

T.C.
DENİZ HARP OKULU
DENİZ BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TCG TURGUTREİS FIRKATEYNİNE
AİT ANA MAKİNELERİN
(MTU 20V 1163 TB 93) YAĞ DEĞİŞİM
PERİYODUNUN BELİRLENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

ERDEM YILDIRIM

Danışman : Prof. Dr. Hakan KALELİ

İstanbul, 2006

© Çalışmanın Tüm Hakları Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü'ne aittir.
2006

**TCG TURGUTREİS FIRKATEYNİNE AİT ANA
MAKİNELERİN (MTU 20V 1163 TB 93) YAĞ DEĞİŞİM
PERİYODUNUN BELİRLENMESİ**

ERDEM YILDIRIM

Deniz Üsteğmen

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

Yazar :

Erdem YILDIRIM

Sınav Tarihi : **05/07/2006**

Onaylayanlar :

Prof. Dr. Hakan KALELİ (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Süleyman ÖZKAYNAK (Sınav Komite Üyesi)

Doç. Dr. Filiz KARAOSMANOĞLU (Sınav Komite Üyesi)

ÖZET

TCG TURGUTREİS FIRKATEYNİNE AİT ANA MAKİNELERİN (MTU 20V 1163 TB 93) YAĞ DEĞİŞİM PERİYODUNUN BELİRLENMESİ

Anahtar Kelimeler : Gemi Diesel motoru, yağ değişim periyodu, yağ analizleri, optimizasyon, ekonomik analiz.

İçten yanmalı motorlarda yağlama yağının eskimesi oksidasyon ve çevresel faktörlerin etkisine bağlıdır. Bunun yanında yağlama yağının en elverişli kullanım ömrünü ekonomik olarak tespit etmek büyük önem arz etmektedir. Bir motor için yağ değişim periyodunu belirlemek, yağ analiz teknikleri kullanılarak sistem için en uygun yağ değişim aralığının saptanması şeklinde düşünülmelidir. Bu çalışmada makine çalışma saatleri süresince üretici firmanın standartlara uygun olarak önerdiği madeni yağın fiziksel ve kimyasal durumunu belirleyen analizler yapılmıştır. Yağ numune analizleri sonucunda makinenin bir revizyon dönemi sürecini baz alarak aşınma ürünlerinden demir konsantrasyon miktarı ve yağ maliyeti hesaplarına göre optimum yağ değişim süreci belirlenmiştir.

TCG TURGUTREİS fırkateyninde bulunan MTU 20V1163 tipi makinelerde 390 çalışma saati boyunca standart yağ analiz methodları ile incelemeler yapılmıştır. Bu test periyodu boyunca makinede kullanılan yağ SAE 30 viskozite dereceli madeni yağdır. Yağdan alınan numunelere uygulanan testler ve maliyet analizi sonucunda yağdaki demir aşınma elementi konsantrasyonuna göre yağ değişim aralığı 500 ile 1150 saatleri arasında, optimum yağ değişim periyodu ise 775 saat olarak bulunmuştur.

ABSTRACT

DETERMINATION OF OIL DRAIN PERIOD IN MAIN ENGINES (MTU 20V 1163 TB 93) OF FRIGATE ‘TCG TURGUTREİS’

Keywords : Ship Diesel engines, optimum oil drain period, oil analysis, optimization, economic analysis.

Oil ageing of internal combustion engines is related to the effect of oxidation and environmental factors. Beyond that, it is very important to determinate the useful lifetime of the lubrication oil in economic point of view. The determination of oil drain period for an engine must be considered to estimate oil drain intervals for the equipment properly by using oil analysis techniques. In this work, the chemical and physical analysis of used mineral oil which the producer firm propose as appropriate oil spesifications is studied during operating hours. The optimum oil drain period is determined according to the calculations of cost analysis and iron wear element concentration value during engine overhaul period results of oil sample analysis.

The standart oil analysis methods were examined for engines MTU type 20V1163 used in frigate ‘TCG TURGUTREİS’ during 390 operating hours. The used oil during this test period is SAE 30 mineral oil. Oil change interval for iron wear element concentration was found between 500 and 1150 operating hours results of oil samples which were examined and cost analysis. The optimum oil drain period was found as 775 operating hours.

SORUMLULUK NOTU

“Bu çalışmada yazarın ortaya koymuş olduğu ifadelerin hiçbirini T.C. Deniz Kuvvetleri’nin ve Deniz Harp Okulu ile Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü’nün resmi görüşlerini ve politikalarını yansıtmamaktadır.”

TEŞEKKÜR NOTU

Tez çalışmamın her aşamasında ilgi ve desteğini eksik etmeyen, değerli tavsiye ve katkılarıyla tezin bugünlere gelmesini sağlayan, örnek alınacak çalışma prensip ve methodlarıyla kendisinden çok şey öğrendiğim tez danışmanım Prof. Dr. Hakan KALELİ'ye,

Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında iki senelik yüksek lisans öğrenimim boyunca benden ve diğer tüm personelden destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli öğretim üyemiz Prof. Dr. Süleyman ÖZKAYNAK'a,

Tez çalışmasının deneysel kısmının tamamlanmasında yardımlarıyla her zaman destek olmuş olan başta Doç. Dr. Filiz KARAOSMANOĞLU olmak üzere Petrol Ofisi Derince Madeni Yağ Fabrikası laboratuvar mühendisi sayın Sedat AKYÜREK ve tüm laboratuvar çalışanlarına, Exxon Mobil teknik destek mühendisi sayın Süleyman Onur ÇAĞLAYAN'a,

Tez çalışmamda yağ numune alımları ve diğer teknik bilgileri temin etmemde gösterdikleri fedakarca yardımlarından dolayı TCG YAVUZ ve TCG TURGUTREİS fırkateynlerinde görevli tüm makine bölümü personeli ile Gölçük Tersanesi Komutanlığı 240 Müdürlüğü personeline teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

JÜRİ ÜYELERİNİN KABUL VE ONAY SAYFASI	ii
TÜRKÇE ÖZET	iii
İNGİLİZCE ÖZET	iv
SORUMLULUK NOTU	v
TEŞEKKÜR NOTU	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xii
KISALTMALAR VE SEMBOLLER LİSTESİ	xiv
I. GİRİŞ	1
II. MOTOR YAĞLARI VE YAĞLAMA	13
A. YAĞLAMA YAĞI	13
1. Madeni Yağlar	13
2. Sentetik Yağlar	17
3. Yarı Sentetik Yağlar	17
B. YAĞLAMA VE YAĞLAMA YAĞININ GÖREVLERİ	17
C. YAĞLAMA YAĞI KATKI MADDELERİ	21
1. Deterjan-Alkalinite, Dağıtıcı Katkı Maddeleri	21
2. Aşınma Önleyici Katkı Maddeleri	23
3. Oksidasyon Önleyici Katkı Maddeleri	23
4. Aşırı Basınç Katkı Maddeleri	24
5. Viskozite İndeksi Geliştirici Katkı Maddeleri	25
6. Korozyon önleyici katkı maddeleri	25

7. Akma noktası düşürücü katkı maddeleri	25
8. Köpük önleyici katkı maddeleri	25
III. MOTOR YAĞLARININ ESKİMESİ VE YAĞ ANALİZ	
YÖNTEMLERİ	27
A. MOTOR YAĞLARINDA ESKİME	27
1. Oksidasyon	27
2. Dış Etkenlere Bağlı Eskime	29
B. KULLANILMIŞ YAĞ ANALİZLERİ	30
1. Viskozite	30
2. Parlama Noktası	34
3. TBN (Toplam Baz Sayısı) ve TAN(Toplam Asit Sayısı).....	34
4. Yağda Erimeyenler	35
5. Aşınma Ürünleri	36
6. FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) Tekniği	40
IV. GEMİ DİSEL MAKİNELERİNDE YAĞLAMA YAĞI	
SİSTEMLERİ.....	43
A. ÇARPMA İLE YAĞLAMA SİSTEMİ	43
B. CEBRİ YAĞLAMA SİSTEMİ	43
C. YAĞLAYICI İLE YAĞLAMA SİSTEMİ.....	45
D. YAĞ TAVALARI İLE YAĞLAMA SİSTEMİ	46
V. TCG TURGUTREİS GEMİSİ ANA MAKİNE VE YAĞLAMA	
YAĞI SİSTEMİ	47
A. ANA MAKİNE TEKNİK BİLGİLERİ	47
1. Ana Makine Tahrik Bilgileri	47

2. Ana Makine Genel Karakteristik Bilgileri	50
3. Ana Makine Çalışma Basıncı Değerleri	51
4. Ana Makine Çalışma Sıcaklık Değerleri	51
B. ANA MAKİNE YAĞLAMA YAĞI SİSTEMİ	52
1. Yağ Filtreleme Sistemi	52
2. Hareketli Parçalar Yağlama Sistemi	54
3. Piston Soğutma Yağ Sistemi	56
4. Supap Donanımı Yağ Sistemi	58
5. Supap Tablası ve Oturma Yüzeyi Yağlama Sistemi	59
6. Karter Yağ Seviye Düzenleme Sistemi	60
7. Ön Yağlama Sistemi	61
C. ANA MAKİNE YAĞLAMA YAĞI SİSTEM ELEMANLARI...	64
1. Ana Makine Yağlama Yağı Filtreleri	64
2. Ana Makine Yağ Tulumbaları	70
3. Ana Makine Yağlama Yağı Soğutma Sistemi Elemanları ...	74
4. Supaplar	79
VI. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	80
A. TESTTE KULLANILAN MOTOR YAĞI VE TEST SÜRECİ...	80
B. MALİYET ANALİZİ.....	90
VII. SONUÇ.....	100
KAYNAKÇA.....	102

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Madeni ve Sentetik Yağların Ortalama Kullanım Ömürleri	14
Şekil 2.	Parafinik Esaslı Baz Yağların Kimyasal Yapısı	15
Şekil 3.	Naftanik Esaslı Baz Yağların Kimyasal Yapısı	16
Şekil 4.	Dağıtıcı Katkı Maddesi ve İşlevi	22
Şekil 5.	Aşırı Basınç Katkı Maddesi ve İşlevi	24
Şekil 6.	40 °C ve 100 °C Viskozite Ölçüm Cihazı	32
Şekil 7.	ICP Spektroskopi Tekniği Çalışma Şeması	37
Şekil 8.	Demir Metal Oksidasyonu Oluşum Mekanizması	38
Şekil 9.	FT-IR Spektroskopi Tekniği Çalışma Şeması	41
Şekil 10.	FT-IR Spektrometrik Analizi Grafik Gösterimi	42
Şekil 11.	Bir Gemi Diesel makinesinde cebri yağlama sistemi	44
Şekil 12.	Bir Gemi Diesel Makinesinde Yağlayıcı ile Yağlama Sistemi..	45
Şekil 13.	TCG TURGUTREİS Fırkateyni Ana Makine Genel Görünümü	49
Şekil 14.	Ana Makine Yağ Filtreleme Sistemi.....	53
Şekil 15.	Ana Makine Hareketli Parçalar Yağlama Sistemi	55
Şekil 16.	Ana Makine Piston Soğutma Yağ Sistemi	56
Şekil 17.	Piston İçi Yağ Dolaşım Kanalları	57
Şekil 18.	Piston Segmanları	57
Şekil 19.	Ana Makine Supap Donanımı Yağ Sistemi	58
Şekil 20.	Ana Makine Supap Tablası ve Oturma Yüzeyi Yağlama Sistemi	59
Şekil 21.	Ana Makine Yağlama Yağı Karteri	61
Şekil 22.	Ana Makine Ön Yağlama Sistemi	63
Şekil 23.	Hareketli Parçalar ve Supap Mekanizması Kağıt Filtre Elemanı	65
Şekil 24.	Hareketli Parçalar ve Supap Mekanizması Bıçak Tipi Filtre Kısmı	66

Şekil 25.	By-pass Yağ Filtresi	68
Şekil 26.	Ön yağlama Devresi Disk Tipi Filtre	69
Şekil 27.	Makine Yağlama Yağı Tulumbarları	70
Şekil 28.	Supap Tablası Yağlama Yağı Tulumbası	72
Şekil 29.	Yağlama Yağı Soğutucusu	75
Şekil 30.	Yağlama Yağı Termostatı-1	77
Şekil 31.	Yağlama Yağı Termostatı-2	77
Şekil 32.	Yağ Dağıtım Kutusu	78
Şekil 33.	İskele-1 Makine Demir Konsantrasyon Değişimi	88
Şekil 34.	İskele-1 Makine Demir Konsantrasyon Ekstrapolasyonu	89
Şekil 35.	İskele-1 Makine Birim Revizyon ve Birim Yağ Değişim Maliyetleri	93
Şekil 36.	İskele-1 Makine Birim Revizyon ve Birim Yağ Değişim Maliyetlerinin Ayrıntılı Görünümü	93
Şekil 37.	İskele-1 Makine Saat Başına Toplam Maliyet Değişimi	94
Şekil 38.	İskele-1 Makine Saat Başına Toplam Maliyetin En Düşük Olduğu Nokta	94
Şekil 39.	Sancak-1 Makine Toplam Maliyetin En Düşük Olduğu Nokta	95
Şekil 40.	İskele-1 Makine Demir Limit Değer	96
Şekil 41.	İskele-1 Makine TBN Limit Değer	97
Şekil 42.	İskele-1 Makine 40°C Viskozite Limit Değer	97
Şekil 43.	İskele-1 Makine 100°C Viskozite Limit Değer	98
Şekil 44.	İskele-1 Makine Parlama Noktası Limit Değer	98
Şekil 45.	İskele-1 Makine Oksidasyon Limit Değer	99
Şekil 46.	İskele-1 Makine Nitrasyon Limit Değer	99

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1.	Yağ Katkı Maddelerinde Tespit Edilen Bazı Kimyasal Elementler.....	26
Tablo 2.	Ana Makine Tahrik Bilgileri	47
Tablo 3.	Ana Makine Genel Karakteristik Bilgileri	50
Tablo 4.	Ana Makine Çalışma Basıncı Değerleri	51
Tablo 5.	Ana Makine Çalışma Sıcaklık Değerleri	51
Tablo 6.	Ana Makinede Mevcut Yağ Filtreleri	64
Tablo 7.	Hareketli Parçalar ve Supap Mekanizması Kağıt Filtre Elemanı	64
Tablo 8.	Piston Soğutma Yağ Filtresi Bıçak Tipi Filtre Elemanı	67
Tablo 9.	By-pass Yağ Filtresi	67
Tablo 10.	Ön yağlama Devresi Disk Tipi Filtre	69
Tablo 11.	Ana Makine Yağ Tulumbarları	70
Tablo 12.	Makine Yağlama Yağı Tulumbarları	71
Tablo 13.	Supap Tablası Yağlama Yağı Tulumbarı	72
Tablo 14.	Karter Yağ Seviye Düzenleme Tulumbarı	73
Tablo 15.	Ön yağlama Tulumbarı	73
Tablo 16.	Yağlama Yağı Soğutucusu	74
Tablo 17.	Yağlama Yağı Termostatı	76
Tablo 18.	Yağlama Yağı Sisteminde Mevcut Supaplar ve Kullanım Maksudları	79
Tablo 19.	Testte Kullanılan Motor Yağının Başlangıç Değerleri	80
Tablo 20.	İskele-1 ve Sancak-1 Ana Makine Yağ Analiz Sonuçları	82
Tablo 21.	İskele-1 ve Sancak-1 Ana Makine Yağda Element Analiz Sonuçları.....	83
Tablo 22.	İskele-1 ve Sancak-1 Ana Makine FT-IR Spektrometrik Analiz Sonuçları.....	84
Tablo 23.	İskele-2 ve Sancak-2 Ana Makine Yağ Analiz Sonuçları.....	85

Tablo 24.	İskele-2 ve Sancak-2 Ana Makine Yağda Element Analiz Sonuçları	86
Tablo 25.	İskele-2 ve Sancak-2 Ana Makine FT-IR Spektrometrik Analiz Sonuçları	87
Tablo 26.	İskele-1 Makine Lineer ve 2. Dereceden Polinom Fonksiyonları	88
Tablo 27.	Hata Analiz Karşılaştırma	89
Tablo 28.	Sancak-1 Makine 2. Dereceden Polinom Fonksiyonu	90
Tablo 29.	İskele-1 Makine Maliyet Analizi	92
Tablo 30.	Aşınma Elementleri Konsantrasyon Limitleri	96

KISALTMALAR LİSTESİ

API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
EP	Extreme Pressure
ICP	Inductively Coupled Plasma
AES	Atomic Emission Spectrometry
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
PAO	Poli Alfa Olefin
PPM	Particle Per Million
SAE	Society of Automotive Engineers
TAN	Toplam Asit Numarası
TBN	Toplam Baz Numarası
VI	Viskozite İndeksi
ZDDP	Çinko Dialkil Dithiofosfat
TCP	Tri-cresyl fosfat
cSt	Centistoke
MTU	Motoren Und Turbinen Union Friedrichshafen GmbH
MATLAB	Matrix Laboratory (programlama dili)
SSE	Gerçek değerlerle grafiksel analiz değerleri arasındaki istatistik sapma ölçüsü, (Sum of Squares due to Error)
R-SQUARE	Grafik eğiminin veri değişimlerine uyumunun başarı ölçüsünü belirleyen istatistik katsayı
EUR	EURO (para birimi)

I. GİRİŞ

Motor yağlarının işlevi, hareket halindeki yüzeyler arasında ince bir film tabakası oluşturarak mekanik aşınmayı önlemek ve güç kaybını azaltmaktır. Ayrıca yağlama yağlarının makinenin hareketli parçalarının yağlanması dışında sürtünme kayıplarını azaltmak, piston gibi hareketli parçalarda sürtünmeden doğan ısıyı absorbe ederek yüzeylerin soğutulmasını sağlamak, yanma sırasında oluşan asitleri nötrleştirmek ve yüzeylerde tortu birikimini önlemek gibi görevleri de vardır. Makine sisteminde çalışan parça ile sistem arasındaki ara yüzey aynı zamanda sürtünme ve ısı transfer alanıdır. Enerji veriminin artırılması için geniş sıcaklık ölçeğinde sürtünmeyi maksimum seviyede absorbe edecek ve aynı zamanda olabildiğince kullanılan makine sistemi için uygun viskoziteli yağ filminin oluşturulması büyük önem arz etmektedir.

İçten yanmalı motorlarda sürtünme sonucu ortaya çıkan aşınma, motor kullanım ömrünü belirlemede önemli bir rol oynar. Yanma sürecinde yağlama yağı, silindir ve pistonun aşınmasını önleyerek sistem için koruyucu bir tabaka oluşturur. Ancak belli bir kullanım periyodu sonrası yağın oksidasyon neticesinde fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğraması, ayrıca toz, kir, yakıt, su, metalik parça gibi metal partiküllerin yağlama yağına karışmasıyla oluşan dış etkenler motor yağlarının eskiyerek koruyucu etkilerini yitirmelerine sebep olur. Kullanım şartları, yakıt ve hava gibi dış etkenler de göz önünde bulundurularak makine üretici firmaları oldukça toleranslı yağ değişim periyodu önermektedirler. Ancak makine sisteminde uygulanacak çok sık yağ değişim periyodu maliyeti arttırdığı gibi yağ değişim periyodunun aşırı arttırılması da aşınmayla birlikte makine ömrünü olumsuz etkilemektedir.

Motor yağlarının eskime sürecinde en önemli etken oksidasyondur. Tam yanmayan yakıttan kaynaklanan karbon partiküllerinin yağ içinde oluşturdukları asidik yapıdaki polisiklik aromatik hidrokarbon formu, motor yağını oluşturan baz yağ ve katıkların içeriğinde bulunan farklı yapıdaki moleküllerin zamanla

ortamdaki oksijenle reaksiyona girerek 150-200°C gibi sıcaklıklarda sıvı fazında oluşturdıkları hidroperoksit ve peroksit formlar ile alkol, keton gibi diğer asidik bileşenler, yağa suyun karışmasıyla birlikte antifreeze katkı maddelerinden kaynaklanan formikasit, glikolik asit gibi ürünlerin ortaya çıkması yağ içinde oksidasyona sebep olmaktadır. Daha sonraki süreçte bu organik bileşenler daha fazla oksidasyonla kendi aralarında reaksiyona girerek yüksek moleküler ağırlıktaki lak ve çamur gibi polimer oluşumlara sebep olurlar. Bunun yanında makine blok ve sistem elemanlarının imalinde kullanılan çelik ve çelik alaşımlı metal yüzeylerin aşınması, yağ içinde demiroksit formu oluşturur. Yağ içindeki tüm bu asidik yapılar oksidasyon sürecini hızlandırdığı gibi yağ kullanım periyodunu da önemli derecede etkilemektedir. Ortam sıcaklığının artmasıyla oksidasyon süreci ve buna bağlı olarak yağ eskimesi de hızlanmaktadır.

Ayrıca yağ eskime sürecindeki bir diğer önemli unsur da yağlama yağının dış etkenler vasıtasıyla kirlenmesidir. Aşınma ve korozyon sonucu makine sistem elemanlarından koparak yağa karışan küçük metal parçacıklarla motor filtrelerinin yetersiz kalması neticesinde dışardan giren toz, kir, kum zerrecikleri yağın işlevini bozmaktadırlar. Bunlar küçük boyutları sebebiyle motor yağı içerisinde yağlanan yüzeylerde istenmeyen partiküler birikime sebep olmaktadır. Yağ içinde mevcut bu tip bir kirlilik, oksidasyon sürecini, aşınmayı ve yağ eskimesini etkileyen bir başka olumsuz durumdur.

Yağlama yağı analizi, makine sistemine ait kısımların şimdiki ve gelecekteki durumları hakkında fikir sahibi olmamızı sağlar. Ayrıca, yağın içindeki çeşitli madde oranlarının değişimini incelemek, makinenin ömrünün tespiti, optimum çalışmasının devamının sağlanması, doğabilecek arızalar için maliyetin düşürülmesi ve böylece zamandan tasarruf edilmesi açısından gereklidir. Bu çalışmada SAE 30 (Turboşarj Extra) viskozite dereceli Diesel motor yağı test edilmiştir. Gemide bulunan 4 adet ana makineden ayrı ayrı 40 çalışma saati aralıklarıyla 390 çalışma saati periyodunda alınan yağ numunelerine viskozite 40-100°C, viskozite indeksi, toplam baz sayısı, parlama noktası, yağda

erimeyenler, ICP atomik emisyon spektrometrik element analizleri ile FT-IR spektrometrik analizleri (oksidasyon, nitrasyon, sülfat) uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapılan hesaplamalarla gemi ana makinelerinin optimum yağ değişim aralığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Makine sistemlerinde optimum yağ değişim periyodunun belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır. Bu nokta yağ değişim maliyetleri ile makinenin bakım/onarım masraflarının birleşmesinden oluşan toplam maliyetin en düşük olduğu noktadır. Bahse konu optimum yağ değişim aralığının üzerinde artan aşınma nedeniyle makine bakım masrafları artmakta, optimum yağ değişim aralığının altında ise gereksiz yağ değişiminden dolayı yağ değişim maliyetleri yükselmektedir.

Konu ile ilgili literatürde bir çok araştırma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

F.Yılmaz (2004), çalışmasında Nissan marka benzinli motorda yağlama yağının eskime süreci ve yağ değişim periyodunu incelemiştir. Bu çalışmada 2 litre hacimli, V6 silindirli, benzinli motorlu bir araçta SAE 10W40 viskozite dereceli API-SJ/CF sınıfı yarı sentetik bir motor yağı test edilmiştir. 22000 km süren test sırasında araçtan 2500-3500 km aralıklarla alınan yağ numunelerine viskozite 40-100°C, viskozite indeksi, toplam asit sayısı, toplam baz sayısı, parlama noktası ve yağda erimeyenler testleri ile ICP atomik emisyon spektrometrik element analizi uygulanmıştır. Test aracı için üretici firma tarafından tavsiye edilen ve kullanıcılar tarafından rutin olarak uygulanan yağ değişim periyodu 10000 km'dir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapılan hesaplamalarla aracın optimum yağ değişim aralığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma neticesinde yapılan analizler doğrultusunda gerçekleştirilen hesaplamalar ve elde edilen sonuçlar, aşınma element konsantrasyonlarının ve yağ analizi sonuçlarının 16000 km 'lik yağ değişim periyoduyla uyumlu olduğunu göstermiştir. Bu motor alışlageldiği şekilde 10000 km yerine 16000 km 'de yağ

değişimine tabi tutulduğunda toplam yağ değişim maliyetinde 3180\$ ve toplam yağ maliyetinde 2120\$ tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır. Fazladan yapılan yağ değişim masraflarının Türkiye çapındaki tüm otomobiller için toplam maliyetinin 14,414,304,000\$ olduğu belirlenmiştir. Ayrıca fazladan değiştirilen yağın toplam maliyeti ise 9,609,069,600\$ olarak hesaplanmıştır [1].

H.Kaleli, B.Khorramian (1998), benzinli motorda yağlama yağı analizi ve kullanım periyodu üzerine yaptıkları çalışmada demir metal partikülündeki değişimlerin yağ eskimesiyle birlikte optimum yağ kullanım aralığının belirlenmesindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada Tofaş-Fiat marka bir motor dinamometresinde SAE 15W50 viskozite ölçekli sentetik yağ kullanılmıştır. Bu motorda kullanılan SAE 15W50 viskozite ölçekli sentetik yağ için uygulanan yağ değişim aralığı 4000 km'dir. Yağlama yağı numuneleri her 2000 km'de bir alınarak 21500 km'ye kadar çalışma yürütülmüş ve toplam baz sayısı, toplam asit sayısı, parlama noktası, su, 40°C-100°C viskozite değerleri ile metal partikül oranları tespit edilerek analizleri yapılmıştır. Motor 3500 rpm'de 35 hp güç çıkışında toplam 195.5 saat süreyle çalıştırılmıştır. Çalışma neticesinde test motoru için optimum yağ değişim aralığı demir partikül oranında tespit edilen artışa bağlı olarak 11000 km şeklinde hesaplanmıştır. Ayrıca yağ kullanım periyodunun azalmasıyla birlikte kilometre başına toplam maliyetin arttığı revizyon maliyetinin ise azaldığı, diğer taraftan yağ kullanım periyodunun artmasına paralel olarak kilometre başına yağ maliyetinin azaldığı ve revizyon maliyetinin arttığı tespit edilmiştir [19].

S.Kumar, N.M.Mishra, P.S.Mukherjee (Hindistan, 2005), çalışmalarında dizel makine çalışma saatleri arttıkça yağlama yağındaki viskozite değerlerini (40°C sıcaklıkta), FT-IR (Fourier Transform Infrared) spektrometrik analiz sonuçlarına dayanarak yağlama yağındaki değişimleri incelemişler ve yağlama yağının değişim zamanını tespit etmişlerdir. Çalışma için rutin yağ değişim periyodu 250 saat olan Hindistan yapımı Kirloskar Cummins marka 250 kVA gücünde ve aynı çalışma şartlarında iki adet dizel jeneratör seçilmiştir. Kullanılan

yağ SAE 20W40 viskozite ölçekli motor yağıdır. Yapılan test çalışması jeneratörlere yeni yağ konulmasından sonra başlanarak 350'nci çalışma saatine kadar devam etmiştir. Viskozitede çalışma saati arttıkça azalma görülmüştür. 300 saatten fazla kullanılan bir yağ için FT-IR analiz sonuçlarına göre çıkarılan eğri grafiklerdeki değerlerin sınır limit değerler içinde kaldığı tespit edilmiştir. Yağlama yağı katkı maddelerinden özellikle korozyon önleyici, viskozite arttırıcı ve aşınma önleyici katkı maddelerinin yağ içinde tükenme sürecinin çalışma saatiyle orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Çalışma neticesinde yağlama yağı değişim periyodunun 319 saat olması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Çalışma öncesi rutin olarak her 250 saatte bir yağlama yağının değiştirildiği düşünülecek olursa yağın kullanım periyodunda %28 oranında artış kaydedilmiştir [20].

J.Bijwe, A.Garg ve O.Gandhi (Hindistan, 2000), ticari taşıtlarda motor yağ değişim periyodunun yeniden değerlendirilmesine yönelik yaptıkları çalışmada Diesel motorlu iki ticari taşıt için SAE 10W30 motor yağının değişim periyodunu incelemişlerdir. Deneysel çalışmada kullanılan araçlardan ilkinde Mazda marka Diesel motor mevcut olup ikinci araçta Toyota marka Diesel motor mevcuttur. Mevcut yağ için önerilen yağ değişim periyodu 10000 km olan araçlardan 80 km'lik periyodlarla numune alınmıştır. Motor yağının durumunu değerlendirmek için kinematik viskozite, pentanda erimeyenler, su miktarı, parlama noktası, toplam asit sayısı, atomik emisyon spektroskopisi testleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda her iki araçta viskozite artışının başlangıçta yavaş, 10000 km ile 12000 km arasında hızlı, 12000 km'den sonra çok dik olduğu ve 12000 km'de alınan numunede viskozite artışının da limitler dahilinde olduğu görülmektedir. Fakat 12000 km'den sonra viskozite orijinal değerinden %25 ile %50 kadar artmaktadır. Su miktarının 8000 km'ye kadar biraz artış gösterdiği daha sonra sabit kaldığı görülmüştür. Pentanda erimeyenler 12000 km'den sonra ani bir şekilde artmaktadır. Parlama noktasındaki azalma her periyodda lineer olup 12000 km'den sonra hızlı bir azalma göstermektedir. Toplam asit sayısı (TAN) ise 13000 km'ye kadar limitler dahilindedir. TAN değerinin beklenen artıştan daha az olması yani 13000 km'ye kadar makul görülmesinin olası sebebi

olarak metal yüzeylerden ayrılan korozyon ürünlerinin asidik oluşumları nötralize etmesi veya uçucu asitlerin motor ısısından dolayı damıtılması olabileceği belirtilmektedir. Demir metal değerleri, ilk araç için (Mazda) 11000 km, ikinci araç için (Toyota) 12000 km'lerin ötesinde önemli ölçüde yükselmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada, her iki araç için önerilen 10000 km'lik yağ değişim periyodunun Mazda marka Diesel motora sahip araçta 12000 km, Toyota marka Diesel motora sahip araçta ise 11500 km olabileceği tespit edilmiştir [31].

W.Wang, W. Zhang (2004), yağlama yağı analizine dayanarak uçak motorlarının kullanım ömürlerini tahmin etmek için bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada 30 uçak motoruna ait yağlama yağı analiz sonuçlarından elde edilen metal konsantrasyon bilgileri kullanılmış ve yaklaşık 300 saatlik çalışmadan sonra veriler toplanmaya başlanmıştır. Tüm motorlar içindeki yağ örneklerinde Fe, Cu, Al gibi 18 metal element gözlemlenmiştir. 18 değişken ilişkisini incelemek yerine, orjinal değişken kümelerini, baş bileşenler olarak adlandırılan yeni ilişkisiz değişkenler kümesine dönüştüren baş bileşen analizi (PCA) kullanılmaktadır. Bu yeni değişkenler, orjinal değişkenlerin lineer kombinasyonlarıdır ve azalan önem sırasına göre türetilmişlerdir. Bu çalışmada analitik denklem ve hesaplamalara dayanan orantılı risk modeli yapılmış olup verilerin modele uygulanmasında 30 uçak motorunun ömür verilerine dayanan maksimum olasılık metodu geliştirilmiştir. Bu modelin arkasındaki temel kavram, kalan ömrün yağ analiz programlarıyla ölçülen gerçek aşınma ile orantılı olduğunu varsayan orantılı kalan ömür kavramıdır. Ayrıca çalışma sonucunda kalan ömür ve yağ analiz programından elde edilen bilgi arasındaki ilişkinin modellemeye uygun olduğu belirtilmektedir [33].

Ö.Karacan, M.V.Kök, U.Karaaslan (1998), çalışmalarında içten yanmalı makinede yağlama yağının termal stabilitesine bağlı olarak kullanım periyodunun belirlenmesini incelemişlerdir. Gerçek yol ve yükleme koşullarında SAE 20W50 viskozite ölçekli motor yağının kullanıldığı, 1300 cm³ silindir hacimli araba motorundan alınan yağ numuneleri çalışmada esas alınmıştır. Alınan yağ

numunelerinin DuPont 951 TG/DTG ve 910 DSC test ve analiz teknikleriyle ölçümleri yapılmıştır. Bahse konu analiz yöntemlerinde yağ numunelerinin diferansiyel ısı akısı ve kütle kaybı ölçmektedirler. Başlangıçta hiç kullanılmamış yağ numunesi bu testlere tabii tutulmuş, daha sonra 1800, 2300 ve 3600 km periyodlarında alınan yağ numunelerinin de testleri yapılarak performans analizleri yapılmıştır. Çalışma neticesinde sıcaklık ve kütle kaybı grafikleri çıkarılarak düşük sıcaklıklarda kullanılmış yağların kütle kayıplarının fazla olduğu kullanılmamış yağın ise ısı etkisine karşı daha kararlı olduğu ve kütle kaybına uğramadığı tespit edilmiştir. Bu durumun kullanılmış yağ içindeki düşük buharlaşma noktasına sahip daha hafif bileşen oluşumundan kaynaklanabileceği belirtilmektedir. Kullanılan yağlarda kullanım periyodu arttıkça moleküler oluşum tepe noktasına yükselmektedir. Bu durum yağın kullanım periyodu arttıkça polimerizasyon ve yoğunlaşma reaksiyonlarının artması ve aromatik yapıların oluşması yani yağın kimyasal zincir yapısının değişmeye başlaması şeklinde açıklanmaktadır [16].

M.Sutton, C.Stow (2004), çalışmalarında Diesel yakıtta mevcut kükürt miktarının yağlama yağı değişim periyoduna etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışmada Türkiye’de kullanılan Ford Transit aracında mevcut 2.4 DI Diesel motor kullanılmıştır. Araç 16000 km yağ değişim aralıklarında çalıştırılmış ve her bir değişim sonrası boşaltılan yağ yerine farklı bir yağ kullanılmıştır. Yağ numuneleri başlangıçta her 1000 km, daha sonraları her 2000 km çalışma aralıklarında alınmıştır. Yakıt olarak 5000 ppm kükürt oranına sahip Diesel yakıt kullanılmıştır. Yağlama yağı olarak da dört farklı markanın SAE 10W30 viskozite ölçekli yağları kullanılmıştır. Test teknikleri olarak yağlama yağının TBN ve TAN ölçümleri ile motor dinamometre testleri yapılmıştır. Motor dinamometre testlerinde 100 saatlik yağlama yağı değişim, 20 saatlik yağ numunesi alma periyodları uygulanmış ve motor devamlı maksimum güçte çalıştırılmıştır. Sonuç olarak yağ içindeki güçlü asidik oluşumların artışına paralel olarak TAN değerinde önemli artış kaydedilmiştir. Grafiklerde TAN ve TBN değerlerinin kesiştiği noktanın yüksek kükürt oranına sahip dizel yakıt kullanımında yağlama

yağı değişim periyodunun tespiti için önemli bir veri oluşturduğu belirtilmektedir. Ayrıca başlangıçta aynı TBN seviyesine sahip (12 mgKOH/g) farklı marka yağların TAN değerlerinde kesişme ve buna bağlı olarak kullanım periyodlarında da değişme görölmüştür [34].

V.Macian, B.Tormos, P.Olmeda, L.Montoro (2003), yağ analizlerine dayanarak içten yanmalı motor durumunun izlenmesi için motor yağı örneklerinden aşınmanın daha kesin saptanmasını mümkün kılabilecek analitik yöntem geliştirmektedirler. Yöntem, ölçüm tekniklerinin sınırlaması, aşınma ölçümlerinde işletme şartları ve özel motor karakteristikleri olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Bu geliştirdikleri analitik yöntemin küçük uygulamasını ticari SAE 15W40 motor yağının kullanıldığı, farklı üretici firmalardan seçilen 15 ticari araca ait üç farklı motor tipinden çeşitli periyotlarda alınan yağ numunelerinin spektrometrik analiz sonuçlarıyla yapmışlardır. Analiz sonuçlarından elde edilen demir partikül değerleri analitik yöntemde çıkarılan denklemlerde bozucu ilk konsantrasyon olarak tanımlanmaktadır. Yağ tüketim oranı ve değişikliği, yağ ilk kütlesi, yağ ilavesi, aşınma oranı gibi parametreler dikkate alınarak kirletici konsantrasyon değerleri ppm ölçüsünde çıkarılmıştır. Aynı zamanda yağ tüketiminin ve katkılarının spektrometrik ölçümlere dayanılarak elde edilmiş kirletici konsantrasyonuna etkisi gösterilmiştir [35].

A.Plomer, R.Benda (2000), değişik viskozite dereceli yağların modern Euro II dizel makinelerde düşük sıcaklıklarda kullanılmaları durumunda yağ kompozisyonunun performansa etkilerini incelemişlerdir. Yağ analizlerinde aşınma ve kaplama oranları baz alınmıştır. Çalışmanın başlangıcında günümüzde kullanılan ağır ve yüksek devirli dizel makinelerde aşınmaların %60-80'inin makinenin düşük sıcaklıklarda çalıştırılma başlangıcında olduğu ve 400 defa yüksek sıcaklıklarda çalıştırılma başlangıcında oluşan aşınma ve kaplama oranının bir defa soğuk çalıştırılma başlangıcıyla oluşan miktarla eşit olduğu belirtilerek yapılacak araştırmanın önemi vurgulanmıştır. Test için kullanılan makine 6 silindir ve 24 supaplı Volvo D12A marka Euro II dizel makinedir. Çalışma

süresince makine ön ısıtma olmadan 40 dakika boyunca -21 ve -26°C sıcaklıklarda çalıştırılmış, 10 dakika bekletilip 40 dakikada ısınmış olan makine çalıştırılarak çalışma periyodu programlanmıştır. Bahse konu çalışma periyodu beş defa tekrar edilerek her birinden ayrı ayrı numuneler alınmıştır. Kullanılan ve incelenen yağlar SAE 10W30, 10W40, 15W40, 5W40 viskozite dereceli madeni, yarı sentetik ve tam sentetik yağlardır. Çalışma sonucunda kullanılan yağın kompozisyonu ve viskozitesiyle silindir gömleğinde aşınma ve kaplama oranlarının birbiriyle ilişkili oldukları görülmüştür. SAE 5W40 viskozite dereceli yağın; düşük akma noktası, yüksek viskozite indeksi ve düşük uçuculuk özelliklerine sahip PAO (polialfaolefin) yapılı tam sentetik yağ olmasından dolayı pompalanabilme ve düşük kaplama oranı açısından diğer yağlara oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [36].

L.Zirker, J.Francfort, J.Fielding tarafından hazırlanan (2005), Amerika Birleşik Devletleri enerji bakanlığı taşıt teknolojileri geliştirme programı çerçevesinde yapılan yağlama yağı by-pass filtre tadilatı çalışması ve yağ değişim periyodunun belirlenmesine ilişkin onuncu dönem (Ocak-Mart 2005) raporunu Mayıs 2005 tarihinde yayınlamışlardır. Bu çalışmada Idaho ulusal laboratuvarına ait 11 adet normal olarak rutin planlı yağ değişim periyodu 12000 mil olan Caterpillar ve Detroit marka dizel motorlu otobüs kullanılmıştır. Ocak-Mart 2005 döneminde bahse konu 11 otobüs 97943 mil, çalışmanın başladığı tarihten itibaren ise toplam 744059 mil yol katetmiştir. Her 12000 milde otobüsler bakıma alınarak filtreleri değiştirilmiş ve yağ analizi yapılmıştır. Rapor döneminde ise 2 otobüsün yağı ve yağ filtreleri değiştirilmiştir. İki otobüsün yağlama yağının değiştirilme sebepleri; birinin TBN değerindeki düşüş (36000 mil çalışması hitamında sınır değer 3 kgm/OH iken 2.6 kgm/OH değerine düşmüştür), diğer caterpillar marka motora sahip otobüsteki arıza durumudur. Başka 2 otobüs de dizel makine aşınma ve kaplama ölçüm programına alınmıştır. Bu programda iki otobüsün iki sene süreyle çalıştırıldığı göz önüne alınarak ayrıntılı analitik ferrografi tekniği ile by-pass filtrelerden ve karterden alınan numunelerin analizi yapılmış olup aşınma sonu demir metal partikül oranının 10 µm'nin altında, laminer ve kayma

sürtünmesi sonu partiküllerin 50 mikronun altında olduğu ve ayrıca az miktarda toz, kum ve fiber tespit edilmiştir. Çalışmaların başladığı 29 ay öncesinden itibaren normalde filtre değiştirilmeden önce rutin yapılacak olan 53 yağ değişimi, yağlama yağı by-pass filtre tadilatı sayesinde yapılmamıştır. Bir başka deyişle 464 galon yağ tasarrufu sağlanmıştır. Böylece yağ değişimleri için önceleri stok edilen yağın %85'i kullanılmamıştır [37].

J.Smith (1993), çalışmasında düzenli bir yağ analiz programını takip ederek aynı zamanda sistemdeki titreşim değişimlerini de dikkate alarak onarım ve bakım maliyetlerinin ne derecede azaltılabileceğini incelemiştir. İlk olarak bu çalışmayı etilen üretim platformu soğutucu su türbini ve şanzuman kısmında yapmıştır. Yağ analiz programında analitik ferrografi tekniği kullanılmıştır. İlk analiz program sonucunda özellikle alüminyum kavrama ünitesinden alınan yağ numunesinde demir oranının 1.12 ppm'den 7.87 ppm'e yükseldiği görülmüş ve aynı numune saatinde titreşimde de yükselme kaydedilmiştir. Sistem durdurularak yapılan incelemede problemin dişli yüzeylerindeki aşınmadan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Sadece dişli takımın onarımıyla problem giderilmiştir. Böylece yağ analiz programı sayesinde olası bir büyük arızanın maliyet tasarrufunun yaklaşık olarak 15000-20000 dolar arasında olduğu belirtilmiştir. Bu defa aynı çalışmayı reaktörün şanzuman kısmında yapmış ve 19.9 ppm değerlerinde seyreden demir oranının 54.3 ppm değerine yükseldiğini tespit etmiştir. Yapılan incelemede yağ nozulunun tıkanığı görülmüştür. Yağ nozulu sökölüp temizlenerek yerine takılarak ileride karşılaşılabilecek olası arızaların önüne geçilmiştir. Bu şekilde erken alınan önlem sayesinde onarım tasarruf maliyetinin 20000-25000 dolar arasında olduğu belirtilmektedir. Üçüncü çalışmasında kompresör karter ve krank mili dişlilerini incelemiştir. Bu çalışmasında ferrografik analiz tekniği ile yağ içindeki partikülleri 35 mikron seviyesinde incelemiştir. Alınan numunelerde özellikle bakır seviyesinin 4 ppm seviyesinden 53 ppm seviyesine yükseldiği tespit edilmiştir. Kartar ve krank miline sirayet etmeden yapılan erken teşhisin firmaya onarım tasarruf maliyeti 100000 dolar seviyesindedir [38].

B.Winberg (2005), sekiz ay süren çalışmasında caterpillar IT18 marka ağır yük taşıyıcı, yüksek tonajlı kamyonunda sisteme entegre edilen pompa ve ikinci bir filtreyle karter dışında ayrı bir kapalı filtreleme çevrimi oluşturarak (off-line filtration system) yağ değiştirme aralığını incelemiştir. Çalışma öncesi seçilen kamyonunda aşırı kurum birikimi (150'nci saatte %1.6 seviyelerinde) ve TBN değerindeki düşüşler nedeniyle yağ değiştirme aralığının 100 ile 150 saat olduğu belirtilmektedir. Filtreleme sisteminin entegre edilmesi sonrası ilk numune 100'ncü saatte alınmış ve 150 saatte bir alınan numunelerle takip edilen programda kurum seviyesinin 250'nci saatte %0.3, 400'ncü saatte %0.4 olduğu, TBN değerinin ortalamanın üstünde olduğu, filtrelerin 200 saatte bir değiştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Sekiz aylık çalışma sonucunda yağ değiştirme aralığının yeni entegre edilen filtreleme sistemi sayesinde 1000 saate çıktığı belirtilmektedir. Ayrıca çalışmanın ilerleyen periyodunda başka bir kamyonundan alınan numunelerde 100'ncü saatte yüksek potasyum ve glikol seviyeleri tespit edilerek motor üzerinde yapılan inceleme neticesinde silindir kafası contasında problem olduğu görülmüştür. 400 dolar maliyetle arıza giderilmiştir. Yağ analiz programı çerçevesinde beklenmeyen bir laboratuvar analiz sonucu sayesinde motorda daha yüksek maliyetli olası büyük bir arızanın önüne geçilmiştir [32].

J.Kilian, M.Rutherford, Dr.M.Afify, Dr.W.Leach (North Carolina State University, 2002), North Carolina eyaleti enerji ofisi için coca-cola şişeleme şirketine bağlı 12 araçta, Mayıs 2001-Kasım 2001 tarihleri arasında çalışma yapmışlardır. Çalışmalarındaki amaç, uzun yağ kullanım periyodunda yağ içindeki makine aşınma elementlerinin ölçülmesi ve elde edilen yağ analiz dataları baz alınarak bu durumun yağ değişim periyoduna etkilerinin belirlenmesidir. 4 araçta Caterpillar 3116 marka dizel motor diğer 8 araçta ise DT-466 (Detroit) marka dizel motor mevcuttur. Araçlarda SAE 15W40 viskozite ölçekli madeni yağ kullanılmıştır. Araçların bağlı olduğu şirketin genel uygulamasında yağ kullanımı periyodu 90 gündür. Bu çalışmada uzatılmış yağ değiştirme aralıklarında numune analizlerinden elde edilen dataları belirlemek için yağlama

yağı araçlarda 180 gün boyunca analiz edilmiş ve bu süre sonunda yağ değiştirilmiştir. Bu periyod boyunca araçlar 3000-9245 mil arası kullanılmıştır. Test sonucunda alınan yağ numunelerin tümünde aşınma elementlerinin makul limitler içinde olduğu görülmüştür. Analizlerin yaptırıldığı analiz laboratuvarı yağın kullanılabilir durumda olduğunu belirtmiştir. Aşınma element oranlarının aracın yaşıyla, motor devir yüklemesiyle, yol koşullarıyla, yağ filtre tipiyle katedilen yol mesafesiyle ve kullanılan yağın tipiyle yakından ilişkili olduğu açıklanmaktadır. 9245 milin sonunda bakır element oranının 28 ppm'e yükseldiği ve 30 ppm olan sınır değerine yaklaştığı, 145 ppm sınır değeri olan demir elementi oranının 47 ppm olduğu, diğer element oranlarında da çalışmanın son aylarına kadar önemli artışın olmadığı ve sınır değerlerine yaklaşmadıkları tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda o anki çalışma koşullarında yağlama yağı değiştirme periyodunun en az 180 gün veya 9245 mil olabileceği açıklanmaktadır [39].

II. MOTOR YAĞLARI VE KATKI MADDELERİ

A. YAĞLAMA YAĞI

Genel olarak yağlama yağı, iki katı cisim arasında sürtünmeyi en aza indirerek kolay hareket sağlamak için kullanılan maddedir. Yağlar, yağlama işini yüzeyleri kayganlaştırarak, yüzeylere asılı kalarak ve sürtünen yüzeyler arasında film teşkil ederek yaparlar.

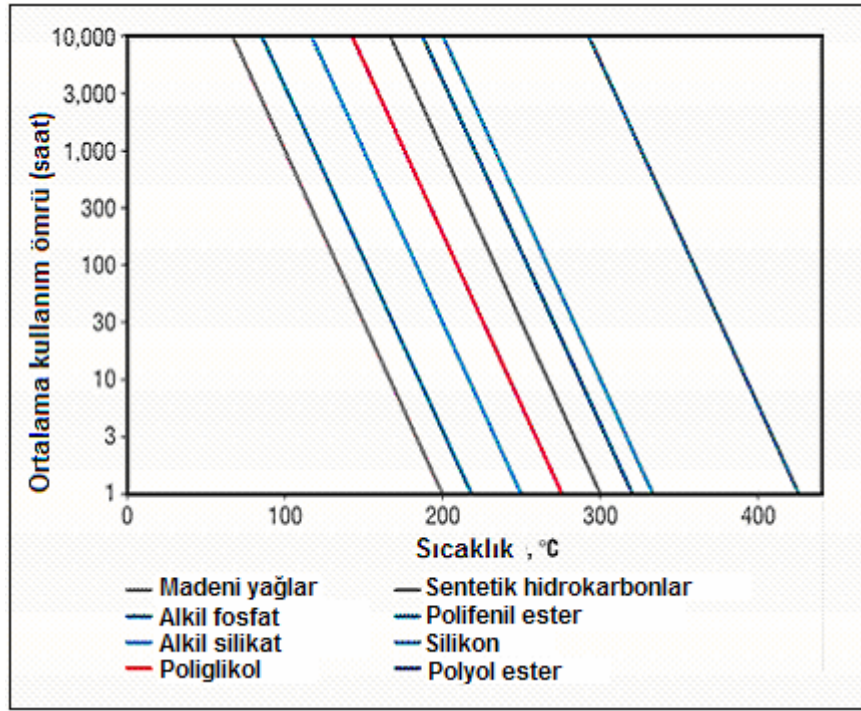
Yağlar elde edilişlerine göre başlıca 3 grupta toplanırlar:

1. Madeni Yağlar

Ham petrolün damıtılması sonucu elde edilen dip ürün, madeni yağ elde edebilecek şekilde tekrar rafineri işlemine tabi tutulur. Petrolün damıtılmasından sonra deterjan, viskozite geliştirici ve aşınma önleyici gibi birtakım katkı maddeleri eklenmek suretiyle üretilirler. Baz yağların motor yağındaki oranı %85 civarında olup geriye kalan kısmı eklenen katkı maddeleridir [1]. Fiyatları genelde ucuzdur ve ortalama bir performans sunarlar. Kimyasal yapıları bakımından 3 gruba ayrılırlar. Bunlar; Alifatik, Aromatik, Karışık (alifatik ve aromatik) hidrokarbon yapılı madeni yağlardır.

Madeni yağlar, oksidasyona uğradıkları zaman veya çözülmemiş haldeki atmosferik oksijenle kimyasal olarak reaksiyona girdikleri zaman evsafını kaybetmeye başlarlar. Bu durum yağlanan metal yüzeyin ömrünü kısaltan yüzey depositlerinin oluşumunu kuvvetlendirir. İlk oksidasyon süreci boyunca meydana gelen peroksit oluşumunu azaltmak için oksidasyon önleyici katkı maddeleri kullanılır [2].

Şekil 1’de yükselen sıcaklıklarda sentetik yapılı yağlama yağlarının madeni yapıllara oranla daha uzun dayanıma sahip olduklarını görülmektedir [2].



Şekil 1. Madeni ve Sentetik Yağların Ortalama Kullanım Ömürleri [2]

a. Alifatik yapıda olan madeni yağlar

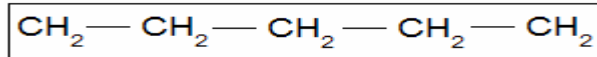
Alifatik yapıda olan madeni yağlar, uzun karbon ve hidrojen zincirleri veya halkalarından oluşurlar. Alifatik hidrokarbonlar, alkan, alken, alkin ve onların alicyclic analoglarını kapsarlar. Alkan grubu, en önemli alifatik hidrokarbon serisidir. Alkan grubu alken ve alkinlere nazaran hidrojen ile reaksiyona girmede daha zayıf yapıdadırlar [3]. Bu serinin ilk üyesi kolay tutuşabilen gaz olan CH_4 (metan)'dür. Bu sebeple seri çoğu zaman metan serisi olarak da anılır. Serinin her bir üyesi kendisinden öncekine göre moleküler yapısında bir karbon ve iki hidrojen atomu daha fazla bulundurmaktadır. Alkanların genel formülasyonu $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ şeklindedir. Bu serinin ilk dört üyesi, CH_4 (metan), C_2H_6 (etan), C_3H_8 (propan) ve C_4H_{10} (butan) olup kaynama sıcaklıkları sırasıyla metan için -161.6°C , etan için -88.6°C , propan için -42°C , butan için -0.5°C 'dir. Bu gazlar düşük moleküler ağırlıktaki hafif gazlardır. Örneğin; metan ve etan doğal gazın %95'ini oluştururlar. Orta moleküler ağırlıkta olanlar pentan, hexane, heptan, oktan olup sıvı formundadırlar. Bu grubun ilk üyesi C_5H_{12} (pentan)'dır.

Pentan, en basit yapıya sahip sıvı hidrokarbondur. Karbon zincir uzunluğu arttıkça moleküler ağırlık ve viskozitenin yanında erime ve kaynama noktaları da artar. Parafin, orta ve yüksek moleküler ağırlıktaki alkanların bir karışımıdır. **Kullanılan madeni yağların kimyasal yapısı alkanlar ve cyclic parafinlerden oluşmaktadır.** Alkanların dışında yer alan diğer alifatik hidrokarbon grubu üyelerinden alkenlerin genel formülasyonu C_nH_{2n} , alkinlerin genel formülasyonu ise C_nH_{2n-2} şeklindedir.

Hidrokarbon bileşenlerde mevcut karbon moleküler yapısı C_{5-7} skalası içinde olanlar hafif, kolay buharlaşabilen yapıdadırlar ve solventler, kuru temizlik sıvıları ile diğer çabuk kuruma özelliğine sahip ürünler olarak kullanılırlar. C_6H_{14} ile $C_{12}H_{26}$ arası zincir yapı yakıtlar için söz konusudur. $C_{10}-C_{15}$ arası zincir yapı kerosen bileşenlerin ve $C_{10}-C_{20}$ arası Diesel yakıtlar gibi daha ağır yakıtların yapısını oluşturmaktadır. **Yağlama yağları ve gresler $C_{16}-C_{25}$ arası zincir yapıya sahiptirler.** C_{25} 'in üstü ise parafinler ve asfalt oluşumu gibi katı hidrokarbon formlarında geçerlidir [3].

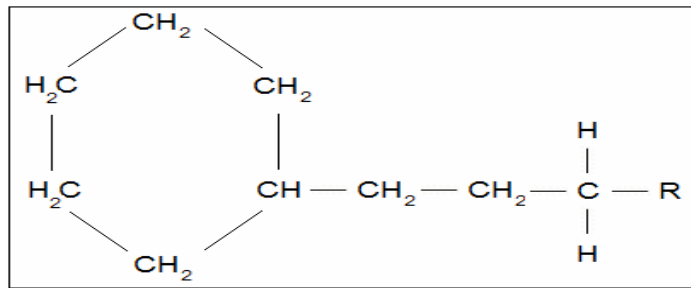
Alifatik yapıda olan madeni yağlar, yapılarına istinaden parafinik ve naftanik olmak üzere iki grupta incelenirler.

(1) Parafinik yağlar: Yüksek akma noktası, yüksek alevlenme noktası, yüksek API derecesi ve viskozite indeks geliştirme özelliklerine sahip olan parafinik esaslı baz yağlar oksidasyon stabilitesinin önemli olduğu makine yağlarının üretiminde ana hammadde olarak kullanılmaktadırlar [4]. Şekil 2'de parafinik esaslı baz yağların kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 2. Parafinik Esaslı Baz Yağların Kimyasal Yapısı [4]

(2) Naftanik yağlar: Naftanik yapıda olanlarda ise CH grubları bir zincir yerine bir halka teşkil ederler. Parafinik ve aromatikler arası ortalama özelliklere sahip olup çok düşük akma noktası, düşük alevlenme noktası, düşük API derecesi ve parafinik esaslı baz yağlardan daha düşük viskozite indeksi geliştirme özelliklerine sahiptirler. Çok düşük sıcaklık koşullarında kullanılacak bazı özel yağların üretimlerinde kullanılırlar [4]. Şekil 3’de naftanik esaslı baz yağların kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 3. Naftanik Esaslı Baz Yağların Kimyasal Yapısı [4]

b. Aromatik yapıda olan madeni yağlar

Aromatik hidrokarbonlar, yapılarındaki değişken tek ve çift bağa sahip benzen halkalarının durumuna göre karakterize edilirler. Aromatik terimi bu grup bileşiklerin hoş kokulu olmaları nedeniyle kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde bu gruptaki hidrokarbonlar benzen (C_6H_6) ve türevleri olarak tanımlanmıştır. Benzen halkasındaki karbon atomları sürekli titreşim yaparlar, ayrıca tek ve çift bağlar sürekli yer değiştirirler. Aromatikler, doymamış hidrokarbonlardır ve kolayca okside olarak yağın kalitesini kısa sürede bozarlar. Makinenin çalıştırılma periyoduyla orantılı olarak oksitlenme nedeniyle alifatik fraksiyonda düşme görülmekte bunun yanında polar ve aromatik fraksiyonda artış görülmektedir. Diesel makinelerin benzinlilere oranla oksidasyon ve kinematik viskozite oranları çok daha yüksek olmasına ve buna bağlı olarak polar oluşumunda artış olmasına rağmen Diesel makine yağları alifatik yapılarından bir şey kaybetmezler. Ancak aromatik fraksiyondaki artış tortu oluşumunun belirmesi demektir [4].

c. Alifatik ve aromatik (Karışık) yapıda olan madeni yağlar

Hem doymuş hem de doymamış hidrokarbon molekülleri oluştururlar.

2. Sentetik Yağlar

Sentetik yağlar, laboratuvar koşullarında çeşitli kimyasal işlemler neticesinde üretilen yağlardır. Fiyatları madeni yağlara oranla daha pahalıdır ancak hem daha iyi performans, hem daha uzun süreli kullanım sunarlar. Yağlama görevlerini daha uzun süre yerine getirirler ve çok daha fazla termal dayanıklılığa sahiptirler [26].

3. Yarı Sentetik Yağlar

Madeni yağlar içerisine sentetik katkı maddeleri katılmasıyla elde edilen yağlardır. Hem fiyatları, hem de sundukları performans açısından madeni yağlar ile sentetik esaslı yağlar arasındadır. Genellikle %70-80 madeni yağa %20-30 sentetik yağ karıştırılmak suretiyle elde edilirler.

B. YAĞLAMA VE YAĞLAMA YAĞININ GÖREVLERİ

Yağlayıcılar, kürecikler halinde moleküler parçalardan oluşmakta olup (langmuir teorisi) metal yüzeylerle direkt temasta olan yüzeylerin meydana getirdiği çekme kuvveti olan **adhezyon** ile yağ küreciklerinin kendi aralarında oluşturduğu çekim kuvveti olan **kohezyon** nitelikleri marifetiyle metal yüzeyler üzerindeki asperite adı verilen mikroskobik boyuttaki girinti ve çıkıntılardan oluşan yüzeyler üzerinde film tabakası meydana getirmektedirler [5]. Yağlama yağları, kohezyon ve adhezyon nitelikleri ile yağ filmi teşkil ederek yüzeyler arasında yayılma ve yapışma özelliği gösterip yağlama görevi yaparlar.

Temas yüzeyleri, spesifik oranları sürtünme ve kaplama karakteristiklerini önemli derecede etkileyen moleküler bir tabakayla kaplıdır. Yağlama teorisinin en önemli unsuru değişen dinamik, termal ve geometrik koşullarda sınır yağlama tabakası oluşturabilmektir [6]. Kalın ve uzun süre

dayanıklı bir yağ filmi oluşturmak teknik olarak imkansız olduğu zaman bu tip sınır yağ filmi oluşumu büyük önem arz eder. Sınır yağ filmi aktif yüzey unsurları ve onların kimyasal reaksiyon ürünlerinden meydana gelir. Burada tribokimyasal reaksiyonlar önemli bir rol oynar. Bu yüzden sınır yağlayıcılar polar moleküllere sahip olup; kükürt, fosfor, deterjan ve dağıtıcı gibi katıkları ihtiva etmektedir. Kısacası, bu yağlayıcılar organik yapıdadırlar ve hidrokarbon zincirinden oluştukları için yüzeye yapışmaktadırlar [7].

Yağ viskozitesi azalır veya yatak yağ basıncı çoğalırsa yağ filmi inceler, fakat ana yükün yağ katmanı tarafından taşınması sürdürülür. Böyle bir durumda ince katmanlı mükemmel olmayan yağlama söz konusudur. Kalın yağ filminin azalma miktarı ile orantılı olarak metal yüzeylerde sürtünmeye bağlı aşınmalar meydana gelecektir [8]. Sürtünme problemi yağlama ve yağ filminin teşkil edilmesinde önemli bir rol oynadığından yağlama teorisinde çok iyi incelenmesi gerekir.

Yağlama yağlarının, sadece makinenin hareketli parçalarının yağlanmasında değil, sürtünme kayıpları ve aşınmayı önlemek, karbon artıklarının birikmesine engel olmak, pistonların soğutulmasını sağlamak, yanma sırasında oluşan asitleri nötrleştirerek etkisiz hale getirmek ve asitlerden gelen aşınmaları en aza indirmek gibi görevleri de vardır [8]. Tam yükte çalışan Diesel makinelerde toplam ısı enerjinin üçte biri makine çıkış gücü olarak kullanılır. Toplam ısı enerjinin diğer üçte birlik kısmı egzost sisteminde, son üçte birlik kısmı ise soğutucular tarafından absorbe edilir [9].

Yanma esnasında yağlama yağı, silindir ve pistonun aşınmasını önleyerek sistem için koruyucu bir tabaka oluşturur. Piston tek başına ele alındığında yağ piston üzerindeki aşırı sıcaklığı ısı transferiyle kendi bünyesine çekerek bir nevi soğutma işlevi görür. Yakıt yandığında ortaya çıkan asılı haldeki yanma sonu gazları ile tam yanma olmadığında oluşan tortu haldeki partiküller yağ tarafından nötralize edilir. Bu kirlenmenin bir kısmı yağ aracılığı ile sisteme

bağlı filtrelerde bırakılır. Yanma sürecinde herhangi bir şekilde ortaya çıkan suyun yağlama yağının heterojen bir konsantrasyon oluşturmasıyla korozif etkisi azaltılır. Makinenin çok yüksek veya düşük devirlerde çalıştırılması ile aşırı ve ani yükleme durumlarında, ayrıca karter yağ seviyesinin azalması, karterdeki yağ seviyesinin limitlerin üzerinde olması, yetersiz soğutma, makinenin acil çalıştırma sistemiyle devamlı çalıştırılması gibi durumlarda sıcaklığın artması söz konusudur [10]. Aşırı sıcaklığın görüldüğü bu tip durumlarda da yağ sürtünme ve aşınmayı azaltabilmelidir. Yüksek sıcaklıklarda yağ mekanik aşınmaya karşı termal bir direnç oluşturabilmeli, düşük sıcaklıklarda yeterli pompalanabilme özelliğine ve viskozitesine sahip olmalıdır [6].

Yapılan deneysel çalışmalar ve araştırmalar makine içindeki yağlama yağı kayıplarının % 25-30'unun egzost supap mekanizması içinde olduğunu, geriye kalan %70-75 gibi büyük bir kısmının ise silindir içindeki yanma sürecinde meydana geldiğini göstermektedir [11]. Silindir içinde oluşan büyük orandaki yağlama yağı kaybının %5-10'u gibi bir oranı ise yüksek ısıdan kaynaklanan buharlaşma neticesindedir. Bu noktada yapılan en önemli tespit bahse konu buharlaşma neticesindeki kayıpların piston ve silindir çeperi arasında mevcut 1-10 µm ölçülerindeki yağ film kalınlığından kaynaklanmadığıdır. Bu yağ filminin kayıp oranına katkısı çok düşüktür. Esas etken unsur, silindir blok sıcaklığı olup bu sıcaklığın emme stroğu boyunca silindir yüzeyinde kalan yağ miktarına etkisidir. Silindir blok sıcaklığı arttıkça yüzeyde arta kalan yağ miktarına etki de büyük olacağından kayıp fazlalaşır [16].

Ayrıca egzost başlangıcında yanma odası basıncı düştüğü zaman yağlama yağı yanma sonu gazları ile karışarak yanma odasında kalır. Bu esnada yağın bir kısmı egzost supapları kapanmadan önce supap yolunda kalır ve silindir içinde kalan yağ miktarının azalmasının yanında egzost sisteminde yanmamış hidrokarbon oluşumuna sebep olur. Bir başka önemli unsur ise piston üst kompresyon segmanıdır. Pistonun yukarı hareketi boyunca kompresyon segmanı üstünde bir kısım yağ birikerek toplanır. Pistonun aşağı hareketinde kompresyon

segmanı eksenel yönde yağın silindir yüzeyine yapışmasına neden olur. Böylece segman üstündeki yağ birikimi silindir yüzeyinde bir film oluşturur. Eğer birikim oranı fazlaysa büyük miktarlarda yağlama yağı yanma sonu gazlarına karışacaktır. Bu da egzost supap yoluyla oluşabilecek yağ kaybına için bir başka etken unsurdur [11].

Kısacası; görevini yerine getirebilmek için ideal bir yağ [8] :

- a. Silindir gömleği yüzeyinde yeterli ve iyi bir yağ katmanı oluşturarak silindir gömleği ve piston segmanlarının aşınmasını önlemeli,
- b. Piston segmanlarının yuvalarında tutmalarına neden olan yapışkan atıklar oluşturmamalı,
- c. Piston kafası ve eteğinde karbonumsu atıklar bırakmamalı,
- d. Silindir yüzeyi ve supaplarda yapışkan atıklar bırakmamalı,
- e. Yatak aşınmalarının azalmasına yardımcı olmalı,
- f. Makineyi temizlemeli,
- g. Yağlama devresinde, filtrelerde ve yağ soğutucularında çamur ve tıkanmaya neden olan atıklar bırakmamalı,
- h. Her türlü filtre kullanımına elverişli olmalı,
- ı. Tüketimi azaltacak özelliklere sahip olmalı,
- j. Uzun kullanım periyodu için elverişli olmalı,
- k. Ani değişen sıcaklık koşullarında yüksek termal dayanıklılığa sahip olmalıdır.

C. YAĞLAMA YAĞI KATKI MADDELERİ

Motor yağlarında yaklaşık %10-15 oranında kullanılan ve yağlama yağına, temizleyici, pas önleyici, renk verici, koruyucu, koyulaştırıcı, viskozite indeksi geliştirici, aşınma önleyici, oksidasyona karşı koruyucu, köpük oluşumunu önleyici gibi özellikler kazandırmak amacıyla ilave edilen maddeler ‘**katık**’ olarak tanımlanmaktadır [4].

Katkı maddeleri, oksidasyon zincir reaksiyonlarını bozarak veya yağın temas ettiği katalitik metal yüzeylerin aktive olmasını önleyerek yağın ömrünü uzatırlar. Oksidasyon önleyici katkılar ilk oksidasyon periyodu boyunca çok yavaş tüketilirler. Bu süre içinde daha fazla katkı ilavesi son oksidasyon periyodu sürecini uzatarak oksidasyon reaksiyonlarının hızlanmasını geciktirir [2].

Makinenin çalıştırılma koşullarına göre belirlenen her yağlama yağı tipi spesifik olarak birbirinden farklı imal fonksiyonlarına sahiptir. Yağın kalitesi ve kullanım amacı katkı maddesi gereksinimini belirler. Her bir katkı maddesi, çeşitli analiz ve test yöntemleri ile tespit edilebilecek birçok kimyasal bileşen ve element ihtiva eder [12]. Yağlama yağı katkı maddelerinin büyük bir kısmı, özellikle oksidasyon önleyiciler, dağıtıcılar, viskozite geliştiriciler ve köpük önleyiciler organik moleküler yapıdadırlar. Organik moleküler yapılar ise bünyelerinde karbon, hidrojen, oksijen, nitrojen veya sülfür bulundurlar [13].

Genel olarak tipik bir makine yağı katık paketinin %60’ını dağıtıcılar, %21’ini deterjanlar, %10’unu aşınma önleyiciler, %4’ünü sürtünme azaltıcılar, %3’ünü oksidasyon önleyiciler, %1’ini akma noktası düşürücüleri diğer %1’ini pas ve köpük önleyiciler ile korozyon önleyiciler oluşturmaktadır [4].

1. Deterjan-Alkalinite, Dağıtıcı Katkı Maddeleri

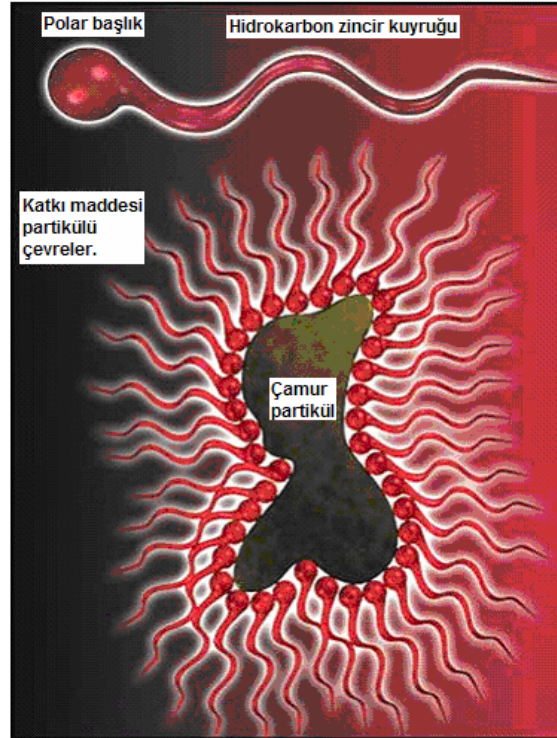
Bu katkı maddelerinin yağa eklenerek gösterdikleri başlıca işlevler;

(1). Makine yüzeylerinden partiküler oluşumların sökülmesi

- (2). Partiküllerin yağ içi çözünübilirliklerini geliştirme
 - (3). Yağ içi partikül asılımı ve dağılımını geliştirme
 - (4). Yağın asit oluşumunu nötralize edebilme kabiliyetini geliştirme
- şeklinde sıralanabilir.

Bu katkı maddelerini oluşturan bileşenler, yanma sonu ürünlerini ve diğer kirleticileri zararsız hale getiren polar bir başlığın devamında uzanan uzun bir hidrokarbon zincirine sahiptirler. Deterjan molekülü polar başlığı (sülfonat, fosfonat gibi); kalsiyum, magnezyum, sodyum gibi metal yapıya sahiptir. Dağıtıcı katkıların moleküllerinin polar başlığı ise bir oksijen veya nitrojen grubuna sahiptir [14].

Şekil 4’de görüldüğü gibi dağıtıcı katkı maddesi yağ içindeki çamur, tortu veya lak oluşumlarını tutarak gelişimlerini veya reaksiyona girmelerinin önüne geçer. Kimyasal yapıları polar başlıklı uzun hidrokarbon zinciri şeklindedir [13].



Şekil 4. Dağıtıcı Katkı Maddesi ve İşlevi [13]

Deterjan katkı maddeleri yağlama yağı içinde yanma sonu ürünleri neticesinde oluşabilecek asidik formları kontrol etmek maksadıyla kullanılır. Metalik yüzeylerdeki organik depositleri temizleme işlevini görür. Kimyasal formülasyonu açısından sülfanatlardan ve metal karbonatlardan oluşur.

2. Aşınma Önleyici Katkı Maddeleri

Koruyucu düşük sürtünme filmi oluşturmak için düşük sıcaklıklarda yüzey üzerinde absorbe olan moleküller metal yüzeyler ile reaksiyona geçerler. Sıcaklık yükseldikçe (100°C ve üzeri) katkı maddesinin kimyasal anlamda yüzey üzerinde absorbe edilmesi katlanarak artar. Bu durum kuvvetli bir kimyasal bağ oluşturur. Çok daha yüksek sıcaklıklarda yüzey üzerinde polimerik yapıda film oluşur. Yüksek hızlı çarpışmalarda (sınır yağlama durumunda olduğu gibi) filmin organik yapısı bozulur. Bu sıcaklıklarda daha düzenli olan inorganik bileşenler tarafından (Zn phosphides, Fe phosphides gibi) yüzey korunumu sağlanır. Bu sebeple aşınma önleyici katkı maddeleri; ZDDP (Çinko Dialkil Dithiofosfat), TCP (Tri-cresyl fosfat) başta olmak üzere çinko ve fosfor yapılı bileşenleri bünyelerinde barındırırlar [14].

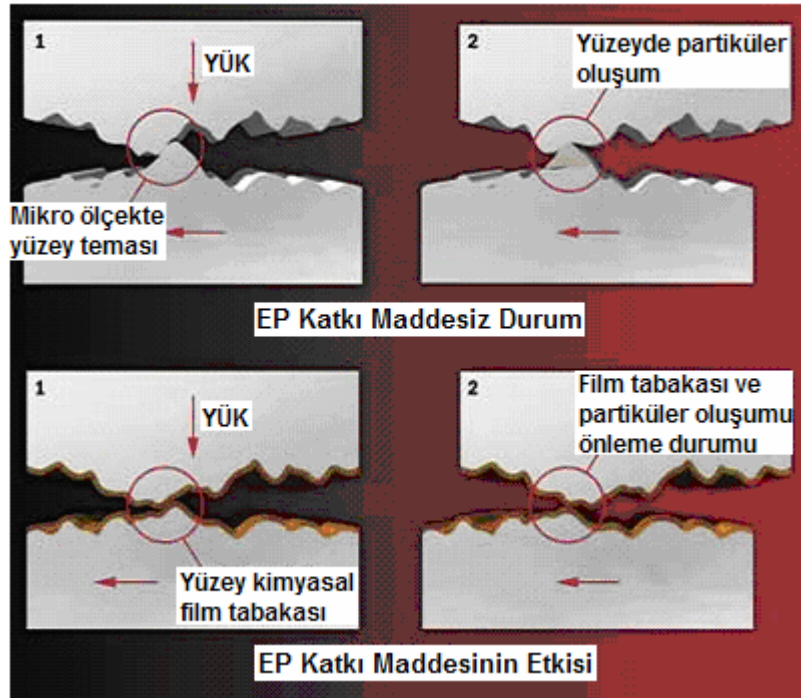
ZDDP katkı maddesi yağ içindeki en önemli aşınma ve oksidasyon önleyici katkı maddesidir. Çok yüksek çalışma sıcaklıklarında yağ içinde mevcut nem veya su teşekkülü, ZDDP molekülleri ile kimyasal reaksiyona geçmektedir. Böyle bir reaksiyonun yan ürünleri olarak çinko tuzları ve fosfat ortaya çıkarak yağ içinde eriyik halde bulunurlar. ICP analiz tekniği ile yağ içindeki çinko ve fosfor seviyelerinin ölçülmesi ZDDP konsantrasyonu hakkında bilgi verir [13].

3. Oksidasyon Önleyici Katkı Maddeleri

Yanma sonu ürünlerinin oluşturacakları oksidasyon formunu önlemek için yağ içine katılırlar. Yanma sonu ürünleri, yağı kalınlaştırarak yağlama kabiliyetini azaltan asidik bileşenlerdir. Bu asidik bileşenlere karşı bir nevi metal katalitik görevi yaparlar.

4. Aşırı Basınç Katkı Maddeleri

Özellikle ağır yüklü dişli yağlayıcıları ve ağır yüklü Diesel makine yağlayıcılarında kullanılır. Bu katkı maddesi makine sistemi metal yüzeyi üzerinde ince bir film formu oluşturur. Normal sürtünme aşamasında film tabakası yırtılır ve yeni katkı maddesi reaksiyona girerek yüzey filmini tamamlar. Film, metal yüzeyine oranla daha düşük gerilim gücüne sahiptir. Böylece kayma sürtünmesi ve adhezyon aşınması büyük ölçüde azalır. Bu katkı maddeleri, fosfor, aktif sülfür ve klorin içerikli olup yağa termal stabilite sağlayıcı ve korozyif olmayan özellik katarlar. Yüksek sıcaklıklarda metal yüzeyler arası temasta aşırı basınç katkı maddesi, Şekil 5’de görüldüğü gibi metal ile kimyasal etkileşime girerek metal yüzeyler üzerindeki asperite adı verilen girinti ve çıkıntıları örten bir yüzey filmi oluşturur. Kimyasal anlamda bu film tabakası; sülfür, fosfor ve klorin bileşenlerinden oluşan inorganik bir yapıdadır [15].



Şekil 5. Aşırı Basınç Katkı Maddesi ve İşlevi [15]

5. Viskozite İndeksi Geliştirici Katkı Maddeleri

Değişen sıcaklıklarda viskozite stabilite derecesini ayarlar. Değişen sıcaklık rejimlerinde yeterli viskozite sağlamak için polimer yapılı uzun zincirli bileşenler (polymethacrylate gibi) viskozite indeksi katkı maddesinin içinde yağa eklenir. Bu polimer yapı düşük sıcaklıklarda sıkıca sarılıdır ve yağ viskozitesine fazla katkıda bulunmaz. Sıcaklık yükseldikçe polimer yapı açılarak yağın sıcaklık ve viskozite stabilitesini ayarlar [14].

6. Korozyon Önleyici Katkı Maddeleri

Korozyon reaksiyonlarına fiziksel anlamda engel teşkil eden kısa asit zinciri (fatty amine gibi) yapıldırlar. Metal yüzeylerle reaksiyon eğilimli polar bileşenler formunda yüzeyin suyla temasını engellerler. Aşınma önleyici ve aşırı basınç katıklarıyla kompleks bir form oluşturarak metal yüzey üzerinde absorbe edilirler. Yağ üreticileri bu katkı maddeleri arasındaki muhtemel reaksiyon olasılıklarını hesaplayarak katkı maddesinin oranını ayarlarlar [14].

7. Akma Noktası Düşürücü Katkı Maddeleri

Yağ içindeki vaks kristal formunu azaltarak yağın düşük sıcaklıkta akışkanlığını artırır. Yağın vaks kristal formu tarafından emilmesi yağ akış duruşanlığına sebep olur. Akma noktası düşürücü katıklar, hızlı soğuma sürecinde oluşan vaks kristallerinin yüzeylerine absorbe olma özelliğindeki parafinik ve polimer yapıdadırlar. Tek kristal üzerinde bu yapıların emilmesi daha büyük ve geniş vaks kristal formlarının oluşumunu engeller.

8. Köpük Önleyici Katkı Maddeleri

Yağ içinde aşırı köpük oluşumunun yağın yağlama kapasitesini azaltmasını önlemek için kullanılır. Bu katkı maddeleri düşük yağ yüzey gerilimi oluştururlar ve yağ içindeki hava kabarcıklarını serbest hale geçirirler. Köpük önleyici katkı maddeleri, silikon bileşenlerden oluşur.

Tablo 1’de yağlama yağında mevcut katkı maddelerinin bazılarının spektro analiz ile tespit edilebilen kimyasal element yapıları gösterilmektedir [12,14].

Katkı Tipi	Spektrometrik Analiz ile Tespit Edilen Elementler
Oksidasyon önleyiciler	Zn,Cu
Deterjan cinsi katıklar	B,Ba,Mg,Na
Dispersanlar	Ba,Ca,Mg
Sürtünme azaltıcılar	Zn
Aşınma önleyiciler	Zn
Köpük önleyiciler	Si

Tablo 1. Yağ Katkı Maddelerinde Tespit Edilen Bazı Kimyasal Elementler [12,14]

III. MOTOR YAĞLARININ ESKİMESİ VE YAĞ ANALİZ YÖNTEMLERİ

A. MOTOR YAĞLARINDA ESKİME

Yağlama yağı eskimesi sebepleri başlıca iki katagoride incelenmektedir:

- (1) Oksidasyon sonucu yağda oluşan fiziksel ve kimyasal değişikliklerin sebep olduğu eskime.
- (2) Toz, kir, yakıt, su, metalik parça ve diğer başka metal partiküllerin yağlama yağına karışmasıyla oluşan dış etkenlere bağlı eskime.

1. Oksidasyon

Çok uzun süreli makine çalıştırmalarında yağda bazı istenmeyen değişiklikler olur. Bunların en önemlisi oksidasyondur. Oksidasyon, yağın hizmet ömrünü azaltan en önemli faktör olup birbirini takip eden zincirleme bir reaksiyon ihtiva eder. Yüksek sıcaklıklarda yağ hidrokarbon zincirinden hidrojen atomlarının ayrılmasıyla organik peroksit formu oluşur. Organik peroksitin mevcut oksijen ile reaksiyona girmesi ile serbest durumda diğer peroksit formları meydana gelir. Oksidasyon, kimyasal anlamıyla peroksit veya hidroperoksit oluşumdur. 150-200°C gibi sıcaklıklarda sıvı fazında hidroperoksit ve peroksit formlar, alkol, keton gibi diğer asidik bileşenleri oluşturur. Daha sonraki süreçte bu organik bileşenler daha fazla oksidasyonla kendi aralarında reaksiyona girerek yüksek moleküler ağırlıktaki lak ve çamur gibi polimer oluşumlara sebep olurlar. Sıvı fazında mevcut bu hidrokarbonların oksidasyon sürecinde önemli bir etkisi vardır. Böyle bir durum yağın temasta olduğu bakır, çelik, demir gibi metallerin yüksek ölçüde katalitik tepkimeye girmesine neden olur ve metal yüzeylerde asit ve oksit film oluşumu başlar [17]. Bu oksidasyonun başlangıcıdır.

Oksidasyonun ilerleyen sürecinde zincirleme reaksiyonlar sonucu mevcut polimer oluşumların ve oksit yapıların daha fazla reaksiyona girmeleri neticesinde daha yüksek moleküler ağırlığa ve partiküler boyuta ulaşan yağda çözünemez formlar meydana gelir. Sıcaklığın yağlama yağının kimyasal karakteri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Yağlama yağı, makine parça ve kısımlarına ait yüzeylerde oluşan yüksek sıcaklıktan önemli ölçüde etkilenir. Bu durum yağlama yağının bozulmasında önemli bir rol oynar. Yüksek sıcaklık, yağın kalınlaşmasında kritik bir faktördür ve organik tortuların oluşmasına neden olur [18].

Bu oluşumlar arasında en dikkat çekici olanı çamur ve lak birikimidir. Yağlama yağı oksitlenme sonucu çamur oluşturmaktadır. Yağlama yağının yapısı hidrojen ve karbonlu hidrojenlerden meydana gelmesinden ötürü karbonlu hidrojenlerin hava içinde savrulmasıyla havanın hidrojeni ile yağ arasında meydana gelen kimyasal tepkime sonucu oksitlenmiş karbonlu hidrojenler oluşur. Oksitlenmiş karbonlu hidrojenler, karterde görülen çamur tortu tabakasını oluştururlar. Bu oluşumu tetikleyerek hızlandıran en önemli unsur, silindir gömleği ile piston arasında sızdırmazlığı sağlayan piston segmanlarının aşınması sonucu kartere egzost gazı kaçmasıdır. Bu esnada yanmamış yakıt ile bir miktar kurum da kartere iner. Böyle bir kaçak, karterde yağlama yağı ile birleşerek çamurlaşma hızlanır. Kısacası; hızlı çamurlaşma silindirde yanmanın iyi olmadığı veya eksik yanma meydana geldiği zaman görülür [8]. Ayrıca çamur oluşumuyla birlikte yağ kanalları tıkanır ve ısı transfer yüzeyleri düşer.

Lak, polimerize olmuş maddelerden meydana gelir ve ince film şartlarında sıcak yüzeylerde bulunan yağın oksitlenmesi sonucu oluşur. Bu oluşumun asıl nedeni 'blow-by' olarak bilinen ve pistonun genişleme stroğunda yanmış olan gazların silindir iç cidarına ve bu vesileyle iç cidar yüzeyinde mevcut yağ tabakasına yapışarak yağı kirletmesidir. Laklar, motorların piston eteklerine yerleşen, kısmen renkli, %10-20 arası oksijen ihtiva eden, parçaları birbirine yapıştırarak hareketini önleyen ve plastik ürünlere benzeyen oksiasitlerdir. Lak'ın diğer adı verniktir [7].

Yağ oksidasyonu yağın içindeki antioksidant özellikli katkı maddelerinin de azalmasına sebep olur. Yağlama yağı, yakıtın yanması sonucu oluşan asidik bileşenler ile kirlenmeye başlayabilir. Eğer herhangi bir müdahale de bulunulmaz ve asidik bileşenlerin artmasına izin verilirse bir süre sonra bu bileşenler metallerin iç yüzeylerini etkilerler ve hızlı bir şekilde koroziye kaplamanın bu yüzeylerde oluşmasına yol açarlar. Alkaline temelli katkı maddeleri asit oluşumunu nötralize ederler ve böylece oluşan koroziye oluşum minimize edilebilir. Katkı maddesindeki alkalinite özellikli bileşenlerin azalma miktarı, yanma sonu sıcak gazları ile yağlama yağının reaksiyona girmesi sonucu meydana gelen asit oluşumunu ne derecede o katkı maddesinin azalttığına anlaşılmada dikkate alınması gereken bir unsurdur. Çözünemez oksidasyon ürünlerinin yağlama yağında konsantrasyonu arttıkça daha fazla zararlı yağ bileşenleri kaybolarak viskozitede artma gözlenir. Yağı oksidasyondan koruyan katkı maddelerinden biri **ZDDP** (Çinko Dialkil Dithiofosfat)'dir. Bu katkı maddesi aynı zamanda koroziye oluşumun önüne geçer. Metal yüzey üzerinde oluşan koroziye yapıdaki artış hidrodinamik akışdan yağlamanın sınır değeri değişimin başladığı noktaya kadar viskozitede azalmaya sebep olur [18].

2. Dış Etkenlere Bağlı Eskime

Toz, kir, yakıt, su, metalik parça ve diğer başka metal partiküllerin yağlama yağına karışmasıyla oluşan dış etkenlere bağlı eskime de yağlama yağı eskimesinde dikkate alınması gereken bir diğer unsurdur. Kullanılmış yağlama yağı, bu şekilde kirlenme neticesinde içerisinde asılı olarak belli miktar ve oranlarda bölünmüş katı partiküller oluşumlar ihtiva eder. Bu partiküller birikim çamur ve lak oluşumunu tetiklediği gibi kimyasal reaksiyonlar neticesinde asidik oluşumlara da sebep olur. Bu da dolaylı olarak oksidasyonu arttıran bir durumdur.

Makine için zararlı bu partiküllerin girişi genellikle hava filtresi ve yakıt filtresinden olur. Bu partiküllerin yağlama yağına karışıp makineye zarar verme süreci yanma odasında başlar. Bu durum devamlı yağlanan silindir gömleği, piston kafası ve segmanlarını olumsuz yönde etkileyecek bir yağ filmi oluşumunu

da beraberinde getirir. Metal yüzey üzerinde sürtünmeyi arttıracak bu durum dolaylı olarak yağ içinde metalik asit formlarını da arttıracaktır.

B. KULLANILMIŞ YAĞ ANALİZLERİ

Yağ analizi, yağın tümünü temsil etmeye yeterli miktardaki yağ örneklerinin, yağın fiziksel, kimyasal ve tribolojik özelliklerini tespit etmek amacıyla analiz edilmesidir. Yağlama yağı analizi, makine sistemine ait kısımlarının şimdiki ve gelecekteki durumları hakkında fikir sahibi olmamızı sağlar. Yağlama yağının içindeki çeşitli madde oranlarının değişimini incelemek, makinenin optimum çalışmasının devamını sağlamak, doğabilecek arızalar için maliyeti düşürmek ve böylece zamandan tasarruf etmek açısından gereklidir.

1. Viskozite

Viskozite en basit anlamıyla; biri sabit diğeri sabit hızla hareket eden iki düzlem alanı arasındaki viskoz akışkan hızının, tabakalar arası kayma neticesinde kademe kademe azalması ve böylece hareketli yüzeyin hareketinin daha sonraki tabakalara iletilmesi özelliği olarak tanımlanır [5].

Viskozite, yağlama yağının en önemli karakteristiği olup yağın akışa karşı gösterdiği dirençtir. Motor için ideal viskozite yoktur. Bu durum yağın genel görevleri ve yağlanmış olan kısımlara bağlıdır. Örneğin; karter yağı için yüksek viskozite değeri arzu edilir. Alçak sıcaklıklarda düşük viskozite, yüksek sıcaklıklarda ise yüksek viskozite istenilen bir durumdur. Böylece farklı sıcaklıklarda çalışan makine parçalarında gerekli film kalınlığı sağlanması amaçlanmaktadır. Çok yüksek değerlerdeki viskozite yağ tüketimini minimuma indirir fakat diğer taraftan yağ filminde yaşanan sürtünme olayında artış olur [19]. İlk hareket esnasında yağlama yağının kolay sirkülasyonu ile birlikte daha iyi dağılımı söz konusudur. Yağların soğuk ve sıcak ortamlara göre kalınlaşması ve incilmesi sebebiyle viskozite seçiminde değişiklikler yapılmıştır. Daha önce yaz ve kış durumuna göre aynı makinede farklı yağlar kullanılıyorken günümüzde

viskozite indeksi arttırıcı katkı maddeleriyle bu sorun çözülmüştür [19]. Bunun yanında yalnızca yüksek basınç durumlarında basınç, viskoziteyi arttırıcı yönde etkiler. Bu ilişki tamamiyle akışkanın kimyasal yapısına bağlıdır.

Yağlama yağları çok viskoz oldukları zaman silindir duvarında hızlı bir biçimde yayılamazlar ve piston aşağı stroğu boyunca silindir alt tarafına itilirler. Bu durum silindir yüzeyinin kuru kalması demektir. Bu nedenle limitler üzerinde çok viskoz özellikteki yağlar yüksek sürtünme kayıplarına silindir gömleği ve piston segmanlarının aşınmasıyla kartere gaz kaçağına sebep olurlar. Bu da beraberinde oksidasyonu arttırır. Ayrıca viskozite çok yüksekse yağın pompalanması ve makine içi hareketliliği için daha fazla iş gerekir. Bu sürtünmeyi arttırdığı gibi makinede güç düşümüne sebep olur. Yakıt tüketimi buna bağlı olarak %15 kadar artar [20]. Bunun yanında soğuk bir makineyi yüksek viskoziteli yağla çalıştırmak oldukça zordur. Bu maksatla; çoğu zaman makine çalıştırılmadan önce makine bloğunda ön ısıtma yapılır.

Düşük viskoziteli yağ kullanılması yağ tüketimini azaltır ancak bu durumda da yağ filminin çok ince olmamasına dikkat edilmelidir. Yağlama yağlarının ne kadar geniş viskozite sınırı içinde olduklarını belirtmek için örnek vermek gerekirse; spindle yağının viskozitesi 150-300 saniye-redwood iken, ağır makine yağlarında bu sayı 5000 saniye- redwood seviyesine kadar çıkar.

Oksidasyon, nitrasyon ve kirlenme viskozitede artışa neden olacağı gibi yakıt kirliliği viskoziteyi düşürür. Makine üretici firmaları viskozitede kabul edilebilir limitlerde değişiklikleri her zaman için çalışmalarında göz önünde bulundururlar. Viskozitedeki fazla artış ve düşüşler gereksiz ısı üretimi ve enerji tüketimini ortaya çıkarır. Genellikle kural olarak benimsenen, yağlama yağı viskozitesinde %25 oranında artış ve düşüş görülmesinin maksimum limit olarak kabul edilmesidir [18].

Yağlama yağı viskozitesi karakteristiğinde birçok endüstriyel standartlar mevcuttur. Bunlar içinde en geniş kullanım alanına sahip olanı, SAE (Society of Automotive Engineers) sınıflandırmasıdır. Bu sistem, yağlama yağlarının hem 18°C hem de 100°C sıcaklıklarda viskozite karakteristiklerini tespit eder. Düşük sıcaklık viskozitesi gerektirenler sınıflandırma sayısından sonra ‘W’ ile belirtilir (SAE 10W gibi). Yüksek sıcaklık viskozitesi gerektiren yağlama yağlarının ise sadece sınıflandırma numaraları (SAE 30 gibi) belirtilir. Hem yüksek hem de alçak sıcaklıklarda multigrade yağlar ise her iki şekilde (SAE 10W30 gibi) belirtilir [21].

En çok kullanılan viskozite birimleri; Centistoke (cSt (santi stok), mm²/s), Engler derecesi, Centipoise cp (santipuz), Redwood Seconds, Saybolt Seconds’dır. Yağ üreticileri ve kullanıcıları viskozite ölçüsü olarak Centistoke (cSt, (santi stok), mm²/s) cinsinden 40°C ve 100°C sıcaklıklardaki kinematik viskozite ölçülerini dikkate alırlar. Her ikisi de beraber ele alındığında genel olarak viskozite indeksindeki değişimlerin takibinde dikkate alınır [22]. Şekil 6’da 40 °C ve 100 °C viskozite ölçüm cihazı ve test methodu görülmektedir.



Şekil 6. 40 °C ve 100 °C Viskozite Ölçüm Cihazı (ASTM D-445) [5]

40 ve 100°C sıcaklıklarda ölçülen kinematik ölçümlerin değerlendirilmesinde bazı avantajlar söz konusudur [23] :

40°C viskozite ölçümü:

- Yağ oksidasyonu ve termal yorgunluğun erken teşhisinde
- Su, yakıt ve kirliliğin viskozitede değişim etkisinin belirlenmesinde
- Yanlış kullanılan yağın tespitinde
- Kullanılan yağın düşük maliyetli analizinde avantaj sağlar.

100°C viskozite ölçümü :

- Viskozite İndeksi (VI) geliştirici katkı maddesindeki azalmanın tespitinde
- Yüksek çalışma sıcaklıklarında faaliyet gösteren makinelerin yağ analizlerinin takibinde avantaj sağlar.

a. Viskozite İndeksi (VI)

Bir yağın sıcaklık tesiri ile incelik kalınlaşma kabiliyeti “Viskozite İndeksi” diye tarif edilir. Buna göre yağlar;

- Alçak viskozite indeksli yağlar (VI < 40)
- Orta viskozite indeksli yağlar (40 < VI < 80)
- Yüksek viskozite indeksli yağlar (80 < VI < 100)
- Multigrade viskozite indeksli yağlar (VI > 100)

olarak viskozite indeksi ölçülerinde sınıflandırılırlar.

Yağların sıcaklıktan çabuk etkilenir olmaları arzu edilmediğinden dört mevsim boyunca değiştirilmeden kullanılabilen yüksek viskozite indeksli “Multigrade” yağlar özellikle ağır yüklü dizel makinelerde en çok tercih edilen yağlardır.

2. Parlama Noktası

Yağlama yağı ısıtıldığı zaman daha hafif bileşenler buharlaşmaya başlar. Parlama noktası, özel laboratuvar koşullarında yağın çıplak alevinin oluştuğu sıcaklığa, yani yanmaya başladığı ana kadar ısıtılarak buharlaşmanın oluşturulduğu sıcaklıktır. Kullanılmış makine yağları için parlama noktası, çok çabuk gaz formuna geçen yakıtlarla (motorin,benzin gibi) yağın ne derecede kirlendiğini gösterir. Yağda görülen yakıt kirliliği, yağ viskozitesini ve yağ filmi kalınlığını azaltacaktır. Aşırı derecede yağın yakıtla kirlenmesi yakıt sisteminde önemli bir problem olduğunu gösterir ve böyle bir durumda yağın tamamı boşaltılmalıdır. Laboratuvar ortamında test hem açık hem de kapalı koşullarda yapılır ve test sonuçları da açık parlama noktası (open flash point) ve kapalı parlama noktası (closed flash point) olarak tanımlanırlar. Eğer belli bir periyot sonra yağın parlama noktası önemli derecede orijinal değerinden düşük çıkarsa bu yağda yakıt kirlenmesi olduğunu gösterir ve aynı zamanda sistemde dolaşan yağın basıncında yükselme görülür. Kullanılmış yağda testin sıkça tekrar edilmesi gerekli olmayabilir ama %30 ve daha fazla oranlardaki düşüşler yağda önemli derecelerde kirliliğinin olduğuna işaret eder. Parlama noktası, yağın depolanma ve kullanım koşullarının emniyeti açısından önemlidir. Parlama noktası test methodu ASTM D-92'dir.

3. TBN (Toplam Baz Sayısı) ve TAN (Toplam Asit Sayısı)

İçten yanmalı makine yağları, yanma sonu oluşan asidik yanma sonu ürünlerini nötralize etmek için ilave katkılarla formülüle edilmişlerdir. TBN (Toplam Baz Sayısı), yağlama yağının alkalinite ölçüsü olup yağda mevcut ve etkisi devam eden katkı maddelerinin miktarını öğrenmek için iyi bir referansdır. TBN, 1 gram yağda bulunan mg olarak potasyumhidroksit (KOH) miktarı şeklinde ifade edilen asidik durumu tanımlamaktadır. Yağlama yağının mineral asitle kimyasal titrasyonu vasıtasıyla ölçülen alkalinite seviyesidir.

Özellikle yüksek sülfür oranına sahip Diesel yakıtların korozyon etkilerini tespit etmede faydalıdır. Alkaline elementler, SO₂ gibi asidik oluşumları nötralize

ederler. Bu bakımdan Diesel makinelerde TBN değeri; motorin kükürt içerdiği için yağın alkalinite seviyesini bilmek açısından önemlidir. Silindir yağları, alkalinite bakımından yakıttaki kül miktarına göre seçilir.

TBN değeri başlangıçta yağlama yağının ilk olarak kullanılmasında düşük olup daha sonraları birkaç makine kullanımından sonra stabilize bir değere ulaşır. TBN değeri orijinal değerinin %50 altına düştüğü zaman yağlama yağı değiştirilmelidir [18]. Diesel makinelerde yağlama yağının değiştirileceği zamanın tespitinde önemli bir kriterdir.

TAN,(Toplam Asit Sayısı), nötralizasyon numarası olarak tanımlanır. Nötralizasyon; aside ait hidrojen iyonu suyun oluşumu için de temel teşkil eden hidroksil iyonu arasında meydana gelen reaksiyondur [17]. Oksidasyon sürecinde yağ içinde organik asitler oluşur. Asidik oluşum korozyon etki yaratır. TAN, yağ içindeki asidik moleküllerin konsantrasyon miktarı için ölçü teşkil eder. Yağ içindeki zayıf durumda asidik bileşenler ile yanma ve yağ oksidasyonu boyunca asit oluşumu, TAN ölçüsünü yükseltir.

Yüksek TAN değerleri ve düşük TBN değerleri bize yağlama yağının asidik oluşumları nötralize etme kabiliyetinin kaybolmaya ve makine sistemine ait parçalarda korozyon oluşumunun başladığını gösterir. TAN (Toplam Asit Sayısı) ve TBN (Toplam Baz Sayısı) test methodu ASTM D-2896'dır.

4. Yağda Erimeyenler

Kullanılmış yağlama yağı, içerisinde asılı olarak belli miktar ve oranlarda bölünmüş katı parçalar ihtiva eder. Bu parçalar çözilemeyenler başlığında sınıflandırılır. Çözilemeyen maddeler, yanma sonu ürünlerin yağın oksidasyon ve nitrasyonla kirlenmesi sonucu sistemde üretilen maddelerin yağlama yağına karışması neticesinde oluşurlar. Kirleticilerin oranları, madeni yağları çözerek geride çözilemeyen maddeleri bırakan n-heptane ve pentane gibi solventler ile yapılan test uygulamalarında tespit edilir. Makine çalıştırmalarında yüksek

performans derecelerinde %5 ve biraz daha fazla oranlardaki çözölemeyen maddeler tolere edilebilir [18].

5. Aşınma Ürünleri

ICP tekniğı (Inductively Coupled Plasma), yağın içinde metalik partiköler birikim oluşturan elementleri milyon ölçek bazında tespit etmek için kullanılan bir tekniktir.

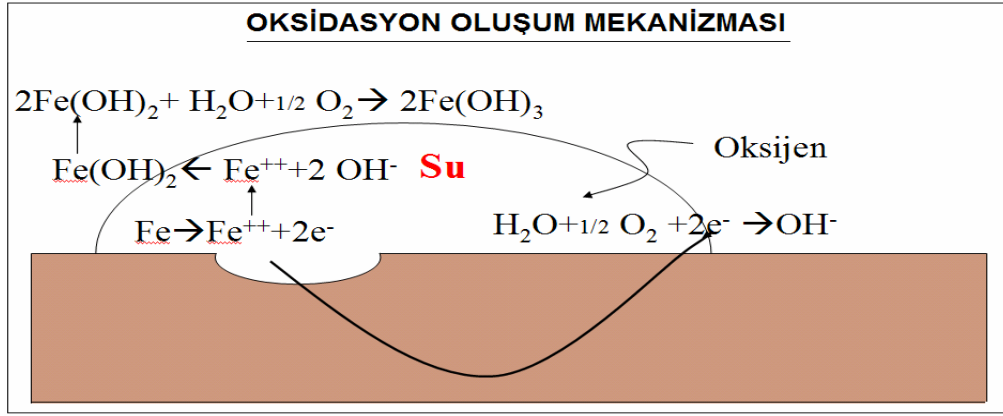
ICP analiz tekniğinde argon gazının akışıyla oluşturulan elektrotsuz bir plazmadan yararlanılır. Argon gazı, alternatif akım jeneratörüne bağı 2-3 sarımlık bir radyo frekans bobini içine yerleştirilen plazma torkundan devamlı geçirilmektedir. Gaz, bu işlem esnasında bir transformatörün sekonder sargısı gibi davranıp yüksek derecede iyonize edilerek aşırı sıcak bir gaz durumuna gelir. 8000-10000°C sıcaklıklara ulaşan iyonize edilmiş argon gazı plazma haline dönüşür. Yağ numunesi çeşitli solventlerle işlem gördükten sonra plazmanın içine gönderilmektedir. Plazmadaki çok yüksek enerji, moleköllerin atomlarına ayrılmasına ve atomların ışı nım yaymasına sebep olur. Her element kendine özgü farklı bir frekansta ışık yaymaktadır. Yayılan bu ışınlar, ışığı spektrum çizgileri halinde ayırıp yansıtan bir fraksiyon ızgarasına gönderilmektedir. Spektrumun araştırılan elementlerin frekans değerlerine karşılık gelen noktalarına yerleştirilmiş foto algılayıcı tüpler, yağdaki elementlerin yaymış olduğı ışık enerjisini elektrik impulsları olarak cihaza iletmektedir. Bu şekilde yapılan ölçümlerde elementlerin numune yağdaki miktarları ppm (particle per million) seviyesinde tespit edilir. Ancak bahse konu bu tekniğın uygulanmasında 5 mikrondan büyük parçalar ölçüm dışında kalmaktadır [1]. Şekil 7’de ICP spektroskopisi tekniğı çalışma şeması görölmektedir.

ICP analiz tekniğı ile yağ içinde tespit edilen metalik partiköller 3 ana gruba ayrılır.

- Aşınma sonu metalik partiköller (Demir (Fe) gibi)
- Yağın kirlenmesi sonucu oluşan metalik partiköller (Sodyum (Na) gibi)

problemlerle makinenin karşılaşması olası durumlardır. Şekil 8, yağlama yağı eskimesinde en önemli faktör olan demir metal oksidasyonu oluşum mekanizmasını göstermektedir.

Çinko (Zinc)-Demir (Iron) ikilisinde olduğu gibi bir elektrokimyasal hücrede korunacak yüzeyin katod yapılmasıyla meydana gelen korumaya katodik koruma denir. **ZDDP (Çinko Dialkil Dithiofosfat), bu katodik koruma görevini yapan, korozyon önleyici yağlama yağı katkı maddelerinden biridir [24].**



Şekil 8. Demir Metal Oksidasyonu Oluşum Mekanizması

-Alüminyum (Al) : Makinenin hareketli kısımları, piston başı ve segmanları, bazı yağ pompaları, makine dirsek kısımlarından kaynaklanır. Özellikle makine üretim ve revizyon sonraları ilk çalıştırma saatleri sonucunda alınan numunelerde yüksek oranlarda tespit edilebilir. Bu metalik oluşumun analiz sonuçlarında yüksek çıkması ile hava emiş devresi, yağ filtresinde kirlenme, supap kapakları ve karterde problem olduğu düşünülebilir. İlerleyen safhalarında aşırı yağ tüketimi, performans kaybı, anormal makine sesi gibi problemlerle karşılaşılır.

-Krom (Cr) : Krom genelde makine elemanlarının kaplama malzemesi olarak kullanılır. Krom kaplı piston segmanları başta krom ve krom alaşımlı makine

parçaları bu metalin kaynağını teşkil eden yerlerdir. Ayrıca conta, silindir ve bazı yatak elemanlarından da gelebilir. Silindir içine giren havanın kirliliğinin artması ve arızalı segmanlar bu metalin oranını artırır. Bu metalin artmasının tespit edilmesi bize makinede aşırı yağ tüketimi veya kaçağı ile yağ kalitesinde bozulma olduğunu gösterir.

-Bakır (Cu) : Pirinç ve bronz alaşımlarda mevcuttur. Bu metalik oluşum dişli ve supap tablaları, bazı tip dişliler, turboşarj yatakları, kam yatakları ve piston pim yataklarında, bakır içeriği yüksek olan birçok dişli sistemi ve sinterlenmiş bronz içeren fren plakalarında bulunur. Bakır seviyesinin yükselmesi durumunda yağ soğutma sisteminde korozyon oluşumuna dikkat edilmelidir. Ayrıca, ilerleyen safhalarda makinenin stop edilmesine yakın süratlerde aşırı ses duyulur.

-Silisyum (Si) : Metalik element olmamasına rağmen birçok yağ sisteminde sıkça karşılaşılan ve spektrometre testiyle tespit edilen maddedir. Bu oluşumun ana kaynağı hava emiş devresi olup doğru filtreleme olmaması durumunda önemli miktarlarda giriş yapan kum ve kir formunda görülür. Aynı şekilde arıza onarım veya revizyon periyodları esnasında makinede kum ve kir formunda yüksek miktarda bulunur [12]. Bunun yanında, makine ve dişli sistemlerinde kullanılan alüminyum ve dökme demir parçalarında da bulunmaktadır. Bazı keçe ve contalar da silisyum içerebilir. Silisyum tespitinde en önemli etken, yağdaki köpük önleyici katkı maddeleridir. Silisyum, temizleyici gibi davranarak yağ filmini olumsuz etkiler.

-Nikel (Ni) : Yağın temas ettiği birçok metal yüzeyde bir bileşen olarak bulunur. Saf demir ve paslanmaz çelik, önemli ölçüde nikel ihtiva eder. Supaplar, türbin kanatları, turboşarj ve rulmanlı yataklar başlıca kaynak yerleri olarak sayılabilir.

-Kurşun (Pb) : Genel olarak kaplama maksadlı kullanılır. Kaymalı yatakların aşınmasından veya kurşun-kalay karışımı lehim noktalarından ve bazı sızdırmazlık elemanlarından gelebilir. Dişli sistem kavramalarında ve fren

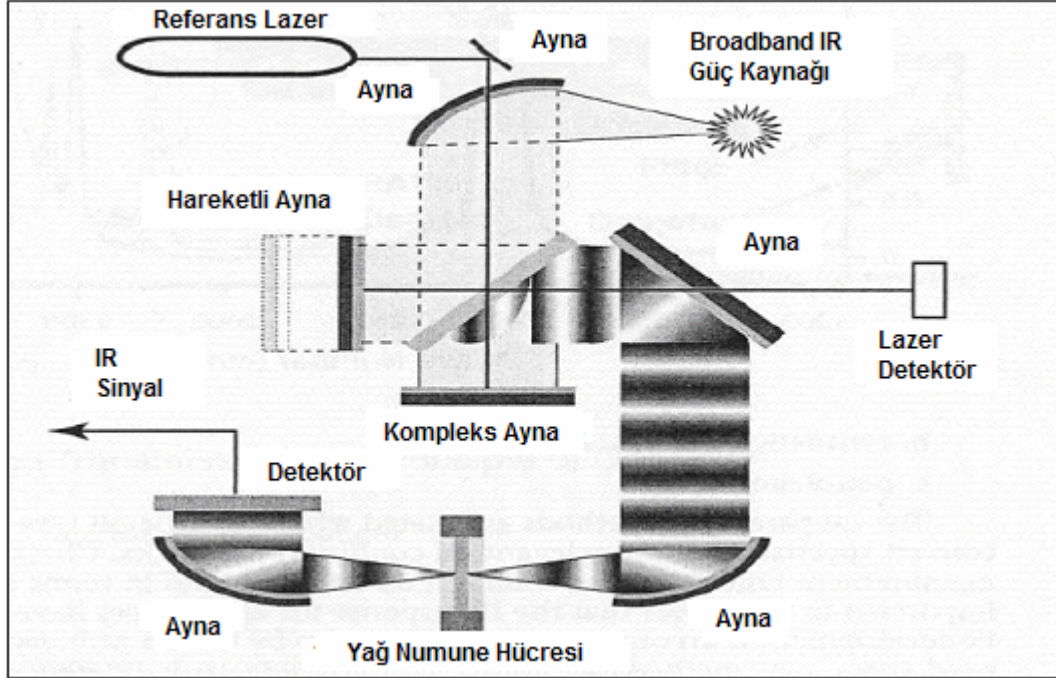
sürtünme plakalarında bulunabilir. Bunun yanında yakıttan dolayı da oluşabilir. Numune şişesinin galvanize edilmiş olması da bu metalin oranını artırır. Bu metalin oranında tespit edilecek aşırı yüksek seviye yağda yakıt kirlenmesi olduğunu gösterir. Korozyon oluşumuna yol açar.

-Molibden (Mo) : Yağın temas ettiği bazı metalik elementlerde bir bileşen, alaşım malzemesi olarak bulunur. Bazı Diesel makine tiplerinde (Continental AVDS 1790, Caterpillar 3208 gibi) pistonu çevreleyen birinci, ikinci ve üçüncü kompresyon segmanlarının imalinde de kullanılır. Bunun yanında üretici firmanın yağ imali sırasında kullandığı bir katkı maddesinden kaynaklanabilir ve başlangıçtan itibaren tüm analiz raporlarında yüksek oranda görülebilir.

6. FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) Tekniği

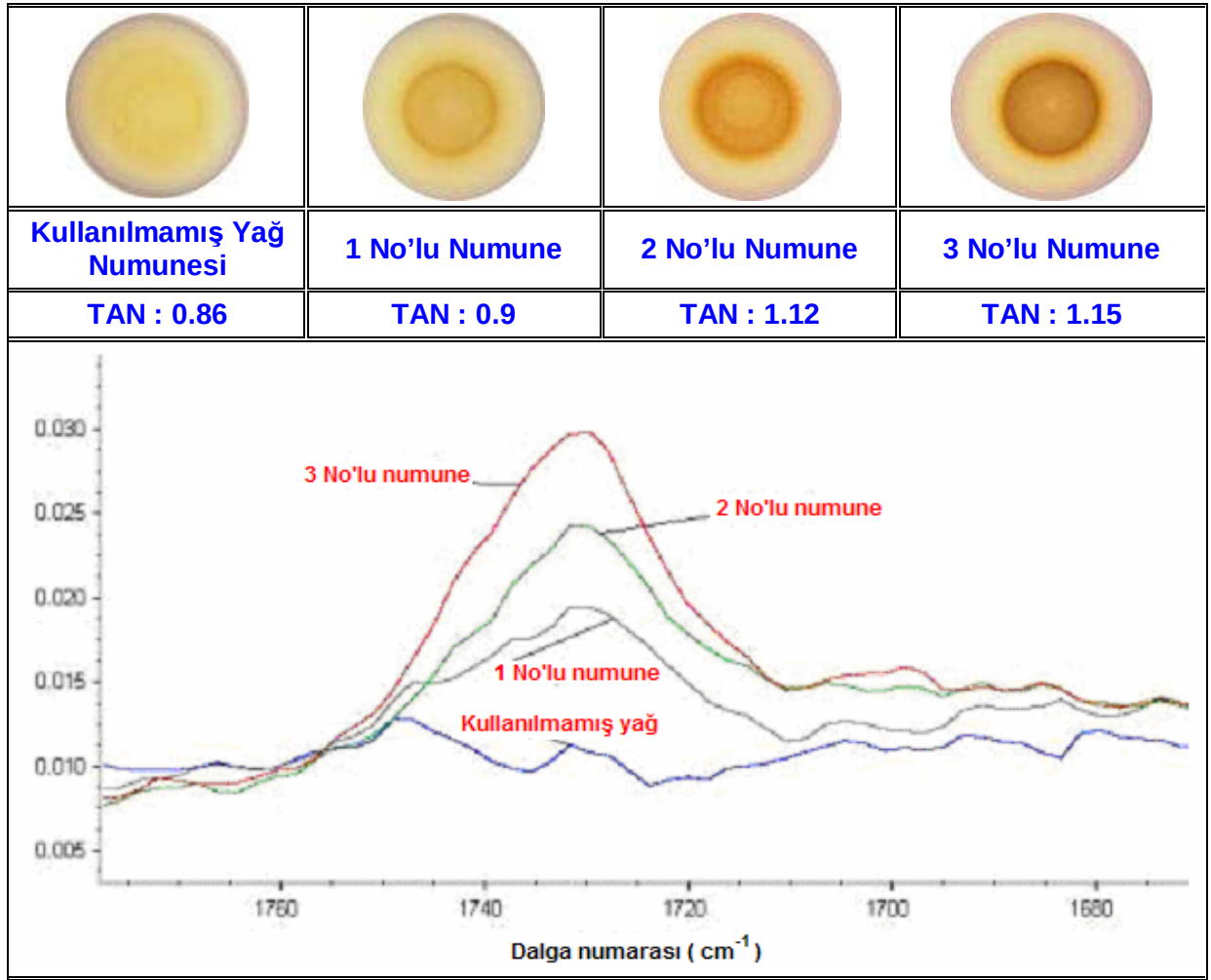
FT-IR spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) tekniği, bir yağ numunesi içindeki değişik moleküler bileşenlerin farklı kızılötesi dalga boylarında absorbe ve sahip oldukları transmisyon karakteristiklerinin ölçümünü prensibine dayanmaktadır. Moleküler bandların yoğunluk ve şekillerini karşılaştırarak moleküler yapıya bağlı bileşenler tanımlanabilmektedir. FT-IR analiz tekniği yağ içindeki su, glikol, kurum, oksidasyon, nitrasyon seviyelerinin ölçümünde kullanılır. Bu teknikte kullanılmamış yağın spektrumuyla makinede kullanılan, kullanılmış durumdaki yağ numunesinin belirlenen spektrumu karşılaştırılır [14]. Yağ tipinin, makine dizaynı ve çalıştırılma koşullarının spektral bilgi üzerinde önemli etkileri vardır. Sonuç olarak yağlama yağı ömür periyodu boyunca spektral değişikliklerle yağ kimyasındaki değişiklikler arasında sıkı bir ilişki vardır. Kullanılmış yağ numunesi içinde orjinal yağ yapısı, katkı maddeleri, yağ bozulmasına sebep olan kirlenici partiküller ile yağa karışan su, yakıt gibi diğer bileşenlerden kaynaklanan çok sayıda kompleks kimyasal bileşen karışımları mevcuttur. Bu kompleks kimyasal yapı, kullanılmış yağın kızılötesi spektrumu grafik analiz raporlarında çözümlenmesi güç, üst üste binen pik noktaları olarak karşımıza çıkar. Bu spektral yapının toplamı, yağ numunesinin

kızılötesi spektral yapısını oluşturmaktadır [25]. Şekil 9’da FT-IR spektroskopi tekniği çalışma şeması görülmektedir.



Şekil 9. FT-IR Spektroskopi Tekniği Çalışma Şeması [14]

Şekil 10’da laboratuvar ortamında yağlama yağı numunesinin kullanılmamış temiz yağ halinden kullanım periyodu arttıkça gösterdiği değişiklikler FT-IR analiz grafikleri, mikroskopik görüntüleri ve asit sayılarıyla karşılaştırılarak gösterilmiştir. Yağ numunelerinin mikroskopik görüntülerinde daire merkezindeki koyu bölge yükselen oksidasyon seviyesini göstermektedir.



Şekil 10. FT-IR Spektrometrik Analizi Grafik Gösterimi [25]

IV. GEMİ DİSEL MAKİNELERİNDE YAĞLAMA YAĞI SİSTEMLERİ

Gemi Diesel makinelerinde yağlama yağı sistemleri çarpma ile yağlama sistemi, cebri yağlama sistemi, yağlayıcı ile yağlama sistemi, yağ tavaları ile yağlama sistemi olmak üzere dört ana başlıkta incelenmektedir. Günümüz makinelerinde çoğunlukla cebri yağlanan ve silindirik metal yataklarla taşınan kam mili kullanılmaktadır.

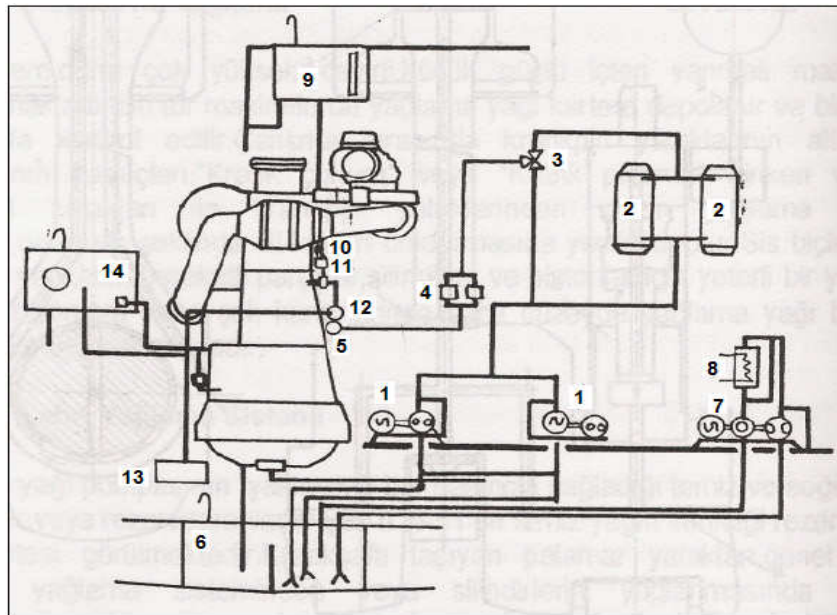
A. ÇARPMA İLE YAĞLAMA SİSTEMİ

Çarpma ile yağlama sistemi yüksek devirli, düşük çıkış gücüne sahip, karterinde sabit düzeyde yağlama yağı bulunduran gemi makinelerinde kullanılmaktadır. Yağlama yağı kartere depolanır ve çalışma sırasında krank pim yataklarının alt yarım parçaları krank çukurunda biriken ve ana krank mili yataklarından gelen yağlama yağına çarparak onun sis şeklinde veya pulvarize şekilde alt karteri doldurmasına yardımcı olur. Pulvarize biçimde dağılan yağlama yağı hareketli parçalar, silindir ve pistonlar için yeterli yağlamayı sağlar [27].

B. CEBRİ YAĞLAMA SİSTEMİ

Gemi Diesel makinelerinde krank mili ana yatakları, krank pim yatakları, piston pim ve yatakları, kam mili dişli donanımları ve diğer hareketli parçalar çoğunlukla cebri (zorlu) yağlama sistemi ile yağlanmaktadır. Hareketli parçalara ait dişli donanım yatakları ve aralarındaki boşluklar cebri devrenin sağladığı basınçlı yağla beslenmektedir. Yüksek çıkış gücüne sahip, ağır devirli gemi Diesel makinelerinde mevcut olan cebri yağlama sisteminde makine altında yağ karteri bulunmaktadır. Bu sistemin temeli yağın karterden sonraki dolaşımının basıncının arttırılarak sağlanmasına ve basınçlı yağ sisteminin oluşturulmasına dayanmaktadır. Pompalar yardımıyla karterden çekilerek makine içinde çeşitli filtrelerden, soğutuculardan geçirilen yağlama yağı, tüm mekanik sistemleri çeşitli

Sistemin çalışması, kullanılan gemilere göre sistem elemanları ve sayıları bakımından çeşitlilik göstermesine rağmen mekanizması ve mantığı aynıdır. Pompa vasıtasıyla karterden çekilen yağ, yağlama yağı soğutucusunda deniz suyu tarafından soğutularak çift filtrelerden geçirilir. Bu noktadan sonra iki kola ayrılarak makine boyunca uzanan yağ manifolduna diğer taraftan da piston soğutma devresine gönderilir. Manifolda gelen yağ, palamar yataklarını, krank pim yataklarını, piston soğutma devresinde ise piston pim ve yatakları yağlar. Isınmış ve kirlenmiş olan yağ kartere geri döner. Ayrıca makine çalıştırılmadan önce yağın basıncı makine dışında mevcut pompa vasıtasıyla arttırılarak ön yağlama sağlanır [27]. Şekil 11’de cebri yağlama sistemi genel işleyiş mekanizması görülmektedir.

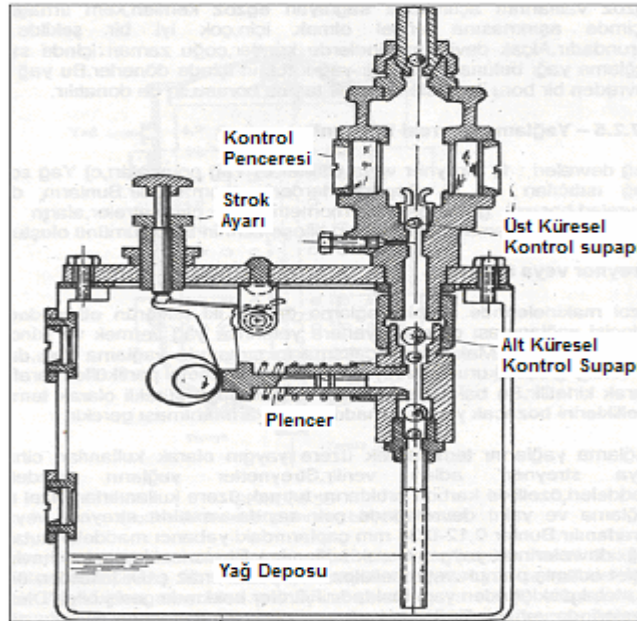


1. Yağ dolaşım pompası
2. Yağ soğutucuları
3. Termostatik supap
4. Çift filtreler
5. Yağ kolektörü
6. Yağ karteri
7. Seperator
8. Isıtıcı
9. Servis tankı
10. Yağ manifoldu
11. Yağ nozulu
12. Taşıntı devresi
13. Temiz yağ servis tankı
14. Yağ servis tankı

Şekil 11. Bir Gemi Diesel makinesinde cebri yağlama sistemi [27]

C. YAĞLAYICI İLE YAĞLAMA SİSTEMİ

Yağlayıcı ile yağlama, orta ve düşük devirli gemi Diesel makinelerinde kullanılmaktadır. Düşük devirli, silindir ve piston yüzeyleri büyük olan makinelerde silindir gömlekleri ve pistonların çarpma yoluyla yağlanmaları zor olduğundan bu sistem tercih edilmektedir. Bu sistemde yağlayıcı adı verilen mekanik yağdanlıklar kullanılır. Belirli zaman aralıklarında yağlama yağı mekanik yağdanlığın deposuna doldurulur. Yağlayıcılar vasıtasıyla silindirlere verilen yağ miktarı dakikada damla sayısı olarak belirtilir. Yağlayıcı içindeki plencerin stroğu büyütülüp küçültülerek damla sayısı çoğaltılır veya azaltılır. Makineden hareket alan bir eksantrik disk plencerin sola hareketi sırasında vakum oluşturur. Bu vakum etkisiyle kontrol supapları açılır ve depoda bulunan yağlama yağı plencerin boşalttığı hacmi doldurur. Plencerin sağa doğru hareketinde emilmiş olan yağ sıkıştırılır ve basıncı artırılır. Böylece sıkıştırılmış olan yağ ikinci kademe kontrol supapından geçirilerek besleme hattına verilir. Besleme hattının ucunda silindir gömleğine çepeçevre bağlı yağ nozulları bulunmaktadır. Silindir yağı bu nozullardan geçerek silindir layneri üzerine iletilir [27]. Şekil 12’de yağlayıcı ile yağlama mekanizması görülmektedir.



Şekil 12. Bir Gemi Diesel Makinesinde Yağlayıcı ile Yağlama Sistemi [27]

D. YAĞ TAVALARI İLE YAĞLAMA SİSTEMİ

Alçak devirli makinelerde kullanılan bu sistemde kam milini taşıyan yataklar ve kemler içinde sabit seviyede yağlama yağı bulunan derin bir yağ kabının içinde dönerler. Bu yağ kabı, basınçlı devreden bir boru ile beslenir ve bir taşıntı borusu ile donatılır.

V. TCG TURGUTREİS GEMİSİ ANA MAKİNE VE YAĞLAMA YAĞI SİSTEMİ

A. ANA MAKİNE TEKNİK BİLGİLERİ

1. Ana Makine Tahrik Bilgileri

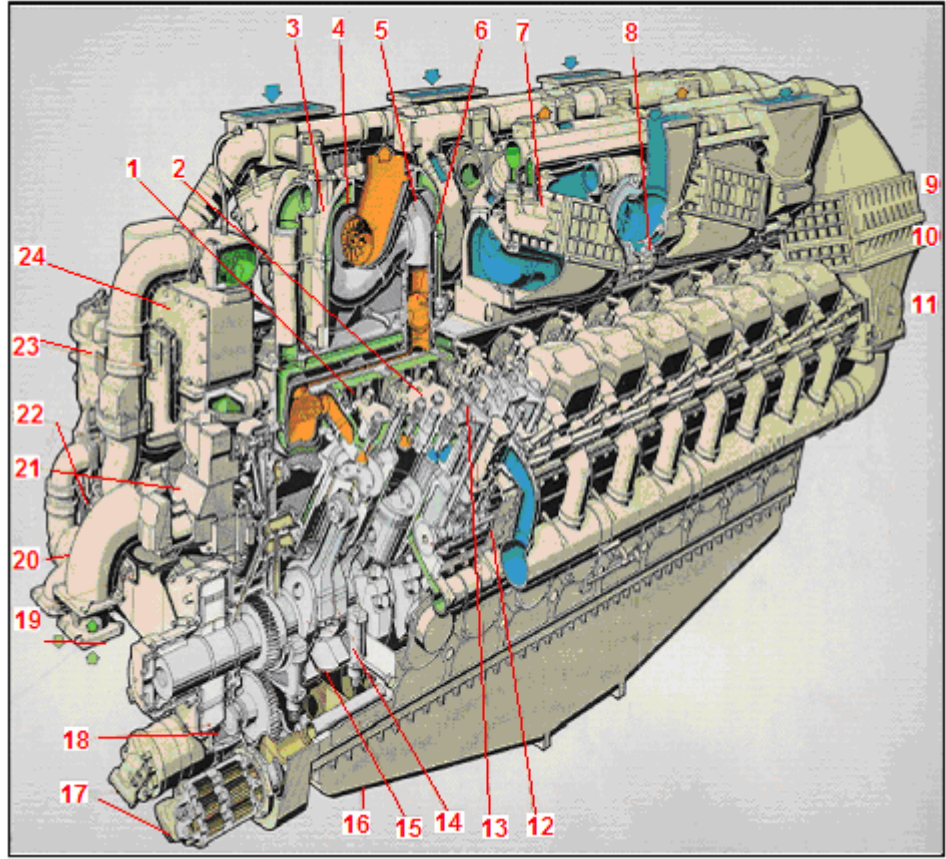
TCG TURGUTREİS fırkateyni ana makine tahrik bilgileri Tablo 2’de açıklanmaktadır [28].

İmalatçı Firma	MTU Friedrichshafen - ALMANYA
Makine Modeli	20 V 1163 TB 93
Devamlı Güç	6120 KW / 1220 RPM / 8207 HP
Aşırı Güç	6735 KW / 1260 RPM / 9032 HP (12 saat içinde maksimum 2 saat süreyle devamlı bu güçte makine çalıştırılabilir.)
Azami Güç	7400 KW / 1350 RPM / 9924 HP (12 saat içinde maksimum 1 saat süreyle devamlı bu güçte makine çalıştırılabilir.)
Maksimum Sürat	27 knot (4 ana makineyle tam yol)
İktisadi sürat	18 knot (2 ana makineyle tam yol)

Tablo 2. Ana Makine Tahrik Bilgileri [28]

Makine Modeli (MTU 20 V 1163 TB 93) Tanımlaması :

- MTU : ‘Motoren Und Turbinen Union Friedrichshafen GmBH’ isimli makine üretici alman firmasını tanımlayan koddur.
- 20 : Silindiri sayısını gösterir.
- V : Silindir blok tipini gösterir.
- 1163 : Bir silindir hacminin 100 katının litre olarak ifadesidir.
(Makinenin bir silindir hacmi 11.63 litredir.)
- T : Turboşarjlı olduğunu gösterir.
- B : Soğutma tipini gösterir.B tipi modellerde deniz suyu, şarj havasını ve tatlı suyu soğutur.C,E modellerinde ise şarj havasını tatlı su soğutur.
- 9 : Dizel makinenin kullanım maksadını ifade eden numaradır.1 kodu demiryolu için, 3 kodu kara tesisleri tipi için, 5 kodu deniz tesisleri tipi için, 6-8-9 kodları ise pervane tahrik dizelleri için kullanılır.
- 3 : Model geliştirme numarasıdır.



- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1. Egzost manifoldu | 13. Supap dişli grubu |
| 2. Silindir kafası | 14. Hareketli dişli grubu |
| 3. Taşıyıcı muhafaza | 15. Krank mili |
| 4. Alçak basınç turboşarj | 16. Yağ karteri |
| 5. Yüksek basınç turboşarj | 17. Yağ tulumbası |
| 6. Egzost klapesi | 18. Titreşim sönümleyicisi |
| 7. Alçak basınç ara soğutucu | 19. Deniz suyu tulumbası |
| 8. Hava klapesi | 20. Termostat |
| 9. Yüksek basınç hava soğutucu | 21. Regülatör |
| 10. Hava manifoldu | 22. Tatlı su tulumbası |
| 11. Acil hava emiş klapesi | 23. Yağ filtresi |
| 12. Yakıt enjektör pompası | 24. Yağ soğutucusu |

Şekil 13. TCG TURGUTREİS Fırkateyni Ana Makine Genel Görünümü

2. Ana Makine Genel Karakteristik Bilgileri

TCG TURGUTREİS fırkateyni ana makine genel karakteristik bilgileri Tablo 3’de açıklanmaktadır [28].

Strok Sayısı	Dört strok
Püskürtme Şekli	Direkt püskürtmeli
Aşırı Doldurma Şekli	İki kademeli ve kontrollü turboşarj
Soğutma Tipi	Su soğutmalı
Çıplak Makine Ağırlığı	23885 Kg
Karter Yağı Kapasitesi	1100 Kg
Makine Boyutları	Boy : 5438 mm En : 1886 mm Yükseklik : 3130 mm Yağ karteri-Krank mili arası yükseklik : 1035 mm
Silindir Sırası	60° - V tipi
Silindir Sayısı	20
Silindir çapı	230 mm
Strok Boyu	280 mm
Toplam Silindir Hacmi	232.6 lt
Sıkıştırma Oranı	9.75:1
Yakıt Püskürtme Basıncı	300 bar – 350 bar
Sıkıştırma Basıncı (40°soğutma suyu sıcaklığında)	20 bar (maksimum)
Ralanti Devrinde Tork	4100 Nm
Ralanti Devri	100-120 rpm
Piston Hızı	1220 rpm’de 11.38 m/s 1260 rpm’de 11.76 m/s 1300 rpm’de 12.13 m/s
Supap Boşlukları	Emme supapları : 0.3 mm Egzost supapları : 0.5 mm

Tablo 3. Ana Makine Genel Karakteristik Bilgileri [28]

3. Ana Makine Çalışma Basıncı Değerleri

BASINÇ	ÖLÇÜM NOKTASI	BASINÇ DEĞERİ
Yağlama yağı basıncı	Tulumba çıkışında tam yolda	5.5 bar (minimum)
Yağlama yağı basıncı	Tam yolda	3.5 bar (minimum)
Piston soğutma yağı basıncı	Piston soğutma yağ galerisi girişinde	6 bar (minimum)
Turboşarj yağ basıncı	Turboşarjdan önce	4.1 bar (minimum)
Yağ basınç farkı	Filtre giriş/çıkış farkı	1.5 bar (maksimum)
Soğutma suyu basınç farkı	Tatlı su tulumbası giriş/çıkış farkı	3 bar (maksimum)
Deniz suyu basınç farkı	Deniz suyu tulumbası giriş/çıkış farkı	2.5 bar (maksimum)
Yakıt basıncı	Pompa girişinde tam yolda	0.5 bar (minimum)
Şarj havası basıncı	Turboşarj çıkışında ve tam yolda	3.85 bar
İlk hareket havası basıncı	Hava dağıtıcı girişinde	20 bar (minimum)
Emme havası basıncı	Turboşarj girişinde	15 mbar (maksimum)
Egzost gazı geri basıncı	Turboşarj çıkışında	30 mbar (maksimum)

Tablo 4. Ana Makine Çalışma Basıncı Değerleri [28]

4. Ana Makine Çalışma Sıcaklık Değerleri

SICAKLIK	ÖLÇÜM NOKTASI	SICAKLIK DEĞERİ
Yağlama yağı sıcaklığı	Girişte	80°C (maksimum)
Soğutma suyu sıcaklığı	Çıkışta	90°C (maksimum)
Soğutma suyu sıcaklığı	Ön ısıtma çıkışı	40°C (minimum)
Egzost gazı sıcaklığı	Silindir çıkışı	720°C (maksimum)
Egzost gazı sıcaklığı	Turboşarj çıkışı	620°C (maksimum)
Şarj havası sıcaklığı	Şarj hava soğutucusu çıkışı	50°C (maksimum)

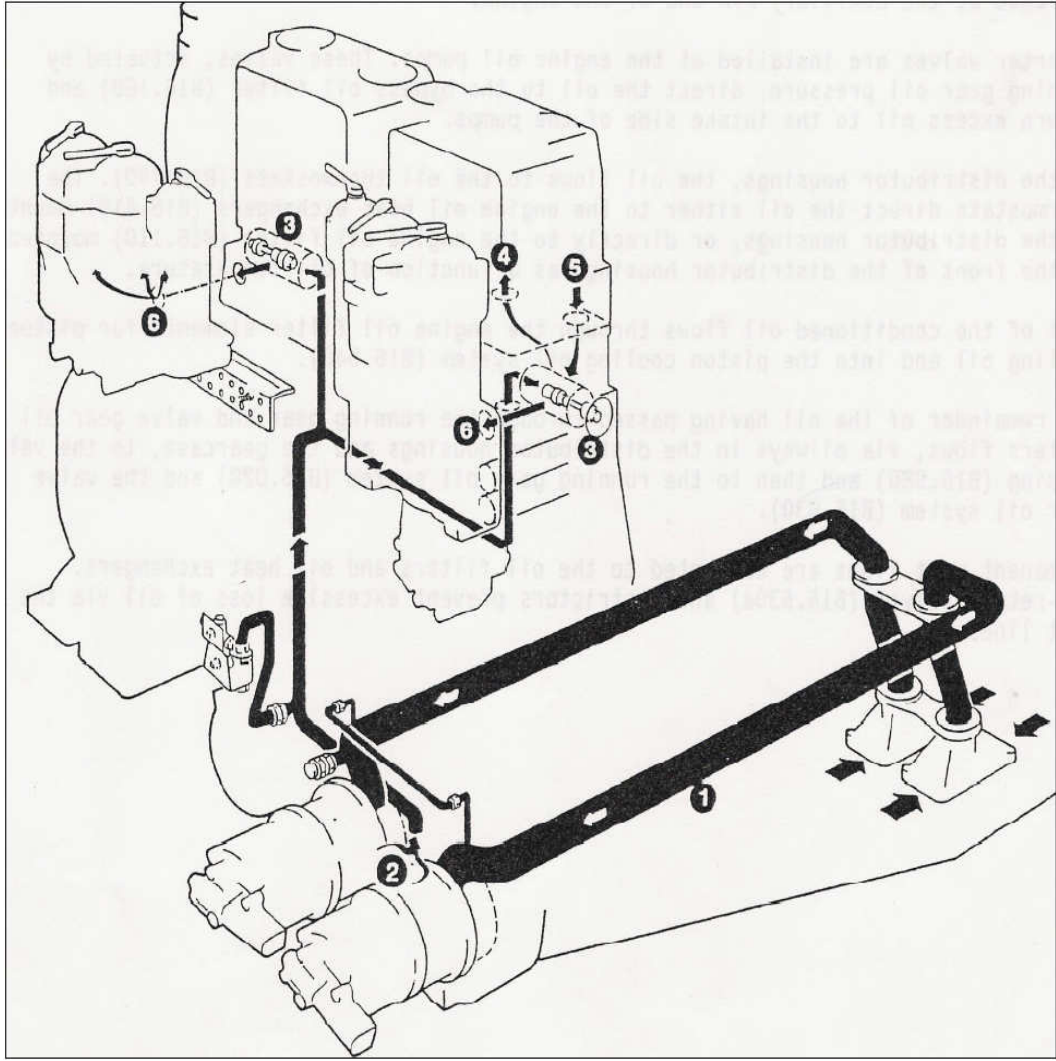
Tablo 5. Ana Makine Çalışma Sıcaklık Değerleri [28]

B. ANA MAKİNE YAĞLAMA YAĞI SİSTEMİ

Ana makine yağlama yağı sistemi **cebri yağlama sistemi** olup yağ filtreleme sistemi, hareketli parçalar ve supap mekanizmasını yağlama sistemi, piston soğutma yağ sistemi, supap tablası ve oturma yüzeyi yağlama sistemi, karter yağ seviyesi düzenleme sistemi ve ön yağlama sistemi gibi alt sistemleri ihtiva eder [28].

1. Yağ Filtreleme Sistemi

Yağlama yağı tulumbaları karterden emdikleri yağı makinenin yardımcı güç çıkışı tarafındaki dişli muhafaza içinden geçirerek aynı muhafazanın üzerine monte edilmiş dağıtım bölgesine sevk eder. Bu bölgede yağ termostata gelir ve sıcaklığına göre ya yağlama yağı soğutucusuna veya yağlama yağı filtrelerine gönderilir. Tulumbaların üzerine monte edilmiş olan yönlendirici supaplar ise yağlama yağını ana yağ dağıtım bölgesine sevk ederken fazlasını by-pass filtreye, daha fazlasını ise tulumba alıcılarına sevk ederler. Yağlama yağının bir kısmı ise piston soğutma yağı olarak ayrılır ve filtrelerden geçtikten sonra yağ dağıtım bölgesindeki basınç muhafaza supaplarına sevk edilir. Açma basıncında açılan bu supaplar piston soğutma yağını bloktaki piston soğutma yağ galerisine sevk eder. Bu galeriden kanallarla bloğun ortasına yerleştirilmiş nozul taşıyıcılarına gelen yağ her nozul taşıyıcıya yerleştirilmiş iki adet nozulla pistonlara püskürtülür. Pistonların etek kısmında mevcut kanaldan geçen yağ, etekle yağ arasındaki soğutma bölmesinde toplanır. Burada da piston pimi yağlanarak serbest akışla kartere döner. Filtreleri terk eden yağdan kalan yağ, yağ dağıtım bölgesinden ve dişli muhafazasından geçerek supap bölmesine gelir ve buradan ayrılarak hareketli parçalar sistemine ve supap mekanizması yağ sistemlerine gider. Yağlama yağı filtreleri ve soğutucusu devamlı açık hava firar devreleri ile donatılmışlardır. Geri döndürmez supaplar bu devrelerden aşırı miktarda yağın kaçarak oluşabilecek yağ kaybını önlerler [28]. Ana makine yağ filtreleme sistemi Şekil 14’de gösterilmektedir.



1. Yağ tulumbalarına yağ girişi
2. Yağ tulumbalarından basınçlı yağ çıkışı
3. Yağ termostatu
4. Yağ soğutucusuna basınçlı yağ girişi
5. Yağ soğutucusundan basınçlı yağ çıkışı
6. Yağ filtrelerine giriş

Şekil 14. Ana Makine Yağ Filtreleme Sistemi [28]

2. Hareketli Parçalar Yağlama Sistemi

Yağ filtreleme sisteminden gelen yağ supap bölmesinden kanallarla regülatöre, yakıt pompaları kumanda donanımı ve tulumbalar üzerindeki akış yönlendirici supaplara gönderilir. Bu bölümde yağ, supap bölmesinden dişli muhafazadaki yağ kanalıyla bloktaki ana yağ galerisine sevk edilir. Ana yağ galerisine gelen yağ devrelerle regülatöre, aynı zamanda üç yollu supapa ve çabuk kapama supapına gönderilir. Ana güç çıkış tarafında ise supap tablası yağlama tulumbasına ve turboşarjlara devrelerle sevk edilir [28].

Yağlama yağı, krank mili içine açılmış kanallarla palamar yataklara, kol yataklarına ve titreşim sönümleyicisine gönderilir. Palamar yataklarda ve kol yataklarda yağ hem yağlama hem soğutma görevi yapar. Kol yataklarını yağlayan ve sıçrayan yağın bir kısmı silindir gömleğine çarparak yağlar. Titreşim sönümleyicisinde ise burç yay paketini yağlar ve soğutur.

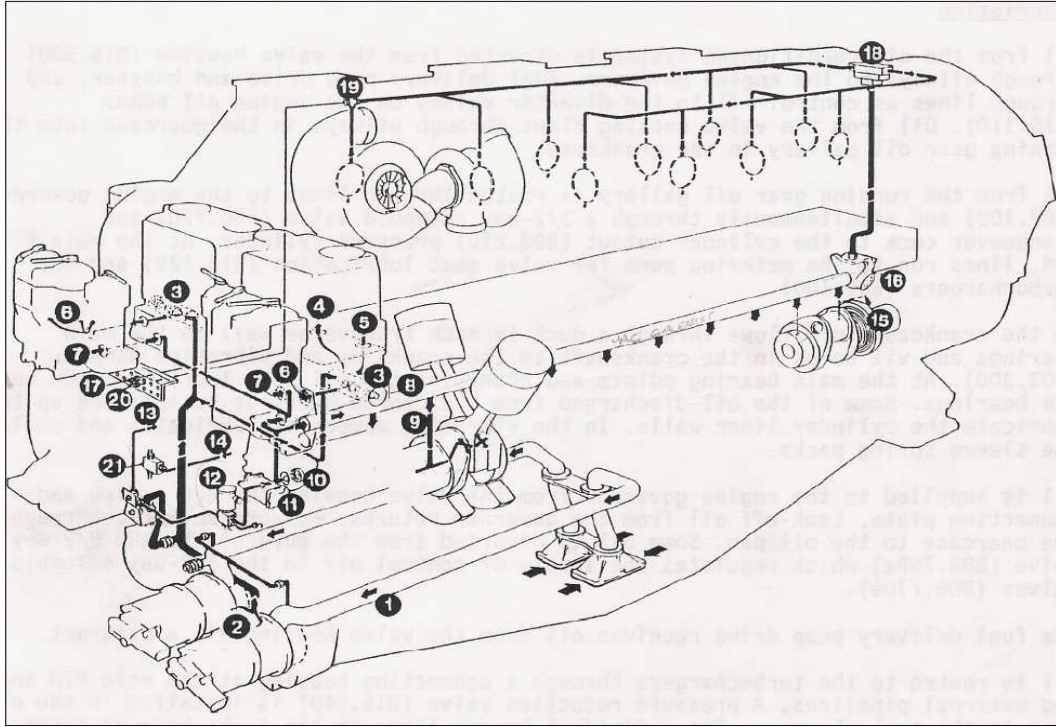
Regülatöre yağ supap bölgesinden boru ve bağlantı levhası vasıtasıyla gelir. Regülatörde kullanılan yağ basınçsız olarak dişli muhafazası vasıtasıyla kartere döner. Regülatörden alınan bir miktar yağ üç yollu supapa gelir ve burada selenoid supaplara giden kontrol havasını ayarlar.

Yakıt pompaları hareket mekanizması, yağı supap bölmesinden gelen kanallarla alır. Turboşarjlara ise ana güç çıkış tarafından iştirakli bir boru devresi ile alınan yağ sevk edilir. Turboşarjlara giden devreye bir basınç düşürücü supap monte edilmiştir. Turboşarjları yağlayan yağ basınçsız olarak turboşarj montaj levhası kanallarından, egzost manifoldundan ve borulardan geçerek kartere dökülür. Turboşarj yağ besleme devresinin sonuna konan bir orifis sayesinde devamlı açık tutulan turboşarj yağ hava firar devreleri sistemin devamlı havasını alır [28].

Yağ filtreleme sisteminden basınç tutucu supapın açılmasıyla ayrılan yağ, dişli muhafaza içindeki kanallardan geçerek kam mili kanallarına gelir. Kam

mili kanallarından da kam mili yataklarına, kam mili yataklarından ayrılarak da sokerlere sevk edilir.

Yağ, krank milinden direkt olarak kam mili yuvası kapaklarına, oradan silindir kafası içinde açılmış kanallardan geçerek kam miline ulaşır. Kam mili yataklarını yağlayan yağ, kartere inmeden önce son olarak kem takip parçalarını, supap ayar vidalarını ve itecek uçlarını yağlar. Bu işlemten sonra yağ kartere inerek çevrim tamamlanır [28]. Ana makine hareketli parçaları yağlama sistemi Şekil 15’de gösterilmektedir.

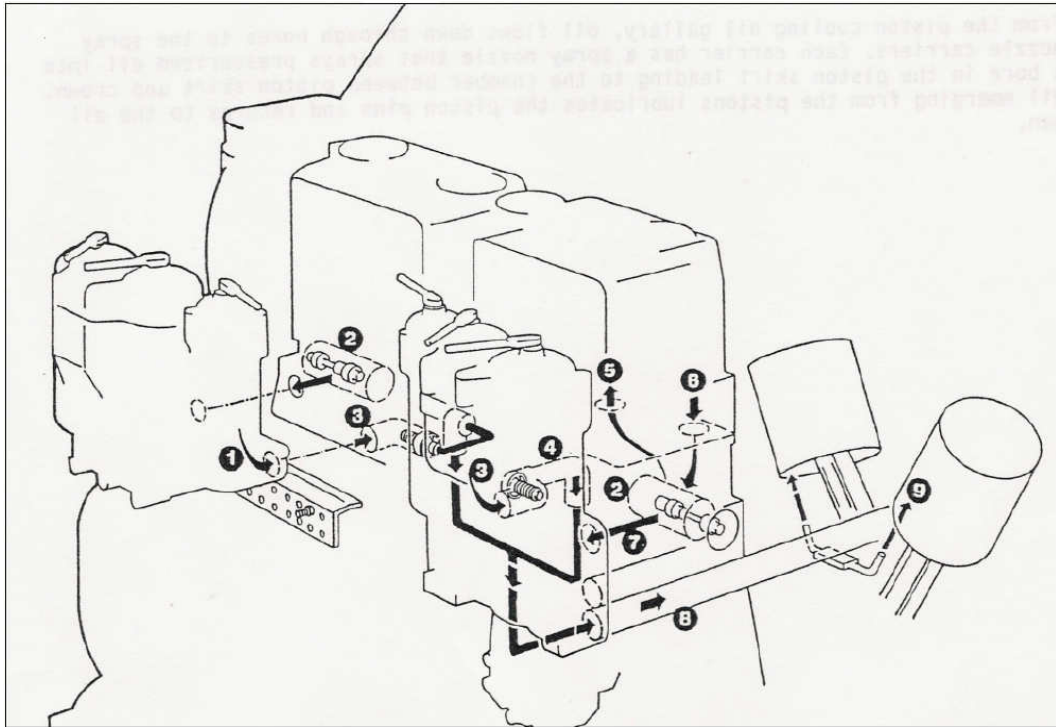


- | | |
|--|---|
| 1. Yağ ölçüm noktası | 9. Yağ basınç arttırıcı |
| 2. Basınç düşürücü supap | 10. 3/2 selenoid supap |
| 3. Yağ ölçüm noktası (dişli grup) | 11. Regülatörden yağ çıkışı |
| 4. Krank mili yatağı | 12. Basınç silindirine yağ girişi |
| 5. Yağ galerisi | 13. Yağ basınç düşürücü supapı |
| 6. Yataklara yağ girişi | 14. Turboşarj kontrol hava supapı |
| 7. Yağ galerisinden yağ filtresine giriş | 15. Turboşarj yağ basınç ölçüm noktası |
| 8. Kontrol yağ basınç tutucu supapı | 16. Yağ galerisi ölçüm noktası bağlantısı |

Şekil 15. Ana Makine Hareketli Parçaları Yağlama Sistemi [28]

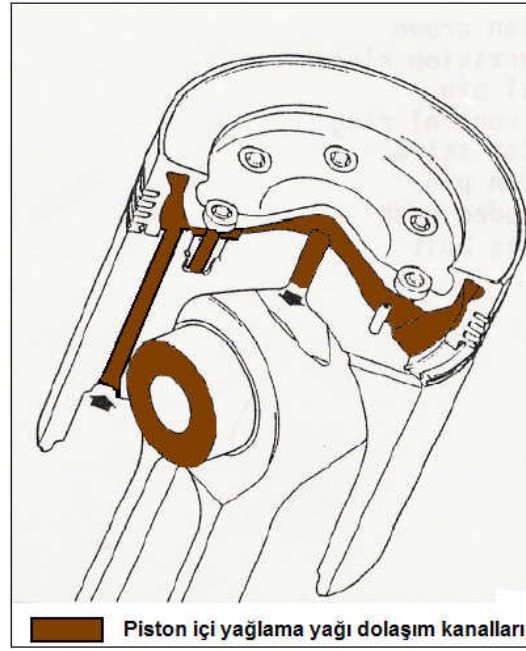
3. Piston Soğutma Yağ Sistemi

Yağ filtreleme sisteminden piston yağ soğutma filtresine gelen yağ, yağ dağıtım kutusu içindeki basınç tutucu supapına gelir. Basınç 0.5 bar'a ulaştığında supapın açılmasıyla yağlama yağı piston yağ galerisine gelir. Burada püskürtme nozulları vasıtasıyla pistonun etek kısmına açılmış yağ kanalına ulaşır. Piston eteğini ve piston kafasını soğuttuktan sonra piston pimini de yağlayarak kartere döner [28]. Ana makine piston soğutma yağ sistemi Şekil 16'da, piston segmanları ve yağ dolaşım kanalları Şekil 17 ve Şekil 18'de gösterilmektedir.

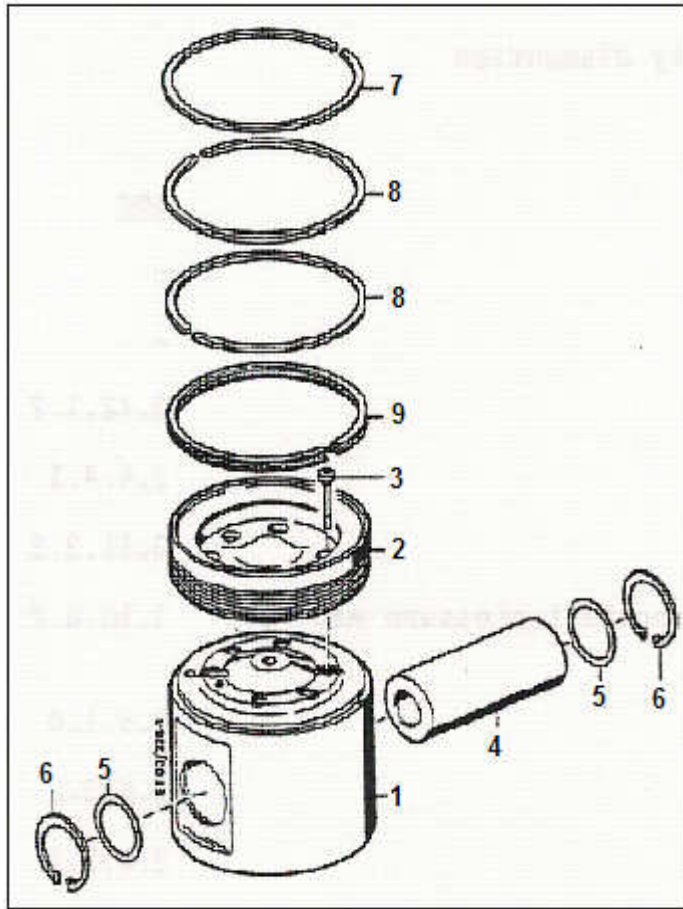


1. Piston soğutma yağ filtresinden yağ çıkışı
2. Yağ termostatu
3. Basınç tutma supapına yağ girişi
4. Yağ galerisine yağ girişi
5. Yağ soğutucusuna yağ girişi
6. Yağ soğutucusundan yağ çıkışı
7. Piston soğutma yağ filtresine yağ girişi
8. Yağ galerisi
9. Yağ nozulları

Şekil 16. Ana Makine Piston Soğutma Yağ Sistemi [28]



Şekil 17. Piston İçi Yağ Dolaşım Kanalları

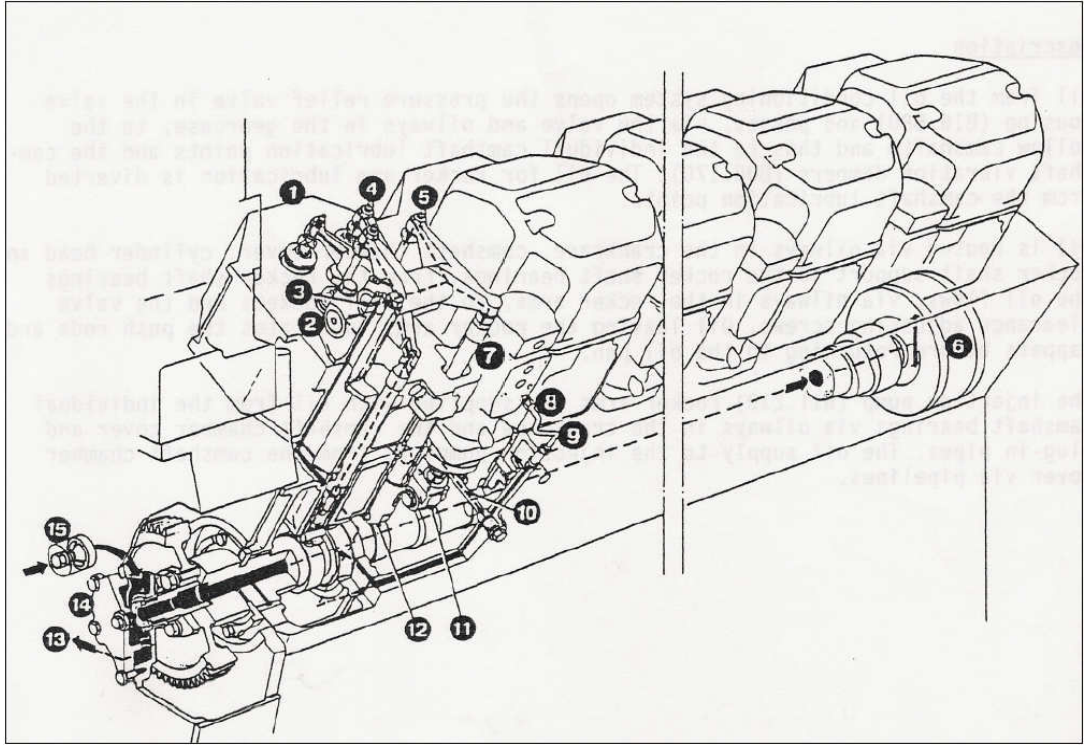


1. Piston eteği
2. Piston kafası
3. Bağlantı civatası
4. Piston pim
5. Destek pulu
6. Dış segman
7. Kompresyon segmanı
8. Kompresyon segmanı
9. Spiral yaylı yağ segmanı

Şekil 18. Piston Segmanları [28]

4. Supap Donanımı Yağ Sistemi

Soğutulmuş ve temizlenmiş yağ, supap yuvasının içindeki basınç düşürücü supapını açar ve dişli içindeki pasajlardan geçerek ortasında delik bulunan kam miline girer. Burada kam mili yağlama noktalarında bölünerek külbütörleri yağlar. Ayrıca yağlama yağı krank mili içindeki kanallardan kam mili yuvası kapaklarına ve silindir kafası içinden geçip külbütör taşıyıcılarını yağlayıp külbütör mili yataklarına girer. Böylece külbütörleri yağlayan yağ, uç kısımlarda bulunan supap ayar vidasına ulaşır. Buradan yağlama yağı kartere geri döner [28]. Ana makine supap donanımı yağ sistemi Şekil 19’da gösterilmektedir.

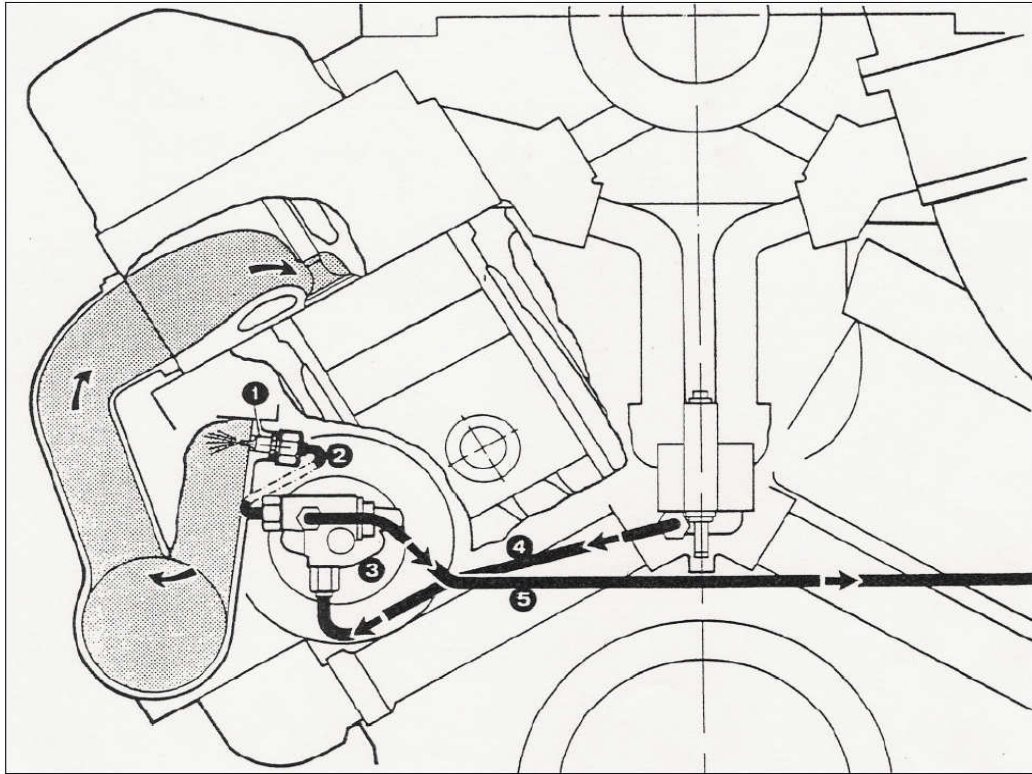


- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Silindir kafası | 9. Adaptör |
| 2. Külbütör mil yatağı | 10. Külbütör mili yağ devresi |
| 3. Külbütör mili | 11. Pompa ve külbütör bağlantısı |
| 4. Egzost supapı külbütör bağlantısı | 12. Kam takip mili |
| 5. Emme supapı külbütör bağlantısı | 13. Yağ dağılım noktası |
| 6. Titreşim damperi | 14. Sağ blok kam miline gidiş |
| 7. İtecek kolu | 15. Basınç tutucu supap |
| 8. Yakıt pompası ve yağ devresi | |

Şekil 19. Ana Makine Supap Donanımı Yağ Sistemi [28]

5. Supap Tablası Ve Oturma Yüzeyi Yağlama Sistemi

Supap tablası yağlama tulumbası makinenin ana güç çıkış tarafına monte edilmiştir. Hareketini ise sol blok kam milinden kaplinle alır. Bu tulumbaya yağ, hareketli parçaları yağlama sisteminden (ana yağ galerisi) bir selenoid supap vasıtasıyla gelir. Yağlama yağı, basıncı düşürülüp miktarı azaltılarak yağ püskürtme nozullarına sevk edilir. Şarj havası manifoldlarına basınçlı şarj havası içine püskürtülen yağ, şarj havası ile karışarak emme supapının oturma yüzeyi ve disklerini yağlar ve aşınmaya karşı korur. Selenoid supap elektronik kontrol sistemi tarafından ikazlanır ve sistemin ralanti devrinde veya düşük yük durumlarında kapatılmasını sağlar [28]. Ana makine supap tablası ve oturma yüzeyi yağlama sistemi Şekil 20’de gösterilmektedir.



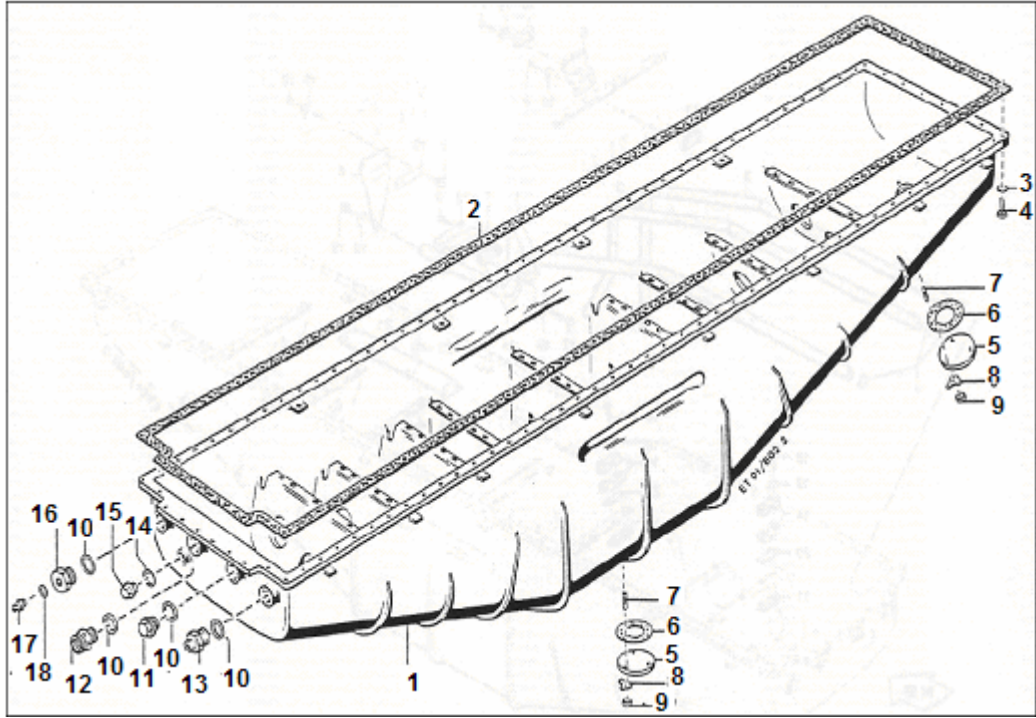
1. Yağ püskürtme nozulları
2. Hava manifolduna giden yağ devresi (sol taraf)
3. Supap tablası yağlama tulumbası
4. Yağ besleme devresi
5. Hava manifolduna giden yağ devresi (sağ taraf)

Şekil 20. Ana Makine Supap Tablası ve Oturma Yüzeyi Yağlama Sistemi [28]

6. Karter Yağ Seviye Düzenleme Sistemi

Karterdeki yağ seviyesini düzenlemek için dizayn edilmiş bir sistemdir. Makine çalıştığında yağ seviye düzenleme tulumbasının yağ ikmal elemanı yağlama yağını tanktan alarak (6 lt/dak) bir geri döndürmez supaptan (0.5 bar) geçirip kartere devamlı olarak pompalar. Karterde yağ seviyesi belli bir seviyeye ulaştığında devamlı çalışmakta olan tahliye elemanı da karterden emme yapmaya başlayacak ve emdiği fazla yağı basınç tutucu supaptan geçirerek (0.5 bar) tanka geri döndürecektir (8.5 lt/dak.) [28].

Yağ seviye düzenleme tulumbası, makinenin ana güç tarafına (sancak tarafına) monte edilmiştir. Yağ tankı da aynı dairede alabandaya monte edilmiştir. Tulumbanın karter ve tank irtibatları boru devreleriyle sağlanmıştır. Karterden yağ emiş devresi o şekilde yapılmıştır ki, sadece karterdeki fazla yağ emilebilir. Yağ seviyesi ayarlanan seviyenin altına düştüğünde bu devreden emiş yapılamaz. Basınç tutucu supap, tulumba çıkışını terk eden yağın akışını sınırlayarak sistem basıncını ölçme ve kontrol etme imkanı sağlar. İkmal tulumbasının kapasitesi tahliye tulumbasının kapasitesinden daha azdır. Bu nedenle kartere yağ basma faaliyeti (ikmal tulumbası ile) devamlı, karterden ise (tahliye tulumbası ile) kesik kesik fakat daha fazla miktarlarda olur. Bu şekilde karterin fazla doldurulması önlenir [28]. Ana makine yağlama yağı karteri Şekil 21’de gösterilmektedir.



- | | |
|-------------------------|----------------------|
| 1. Karter muhafazası | 10. Ara conta |
| 2. Sızdırmazlık contası | 11. Tapa |
| 3. Pul | 12. Bağlantı contası |
| 4. Bağlantı vidası | 13. Bağlantı contası |
| 5. Kapak | 14. Ara conta |
| 6. Ara yüzey contası | 15. Tapa |
| 7. Bağlantı vidası | 16. Bağlantı contası |
| 8. Somun pulu | 17. Bağlantı contası |
| 9. Vida somunu | 18. Ara conta |

Şekil 21. Ana Makine Yağlama Yağı Karteri [28]

7. Ön Yağlama Sistemi

Ön yağlama tulumbası makine üzerinde olmayıp ayrı bir yere montelidir. Tulumbanın vazifesi makine çalışmadan önce yağlama yağı sisteminin yağ ile dolmasını ve basıncın yükselmesini sağlamaktır. Ön yağlama tulumbası yağı karterden emerken yağ bir geri döndürmez supaptan geçerek tulumbanın emiş tarafına gelir. Tulumba tarafından yağ bıçak tipi filtreye pompalanır, oradan da regülatöre sevk edilir. Artan yağ, akış yönlendirme ve basınç tutucu supaplardan geçirilerek makine yağ sistemine gönderilir. Akış yönlendirme ve basınç tutucu

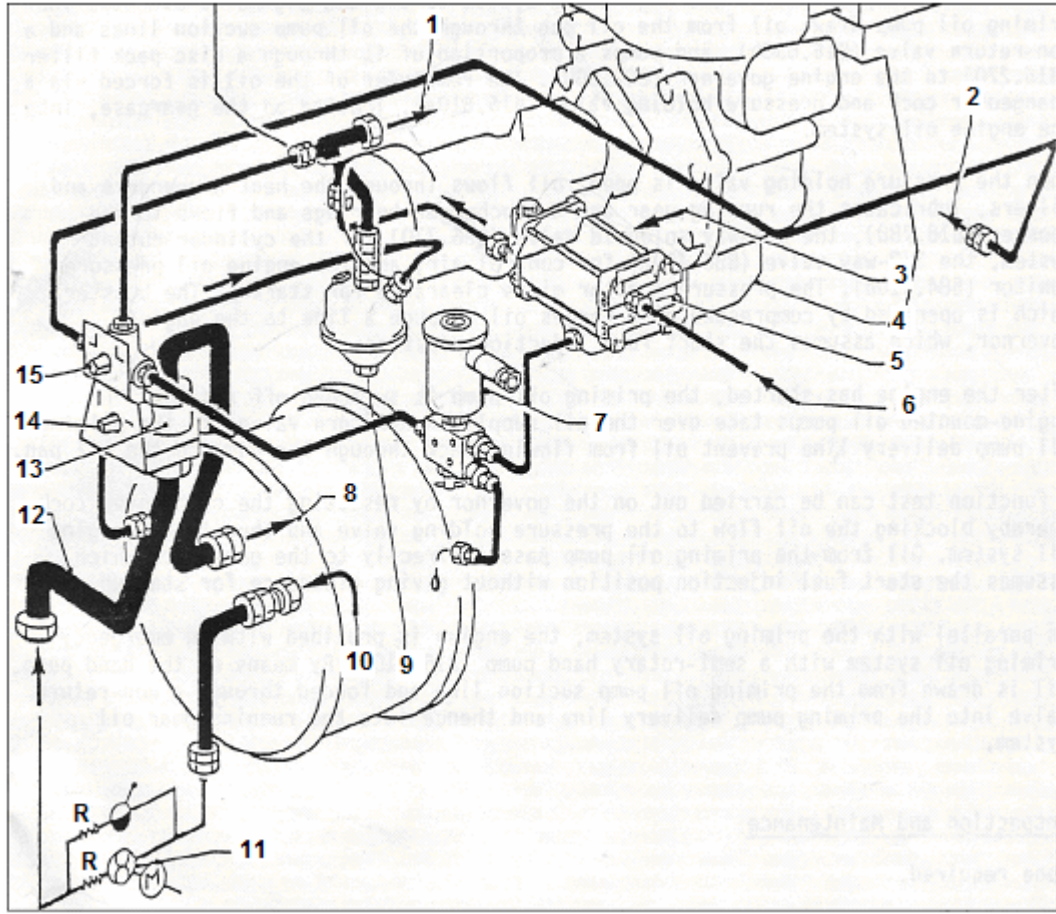
supaplar makinenin yardımcı güç çıkış tarafında dişli muhafazanın üzerine monte edilmiştir [28].

Basınç tutucu supapın açılmasıyla yağlama yağı, yağ soğutucuları ve filtrelerden geçerek hareketli parçaların yataklarını yağlar. Bu işlemten sonra 1.5 bar'lık yağ basıncını 5.5-6 bar seviyesine 40 bar'lık hava basıncını kullanarak çıkaran (ilk start anında regülatör rek açısını yükseltmek için) yağ basınç arttırıcısına gider. Daha sonra sırasıyla basınç silindirin üç yollu selenoid supapına, şarj transfer kontrol havasına ve makine basınç monitörüne gider. Basınç monitörü bir boşluğa sahip olup ön yağlama basıncı makinenin startı için yeterli gelmez. Basıncılı hava ile çalışan yağ basınç arttırıcı vasıtasıyla basıncı arttırılan yağ regülatöre sevk edilir. Regülatörün start yakıt pozisyonuna gelmesi sağlanır.

Akış yönlendirme supapının test konumuna alınmasıyla basınç tutucu supapı yağ gelişini köreltilir ve makine yağlama yağı sistemine yağ gidemez. Ön yağlama tulumbasının bastığı yağ direkt olarak regülatöre gider ve herhangi bir boşluk bırakmadan regülatörü çalışma yakıt pozisyonuna alır.

Makinenin çalışmasıyla birlikte ön yağlama tulumbasının elektrik devresi otomatik olarak kesilir ve makineye monte edilmiş iki yağlama yağı tulumbası makinenin yağlanması görevini üstlenir. Ön yağlama tulumbası çıkış tarafına bağlanmış olan geri döndürmez supaplar (0.5 bar) yağlama yağının ön yağlama tulumbasından geçerek kartere dönmesini sağlar.

Ayrıca acil durumlarda (ön yağlama tulumbasında problem olması gibi) ön yağlama tulumbasına paralel olarak donatılmış bir manuel ön yağlama tulumbası vardır. Emme devresi ön yağlama tulumbasının emme devresine, basma kısmı da bir geri döndürmez supaptan geçirilerek ön yağlama tulumbasının basma kısmına bağlanmıştır [28]. Ana makine ön yağlama sistemi Şekil 22'de gösterilmektedir.



- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1. Regülatöre yağ girişi | 9. Regülatör disk tipi filtre |
| 2. Basınç silindirine yağ girişi | 10. Ön yağlama tulumbası giriş |
| 3. Yağ basınç arttırıcısına yağ girişi | 11. Ön yağlama tulumbası |
| 4. Basınç tutucu supap | 12. Ön yağlama tulumbası çıkış |
| 5. Yağ basınç arttırıcısı | 13. Basınç tutucu supap |
| 6. Basıncılı hava | 14. Regülatör kontrol supapı |
| 7. 3/2 selenoid supap | 15. Basınç silindiri kontrol supapı |
| 8. Krank mili yağlama yağı devresi | R. Geri döndürmez supap |

Şekil 22. Ana Makine Ön Yağlama Sistemi [28]

C. ANA MAKİNE YAĞLAMA YAĞI SİSTEM ELEMANLARI

1. Ana Makine Yağlama Yağı Filtreleri

Ana makinede mevcut yağ filtrelerinin kullanım amaçları ve adetleri Tablo 6’da açıklanmaktadır.

Kullanım Maksadı	Adet
Hareketli Parçalar ve Supap Mekanizması Yağ Filtresi (Kağıt Filtre Elemanı ve Bıçak Tipi Filtre)	4
Piston Soğutma Yağ Filtresi (Bıçak Tipi Filtre)	2
By-Pass Yağ Filtresi	12
Ön yağlama Devresi Disk Tipi Filtre	1

Tablo 6. Ana Makinede Mevcut Yağ Filtreleri [28]

a. Hareketli Parçalar ve Supap Mekanizması Yağ Filtresi

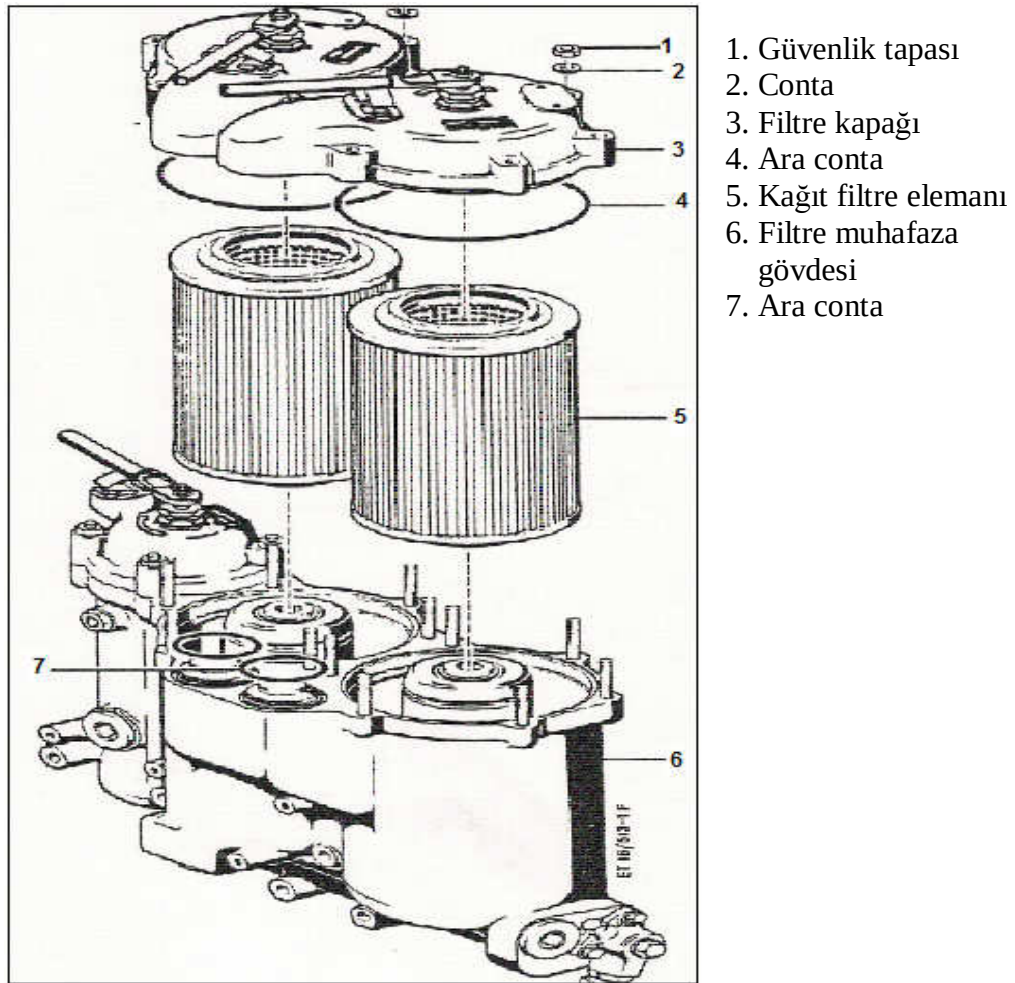
Hareketli parçalar ve supap mekanizması yağ filtresi kağıt filtre elemanı teknik özellikleri Tablo 7’de açıklanmaktadır.

Hareketli Parçalar ve Supap Mekanizması Yağ Filtresi Kağıt Filtre Elemanı	
Modeli	MTU AF 33
Partikül büyüklüğü	0.015 mm
Basınç düşürücü supap basıncı	2.5 bar

Tablo 7. Hareketli Parçalar ve Supap Mekanizması Kağıt Filtre Elemanı [28]

Hareketli parçalar ve supap mekanizması yağ filtreleri, çift filtre tipi olup makinenin yardımcı güç çıkış tarafına monte edilmişlerdir. Çift filtre yuvalarında hareketli parçalar ve supap mekanizması sistemlerinin yağlarının süzüldüğü iki adet kombine (kağıt ve bıçak tipi filtre) filtre mevcuttur.

Yağlama yağı filtre yuvasına alt taraftan girer, kağıt filtre elemanının dışından içine geçerken süzülür ve seperatörün dış tarafından kapağa yükselir. Yağ içindeki istenmeyen maddeler kağıt filtrenin dışında kalır. Filtre muhafazası içinde seperatörün dışından içine geçerken tekrar süzülür ve filtre muhafazasının altında bulunan çıkış kanalından muhafazayı terk eder. Filtre elemanının tıkanması halinde kapağın içinde mevcut basınç düşürücü supap açılarak kağıt filtre devre dışı kalır ve yağ direkt olarak bıçak tipi filtreye gönderilir. Basınç düşürücü supapın açılmasıyla yeterli süzme elde edilemediği takdirde kağıt filtre yenisiyle değiştirilerek basınç düşürücü supapın açması önlenmiş olur [28]. Hareketli parçalar ve supap mekanizması kağıt filtre elemanı Şekil 23’de, bıçak tipi filtre kısmı Şekil 24’de gösterilmektedir.



Şekil 23. Hareketli Parçalar ve Supap Mekanizması Kağıt Filtre Elemanı [28]

b. Piston Soğutma Yağ Filtresi

Piston soğutma yağ filtresi bıçak tipi filtre elemanı teknik özellikleri Tablo 8’de açıklanmaktadır.

Piston Soğutma Yağ Filtresi Bıçak Tipi Filtre Elemanı	
Modeli	MTU FO 689/1
Partikül büyüklüğü	0.05 mm
Test basıncı	22 bar

Tablo 8. Piston Soğutma Yağ Filtresi Bıçak Tipi Filtre Elemanı

Piston soğutma yağ filtresi, ana makine yardımcı güç çıkış tarafına monte edilmiş olan hareketli parçalar ve supap mekanizması yağ çift filtre muhafazalarının yanında yer alır. Tek filtre yuvasında piston soğutma sistemine giren yağın süzüldüğü bir adet bıçak tipi filtre mevcuttur [28].

Yağlama yağı, filtre muhafazasının altından girer ve filtre elemanının dışından içine geçerken süzülür. Müsaade edilmeyen partiküller filtrenin dış yüzeyinde tutulur. Filtrede süzülerek iç boşluğa geçen yağ aşağı doğru akarak çıkış kanalından muhafazayı terk eder. Filtre elemanını temizlemek için muhafazanın üstündeki kolu çevirmek yeterlidir. Bu şekilde yerlerinden oynayan partiküller dipte toplanarak tortu boşaltma tapasından zaman zaman dışarı atılır.

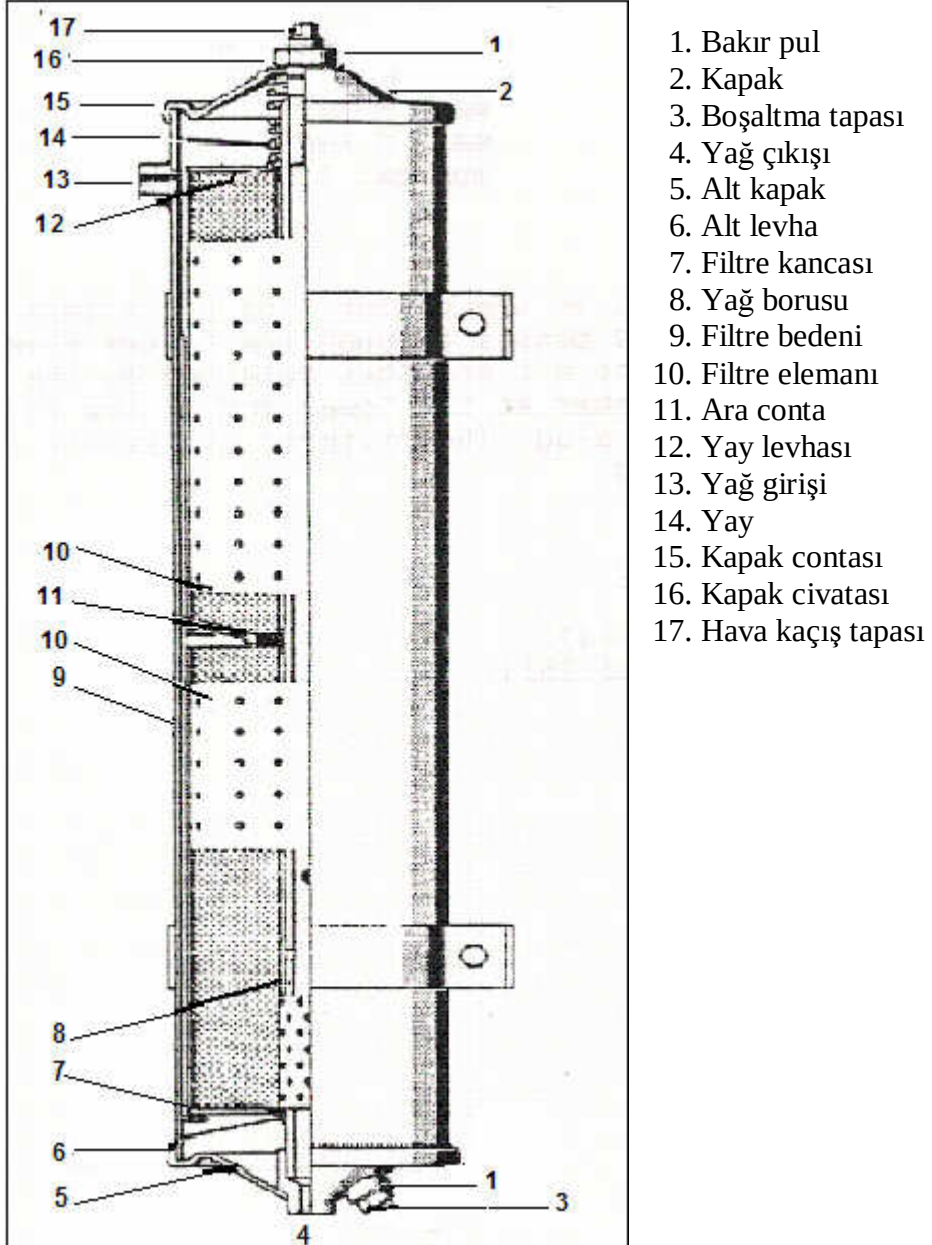
c. By-Pass Yağ Filtresi

By-pass yağ filtresi teknik özellikleri Tablo 9’da açıklanmaktadır.

By-pass Yağ Filtresi	
Modeli	Hammet,Münster H2 EM 18
Çalışma basıncı	Maksimum 4 bar
Test basıncı	Maksimum 6 bar

Tablo 9. By-pass Yağ Filtresi [28]

By-pass filtreler grup olarak makinenin yakınında ayrı bir yere monte edilmişlerdir. Yağlama yağı muhafazasının üstüne yakın bir yerden girer. Filtre elemanının dışından içine geçerken süzülür ve ortadan aşağı inerek alt kapağın ortasından muhafazayı terk eder. Filtre elemanının dışında kalarak dibe dökülen partiküller boşaltma tapasından zaman zaman boşaltılarak atılırlar [28]. Şekil 25’de by-pass yağ filtesi gösterilmektedir.



Şekil 25. By-pass Yağ Filtresi [28]

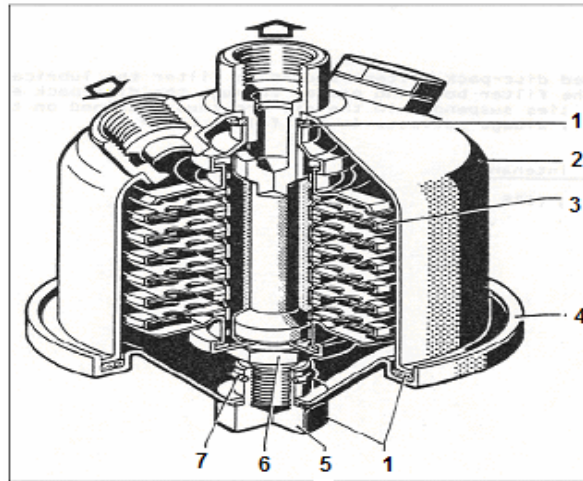
d. Ön yağlama Devresi Disk Tipi Filtre

Ön yağlama devresi disk tipi filtre teknik özellikleri Tablo 10’da açıklanmaktadır.

Ön yağlama Devresi Disk Tipi Filtre	
Model	Mann&Hammel 6140072031
Süzme alanı	270 cm ²
Partikül çapı	0.06 mm
Test basıncı	25 bar

Tablo 10. Ön yağlama Devresi Disk Tipi Filtre [28]

Şekil 26’da görülen ön yağlama devresi yağ filtresi, ön yağlama devresinde kullanılan disk tipi bir filtre olup makine üzerine montelidir. Yağ filtreye muhafazanın üst kısmından girer ve merkeze doğru akarak süzülür. Geçmesine müsaade edilmeyen partiküller metal bıçak tipi elemanı tarafından tutulur. Kapak üzerine monte edilmiş olan boşaltma tapası zaman zaman açılarak dipte biriken tortu temizlenir [28].



- | | |
|----------------------|-----------|
| 1. Conta | 5. Rekor |
| 2. Boşaltma tası | 6. Somun |
| 3. Metal disk paketi | 7. Segman |
| 4. Kapak | |

Şekil 26. Ön yağlama Devresi Disk Tipi Filtre [28]

2. Ana Makine Yağ Tulumbaları

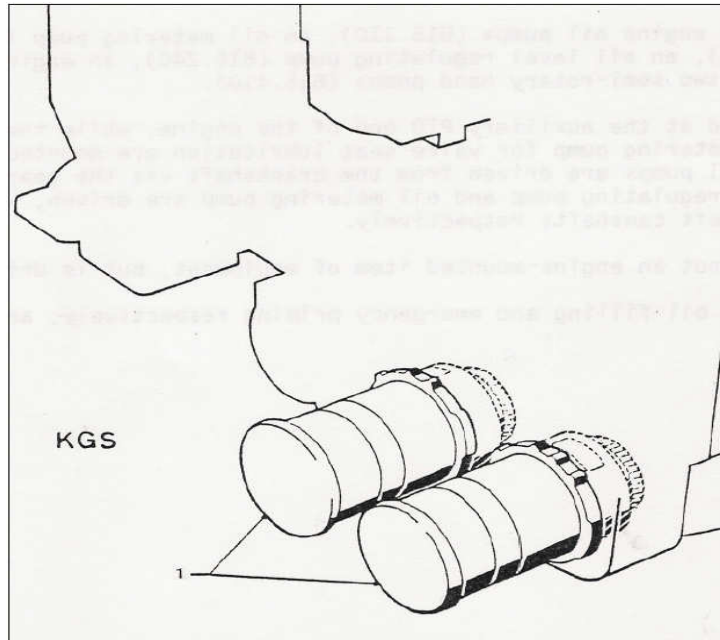
Ana makinede mevcut yağ tulumbalarının kullanım maksadları ve adetleri Tablo 11’de açıklanmaktadır.

Kullanım Maksadı	Adet
Makine Yağlama Yağı Tulumbası	2
Supap Tablası Yağlama Tulumbası	1
Karter Yağ Seviye Düzenleme Tulumbası	1
Ön yağlama Tulumbası	1
Yağlama Yağı El Tulumbası	2

Tablo 11. Ana Makine Yağ Tulumbaları [28]

a. Makine Yağlama Yağı Tulumbaları

Şekil 27’de görülen makine yağlama yağı tulumbalarının teknik özellikleri Tablo 12’de açıklanmaktadır.



Şekil 27. Makine Yağlama Yağı Tulumbaları [28]

Kapasite	26 lt/sn (2400 rpm)
Basınç düşürücü supap basıncı	16 bar
Dönüş yönü	Saat yönü
Akış yönlendirici supap	4 bar'da by-pass filtreleri açar. 6 bar'da tulumba alıcısını açar.

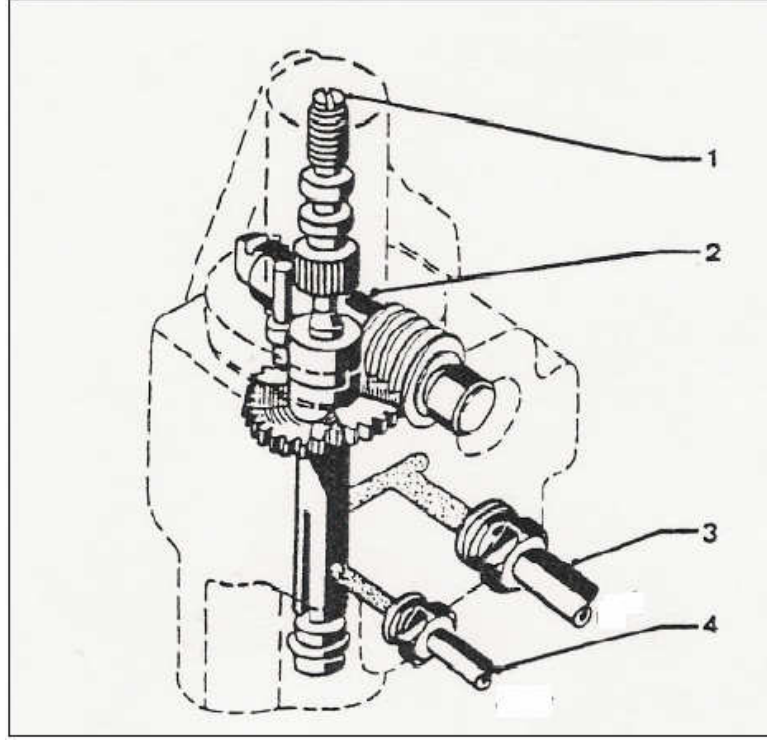
Tablo 12. Makine Yağlama Yağı Tulumbarları [28]

Makine yağlama yağı tulumbarları makinenin yardımcı güç çıkış tarafına monte edilmiş olup krank milinden hareketini alan bir ara dişli vasıtasıyla çalıştırılırlar. Yağlama yağı tulumbası, dört dişliden meydana gelen dişli tip bir tulumbadır ve ortaya yerleştirilmiş bir dişli ile tahrik edilir. Tulumba elemanları gövde içinde paralel olarak yerleştirilmiştir. Milleri kapak ve dağıtım kutusuna burç yataklarla irtibatlıdır. Yataklar kanallarla sevk edilen makine yağı ile yağlanırlar. Dağıtım kutusu da gövdenin diğer tarafına monte edilmiştir. Dağıtım kutusu içinde bir basınç düşürücü supap ve bir boru ile hareketli parçaların yağ devresine iştirakli yönlendirici supap bulunur.

Tulumbanın şaftının döndürülmesiyle emme tarafındaki yağ, tulumba dişlileri tarafından basma kısmına taşınır. Çıkış basıncının yükselmesiyle akış yönlendirici supap kısmen açılır ve yağ makine yağlama devresine sevk edilir. Yağ basıncının daha da yükselmesiyle (4 bar) akış yönlendirici supap biraz daha açılarak yağın bir kısmının by-pass filtreye gitmesine müsaade eder. Yağ basıncının yükselmeye devam etmesi halinde (6 bar) akış yönlendirici supap biraz daha açarak yağın bir kısmını da tulumbanın emme tarafına kaçırır. Bu durumda yağ basıncının düşmesiyle birlikte önce emme tarafına kaçan yağ devresi ve ardından by-pass filtreye giden yağ devresi kapanır [28].

b. Supap Tablası Yağlama Yağı Tulumbası

Şekil 28’de görülen supap tablası yağlama yağı tulumbası teknik özellikleri Tablo 13’de açıklanmaktadır.



- | | |
|----------------------|------------------|
| 1. Çıkış ayar vidası | 3. Giriş devresi |
| 2. Tulumba mili | 4. Çıkış devresi |

Şekil 28. Supap Tablası Yağlama Yağı Tulumbası [28]

Model	SPSK 5270 D
Çalışma sıcaklığı	80 °C
Basma oranı	1.43 cm ³ /dak. (800 tulumba şaft devrinde)
Giriş basıncı	5 bar
Çıkış basıncı	1 bar

Tablo 13. Supap Tablası Yağlama Yağı Tulumbası [28]

Supap tablası yağlama yağı tulumbası piston tip bir tulumba olup emme supap tablası, oturma yüzeyi ve disklerini yağlar. Diğer tulumbaların aksine emiş tarafındaki basınç daha yüksek olup (5 bar) çıkış basıncı düşüktür (1 bar). Yağlama yağının basıncını düşürerek yağlama yağını emme manifolduna basar.

c. Karter Yağ Seviye Düzenleme Tulumbası

Karter yağ seviye düzenleme tulumbası teknik özellikleri Tablo 14’de açıklanmaktadır.

Model	Werdohler Pumpenfabrik F1-SO
Basma oranları	Karterden tahliye : 8.5 lt/dak (800 rpm’de)
	6 lt/dak (800 rpm’de)

Tablo 14. Karter Yağ Seviye Düzenleme Tulumbası [28]

Bu tulumba iki ayrı tulumbayı (ikmal ve tahliye tulumbarı) aynı muhafaza içinde ihtiva eder. Tulumbar aynı şaft üzerine kamalanmış olup şaft hareketini kaplin vasıtasıyla kam milinden alır.

d. Ön yağlama Tulumbası

Ön yağlama tulumbası teknik özellikleri Tablo 15’de açıklanmaktadır.

Model	Werdohler Pumpenfabrik R41/80
Devir	1410 rpm (50 Hz) 1700 rpm (60 Hz)
Kapasite	116 lt/dak
Basınç düşürücü supap basıncı	5 bar

Tablo 15. Ön yağlama Tulumbası [28]

Ön yağlama tulumbası, elektrik motoru ile tahrik edilen dişli tip bir tulumbadır. Tulumba elektrik motoruna bir ara parça içine yerleştirilmiş olan

kaplinle bağlanmıştır. Tulumba yatakları burç yataktır. Çeviren şaft üzerinde bir adet yağ keçesi mevcuttur. Tulumba elemanları sertleştirilmiş çeliktir. Ayrıca kapak üzerine monteli yağ giriş/çıkış kanalları ile basınç düşürücü supap mevcuttur. Basınç düşürücü supap tulumba çıkış basıncını limitler.

e. Yağlama Yağı El Tulumbası

Yağlama yağı el tulumbası, kanatlı tip bir tulumbadır. Gövdenin içi tulumba kanadı tarafından emme ve basma bölümlerine ayrılır. Emme bölmesi ayrıca alt supap tablası elemanı tarafından ikiye bölünür. Bütün supap bölmeleri arasında supap klapeleri vardır. Tulumba kolunun hareketiyle kanatlı tulumba elemanı bir yöne döner ve döndüğü yöndeki emme bölmesi daralırken diğer emme bölmesi genişler. Daralan emme bölgesindeki artan basınç, alt supap tablasındaki klapeyi kapatıp tulumba kanadı üzerindeki klapeyi açarak yağın basma bölümüne geçmesini sağlar. Daha sonra oluşan vakumun yarattığı kuvvetle yağ tekrar emme bölümüne dolar [28].

3. Ana Makine Yağlama Yağı Soğutma Sistemi Elemanları

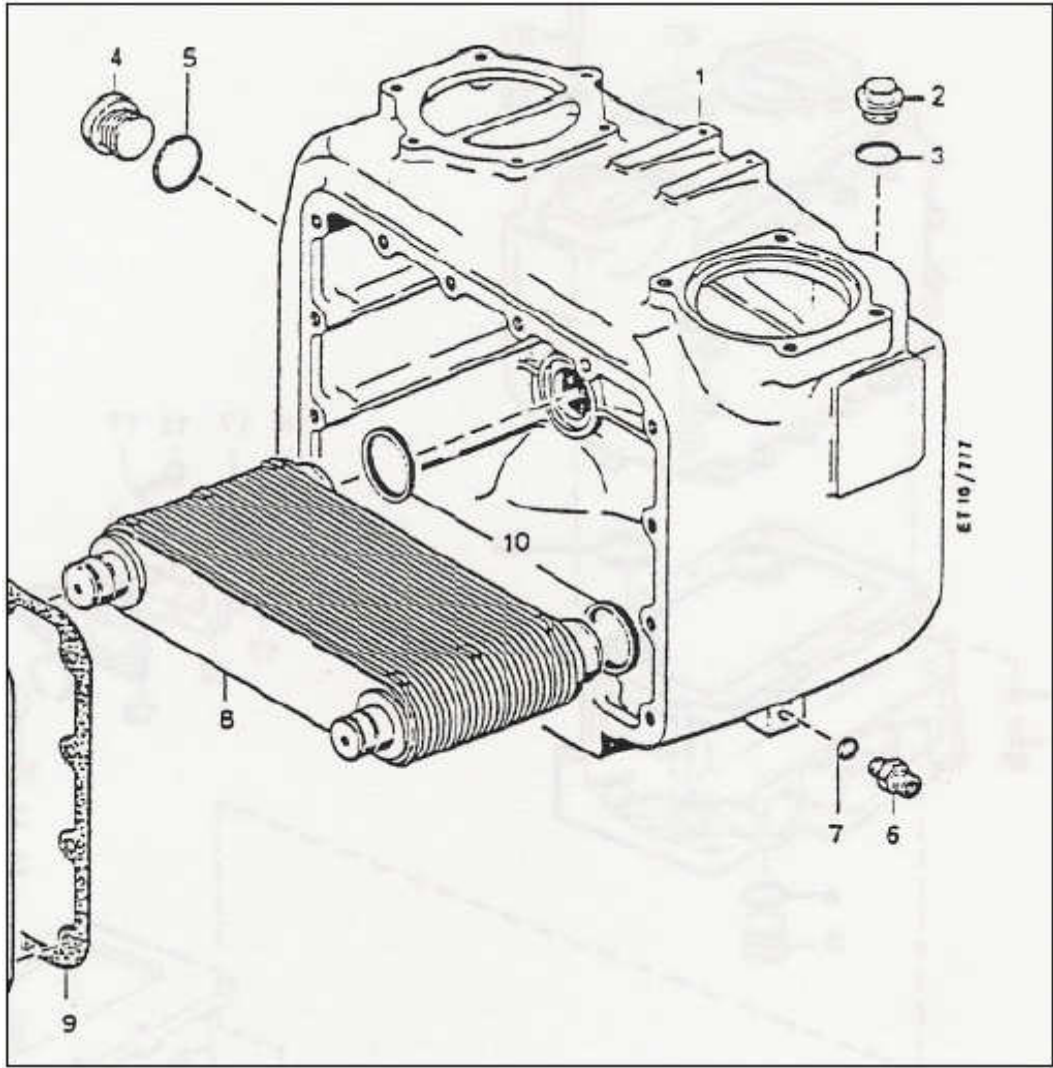
Ana makine yağlama yağı soğutma sistemi, yağlama yağı soğutucusu ve termostatından oluşmaktadır.

a. Yağlama Yağı Soğutucusu

Şekil 29’da gösterilen yağlama yağı soğutucusu teknik özellikleri Tablo 16’da açıklanmaktadır.

Yağlama Yağı Soğutucusu Etiket Bilgileri	
İmalatçı Firma	MTU
Test basıncı (su tarafı)	9 bar (sıcak su ile)
Test basıncı (yağ tarafı)	25 bar (sıcak yağ ile)
Test basıncı (yağ tarafı)	0.5 bar (basıncılı hava ile)

Tablo 16. Yağlama Yağı Soğutucusu [28]



- | | |
|--------------|-------------------------------|
| 1. Gövde | 6. Adaptör |
| 2. Tapa | 7. Conta |
| 3. Ara conta | 8. Petek tipi soğutucu eleman |
| 4. Tapa | 9. Conta |
| 5. Ara conta | 10. Ara conta |

Şekil 29. Yağlama Yağı Soğutucusu [28]

Yağlama yağı soğutucusu, soğutma işlemini deniz suyu ile yapar. Yağlama yağı soğutucu muhafazası içinde alt alta ve birbirine paralel olarak yerleştirilen soğutucu elemanlar düşey baca teşkil ederler ve kapak içine yerleştirilmiş yaylar vasıtasıyla yuvalarına oturtulmuş durumda tutulurlar.

Yağlama yağı tulumlarının karterden alarak bastığı yağ, muhafazanın alt tarafından soğutucuya girerek yağ bölmesinde yükselir ve soğutucu elemanlardan yatay olarak diğer tarafa geçerken ısını da deniz suyuna iletir. Deniz suyu ise yağlama yağı soğutucusu üzerinde bulunan bir devreden soğutucuya girer ve soğutucu elemanların dışında dolaşarak yağın ısını alıp boşaltma kanalından soğutucuyu terk eder. Soğutucu muhafazasının üst kısmına bağlı bir boru devresi yağ tarafının hava firar devresi olup devamlı açıktır [28].

b. Yağlama Yağı Termostatu

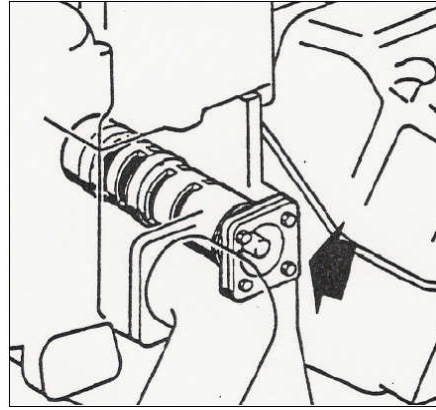
Tablo 17’de yağlama yağı termostatu teknik özellikleri açıklanmaktadır.

Yağlama Yağı Termostatu Etiket Bilgileri	
İmalatçı Firma	MTU
Açma başlangıç sıcaklığı	75 °C +/- 2 °C
Tam açma sıcaklığı	87 °C +/- 2 °C

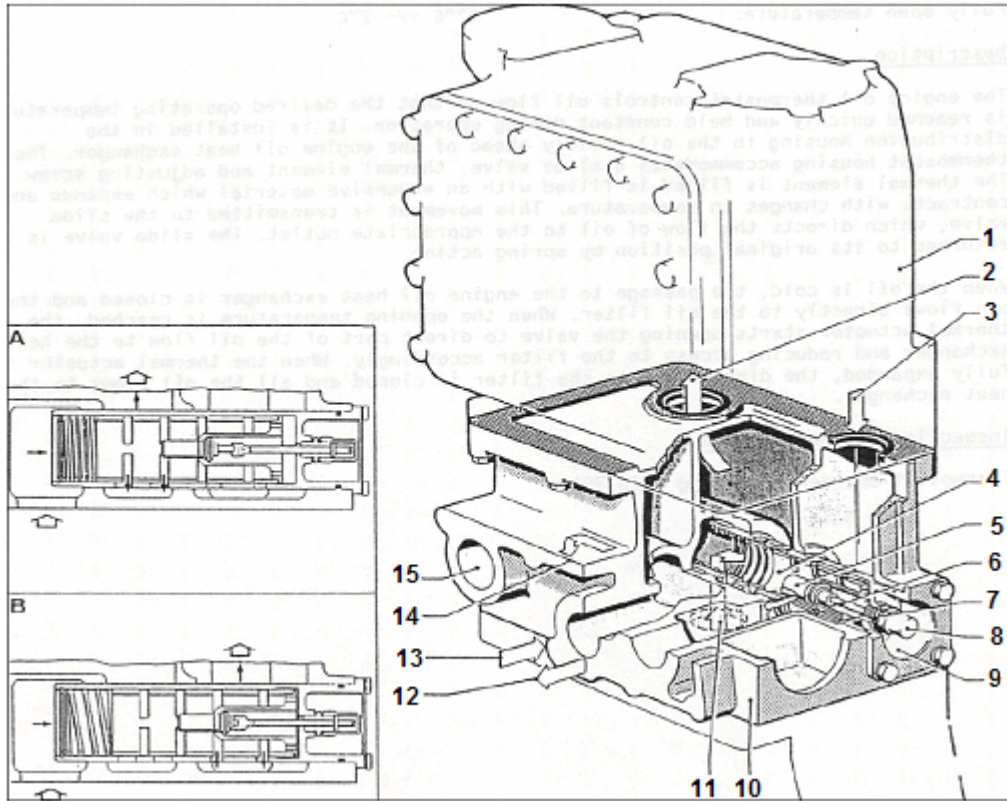
Tablo 17. Yağlama Yağı Termostatu [28]

Yağlama yağı termostatu, yağ akışına kumanda ederek yağ sıcaklığının çabuk yükselmesini ve çalışma süresince sabit kalmasını sağlar. Yağlama yağı soğutucu girişine bağlanmış yağ dağıtım bölümü içine yerleştirilmiştir. Termostat bir kayıcı supap, termal element ve ayar vidasını ihtiva eder. Termal element ısı ile genleşen bir madde ile doldurulmuştur. Bu hareket kayıcı supapa intikal ettirilerek akışa yön verilir ve yağlama yağının uygun çıkış kanalına sevk sağlanır.

Yağ soğuk olduğu zaman yağ soğutucusu pasajı kapalıdır ve yağ direkt olarak yağ filtresine gider. Açma sıcaklığına ulaşıldığında termik element genleşerek supapı açmaya başlar ve yağın bir kısmı yağ soğutucusuna doğru akmaya başlar. Termik madde tamamiyle genleştiğinde filtreye direkt giriş pasajı kapanarak bütün yağ soğutucuya sevk edilir [28]. Şekil 30 ve Şekil 31’de yağlama yağı termostatu gösterilmektedir.



Şekil 30. Yağlama Yağı Termostadı-1



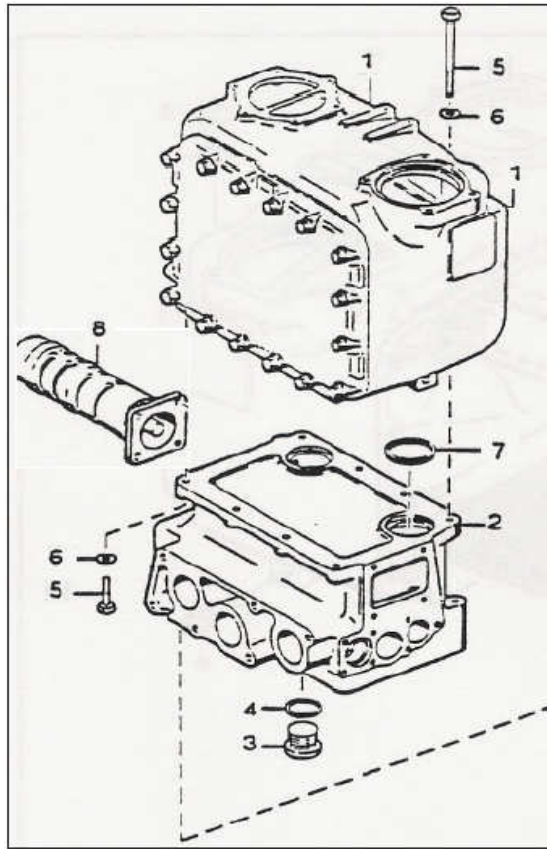
- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. Gövde | 9. Pul |
| 2. Giriş devresi | 10. Segman |
| 3. Dişli burç | 11. Yağ tulumbasından giriş |
| 4. Kayıcı supap taşıma kolu | 12. Yağ soğutucusuna giriş |
| 5. Kayıcı supap | 13. Yağ filtresine giriş |
| 6. Ayar vidası | 14. Conta |
| 7. Termik element | 15. Yağ dağıtım manifoldu |
| 8. Yay | |

Şekil 31. Yağlama Yağı Termostadı-2 [28]

c. Yağ Dağıtım Kutusu

Dişli muhafazanın üzerine monte edilmiş olan ve açma basıncı 1.5 bar olan yağ dağıtım kutusu, yağlama yağı filtresinden geçen yağı direkt olarak ana yağ galerisine ve basınç düşürücü supaptan geçirerek supap mekanizması yağlama yağı sistemine gönderir. Aynı zamanda bir kanalla motorin tulumbası çalıştırma dişlilerine yağı sevk eder. Basınç düşürücü supap, ön yağlama sistemi yağ basıncının yükselmesine müsaade eder. Makine çalışmıyorken ve yağlama yağı ön yağlama tulumbası devredeyken supap donanımına giden yağ devresini kapatarak yağın kaçmasını önler [28].

Yağ dağıtım kutusu aynı zamanda yağ basınç ve sıcaklık değerlerinin ölçü aleti bağlantılarını da üzerinde taşır. Şekil 32’de yağ dağıtım kutusu gösterilmektedir.



1. Yağ soğutucusu
2. Yağ dağıtım kutusu
3. Tapa
4. Ara conta
5. Vida
6. Pul
7. Ara conta
8. Termostat

Şekil 32. Yağ Dağıtım Kutusu [28]

4. Supaplar

Yağlama yağı sisteminde mevcut supaplar ve kullanım maksadları Tablo 18’de açıklanmaktadır [28].

Supap	Kullanım Maksadı
Basınç Düşürücü Supap	Yüksek basınçlı yağın basıncını düşürerek istenen yere sevk eder. Çalışma basıncı 4.1 bar’dır.
Basınç düşürücü Supap (yağ dağıtım kutusu)	Yağ dağıtım kutusuna yerleştirilmiş olup açma basıncı 0.5 bar’dır. Piston soğutma yağ filtresinden dağıtım kutusuna gelen yağın basıncını ayarlayarak piston soğutma yağ galerisine sevk eder.
Basınç Tutucu / Kapama Supapı	Bu supap ayar vidasının konumuna göre yağ basınç tutucu supapı olarak ya da çabuk kapama supapı olarak çalışır. Açma basıncı 1 bar’dır.
Geri Döndürmez Supaplar	Supap gövdesine yerleştirilmiş supap disk, supap yayı ve supap gaydından oluşur. Yağ bu supaptan sadece bir yönde akabilir, ters yönde akışı mümkün değildir. Supap, gelen yağ basıncı yay kuvvetini yendiği müddetçe yağ geçişine müsaade eder. Karter emiş devresi üzerindeki supapın açma basıncı 0.5 bar’dır. Yağ filtreleri hava firar devresindeki supapın açma basıncı 0.1 bar’dır.
Diferansiyel Basınç Supapı	Yağlama yağı giriş ve çıkışına irtibatlandırılmış olan diferansiyel supap filtrenin kifayeti hakkında bilgi aktarımı sağlar. Supapın açılması bize filtrenin değiştirilmesi gerektiğini gösterir. Yağlama yağı filtrelerinin altındadır ve giriş-çıkış arası fark 1.5 bar’ın üstüne çıktığında alarm sinyali gönderir. Atma basıncı 1.5 bar + 0.5 bar’dır.

Tablo 18. Yağlama Yağı Sisteminde Mevcut Supaplar ve Kullanım Maksadları
[28]

VI. DENEYSEL ÇALIŞMA

A. TESTTE KULLANILAN MOTOR YAĞI TEST VE SÜRECİ

Yapılan çalışmada kullanılan yağın özellikleri ve başlangıç değerleri Tablo 19’da açıklanmaktadır. Kullanılan yağ MTU firması tarafından katagori-2 (type-2) sınıfında onaylanmış olan ve yağ değişim periyodu 500 çalışma saati olarak tavsiye edilen yüksek performanslı Diesel motor yağıdır [29]. Ayrıca, bahse konu yağ ile ilgili olarak üretici firma kataloglarında ‘Parafinik esaslı baz yağlara özel katık paketi ve alkali tip deterjan katkı maddesi eklenerek formüle edilmiş deniz Diesel motor yağı’ tanımı kullanılmaktadır [5].

Özellikler	Başlangıç Değerleri
Viskozite Derecesi	SAE 30
Performans Seviyesi	API CH-4/CG-4/CF-4
TBN	13,3 mgKOH/gr
40 °C Viskozite	100,6 cSt
100 °C Viskozite	12,02 cSt
Viskozite İndeksi	113
Alevlenme Noktası	225 °C
Yağda Erimeyenler	0.045 (%)
Oksidasyon	1 abs/cm
Nitrasyon	0 abs/cm
Sülfat	2 abs/cm
Glikol	% 0
Su	% 0

Tablo 19. Testte Kullanılan Motor Yağının Başlangıç Değerleri

Deneysel çalışmaya yağ filtreleri değiştirilip eski yağ atılarak yeni yağla başlanmıştır. Test boyunca gemide mevcut 4 ana makineden çalışma saatleri baz alınarak 1 lt hacimli cam numune şişelerinde numuneler alınmıştır. Numune alım

periyodları 40' ar saatlik aralıklarla 2 makine için 390 çalışma saatine kadar, diğer 2 makine için ise 250 ve 240 çalışma saatlerine kadar devam ettirilebilmiştir. Numuneler sıcak makine stop edildikten hemen sonra ve minimum 50°C sıcaklıktayken alınmıştır. Yağ numunelerinin makine üzerinde alınma işlemi, yağın makine içinde dolaşımından hemen önce yer alan ve karterden yağlama yağını emen yağ tulumba çıkış devresi üzerinde bulunan yağ kontrol vanasından numune şişelerine yağın doldurulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Cam şişelere konulan numuneler en kısa sürede analize gönderilerek dış ortamdan etkilenmemesine azami özen gösterilmiştir.

Numunelere uygulanan yağ analizleri; 40-100°C viskozite, viskozite indeksi, toplam baz sayısı (TBN), parlama noktası, yağda erimeyenler başta olmak üzere ICP-AES spektrometrik analiz yöntemi uygulanıp yağ içerisindeki Fe, Cu, Si, Cr, Al elementlerinin konsantrasyonları ppm (milyonda bir parçacık) olarak ölçülmüştür. Bunun yanında yağ numunelerinin FT-IR spektrometrik analiz ölçümleri de yapılarak oksidasyon, nitrasyon, sülfat seviyeleri tespit edilmiştir.

Gemide mevcut 4 ana makine için yapılan tüm yağ analiz sonuçları Tablo 20, Tablo 21, Tablo 22, Tablo 23, Tablo 24, Tablo 25'de açıklanmaktadır.

İskele-1 Ana Makine						
Çalışma Süresi (saat)	100 °C Viskozite (cSt)	40 °C Viskozite (cSt)	Viskozite İndeksi	TBN (mgKOH/g)	Parlama Noktası (°C)	Yağda Erimeyenler (%)
0	12.02	100.6	113	13.3	225	0.045
50	11.96	97.12	114	12.1	198	0.066
100	11.9	96.05	114	11.83	194	0.1
150	11.57	91.41	115	10.85	196	0.118
190	11.42	90.02	115	10.6	197	0.167
230	11.35	89.45	115	10.01	198	0.171
270	11.3	89.15	116	9.87	197	0.173
310	11.28	89.01	116	9.4	196	0.182
350	11.24	88.75	117	8.79	195	0.25
390	11.2	88.12	117	8.3	194	0.312
Sancak-1 Ana Makine						
Çalışma Süresi (saat)	100 °C Viskozite (cSt)	40 °C Viskozite (cSt)	Viskozite İndeksi	TBN (mgKOH/g)	Parlama Noktası (°C)	Yağda Erimeyenler (%)
0	12.02	100.6	113	13.3	225	0.045
50	11.94	95.45	114	12.23	198	0.087
100	11.72	92.62	115	11.8	196	0.1
150	11.65	92.55	115	11	197	0.128
190	11.59	92.33	115	10.56	199	0.165
230	11.55	92.05	116	9.91	198	0.169
270	11.45	91.38	116	9.77	197	0.178
310	11.42	91.05	117	9.2	198	0.188
350	11.4	90.87	117	8.92	196	0.228
390	11.35	90.81	117	8.44	195	0.283

Tablo 20. İskele-1 ve Sancak-1 Ana Makine Yağ Analiz Sonuçları

İskele-1 Ana Makine					
Çalışma Süresi (saat)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Si (ppm)	Cr (ppm)	Al (ppm)
0	2	0	2	0	2
50	5	3	4	1	2
100	8	3	6	1	2
150	12	4	6	2	2
190	14	5	8	2	2
230	17	6	9	2	2
270	24	14	10	3	2
310	26	16	11	4	2
350	31	20	12	5	3
390	35	25	13	6	4
Sancak-1 Ana Makine					
Çalışma Süresi (saat)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Si (ppm)	Cr (ppm)	Al (ppm)
0	2	0	2	0	2
50	7	1	3	0	2
100	9	2	6	1	2
150	13	4	7	2	2
190	16	8	9	3	2
230	20	12	9	3	3
270	24	20	12	4	4
310	28	24	12	4	4
350	33	30	12	5	4
390	36	35	14	6	4

Tablo 21. İskele-1 ve Sancak-1 Ana Makine Yağda Element Analiz Sonuçları

İskele-1 Ana Makine			
Çalışma Süresi (saat)	Oksidasyon (abs/cm)	Nitrasyon (abs/cm)	Sülfat (abs/cm)
0	1	0	2
50	1	1	6
100	2	2	8
150	3	5	11
190	4	8	13
230	4	10	17
270	6	14	22
310	6	15	32
350	7	18	38
390	8	20	39
Sancak-1 Ana Makine			
Çalışma Süresi (saat)	Oksidasyon (abs/cm)	Nitrasyon (abs/cm)	Sülfat (abs/cm)
0	1	0	2
50	1	2	4
100	2	3	8
150	3	8	12
190	4	10	13
230	5	13	21
270	6	14	24
310	7	17	34
350	8	20	39
390	9	22	40

*Tablo 22. İskele-1 Ana Makine ve Sancak-1 Ana Makine FT-IR Spektrometrik
Analiz Sonuçları*

İskele-2 Ana Makine				
Çalışma Süresi (saat)	100 °C Viskozite (cSt)	40 °C Viskozite (cSt)	Viskozite İndeksi	TBN (mgKOH/g)
0	12.02	100.6	113	13.3
90	11.6	92.41	114	11.9
130	11.56	91.09	114	10.56
170	11.52	91.07	115	10.45
210	11.46	91.01	115	9.95
250	11.39	90.8	116	9.79
Sancak-2 Ana Makine				
Çalışma Süresi (saat)	100 °C Viskozite (cSt)	40 °C Viskozite (cSt)	Viskozite İndeksi	TBN (mgKOH/g)
0	12.02	100.6	113	13.3
80	11.39	90.95	113	11.96
120	11.34	89.7	114	10.93
160	11.29	88.9	115	10.81
200	11.25	88.41	115	10.73
240	11.24	88.52	116	9.85

Tablo 23. İskele-2 ve Sancak-2 Ana Makine Yağ Analiz Sonuçları

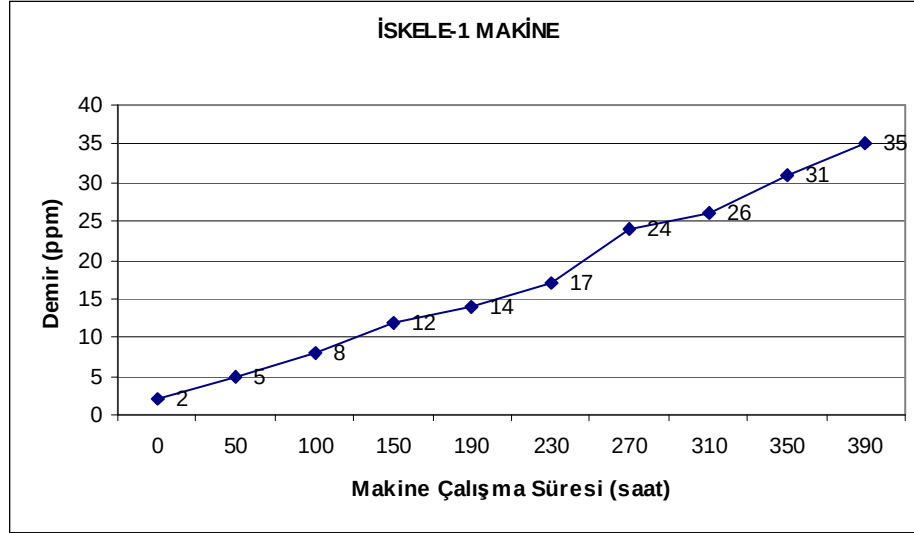
İskele-2 Ana Makine					
Çalışma Süresi (saat)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Si (ppm)	Cr (ppm)	Al (ppm)
0	2	0	2	0	2
90	8	2	8	1	2
130	10	3	9	2	2
170	13	4	10	2	2
210	18	9	11	2	2
250	19	10	11	2	3
Sancak-2 Ana Makine					
Çalışma Süresi (saat)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Si (ppm)	Cr (ppm)	Al (ppm)
0	2	0	2	0	2
80	6	2	6	1	2
120	9	3	8	1	3
160	13	4	11	1	3
200	17	9	11	2	3
240	20	12	11	2	3

Tablo 24. İskele-2 ve Sancak-2 Ana Makine Yağda Element Analiz Sonuçları

İskele-2 Ana Makine			
Çalışma Süresi (saat)	Oksidasyon (abs/cm)	Nitrasyon (abs/cm)	Sülfat (abs/cm)
0	1	0	2
90	1	2	5
130	3	4	8
170	3	7	12
210	4	11	18
250	5	12	21
Sancak-2 Ana Makine			
Çalışma Süresi (saat)	Oksidasyon (abs/cm)	Nitrasyon (abs/cm)	Sülfat (abs/cm)
0	1	0	2
80	2	2	5
120	3	3	6
160	4	8	13
200	5	11	18
240	6	13	21

Tablo 25. İskele-2 Ana Makine ve Sancak-2 Ana Makine FT-IR Spektrometrik Analiz Sonuçları

Makinedeki aşınmanın ve buna bağlı olarak da yağ eskimesinin en önemli göstergesi yağdaki demir konsantrasyon değişimidir. Dolayısıyla optimum yağ değişim periyodu ve saati, aşınma ürünlerinden demir konsantrasyon miktarı (ppm mertebesinde) dikkate alınarak yapılmıştır. Şekil 33’de test süresince 390’ncı çalışma saatine kadar en fazla verinin alındığı İskele-1 makinenin demir konsantrasyon değerleri görülmektedir.



Şekil 33. İskele-1 Makine Demir Konsantrasyon Değişimi

İskele-1 ana makine demir konsantrasyon ekstrapolasyonu ile 9000 saat olan makine revizyon saatine kadar demir konsantrasyon değişimi incelenmiştir [30]. Şekil 34’de gösterilen demir ekstrapolasyon eğrisi değerleri MATLAB bilgisayar programı kullanılarak lineer ve 2. dereceden polinom yaklaşımları kullanılıp her iki yaklaşımda hata analizleri tespit edildikten sonra yapılmıştır. Bu iki yaklaşımın dışında diğer ekstrapolasyon türlerinden elde edilen sonuçların 390’ncı çalışma saatine kadar elde edilen verilerle uyumsuz olduğu görülmüş ve 2. dereceden polinom ekstrapolasyonunun hata analizi açısından daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Demir ekstrapolasyon eğrisine ait 2. dereceden ekstrapolasyon fonksiyonu, lineer ekstrapolasyon fonksiyonu ve bu iki fonksiyonun karşılaştırılması neticesinde ortaya çıkan hata analiz sonuçları Tablo 26 ve Tablo 27’de açıklanmaktadır.

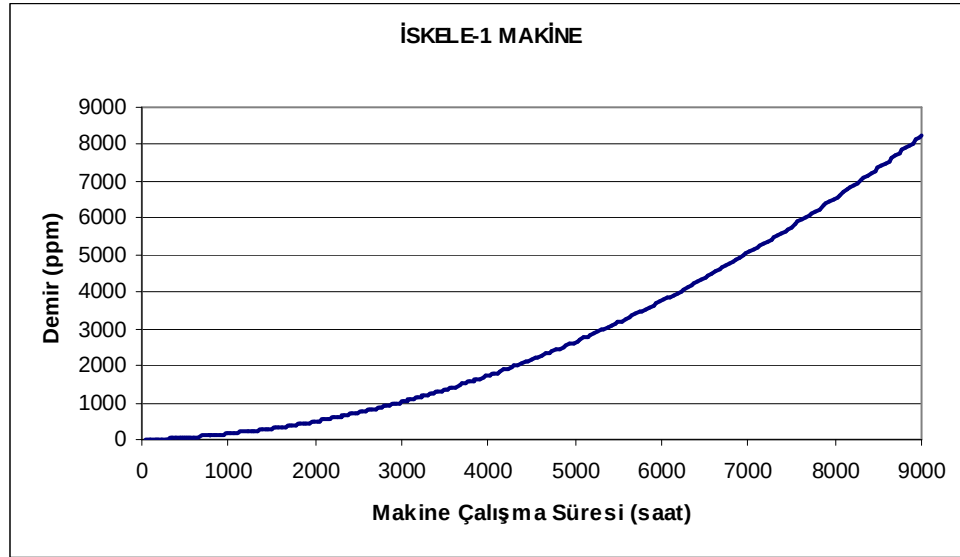
Ekstrapolasyon Türü	Fonksiyon
Lineer Polinom	$f(x) = 0.09005.x - 1,3$
2. Dereceden Polinom	$f(x) = 9,619.10^{-5}.x^2 + 0,0475.x + 2,278$

Tablo 26. İskele-1 Makine Lineer ve 2. Dereceden Polinom fonksiyonları

Hata Analizi	SSE	R-Square
Lineer Fonksiyon	15,81	0,9818
2. Dereceden Fonksiyon	6,367	0,9927

Tablo 27. Hata Analizi Karşılaştırma

Tablo 27’de açıklanan hata analiz karşılaştırmasında SSE, 0’a yakın en iyi değeri, R-Square ise 1’e yakın en iyi değeri göstermektedir. Her iki fonksiyonun 390 saate kadar elde edilen deneysel verilerle karşılaştırılması neticesinde ekstrapolasyon türleri olan 2. dereceden polinomun %80, lineer polinomun ise %20 oranında gerçek verilere yakınlığı görülmüştür. Sonuç olarak 2. dereceden polinomun demir konsantrasyon ekstrapolasyonunun tespiti için uygun olan ekstrapolasyon türü olduğu tespit edilmiştir. Buna göre İskele-1 makinenin 2. dereceden polinom ekstrapolasyon grafiği Şekil 34’de görülmektedir.



Şekil 34. İskele-1 Makine Demir Konsantrasyon Ekstrapolasyonu

Demir konsantrasyon ekstrapolasyon analizi için uygunluğu tespit edilen 2.dereceden polinom kullanılarak deneysel sonuçlarda elde edilmiş verilerle

yapılan işlemler neticesinde 9000'nci çalışma saatinde demir konsantrasyon ekstrapolasyon değeri 8221.168 ppm'dir.

En fazla deneysel verinin alındığı diğer makine olan sancak-1 makinede de aynı çalışmalar yapılarak 2. dereceden polinom yaklaşımının demir konsantrasyon tespiti için uygun olduğu görülmüştür. 9000'nci çalışma saatinde demir konsantrasyon ekstrapolasyon değeri sancak-1 makinede 7761.436 ppm olarak bulunmuştur. Tablo 28'de sancak-1 makine için hesaplanan 2. dereceden polinom ve demir ekstrapolasyon değeri açıklanmaktadır.

Sancak-1 Makine	
2. Dereceden Polinom Fonksiyonu	$f(x) = 9,025 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0,04972 \cdot x + 3,706$
9000'nci saatteki demir değeri	7761.43 ppm

Tablo 28. Sancak-1 Makine 2. Dereceden Polinom Fonksiyonu

B. MALİYET ANALİZİ

Tek bir makinenin revizyon maliyet değeri 769,750 EUR'dur. Bir makinenin karter yağı kapasitesi 1100 kg'dır. Yağ üretici firmasının belirlediği yağ fiyatına göre (1.14 EUR/kg) ana makine karter yağı kapasitesi dikkate alınarak yapılan hesaplamada yağ değişim maliyeti 1230 EUR olarak belirlenmiştir. İskele-1 makine için yapılan ekstrapolasyon analizine göre 9000'nci çalışma saatinde demir konsantrasyon değeri 8221.168 ppm'dir. Demir konsantrasyon ekstrapolasyon değeri, makine revizyon maliyeti ve yağ değişim maliyeti dikkate alınarak aşağıdaki maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde optimum yağ değişim aralığı belirlenmiştir [19].

(1) Demir Konsantrasyonuna Bağlı Makine Maliyeti (EUR/ppm) :

$$\frac{769,750 \text{ EUR}}{\text{Demir konsantrasyon ekstrapolasyon değeri (ppm)}}$$

(2) Birim Makine Revizyon Maliyeti (EUR/saat) :

$$\frac{\text{Demir konsantrasyonuna bağlı makine maliyeti (EUR/ppm)} \times \text{Yağ değişim mesafesindeki demir konsantrasyonu (ppm)}}{9000 \text{ saat}}$$

(3) Birim Yağ Değişim Maliyeti (EUR/saat) :

$$\frac{1230 \text{ EUR}}{\text{Makine çalışma süresi (saat)}}$$

(4) Toplam Maliyet (EUR/saat) :

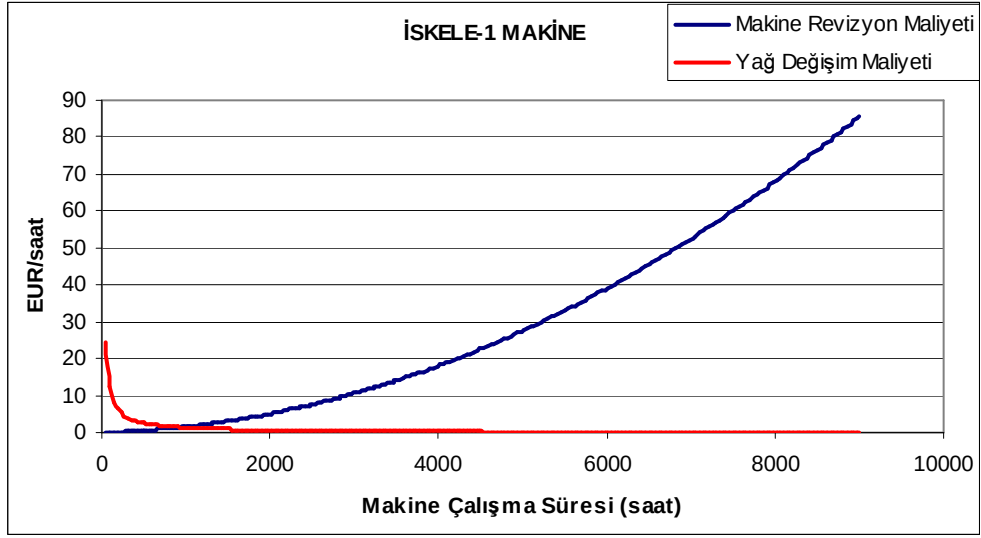
Birim Makine Revizyon Maliyeti + Birim Yağ Değişim Maliyeti

Demir konsantrasyon ekstrapolasyon değerinin, makine revizyon maliyet değerinin, yağ değişim maliyetinin maliyet analiz eşitliklerine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 29'da gösterilmiştir.

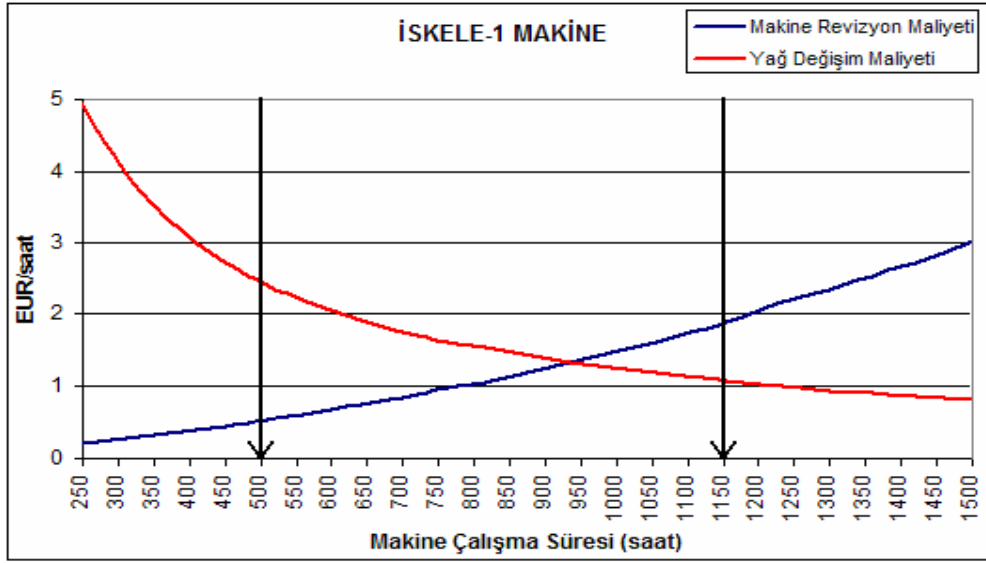
Makine Çalışma Süresi (saat)	Birim Makine Revizyon Maliyeti (EUR/saat)	Birim Yağ Değişim Maliyeti (EUR/saat)	Toplam Maliyet (EUR/saat)
50	0.050909	24.6	24.65091
100	0.083122	12.3	12.38312
150	0.120339	8.2	8.320339
190	0.153714	6.473684	6.627399
230	0.190293	5.347826	5.538119
270	0.230073	4.555556	4.785628
300	0.26201	4.1	4.36201
350	0.31924	3.514286	3.833526
390	0.368627	3.153846	3.522474
500	0.520953	2.46	2.980953
600	0.680446	2.05	2.730446
700	1.757143	2.617096	1.757143
750	1.64	2.597212	1.64
760	1.618421	2.595685	1.618421
770	0.997516	1.597403	2.594919
775	1.007718	1.587097	2.594814
780	1.017969	1.576923	2.594892
790	1.038621	1.556962	2.595583
800	1.059474	1.5375	2.596974
900	1.279009	1.366667	2.645676
1000	1.518558	1.23	2.748558
2000	5.014815	0.615	5.629815
3000	10.51247	0.41	10.92247
4000	18.01153	0.3075	18.31903
5000	27.51198	0.246	27.75798
6000	39.01383	0.205	39.21883
7000	52.51708	0.175714	52.6928
8000	68.02173	0.15375	68.17548
9000	85.52778	0.136667	85.66444

Tablo 29. İskele-1 Makine Maliyet Analizi

Tablo 29’da açıklanan maliyet analiz sonuçlarına göre makine revizyon maliyeti ile yağ değişim maliyeti hesaplanarak Şekil 35 ve Şekil 36’da gösterilmiştir. Makine çalışma süresi artarken makine revizyon maliyeti de artmakta, yağ değişim maliyeti ise azalmaktadır. Yapılan analizler neticesinde optimum yağ değişim aralığı 500 ile 1150 çalışma saatleri arasında tespit edilmiştir.

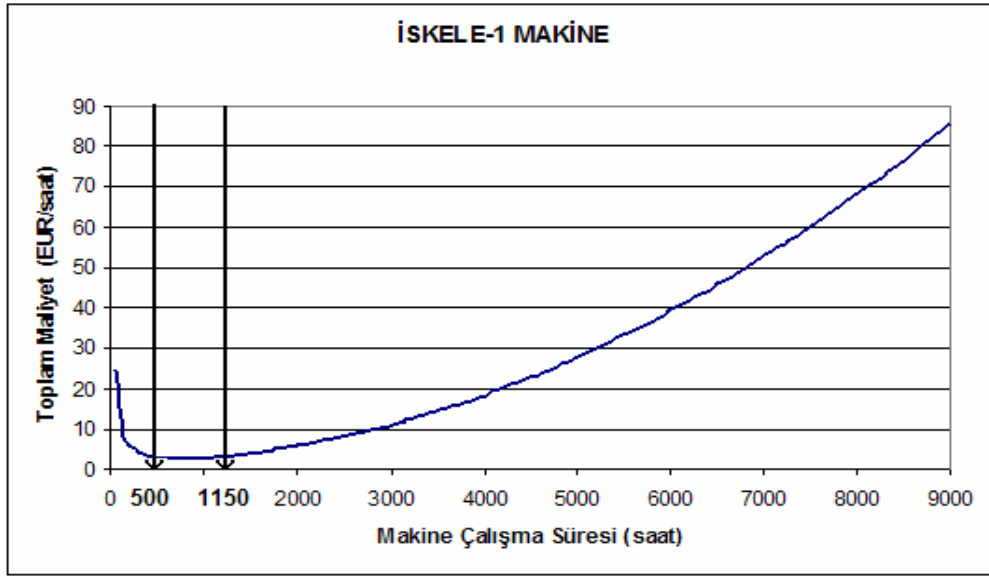


Şekil 35. İskele-1 Makine Birim Revizyon ve Birim Yağ Değişim Maliyetleri

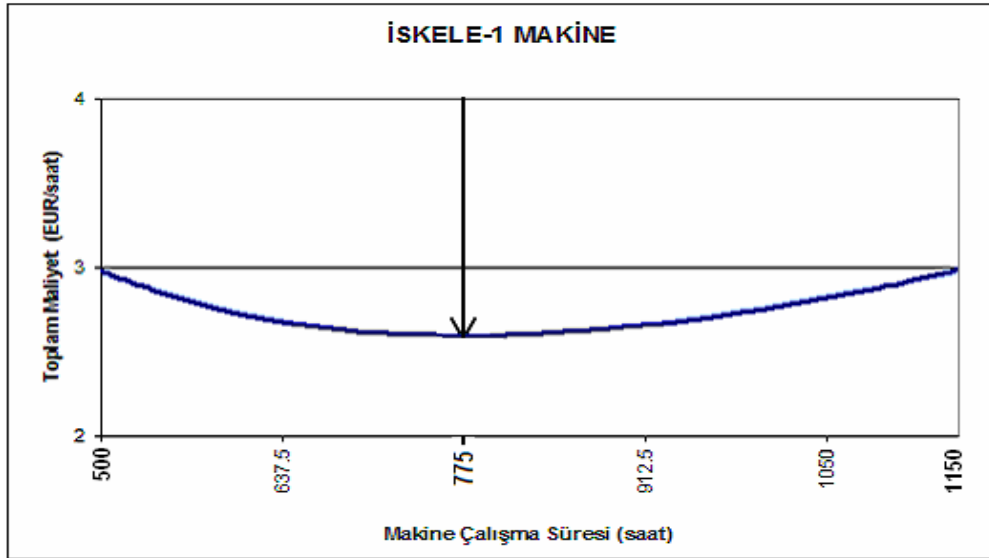


Şekil 36. Birim Revizyon ve Birim Yağ Değişim Maliyetlerinin Ayrıntılı Görünümü

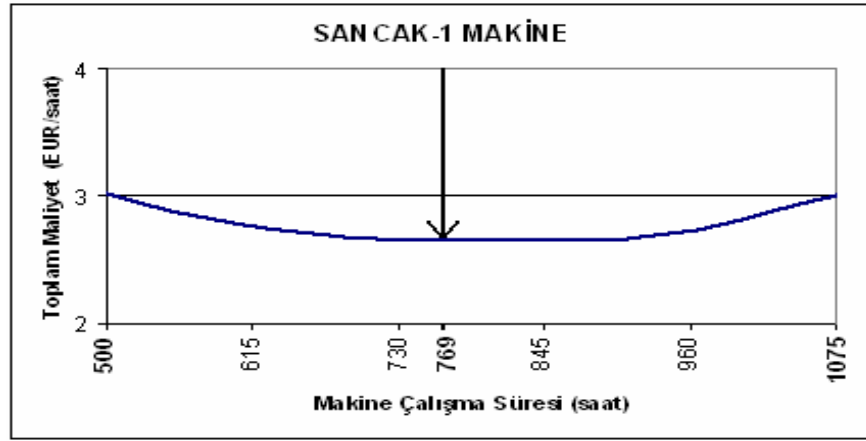
Toplam maliyetin en düşük olduğu nokta, Tablo 29'da da ayrıntılı olarak açıklandığı gibi 775'nci çalışma saatidir. Şekil 37 ve Şekil 38'de toplam maliyetin en düşük olduğu çalışma saati ve aralığı gösterilmektedir.



Şekil 37. İskele-1 Makine Saat Başına Toplam Maliyet Değişimi



Şekil 38. İskele-1 Makine Toplam Maliyetin En Düşük Olduğu Nokta



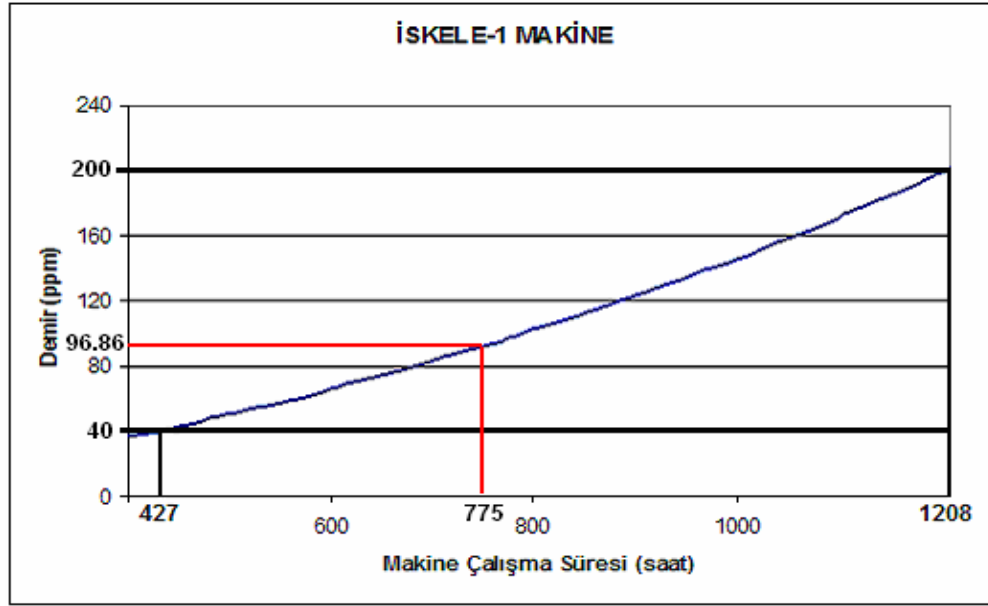
Şekil 39.Sancak-1 Makine Toplam Maliyetin En Düşük Olduğu Nokta

İskele-1 makine için yaptığımız maliyet analizlerini test süreci boyunca en fazla verinin alındığı diğer makine olan sancak-1 makineye uyguladığımızda optimum yağ değişim aralığı 500 ile 1075 çalışma saatleri arasında tespit edilmiştir. Toplam maliyetin en düşük olduğu nokta ise 769'ncü çalışma saatidir. Elde edilen bu sonuçlar iskele-1 makine maliyet analizleri sonuçlarına yakın değerlerdir. Şekil 39'da sancak-1 makine için elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Tablo 30'da aşınma elementleri konsantrasyon limit değerleri açıklanmaktadır. Şekil 40'da yağdaki demir konsantrasyonu değerlerinin makine revizyon ömrü süresince değişimi incelendiğinde limit değerlere ulaştığı çalışma saatleri ile maliyet analiz sonuçlarına göre toplam maliyetin en düşük olduğu nokta olarak tespit edilen 775'nci çalışma saatindeki demir konsantrasyon değeri gösterilmektedir. Tablo 30'da açıklanan demir konsantrasyon limit değerleri ölçeğinde 40 ppm düşük aşınma seviyesini, 200 ppm ise yüksek aşınma seviyesini göstermektedir. Buna göre; Şekil 40'da 427'nci saatteki 40 ppm değeri ile 1208'nci saatteki 200 ppm değerleri yükselen aşınma seviyesini göstermektedir. Elde edilen optimum yağ değişim saati olan 775'nci saatteki aşınma miktarı 96.86 ppm olarak tespit edilmiş olup bu değer yükselen bir aşınma değeridir.

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

Tablo 30. Aşınma Elementleri Konsantrasyon Limitleri [19]

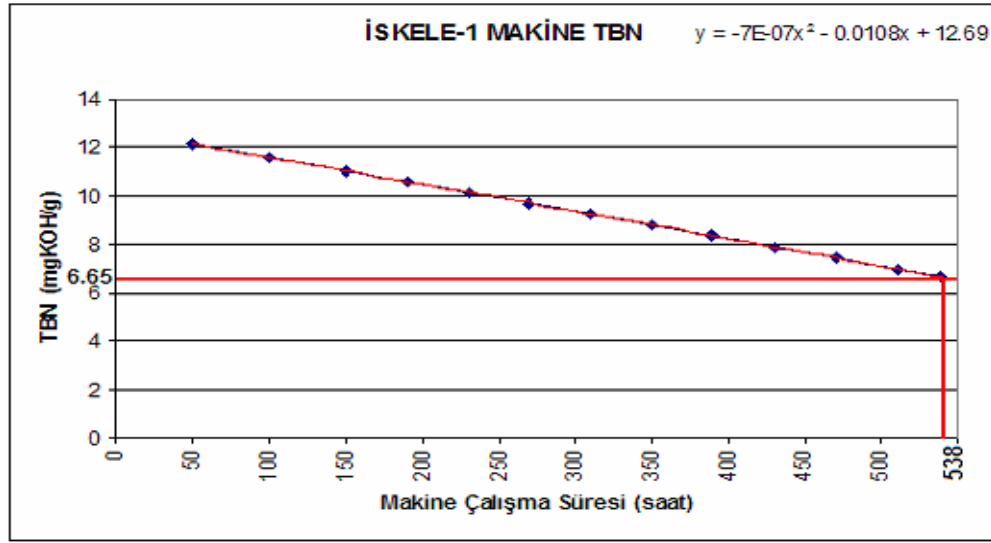


Şekil 40. İskele-1 Makine Demir Limit Değer

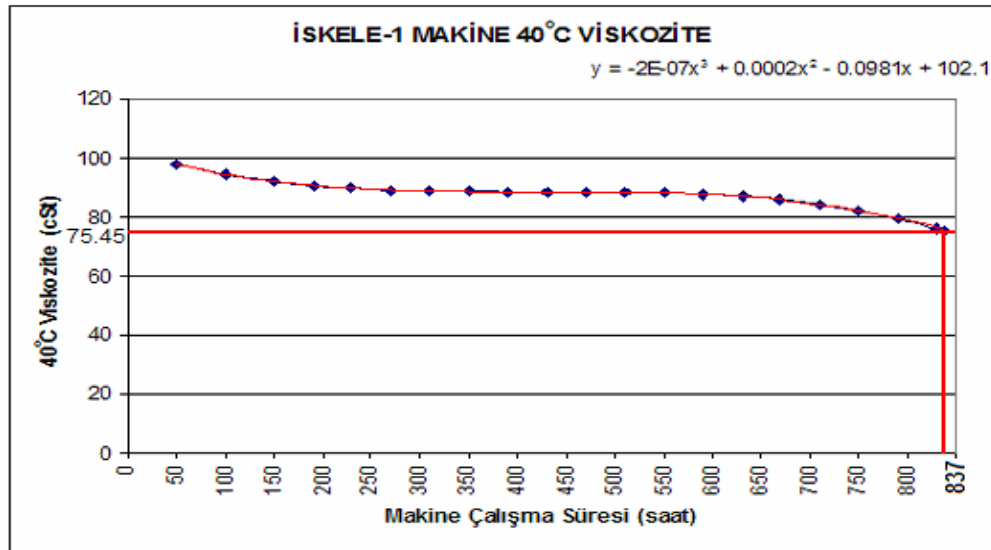
Daha önce bahsedilen aşınma ürünlerinin deneysel testi yanında numunelerde 40-100°C viskozite, toplam baz sayısı (TBN), parlama noktası ile oksidasyon, nitrasyon ölçümleri ve bunların limit değerleri incelenmiştir. Sınır limit değer tespiti için 390 saate kadar elde edilen veriler baz alınarak ekstrapolasyon yöntemleri kullanılmıştır.

Yağ analiz methodlarından TBN ölçümünün limit değeri başlangıç değerinin %50 oranında düştüğü nokta, 40-100°C viskozite ölçümlerinin limit değerleri başlangıç değerinin %25 oranında düştüğü nokta, parlama noktası ölçümünün limit değeri başlangıç değerinin %30 oranında düştüğü nokta, oksidasyon ölçümünün limit değeri 25 abs/cm, nitrasyon ölçümünün limit değeri ise 30 abs/cm'dir [19].

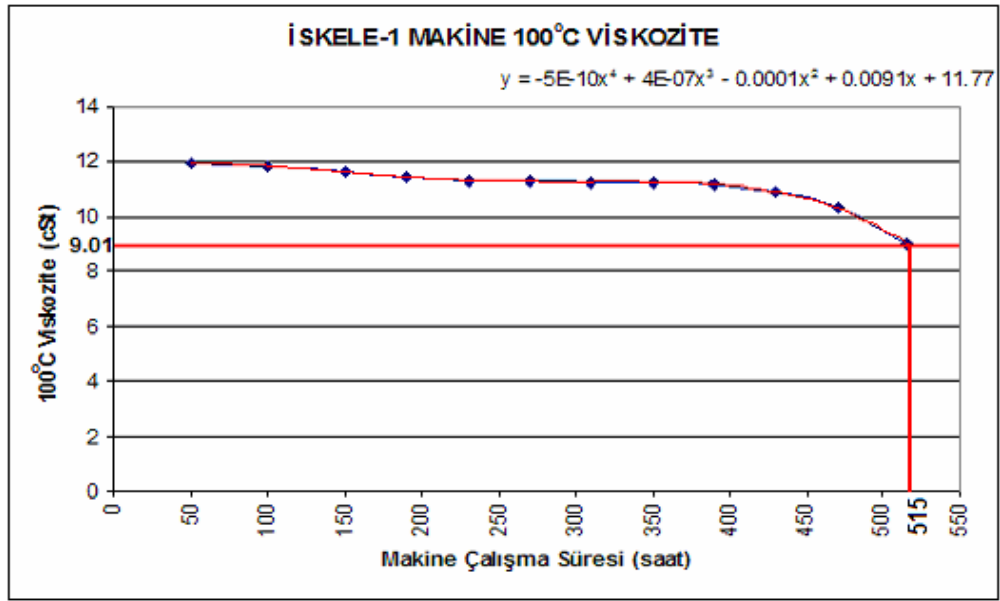
Şekil 41, Şekil 42, Şekil 43, Şekil 44, Şekil 45 ve Şekil 46’da gösterildiği gibi yapılan fiziksel ve kimyasal test yöntemlerinin sınır limit değerleri yaklaşık olarak 500 ile 900’ncü çalışma saatleri arasında değişmektedir. Yapılan bu ölçüm ve tespitler, maliyet analizleri sonucunda demir konsantrasyonuna bağlı olarak elde edilen toplam maliyetin en düşük olduğu nokta olan çalışma saati ve optimum yağ kullanım periyodu ile önemli derecede uyushmaktadır.



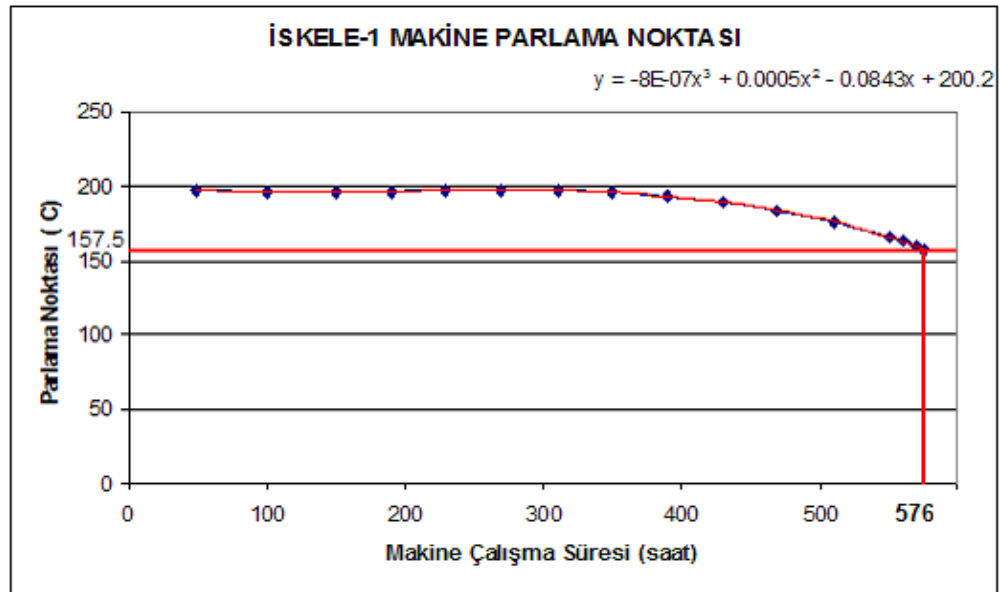
Şekil 41. İskele-1 Makine TBN Limit Değer



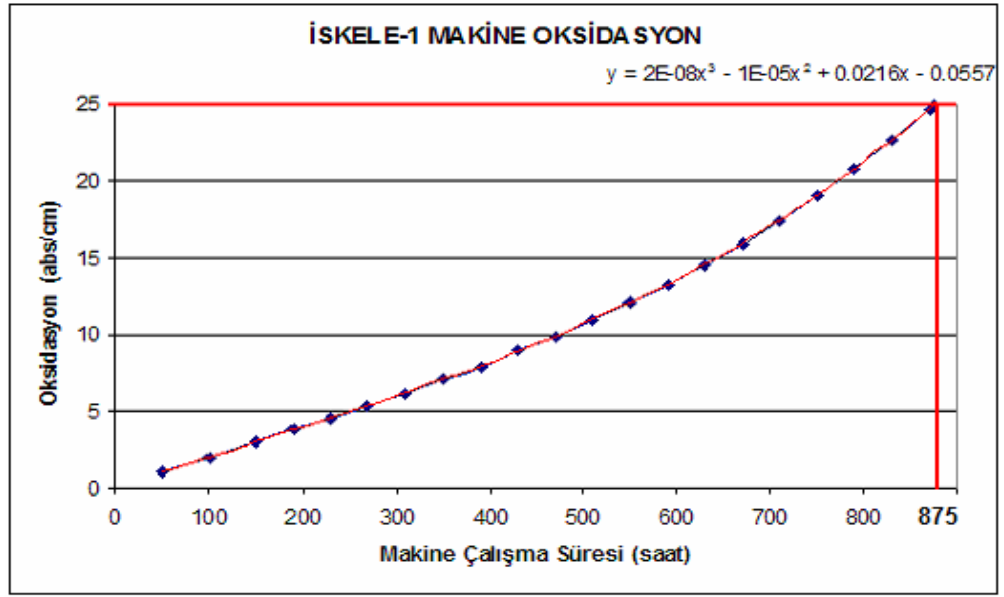
Şekil 42. İskele-1 Makine 40 °C Viskozite Limit Değer



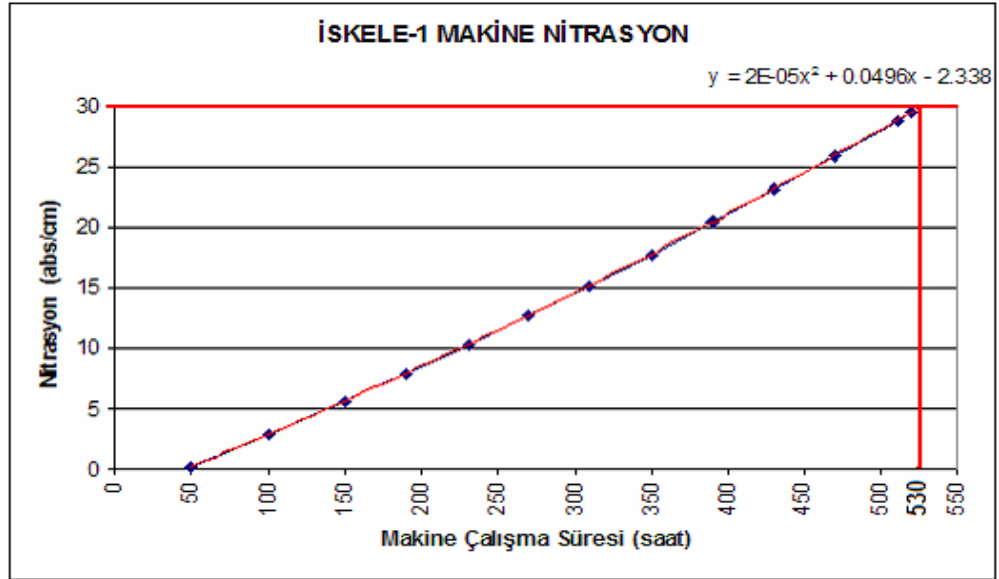
Şekil 43. İskele-1 Makine 100 °C Viskozite Limit Değer



Şekil 44. İskele-1 Makine Parlama Noktası Limit Değer



Şekil 45. İskele-1 Makine Oksidasyon Limit Değer



Şekil 46. İskele-1 Makine Nitrasyon Limit Değer

VII. SONUÇ

1. Deneysel çalışmada elde edilen optimum yağ değişim periyodunun üzerine çıkıldığında artan makine revizyon maliyetlerinin toplam maliyeti arttırdığı, altına inildiğinde ise yağ değişim maliyetlerinin toplam maliyeti yükselttiği görülmüştür.
2. Ortalama seyir koşullarında 390 saat boyunca teste tabi tutulan gemi Diesel ana makinesinde kullanılan madeni yağın fiziksel ve kimyasal analizleri ile demir konsantrasyonuna bağlı olarak maliyet analizleri yapılmıştır. Optimum yağ değişim aralığı toplam maliyetin en az olduğu aralık olan 500 ile 1150'nci çalışma saatleri arası, toplam maliyetin en az olduğu nokta ise 775'nci çalışma saati olarak belirlenmiştir. Diğer yağ analizleri ile de uyum sağlanmaktadır.
3. Tespit ettiğimiz toplam maliyetin en düşük olduğu 775'nci çalışma saatindeki toplam maliyet değeri (2.594814 EUR/saat) ile 300'ncü çalışma saatinde tespit ettiğimiz toplam maliyet değeri (4.36201 EUR/saat) arasındaki fark dikkate alınarak yağ için fazladan ödenen miktarın hesaplanması neticesinde bir makinede 1.7671 EUR/saat değerine ulaşılmıştır.

Fazladan Ödenen Miktar :

- (1) $775 \text{ (saat)} - 300 \text{ (saat)} = 475 \text{ (saat)}$
- (2) $475 \text{ (saat)} \times 1.7671 \text{ (EUR/saat)} = 839.37 \text{ EUR}$
- (3) $839.37 \text{ EUR} \times 4 \text{ (gemideki ana makine sayısı)} = 3357.49 \text{ EUR}$

Yukarıda açıklanan hesaplamada da görüldüğü gibi 300'ncü çalışma saatinde erken yağ değiştirme durumunda fazladan ödenecek miktar bir gemi için 3357.49 EUR olacaktır. Geminin seyir programına göre gerçekleşebilecek yılda en az iki defa erken yağ değişimi nedeniyle bulduğumuz maliyet değeri iki katına çıkarak 6714.98 EUR değerine ulaşacaktır. Ülkemizde aynı tip gemilerden toplam

4 adet olduğu göz önüne alınacak olursa ekonomik kayıp 4 katına çıkmakta ve 26859.92 EUR gibi yüksek değere ulaşmaktadır.

4. Deneyisel çalışmada kullanılan ve makine üretici firması MTU tarafından katagori-2 sınıfında onaylanan yağlama yağı, firmanın standart olarak belirlediğı santrifüj filtreli makinelerde kullanıldığı takdirde yağ değışim periyodu 1000 saat olarak belirlenmiştir [29]. Dolayısıyla kötü alışkanlıklar neticesinde belirlenen periyoddan çok önce yapılacak olan yağ değışiminin deniz kuvvetleri bağıslı gemilerde büyük zarara sebebiyet verebileceğı aşıkardır. Makine üretici firmasının belirlediğı uygun yağ değışim süreci dikkate alınmalıdır. Bu süreç deniz kuvvetlerine katkı açısından yeni deneyisel ve ekonomik çalışmalara da öncülük edecektir.

KAYNAKÇA

- [1] F. Yılmaz, “Nissan (benzinli) Motorunda Optimum Yağ Değişim Sürecinin Araştırılması”, Y.Lisans Tezi, YTÜ, İstanbul, 2004
- [2] M. Khonsari, E.Booser, “Predicting Lube Life_Heat and Contaminants are the Biggest Enemies of Bearing Grease and Oil”, Machinery Lubrication Magazine, Sep.2003, Issue Number: 200309, pp. 1-3, Louisiana State University, USA, 2005
- [3] L.W.Fine, H.Beall, “Chemistry for Engineers and Scientists”, Saunders College Publishing, pp. 863 Columbia University, USA, 1990
- [4] Y.Taşkıran, “Kullanılmış Motor Yağlarında Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Oluşum Sürecinin İzlenmesi”, Yük.Lis.Tezi, İTÜ, İstanbul, 1992
- [5] İ.Hani, “Madeni Yağlar ve Petrol Ofisi Ürünleri”, Petrol Ofisi A.Ş. Madeni Yağ Direktörlüğü, syf. 16-40, İstanbul, 2002
- [6] T. Mang, W. Dresel, “Lubricants and Lubrication”, WILEY-VCH, vol. 52, pp. 173-180, USA, 2001
- [7] H.Kaleli, “Motorların Değişik İşletme Şartlarında Yağların Yapısal Değişimlerinin Aşınmalara Etkilerinin İncelenmesi ve Optimum Yağ Değiştirme Süreçlerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul, 1995
- [8] F.Küçükşahin, “Denizcilik Kimyası,Yakıtlar-Yağlar Suların Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri”, Akademi Yayınları, syf. 88-110, İstanbul, 2001
- [9] P.Fritz, “Learning Coolant Fundamentals”, Machinery Lubrication Magazine, Jan. 2006, Issue Number : 200601, pp. 1-4, Chevron Products Company, USA, 2006

- [10] A.R.Landsdown, "High Temperature Lubrication", MEP Publishing, ISBN:085298/897/4, pp. 75-90, USA, 1994
- [11] Z.Dursunkaya, "Oil Loss Mechanisms Due To In-Cylinder Components", Lubrication Engineering, Sep.2000, pp. 1-3, ODTÜ, Ankara, 2000
- [12] "Nonaeronautical Equipment Analytical Methodology", NAVAIR 17-15-50.4, Naval Air Systems, Joint Oil Analysis Program, Vol. 1, pp.2/1-2/15, USA, 2005
- [13] M.Barnes, "Molecular Spectroscopy a Precision Lubrication Tool ?", Practicing Oil Analysis Magazine, May 2003, Issue: 200305, pp. 1-4, Noria Corporation, USA, 2003
- [14] L.A.Toms, "Machinery Oil Analysis Methods, Automation&Benefits", Coastal Training Technologies Corporation, Second Edition, pp. 45-50, pp. 100-106, Virginia, USA, 1998
- [15] A.Shugarman, "Monitoring Active Sulfur in EP Gear Oils-and Other Options for Monitoring EP Edditive Depletion", Ph.D, CLS, Practicing Oil Analysis Magazine, July 2003, Issue: 200307, pp. 1-5, Noria Corporation, USA, 2003
- [16] Ö.Karacan, M.V.Kök, U.Karaaslan, "Dependence of Thermal Stability of an Engine Lubrication Oil on Usage Period", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, vol.55, pp. 109-114, ODTÜ, Ankara, 1999
- [17] C.Kajdas , S.S.K.Harvey, E.Wilusz, "Encyclopedia of tribology", ELSEVIER, Tribology Series 15, pp. 220-234, England, Poland, 1990
- [18] H.Kaleli,I.Yavasliol, "Oil Ageing-Drain Period in a Petrol Engine", Industrial Lubrication and Tribology, MCB University Pres, vol. 49, pp. 120-126, 1997

- [19] H.Kaleli, B.Khorramian, "Used Oil Analysis and Study of Oil Drain Period in Gasoline Engine", SAE International, SAE Technical Paper Series 981448, pp. 91-104, Michigan, USA, 1998
- [20] S.Kumar, N.Mishra, P.Mukherjee, "Additives Depletion and Engine Oil Condition-a Case Study", Industrial Lubrication and Tribology, Emerald Group Publishing, Vol 57, pp. 69-72, Jharkhand, India, 2005
- [21] "Lubricating Oils, Greases, Specialty Lubricants and Lubrication Systems", Naval Air Systems, Joint Oil Analysis Program, S9086-H7-STM-010/CH-262R5, pp.262/1-17, USA, 2005
- [22] E.Kennedy, E.R.Booser, D.Wilcock, "Tribolgy, Lubricating and Bearing Design", Mechanical Engineering Handbook, CRC Pres LLC, pp. 3/128-170, USA, 1999
- [23] M.Lukas, D.P.Anderson, "Laboratory Used Oil Analysis Methods-II", Journal of Society of Tribologists and Lubrication Engineers, CRC Pres, pp. 19-23, USA, 1997
- [24] T.Brown, H.Lemay, E.Bursten, "Chemistry, The Central Science", Prentice Hall, 7nd edition, pp. 870-885, USA, 1997
- [25] D.Wooton, S.White, R.Thomas, "Using İnfrared Spectroscopy in Used Engine Oils-Estimating Base Number", Noria Corporation, Practing Oil Analysis Magazine, Issue Number: 200511, USA, 2005
- [26] R.Rudnick,R.L.Shubkin, "Synthetic Lubricants and High-Performance Functional Fluids", Pennsylvania State University Energy İnstitue, pp. 443-450, USA, 1999
- [27] F.Küçükşahin, "Gemi Makineleri", Güven Kitabevi, syf. 373-380, 3.Baskı, İstanbul, 2000

- [28] “Ana Makine Dersi Ders Notu-YAVUZ Sınıfı gemiler”, Derince Eğitim Merkezi Komutanlığı Basımevi, syf. 6/1-48, Derince, 2003
- [29] MTU Friedrichschafen, Maintenance Schedule, Group D, Subgroup 000, Pg. 03, Maintenance Echelons G16 000 1, Germany, 2005
- [30] MTU Friedrichschafen, Maintenance Schedule, Group D, Subgroup 000, Mo. 10887/0-12.91, Pg. 01, Germany, 1988
- [31] O.Gandhi, A.Garg, J.Bijwe, “Reassessment of Engine Oil Periodicity in Commercial Vehicles”, Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Lubrication Engineering, pg.23, India, 2000
- [32] B.Winberg, “The Case of Succesful Filtration and Oil Analysis Implementation”, Practicing Oil Analysis Magazine, Jan 2003, pp.1-4, Noria Corporation, USA, 2003
- [33] W.Wang, W.Zhang, “A model to Predict the Residual Life of Aircraft Engines Based upon Oil Analysis Data”, WILEY Interscience, DOI 10.1002/nav.20072, Salford University, England, 2003
- [34] M.Sutton, C.Stow, “Preliminary Studies of the Impact of Diesel Fuel Sulphur on Recommended Oil Service Interval”, Ford Motor Company, pp.131-135, Turkey, 2004
- [35] V.Macian, B.Tormos, P.Olmeda, L.Montoro, “Analytical Approach to Wear Rate Determination for Internal Combustion Engine Condition Monitoring Based on Oil Analysis”, Tribology International, ELSEVIER, vol 36, pp.771-776, Valencia, Spain, 2003

- [36] A.Plomer, R.Benda, “Modern Heavy Duty Diesel Engine Cold Start Wear Study”, Industrial Lubrication and Tribology, EMERALD, MCB University Pres, vol.52, pp.277-285, Belgium, 2000

- [37] L.Zirker, J.Francfort, J.Fielding, “Oil Bypass Filter Technology Evaluation Tenth Quarterly Report”, Idaho National Laboratory, US. Department of Energy FreedomCAR&Vehicles Technologies Program, INL/EXT-05-00381, pp.1-14, Idaho, USA, 2005

- [38] J.Smith, “Coupling Oil Analysis and Vibration Analysis to Save Time and Money”, Equistar Chemicals, Machinery Lubrication Magazine, Jan 2005, pp. 1-4, Noria Corporation, USA, 2005

- [39] J.Kilian, R.Rutherford, Dr.E.Afify, Dr.J.Leach, “Experimental Evaluation of Motor Oils for Use in State Vehicles”, Mechanical and Aerospace Engineering Department, North Caroline State University, pp. 7-15, USA, 2002