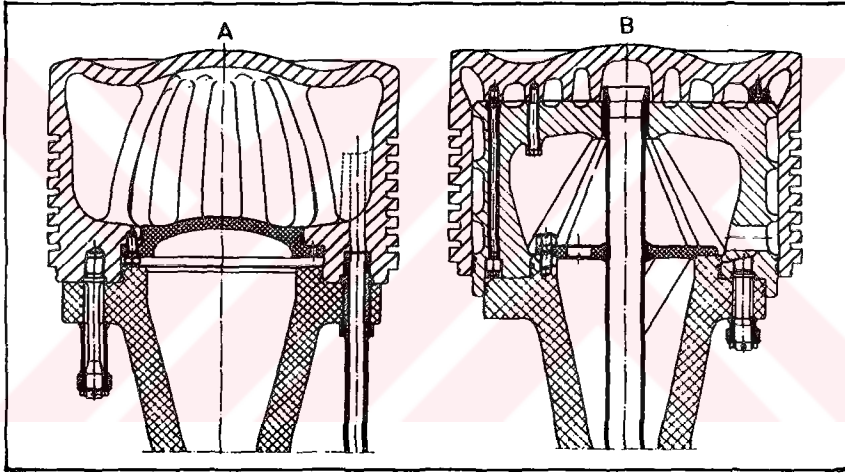
Piston soğutma suyu devresi, pompası ve soğutucu tamamıyla ana soğutma devresinden ayrı bir sistemdir. Kullanılan tatlı su, damıtık yada yumuşatılmış su olmalıdır. Şekil 3.20de bir piston soğutma devresi görülmektedir. Piston soğutma suyu çift dip türünden bir toplama tankında (6) bulunur. Pompa (1) tarafından emilerek



ŞEKİL 3.20 Piston Soğutma Devresi

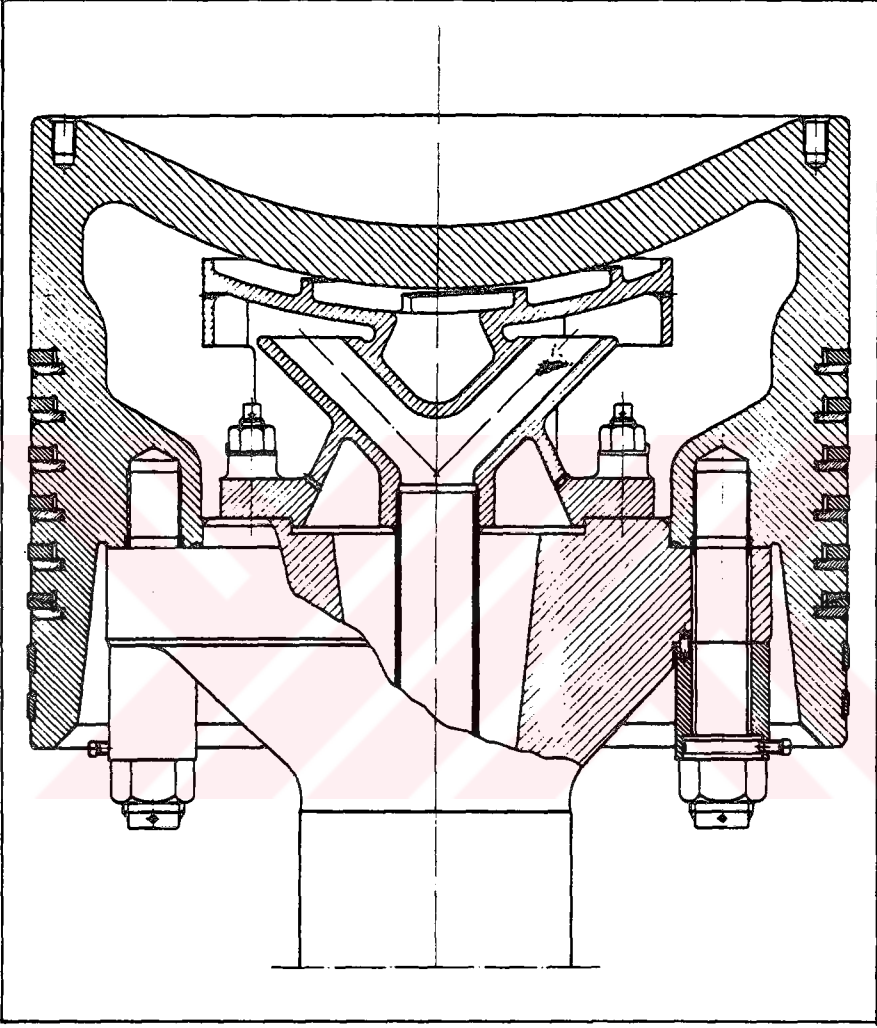
sogutulmak üzere kulere (3) gönderilir ve termostatik valften (2) geçirilir Burada sogutulan su, giriş manifolduna (4) gelir.çoğunlukla teleskobik olan borular, bazen de rodun içinde ve dikey eksenî yönündeki konsentrik borular yardımıyla piston kafalarına kadar ulaşan su, ısınmış olarak çıkış manifoldu (5) aracılığıyla tekrar toplama tankına (6) döner.

Yüksek güçlü gemi diesel makinalarında piston sogutma suyunun miktarı beygir başına yaklaşık olarak 0.65 litredir.Bu suyun manifoldlarda giriş sıcaklığı 50°C ve müsaade edilen maksimum çıkış sıcaklığı ise 55°C dolayındadır.

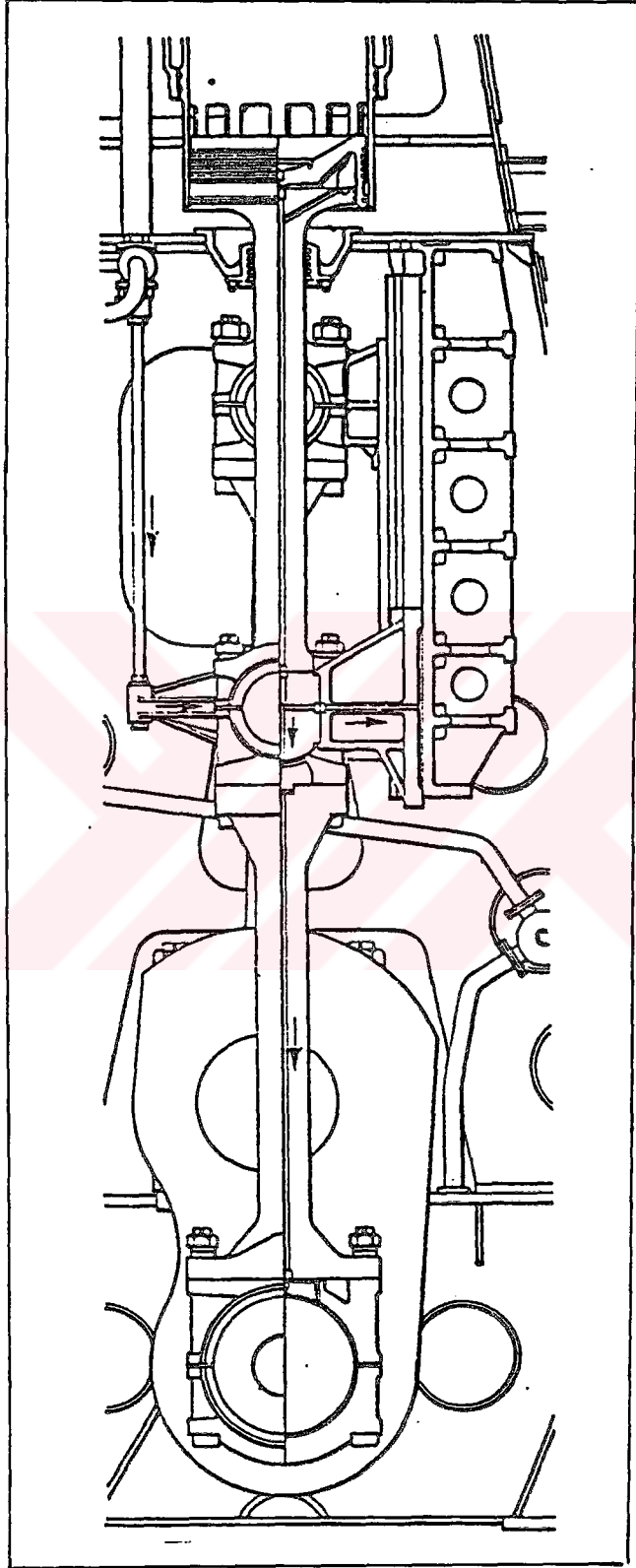


ŞEKİL 3.21 Fıat Firmasına Ait Su (A) ve Yağ (B) Sogutmalı Piston

Gemi diesel motorlarında pistonların sogutulmasında suyun yanında yağ da kullanılmaktadır (Şekil 3.21).Kullanılan suyun sogutma yeteneği yağa göre iki kat daha fazla (yağın özgül ısısı yaklaşık 0.45 kcal/kg°C , suyun özgül ısısı ise 1 kcal/kg°C tır) olmasına karşın suyun kartere sızması ve karterdeki yağın özelliklerini bozma tehlikesi vardır.Sogutmada kullanılan yağın yağlama için kullanılan yağla aynı olması ve bu nedenle kullanılan yağın kirlenmemesi büyük bir avantajdır.



ŞEKİL 3.22 Piston Soğutma Kanalları - Götaverken



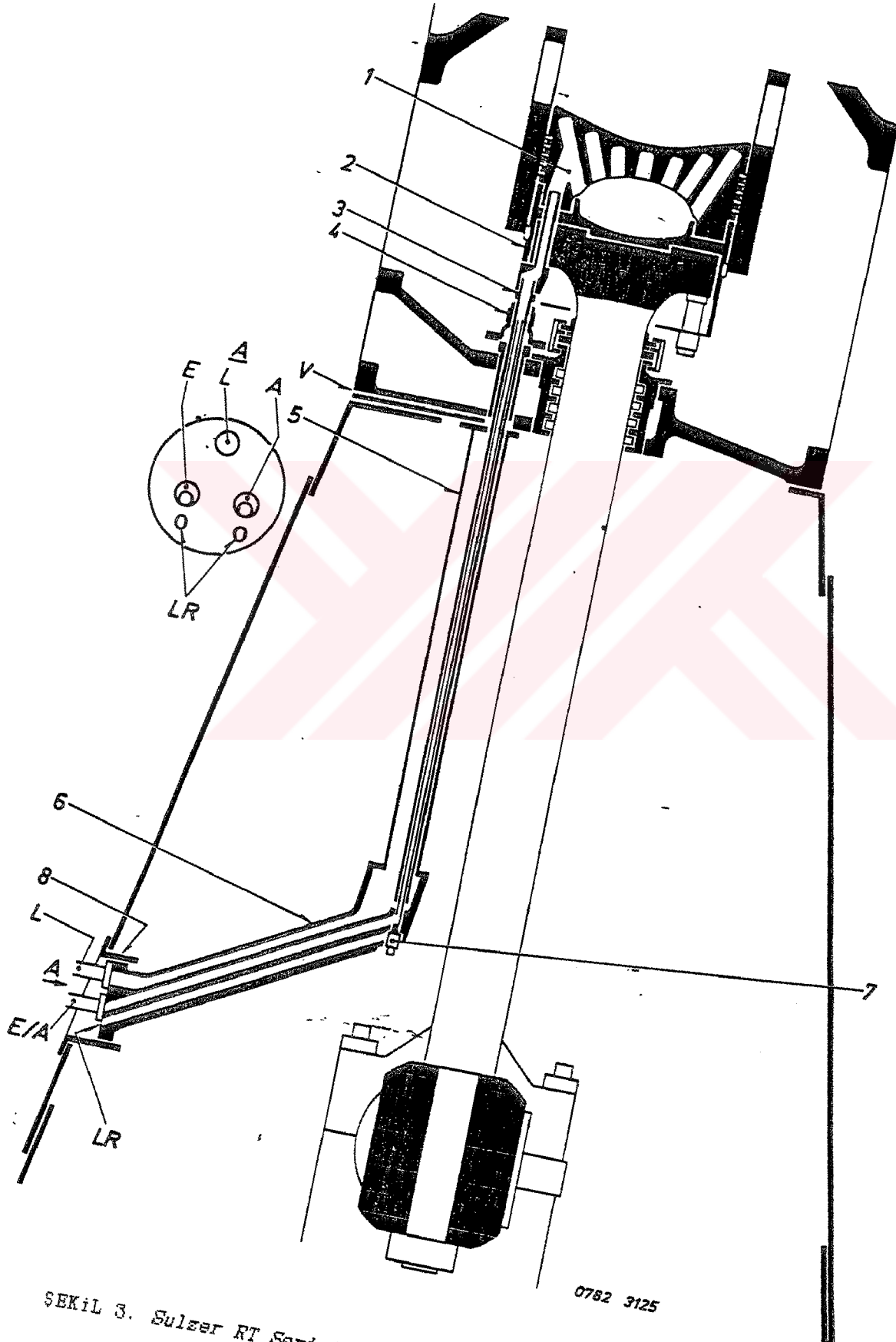
ŞEKİL 3.23 Motorda Piston Soğutma Yağı Sirkülasyonu

Pistonun yağla soğutulması durumunda, pistonun alt kısmındaki yatakları yağlayan yağ, biyelin içindeki kanaldan yukarı çıkarak piston kafasına gelir ve burada soğutma işlemini gerçekleştirir. Piston kafasını soğuttuktan sonra kanalın içine yerleştirilmiş olan borudan tekrar kartere geri döner (Şekil 3.22 ve 3.23).

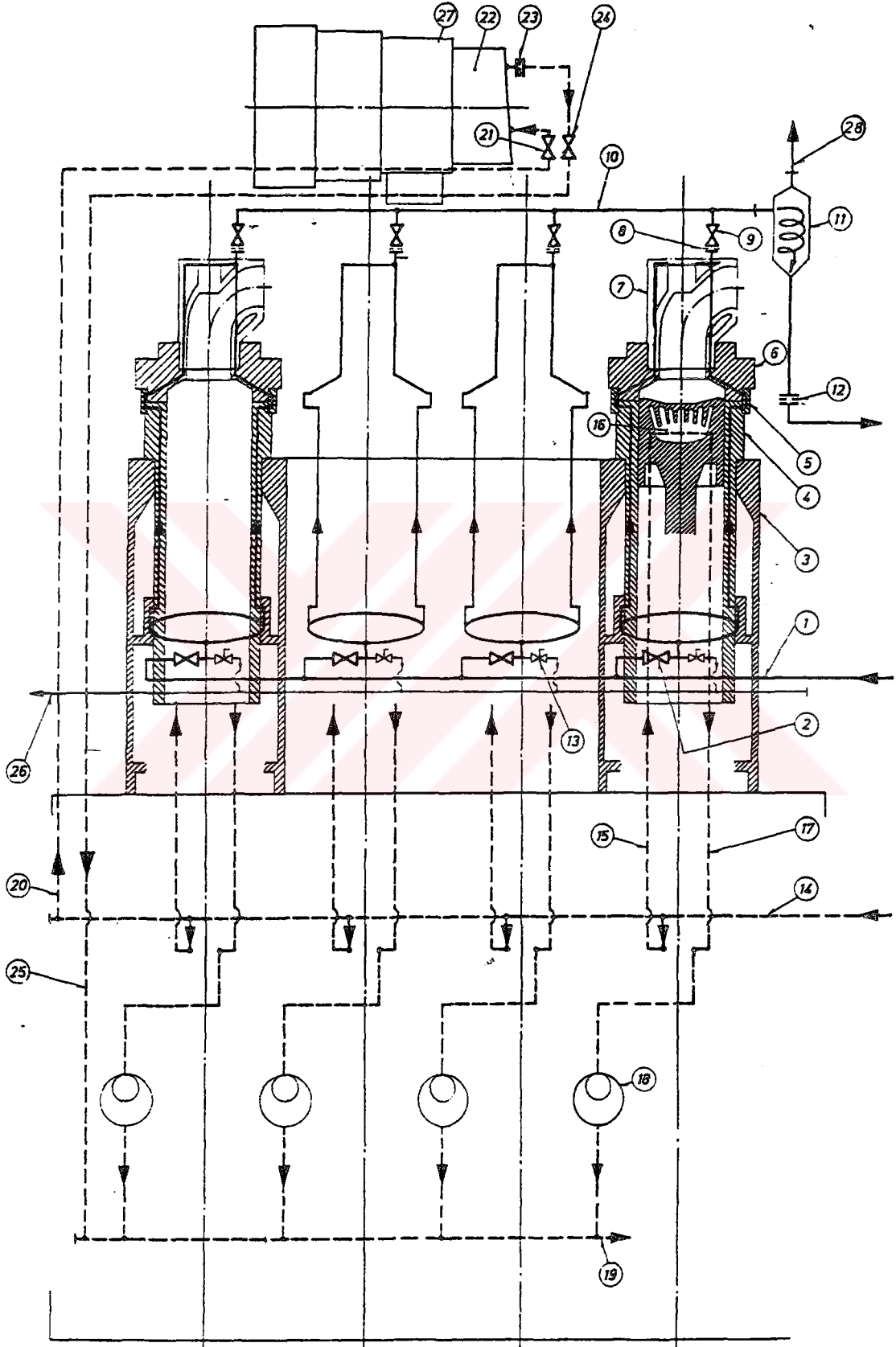
Şekil 3.24 'de Sulzer firmasına ait su ile soğutulan bir piston soğutma sistemi görülmektedir. Burada;

1 Piston Kafası	A Su Çıkışı
2 Piston Eteği	E Su Girişi
3 Teleskopik Boru	L Sızıntı Su (Rehber Borudan)
4 Piston Soğutma Borusu	LR Sızıntı Su (Üst Kısımdan)
5 Piston Soğutma Bölmesi (Üst Kısım)	
6 Piston Soğutma Bölmesi (Alt Kısım)	
7 Stand Boru	
8 Bağlantı Flansı	

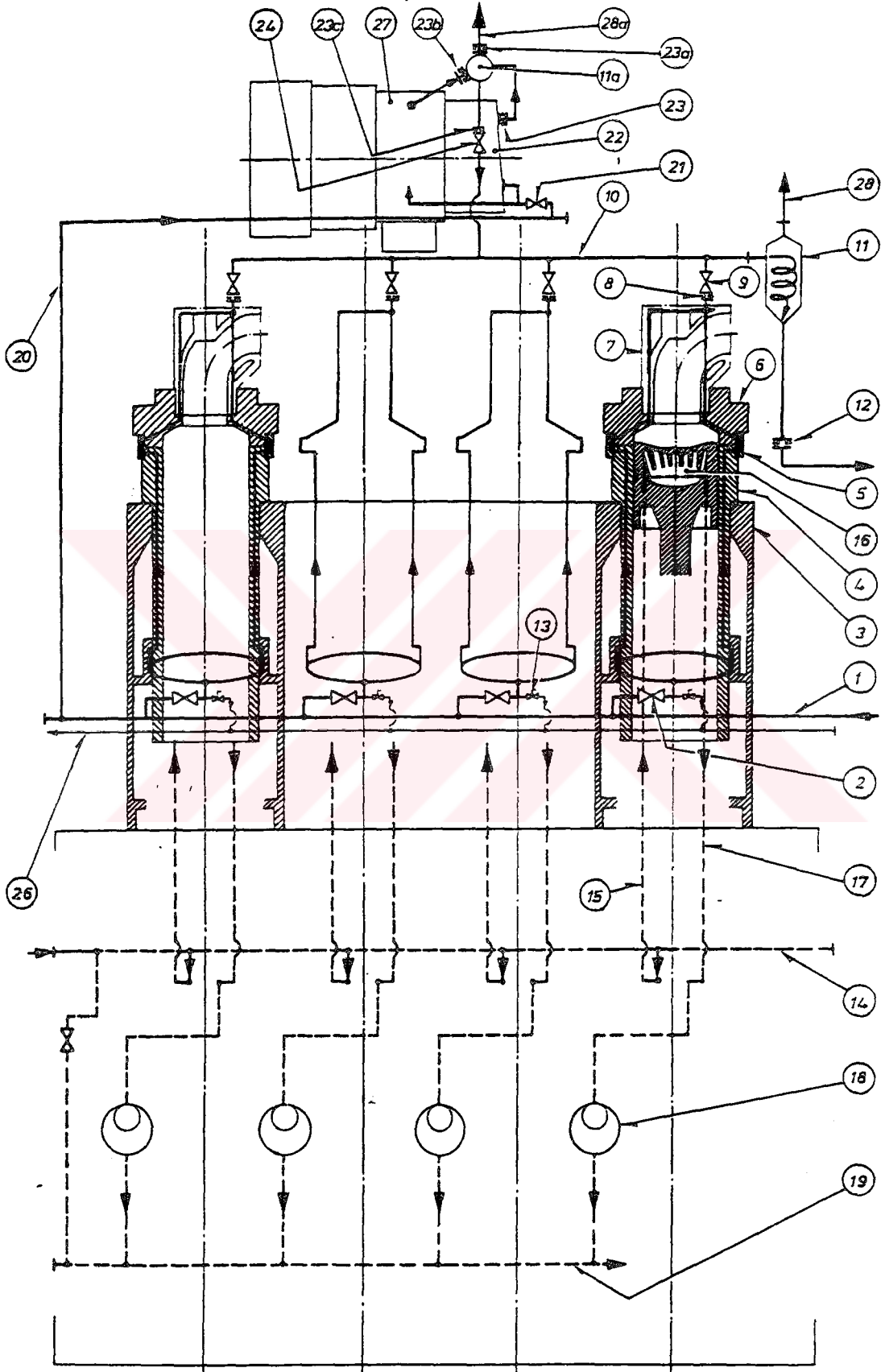
Şekil 3.25 ve şekil 3.26 de Sulzer firmasına ait bir gemi diesel motorunun (RT Serisi) şematik olarak soğutma sistemi görülmektedir.



ŞEKİL 3. Sulzer RT Serisi Motorlarda Piston Soğutma Şeması

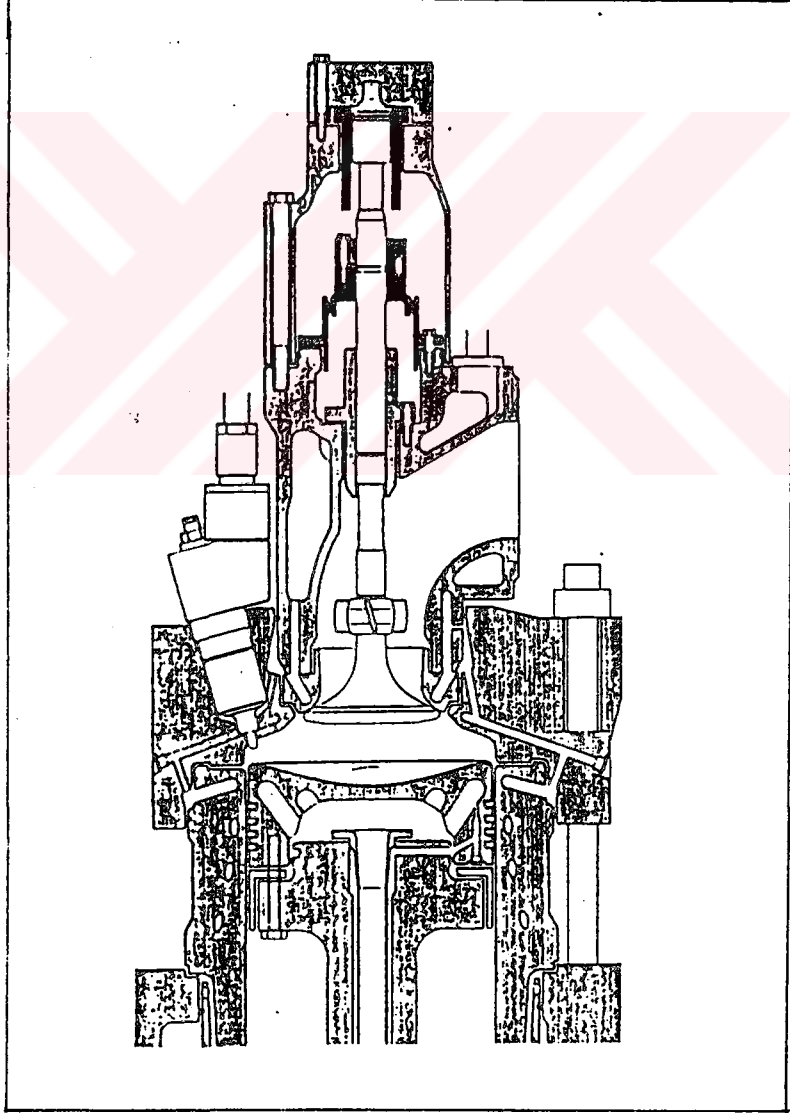


ŞEKİL 3.25 Motor Soğutma Sistemi - Sulzer RT



ŞEKİL 3.26 Motor Soğutma Sistemi - Sulzer RT

çelişkili durumu ortadan kaldıran yani mekanik ve termik gerilmelerin kabul edilebilir sınırlarda olmasını sağlayan yeni bir uygulama, yanma odası elemanlarının delik soğutma yöntemiyle soğutulmasıdır. Burada delik soğutma uygulamasında, yanma odasını yeterince çevreleyen sonradan delinmiş ve ya tamamen döküm soğutma kanalları, delikleri boyunca soğutucu akışkan sıvı dolaştırılmaktadır. Şekil 3.27'de iki zamanlı bir gemi diesel motorunun (Sulzer RTA serisi) yanma odası görülmektedir. Delik soğutma uygulamasıyla, düşük termik gerilmeler için etkili soğutma ve yüksek gaz basınçları için yüksek rijitlik birlikte sağlanmaktadır.



ŞEKİL 3.27 İki Zamanlı Bir Gemi Diesel Motorunun Yanma Odası (Sulzer RTA)

3.10. GEMİ DİSESEL MOTORLARINDA YANMA ODASI ELEMANLARININ DELİK SOĞUTMA YÖNTEMİ İLE SOĞUTULMASI

Bir diesel motorun yanma odası, silindir kafası, silindir gömleği ve piston, hem değişken mekanik zorlanmalar hem de değişken termik gerilme zorlanmalarına maruz kalmaktadır. Silindir içi gaz basınçları, gerek iki gerekse dört zamanlı motorlarda, 160 bar değerlerine ulaşmış olup çevrim anında sıcaklık 50°C tan 1700°C 'a kadar değişmektedir.

Mekanik ve termik gerilmelerin kabul edilebilir sınırlarda tutulması çalışma güvenirliliği bakımından çok önemlidir.

Yeteri kadar büyük cidar kalınlıkları, homogen kuvvet dağılımı, akışı ve gerilmeyi artırmayan büyük yarıçaplı geçişlerle mekanik gerilmeler kabul edilebilir sınırlarda tutulabilir. Termik gerilmeler bakımından ise, yüksek devir sayılarının etkisi pozitifdir. Çünkü ısı akışı bağıl olarak yavaştır ve sonuçta, birkaç mm'den daha kalın olmayan cidarlarda da, cidar sıcaklıkları sadece birkaç derece değişir. Böylece küçük cidar kalınlıkları yanma odası yüzeyinde düşük sıcaklıkları, dolayısıyla düşük termik gerilme zorlanmaları verir. Ancak yanmada oluşan asidik ürünlerin oluşturduğu kötü korozif etkiden dolayı cidarın çok soğuk olması istenmez.

Termik gerilmelerin büyüklükleri de deformasyonlardan, komşu elemanlar nedeniyle oluşan zorlanmalar ve hesaba katılan civata ön gerilme değerlerinin oluşturduğu statik mekanik yüklerden etkilenir. Motor dizayneri bu nedenle iç içe olan iki gerekliliğe yanıt vermelidir.

- Gaz basınçlarından dolayı oluşan ve cidar kalınlıklarının arttırılmasıyla sağlanan düşük mekanik gerilmeler.
- Esas olarak cidar kalınlıklarının azaltılmasıyla sağlanan düşük termik gerilmeler.

Bu çelişkili probleme verilecek yanıt, daha büyük makina boyutları daha yüksek basınçlar ve termik yükler nedeniyle oldukça zorlaşmaktadır. Bu

Önceki motor serilerinden elde edilen deneyimlerin olumlu olan sonuçları, üretim ve işleme teknolojisindeki ilerlemeler (NC tezgahları ...) ve ileri nümerik analiz hesap yöntemlerinin (özellikle sonlu elemanlar gibi yöntemlerin) hesaplarda kullanılması delik soğutmaya geçişi kolaylaştırmış.

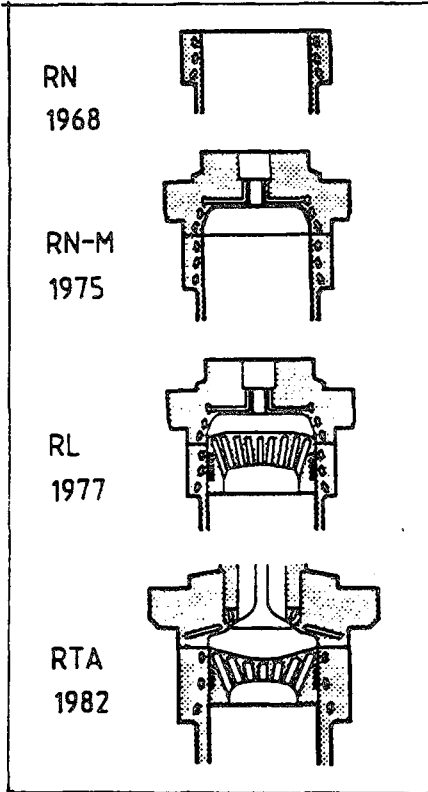
Son yıllarda daha yüksek özgül güç ve daha yüksek termik verim elde etme çabası, daha yüksek yanma basınçlarının elde edilmesi gereğini ortaya çıkarmıştır. Doğal olarak bu durumda gaz basınçları nedeniyle oluşan gerilmelerin düşük olması kalın yanma odası cidarlarıyla sağlanabilir. Diğer yandan, daha düşük termik gerilmeler, esas olarak yanma odası yüzeyi ile soğutucu ortam (akışkan) arasındaki uzaklığın az olması, yani ince cidarlar sayesinde sağlanabilir. Bu iki çelişkili durum arasında bir optimizasyona olanak veren delik soğutmanın bir eleman için uyarlanması, konstrüktörü kısıtlayan veya ona belli oranda serbestlik veren etkenler vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır :

- iyi bir yanma için yanma odası gibi verilen sınır koşullarının dikkate alındığı dış yapı formu
- Malzeme ve malzeme özellikleri; kesme mukavemeti, elastiklik, ısı iletim katsayısı, ısıl genleşme katsayısı, ısıl direnç, gevşeme özelliği, kayma özelliği, aşınma direnci, korozyon direnci, işleme özelliği vb. gibi
- Soğutma deliklerinin çapı
- Soğutma deliklerinin dağılımı
- Isı çekilen yüzeylere soğutma deliklerinin uzaklığı
- Yüzeylere göre deliklerin açısal konumları
- Soğutucu akışkanın türü
- Soğutucu akışkan debisi, akım hızı ve transfer edilen ısı
- Soğutucu akışkanın giriş sıcaklığı
- Deliklerin kısmi olarak da olsa izolasyon olanağı

Bu parametrelerin belirlenmesiyle elemandaki sıcaklık dağılımı, soğutucu akışkanın çıkış sıcaklığı, değişken mekanik ve termik gerilmelerin dağılımı ve büyüklüğüyle ihmal edilemeyecek üretim masrafları belirlenir. Bu sayılanlar konstrüktörü kısıtlayan etkenlerin çokluğunu ve aynı zamanda, benzer bir konstrüksiyonun teknik ve ekonomik optimizasyonunun ne kadar geniş kapsamlı ve karmaşık olduğunu göstermektedir. Yani elemanlar tecrübe değerlerinin yardımıyla dizayn edilir ve sonlu elemanlar yöntemiyle hesap yapılır, gerçek sınır koşullarının sağlanmasında komşu elemanlar da dikkate alınır. Delik açılacak bölgelerin detaylı olarak incelenmesi bu kısımların, özellikle delik kesime bölgelerinin (kavşakların) gerilme yönünden uygun şekillendirilmesi için hassas bir optimizasyon gerektirir.

3.10.1. Delik Soğutma Yönteminin Uygulamaları :

Delik soğutma yöntemiyle, bugün, yanma odası elemanlarının tümü, silindir kafası, silindir gömleği ve piston etkili bir şekilde soğutulmakta ve bu konu devamlı olarak incelenmektedir. Bu yöntemin uygulamaya geçişi son 20 yıl içinde aşamalı olarak gerçekleşmiştir ve bu aşamalar şekil 3.28'de görülmektedir.

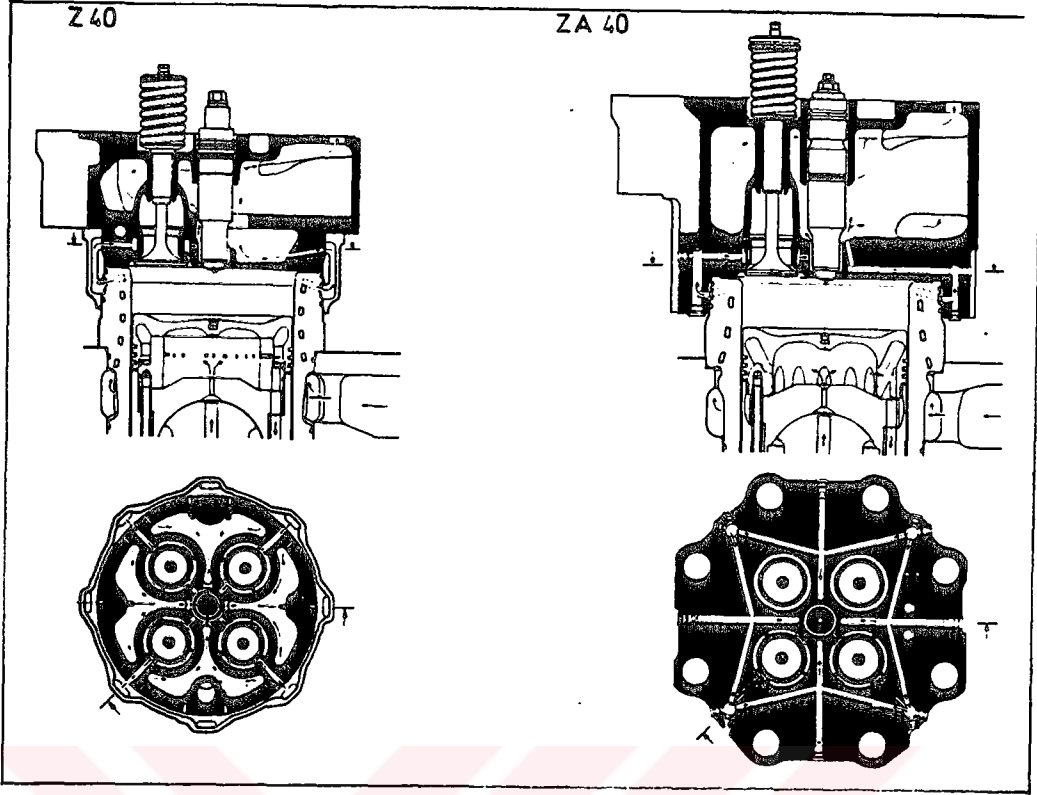


ŞEKİL 3.28 Delik Soğutma Yöntemiyle Yanma Odası Elemanlarının Soğutulması Uygulamasına Geçişin Aşamaları (Sulzer R-Serileri için)

Bugün iki zamanlı gemi diesel motorlarının silindir gömleklerinin üst kısımları, yanma bölgesindeki gerilmeyi karşılamak için kalın bir yaka ile formlandırılmıştır ve bu kısımlar delik soğutma yöntemiyle soğutulmakta ve böylece yüksek mukavemete olanak sağlanmaktadır. Soğutma suyu gömlek boyunca ve gömlek etrafına yerleştirilmiş bir ceket ile beslenmekte olup, buradan yaka bölgesine yönlendirilmektedir. Yaka bölgesinde, çevresel-helisel soğutma delikleri boyunca soğutma suyu yukarı doğru beslenmektedir. Buradan da uygun bir geçişle silindir kafasına ulaşan soğutma suyu, silindir kafası içindeki çapsal-egimli kanallar vasıtasıyla silindir kafasını soğuttuktan sonra, valf oturma yüzeyini soğutması için uygun geçiş kanallarıyla valf oturma yüzeyini çevreleyen deliklere yönlendirilmektedir. Soğutma suyu daha sonra egzoz valf kafesinin üst kısımlarını soğutması için (şekil 3.27) yukarı yönlendirilmektedir.

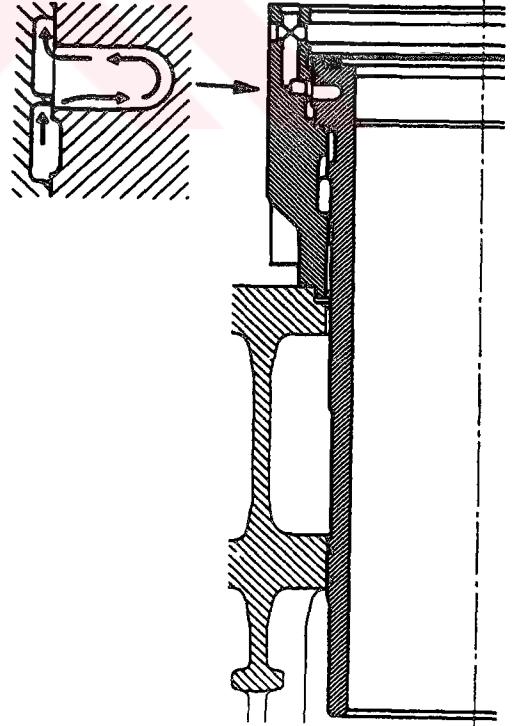
Piston soğutması da delik soğutma yöntemiyle yapılmakta olup, piston kafasında, motorun silindir çapına bağlı olarak bir kaç veya daha sayıda, eksenleri piston eksenine paralel veya belli bir açıda eğimli olan soğutucu delikler öngörülmüştür. Soğutma, soğutucu akışkanın jet etkisiyle oluşan etkili bir sirkülasyonla sağlanmaktadır (Şekil 3.27).

Dört zamanlı motorlarda da, yanma odası elemanları delik soğutma yöntemiyle yapılmaktadır. Silindir gömleği iki zamanlı motorlardakine benzer tarzda soğutulmaktadır. Silindir gömleğini soğutan soğutma suyu, uygun bir geçişle silindir kafasına geçmektedir. Silindir kafası radyal deliklerle donatılmış olup, buradan soğutma suyu valfleri soğutulması için yukarıya doğru yönlendirilmektedir. Yeni (Sulzer ZA40) ve eski (Sulzer Z40) versiyon iki motora ait yanma odası şekil 3.29'da görülmektedir. Burada şekilden de görüleceği üzere piston soğutması için, iki zamanlı motorlardakine benzer soğutucu delikler öngörülmüştür.



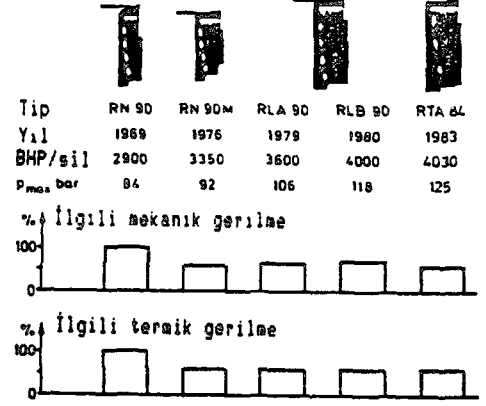
ŞEKİL 3.29 Dört Zamanlı iki Motora Ait Yanma Odaları (Sulzer Z40 ve ZA40)

Dört zamanlı motorlarda, silindir gömleği soğutmasında uygulanan ilginç bir delik soğutma uygulaması şekil 3.30'da görülmektedir. Burada soğutma için silindir gömleğinin yaka bölgesini çevreleyen simetrik dizilmiş radyal delikler öngörülmüş ve iyi bir ısı transferi olması için bu kör delikler jet etkisi yaratacak yüksek bir akım hızına sahip su ile yıkanmaktadır. Bu kör delikleri terk eden soğutma suyu uygun geçişlerle silindir kafasına yönlendirilmektedir.

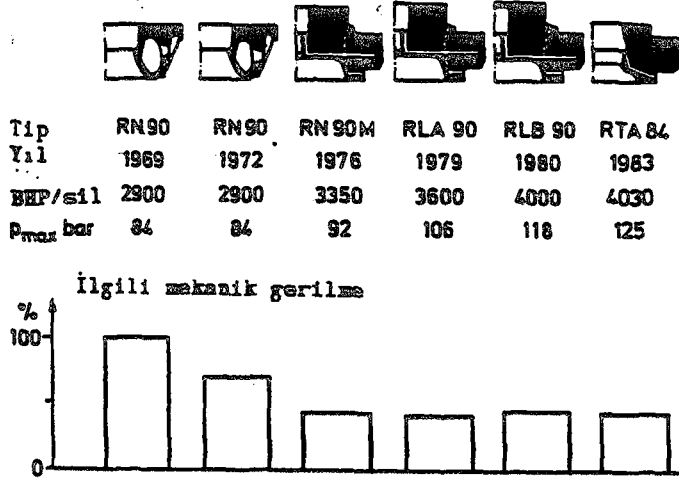


ŞEKİL 3.30 Kör Delikler Sayesinde Silindir Gömleğinin Soğutulması (MAN B&W 58)

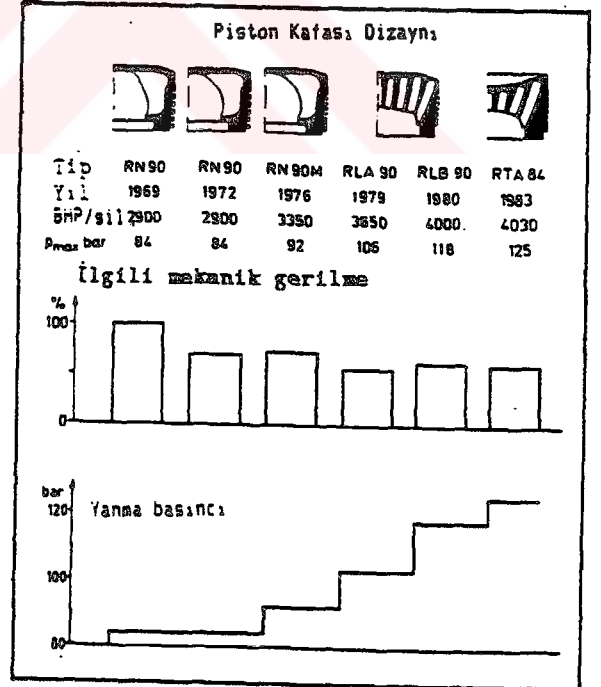
Delik soğutma yöntemi sayesinde elemanlarda mekanik ve termik gerilmeler kabul edilebilir sınırlarda tutulmaktadır. Son yıllarda artan mekanik ve termik yüklere karşın, gerilmelerde bağıl olarak düşüşler sağlanmıştır. Şekil 3.31'de silindir gömleği, şekil 3.32'de silindir kafası ve şekil 3.33'te ise piston kafası generasyonlarının soğutmasında delik soğutmaya geçişin aşamaları ile artan mekanik ve termik yüklere karşın, gerilmelerde bağıl olarak düşüşler sağlandığı görülmektedir.



ŞEKİL 3.31
Silindir Gömleği Soğutmasının Gelişimi ile birlikte ilgili Gerilmelerin Karşılaştırılması (Sulzer R-Serileri)

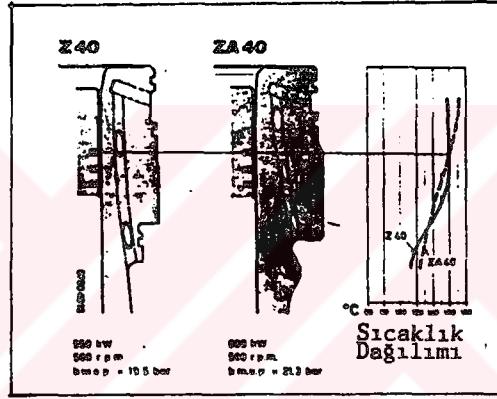


ŞEKİL 3.32
Silindir Kafası Soğutmasının Gelişimi ile Birlikte Mekanik Gerilmelerin Karşılaştırılması (Sulzer R-Serisi)



ŞEKİL 3.33
Piston Kafası Soğutmasının Gelişimi ile Birlikte Mekanik Gerilmelerin Karşılaştırılması (Sulzer R-Serisi)

Delik soğutma yöntemi sayesinde elemanlarda, gerilmelerin kabul edilebilir sınırlarda tutulması ve etkili bir soğutma sağlanmasının yanında sıcaklık dağılımları da iyileştirilmektedir. Şekil 3.34'te delik soğutmanın daha da geliştirilmesi sayesinde artan ortalama efektif basınca karşın, bir önceki model motora (Sulzer Z40) göre yeni modelde (Sulzer ZA40) silindir gömleğindeki sıcaklık dağılımının iyileştirildiği görülmektedir.



ŞEKİL 3.34 Sulzer Z40 ve ZA40 Motorlarının Silindir Gömlekleri ve iyileştirilmiş Sıcaklık Dağılımı

BÖLÜM 4.

YAKIT, YAĞLAMA YAĞI VE SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN

ETKİLERİ İLE MOTORDA GÖRÜLEN HASARLAR

" AŞINMALAR "

4. YAKIT, YAĞLAMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ETKİLERİ İLE MOTORDA GÖRÜLEN HASARLAR - "ASINMALAR"

Motor elemanlarındaki aşınma nedenlerinin en belli başlısı daha önce ele alınan konularda görüldüğü gibi birbirine göre hareketli yüzeyler üzerinde oluşan sürtünmedir. En genel anlamda sürtünme ; birbirine göre hareket halinde olan veya harekete zorlanan iki yüzeyin harekete karşı zıt yönde gösterdiği dirençtir.

4.1. ASINMA ÇEŞİTLERİ :

Aşınmaları arttıran temel faktörler; basınç, kayma hızı, sürtünme katsayısı, yüzey yapısı, elastiklik modülü, malzeme dayanımı ve yorulma direnci ile korozif ortamın mevcudiyetidir. Belirtilen bu temel faktörlerin etkisiyle ortaya çıkan aşınma, oluşum tarzına göre aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

4.1.1. Adhezyon Aşınması :

Temas halindeki yüzeyleri birbirine bastıran normal kuvvetin etkisiyle, temas halindeki yüzey pürüzlerinin maruz kaldığı yüksek basınç, pürüzlerde kaynak bağı oluşumuna sebep olur (Soğuk Kaynama). Yüzeylerden birinin diğerine göre hareket etmesi halinde, pürüzlerin temas noktalarında ortaya çıkan sıcaklık yükselmesi pürüzler arasında kaynak bağı oluşumunu kolaylaştırır (Sıcak Kaynama). Hareket esnasında, oluşan yüzey pürüzleri arasındaki kaynak bağları, kaynama-kopma şeklinde sürer. Kaynak bağlarının kopmaları sonucu yüzeyin birinden diğerine malzeme transferi meydana gelebileceği gibi, kopan parçacıklar yüzeyler arasında serbest de kalabilir.

Adhezyon aşınması yüzey pürüzlülüğünün yanında yüzeylerin oksit, gaz, rutubet ve yağlayıcı maddelerden arınmışlığına da bağlıdır. Belirtilen maddelerin yüzeyler arasında mevcudiyeti adhezyon aşınmasını azaltır. Ek kısmında aralarında adhezyon aşınmalarının da olduğu çeşitli aşınmalar sonucu oluşan silindir gömleğindeki hasarlar toplu olarak görülmektedir.

4.1.2. Abrazyon Aşınması :

Hareket halindeki yüzeylerden sert olanın yumuşak yüzeyden küçük parçacıkları koparması (kesme veya kazıma yoluyla) veya yüzeyler arasında bulunan sert bir maddenin sürtünme esnasında yüzeylerden biri veya her iki yüzey üzerinden parçacık koparması abrazyon aşınması olarak tanımlanır.

Sürtünen malzeme çiftinin yüzey sertlikleri arasındaki fark ve sert malzemenin yüzey pürüzlülüğü ne kadar artarsa abrazyon aşınması da ona bağlı olarak fazlalaşır. Yüzeyler arasında kalan aşındırıcı malzemeler ; yüzeylerden kopan aşınma ürünleri, korozyon sonucu oluşmuş sert oksitler (Fe_2O_3 , Al_2O_3 vs) veya dış ortamdan gelen silisli sert partiküllerden oluşur. Yüzeyler arasındaki partiküllerin abrazyon aşınmasına etkisini gidermek için adı geçen maddelerin yüzeyler arasından temizlenmesi gerekmektedir. Kuru sürtünmede etkin, sınır sürtünmede nisbeten daha az abrazyon aşınması ortaya çıkar. Sürtünen yüzeyler arasında hidrodinamik yağlamanın sağlanması halinde abrazyon aşınmasına yumuşak malzemenin plastik deformasyonu ve yine malzemenin elastikiyeti etki eder. Plastik deformasyon ve elastik şekil değiştirme, yüzeyler arasındaki maddelerin aşındırıcı etkisini engeller. Yüzey işleme hassasiyetinin arttırılması ve yeterli yağ sirkülasyonu ile yüzeyler arasındaki aşındırıcı maddelerin temizlenmesi yüzeylerdeki abrazyon aşınmasını azaltır. Ekler kısmında verilen resimlerde genellikle silindirik cidarında abrazyon ve adhezyon aşınmalarına örnekler verilmiştir.

4.1.3. Korozyon Aşınması :

İstenmediği halde kimyasal veya elektrokimyasal etki sonucu yüzey üzerinde başlayan malzeme değişimi korozyon olarak tanımlanabilir. Burada metallerin çoğu, korozyon etkisiyle kararlı hallerinden değişmeye zorlanır ve bu değişim oldukça karmaşık olduğundan, sadece korozyona etki eden belli başlı faktörlerin belirtilmesiyle yetinilecektir.

Korozyona etki eden faktörler ;

A- Korozyona maruz kalan malzeme özellikleri :

- ∴ Kimyasal bileşimi
- ∴ Malzemenin yapısı (homogen, heterogen, tane büyüklüğü, kristal tipi vs)
- ∴ Malzemenin maruz kaldığı plastik deformasyon (haddeleme, çekme, bükme)
- ∴ Yüzey işleme durumu (kaba, hassas, döküm yüzeyi, hadde yüzeyi)
- ∴ Farklı malzeme çiftlerinin birbirleriyle bağlanması

B- Korozif ortamla ilgili faktörler :

- Havanın içerisindeki veya gaz ortamındaki bağıl nem, katı partikül, toz, SO_2 , NaCl
- Sıvı ortamdaki karbonik asit bileşenleri, tuz bileşenleri, organik bileşenler, sıvı ortamın pH değeri,
(pH değeri: Asit veya baz solüsyonun dayanımını gösteren bir değer olarak tanımlanır. Solüsyondaki hidrojen iyonunun konsantrasyonunu veya aktivitesini belirtir, pH değeri 7 'nin altında ise solüsyon asit, üstünde ise solüsyon bazdır. pH=7 ise solüsyon nötr'dür.)
- Katı maddeler için ; pH değeri, su ve tuz bileşen miktarları ve içerdiği sülfat ve oksijen miktarı.

C- Reaksiyon şartlarıyla ilgili faktörler : Sıcaklık, basınç, akış hızı, titreşim, elektrik akımı, ultraviyole ışın seviyeleri

Motorlardaki korozyon aşınmasının en etkin olduğu kısımlar motor silindir cidarı, egzoz sübapı ve Cu-Pb alaşımlı yataklardır. Motorlardaki korozyon aşınmasını doğuran esas etkenler ise, yanma sonucunda ortaya çıkan asitler ve motor yağının oksidasyonu sonucu oluşan değişik yapıdaki yağ asitleridir. Özellikle yakıtın bünyesindeki kükürt oranının artması sonucu yanma gazlarındaki kükürt oksitlerinin H_2SO_4 oluşumunu fazlalastırması silindir cidarındaki ve egzoz valfindeki korozyonu etkinleştirir.

4.1.4. Kavitasyon :

Hareket halindeki sıvının cidarla temas eden herhangi bir bölgesindeki basınç, mevcut sıcaklık şartlarına uyan buharlaşma basıncının altına düşerse o bölgede gaz keseciği oluşur. Çevre basıncının etkisiyle bir süre sonra patlamaya maruz kalan keseciğin bulunduğu bölgede ortaya çıkan yüksek basınçlar malzeme yüzeyinde oyukçuklar şeklinde aşınmalar oluşturur. Motorda kavitasyon aşınmasına su sirkülasyon pompası kanatlarında ve motor silindir gömleğinin iç cidarlarında rastlanır. Şekil 4.1'de silindir cidarı dış yüzeyinde pistonun uyguladığı kuvvete tepki olarak suyun yapmış olduğu aşınmalar görülmektedir ki bu aşınmalar kavitasyon değildir.

4.1.5. Yorulma Aşınması :

Aşırı zorlanmaya maruz parça yüzeylerindeki pürüzlerin dibinden zamanla gelişen çatlakların sebep olduğu kopmalar sonucu ortaya çıkar. Yüzey gerilmelerinin azaltılması yorulma aşınmasının oluşumunu kısmen engeller. Şekil 4.2'de yorulma aşınmasının oluşumuna bir örnek verilmiştir.

Dönen parçaların oluşturduğu yüksek gerilim değişmesinden dolayı partiküllerin kopması şeklinde tanımlanan yorulma aşınması, yüksek gerilime dayanıklı malzemelerde (çelik, Cu alaşımları, Al alaşımları) haddeleme veya kaymalı yuvarlanma hareketlerinde görülür. Düşük gerilimli gevrek malzemeler üzerinde, yuvarlanma ve kaymalı yuvarlanma hareketlerinde çatlaklar, yüzey üzerinde gerilimin maksimum olduğu yerde oluşur. Yüzey çatlakları kayma yönüne dik oluşur. Yorulma aşınmasının partikülleri, adhesif yorulma parçalarından daha büyüktür. Çapları 100÷1000 mikron arasındadır.

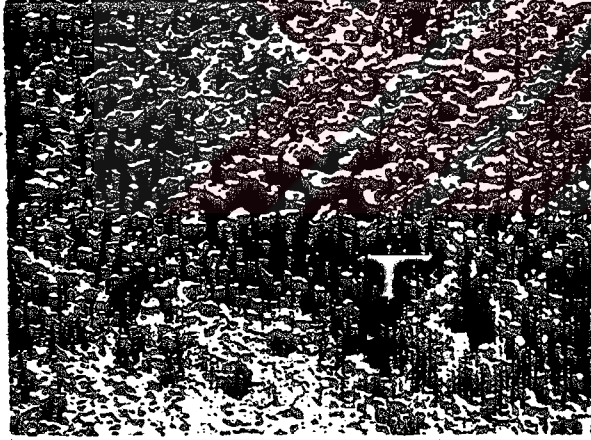
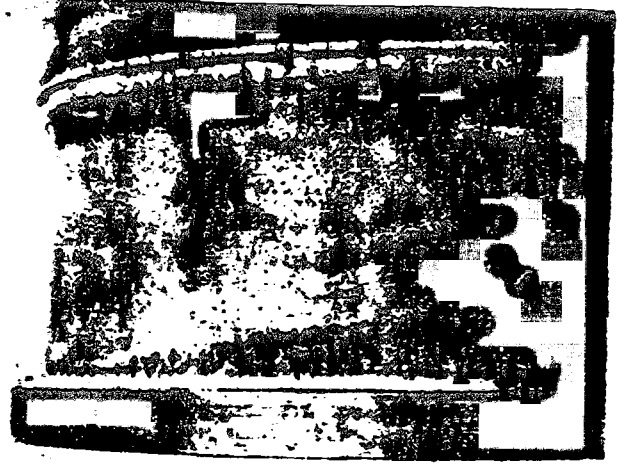
Bu tip bozulmaların çaresi, yüzeyin metalurjisi kadar yağlayıcının seçimine de bağlıdır. Yorulmaya dayanıklı metaller ve yüzey ısıtma işlemleri (temperleme, sementasyon, nitridasyon) temasların direncini arttırır. Sadece yağlayıcıya da etki ederek de durum düzeltilebilir.



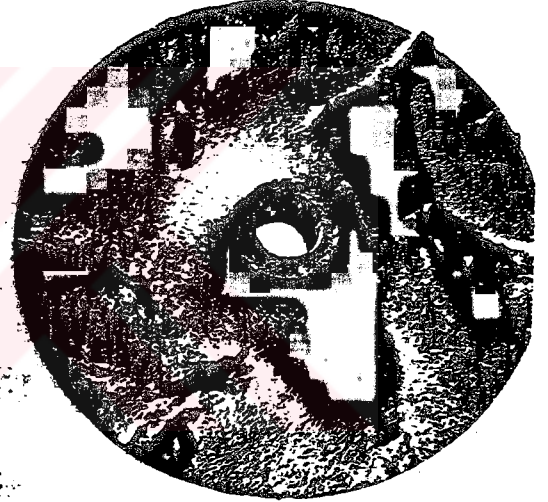
(A)



(B)



(C)



T-5898

(D)

ŞEKİL 4.1 Kavitasyon Aşınması Örnekleri

A-B : Silindir Gömleği Dış Yüzeyinde Suyun Piston Hareketinden Olan ve Cidarın Elastik Olması Nedeniyle Suyun Vermiş Olduğu Hasarlar

C : Kavitasyona Maruz Kalan Bölgenin Mikroskop Altında Görünümü

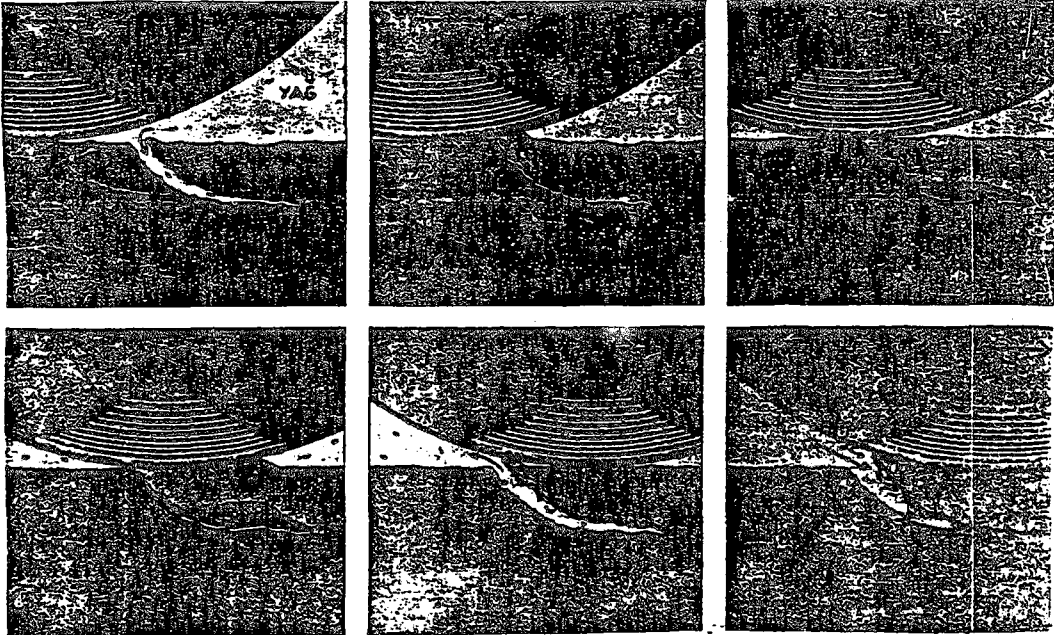
D : Su Sirkülasyon Pompasının Rotor Kanatlarında Kavitasyon Aşınması

Elastohidrodinamik (EHD) yağlama ürünleri göstermiştir ki kesme gerilmesi τ , saf mineral yağdan polifeniletere geçildiğinde, yüke bağlı olarak % 7+10 azalmıştır. Temas sıcaklığı 46°C 'dan 66°C 'a çıktığında kesme gerilmesi % 17 artmıştır. Basınçtaki % 40 lık artış kesme gerilmesini % 45 arttırmıştır. Yorulma ömrü, viskozitenin artmasıyla, basınç-viskozite katsayısının artmasıyla artmaktadır. Böylece EHD film kalınlığı da artmaktadır.

Yağlayıcının kimyasal özellikleri de yüzeysel hataların meydana gelmesine büyük etki gösterir. Aynı çeşit mineral yağları yorulma ömrünü ve viskoziteyi arttırır. Polialkalin glikoller de aynı tavrı gösterirler. Polifenileter bu durumda kullanılan en iyi yağlayıcıdır.

Katkılar, yorulma aşınmasında değişik etkiler gösterirler.

Yağ Bileşimi	Yorulma ömrü
Baz yağ	2.18
Baz yağ - % 2.5 sülfürlü temper yağı	2.05
Baz yağ - % 1.0 fatty amin	0.71
Baz yağ - % 2.5 klorinli wax	0.30
Baz yağ - % 1.0 yağ asidi	0.26
Baz yağ - % 1.0 dialkil fosfat	0.10
Dialkil fosfat % 100	0.11



ŞEKİL 4.2 Pürüz Dibinde Gelisen Çatlağın Yorulma Sonucunda Kopma Oluşumu

4.2. MOTORLARDA AŞINMA ÖLÇME YÖNTEMLERİ :

Herhangi bir yüzeyde meydana gelen aşınma, yüzeyden madde kaybına sebep olur. Aşınma sonucu malzemede hem boyutsal hem de kütleli değişime meydana gelir. Genel olarak aşınmaların tanımı aşağıdaki kriterlerle yapılır.

1- Lineer Aşınma Oranı :

$$K_L = \frac{\text{Aşınan Yüzey Kalınlığı}}{\text{Kayma Uzaklığı}} = \frac{h_{kai}}{L_{kza}} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

2- Hacımsal Aşınma Oranı :

$$K_V = \frac{\text{Aşınma Hacmi}}{\text{Kayma Uzaklığı} \times \text{Sürtünen Yüzey}} = \frac{\Delta V}{L_{kza} \times A_{sdr}} \quad \dots\dots (4.2)$$

3- Sürtünme Enerjisine Bağlı Aşınma Oranı :

$$K_E = \frac{\text{Aşınma işi}}{\text{Sürtünme işi}} = \frac{\Delta V}{F_{sdr} \times L_{kza}} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

$\Delta V = A_{sdr} \times h_{kai}$ olarak alındığında

$$K_E = K_L \times (A_{sdr} / F_{sdr}) \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

Motorlarda aşınmaların belirlenmesinde önceleri belirli bir çalışma süresi sonunda (50+100 saat veya daha uzun), hareketli parçalarda ortaya çıkan malzeme kaybı veya lineer boyut değişimi esas alınmaktaydı. Doğal olarak, bu tür bir ölçmenin yapılabilmesi için, çalışma süresi sonunda aşınması ölçülmek istenen parçaların sökülmesi zorunludur. Ölçmeler motor üzerinde yapıldıktan sonra aşınmalar [$\mu\text{m/h}$] veya [$\mu\text{m/mil}$] olarak ifade edilmekteydi. Günümüzde ise, motor çalışırken, tanımlanan işletme şartlarında ne miktar aşınma meydana geldiği modern yöntemlerle belirlenebilmektedir. Bu yöntemlerde aşınma, belirli çalışma süresi sonunda çıkan aşınma ürünü [mg/h] olarak miktarı ile tanımlanmaktadır. Motorlarda aşınma ölçülmesinde şu anda uygulanmakta olan yöntemler şunlardır:

4.2.1. SPEKTROSKOPİ :

Spektroskopi, motor elemanlarındaki aşınma durumunun belirlenmesi için yağlama yağı içerisindeki elementleri karakterize eden muhtelif olarak bulunan spektrallardan biri üzerine yapılan çalışmalardır. Elementleri

tanımlayan muhtelif spektral çizgilerin şiddeti ve enerji düzeyi burada bize elementlerin miktar ve cinsi hakkında bilgi verir.Yağ içindeki aşınma ürünlerinin artması, hangi motor elemanında aşınmaların hızlandığını gösterir.Spektroskopi yönteminde,elementlerin yapılarının belirlenmesi için Atomik Absorbsiyon (AA) ve Atomik Emission (AE) spektroskopisi kullanılır.

AE spektroskopisinde, uyarılan atomun nötr duruma geçerken foton salma özelliğinden yararlanılır.Atomun uyarılması dışardan enerji verilmesi ile sağlanır.AA spektroskopisinde ise, AE'nin tersi,atom tarafından absorbe edilen fotonun atomu nötr durumdan uyarılmış hale geçirme özelliğinden yararlanılır.Bu nedenle, AE spektroskopisinde atomun uyarılmış hali, AA de ise uyarılmamış atom hali esastır.Herhangi bir element için uyarılmış atom sayısı, toplamın ufak bir kesridir.Spektroskopi için yeterli düzeyde atomun uyarılması termal yöntemle sağlanır.

4.2.2. FERROGRAFi :

Demir aşınma ürünlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemdir. Demir aşınma ürünleri içeren yağ, "Ferrogram" denilen cam yüzey üzerinde ince bir tabaka şeklinde tutulur.Bu yöntemle, belirli bir bölge içerisinde partiküllerin işgal ettiği alan saptanır.Bu amaçla partiküller "Ferroskop" denilen bikromatik ışın mikroskopuyla izlenir.Daha sonra elektron mikroskop cihazıyla aşınma ürünü partiküllerin daha detaylı analizi yapılır.Demir aşınma ürünlerinin magnetik yöntemle yağlayıcıdan ayrılmasında Ferrogram kullanılır.Bunun için yağlama yağı bir eritici ile incelttilerek, yağın partiküller üzerindeki viskoz etkisi azaltılır.Daha sonra incelttilen yağ örneği ferrograma pompalanarak demir partiküllerin ferrogramda kalması sağlanır.Ferrogamda partiküllerin tutunmalarını, partikülün yağ içinde sürtünmesi ve magnetik çekim kuvveti temin eder.Mikroskop altında yapılan etüdle de partiküllerin çokluğu ve büyüklüğü saptanır.Demir partiküllerin

en büyüklerinin boyutu 5 μ m ve daha büyük olması aşınmaların hızlandığını gösterir.

4.2.3. RADYOAKTİF METOD :

Bu yöntem ilk defa 1943 yılında uygulanmıştır."Radioactive Tracer Metod"da radyoaktif aşınma ürünleri belirlenir.Fakat aşınma ürünlerinin hangi yüzeyden koptuğunu anlamak mümkün değildir.Burada aşınma ürünlerinin biolojik hasara neden olabileceğin altında, çok düşük düzeyde yaydıkları radyasyon kolaylıkla saptanabilir.Her bir elementin yaydığı karakteristik radyasyonun belirlenmesiyle, çok az aşınmaları bile izlemek mümkündür.

Radyoaktif aşınma metodu ABD'de Atlantic Refining Company adına S.W. Ferris tarafından ilk defa 1943 yılında patent kaydına geçirilmiştir. California Research Corp. ise, yöntemi motorlardaki aşınmaya uygulayan ilk kullanıcı olmuştur.

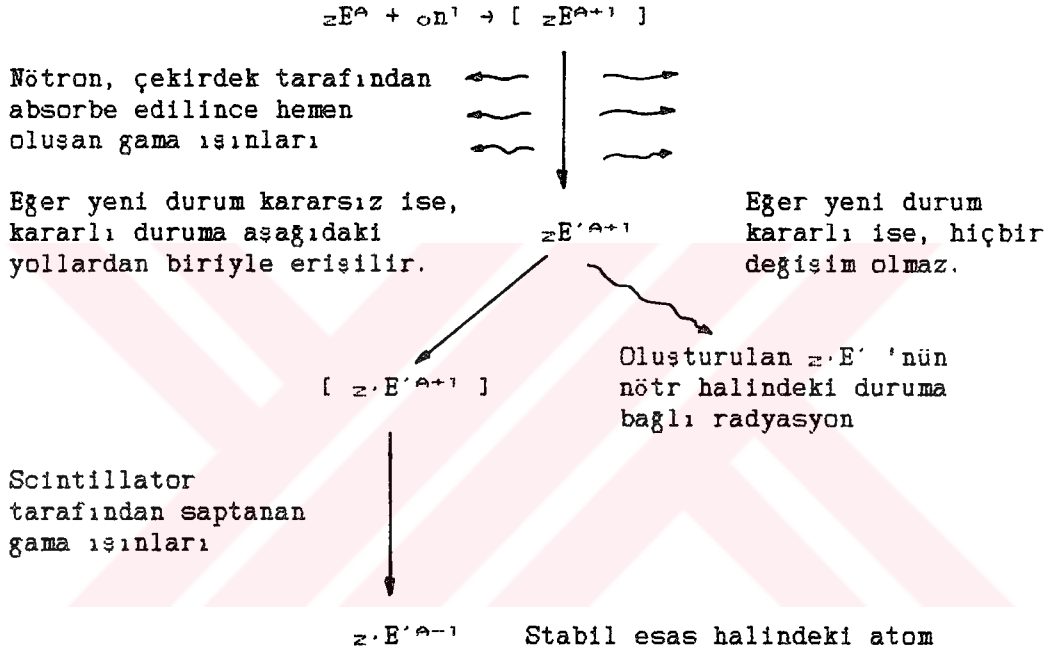
Radyoaktif aşınma metodunun uygulamasını üç kısımda incelemek mümkündür;

- a- Aşınma ölçülmesi istenen kısmın aktifleştirilmesi
- b- Deney esnasında aşınma ürünlerinin yağlayıcı vasıtasıyla sürtünen yüzeylerden taşınması
- c- Radyoaktif ölçme yöntemi vasıtasıyla aşınma ürünlerinin radyo-aktivitelerinin ölçülmesi.

içten yanmalı motorlar yüzeylerdeki aşınmaların dışardan takip edilmesindeki güçlük, aşınma ürünlerinin yağlama yağı tarafından kartere taşınmaları gibi özellikleri nedeniyle, radyoaktif ölçme yöntemi için ideal uygulama alanı olmaktadır.

Herhangi bir maddenin aktifleştirilmesi, maddenin atomlarının nötron bombardımanına tabi tutulmasıyla gerçekleştirilir.Bombardıman esnasında bazı nötronlar atom çekirdeği tarafından absorbe edilerek burada

çekirdeğin uyarılmasını sağlar. Uyarılmış çekirdek gama ışınları yayarak hemen esas haline geçer. Bu durumun stabil olmaması halinde ise, çekirdek radyasyon yayarak kararlı duruma geçme eğilimi gösterir. Bu olay radyoaktif bozunma olarak bilinir. Bozunma miktarı kararsız atom sayısına bağlıdır. Şekil 4.3'te bozunma prosesi ve radyasyon yayılmasının şematik görünümü verilmiştir.



ŞEKİL 4.3 Radyasyon Yayılması ve Bozunma Prosesi

Radyasyon yayılımını düzenleyen ifade ;

$$A_{akt} = N_{ato} \cdot \sigma_{kes} \cdot \phi_{nkt} \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

A_{akt} : Aktivite
 N_{ato} : Birim hacimde radyoaktif olabilen atom sayısı
 σ_{kes} : Çekirdek etki kesiti
 ϕ_{nkt} : Nötron akısı
 λ : Bozunma sabiti

Aktivite veya bozunma miktarını tanımlamada CURIE kullanılır ve değeri 3.7×10^{10} bozunma/saniye 'dir. Aktif maddenin spesifik aktivitesi 'X' Curie/g ile ifade edilir.

Nötron bombardımanı sayesinde radyoaktif hale geçirilebilen madde miktarı çok azdır. Tablo 4.1 'de krom ve demirin nükleer özellikleri

TABLO 4.1 *Demir ve Kromun Nükleer Özellikleri*

<u>Nötr Durum</u>	<u>% Ağırlık</u>	<u>Bombardımandan Sonra Nötron Absorbe Eden Atomun Yeni Şekli</u>	
$^{50}_{24}\text{Cr}$	4.3	$^{51}_{24}\text{Cr}$	kararsız
$^{52}_{24}\text{Cr}$	83.8	$^{53}_{24}\text{Cr}$	kararlı
$^{53}_{24}\text{Cr}$	9.6	$^{54}_{24}\text{Cr}$	kararlı
$^{54}_{24}\text{Cr}$	2.4	$^{55}_{24}\text{Cr}$	kararsız
$^{54}_{26}\text{Fe}$	5.8	$^{55}_{26}\text{Fe}$	kararsız
$^{56}_{26}\text{Fe}$	91.7	$^{57}_{26}\text{Fe}$	kararlı
$^{57}_{26}\text{Fe}$	2.2	$^{58}_{26}\text{Fe}$	kararlı
$^{58}_{26}\text{Fe}$	0.33	$^{59}_{26}\text{Fe}$	kararsız

verilmiştir. Buna göre, ağırlık olarak % 6.7 krom aktif hale geçirilebilirken ancak % 4.3 kromun yararlanılabilecek sürede bir bozunma periyodu vardır. Verilen tablodan görüldüğü gibi % 6.2 ağırlık oranındaki demir radyoaktif hale geçirilebilir.

$^{55}_{24}\text{Cr}$ 'in yarılanma süresi 3.5 dakika olduğundan aktivitesi çok hızlı düşme gösterir. $^{50}_{24}\text{Cr}$ 'den oluşan $^{55}_{24}\text{Cr}$ 'in yarılanma süresi 27.8 gün ve çekirdek etki kesiti $\sigma_{kes} = 16$ barn 'dır. Ölçülen bu radyasyon yayılması krom yüzeyin aşınmasını belirler. 0.320 MeV seviyesindeki gama ışınlarının yayılması nedeniyle bozulma sonucu $^{55}_{26}\text{Fe}$ oluşur. $^{54}_{26}\text{Fe}$ 'den oluşan $^{55}_{26}\text{Fe}$ yarılanma süresi 2.6 yıl ve çekirdek etki kesiti $\sigma_{kes} = 2.8$ barn 'dır. $^{58}_{26}\text{Fe}$ 'den oluşan $^{59}_{26}\text{Fe}$ 'un 45.1 gün yarılanma süresi vardır ve çekirdek etki kesiti $\sigma_{kes} = 1.2$ barn 'dır. Aşınmada kullanılan radyasyon kaynağı üç enerji seviyesinde gama ışını yayar. Bunlar ; 0.273 Mev (% 48), 0.475 Mev (% 51) ve 1 MeV (% 1) dir ve bozunma sonucunda ise $^{59}_{27}\text{Co}$ oluşur.

Yukarıda belirtilen modern aşınma ölçme yöntemlerinin sağladığı en önemli avantaj, motor elemanlarında sökme yapılmadan ne miktarda aşınma meydana geldiğini belirleyebilmektir. Motorlarda aşınmaların normal olarak seyretmesi halinde yağlama yağına karışan aşınma ürünlerinin boyutları 5 μm

ile 20µm arasında değişmektedir. Aşınma ürünlerinin bu boyutlar içinde kalması normal aşınma olarak tanımlanabilir. Fakat, yağlamayı bozucu veya sürtünmeyi artırıcı herhangi bir faktörün etkisiyle ortaya çıkan hızlı aşınma, yağlama yağındaki metal konsantrasyonunu arttıracak gibi aşınma ürünlerinin boyutlarının da büyümesine sebep olur. Burada sürtünen yüzeyler arasında daha iri aşınma ürünlerinin mevcudiyeti, yağ filminin yırtılmasını kolaylaştırarak abrazyon aşınmasını hızlandırır.

Modern aşınma ölçme yöntemleri, motor çalışırken hangi nedenle olursa olsun artan aşınmaları belirleme olanağı verdiğinden, daha önceden önlem alınmasında ve ortaya çıkacak daha ağır tahribatın önlenmesinde yararlı olmaktadır. Burada ayrıca, aşınma ile ilgili araştırmalarda değişik faktörlerin aşınmaya etkileri, büyük bir hassasiyetle ve fazla zaman kaybı olmaksızın belirlenebilmektedir.

4.3. MOTORDA AŞINMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER :

Motorlarda sürtünen, korozyon ve kavitasyona maruz kalan yüzeyler üzerinde aşınmalar meydana gelir. Özellikle silindir ve segman yüzeyleri, yüksek basınç ve sıcaklık şartlarında çalıştığından, aşınma yönünden en dikkat çekici kısımlardır. Aşınmalar, elemanların görev özelliğine göre belirli bir düzeyin üstüne çıkarsa, ya gerektiği gibi görevlerini yapamama veya hiç görev yapamamalarına sebep olur. En az düzeyde aşınma olmasını sağlayarak, motorun ömrünü uzatabilmek için motorlardaki aşınmalarda hangi faktörlerin etkin olduğu bilinmelidir. Genel olarak bu faktörleri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

1- Motorun konstrüktif özellikleri (devir sayısı, H/D strok/çap oranı, strok hacmi, soğutma şekli vs.)

2- Motor işletme şartları

- işletme şekli (kısa aralarla, uzun süreli, sürekli)

- Cidar sıcaklıkları
- Fren yükü
- Sogutma suyu ve yağlama yağı sıcaklıkları
- Diesel motorlarda silindirde oluşan ısı miktarı
- Ayrıca benzin motorlarında karışımın zenginlik derecesi

3- Yağ filtrasyon sistemi

4- Yağlama yağının özellikleri (Viskozite değişimi, içerdği katıklar, oksidasyon süresi vs.)

5- Silindir gömleklerinin su ile temas eden yüzeylerinde ve su sirkülasyon pompası kanatlarında ortaya çıkan kavitasyon etkisi

6- Elemanların malzeme özellikleri

7- Elemanların hareket şekli ve yağlama şartları

8- Yakıt içerisindeki kükürt miktarı

9- Emme havasıyla birlikte ortamdan silindire giren veya karter yağına karışan aşındırıcı partikül miktarı.

Motor elemanlarında aşınmaya etki eden çok sayıda faktörün etkinliği her bir elemanda farklı olduğu gibi, belli bir elemanda değişik faktörlerin sebep olduğu aşınma miktarları da farklıdır. Elemanların boyutu, kayma hızı, maruz kaldığı basınç ve sıcaklık, yağlama şekli, malzeme cinsi gibi aşınmayı belirleyen temel faktörler her elemanda farklı olduğundan, fonksiyonlarını yerine getiremeyecek düzeyde aşınmaya maruz kalma süreleri de değişik olur. Bu durum göz önüne alındığında, motorlarda aşınma miktarının en yoğun olduğu ve aşınmalar sonucu ortaya çıkan mahsurların en belirgin şekilde hissedildiği kısımlar, silindir ve segman yüzeyleri olmaktadır. Silindir cidarı ile segman yüzeyleri arasındaki harekette hidrodinamik yağlamayı bozucu (Yüksek basınç, yüksek sıcaklık, AÖN ve ÜÖN dolayındaki düşük kayma hızları, yanma gazlarının ve yağlama yağının yarattığı korozyif

ortam gibi) şartların mevcudiyeti aşınmaları hızlandırmaktadır. Silindir ve segmanların aşınma sonucu yenilenmeleri, diğer motor elemanlarına göre nispeten daha pahalı olduğu gibi, uzun işçilik süresi de gerektirir. Bazı hallerde motorun kullanılma amacına bağlı olarak yenileme nedeniyle motorun çalıştırılmaması sonucu ortaya çıkan ekonomik kayıp, yenileme masraflarının da çok üstünde olabilir. Bu nedenlerle, daha rantabl çalışma için aşınma sürelerinin uzatılması zorunludur.

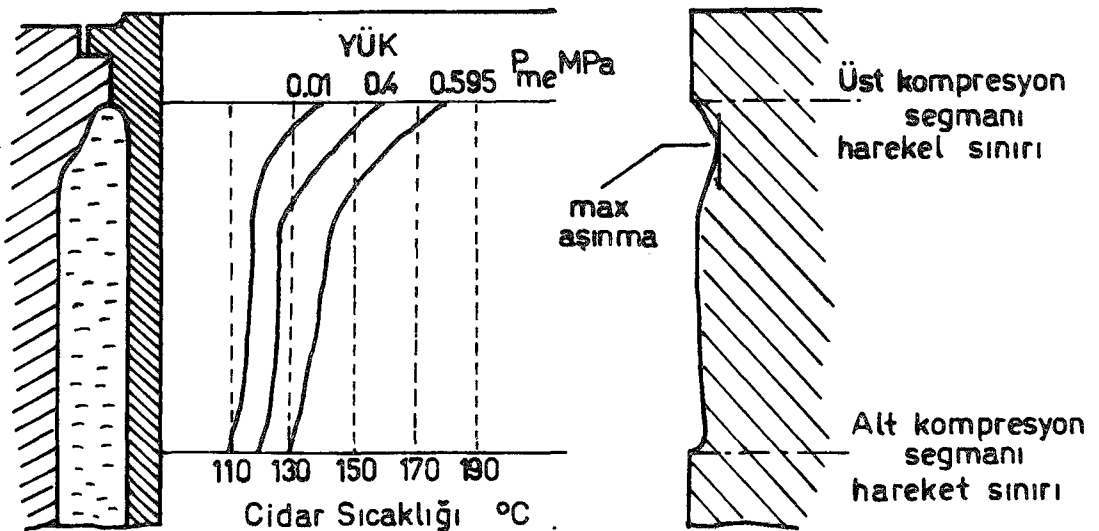
4.4. SİLİNDİRLERDEKİ AŞINMALAR :

Silindir malzemeleri dökme demir, hafif metal alaşımı veya çelik olarak seçilmektedirler. Dökme demir gömlekler; kumda döküm, kokil döküm ve santrifüj döküm yöntemleriyle imal edilirler. Bu tür silindir gömleklerinin uygulamada yaygın olarak kullanılmasının en önemli nedeni gözenekli olan yüzeyde yağ tutabilme özelliğinin mevcudiyetidir.

Hafif metal alaşımlı silindir malzemesi, genellikle hava soğutmalı ve küçük güçlü motorlarda kullanılır. Kolay işlenmesi, korozyona dayanımı ve ısı iletimi katsayısının yüksek olması hafif metal alaşımlarının silindir malzemesi olarak tercih edilme nedenleridir. Çelik silindir gömleklerde ise, yüzeyinde yağ tutabilme özelliğinin dökme demirdeki kadar iyi olmamasının dışında pek olumsuz özelliği yoktur. Silindir yüzeylerindeki aşınmaların mertebesine etki eden en önemli faktörlerden biri yüzey işleme kalitesidir. Yüzey pürüzlülüğünün fazla olması, sürtünen yüzeylerde metal metale temas olasılığını arttırır. Sınır yağlamada yüzeylerin birbirine teması sonucu ortaya çıkan adhezyon ve abrazyon aşınmaları hızlanır. Yüzey pürüzlülüğünün aşınmaya olan olumsuz etkisini azaltmak için, silindir yüzeyinin kaba işlenmesine müteakip honlamaya tabii tutulması yoluna gidilir.

Silindir yüzeyinde strok boyunca aşınmanın en etkin olduğu bölge ÜÖN dolayısıdır. Bu bölgede sıcaklıkların yüksek olması yağlama yağının burada

viskozitesini düşürür. Genişleme periyodu başlangıcında gaz basınçlarının yüksek olması da segmanların silindir cidarına yaptığı yüzey basıncını arttırır. Krank-biyel mekanizmasının kinematik özelliği sonucu ÜÖN dolayında piston hızının düşük olması ve tam ÜÖN 'da sıfır olması, yukarıda değinilen faktörlerin yanında, hidrodinamik yağlama bölgesinden uzaklaşmayı daha çok kolaylaştırır. Sınır yağlama şartında adhezyon ve abrazyon aşınmalarının artması, yağlamayı bozucu ağır şartlar altında çalışmada ortaya çıkan kazıma etkisi, ÜÖN dolayındaki yoğun aşınmaların nedenini teşkil eder. Ayrıca diesel motorlarında daha yoğun olan silindir içindeki korozif asitlerin aşındırıcı etkisi cidar sıcaklığının düşmesine bağlı olarak etkinleşir. Burada cidar sıcaklığının yanmada oluşan asitlerin yoğunlaşmasına olanak sağlaması, yüzeyde toplanmasına ve korozyon aşınmasının hızlanmasına sebep olur. Bu yüzden, cidar sıcaklıklarının motor ilk harekete geçirildikten sonrakısa sürede yükselmesi ve rejim halinde çalışmada da belli değerin değerin altına düşmemesi sağlanmalıdır. Şekil 4.4'te genel anlamda bir silindir gömleği üzerinde cidar sıcaklığı ve yükün değişimine göre aşınmalar temsili olarak gösterilmiştir.



ŞEKİL 4.4 Silindir Ekseni Boyunca Cidar Sıcaklığı ve Aşınmaların Değişimi

Uygulamada, aşınma sonucu silindir çapının % 0.2 D mertebesinde büyümesi motorun performansını olumsuz etkilememektedir. % 0.25 D mertebesi olduğunda motorun yağ sarfiyatında artış görülmekte ve aşınmalar, bölgedeki sızdırmazlığın bozulması sonucu motorun ilk harekete geçişini engelleyerek güçleştirmektedir. % 0.3 D mertebesindeki aşınmalar motorun yağ sarfiyatını hissedilir derecede fazlalaştırmaktadır. Aşınma nedeniyle yanma odasından kartere gaz kaçaklarının artması, piston sıcaklığını yükseltmektedir. Piston sıcaklığının yükselmesi, segman yuvalarındaki yağlama yağının termik olarak parçalanma sonucu kömürleşmesine ve segmanların yuvalarına kaynamalarına sebep olabilmektedir. % 0.35÷0.40 D mertebesindeki silindir aşınmaları gaz kaçaklarının artması nedeniyle motor gücünü hissedilir mertebede düşürmekte ve segmanların yuvalarına kaynamaları sonucu ortadan kalkan radyal doğrultu üzerindeki segman hareket serbestisi de segmanların kırılma olasılığını arttırmaktadır.

4.5 SEGMANLARDAKİ AŞINMALAR :

Kompresyon segmanlarının esas görevleri sızdırmazlık ve pistonun soğumasına yardımcı olmaktır. Silindirde sızdırmazlık, segmanların çevresel olarak silindir yüzeyine uyguladığı yüzey basıncı ve segman yan yüzeyinin segman yuvasının alt ve üst cidarıyla temas etmesi sonucu sağlanır. Yeni motorlarda segman ve silindir yüzeylerindeki pürüzlülüklerin kopması ve segman çevresel formunun silindire alışması nedeniyle başlangıçta aşınmalar fazla olur.

Yüzeylerden kopan parçacıkların silindir cidarında kazımaya sebep olmasını önlemek ve cidarlarda hasar meydana gelmeksizin alışmayı sağlamak için, motorun alıştırma periyodunda fazla yüklenmesinden kaçınılmalıdır. Aksi halde, silindirde artan gaz basıncı segmanın silindir yüzeyine uyguladığı yüzey basıncını fazlalaştıracığından cidarda kazıma ve çizilmelerin ortaya

çıkması kaçınılmazdır.

Segmanların silindir yüzeyine yaptığı basınç, segman ve silindir yüzeylerindeki aşınmalar arttıkça azalır. Yüzey basıncının azalması sonucu segmanlardaki sızdırmazlığın bozulmasının en etkin sebebidir. Silindir ve segman yüzeyindeki aşınmaların artması, segman uç boşluğunu genişletecek olmasından dolayı segman ucundan olan kaçakların da artmasına sebep olur. SAE J1201 standardı segman uç boşluğunun değişim aralığını, silindir çapına bağlı olarak aşağıdaki şekilde sınırlamaktadır.

Silindir Çapı (mm)	Segman Uç Boşluğu (mm)
25 - 49.9	0.15 - 0.35
50 - 74.9	0.20 - 0.45
75 - 99.9	0.25 - 0.50
100 - 124.9	0.30 - 0.60
125 - 149.9	0.40 - 0.75
150 - 174.9	0.50 - 0.90
175 - 199.9	0.60 - 1.05

Segman ve silindir malzemeleri aynı olmak koşuluyla, silindir ve segman yüzeylerindeki hacımsal aşınmaların yaklaşık olarak birbirine esit olması gerekir. Segmanın sürtünen yüzeyi, silindirin sürtünen yüzeyine göre daha küçük olması nedeniyle, radyal doğrultudaki lineer aşınmaların segmanda daha fazla olmasına sebep olur. Aşınmaların olumsuz etkileri motorda görülmeye başladığında, silindirde henüz çalışmayı bozacak düzeyde aşınma meydana gelmemesine karşın, segmanlardaki hızlı aşınma gaz kaçaklarının artmasının sebebi olmaktadır. Bu sakıncanın giderilebilmesi amacıyla bazı motorlarda kullanılan kompresyon segmanlarının gömlekle sürtünen yüzeyleri 0.01÷0.05 mm kalınlıkta kromla kaplanarak aşınmaya karşı segman yüzeyinin direnci arttırılmaktadır.

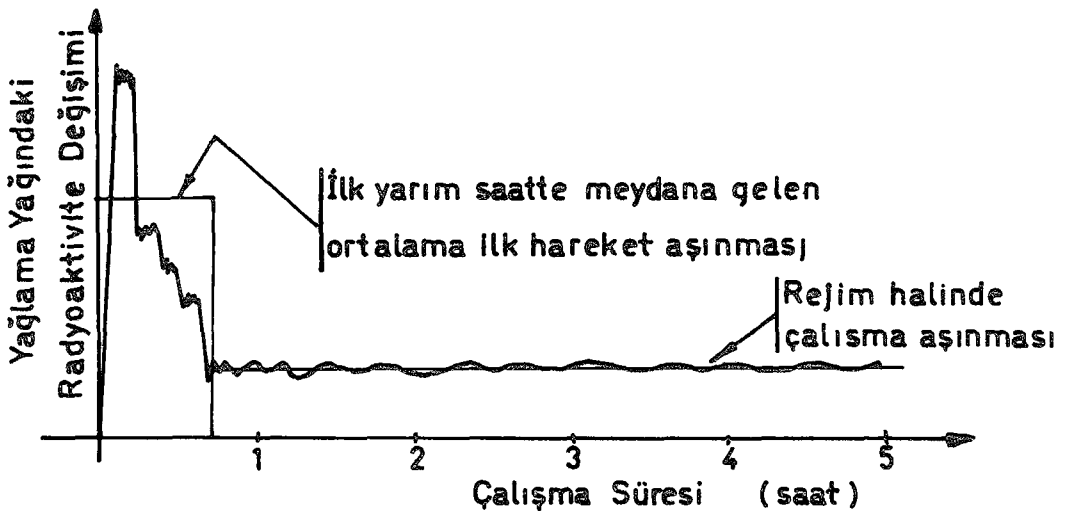
Silindir ve segman yüzeylerindeki aşınmaların seyrine çok sayıda faktörün yanında, motorun işletme şekli, belirgin bir şekilde etki etmekte ve aşınmaların azaltılabilmesi için buna çok dikkat edilmelidir. Motor ilk

harekete geçirildiğinde izlenen hızlı aşınmalar, ortamda bulunan çeper sıcaklıklarının artmasıyla birlikte azalma göstermekte ve rejim halinde çalışmada kararlı bir düzeyde kalmaktadır.

4.6. MOTORLARDA AŞINMA İLE İLGİLİ BAZI ARASTIRMA SONUÇLARI :

4.6.1. İlk Hareket Aşınmasına Etki Eden Faktörler :

Soguk motorun ilk harekete geçirilmesiyle oluşan hızlı aşınmalar; bir önceki çalışma sonu ile motorun ilk harekete geçirildiği an arasındaki sürede meydana gelen korozyon aşınması ile, korozif aşınma ürünlerinin çalışma esnasında yüzeylerden temizlenmesi ve buna ek olarak, soğuk ortamda gaz fazına geçmesi güç olan yakıtın cidardaki yağlama yağını incelterek yağlamanın bözülmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Motor durdurulduğu zaman silindirde kalan yanma gazlarının cidarda yoğunlaşması, korozyon aşınmasını arttıran bir faktör olarak bilinmektedir. Motorun ilk harekete geçirilmesi ile birlikte cidarlardaki korozyonun yarattığı aşınma ürünlerinin yağlama yağına karışması ve bir önceki çalışmadan kalan yağ bünyesindeki aşınma ürünleri, ilk hareket süresince abrazyon aşınmasını arttırmaktadır. Aşağıda görülen şekil 4.5 motorun ilk hareketine başladığı andan rejime ulaşmasına kadar olan geçen sürede aşınma değişimlerini temsil etmektedir.



ŞEKİL 4.5 Motorun İlk Hareketinde Meydana Gelen Aşınmanın Değişimi

"ilk Hareket Aşınmasına Etki Eden Faktörlerin Araştırılması"

konulu araştırmalarında J.C. Cree ve J. Thiery, ilk hareket aşınmasını motor "ilk harekete geçirildikten sonra aşınmaların kararlı bir düzeye indiği ilk yarım saatte meydana gelen aşınma" olarak tanımlamaktadır (Şekil 4.5). Araştırmacılar deneylerini tek silindirli, benzinli ve diesel motoru olarak çalıştırılabilen Petter AV motorunda gerçekleştirmişlerdir. Aşınmaların ölçülmesini ise, radyoaktif üst kompresyon segmanından yağlama yağına karışan aşınma ürünlerinin yaydıkları radyoaktivite düzeyinin ölçülmesiyle belirlemişlerdir. Aşınmaların ölçülmesinde kullanılan yağ örneği, silindir gömleğinin altında toplanarak buradan Geiger Muller radyoaktivite ölçme aletine sevk edilmiştir.

Değişik faktörlerin ilk hareket aşınmasına etkilerini belirlemede karşılaştırma kriteri olarak standart şartlarda ortaya çıkan aşınmalar esas alınmıştır. Araştırmacıların varsaydıkları standart şartları;

Motor Devri	1500 dev/dak.
Fren Ort. Etkili Basıncı FOEB (Yük)	55 MPa
Yağlama Yağı Sıcaklığı	50 °C
Yağ Basıncı	13.8 MPa
Soğutma	su ile
Silindir Cidar Sıcaklığı (Çalışmada)	35 °C
Motorun Bekleme Süresinde Sil.Cidar Sıc.	25 °C
Motorun Çalıştırma Süresi	6 saat
Motor Durdurulduktan Sonra Bekleme Süresi	5 saat

Deney süresinin 6 saat gibi uzunca bir süre seçilmesinin nedeni ilk hareket aşınmasının seyrinin rejim halinde çalışma aşınmasından güvenle ayırabilmek amacına dayanmaktadır. Araştırmacılar yaptıkları deneylerde, aşağıda verilen esaslar içerisinde ölçmeleri gerçekleştirmişlerdir :

- I- Deneyler standart şartlarda sürdürülerek aşınmalar ölçülmüştür.
- II- Deney sonunda motor yağı hemen değiştirilerek, bunu izleyen çalışmada meydana gelen aşınmalar ölçülmüştür.
- III- Motora yakıt sevki kesilip, yağ değiştirilmeksizin motor durdurulduktan sonra 15 dakika süreyle dışardan tahrik edilerek bilahare bekleme bırakılmıştır.
- IV- Motor yağı deney sonunda değiştirilmiş ve 15 dakika süreyle motor dışarıdan tahrik edildikten sonra bekleme bırakılmıştır.
- V- Silindir cidar sıcaklığı motorun bekleme süresinde 60°C olarak muhafaza edilmiştir.

Tablo 4.2'de yukarıda belirtilen beş ayrı şart altında yapılan deney sonuçları verilmiştir. Buna göre; genellikle ilk hareket aşınmasını arttıran herhangi bir faktör, rejim halinde çalışmada da arttırmaktadır. İlk hareket ve rejim halinde aşınma değerlerinin herhangi bir faktörün değişmesiyle paralel seyretmelerinin muhtemel nedeni, korozyonun sebep

D E G i ş G E N F A K T Ö R	PETTER A.V. DİSEL MOTORU				PETTER A.V. BENZİN MOTORU			
	Yakıt % 0.4 S 'lü motorin				Yakıt % 0.01 S 'lü benzin			
	ilk Hareket Aşınma Mik. mg demir		Rejim Aşınma Mik. mg demir/h		ilk Hareket Aşınma Mik. Birim Aşınma		Rejim Aşınma Mik. Br Aşınma/h	
	SAE 30 Katık sız yağ	SAE 30 Katık lı yağ	SAE 30 Katık sız yağ	SAE 30 Katık lı yağ	SAE 30 Katık sız yağ	SAE 30 Katık lı yağ	SAE 30 Katık sız yağ	SAE 30 Katık lı yağ
I	1.09	0.51	1.97	0.19	35.90	12.30	5.3	0.8
II	0.81	0.41	1.97	0.13	29.00	8.90	6.2	1.3
III	0.72	0.23	1.67	0.14	21.70	5.30	4.6	0.7
IV	0.67	-	1.19	-	15.20	4.20	3.1	2.2
V	0.71	-	1.72	-	19.50	4.20	4.6	2.1

TABLO 4.2 ilk Hareket ve Rejim Çalışma Aşınmalarının Degisik Şartlar Altında Diesel ve Benzin Motorlarında Seyri

olduğu yüzey pürüzlülüğündeki değişimdir. ilk hareket aşınması korozyon etkisiyle artınca yüzey pürüzlülüğü fazlalaşmakta, buna bağlı olarak da rejim halinde çalışma aşınması artış göstermektedir.

Deney sonunda motor yağının hemen değiştirilmesi, hem kullanılmış yağın neden olacağı koroziif etkiyi ve hem de önceki çalışmada yağa karışan aşınma ürünlerinin yaratacağı abrazyon aşınmasını ortadan kaldırmaktır. Bu verilen deney sonuçları da belirtilen açıklamayı doğrulamaktadır.

Deney sonunda motor yağı değiştirilmeksizin, yakıt sevki kesilerek motorun 15 dakika süreyle dışardan tahrik edilmesinin aşınmaya etkisi, yanma gazlarının ve cidarlardaki yağlama yağının neden olduğu koroziif etkiyi az da olsa ortadan kaldırmaktır. Silindirde yanma olmaksızın motorun dışardan hareket ettirilmesi, yanma odasındaki artık gazların dışarı atılmasını ve böylece zararlı etkenlerin ortamdan uzaklaşmasını sağlar. Ayrıca silindir ve segman yüzeylerindeki yağlama yağı tarafından tutulan koroziif maddelerin, yağ sirkülasyonu sonucu yüzeylerden uzaklaştırılmaları koroziif aşınmaları azaltan ikinci bir neden olarak gözükmektedir.

Hem motor yağının çalışma sonunda değiştirilmesi ve hem de motor durdurulduktan sonra 15 dakika süreyle dışardan tahrik edilmesinin birlikte aşınmaları azaltıcı etkileri, önce ayrı ayrı yapılan deneylerde sağlanan aşınma azalmasının hemen hemen toplamı kadar olmaktadır.

Motorun bekleme süresinde, silindir cidar sıcaklığının 60°C mertebesinde tutulması, silindir içinde ve karterdeki koroziif maddelerin cidarda yoğunlaşmasını engellemekte, böylece aşınmaların azalmasını sağlamaktır. Tablo 4.3'te , daha kolay karşılaştırma yapabilmek için standart şartlara göre değişken faktörlerin sağladığı yüzde aşınma azalması verilmiştir.

Aynı araştırmacılar yaptıkları ikinci seri deneylerde, yakıtın bünyesindeki kükürt bileşenlerinin koroziif etki yoluyla ilk hareket aşınma

D E F G A i K Ş T G Ö E R N	PETTER A.V. DIESEL MOTORU		PETTER A.V. BENZİN MOTORU	
	Yakıt % 0.4 S 'lü motorin		Yakıt % 0.01 S 'lü benzin	
	% ilk Hareket Aşınmasındaki Azalma			
	Katıksız Yağ	Katıklı Yağ	Katıksız Yağ	Katıklı Yağ
I	Referans	Referans	Referans	Referans
II	26	19.5	19	28
III	34	55	39.5	57
IV	38.5	-	57.5	66
V	35	-	46	66

TABLO 4.3 *Değişik Şartlar Altında Yapılan Deneylerde, Seçilen Standart Şartlardaki Aşınmalara Göre Sağlanan % Aşınma Azalması*

miktarlarını nasıl değiştirdiğini incelemişlerdir. Yanma gazlarındaki kükürt içeren bileşenlerin korozyon asit oluşturma etkisi, bu bileşenlerin motor beklemeye terk edildiği zaman, silindir cidarı ve segman yüzeylerindeki yağlama yağında bulunan konsantrasyonlarına bağlıdır. Cidarlardaki yağın bekleme süresinde karterdeki yağa göre daha fazla korozyon gazlarla temas etmesi, silindir ve segman yüzeylerindeki korozyon etkisini artırır. Burada silindir cidarındaki ve segman yüzeylerindeki yağın korozyon maddelerden arındırılması, hem motorun bekleme süresindeki, hem de ısınma periyodundaki aşınmaları azaltır.

Motorun beklemeye terkedilmesinden önce, yakıt sevki kesilerek dışarıdan tahrik edilmesi, çalışma sonunda motor yağının değiştirilmesi ve yanma odasındaki gazların kuru azotla süpürülmesi, yanma gazlarının korozyon etkilerinin aydınlatılması amacına dayanmaktadır. Tablo 4.4 'ten görüldüğü gibi diesel motorlarındaki yüksek kükürtlü yakıtın sebep olduğu ilk hareket aşınması, yanma gazlarının cidarlardan ve yağlama yağından arındırılmasına bağlı olarak azalır.

D E Ğ İ Ş G E N	PETTER A.V. DIESEL	PETTER A.V. BENZİN	
	% 2 kükürtlü motorin	% 0.01 kükürtlü benzin	
	% ilk Har. Aşınmasında Azalma		
	Katıksız Yağ	Katıksız Yağ	Katıklı Yağ
Standart şartlar	Referans	Ref.	Ref.
Bekleme süresinden önce motor yağı değiştirilmiş	20	-	-
Bekleme süresinden sonra motor yağı değiştirilmiş	30	-	-
Motor yağı değiştirilmeksizin bekleme süresinden önce bir süre dışardan tahrik	85	37	65
Bekleme süresinde silindir cidar sıcaklığı 60°C tutulmuş	70	38	20
Bekleme süresinde subaplar süper poz. da iken silindir kuru azotla süpürülmüş....	50	11	-
Beklemede karter kuru azotla süpürülmüş.....	30	3	-
Beklemeden önce silindir ve karter kuru azotla temizlenmiş.....	70	-	-

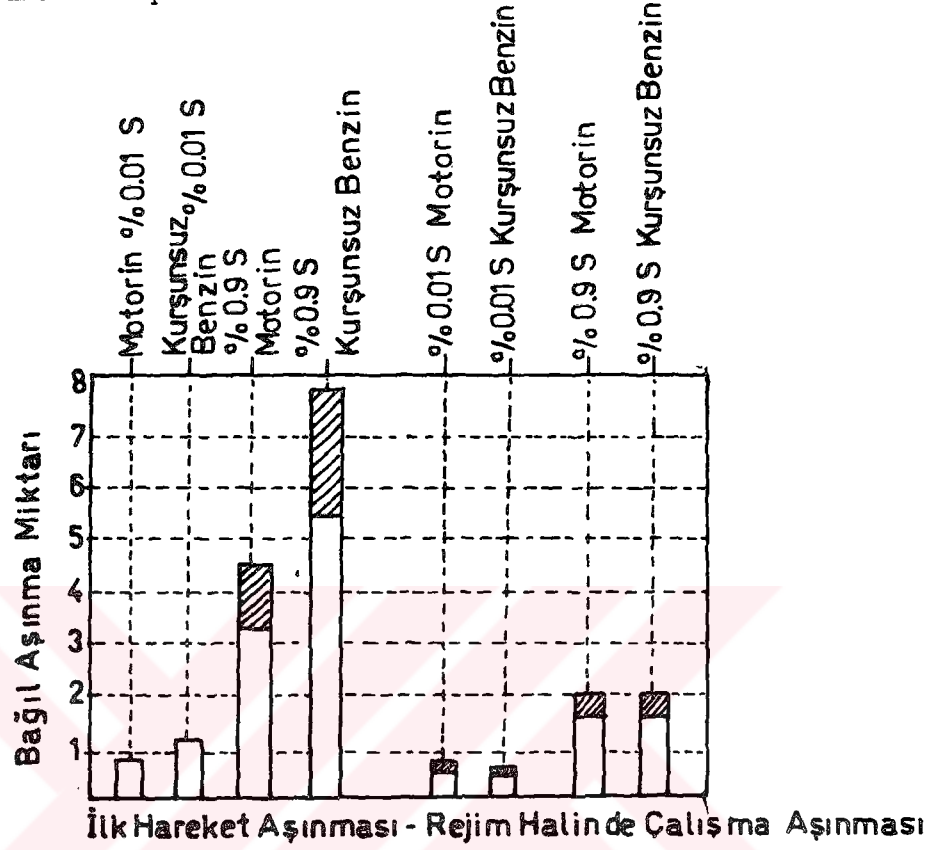
TABLO 4.4 ilk Hareket Aşınmasında Değişken Şarta Bağlı Olarak Ortaya Çıkan % Azalma

4.6.2. Yakıt Cinsinin Aşınmaya Etkisi :

W.C. Pike ve P. Newman yakıt cinsi, cidar sıcaklığı, yük ve yakıt içinde bulunan kükürt bileşeninin aşınmaya etkilerini radyoaktif ölçme yöntemiyle incelemişlerdir. Silindir çapının 80 mm ve stroku 110 mm olan deney motoru önce 19/1 sıkıştırma oranında diesel motoru, daha sonra motorun üzerinde gerekli değişiklikler yapılarak 5/1 sıkıştırma oranında benzin motoru olarak çalıştırmışlardır. Aşınmaların ölçülmesinde, radyoaktif üst kompresyon segmanından yağlama yağına karışan aşınma ürünlerinin yaydıkları radyoaktivite düzeyinin ölçülmesiyle belirlenmiştir.

Araştırmacılar yaptıkları ilk seri deneylerde motorin ve benzinin yakıt olarak aşınmaya etkilerini incelemişlerdir. Şekil 4.6 'da verilen

deney sonuçlarından görüldüğü gibi, rejim halindeki çalışmada iki yakıtın sebep olduğu aşınmalarda pek fark olmamasına karşın, benzin ilk hareket

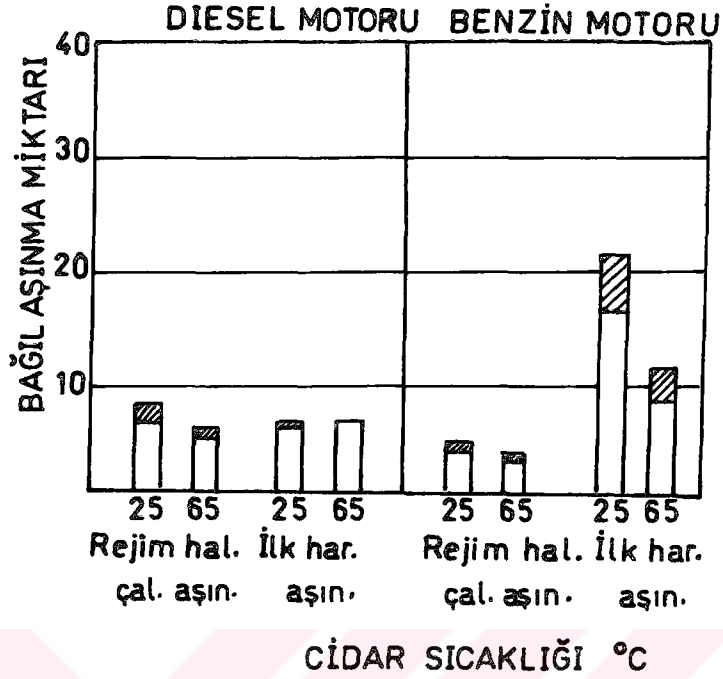


ŞEKİL 4.6 Yakıt Cinsinin Motorda Aşınmaya Etkisi
(Taraflı Kısımlar Ölçmeler Esnasındaki Değişimi)

aşınmasını motorine göre daha fazlalaştırmaktadır. Bu durumun nedeni: soğuk ortamda buharlaşması güçleşen benzinin cidarlarda birikerek yağlama yağını inceltmesi ve yağ viskozitesinin düşmesi sonucu, ortaya çıkan hidrodinamik yağlama sağlanmasındaki güçlülüktür. Her iki yakıtın da içerdiği S bileşeninin artması bir önceki incelenen deneylerle uyum sağlamakta, korozyif aşınmaları artırdığından hem ilk hareket, hem de rejim halinde çalışma aşınmalarını fazlalaştırmaktadır.

4.6.3. Cidar Sıcaklığının Aşınmaya Etkisi :

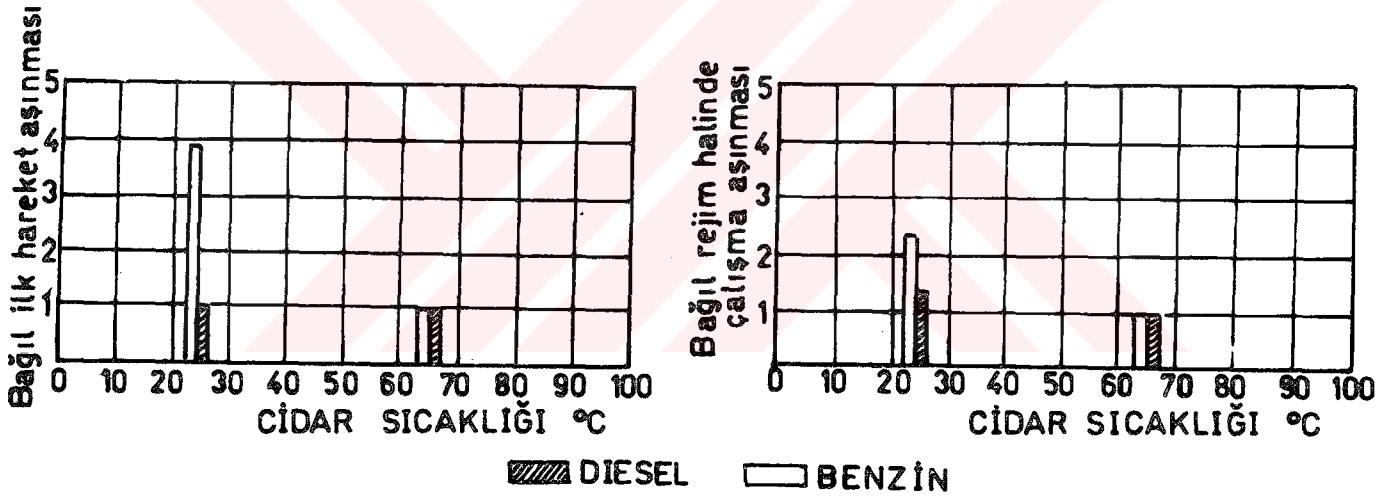
Silindir cidar sıcaklığının değişmesi, şekil 4.7 'de görüldüğü gibi benzin ve diesel motor aşınmalarında farklı karakterler göstermektedir



ŞEKİL 4.7 Benzin ve Diesel Motorlarında Silindir Cidar Sıcaklığının Segman Aşınmasına Etkisi

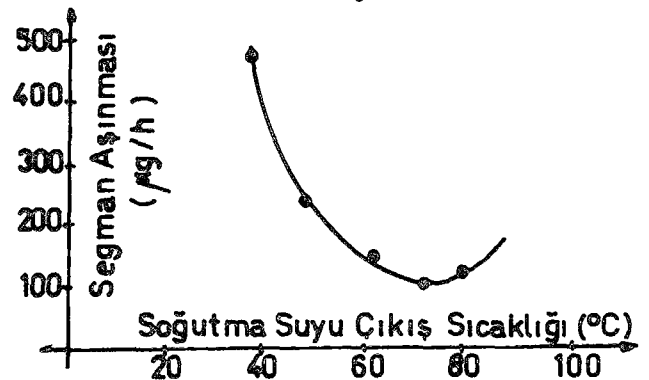
Diesel motorlarında cidar sıcaklığındaki azalma; gerek ilk hareket aşınması ve gerekse rejim halinde çalışma aşınması için çok az artırmaktayken benzin motorlarında ilk hareket aşınmasını oldukça fazlalastırmakta, rejim halinde çalışma aşınmasının da diesele göre daha çok artmasına neden olmaktadır. Aynı yükte ve aynı miktar kükürt içeren yakıtlarla yapılan deneylerde, rejim halinde çalışmada diesel motorunda meydana gelen aşınmalar benzin motorunda oluşanın hemen hemen iki katı mertebesinde iken, benzin motorunun ilk hareket aşınması 65°C cidar sıcaklığında diesel aşınmasının yaklaşık iki katı, 25°C cidar sıcaklığında ise yaklaşık dört katı mertebesinde olmaktadır. Düşük cidar sıcaklığında benzin motorlarının ilk hareket aşınmalarının artmasının nedeni, yakıt faktöründe değinildiği gibi benzin düşük değerdeki sıcaklıklarda cidardaki yağlama yağını inceltmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. İlk hareket ve rejim halinde çalışma aşınmalarını birbirleriyle daha kolay

karsılařtırabilmek için Őekil 4.8 'de 65°C cıdar sıcaklıęında benzin ve diesel motorundaki aşınmalar bir birim kabul edilerek 25°C cıdar sıcaklıęı için baęıl aşınmalar verilmiřtir. Bencin motorlarında dűřűk cıdar sıcaklıęı sartında karıřım içindeki yakıt emme ve sıkıřtırma sűrecinde cıdarlardaki yaęlama yaęıyla temas olanaęı bulurken, diesel motorlarında motorun ęalıřma prensibi gereęi pűřkűrtűlen yakıt sıkıřtırma sonunda sadece tutuřma gecikme zamanı sűresinde, direkt pűřkűrtűmeli motorlarda relatifli kısa sűrede ve daha kűűűk bir silindir yűzeyi ile temas olanaęı bulmaktadır. Ayrıca motorin benzin kadar yaęı inceltici etkide bulunmaması Őekil 4.8 den gűrűldűęű gibi diesel motorlarında ilk hareket aşınmasının azalmasını sonuęlamaktadır



ŞEKİL 4.8 65°C Sıcaklıktaki Aşınmalar Referans Alınarak 25°C Cıdar Sıcaklığında Bencin ve Diesel Motorlarda izlenen Bağıl Aşınmalar

Dűřűk cıdar sıcaklıęlarında aşınmaların daha fazla olmasının dięer bir nedeni korozyon aşınmasının etkinleřmeęidir. D. Bolis ve D. Daavetilla tarafından yapılan arařtırmada belirlendięű gibi yűkűek cıdar sıcaklıęlarında da dűřűk cıdar sıcaklıęlarındakine benzer

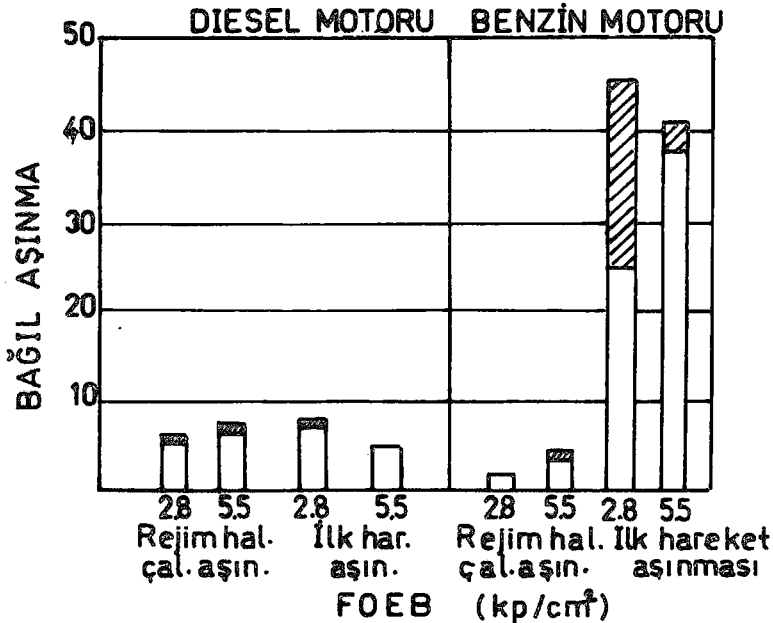


ŞEKİL 4.9 Soğutma Suyu Sıcaklığına Bağlı Segman Aşınması

şekilde aşınmalar artmaktadır (Şekil 4.9). Yüksek cidar sıcaklıklarında yağlama yağının viskozitesinin azalması sonucu sınır sürtünme şartının ortaya çıkma eğilimi, sıcaklık arttıkça aşınmaların fazlalaşmasının nedeni olarak gözükmektedir.

4.6.4. Motor Yükünün Aşınmaya Etkisi :

W.C. Pike ve P. Newman sırasıyla 2.8 kp/cm² ve 5.5 kp/cm² fren ortalama etkili basıncı (FOEB) yükleme değerlerinde elde ettikleri ilk hareket ve rejim halinde çalışma aşınması değerleri, benzin ve diesel motoru için Şekil 4.10'da verilmiştir. Benzin motorlarında yük arttıkça ilk hareket aşınmasının artmasının nedeni, soğuk cidarda benzinin yağı inceltici etkisi ile güçleşen hidrodinamik yağlama şartının yük artışına bağlı olarak daha da ağırlaşmasıdır. Zira, yük artışını karakterize eden silindirdeki gaz basınçlarının artması, segmanların silindir cidarına uyguladığı yüzey basınç miktarını arttırır. Motorun bekleme ve ilk hareket süresinde oluşan korozyon aşınma ürünlerinin yüzeyler arasında mevcudiyeti ve yükün artmasıyla sürtünen yüzeylerin birbirine temas olasılığının fazlalaşması, bu süreçte abrazyon aşınmalarının yoğunlaşmasına sebep olur.



ŞEKİL 4.10 Motor Yüküne Bağlı Olarak Benzin ve Diesel Motorlarındaki İlk Hareket ve Rejim Aşınmalarının Değişimi

4.6.5. Laboratuvarda Yapılan Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar :

ilk hareket ve rejim halinde çalışma aşınması olarak incelenen motorlardaki aşınmalar, araştırma sonuçlarına dayanılarak aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- 1- Benzin motorlarında ilk hareket aşınması, bekleme süresinde cidarlarda yoğunlaşmış yanma gazlarının etkisiyle olmayıp, yağlama yağındaki korozif maddelerin etkisiyle meydana gelmektedir.
- 2- Yağlama yağında tutulan, yanma gazlarının içerdiği korozif maddelerin motor durdurulduğu zaman segman ve silindir cidarlarında bulunmasının ilk hareket aşınmasına etkisi, bir önceki çalışmadan yağlama yağında kalmış korozif maddelerin aşındırıcı etkisine göre daha fazladır.
- 3- ilk hareket aşınmasının en önemli kısmı, motor çalıştırıldıktan sonra ısınmaya kadar geçen sürede oluşan korozyon ile aşınma ürünlerinin neden olduğu abrazyon sonucu ortaya çıkmaktadır.
- 4- Yakıt olarak benzin, özellikle soğuk motorda yağlama yağı viskozitesini motorine göre daha fazla düşürdüğünden daha çok aşındırmaya neden olur.
- 5- Düşük cidar sıcaklıklarında yağ asitlerinin ve yanma gazlarının neden olduğu korozyon, yüksek cidar sıcaklıklarında ise yağ viskozitesinin düşmesi sonucu ortaya çıkan hidrodinamik yağlamadaki güçlük, aşınmaları hızlandırmaktadır.
- 6- Motor yükünün artması, segmanların silindir cidarına uyguladığı yüzey basıncını ve cidar sıcaklıklarını arttırdığından aşınmaları hızlandırır.
- 7- Yakıtın içerdiği kükürt oranı arttıkça, yanma gazları yoluyla sülfirik asit oluşumu fazlalastığından gerek ilk hareket ve gerekse rejim halinde çalışma aşınmalarını çoğaltmaktadır.

Bu sonuçlardan sonra deniz şartlarında gemide yapılmış olan araştırmaları inceleyelim.

4.7. GEMİ DİSEL MOTORLARI İÇİN YAPILMIŞ OLAN ARAŞTIRMALAR

4.7.1. Kısmi Yükte Çalışan Gemi Diesel Motorlarında Değişik

Soğutma Şartlarına Bağlı, Segman ve Silindir Gömleği Aşınması :

Motorlarda enerji dönüşüm veriminin artması ; yanma odası elemanlarının termik ve mekanik yükünün artırılması ile yakından ilgilidir. Değişik kalite parametrelerine sahip ağır yakıtların kullanımı tahribatın derecesini kuvvetle etkilemektedir. Bunun yanında uzun mesafelerde yakıttan ve dolayısıyla masraftan tasarruf etmek için, motorları kısmi yükte çalıştırma zorunluluğu gözardı edilemez.

Bu yüzden tahribat araştırmaları bakımından ve motorda minimum masrafla maksimum kullanımı sağlamak için yukarıda belirtilen unsurlar gözönüne alınmalıdır.

Modern gemi diesel motoru işletiminin hedefi masrafları minimize etme yoluna gitmektir. Yakıt kullanımı ve yakıt ile ağır yağların fiyat artışı incelenirken bugüne kadar, motor elemanlarının ömürlerinin tükenmesine kadar kullanmak ve motoru servise hazır bulundurma masraflarının minimize edilmesi ihmal edilmiştir.

Burada incelenecek olan konu, kısmi yükte çalışan gemi diesel motorlarında değişken soğutma şartlarına bağlı olarak enerji ve tahribat tutumlarının karşılıklı etkileri ele alınmıştır.

4.7.1.1. Deneyin Tasarımı :

80 'li yılların başından beri denenen gemi diesel motorlarının devamlı kısmi yükte işletimi ve buna bağlı olarak ağır yakıtların motorda kullanılması sonucu ortaya çıkan problemler, kirliliği, korozyonu ve aşınma zararlarını beraberinde getirmiştir.

Yüksek verimli, büyük stroklu, düşük devirli ve uzun yanma periyot özelliklerine sahip gemi diesel motorlarında yanmış gazların sıcaklığında bir düşme gözlenmiştir.

Bu oluşumlar kısmi yükte dolgu havasının sıcaklığının artırılması ve yanma odasından soğutucu sistemindeki akışkana olan ısı transferinin bir miktar azaltılması sonucu olumlu yönde etkilemiştir.

Bu araştırmanın yapıldığı Warnemünde-Wustrow Gemicilik Yüksek Okulu'nda değişik motorlarla yapılan araştırmaların amacı soğutucu akışkana olan ısı transferinin alt sınırlarını zorlayarak, dolayısıyla soğutucu akışkana ait sıcaklığın üst sınırlarını yüke bağlı olarak tespit etmek olmuştur. Gerekli verimler ve aşınma şartları, tüm yük bölgelerinde gözlenmiş ve sonuçlar diagramlar halinde ifade edilmiştir.

4.7.1.2. İNCE TABAKA AKTİVİZASYONU İLE AŞINMA ANALİZİ (İTA) :

Bu analiz bize, tribolojik segman-silindir gömleği çalışma aralık mesafelerini ölçüm için bozmadan, yani demontajsız ölçüm imkanı sağlar.

Ölçüm sırasında, uygun deney zamanlarında güvenilir sonuçlar almak için yüksek hassasiyete önem verilmiştir. Yöntemin prensibi bir materyal tabakasının aşınmasının aşınma derinliğinin değişimine göre ölçmeye dayanır. Bunun için gerekli radyasyon Şekil 4.11'deki segman için Rossendorf 'taki Nükleer Araştırma Merkezindeki bir cihazdan sağlanmıştır.

Bu denemede izotop üretimi ve derinlik dağılımı seçilen radyasyon parametrelerine göre tespit edilmiştir.

Şekil 4.12 'de demirden bir iş parçası içinde "kobalt" izotopları ile oluşturulan derinlik dağılımı görülmektedir. Bundan ortaya şekil 4.13 gözlenen izotop veya izotop karışımı için bir kalibrasyon eğrisi ortaya çıkmıştır. Aşınma bu kalibrasyon eğrisi ile iş parçasının yeterli miktarda aktivite değişiminin karşılaştırılması ile tespit edilmektedir.

Aynı radyasyon şartlarında yapılmış bir karşılaştırma denemesi, yarım değer zamanı etkisi ile ortaya çıkan aktivite yeterliliği değişiminin telafi edilmesine ve aletler yüzünden oluşacak dalgalanmaların bertaraf

edilmesine yarar. Kullanılan deney tertibatı şekil 4.14 'de gösterilmiştir.

Hedeflenen yüksek ölçüm hassasiyetinin elde edilmesi aşağıdaki paragraftaki açıklamalarda görülebilir.

4.7.1.3. DENEYSEL ARASTIRMA SONUÇLARI :

1. Enerji Yönünden Gözlem

Kısmi yükteki gemi diesel motorlarında verimin aşınma olaylarını da dikkate alarak belirlenmesi için çeşitli tiplerdeki motorlarla bir çok deney yapılmıştır. Bu deneylerde soğutucu akışkanın motor içindeki akış hız değerinin soğutma sistemindeki ısı geçişine ne kadar etkisi olduğu gözlenmiş ve sonuçları diagramlar halinde verilmiştir. Minimal soğutucu akışkan miktarını tespit etmek için kriter olarak :

- 1- Motor imalatçısı tarafından verilen bilgiler, (soğuk su giriş ve çıkış sıcaklığı, maksimum artık gaz ve yağlama yağı sıcaklığı gibi)
- 2- Nominal yükte silindir gömleğinin ve silindir kafasının yüzey sıcaklığı ve nominal soğutma şartları ve bunun gibi sınır değerleri soğutucu su akışının azaltılması için alınmıştır.

Şekil 4.15'te örnek olarak 8 VD 26/20 Al-2 gemi diesel motorunda önerilen soğutucu su akışının azaltılması için, nominal yükte ve soğutma şartlarında incelenen sıcaklık değerleri asılmamıştır.

Şekil 4.16'da ise 8 VD 26/20 Al-2 gemi diesel motorunun silindir gömleği ve soğuk su sıcaklıklarının [soğuk su pompası (A) ve azaltılmış soğuk su akımı (B) şartlarında motor yüküne bağlı olarak] karşılaştırılması gösterilmiştir.

Elektrikle tahrik edilen soğuk su pompasında akışkan miktarında azaltılması ile tasarruf edilen elektrik enerjisi, imalatçının verilerine göre maksimum kullanıma bağlı olarak şekil 4.15 'de görülebilir.

Tüm yük bölgelerinde minimize edilmiş soğutmada elektrik enerjisi

miktarının tasarrufu % 75 den fazladır. Bundan başka efektif verimde bir yükselme görülür (şekil 4.15). Ayrıca yağlama yağı filminde oluşan viskozite değişimi ve fren fonksiyonunda değişimler gözlenebilir.

2. Aşınma Bakımından :

Kısmi yükte silindir cidar sıcaklığını yükselterek verimi artırma olayında segman ile gömlek arasındaki aşınma da dikkate alınmalıdır

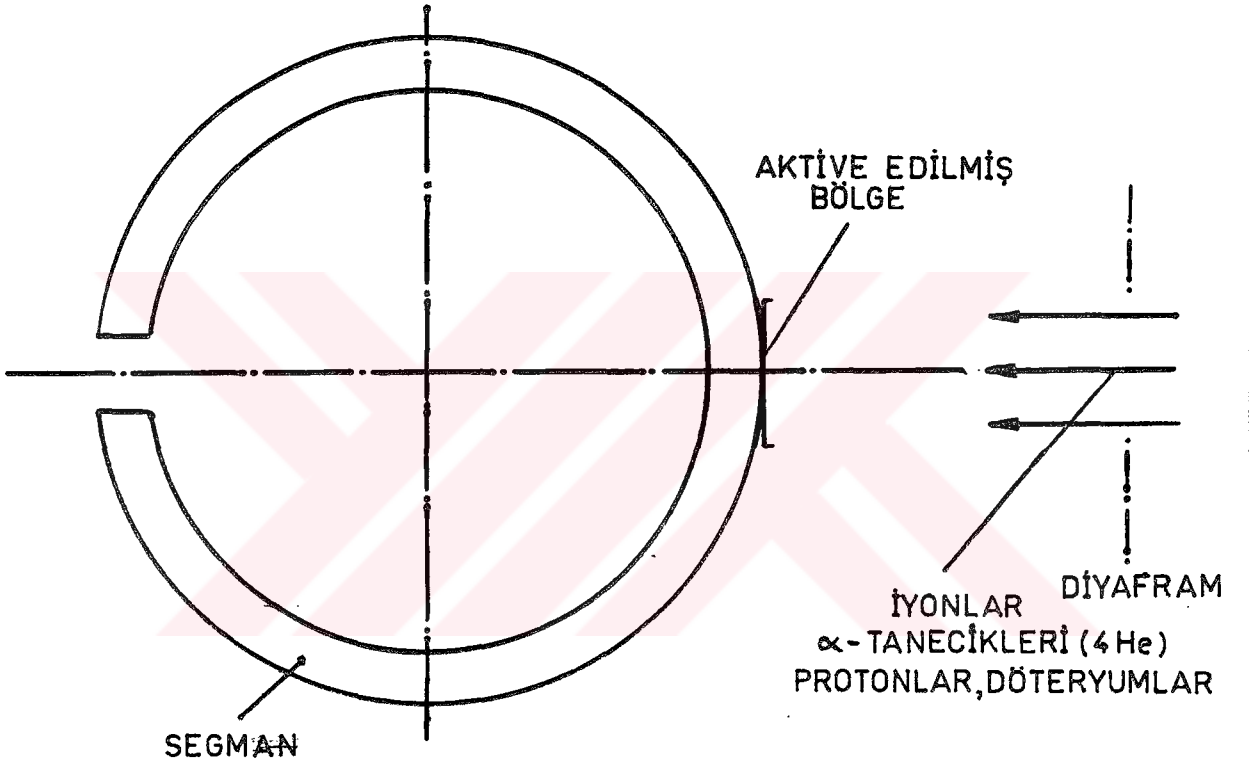
Korozif aşınma olayının baskın çıktığı durumda, cidar sıcaklığının artırılması aşınma hızında bir azalmaya sebep olacaktır.

Motor kükürt oranı az olan yakıtla çalıştırıldığında, aşınma olayı yağ filmi kalınlığı (segman-gömlek arası) na bağlı olacaktır.

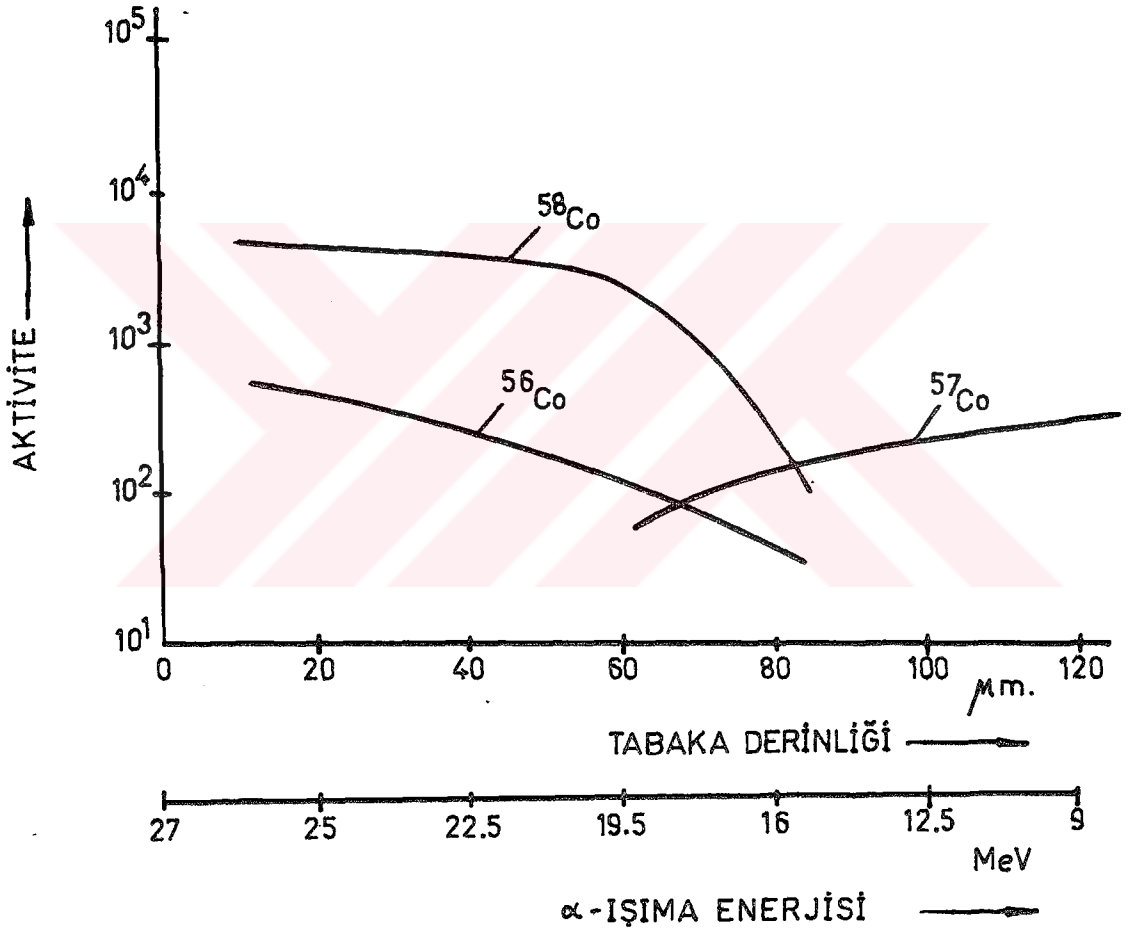
Bu hipotezin deneysel olarak teyidi veya reddi için daha önce anlatılan iTA yöntemine başvurulmuştur. Şekil 4.7'de segmanda aşınma olayı görülmektedir. Yine de soğutma şartlarının değişimine bağlı olarak beklenen aşınma hızındaki az değişimi elde etmek için, stasyonier bir aşınma durumu ortaya çıkmalıdır. Şekil 4.17 'de görüldüğü gibi bu ancak motorun 208 saat çalıştırılması sonucunda elde edilmiştir.

Şekil 4.18 'de görüldüğü gibi soğutma suyunun debisini 8000 kg/h iken 1000 kg/h 'e indirilmesi % 25 motor yükünde az bir aşınma hızı artışına sebep olmaktadır.

Bu hız % 80 motor yükündeki aşınma hızı artışına göre düşük kalmaktadır. Bu tür aşınma analizleri, motorun çalıştırılma durumuna, yakıt ve yağlama yağına bağlı olarak ömür sürelerinin tahmin edilmesine imkan sağlamaktadır.

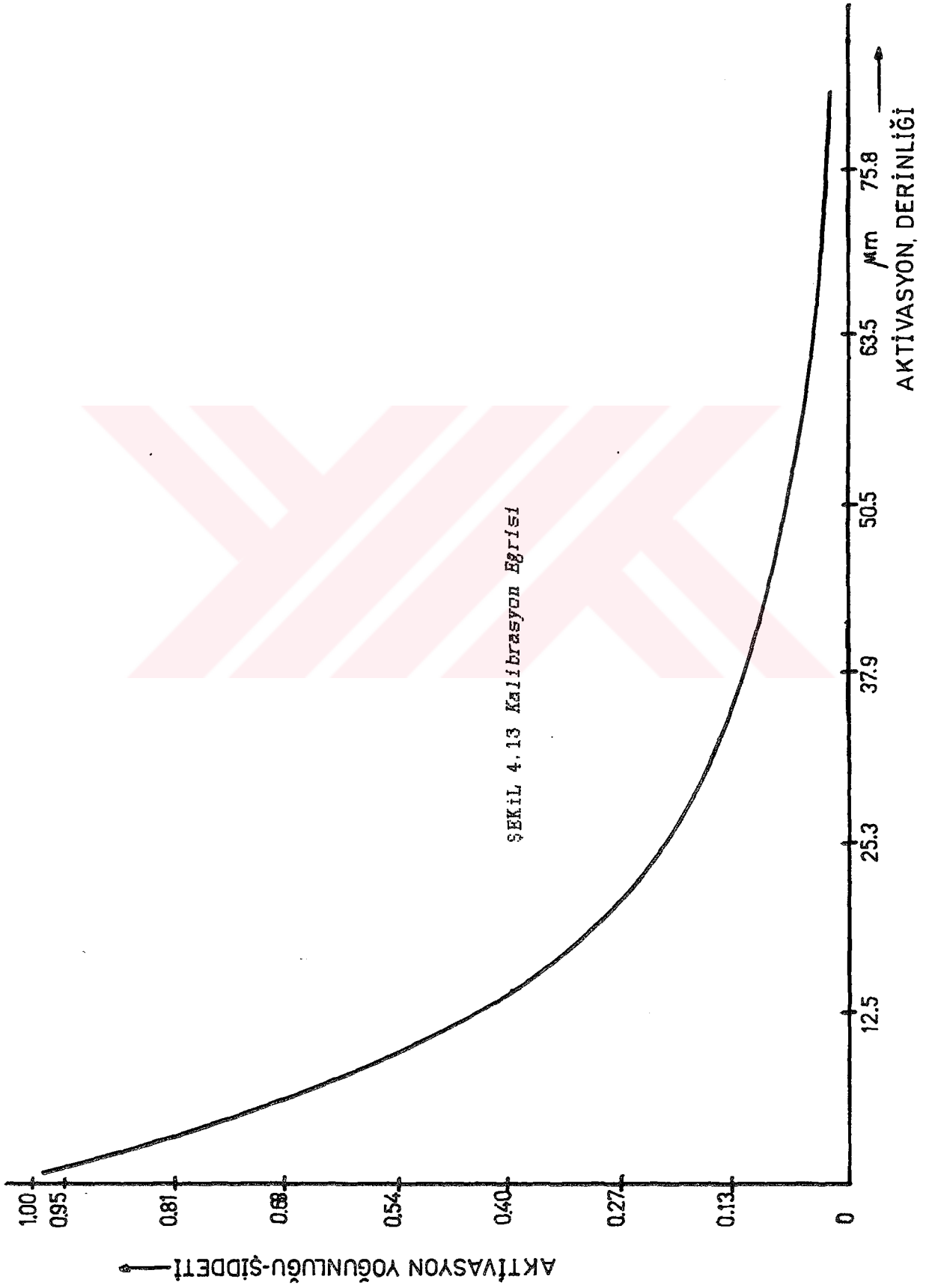


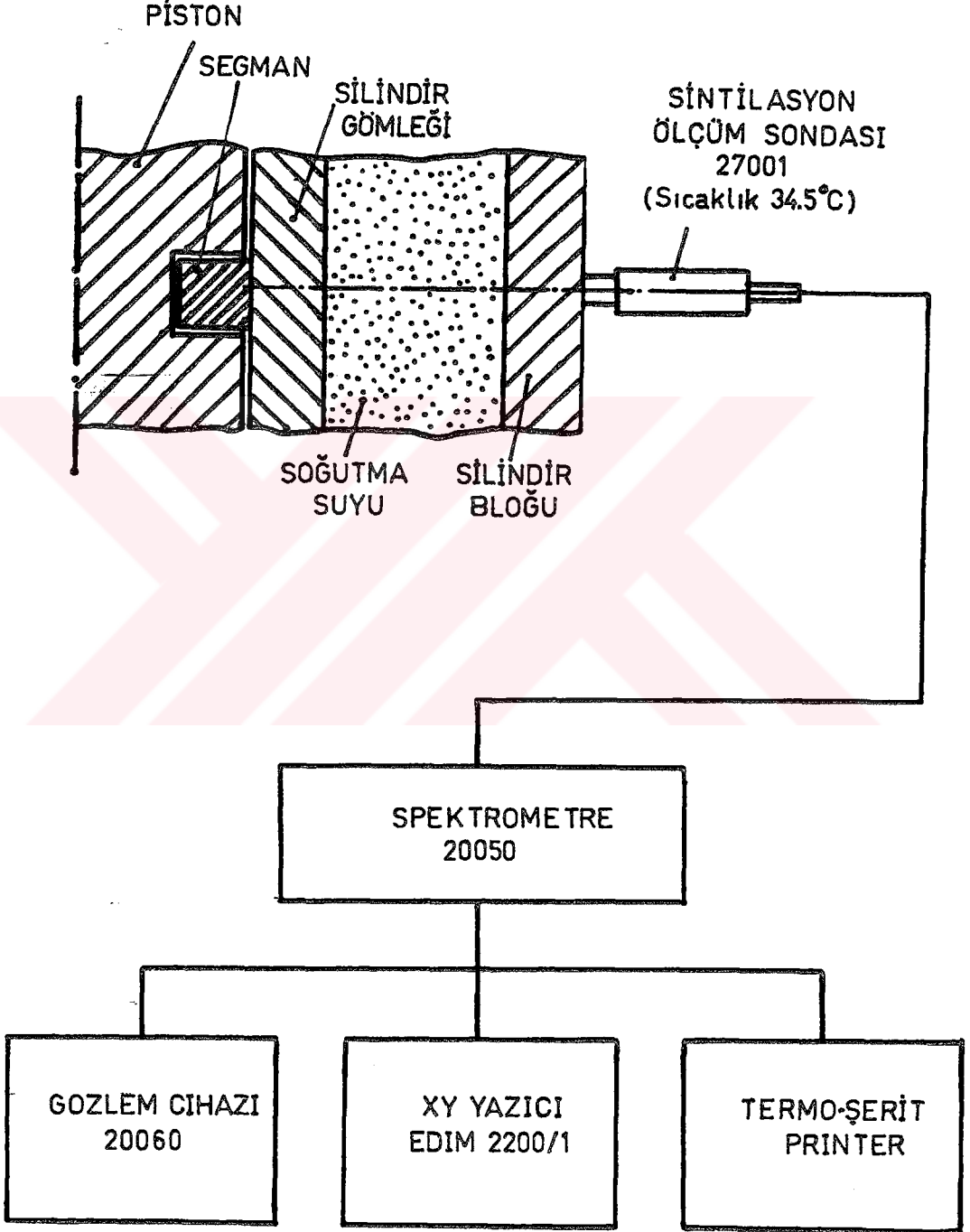
SEKİL 4.11 Segmanın Radyasyona Tabi Tutulmasının Şematik Gösterimi



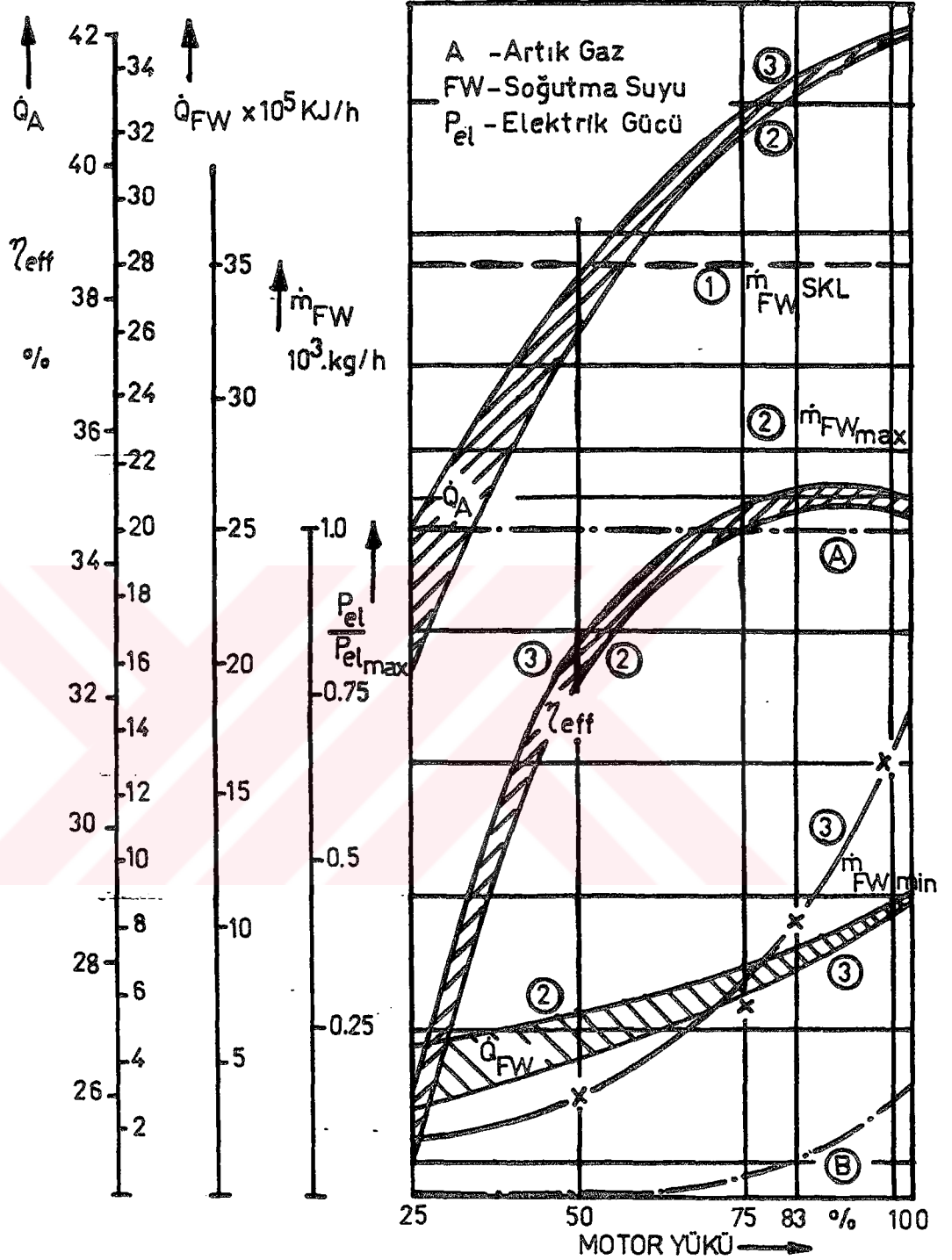
ŞEKİL 4.12 Demirin α - Tanecikleri ile Bombardımanı

Çekirdek Üretim Fonksiyonları





ŞEKİL 4.14 ince Tabaka Aktivasyonu (iTA) ile Aşınma Ölçümünün Şematik Gösterimi



ŞEKİL 4.15 Değişik Soğutma Şartlarında DM 8 VD 26120 A1-2 (Jen. Eğrisi)

için Enerji Akımları

$\dot{m}_{FW}$ Soğutma Suyu Debisi : 1 Üreticinin Verdiği SKL

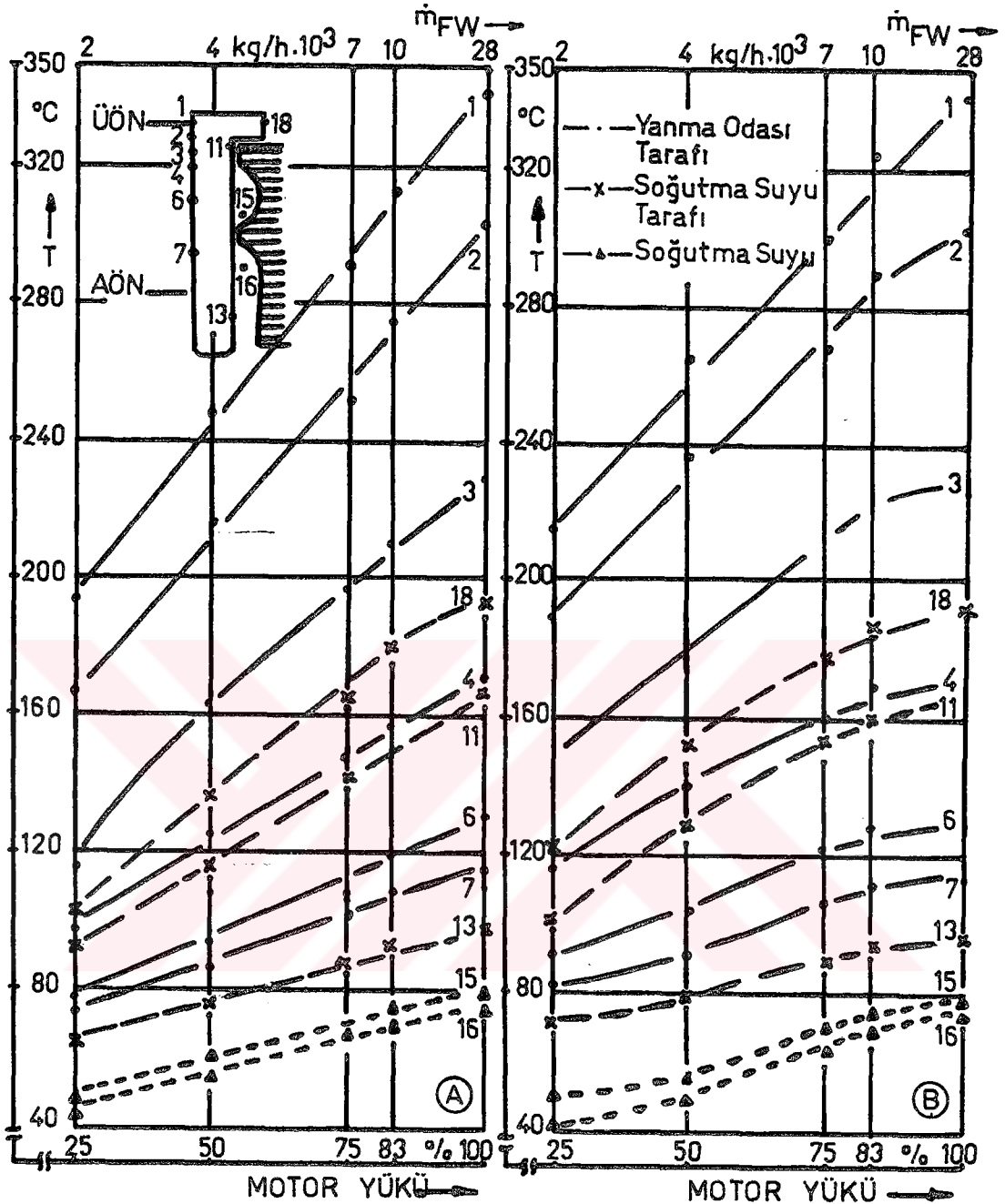
2 Sistem Azaltılmış Olarak Çalışmakta

3 Azaltma Miktarı Önerisi

Soğutma Suyu Pompasının Çalıştırılmasında Elektrik Sarfıyatı

B Azaltılmış Kullanım

A Çıkış Kullanımı



ŞEKİL 4.26 Değişken Soğutma Şartlarında Motor Yüküne Bağlı Olarak

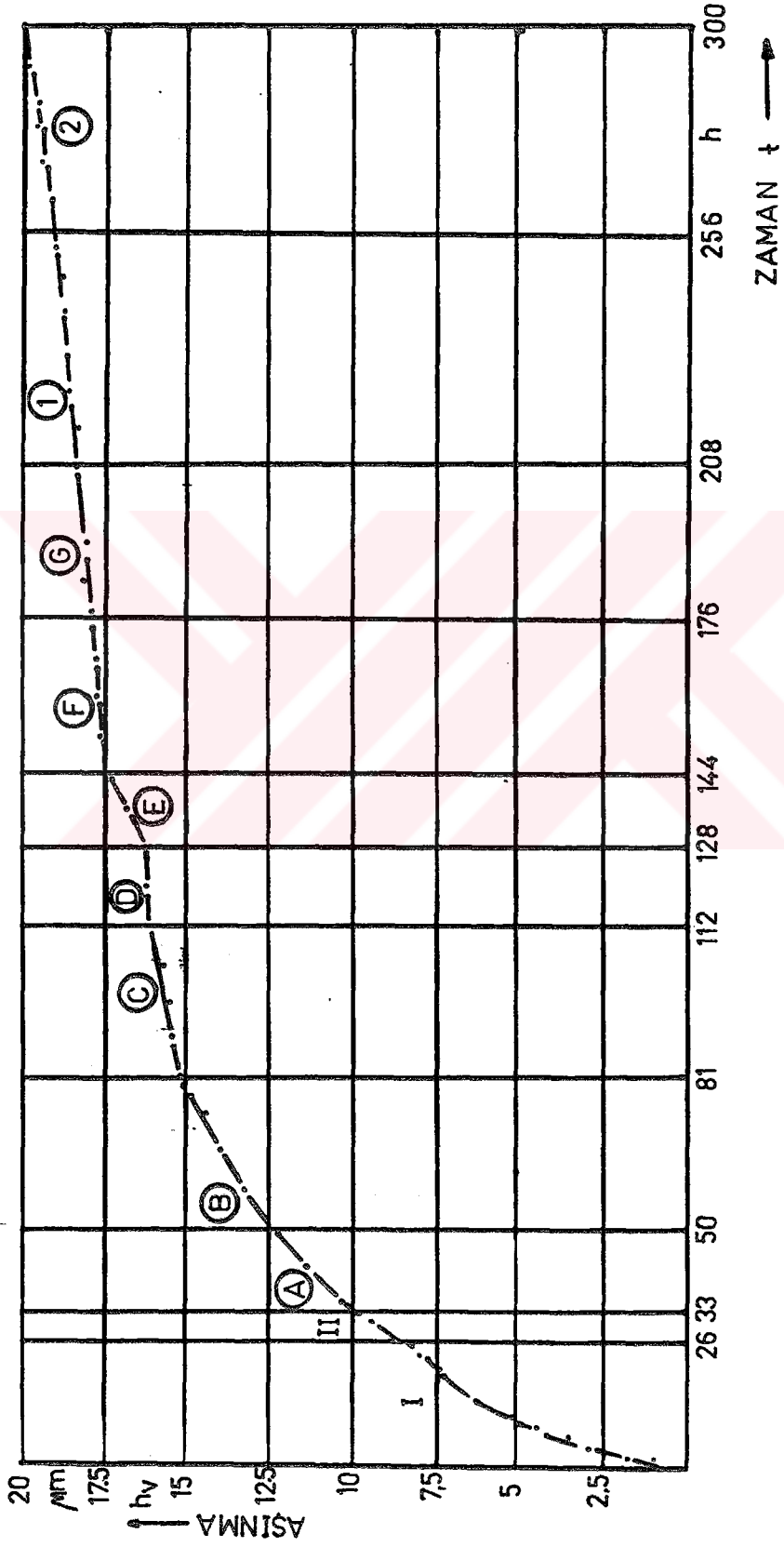
(8 VD 26120 Al-2 Jeneratör Karakteristiği)

Silindir Gömleği Ve Soğutma Suyu Sıcaklıkları

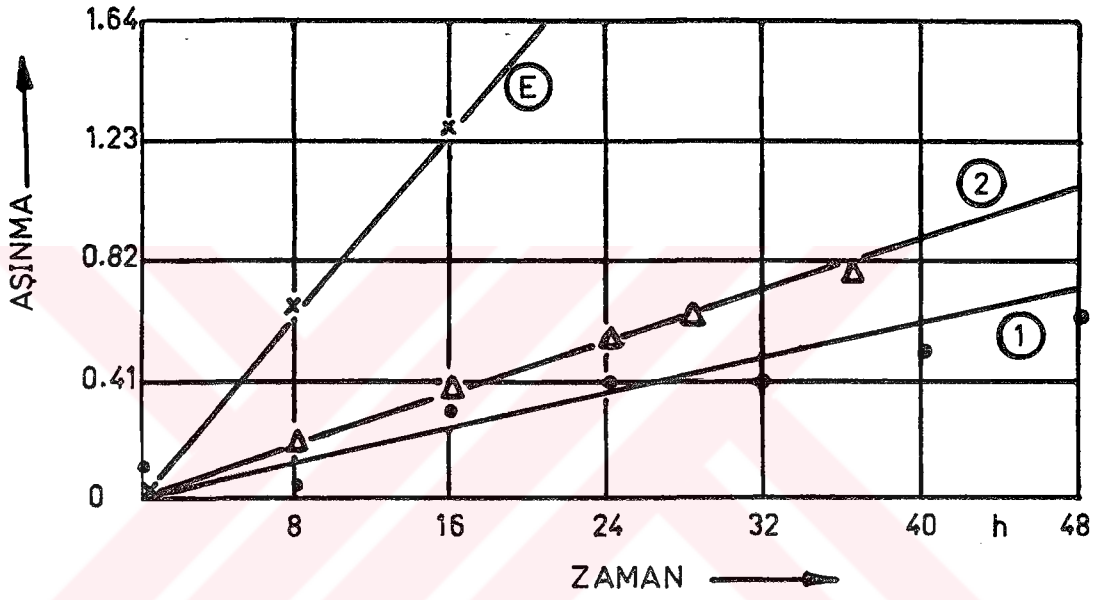
A Soğutma Suyu (Jeneratör Karakteristiği n = sbt) Pompasına

Göre Soğutma Şartı

B Azaltılmış Soğutma Suyu Debisinde Soğutma Şartı



ŞEKİL 4.27 4 NVD 26-2 nin Birinci Segmentinin ASINMA Prosesi



1	$P_w = 25 \%$	$m_{fw} = 8000 \text{ kg/h}$
2	$P_w = 25 \%$	$m_{fw} = 1000 \text{ kg/h}$
E	$P_w = 80 \%$	$m_{fw} = 8000 \text{ kg/h}$

ŞEKİL 4.28 Değişken Yük Değerlerinde ve Soğutma Şartlarında

Aşınma Tutumu

4.7.2. Büyük Motorlarda Segmanların Aşınma Tutumlarının Analizi

Ve Değiştirilme Zamanlarının Önceden Belirlenmesi :

Yapılan araştırmalarda motor elemanlarının emniyetleri, aşınma miktarları ile yakın ilişkide olduklarını göstermiştir. Bunun için emniyet ve aşınmayı t zamanının fonksiyonu şeklinde modellemek gerekmektedir.

Motorda konstrüktif fazdaki veya kullanım fazındaki bir birimin (piston-silindir kompleksi gibi) kantitatif olarak emniyet sınırlarının belirlenmesine duyulan bilimsel ilginin altında yatan amaç, o birimden teknik bakımdan maksimum faydalanmayı sağlamaktır.

Bunun için modern emniyet teorisi iki farklı tahmine dayanır ;

- * Yük - sertlik
- * Fenomenolojik Gözlem Yöntemi (Emniyeti ele alan rastgele olay ve proseslere dayanan) ; Emniyet araştırmalarının sonuçları (özellikle gemi işletmelerinde kullanılan diesel motorlarının) fenomenolojik gözlem yöntemine dayanır.

Makinaları işleten, gemi güvenliği ve ekonomikliğı de gözönüne almak suretiyle emniyeti, bakım ve koruma sarfiyatını değerlendirmelidir.

Emniyetin gerekli değeri bir fiyat-yararlanma analizi gözönüne alınarak yapılır ve toplam masrafın optimizasyonu sağlanır. Bir taraftan emniyetle (güvenlilik) birlikte imalat fiyatları artarken diğer taraftan gemi işletmecisi daha az tamir ve bakım-tutum masrafları ile karşılaşır.

Şekil 4.19'da güvenli gemi makinası işletmesinin kalitatif ilgisi gösterilmiştir. Artan verimle birlikte geliştirme ve imalat masrafları da artmaktadır. Diğer taraftan diesel motoru için yakıt gideri düşmektedir.

Masraflar şekil 4.20'de gösterilen verim bölgesi için minimumdur.

Verim ve güvenlik birbirleriyle alakalı oldukları için yakıt için kullanılan teknik ile güvenlik için kullanılan teknik sorunlarının burada

değerlendirilmesinde aynı ölçek kullanılmalıdır.

Diesel motorları gemide işletilmeleri sırasında çok düşük yükte uzun süre veya değişken yüksek yükte çalıştırılmak gibi çok değişik işletme şartlarıyla karşılaşırırlar.

Ayrıca aynı motor elemanlarının değişik gemilerde (Ro-Ro gemileri balıkçı gemileri, konteyner vb.) değişik yüklerle çalıştıkları ve değişik emniyet sınırlarına sahip oldukları gözlenmiştir. Aynı durum yapılan emniyet deneylerinden çıkarılmış bakım intervallerinde de gözlenmektedir.

Şekil 4.21'de zarar ve aşınma istatistiklerinden çıkarılmış olan itina ve bakım intervalleri sematik olarak gösterilmiştir. Bu incelemede düşük devirli iki zamanlı diesel motorlarında çalışmış bulunan segmanların aşınma analizlerinden faydalanılmıştır.

4.7.2.1. SEGMANLARIN DEĞİŞTİRİLME ZAMANLARININ ÖNCEDEN BELİRLENMESİ :

Aşınma durumları ile karşılaşan motor elemanlarının değiştirilme zamanlarının belirlenmesinde iki teori bulunmaktadır :

- Bu teorilerden birine göre aşınma prosesi deterministik bir fenomendir.
- Diğer teori ise aşınma prosesinin tesadüfi olarak oluştuğunu ve buna bağlı tüm değişimlerin tesadüfi fenomenler olduğunu kabul eder.

Burada son belirtilen yöntem kabul edilmiştir. 4. bölümde çeşitli yöntemlerle gözlenen segman genişliği ve boyundaki aşınma miktarları, bütününde tesadüfi prosesi kapsar.

Önemli emniyet büyüklükleri işletme süresi t 'nin segman genişliği için dağılım fonksiyonunu ortaya koyar. Dağılım fonksiyonu $F(t)$ ve yoğunluk fonksiyonu $f(t)$ bilindiği zaman bu büyüklükleri bulma imkanı çıkar :

Emniyet Fonksiyonu	$R(t) = 1 - F(t)$
Yaşlanmaya Bağlı Yıpranma Payı	$\lambda(t) = f_T(t) / R(t)$
Ortalama ömür Süresi T	$E(t) = \int_0^\infty t \cdot f_T(t) \cdot dt$
Ömür Süresinin Değişimi	$D^2(T) = \int (t - E(T))^2 f_T(t) \cdot dt$

Dağılım fonksiyonu $F(T)$ 'ye giriş iki yöntemle mümkündür. Bunun için şekil 4.22 'ye bakınız.

- Aşınmaya bağlı zararlarından belli bir dağılım tipi çıkarılır. Burada ise Weibull dağılımı denenmiştir.

Bu modelle bir çok aşınmaya hassas diesel motor elemanının değiştirilme zamanları önceden tespit edilmiştir.

- Zamana göre tesadüfi değişen aşınma yüksekliği uygun bir modelle Stokastik bir proses olarak tarif edilmiştir.

Kullanıma uygun modeller "Otto von Guericke Teknik Üniversitesi" Magdeburg'da Prof. Beyer tarafından geliştirilmiştir.

. Ters Gauss Dağılımı (linear fazın modellenmesi)

Tesadüfiyetin etkisinin tüm t zamanında dikkate alındığı aşınma modeli aşağıdaki şartlarla belirlenmiştir.

- * $E(X(t)) = X_0 + \mu \cdot t$ $X(t)$
- * $P^2(X(t)) = \sigma^2$, t
- * Aşınma artışları taksim edilmiş zaman aralıklarında birbirinden bağımsız büyüklüklerdir.

işletme süresi T parametresi $h - X_0$, μ ve σ olan bir ters Gauss dağılımına bağlıdır.

. Bernstein Dağılımı

$X(t)$ prosesi aşağıdaki modelle belirlenmiştir ;

$$X(t) = V \cdot t^\alpha + V_0$$

Burada V : tesadüfi aşınma hızı ve V_0 : tesadüfi başlangıç aşınmasıdır.

$$\begin{aligned} P(T > t) &= P(X(t) < h) \\ &= P(V \cdot t + X_0 < h) \end{aligned}$$

bağıntısı ile T 'nin dağılım fonksiyonu hesaplanır.

Kolay bağıntılar, X_0 ve V nin bağımsız normal dağılım göstermiş tesadüfi büyüklükler olması durumunda ortaya çıkar (bkz şekil 4.23).

- Başka bir gözlem yöntemi, motor elemanlarının değişiminin kompleks fizikinin işletme proseslerinin etkisi ile deneysel metodlar altında incelenmesinden hareket eder.

Bu metodun perspektifi " abrazyon aşınması "na bağlı olarak sınır şartlarına dayanır. Bu yüzden disesli motorlarında yakıttaki kükürt miktarı, rejim sıcaklığı, yağlama şartları dikkatle incelenmelidir.

4.7.2.2. DENEY OBJESİ :

Düşük devirli iki zamanlı bir motorun 6 tipinden segman genişliği ve yüksekliğindeki aşınmaların analizi yapılmıştır. Segmanlar 4 mm genişlik ve 22 mm yükseklik ile imal edilmiştir.

Aşınma sınırları imalatçının verilerine göre 20 mm 'lik boşluk ve 17.6 mm 'lik genişlik olarak verilmiştir.

Motorların işletme süreleri 12600 saat ve 22200 saat arasında değişmektedir ve özellikle Hindistan ve Uzakdoğu hatlarında çalıştırılan gemilerden alınmıştır.

Aşınma analizi aşağıdaki sınır şartlarına dayanmaktadır.

4.7.2.3. Aşınma Ölçümü Verileri :

- Analizde segman-silindir gömleği aşınma ölçümleri olduğu gibi, burada segman-piston aşınma ölçümleri de değerlendirilmiştir.
- Segman genişliği için segman çevresindeki beş ölçüm değerinden iki ayrı aşınmaya hassas bölgenin aşınma ortalama değerleri alınmıştır.

- Aşınma ölçümü verileri takriben 6400 h ve 8700 h içinde alınmıştır. Burada ayrıca 3. ve 6. segman için 14000 h içinde alınmıştır.

4.7.2.4. Yükleme Şartları :

- Motoru yüklerken seyir sırasında efektif güç devamlı gücün % 87.3 ü olacak şekilde alınmıştır.
- Ayrıca 6 tip gemi için aşağıdaki veriler görülmektedir.

GEMİLER	Tüm Yolculuklarda Seyir Mesafesi	Tüm Yolculuklarda Kısmi Yükle işletim Süresi	Ortalama Seyir Hızı
GEMİ I	5.2 %	9.1 %	8.7 sm/h
GEMİ II	5.6 %	11.8 %	7.4 sm/h
GEMİ III	5.9 %	11.8 %	7.9 sm/h
GEMİ IV	4.9 %	11.4 %	7.4 sm/h
GEMİ V	4.8 %	9.4 %	8.1 sm/h
GEMİ VI	6.9 %	11.1 %	9.8 sm/h

- Aynı piston segmanlarının değişik işletim şartlarının dikkate alınması için 1,2,3 ve 6. segmanlar için analizi birbirinden bağımsız yapılmıştır

4.7.2.5. SONUÇLAR :

Bu deneyler neticesinde bir takım sonuçlar çıkarılmıştır. Sonuçta değiştirilme zamanlarının belirlenmesi için 3. paragrafta ilk gösterilen model temel alınmıştır.

Seviye aşımının zamana dağılımına Weibull dağılımı ile neticeye yaklaşılmıştır. Şekil 6 'da gösterilen grafikte 1. segman için yapılan analizler yorumlanmıştır. Yine aşağıdaki tabloda :

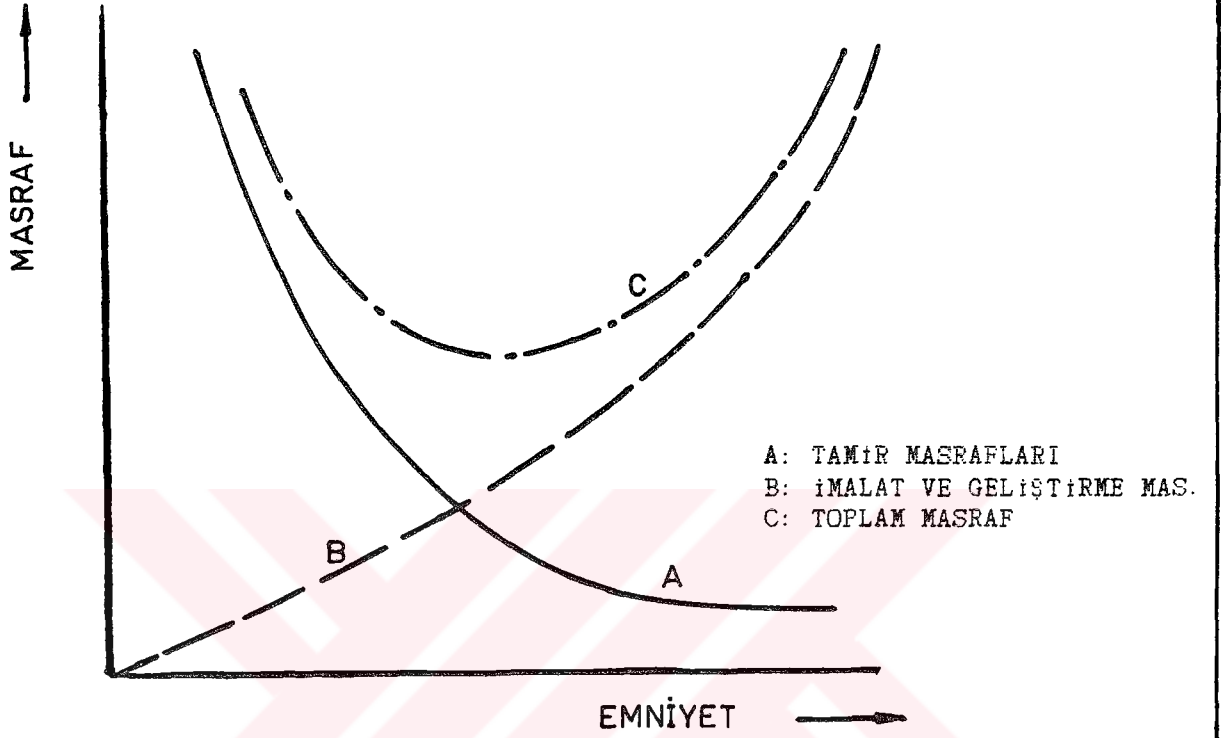
$$\begin{aligned} * \text{ Beklenen Değer} \quad t_m &= 1 \left(\frac{1}{\alpha} + 1 \right) \\ * \text{ Standart Sapma} \quad \sigma &= \tau \left[1 \left(\frac{2}{\alpha} + 1 \right) - 1^2 \left(\frac{1}{\alpha} + 1 \right) \right]^{1/2} \\ &\quad \left[1 \left(\frac{2}{\alpha} + 1 \right) - 1^2 \left(\frac{1}{\alpha} + 1 \right) \right]^{1/2} \\ * \text{ Varyasyon Katsayısı} \quad V &= \frac{1 \left(1 + \alpha + 1 \right)}{\left[1 \left(\frac{2}{\alpha} + 1 \right) - 1^2 \left(\frac{1}{\alpha} + 1 \right) \right]^{1/2}} \end{aligned}$$

parametreleri denenmiş segmanlar için segman genişliği ve yüksekliğine göre ayrı ayrı gösterilmiştir.

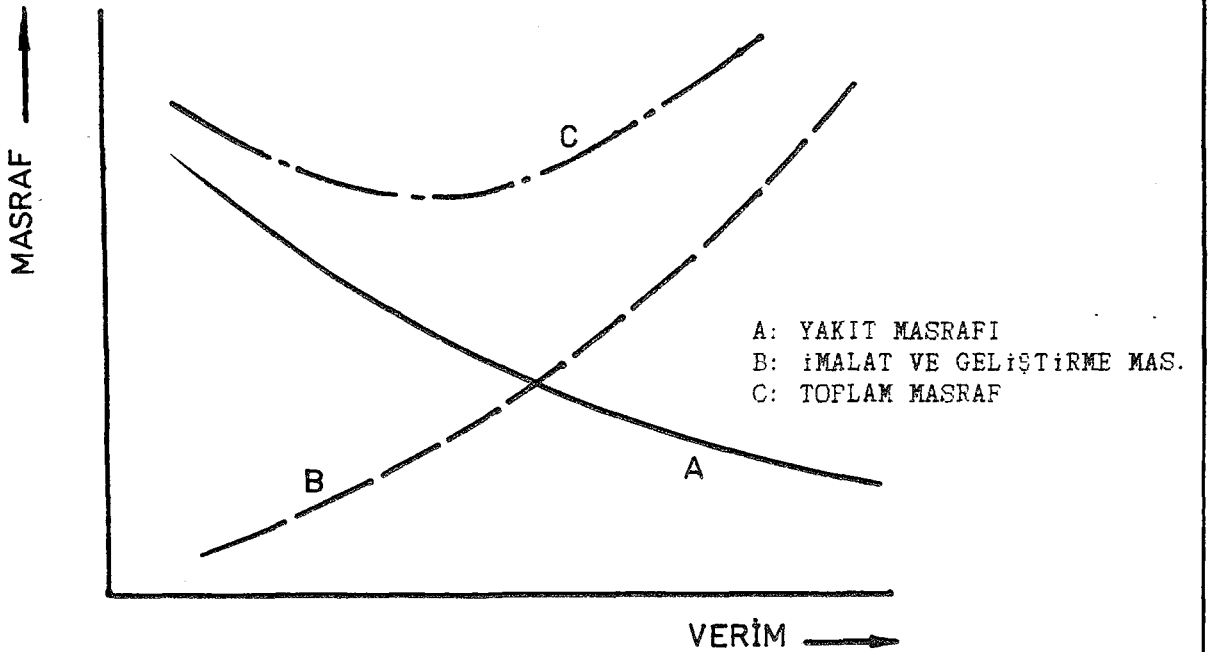
PARAMETRE	1. SEGMAN		2. SEGMAN		3-6. SEGMAN	
	Boşluk	Genişlik	Boşluk	Genişlik	Boşluk	Genişlik
Form Parametresi	1.45	2.00	3.06	3.65	2.69	2.26
Ölçek Parametresi	100 %	66.8 %	92.3 %	136.4 %	199.8 %	385.8 %
Beklenen Değer t	100 %	65.4 %	91.2 %	135.6 %	196.6 %	378.0 %
Standart Sapma	100 %	47.6 %	45.0 %	58.8 %	107.6 %	239.5 %
Variasyon Katsayısı	100 %	74.0 %	51.4 %	44.3 %	55.7 %	65.7 %

Bu tablodaki yüzde değerlerinin her defasında 1. piston boşluğuna dayanır. Hesaplanan sonuçlardan şu gözlemler ortaya çıkmıştır ;

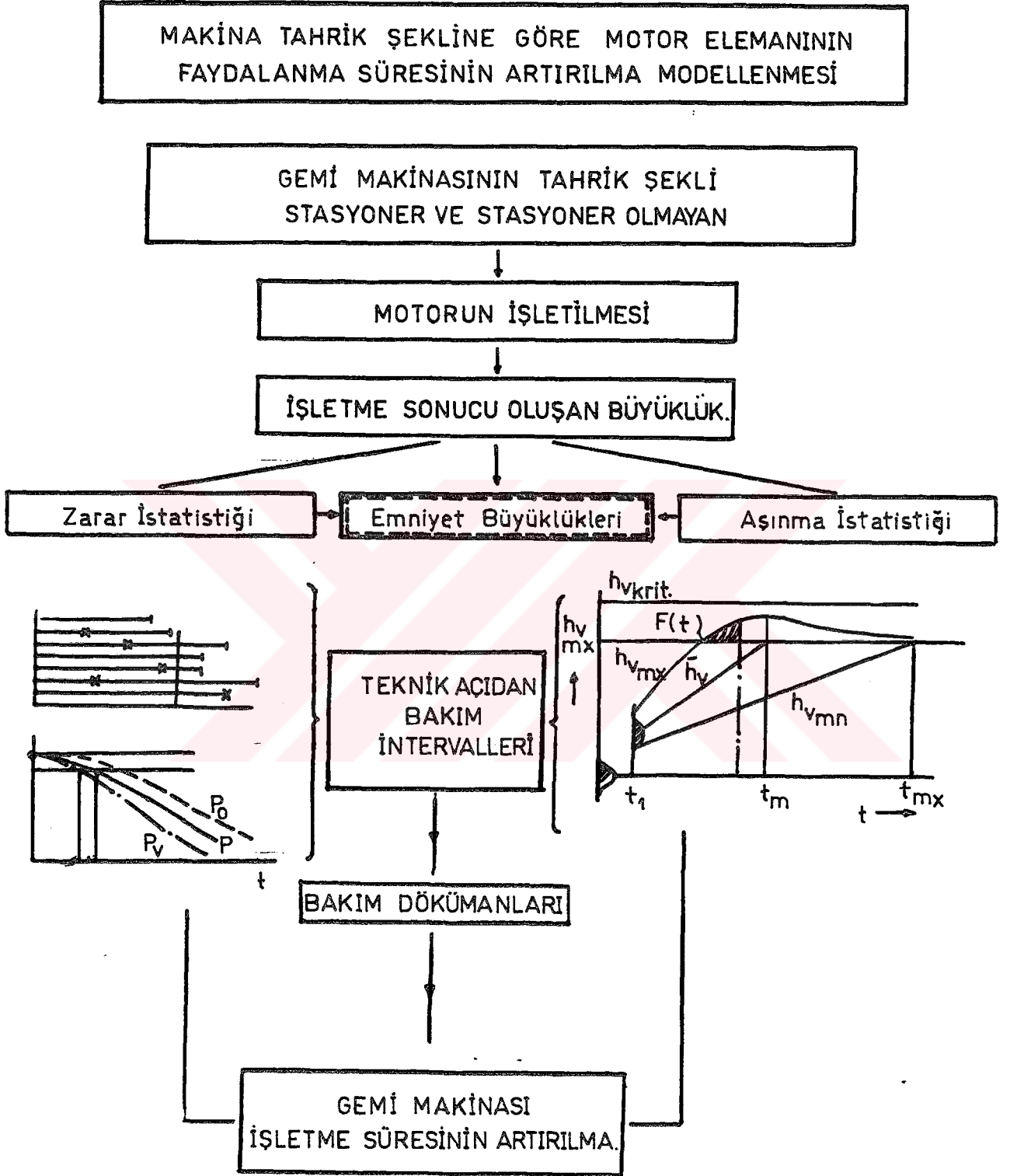
- 1. Piston segmanlarının değiştirilme zamanları 1. segmanın genişliğine göre tesbit edilecektir.
- $t = 6000$ h için ömür ihtimali $R(t) = 0.88$ birinci piston segmanı için neticeler doğru çıkmıştır.
- Her iki aşınma prosesinin değişik sonuç çizelgesi, ömür süresini % 30 kadar artırarak gerçekleşmiştir.
- 3. ve 6. piston segmanlarından sonraki ilişki tabelada görülmektedir. interval bir periyot daha uzatılabilir.



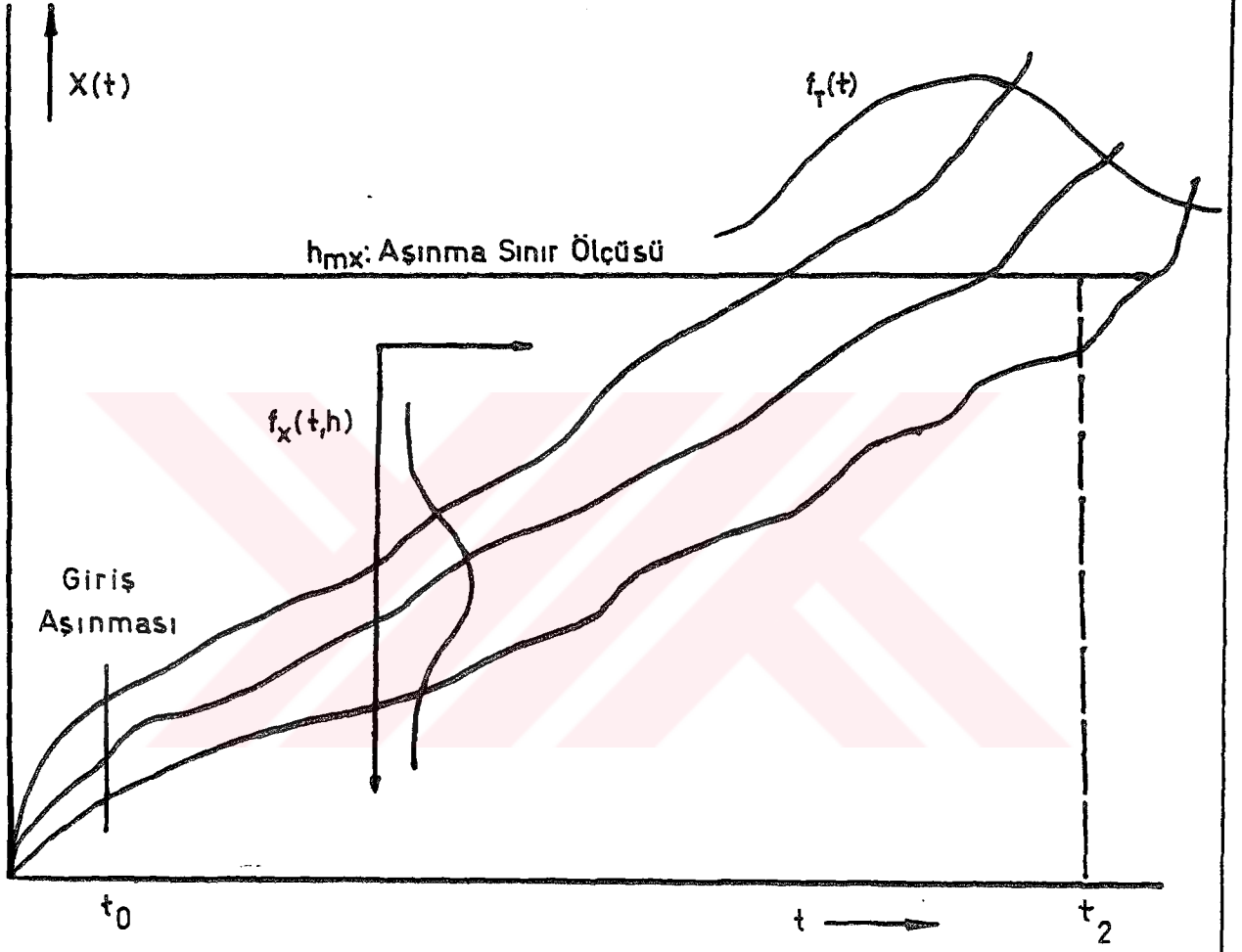
ŞEKİL 4.19 $Masraf = f (Emniyet)$



ŞEKİL 4.20 $Masraf = f (Verim)$



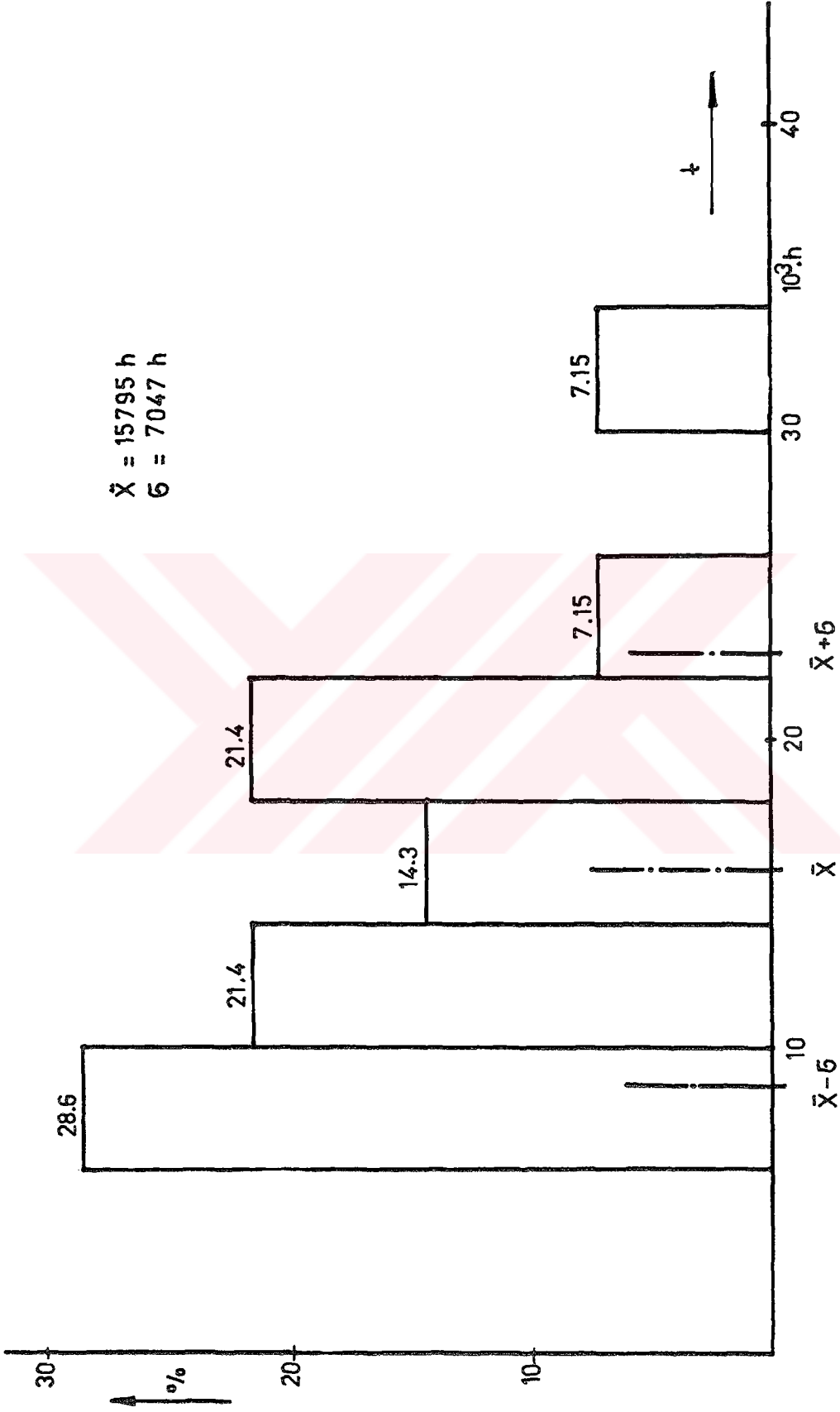
ŞEKİL 4.21 Faydalanma Süresinin Artırılmasının Modellemesi



$t_0 \rightarrow t_2$ Arası Aşınma Prosesi

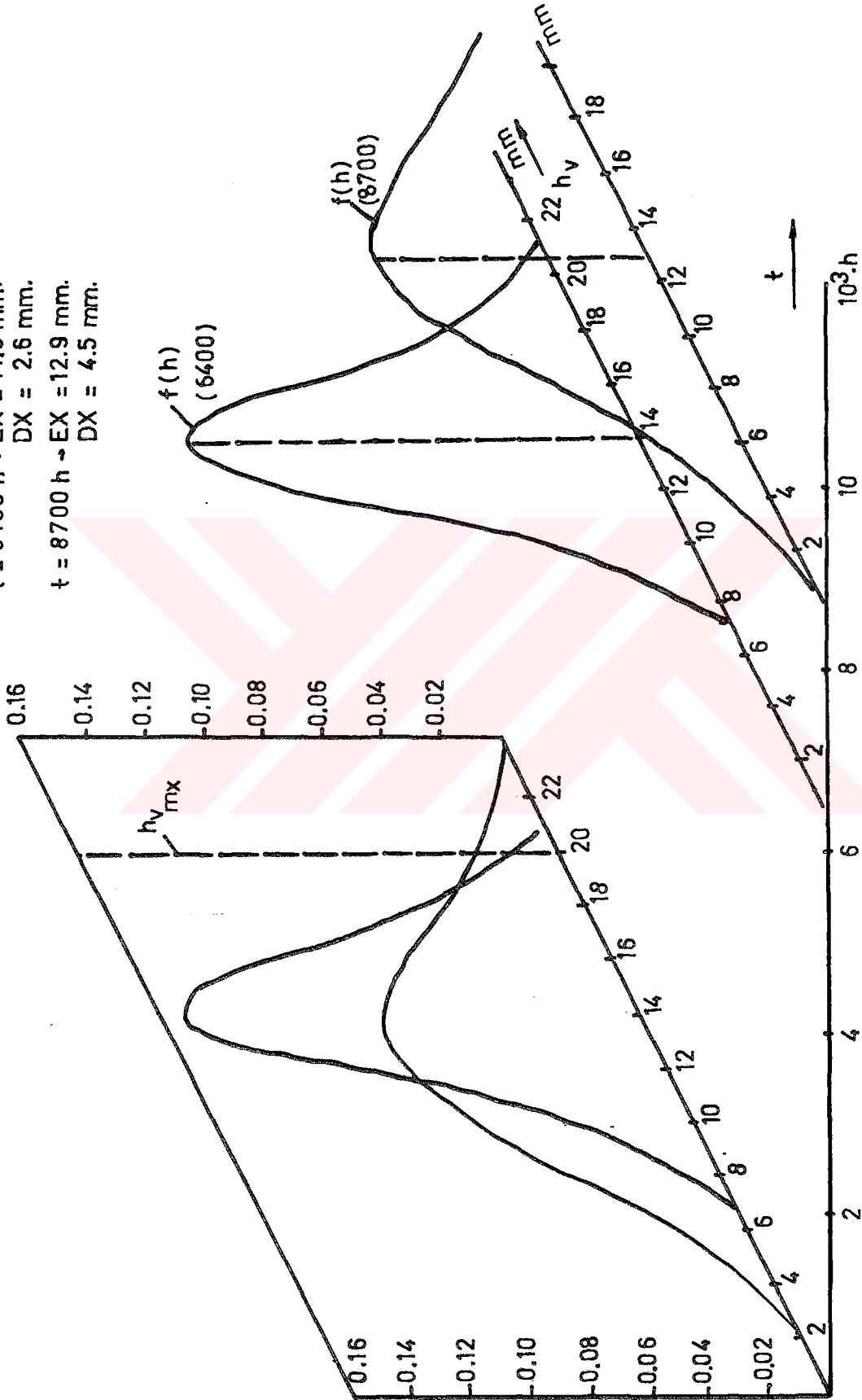
Aşınma Prosesi $t > t_2$: Progresif (Lineer) Gelişim

ŞEKİL 4.22 Tipik Aşınma Prosesinin Gösterimi



ŞEKİL 4.23 Birinci Segmentin Genişliği İçin Bulunan Ömür
Sürelerinin Relatif Sıklığı

$t = 6400 \text{ h} \rightarrow EX = 14.0 \text{ mm.}$
 $DX = 2.6 \text{ mm.}$
 $t = 8700 \text{ h} \rightarrow EX = 12.9 \text{ mm.}$
 $DX = 4.5 \text{ mm.}$

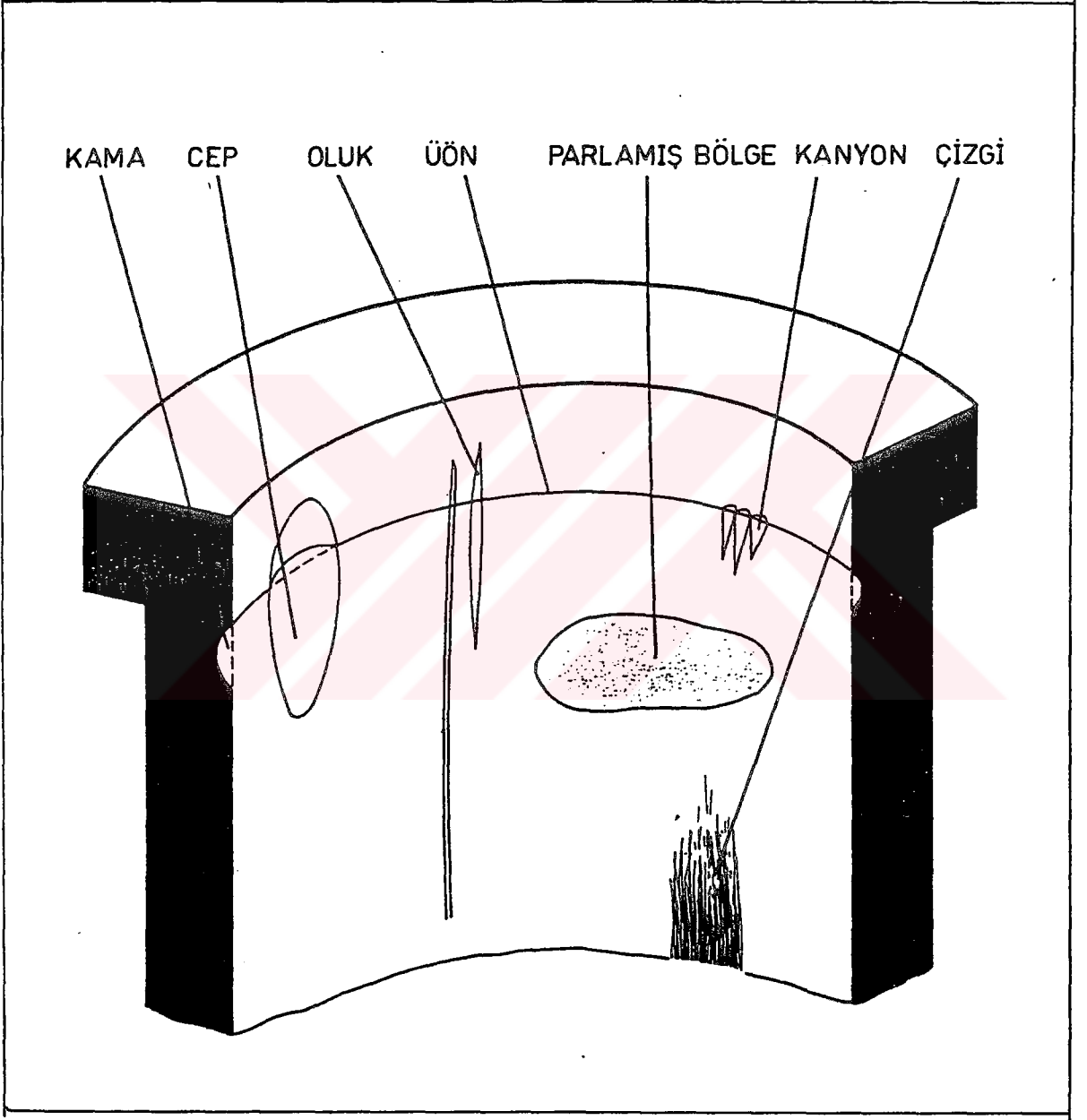


ŞEKİL 4.24 Birinci Segman Bosluğu için Asınma Degerlerinin Yogunluk Dagilimi

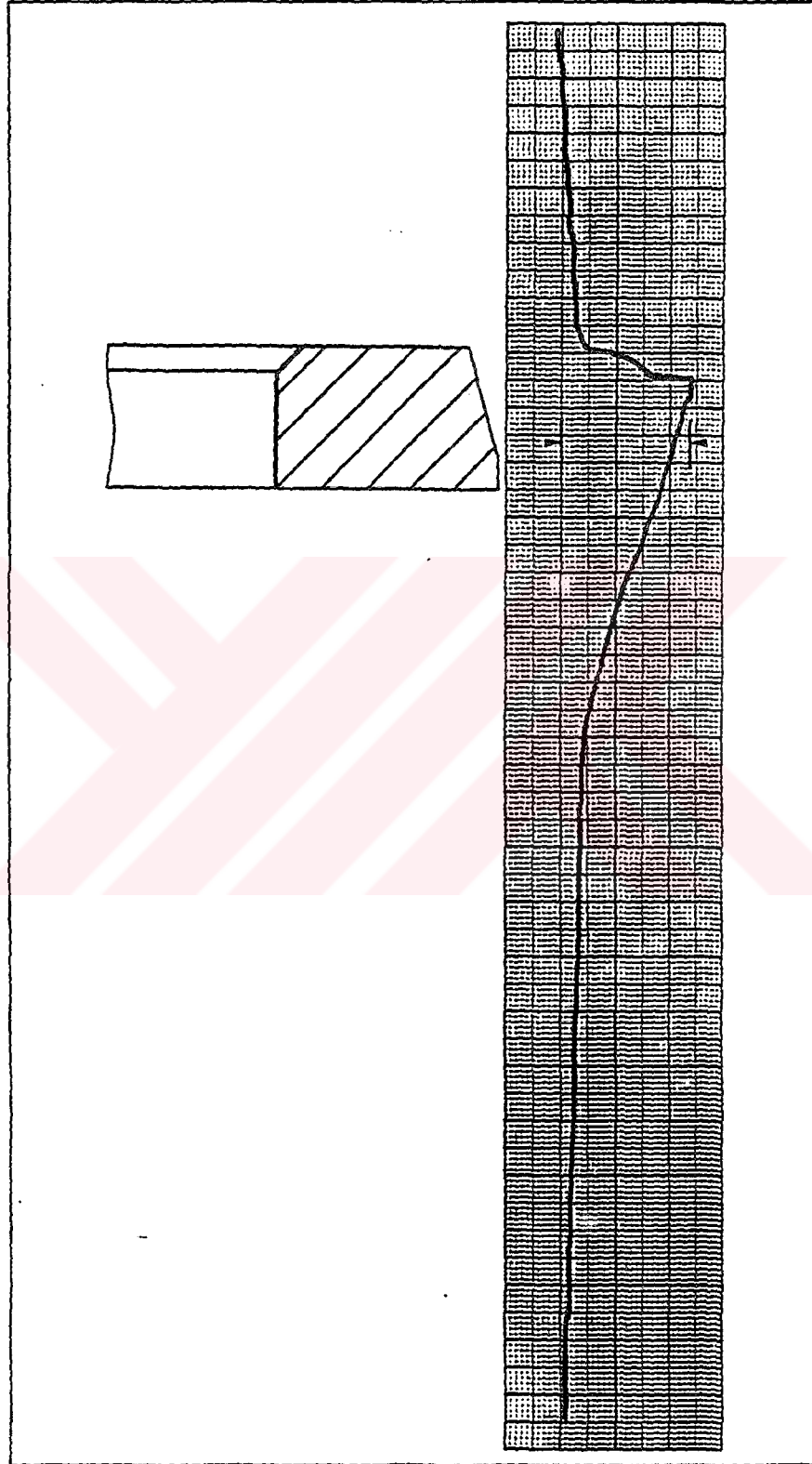
(Tahrik Süresine Bağlı Olarak)



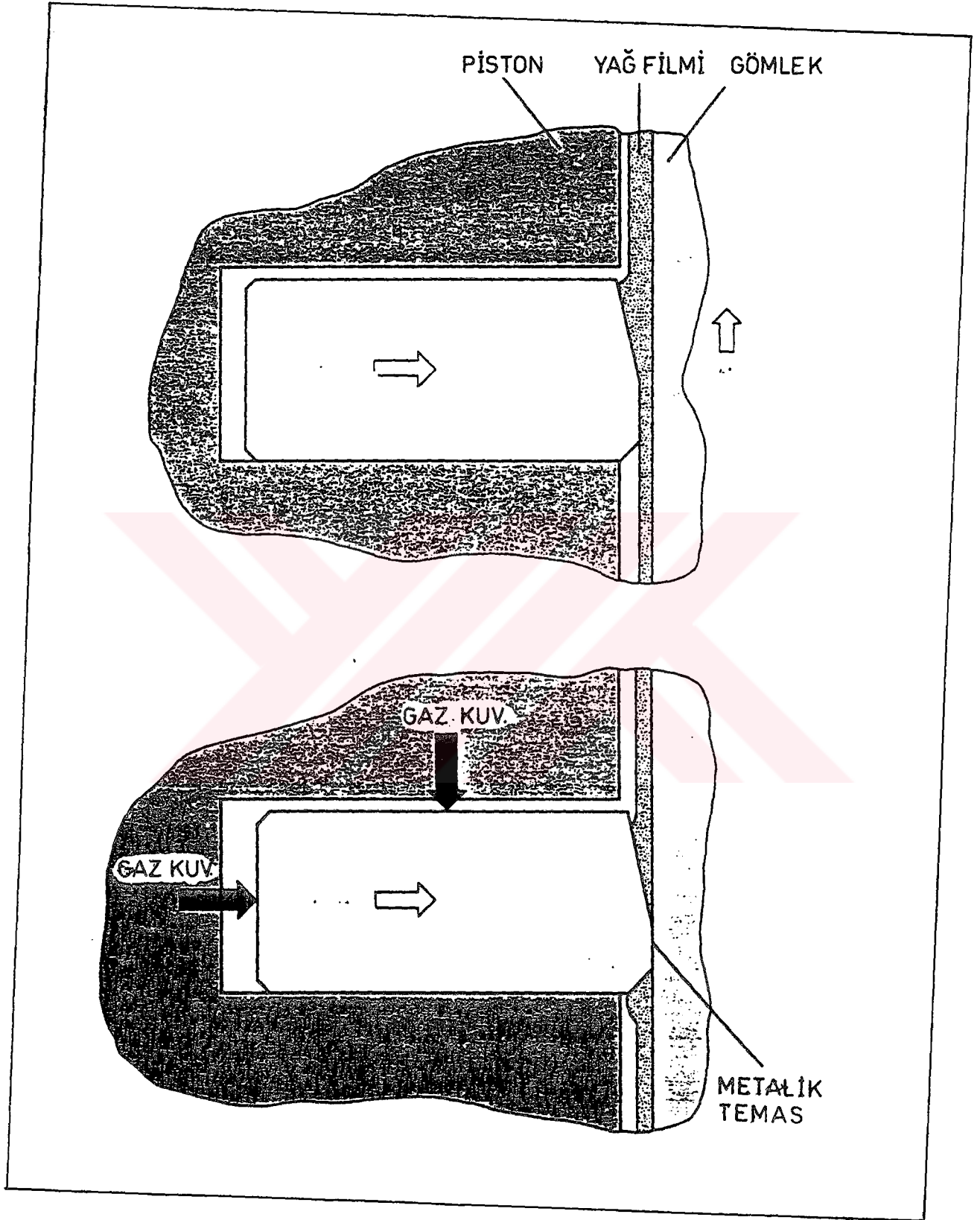
EKLER



ŞEKİL E.1 Silindir Gömleğinde Oluşan Asınmalara Toplu Bakış



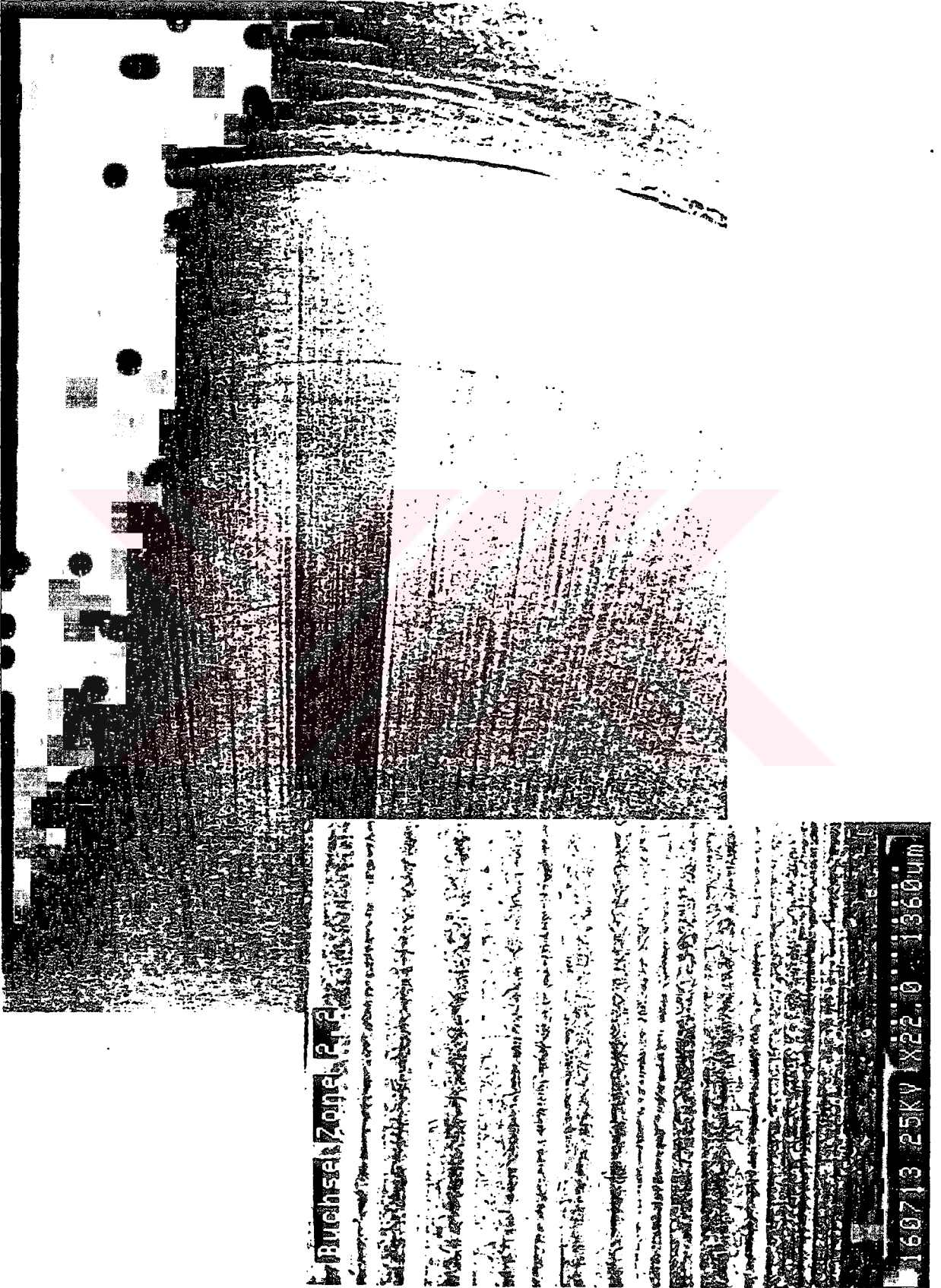
ŞEKİL E.2 Silindirik Gömleğinde Ü.Ö.N.'da Birinci Segmentin
Yapmış Olduğu Aşınma



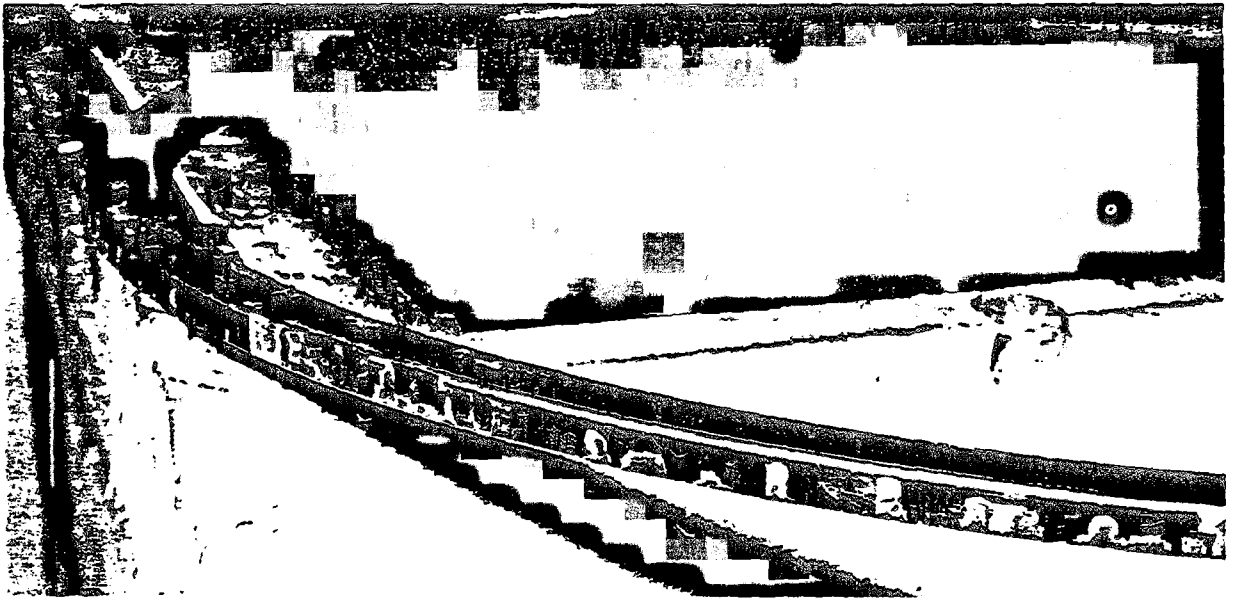
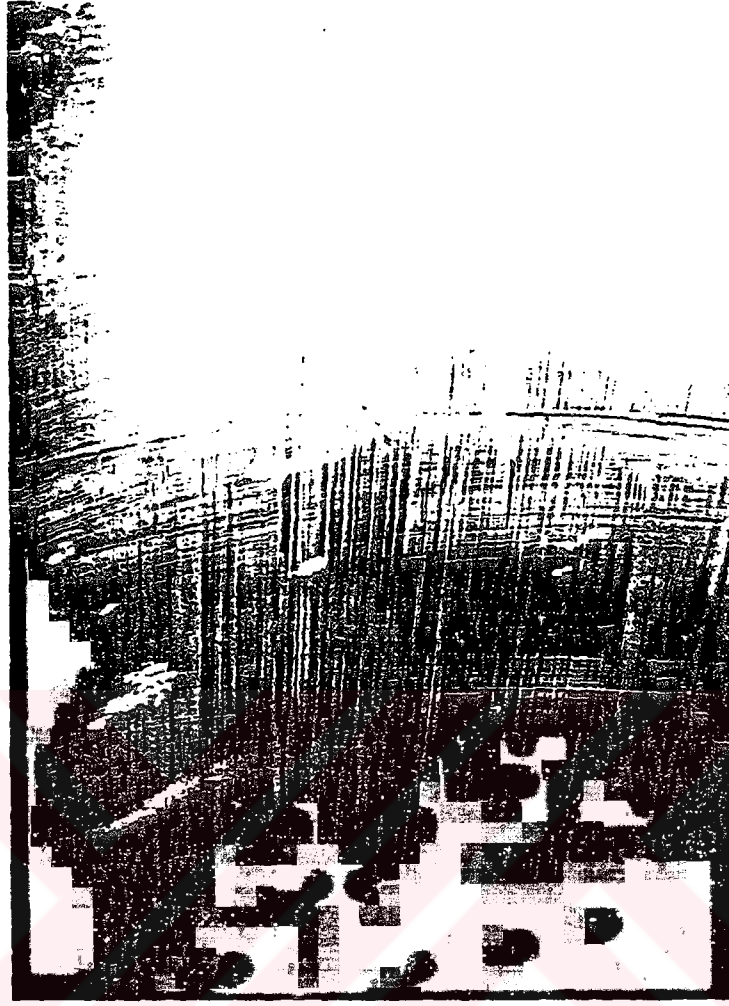
ŞEKİL E.3 Ü.Ö.N.'da Birinci Segman Pölgesinde Yağ Filmi Kopması



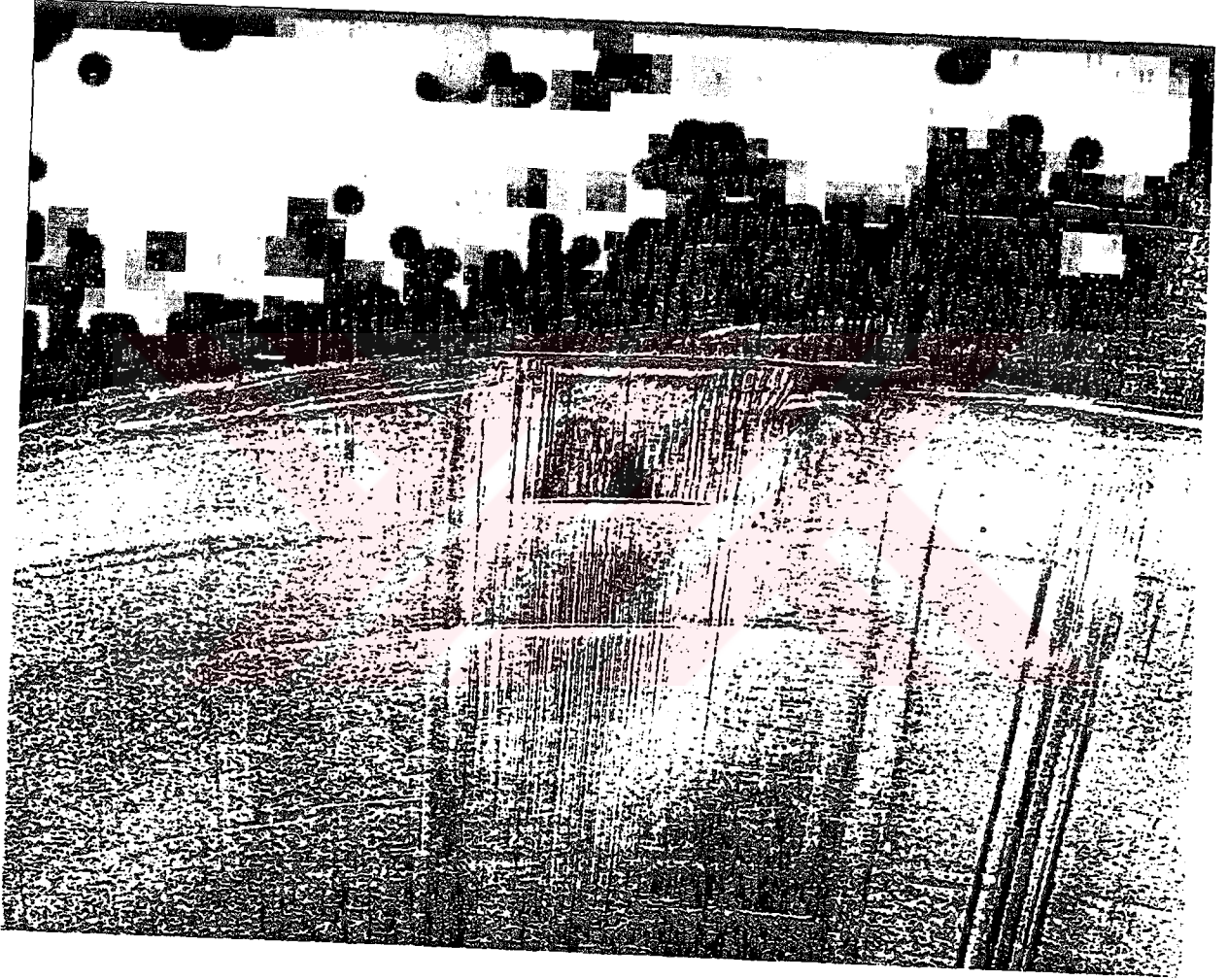
ŞEKİL E.4 Silindirik Gömleğinde Olusmuş Yığılma Katmanları



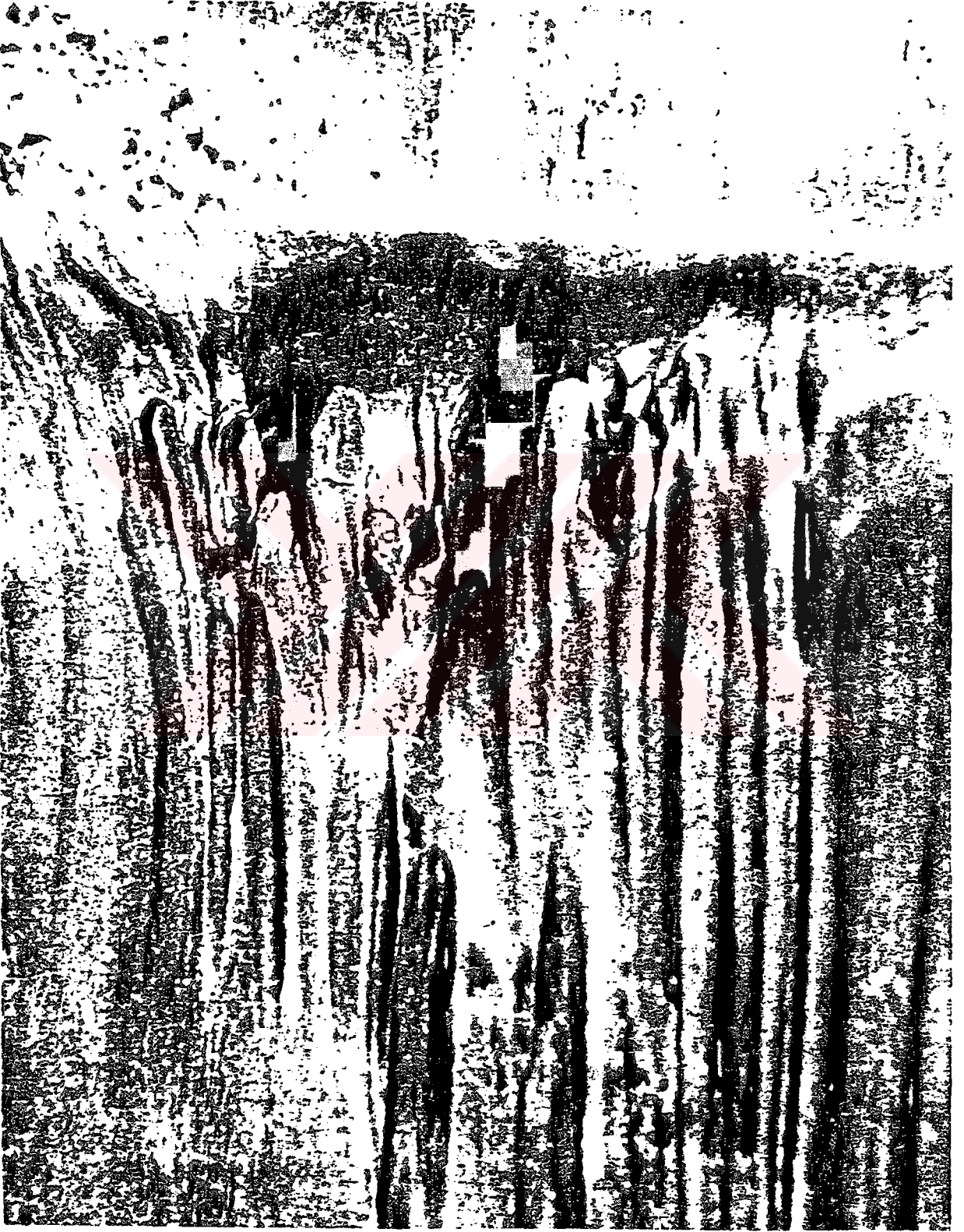
ŞEKİL E.5 Silindir Gömleği Yüzeyinde Oluşmuş Oluk Şeklinde Asınmalar



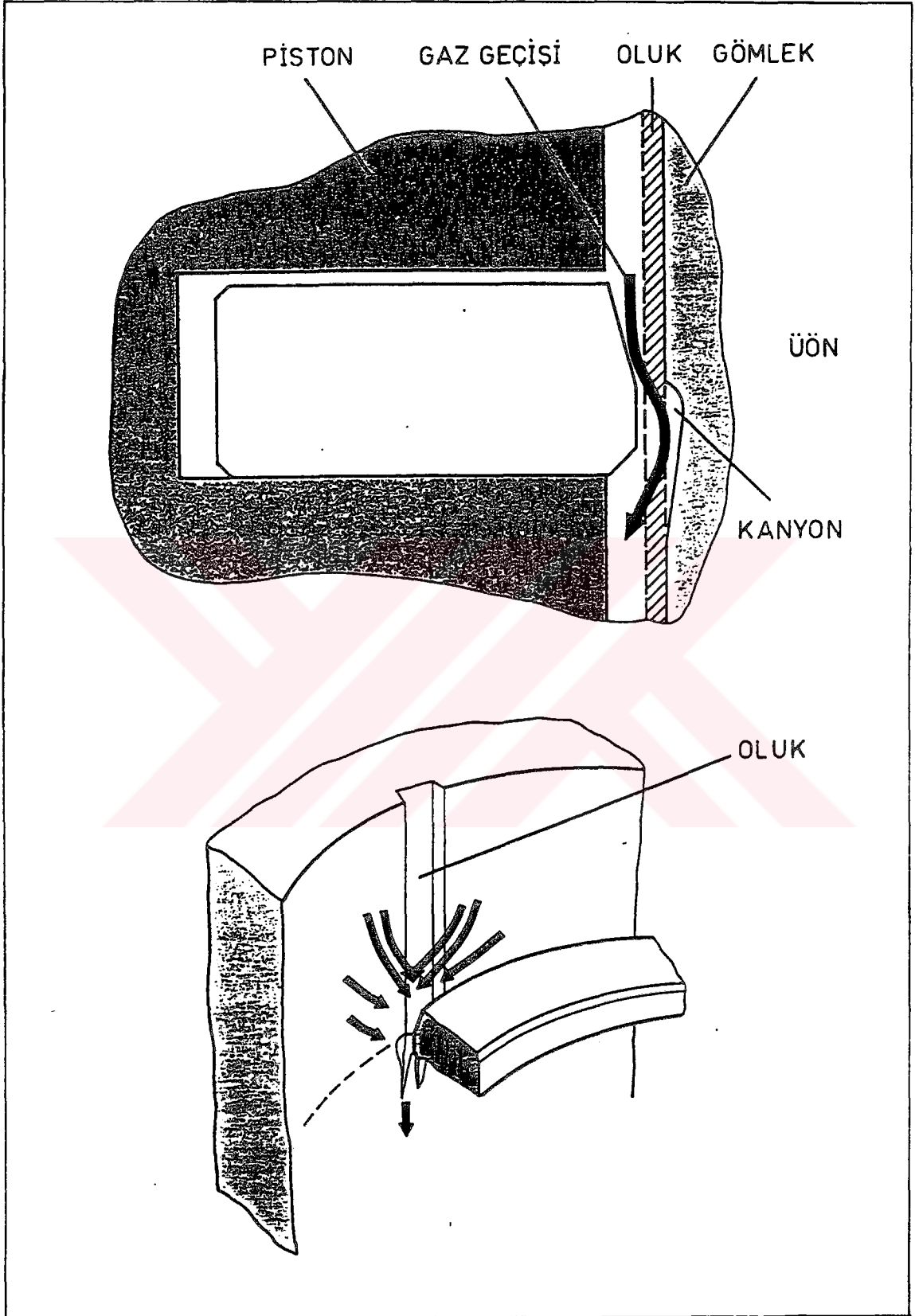
ŞEKİL E.6 Silindir Gömleğinde Krom Segman Nedeniyle Oluşan Oluklar



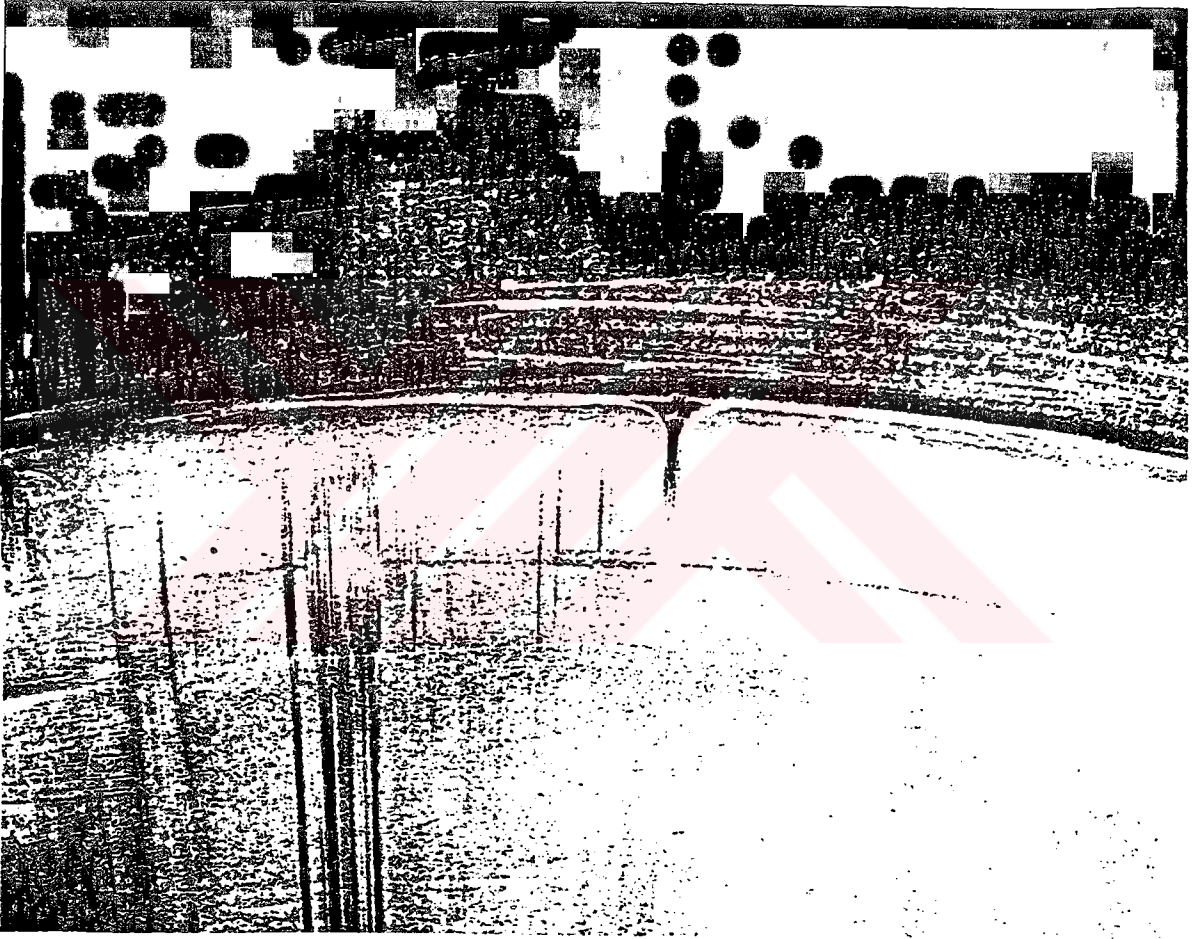
ŞEKİL E.7 Silindir Gölünde Oluşan Kanyon Aşınmaları



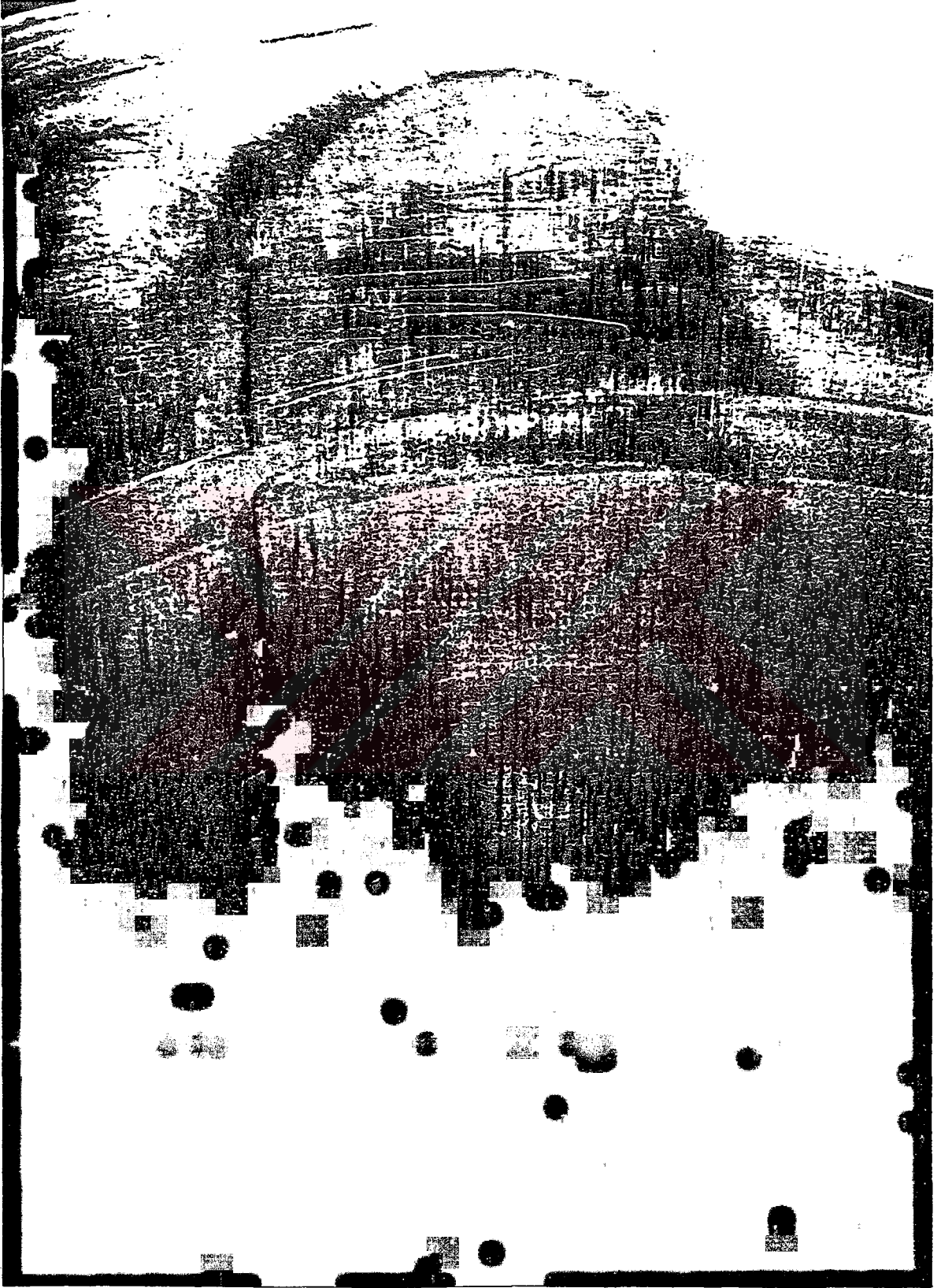
ŞEKİL E.8 Büyültülmüş Kanyon Asınmaları



ŞEKİL E.9 Silindir Gömleğinde Kanyon Oluşumu



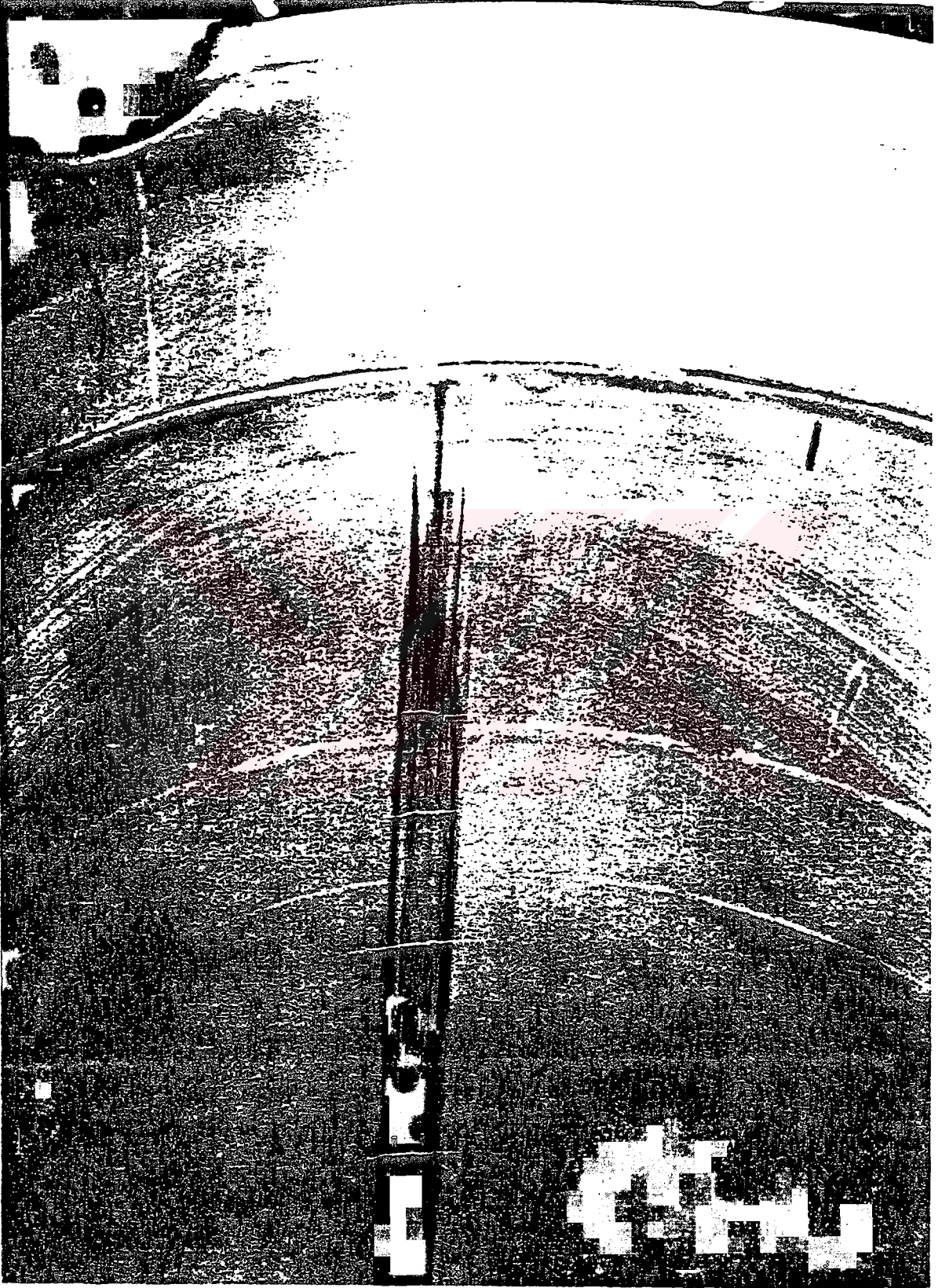
ŞEKİL E.10 Silindir Gölüğünde Kanyon Oluşması



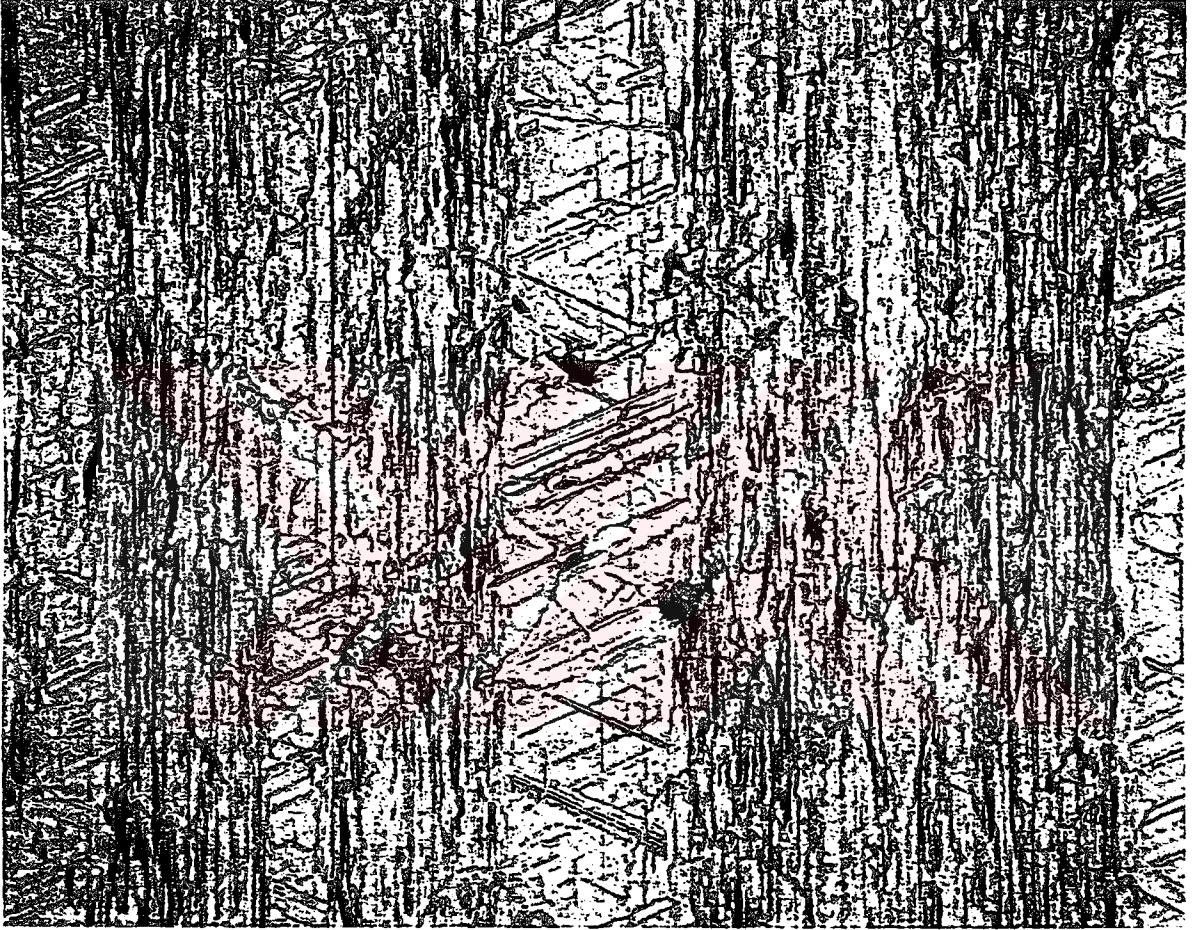
ŞEKİL E.11 Silindir Gölleğinde Cep Şeklindeki Aşınmalar



ŞEKİL E.12 Silindir Yüzeyinde Mikroskop Altında Parlama Bölgesinin Görünümü

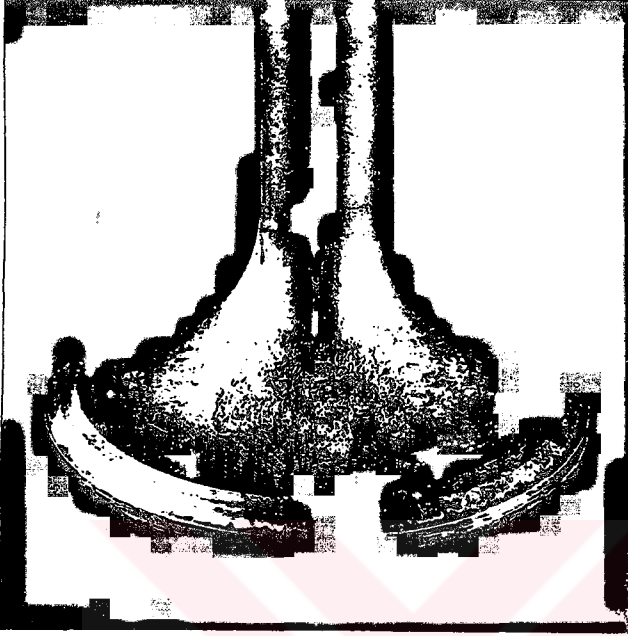


ŞEKİL E.13 Silindir Gömleğinde Meydana Gelmiş Çizgisel Asınmalar

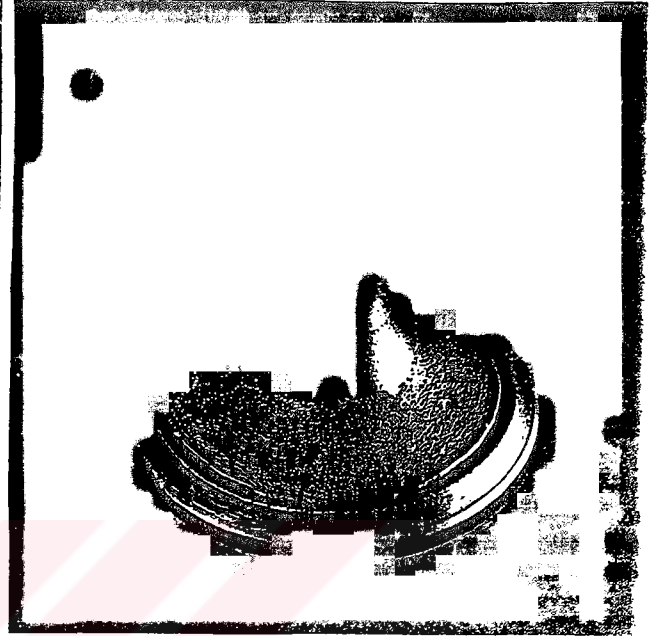


ŞEKİL E.14 Çizgisel Aşınmaların Mikroskop Altında Görünüşü

2/1/77
10/1/77



*Yakıtın içindeki Kükürtün
Valf Yüzeyinde Yaptığı Hasar*



*Yakıtın içindeki Vanadyumun
Valf Yüzeyinde Yaptığı Hasar*



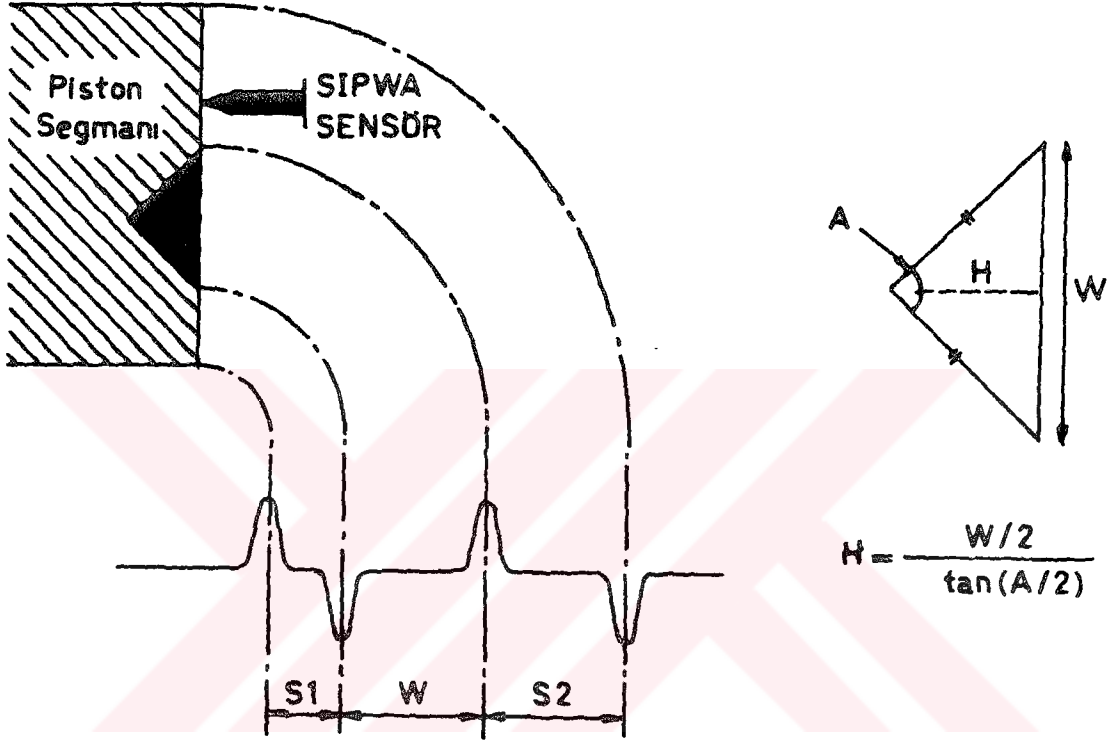
Valf Yüzeyinde Kül Birikintisi



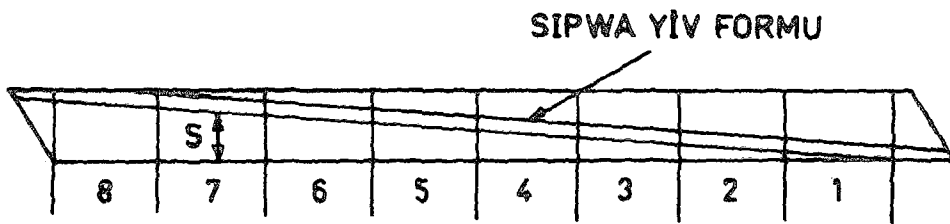
Valfte Aşırı Karbon Oluşumu

ŞEKİL E.15 Egzos Valfi Yüzeyinde Oluşan Çeşitli Hasarlar

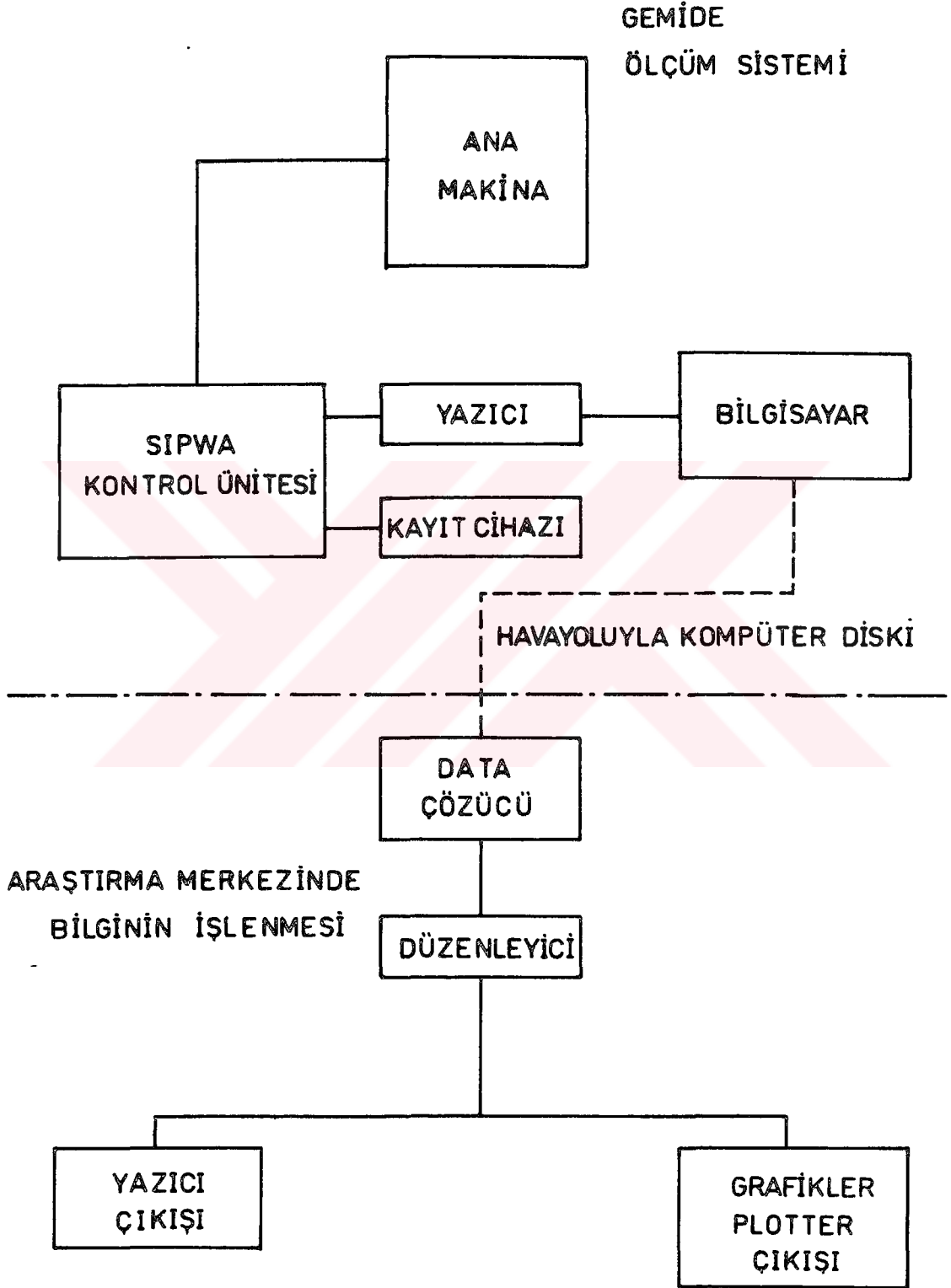
SIPWA SİSTEMİNDE SEGMANDAN ALINAN BİR SİNYAL



SEGMAN SEGMENTLERİNİN (KISIM) BELİRLENMESİ

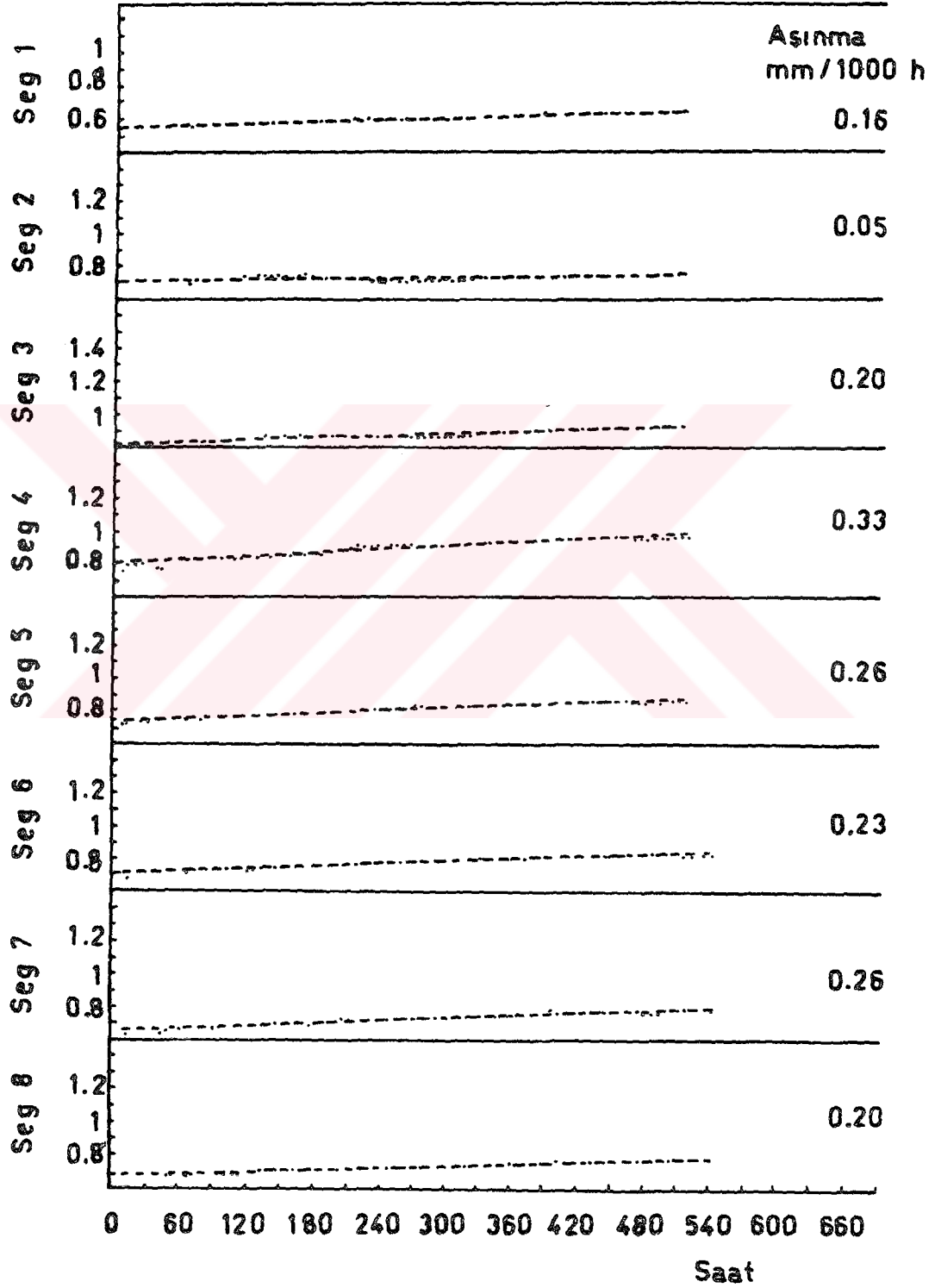


ŞEKİL E.16 SIPWA Segman Asınma ölçüm Yönteminin Prensipleri



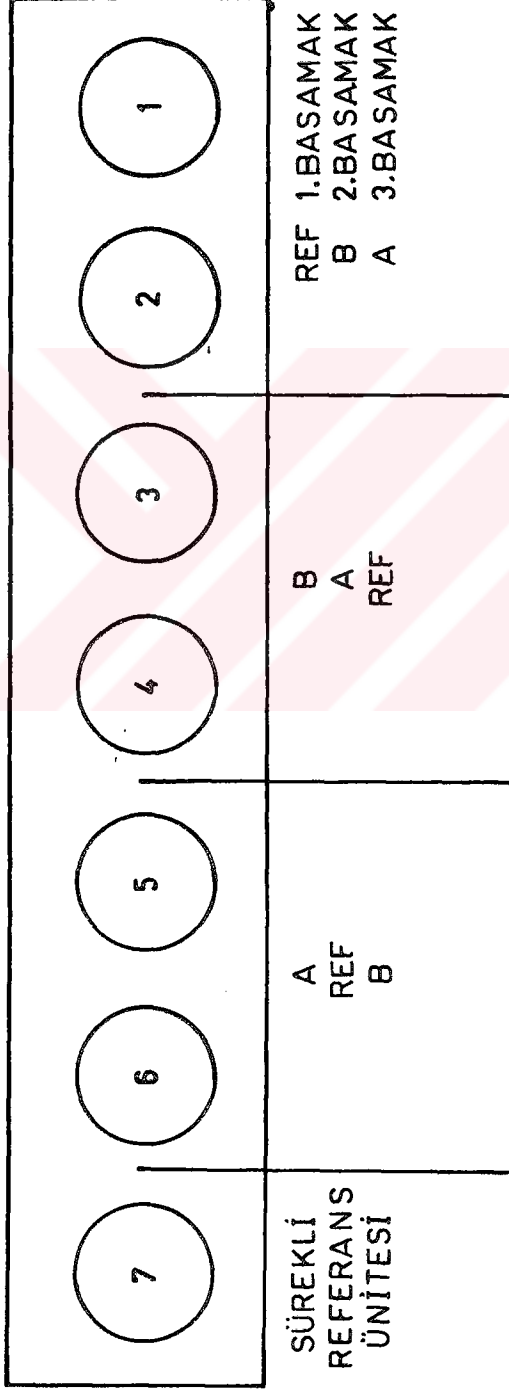
ŞEKİL E.17 *Kompüterize Bilginin Hafızaya Alınması ve Sistemin işlenmesi*

Aşınma (mm)



ŞEKİL E.16 Segmental Aşınma Pilotları - E Gemisi

7 SİLİNDİRLİ , UZUN KURSLU , UNIFLOW AKIŞLI ANA MAKİNA



YAĞLAYICI

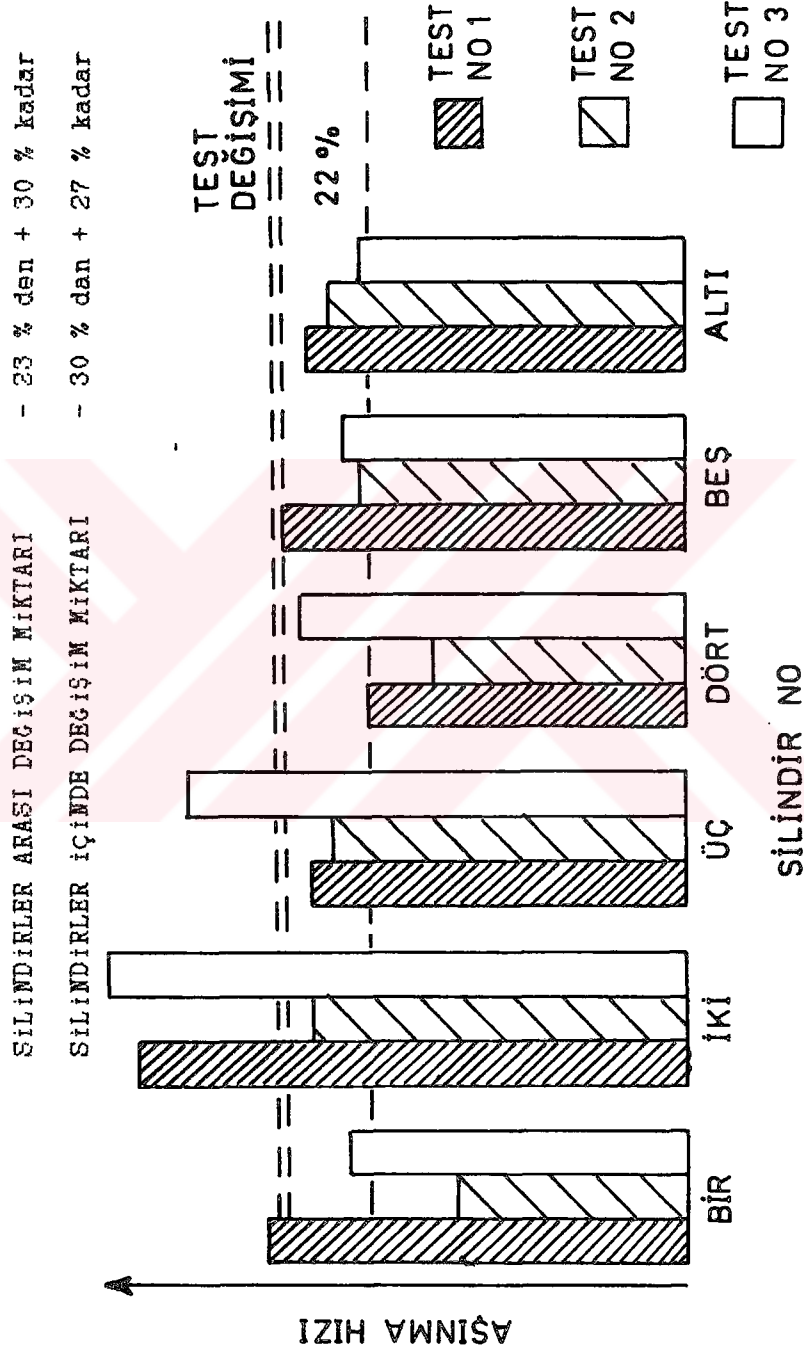
PERFORMANS

DEĞERLENDİRMESİ

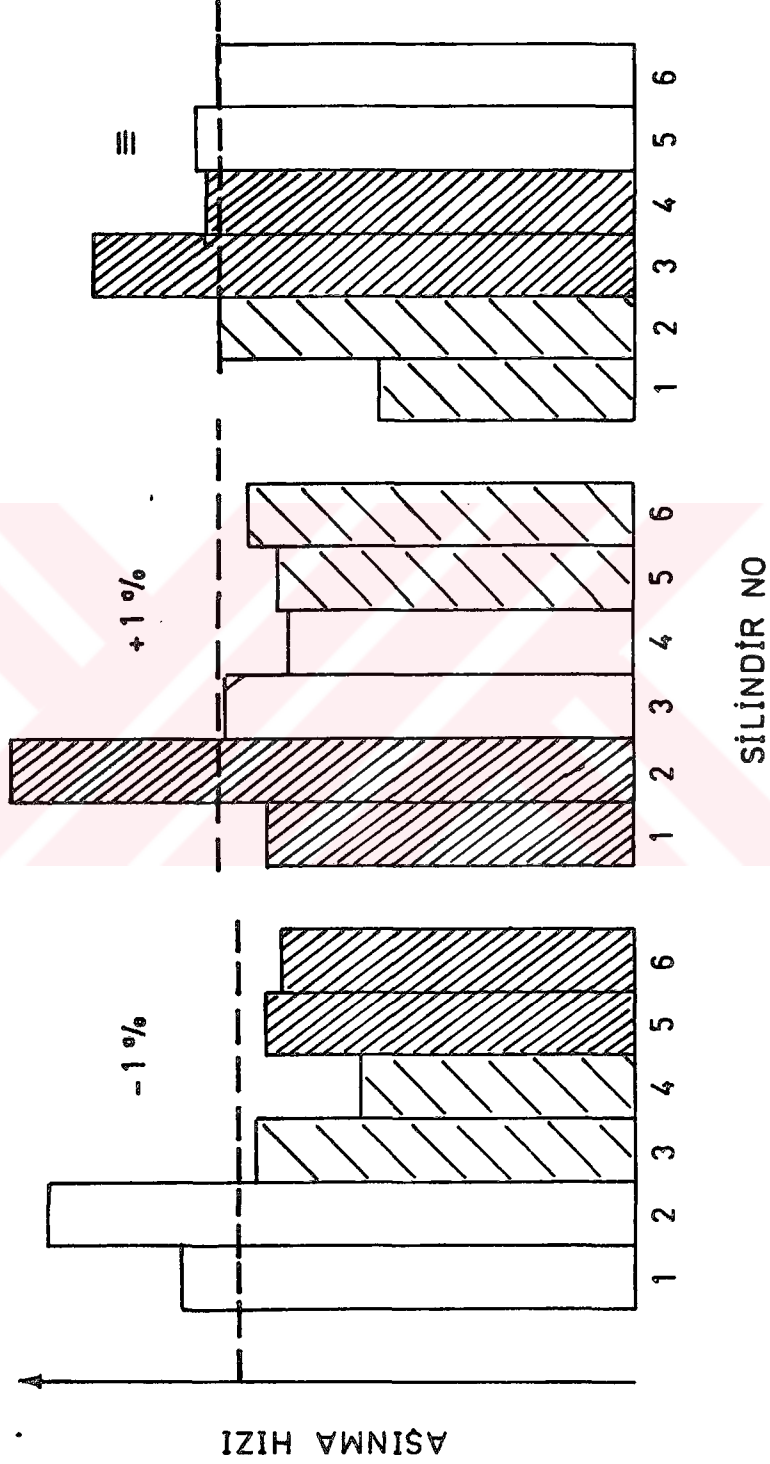
$$A \text{ YAĞI} = \frac{A1 \text{ DEN } A6 \text{ YA}}{6}$$

$$B \text{ YAĞI} = \frac{B1 \text{ DEN } B6 \text{ YA}}{6}$$

$$REF \text{ YAĞI} = \frac{REF1 \text{ DEN } REF6 \text{ YA}}{6}$$



ŞEKİL E.20 Klasik Metodlara Göre Deney Yönteminin Karşılaştırılması



ŞEKİL E.21 Metodon üç Tip Motor üzerinde Denemesinin Sonuçları

A GEMİSİ - 3 YIL SERVİS SÜRESİ

SİLİNDİR YAĞ TESTLERİ 22

REFERANS YAĞ TESTLERİ 12

UZUN SÜRELİ DENEYLER 2

B GEMİSİ - 5 YIL SERVİS SÜRESİ

SİLİNDİR YAĞ TESTLERİ 34

REFERANS YAĞ TESTLERİ 19

C GEMİSİ - 3 YIL SERVİS SÜRESİ

SİLİNDİR YAĞ TESTLERİ 1

D GEMİSİ - 2 YIL SERVİS SÜRESİ

SİLİNDİR YAĞ TESTLERİ 2

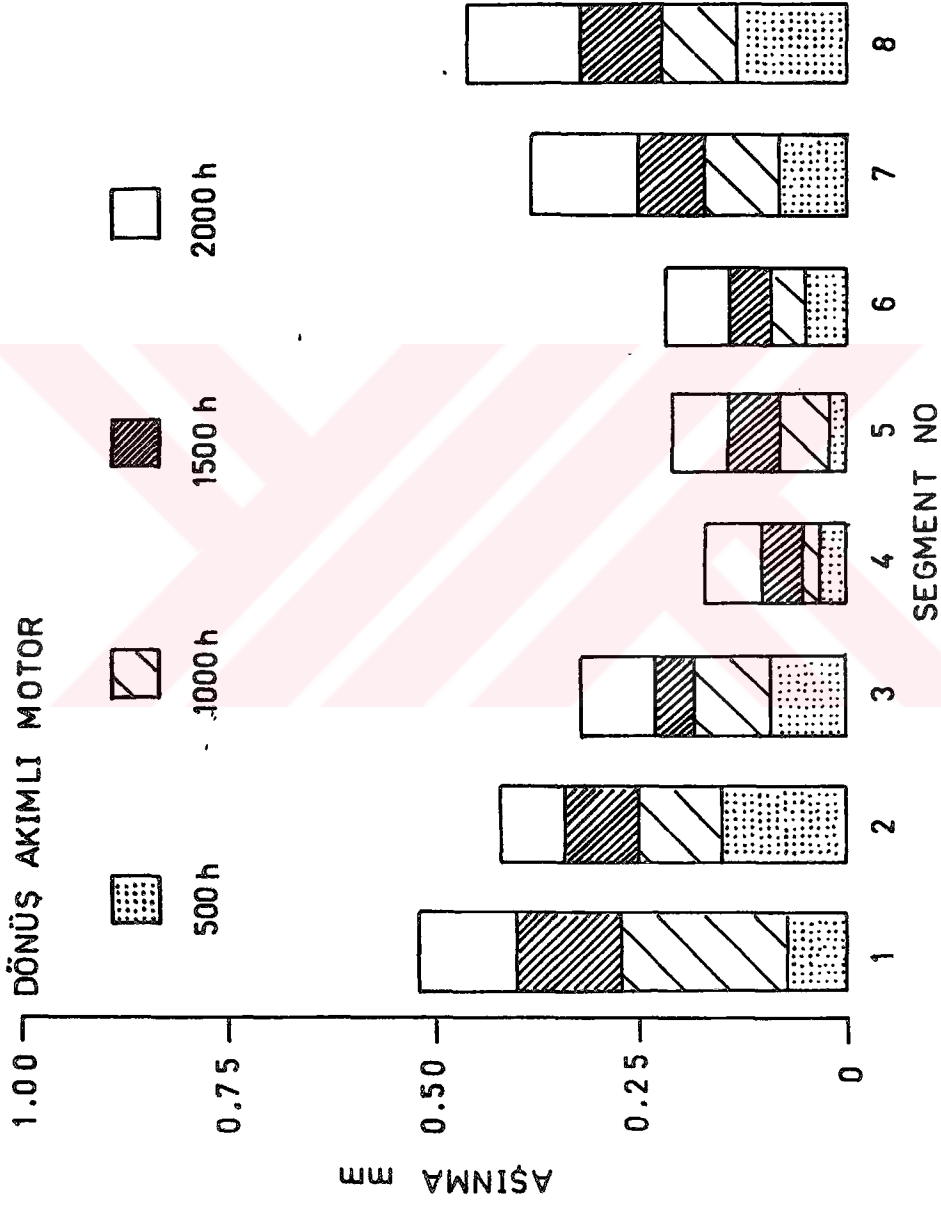
REFERANS YAĞ TESTLERİ 2

E GEMİSİ - 1 YIL SERVİS SÜRESİ

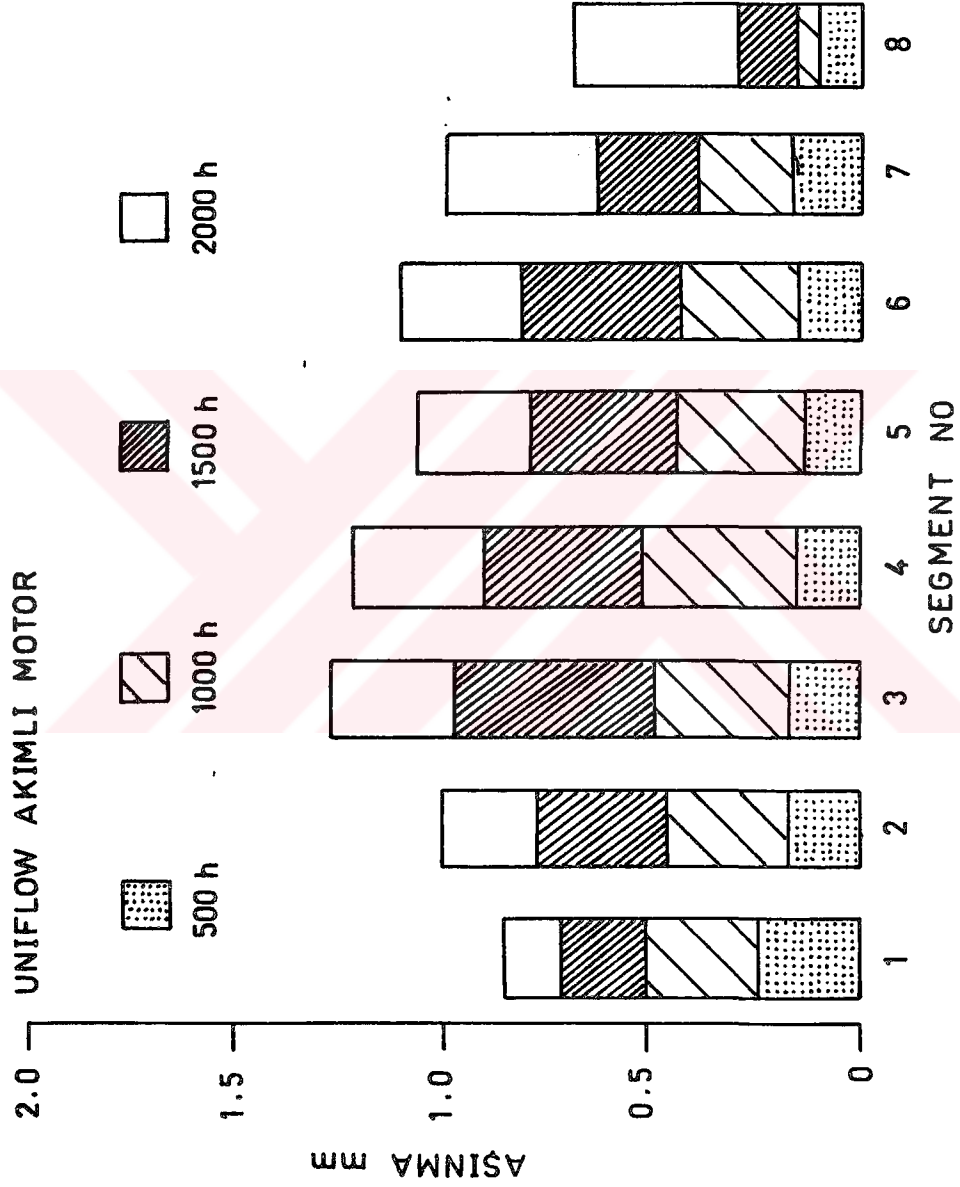
SİLİNDİR YAĞ TESTLERİ 2

REFERANS YAĞ TESTLERİ 1

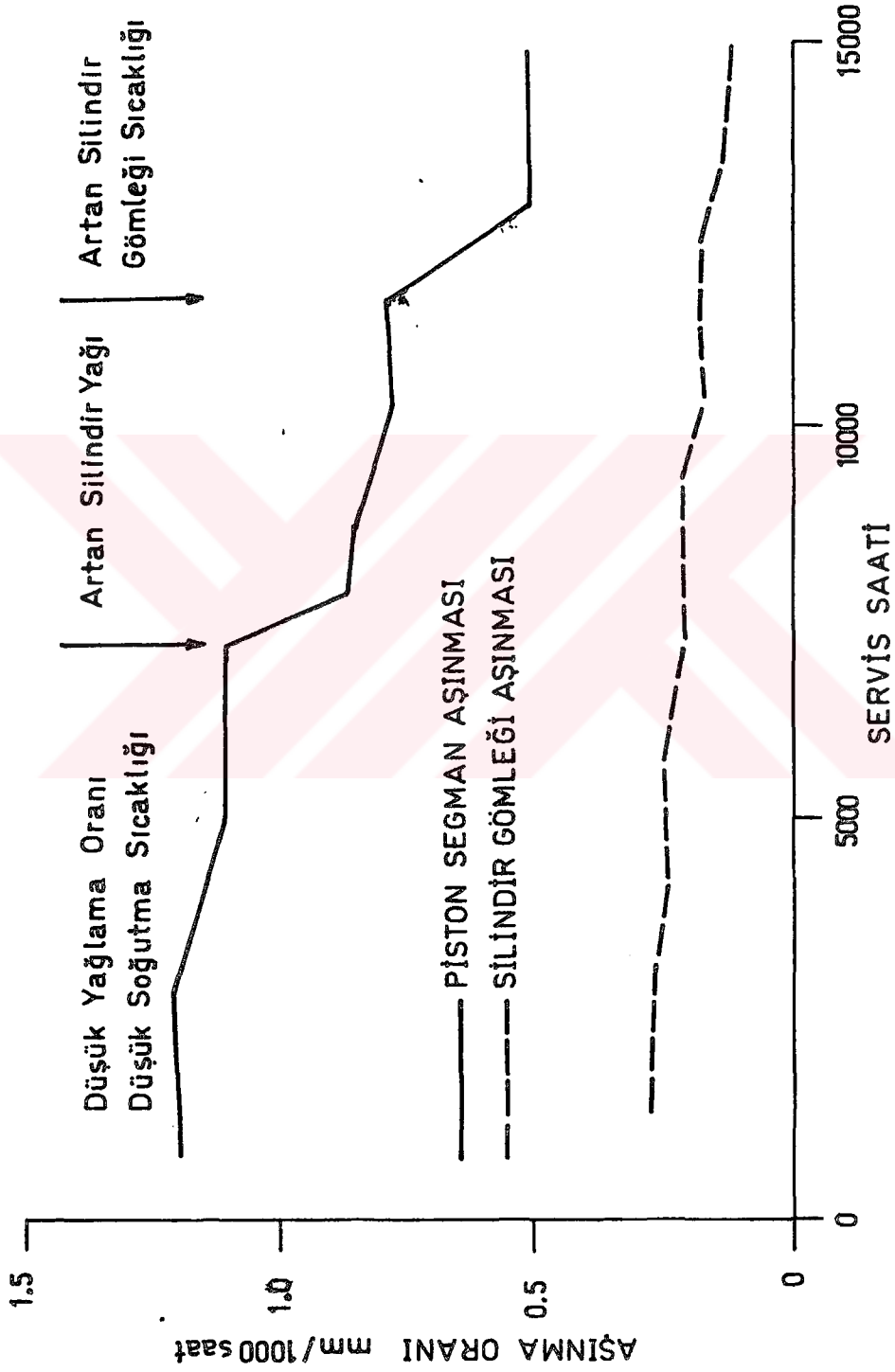
ŞEKİL E.22 Gemilerdeki Arastırma Programı



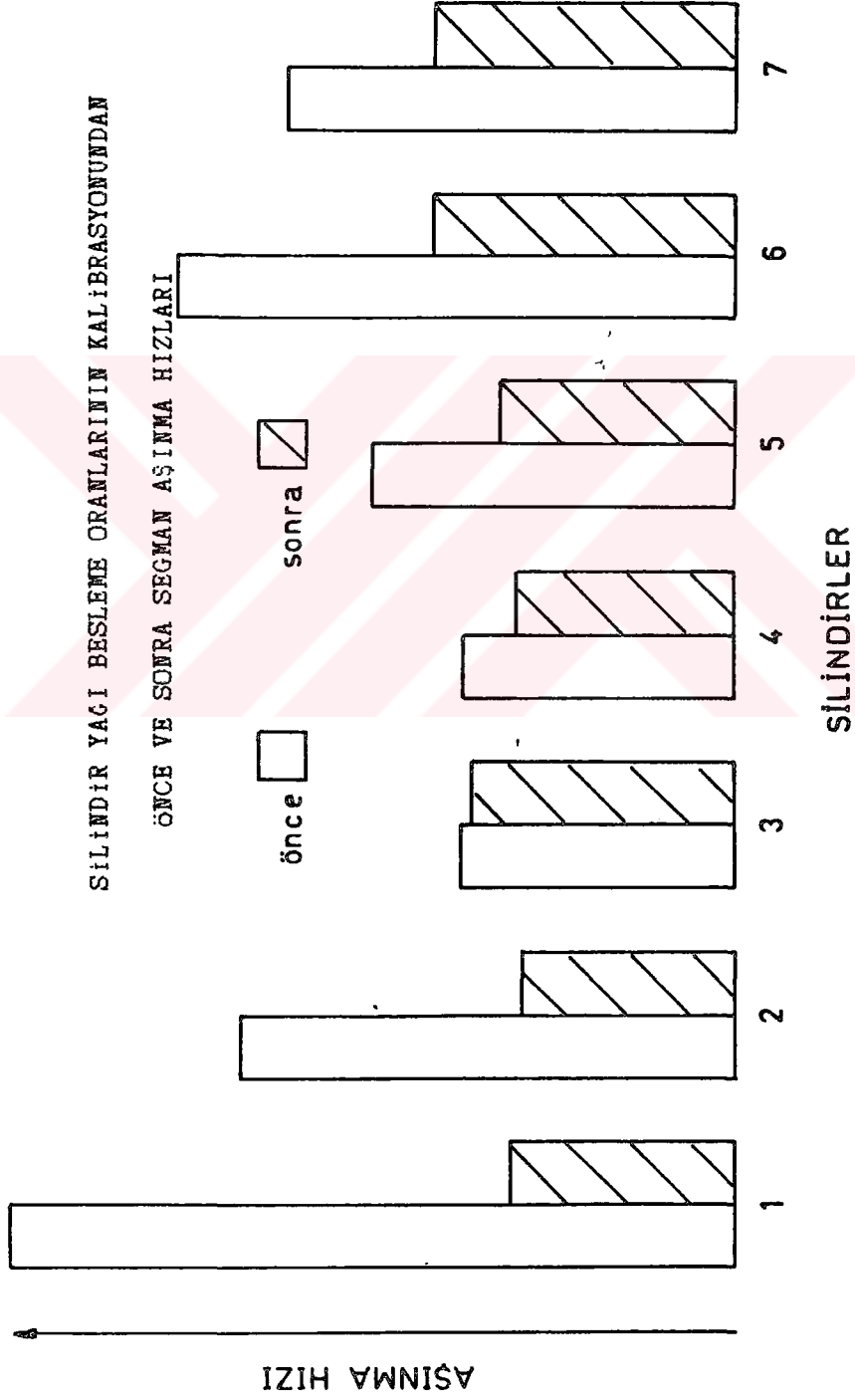
ŞEKİL E.23 Segment Aşınma Görünümleri - A Gemisi



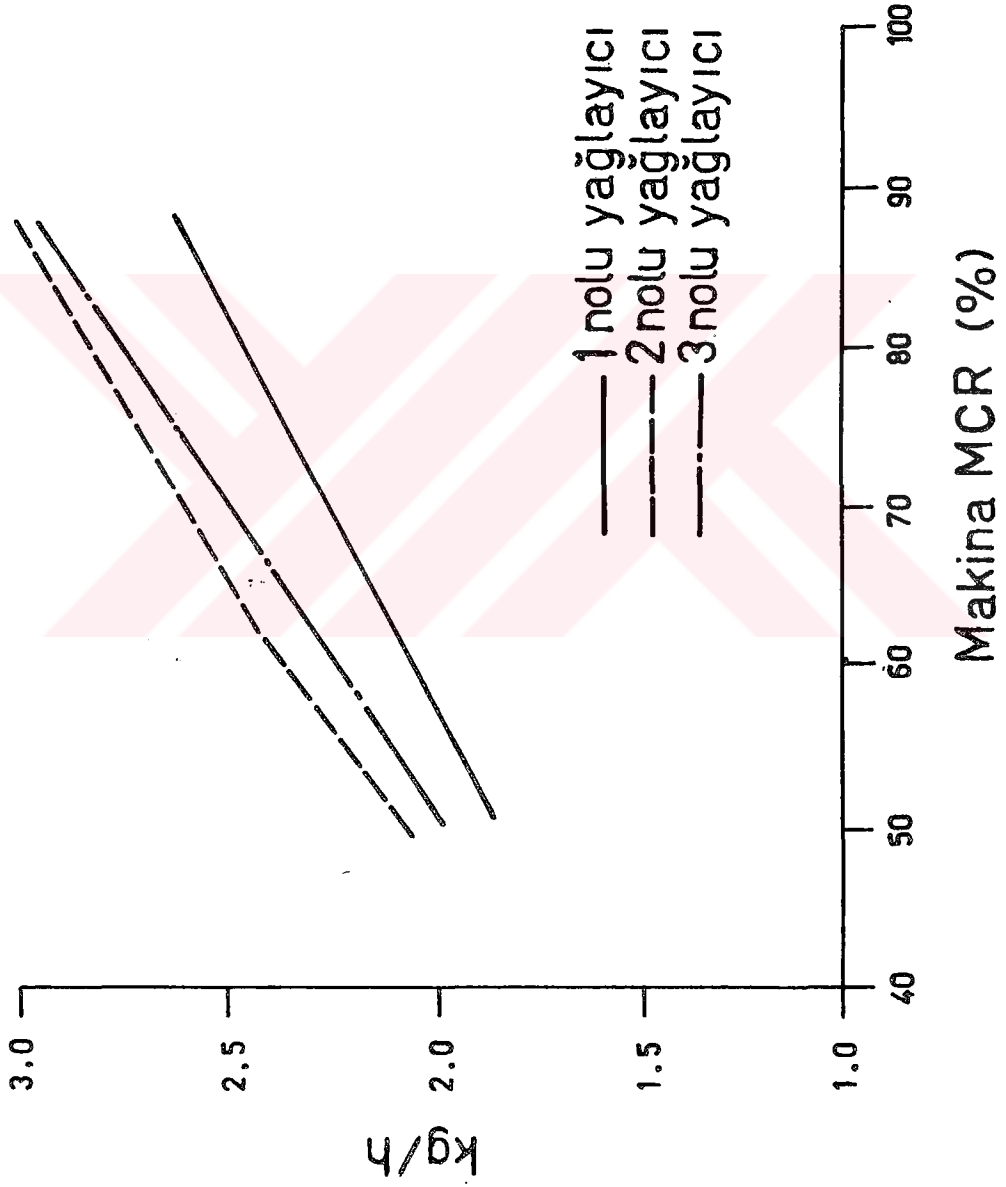
ŞEKİL E.24 Segman Asınma Görünümleri - B Gemisi



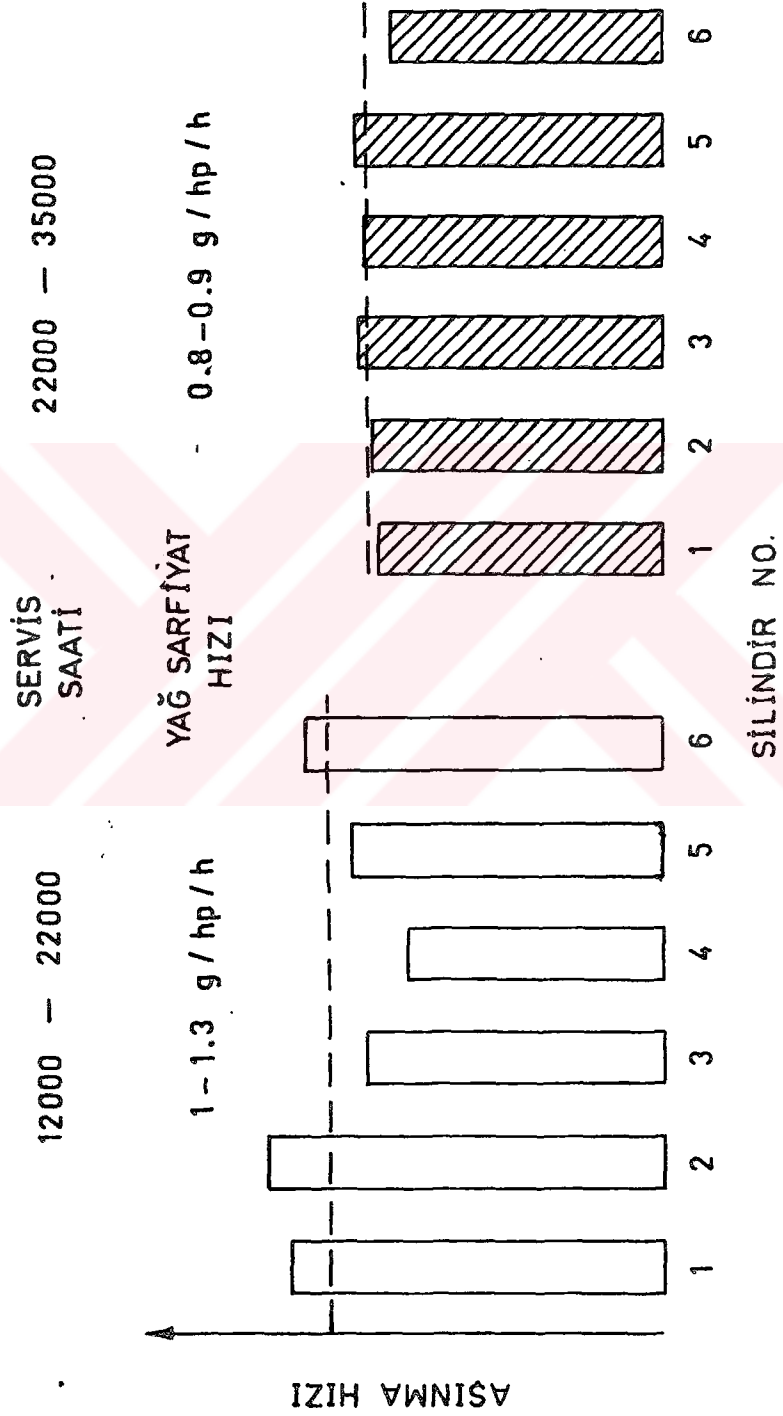
ŞEKİL E.25 Makina Aşınma Süreci - B Gemisi



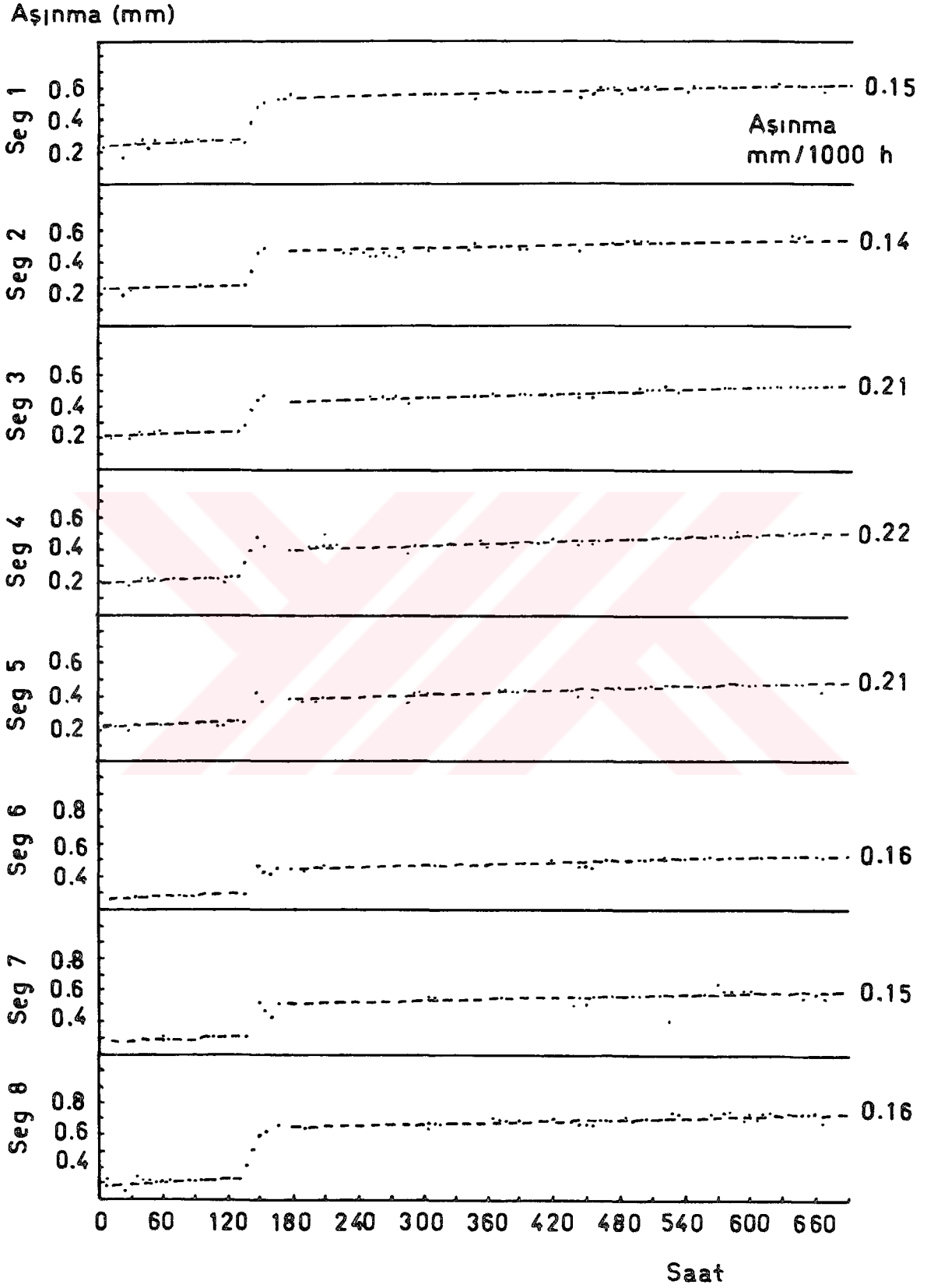
ŞEKİL E.26 Segman Aşınmasında Silindir Besleme Yağının Dengelenmesinin Etkisi



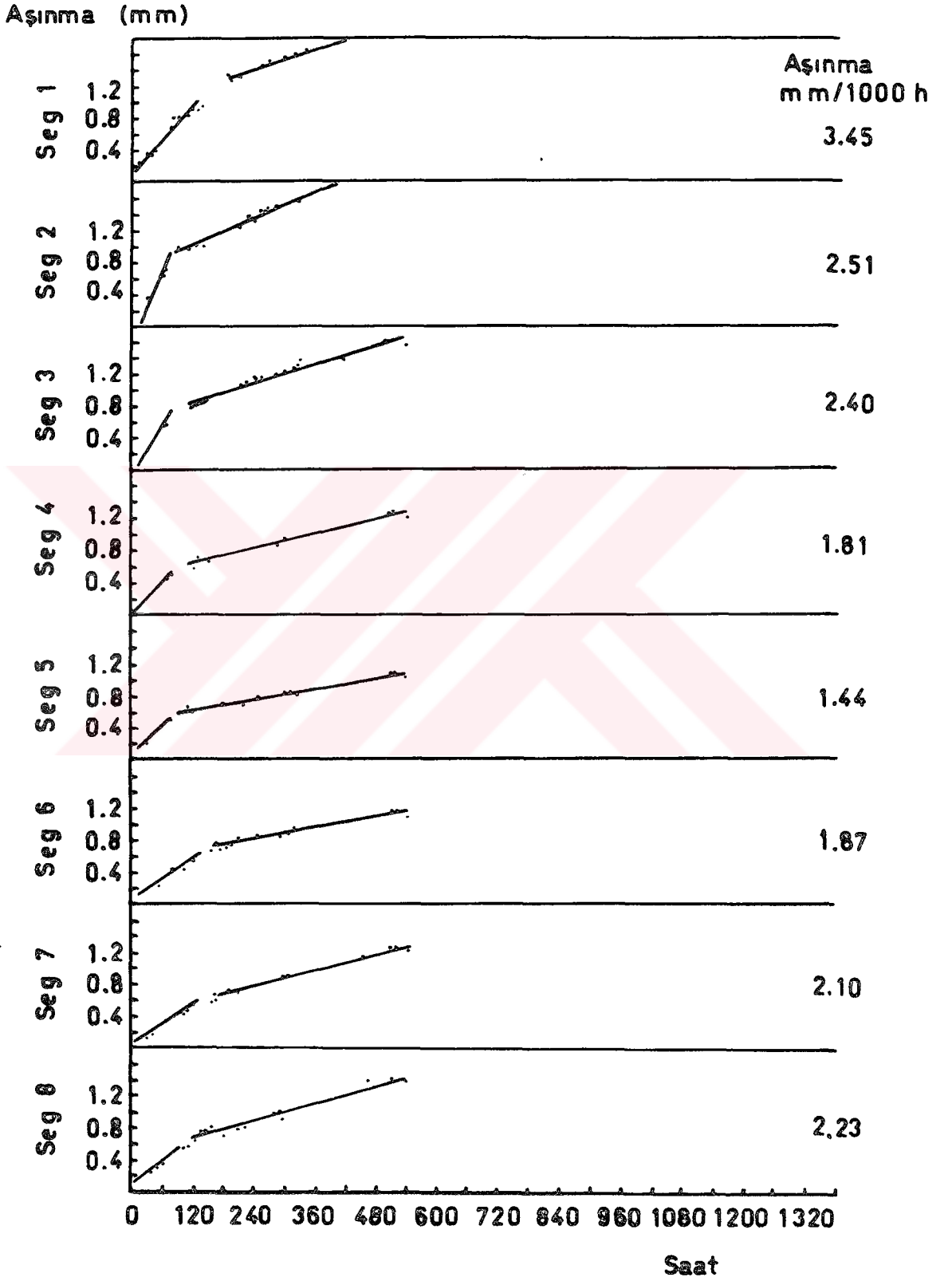
ŞEKİL E.27 Silindir Lubrikatör Kutuları Arasında Besleme Yağında Değişimler



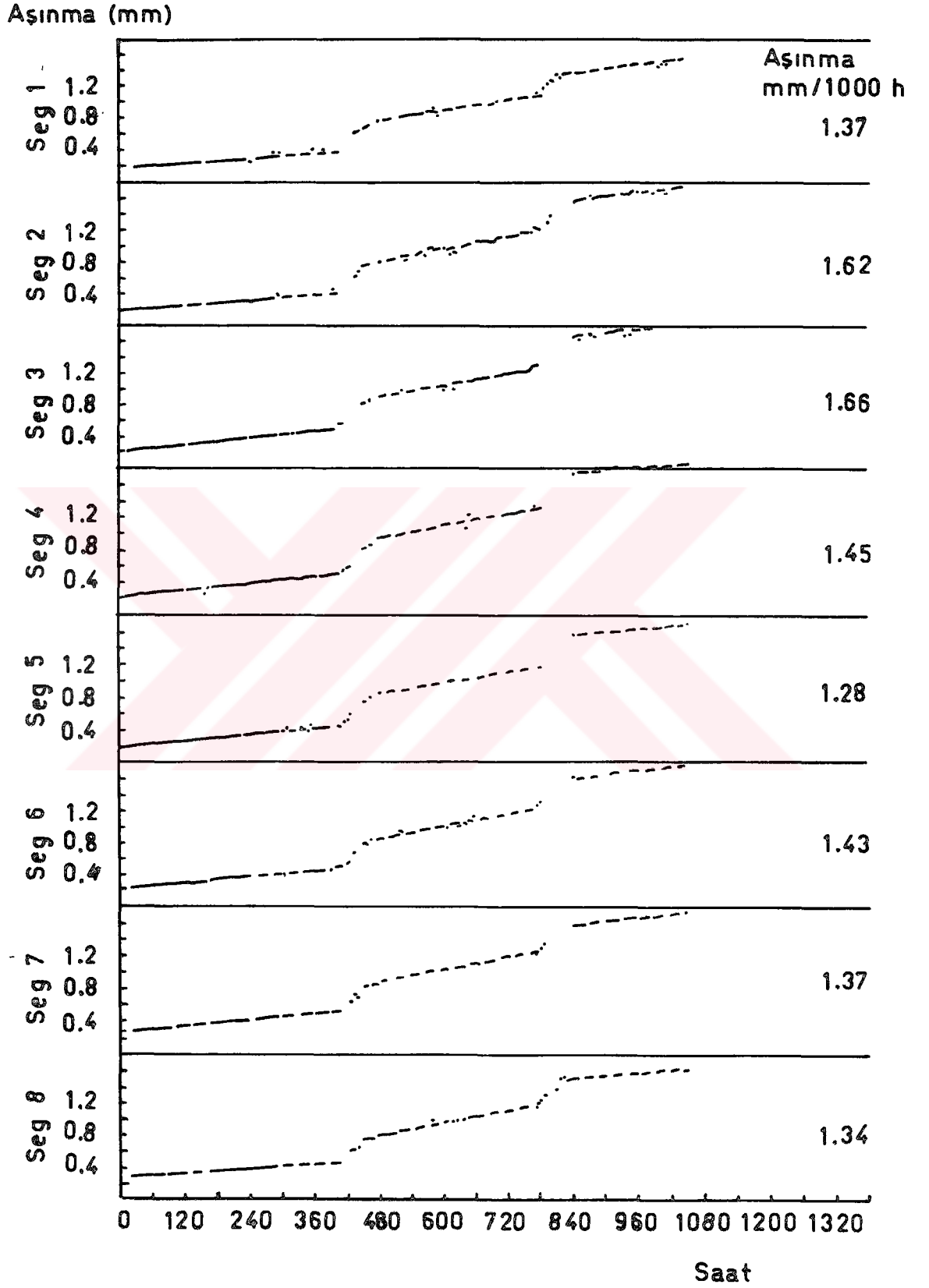
ŞEKİL E.28 Silindir Besleme Yağı Miktarlarının Segman Asınma Hızlarına Olan Etkisi



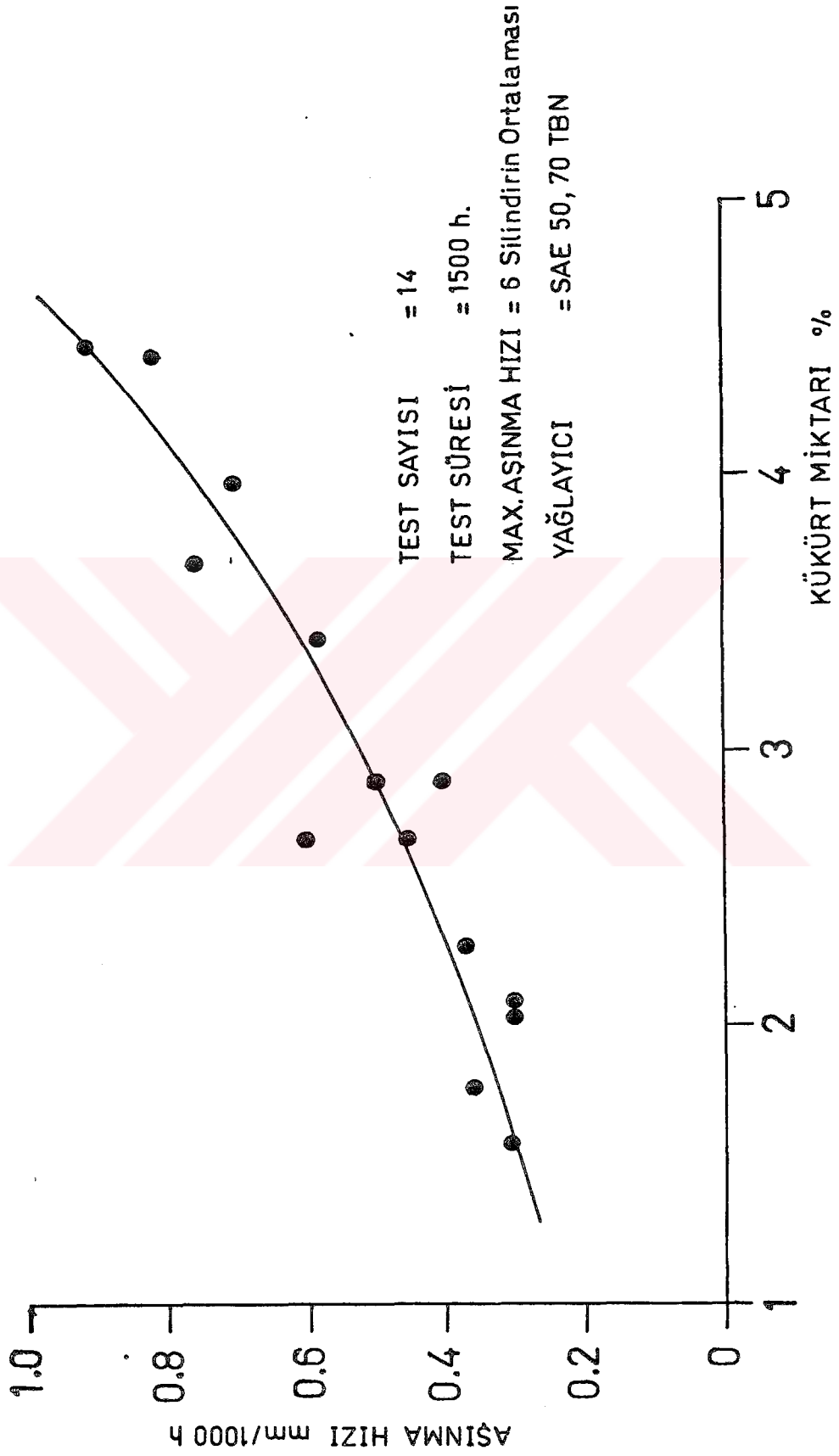
SEKİL E.29 Aşınma Hızına Bozulan Besleme Yağının Etkisi - D Gemisi



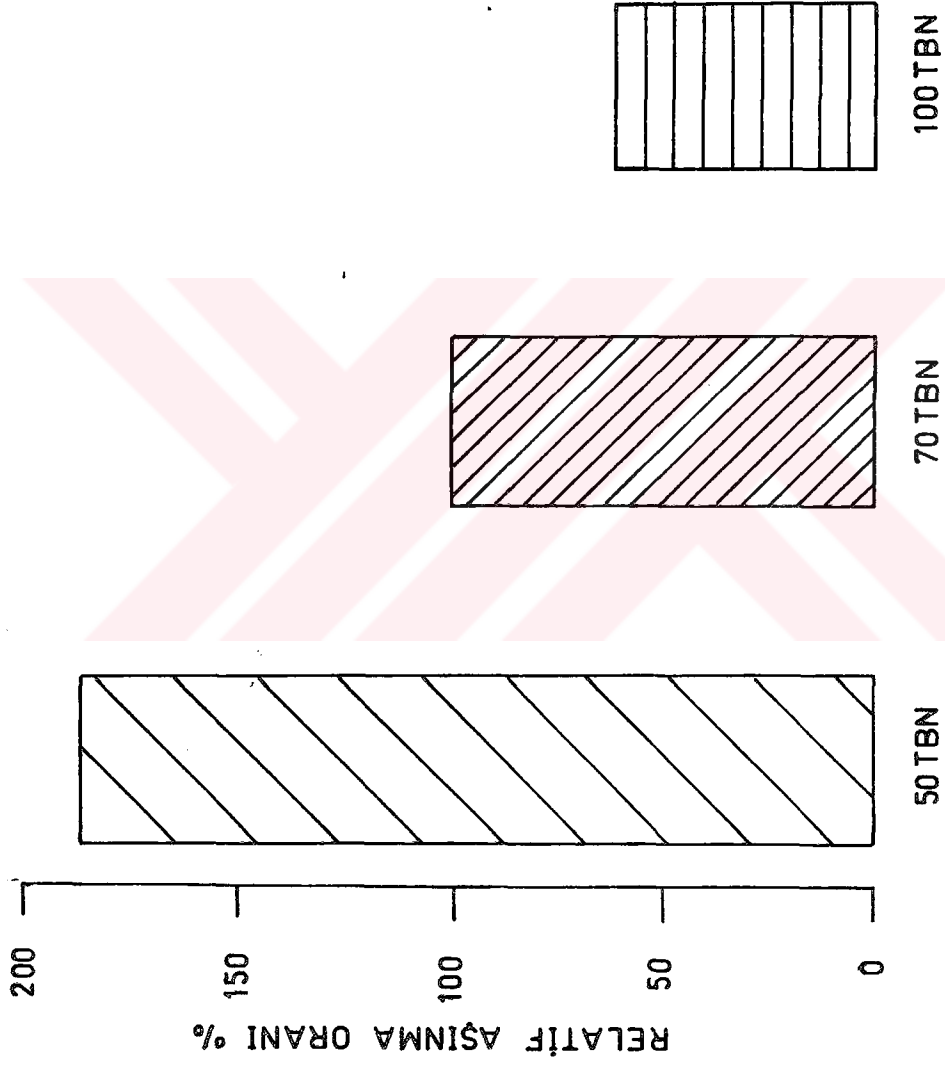
ŞEKİL E.30 Asırı Layer Sıcaklığının Etkisi



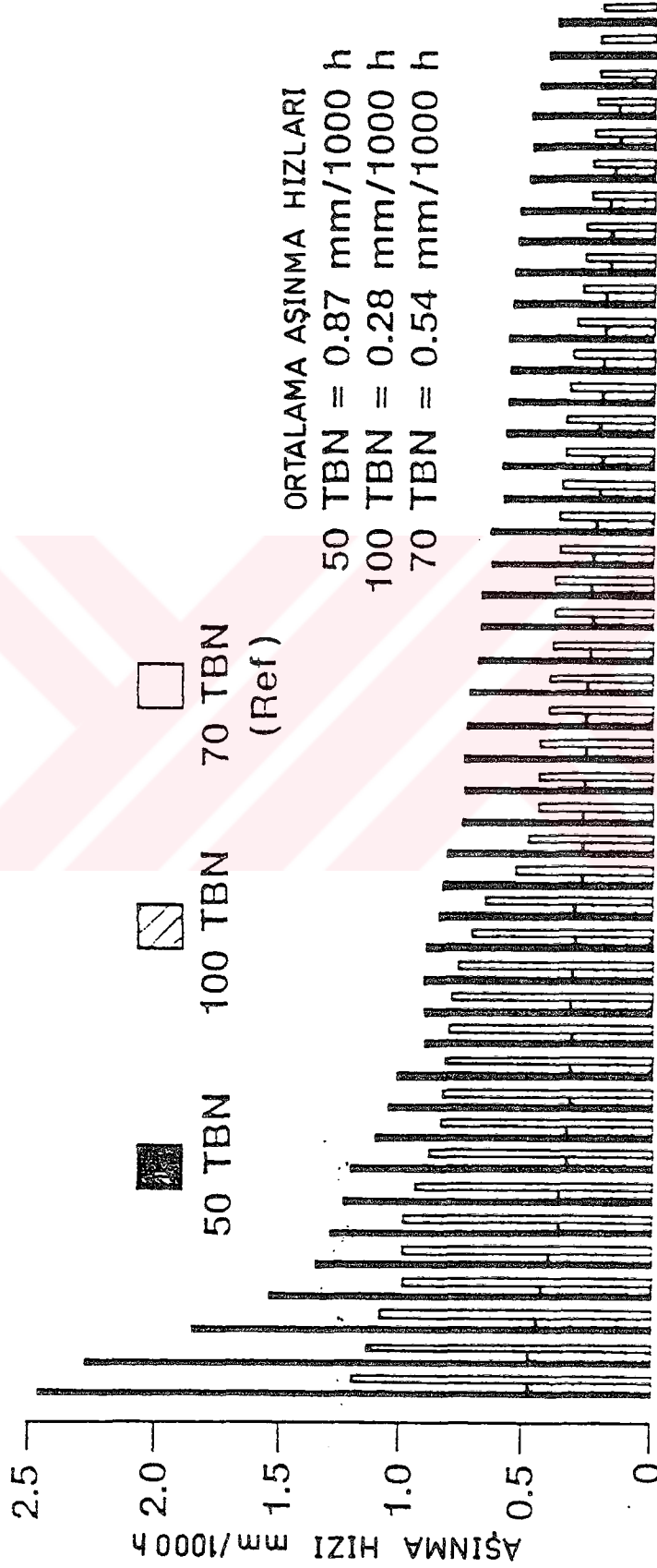
ŞEKİL E.31 Segmental Aşınmada Yakıt Kalitesinin Etkisi - F Gemisi



ŞEKİL E.32 Yakıtın içindeki Kükürt Miktarı ile Segman Aşınması Arasındaki İlişki

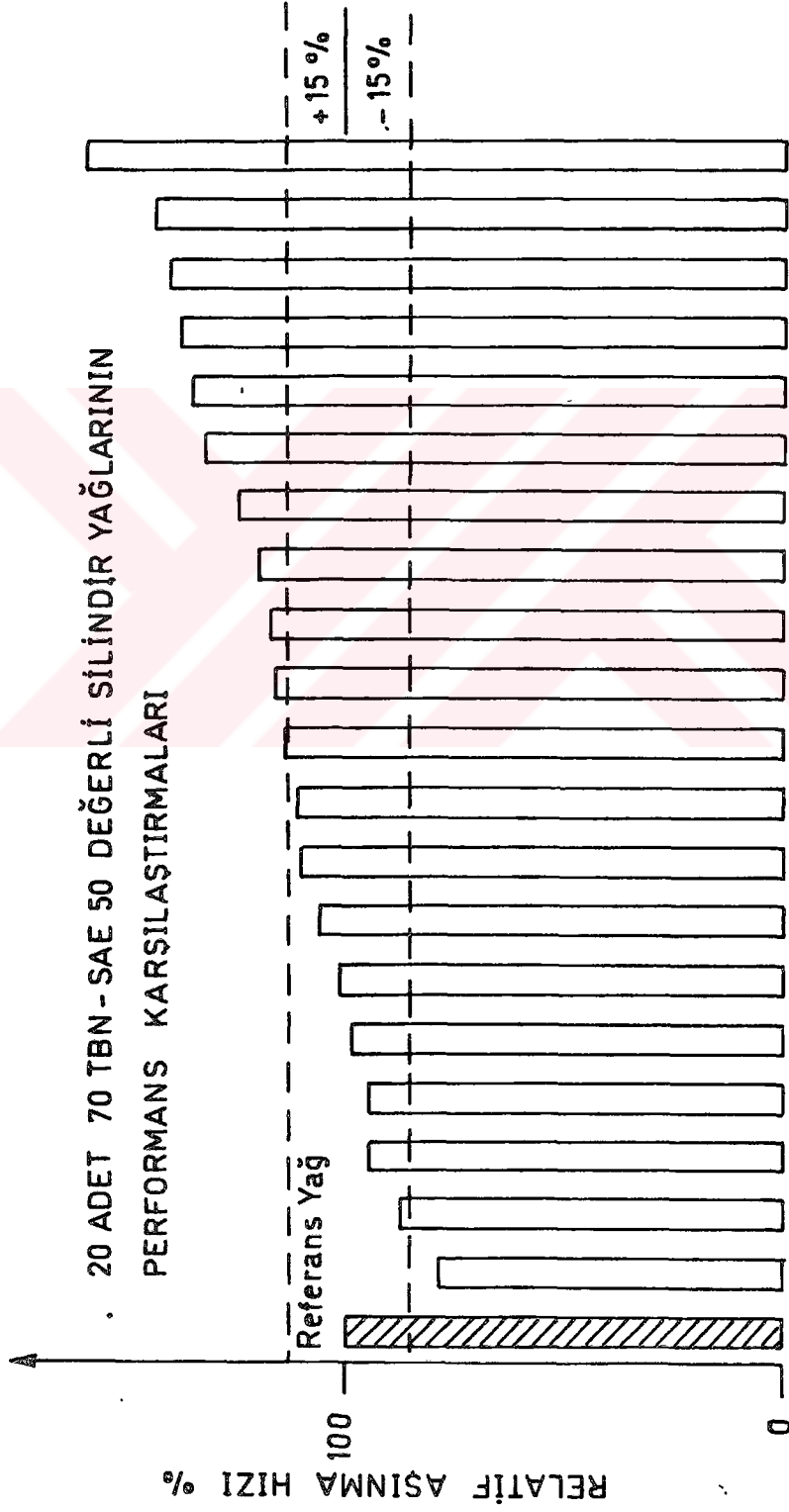


ŞEKİL E.03 Silindirik Yağlama Yağı TBN ile Segman Aşınması Arasındaki İlişki

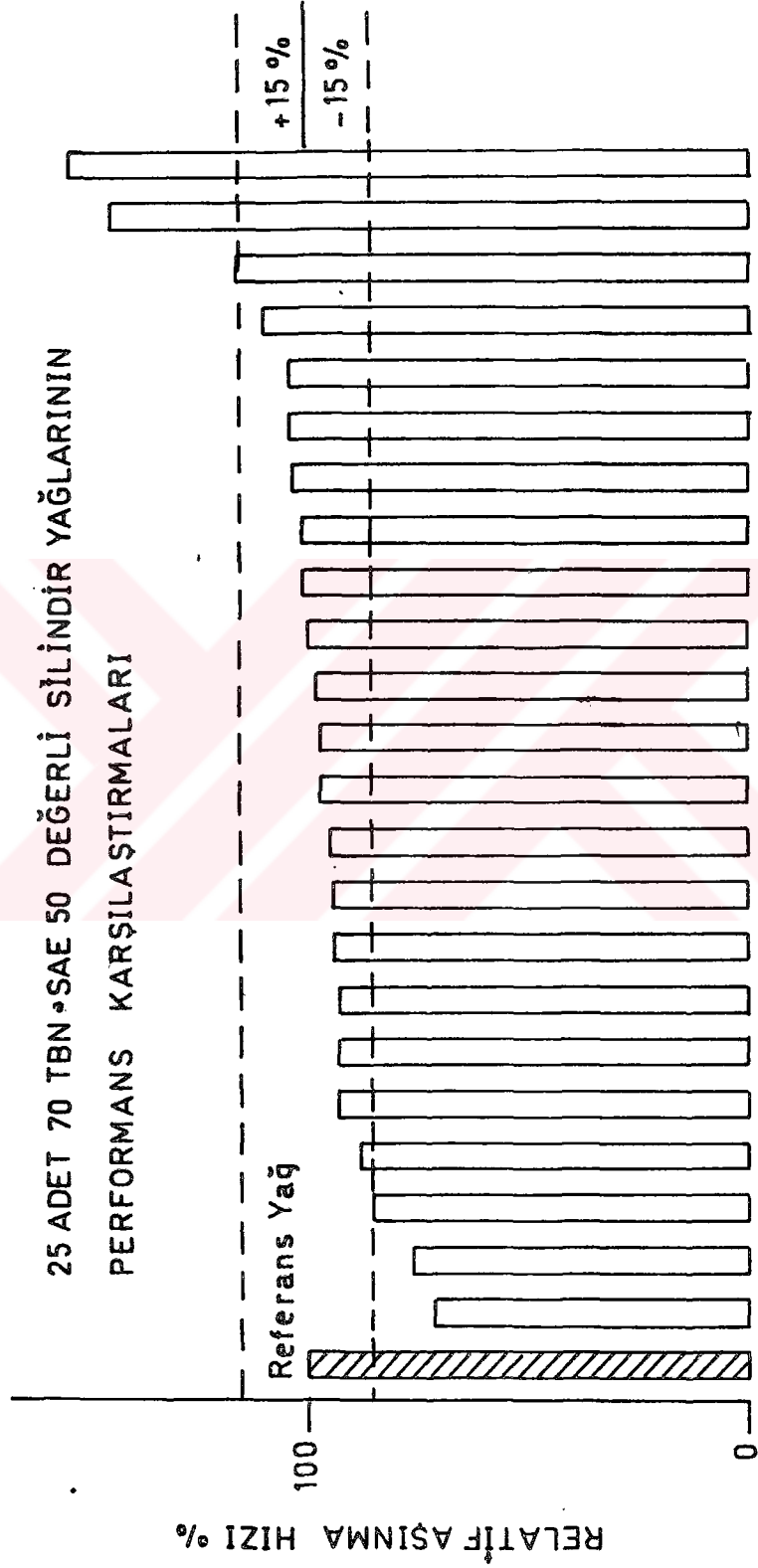


ÖLÇÜLEN AŞINMALARIN NUMARASI

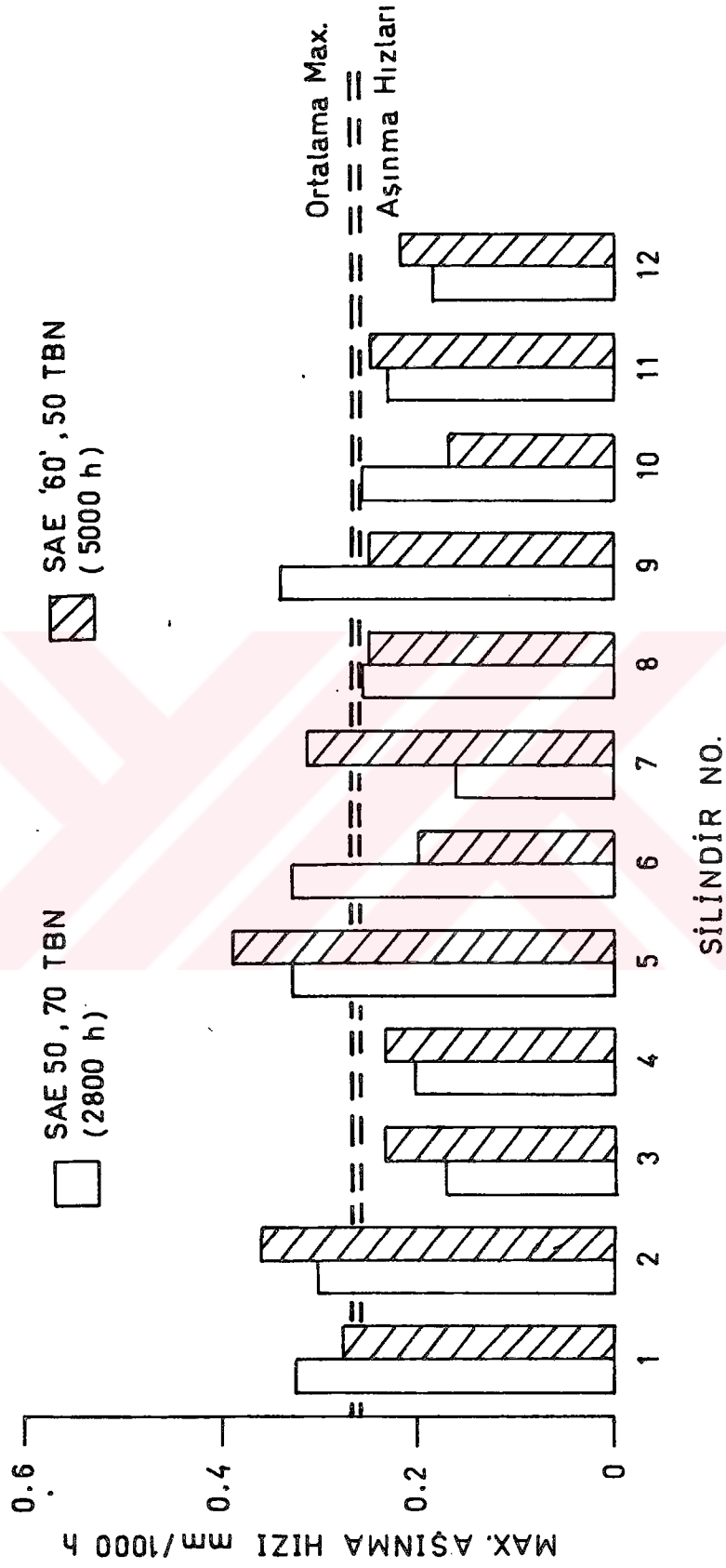
ŞEKİL E.34 Silindirik Yağlama Yağı TBN ile Segman Aşınması Arasındaki İlişki - B Gemisi



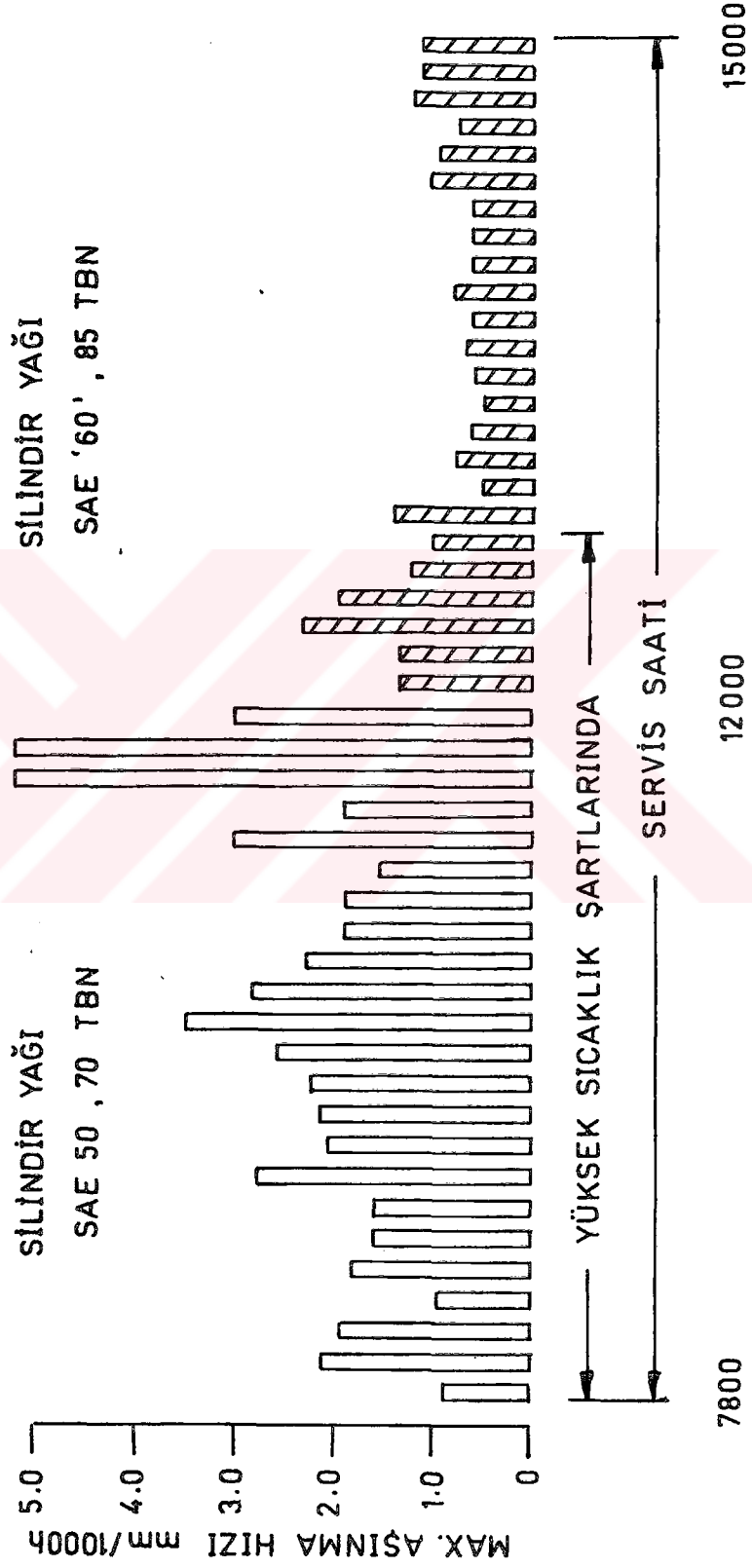
ŞEKİL E.35 " EP - SIFWA " Segman Asınma Testleri - A Gemisi



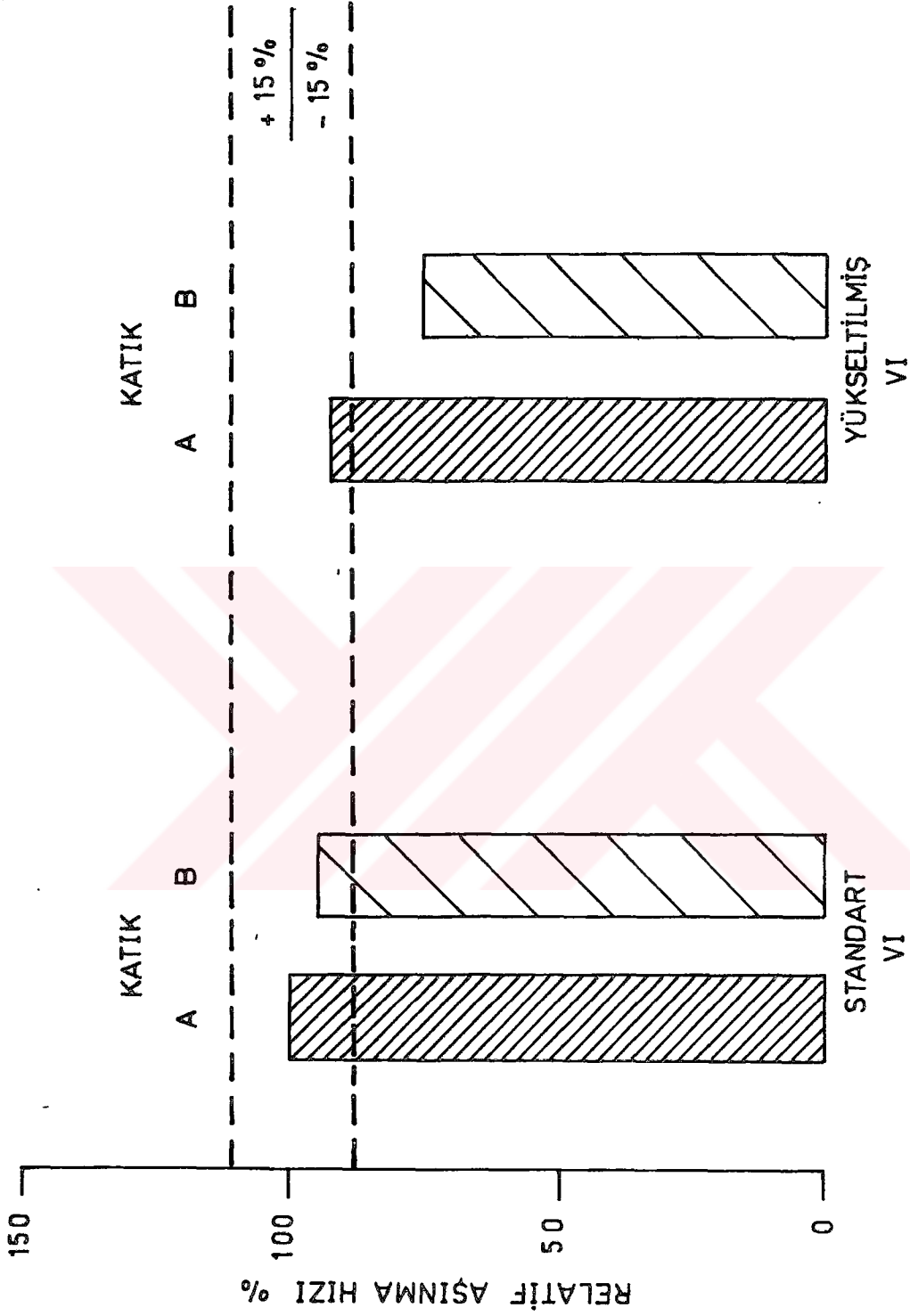
ŞEKİL E.36 " BP - SIFWA " Segman Aşınma Testleri - B Gemisi



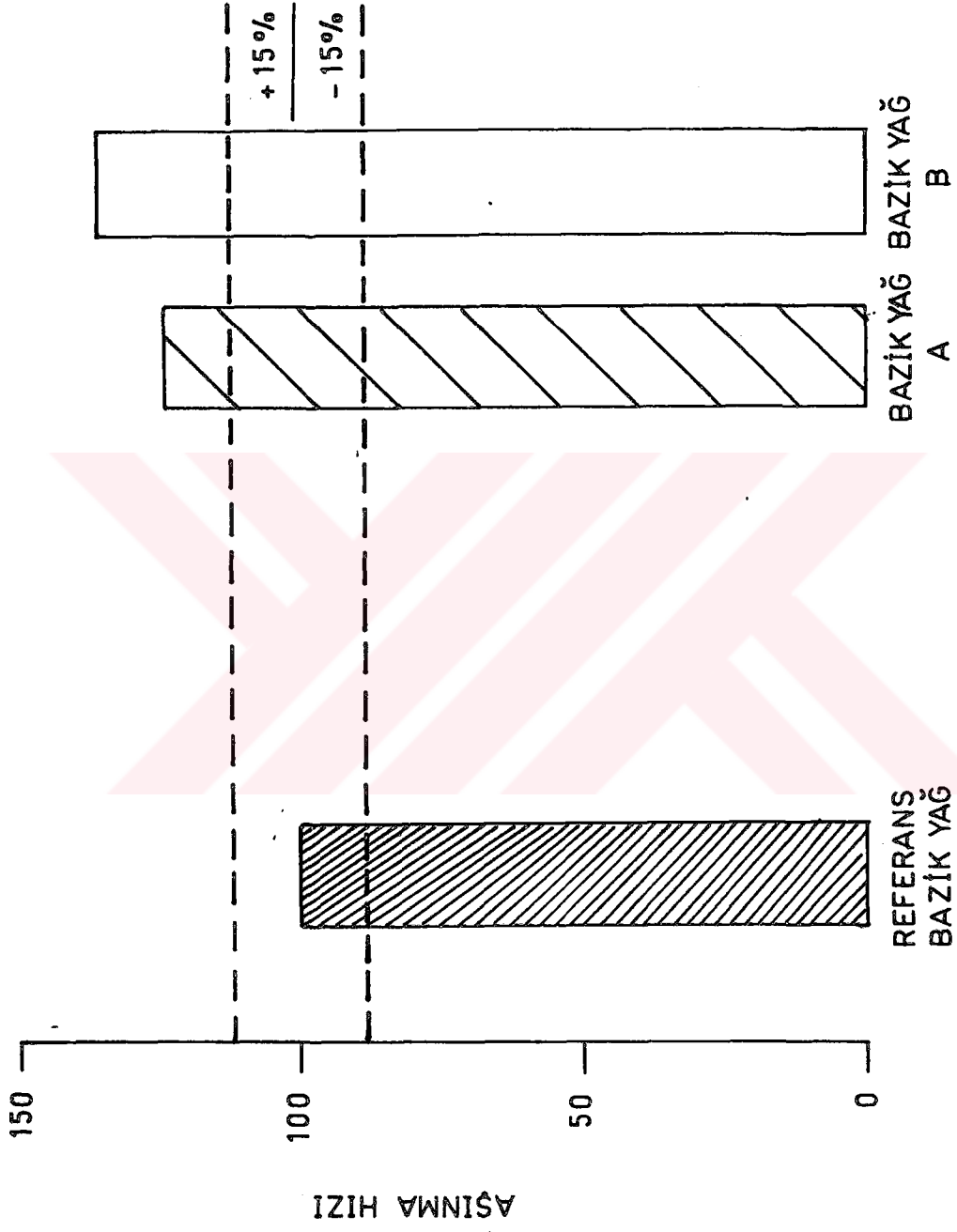
ŞEKİL E.37 50 TBN, SAE "60" Silindir Yağlayıcısının Performansı - D Gemisi



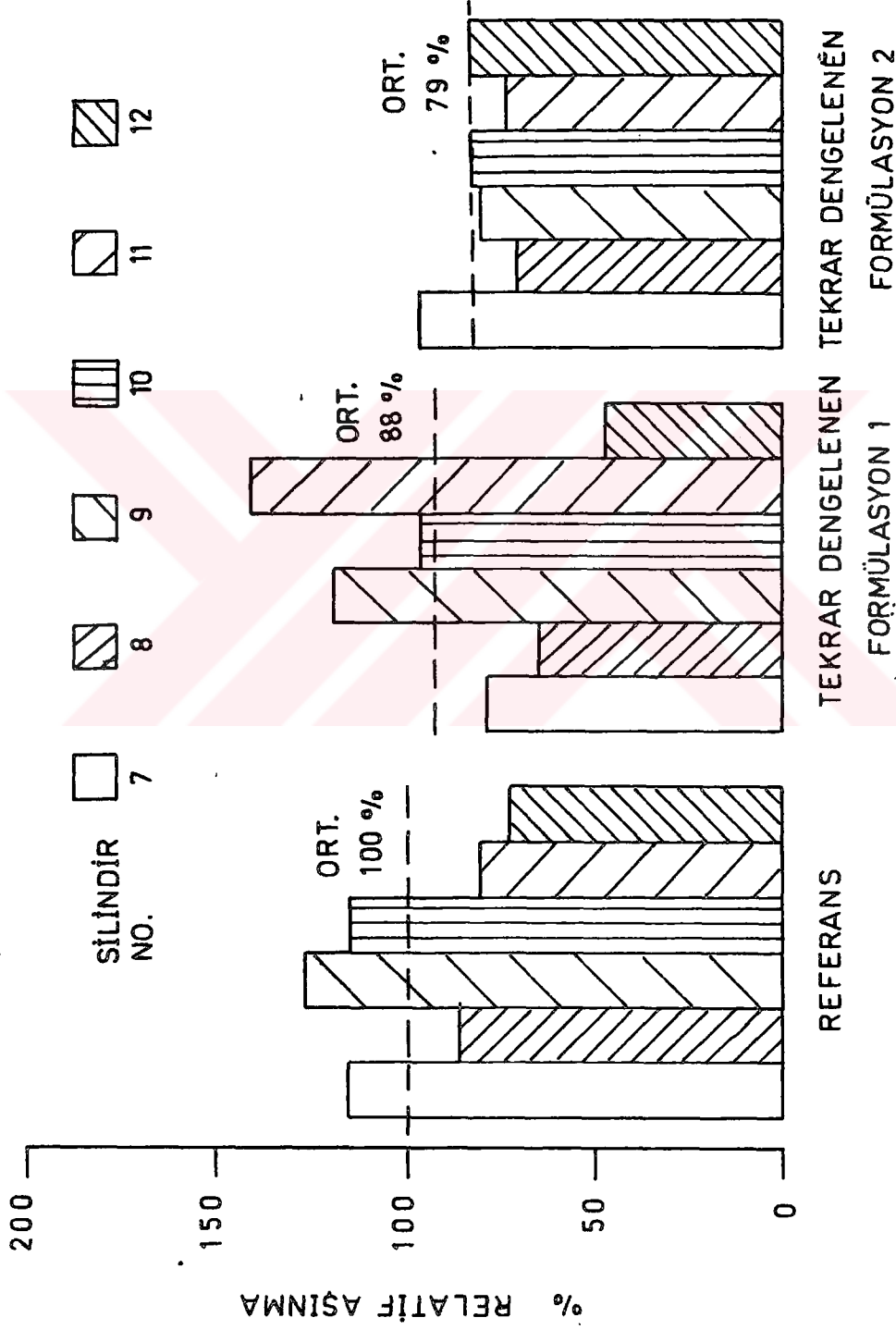
ŞEKİL E.38 85 TBN, SAE "60" Silindir Yağlayıcısının Performansı - C Gemisi



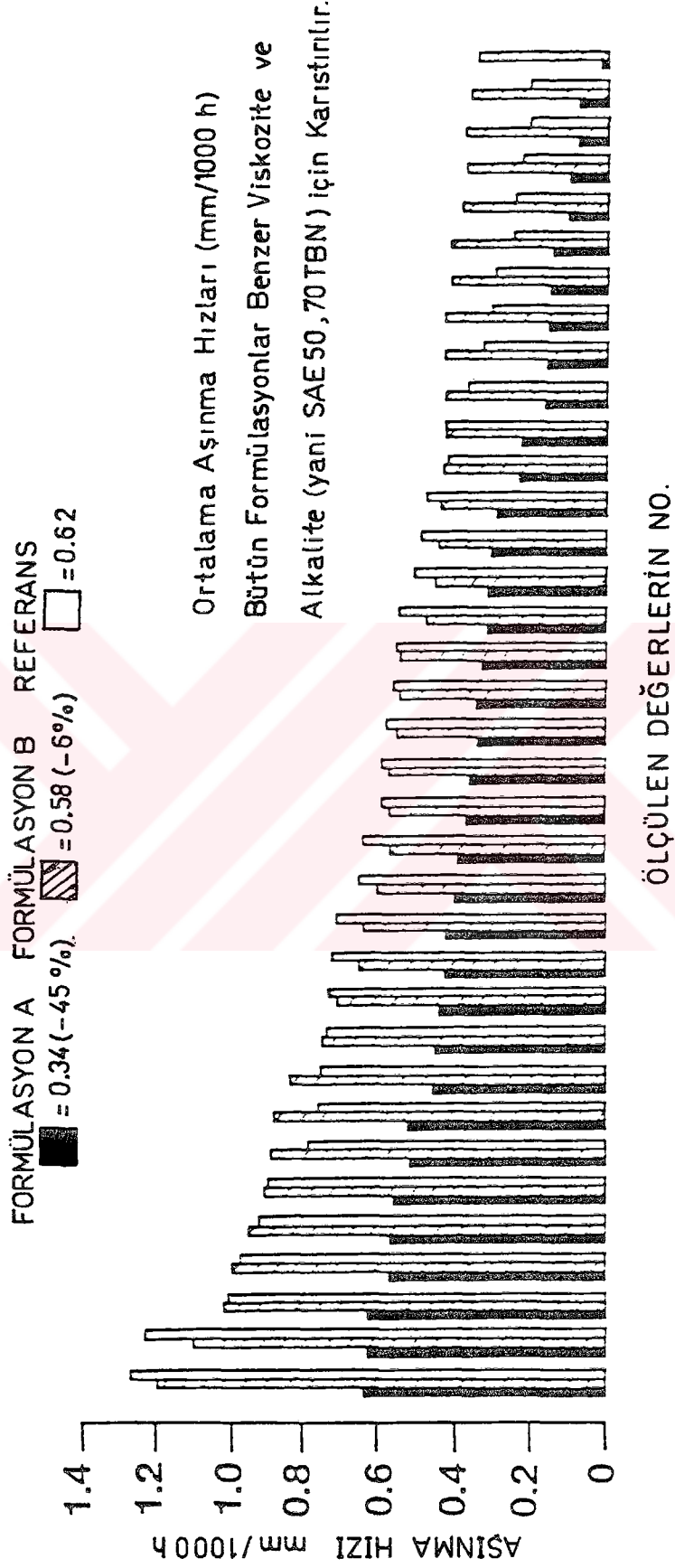
ŞEKİL E.39 Sıcaklık/Viskozite ile Segman Aşınma Hızı Arasındaki İlişki



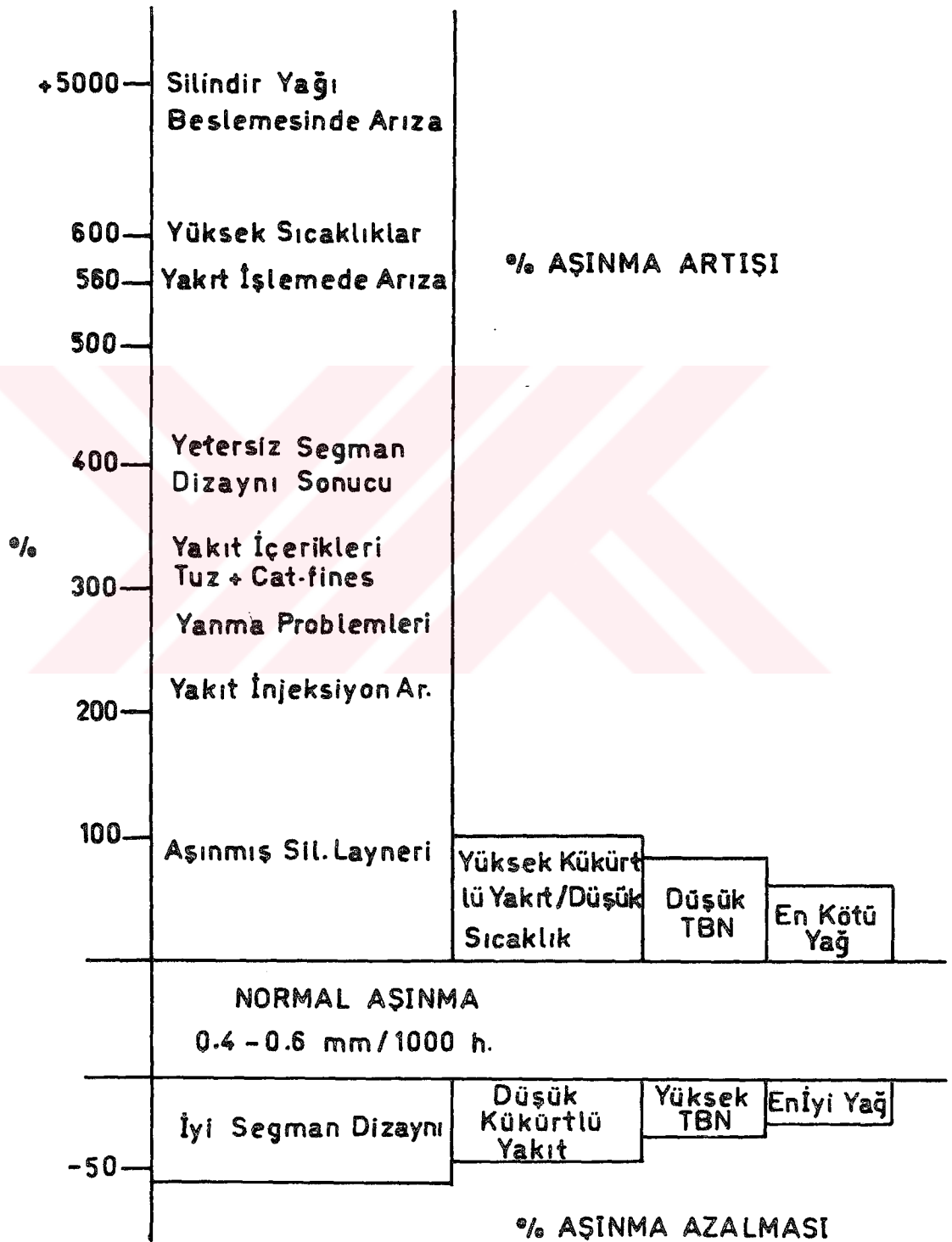
ŞEKİL E.40 Bazık Yağların Seçmen Aşınma Hızlarına Etkisi

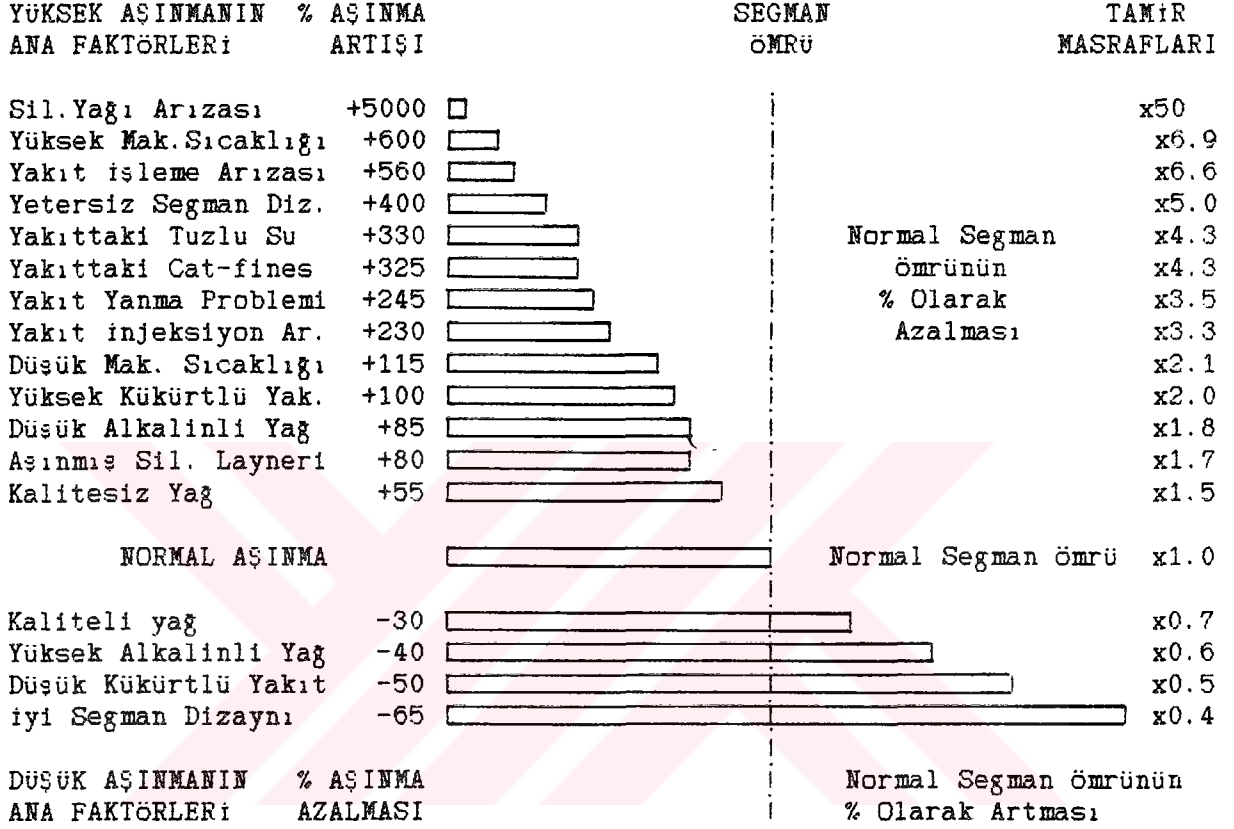


ŞEKİL E.41 Yeniden Dengelenen Formülasyonların Performansı - A Gemisi



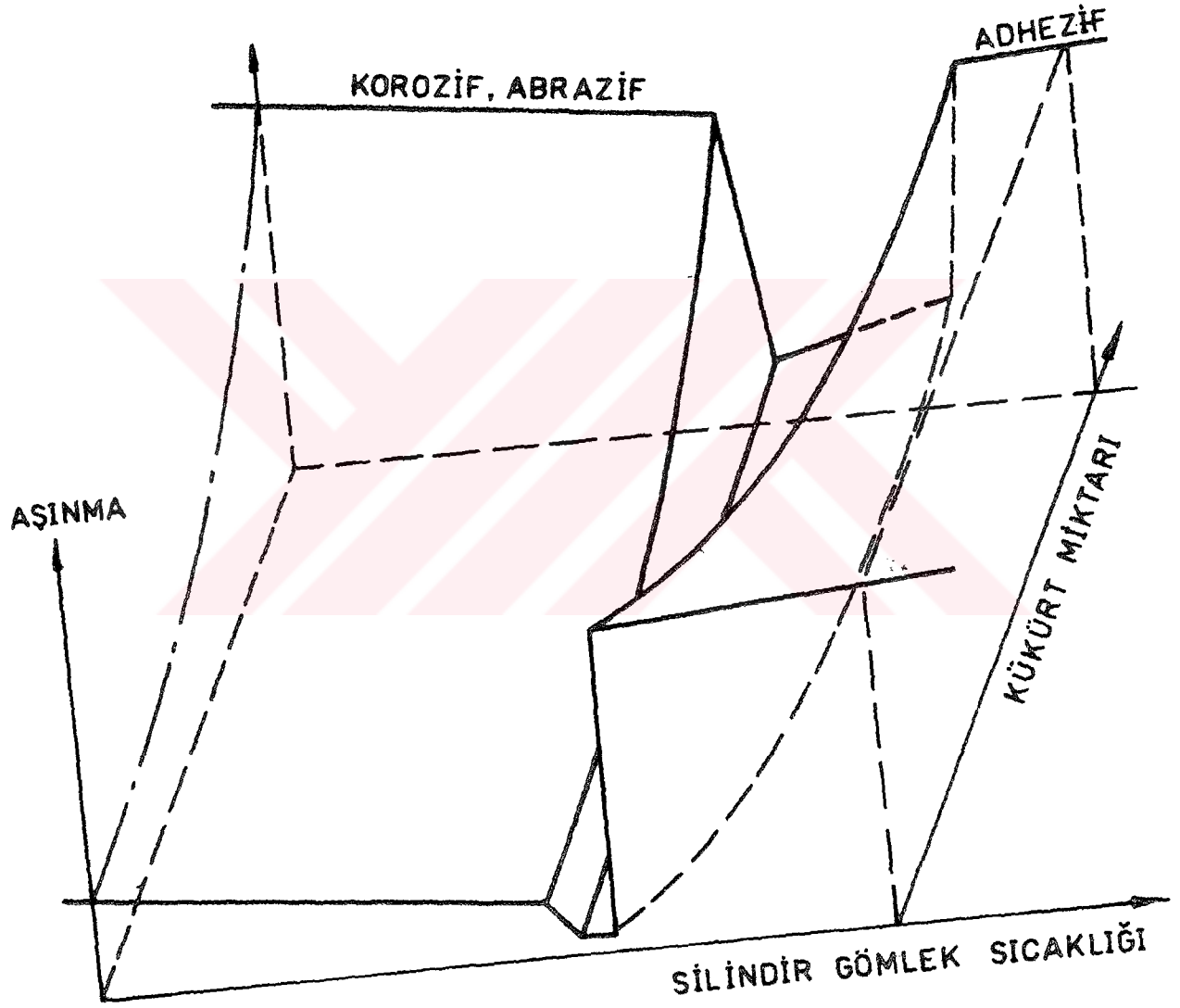
ŞEKİL E.42 Yüksek Performanslı Formülasyonun Toplam Aşınma Profili - B Gemisi



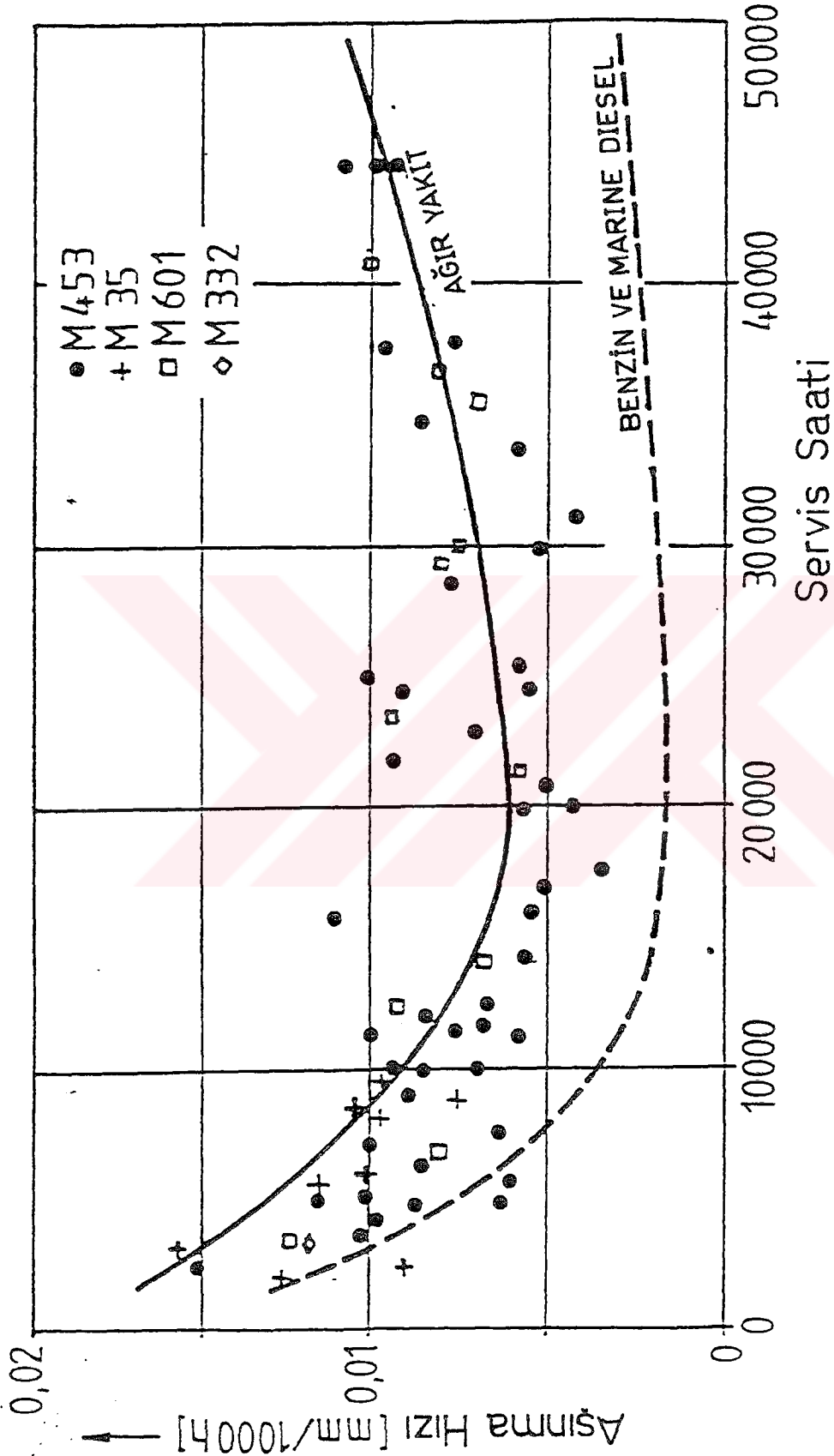


ŞEKİL E.44 Segman ömrü, Tamir Masrafları ve Aşınma Prosesini

Etkileyen Ana Faktörler Arasındaki Bağlantılar



ŞEKİL E.45 Silindir Gömlek Sıcaklığı ve Yakıtın içindeki Kükürt Miktarına Bağlı Olarak Aşınma Çesitlerinin Değişimi



ŞEKİL E.45 Dört Zamanlı, Orta Devirli MaK Motor Serilerine Ait Zaman Dilimlerinde

Meydana Gelen Silindir Layner Aşınma Miktarları (Yakıt Cinsine Bağlı)

SONUÇ

Çalışmanın sonuna gelindiğinde aslında bu araştırmanın hiç bir zaman bitmeyeceği ve bitmemesi gerektiğini görmekteyim. Ekonomik ihtiyaçlar teknolojinin gelişmesini doğurmaktadır. Gelecekte de aşınmalar üzerinde bir çok araştırma ve deneyler yapılacağını rahatlıkla söyleyebiliriz. Deneylere dayanmadan sadece literatür araştırması olarak yaptığım bu çalışma gelecek için en azından bir temel olacağı ve ileride yapmayı arzuladığım deneysel ve bilgisayar destekli simülasyon çalışmalarında bir noktadan devam edebileceğimi ve neyi nerede bulup, hangi işte kullanacağımı gayet güzel anlamış bulunmaktayım. Gelecekte de arşivimin zenginleşmesi ve gelişen yeni teknolojiden tarafımın bilgilendirilmesi için özgeçmiş bölümünde iletişim kurulması amacıyla adres ve telefon numarası vermiş bulunuyorum.

Saygılarımla,

İbrahim Çınar

REFERANSLAR VE YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. BENSON, ROWLAND S. - WHITEHOUSE N.D.
Internal Combustion Engines , Internal Pergamon Library (1983)
2. BLUDSZUWEIT, S. - BERNIER, F.
Einfluß geänderter Kühlbedingungen auf den Kolbenring-Zylinderbuchse
verschleiß im Teillastbereich der Dieselmotoren
12.Informationstagung des Instituts für Schiffsbetriebsforschung
am 22.Juni 1990 in Flensburg/Glücksburg
3. GROTH, K. - BEHRENS, R.
Brennstoffbedingte Verschleißprobleme bei der Verwendung von Schwerölen
als Motorentreibstoff
am 22.Juni 1990 in Flensburg/Glücksburg
4. HADDAD, SAM D.
Advanced Diesel Engineering And Operation ,
Prof. of Mechanical & Aerospace Eng. University of Missouri USA (1990)
5. HELLINGMANN, G.J. - BARROW, S.
Further shipboard experience with fuel cleaning systems and selected
fuels of tomorrow
Sulzer (1983)
6. HULL, JOHN R. - JAGER, R.
-
Piston Ring Wear and Lubricant Performance in Low Speed Marine Diesel
Engines
am 12.Juni 1990 in Flensburg/Glücksburg
7. HEYWOOD JOHN B.
Internal Combustion Engine Fundamentals
Prof. of Mech & Aerospace Eng. Massachusetts Institute of Technology
Cambridge Mass. USA (1988)

8. KUNTERWALD, M.

Betriebliche Einflußgrößen auf den Zylinderbuchenverschleiß
mittelschnell-laufender 4-Takt-Dieselmotoren im Schwerölbetrieb
am 12.Juni 1990 in Flensburg/Glücksburg , KRUPP MaK Kiel

9. LODDENKEMPER, F.J.

New methods of treating future heavy oils by means of centrifugal sep.
Westfalia Separator (1982)

10. MOORE, F.

Principles and applications of tribology desmond
International Series on Materials Science and Technology Vol.14 (1982)

11. POUNDER, C.C.

Marine Diesel Engines
Butterworth & Co. Sullfolk-Great Britain (1980)

12. WIESNER, D.

Analyse des Verschleißverhaltens der Kolbenringe von Großmotoren und
Vorhersage ihrer Aussonderungstermine
am 22.June 1990 in Flensburg/Glücksburg , Warnemünde-Wustrow

13. α ALFA-LAVAL Technical Information

Separation of solid particles from Heavy Fuel Oil
Report from laboratory investigation, Second Edition

14. α ALFA-LAVAL TECHNICAL SERIES

15. WESTFALIA SEPARATOR Paper Present at Technical Seminar of Esso AG

16. MOBIL Marine Diesel Engine Symposium

17. SULZER INSTRUCTIONS OF SULZER RTA - TYPE ENGINES

18. KRUPP MaK TECHNICAL SERIES

19. M.A.N. - B & W DIESELS A/S INSTRUCTIONS FOR L-MC / MCE TYPE ENGINES

20. CATERPILLAR The Cat 3600 Family Heavy Fuel Burning Engines
Diesel Fuels - Lubrication - Coolant and your engine
21. AKKURT, MUSTAFA
Makina Elemanları Cilt 1-2
22. KESGİN, UĞUR
Modern Gemi Diesel Motorlarının Yanma Odası Elemanlarının Delik Soğutma Yöntemiyle Soğutulması
Türk Loydu Seri Konferansları V 1990-91
23. KÜÇÜKŞAHİN, FAHRETTİN
DİZEL MOTORLAR Cilt 1-2 (1985)
24. PALAVAN, SELİM
Gemi Dizel Motorları
25. SAFGÖNÜL, BEHÇET
Pistonlu Motorlar Cilt 1, İTÜ (1989)
26. TEKİN, NİHAT
Gemi Diesel Motorları Cilt 1, YTÜ (1992)
27. TEKİN, NİHAT
Gemi Makinalarında özel Konular, Yüksek Lisans Ders Notları
28. VARDAR, NURTEN
Gemi Diesel Motorlarının Ana Elemanlarının Yağlanması Teorik
inceleme ve Yağlamanın Motor Soğutmasındaki Etkisi
Yüksek Lisans Tezi - (1986)
29. YAVAŞLIOĞLU, İRFAN
Motorlarda Aşınma Yüksek Lisans Ders Notları, YTÜ
30. YAVUZ, HASBİ
Isı Transferi Yüksek Lisans Ders Notları, İTÜ

ÖZGEÇMİŞ :

ADI SOYADI : İBRAHİM ÇINAR

DOĞUM YERİ - YILI : MARDİN - 1970

YABANCI DİL : İNGİLİZCE - İTALYANCA

PROGRAMLAMA DİLİ : QBASIC - FORTRAN

NÜMERİK YÖNTEMLER : SONLU FARKLAR - SONLU ELEMANLAR - SINIR ELEMANLAR

ÜNİVERSİTE : YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ - MAKİNA FAKÜLTESİ

GEMİ İNŞAATI & MAKİNALARI MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

(1987-1991)

DERECE : 66 not ortalaması

BİTİRME ÖDEVİ : 1200 kW. gücünde, 1000 rpm ile dönen, dört zamanlı,

su soğutmalı Mak M282 veya Sulzer ASL 20 tipi

bir Gemi Diesel Motorunun dizaynı

Prof.Dr. Nihat TEKİN , Bölüm Başkanı

ADRES : Fatih Mah.inönü Cad.Köprü Apt.№ 22-16 [34640]

KÜÇÜKÇEKMECE - İSTANBUL

TELEFON : 0 212 592 07 79

