

**CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAĞ ANALİZ YÖNTEMİYLE YAPILAN KESTİRİMCİ BAKIMDA**

**MOTOR ARIZALARININ TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makina Mühendisi Aytaş ORHAN**

**Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği**

**Programı : Konstrüksiyon ve İmalat**

**MANİSA 2009**

**CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAĞ ANALİZ YÖNTEMİYLE YAPILAN KESTİRİMCİ BAKIMDA**

**MOTOR ARIZALARININ TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makina Mühendisi Aytaş ORHAN**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Eylül 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Eylül 2009**

**Tez Danışmanı : Öğr.Gör.Dr. N.Sinan KÖKSAL**

**Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Mustafa TOPARLI**

**Yrd. Doç. Dr. Salim ŞAHİN**

**MANİSA 2009**

## ÖZET

Yağ ve aşınmış parçacık analiz yöntemi, E.L.İ Müessese Müdürlüğüne ait iş makinelerinin motor, şanzıman, hidrolik sistem ve diferansiyellerine uygulanmıştır. Bu çalışmada iş makinelerine ait altı adet motor, bir adet şanzıman, üç adet hidrolik sistem ve üç adet diferansiyel incelenmiştir. Belirtilen ünitelerden standartlara uygun olarak alınan yağ numuneleri yağ analiz laboratuvarlarında incelenmiştir. Yağın kirlilik derecesi ve yağın kirlenmesine neden olan (su, mazot, toz girişi, kurum, aşınmış parçacıklar vb.) sebepler araştırılmıştır.

Aşınmış parçacıklar miktar olarak parçacık sayıcı cihazında tespit edilmiştir. Şekil ve boyut olarak mikroskopta incelenmiş ve aşınmanın derecesi mevcut aşınma atlasıyla karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre arızalar büyümeden makinelere müdahale edilmiştir.

Bu bakım yönteminin uygulanmasıyla iş makinalarının tamir bakım masraflarında önemli miktarda azalma ,çalışma saatlerinde artış sağlanmıştır. Sonuçta makinelerdeki arızalar önceden tespit edilerek , gerekli önlemlerin alınması ile makinelerin arıza yapmadan verimli çalışması sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yağ analizi, aşınma, çalışma ömrü

## **THE DETERMINATION of ENGINE BREAKDOWNS by MACHINE OIL and WEAR PARTICLES ANALYSES METHOD**

### **ABSTRACT**

Analysis method of lubricant and wear particle is applied on the engines, transmissions, hydraulic systems and differential gears of earth trucks in ELİ, Soma. In this study, six engines, a transmission, three hydraulic systems and three transmissions of earth trucks are examined in ELİ, Soma. Lubricant samples taken from defined units in conformity with standards, are examined in lubricant analysis laboratory. Measurement of dirtiness of lubricant and reason of this facts (water, fuel, dust, wear particles etc.) are inspected.

Quantity of wear particles are determined by particle quantity instrument. Size and shape of wear particles are examined by microscope and compared with wear atlas. According to analysis results important breakdowns are prevented.

Consequently; significant decrease of repair-maintenance costs and increase of work life of earth trucks are provided. And by determining breakdowns before and taking necessary precautions made the earth trucks work without breakdowns.

**Key Words:** lubricant analysis, wear, working life.

	SAYFA
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III-VIII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII-IX
TABLO LİSTESİ.....	X
TEŞEKKÜR.....	XI
1 GİRİŞ.....	1
2 KESTİRİMCİ BAKIM.....	3
2.1 Bakım Felsefesi.....	3
2.1.1 Arızalanma veya Arızı Bakım.....	4
2.1.2 Önleyici veya Zaman Bazlı Bakım.....	4
2.1.3 Kestirimci veya Koşul Bazlı Bakım.....	5
2.1.4 Proaktif veya Önleyici Bakım.....	6
2.2 Bakım Felsefelerinin Gelişimi.....	7
2.3 Ekipmanın Sınıflandırılması ve Öneriler.....	9
2.3.1 Bakım Stratejisi.....	9
2.4 Kestirimci Bakımın Prensipleri.....	11
2.5 Kestirimci Bakım Teknikleri.....	12
2.6 Yağ Analizi.....	13
2.6.1 Yağ ile İlgili Temel Bilgiler.....	13
2.6.1.1 Mineral Yağlar.....	13
2.6.1.2 Sentetik Yağlar.....	14
2.6.1.3 Katkı Maddeleri.....	15
2.6.2 Yağ Analizi.....	18
2.6.3 Bir Yağ Analiz Programının Oluşturulması.....	22
2.6.3.1 Ekipmanın Denetlenmesi.....	22
2.6.3.2 Yağlayıcının Denetlenmesi.....	25
2.6.3.3 İzleme.....	27
2.6.4 Yağ Analizi – Örnekleme Yöntemleri.....	30

2.6.4.1	Örnekleme Portunun Konumu.....	30
2.6.4.2	Örnekleme – En İyi Araçlar.....	32
2.6.4.3	Örneğin Kirlenmesini En Aza İndirmek.....	41
2.6.4.4	Yağ Örneklemesinin Özeti.....	42
2.6.5	Yağ Analizi – Yağlayıcının Özellikleri.....	43
2.6.5.1	Görünüş, Renk ve Koku.....	44
2.6.5.2	İnorganik Asitlik.....	44
2.6.5.3	Organik Asitlik.....	44
2.6.5.4	Toplam Asitlik.....	44
2.6.5.5	Özgül Ağırlık.....	45
2.6.5.6	Kinematik Viskozite.....	45
2.6.5.7	Viskozite İndeksi.....	46
2.6.5.8	Parlama Noktası.....	46
2.6.5.9	Akma Noktası.....	47
2.6.5.10	Bakır Şeritle Korozyon Testi.....	47
2.6.5.11	Köpüklenme.....	47
2.6.5.12	Sabunlaşma Numarası.....	47
2.6.5.13	Pas Önleme Karakteristiği.....	48
2.6.5.14	Demülsife Sayısı.....	48
2.6.5.15	Oksidasyon Testleri.....	48
2.6.5.16	Pompa Aşınma Testi ( D–2282 ).....	49
2.6.5.17	Emulsiyon ve Demülsife Karakteristiği.....	49
2.6.5.18	Nefes Alma Değeri.....	49
2.6.5.19	Salmastra Uyumluluğu.....	49
2.6.5.20	FZG Testi ( FZG – Niemon EP Testi ).....	50
2.6.5.21	pH Değeri.....	50
2.6.5.22	Su İçeriği.....	50
2.6.5.23	Ateşe Dayanım Hidrolik Karakteristikleri.....	51
2.6.5.24	Sülfatlanmış Kül.....	52
2.6.5.25	Elektriksel Dayanım.....	52
2.6.5.26	Özgül Direnç.....	52

2.6.5.27 Dielektrik Güç Kaybı Katsayısı.....	52
2.6.5.28 Ara Yüz Gerilimi.....	53
2.6.5.29 Aşırı Basınç Özellikleri.....	53
2.6.5.30 Çözünmeyenler ( Pentan ve Hegzan ).....	54
2.6.5.31 Toplam Baz Sayısı ( TBN ).....	54
2.6.5.32 TAN-TBN Oranı.....	54
2.6.6 Yağ Analizi – Yağlayıcılardaki Kirleticiler.....	55
2.6.6.1 Harici Kaynaklardan Meydana Gelen Kirlenme.....	55
2.6.6.2 Farklı Harici Kirleticiler.....	57
2.7 Aşınmış Parçacık Analiz Yöntemi.....	64
2.7.1 Aşınmış Parçacık Analizinin Hedefleri.....	65
2.7.2 Aşınmış Parçacık Analiz Metodları.....	65
2.7.2.1 Doğrudan Analiz Yöntemleri.....	66
2.7.2.2 Numune Alarak Laboratuvarlarda Analiz.....	67
2.7.2.2.1 Numune Alma Kayıtları.....	68
2.7.2.2.2 Yağlama Yağı Numune Alma Prosedürü.....	68
2.7.2.2.3 Yağlama Yağı Numune Alma Teknikleri.....	69
2.8 Yağ Numunesi Analiz Teknikleri.....	70
2.8.1 Spektrometrik Yağ Analizinin Kullanımı.....	70
2.8.1.1 Atomik Absorbsiyon Prensibi.....	70
2.8.1.2 Atomik Yayılım Prensibi.....	71
2.8.1.3 Spektrometrik Yağ Analizi Tekniklerinin Ana Hatları.....	72
2.8.1.4 Performans ve Sınırlamalar.....	73
2.8.2 Mikroskopinin Kullanımı.....	73
2.8.3 Görüntü Analizi Kullanımı.....	75
2.8.3.1 Taramalı Elektron Mikroskobu.....	77
2.8.4.1 Analitik Ferrografi.....	77

2.8.4.2 On-Line Ferrografi.....	78
2.8.5 Dönen Parçacık Depolayıcısının Kullanımı.....	79
2.8.6 Aşınmış Parçacık Test Edici Kullanımı.....	80
2.8.7 Partikül Miktarı Ölçüsü.....	81
2.8.8 Lazer Işını Spektrumuna Ayırıştırma Yoluyla Partikül Büyüklüğü.....	82
2.8.9 Bir Aşınmış Parçacık Analiz Sisteminin Seçimi.....	82
2.8.9.1 Kullanım Şekli.....	83
2.8.9.2 Bileşimin Seçimi.....	83
3 AŞINMIŞ PARÇACIKLAR VE AŞINMA ATLASI.....	85
3.1 Şekil.....	85
3.2 Renk Ve Yapı.....	85
3.3 Boyut.....	85
3.4 Çelik Tipi.....	86
3.5 Parçacık Belirlenmesi .....	86
3.5.1 Kazıma ile Aşınmış Parçacık.....	87
3.5.2 Kesme ile Aşınmış Parçacık.....	88
3.5.3 Öğütme ile Aşınma.....	88
3.5.4 Dişli Yorulması.....	89
3.5.5 Aşırı Metal Metale Sürtünme.....	90
3.5.6 Fretting Aşınması.....	92
3.5.7 Aşınmış Parçacık Örnekleri.....	93
3.5.8 Korozyon Ürünleri.....	93
3.5.9 Prinç Veya Bronz.....	93
3.5.10 Krom.....	95
3.5.11 Kömür.....	96
3.5.12 Şist.....	97
3.5.13 Mineraller.....	97
3.5.14 Bakır.....	98
3.5.15 Molibden Disülfür.....	98



4 MAKİNA YAĞI VE AŞINMIŞ PARÇACIK ANALİZ YÖNTEMİNİN UYGULANMASI.....	99
4.1 Çalışma Prensipleri.....	99
4.1.1 Numune Alımı.....	99
4.1.2 Parçacık Miktarının (PQ) Belirlenmesi.....	100
4.1.3 Mikroskopla Fiziksel Analiz.....	101
4.1.4 TBN (Toplam Baz Nosu) Değerinin Belirlenmesi.....	101
4.1.5 Viskozite Ölçümü.....	102
4.1.6 Analizlerin Değerlendirilmesi.....	102
5 MAKİNA YAĞI ve AŞINMIŞ PARÇACIK ANALİZ YÖNTEMİNİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ.....	103
5.1 Laboratuar Analizinin Motorlarda Uygulanması.....	107
5.1.1 412 Kapı Nolu Komatsu Kamyon Motoru.....	107
5.1.2 111 Kapı Nolu Kawasaki Yükleyici Motor Tipi: Cummins KT19.....	108
5.1.3 269 Kapı Nolu D155A-1 Komatsu Dozer Motoru.....	111
5.1.4 435 Kapı Nolu HD785-1 Komatsu Kamyon .....	114
5.1.5 488 Kapı Nolu HD785-1 Komatsu Kamyon Motoru.....	118
5.1.6 289 Kapı Nolu D355A-3 Komatsu Dozer Motoru .....	123
5.1.7 Makine Yağı ve Aşınmış Parça Analizinin Motorlarda Uygulanmasının Sonuçları.....	126
5.2 Laboratuar Analizinin Hidrolik Sistemlerde Uygulamaları.....	128
5.2.1 Hidrolik Sistemlerde Değerlendirilmesi.....	130
5.3 Laboratuar Analizinin Şanzımanlarda Uygulamaları.....	131
5.3.1 419 Komatsu Kamyon Şanzımanı.....	131
5.3.2 Laboratuar Analizinin Şanzımanlarda Değerlendirilmesi.....	132
5.4 Laboratuar Analizinin Diferansiyelde Uygulanması.....	132
5.4.1 449 Komatsu Kamyon Diferansiyeli.....	133
5.4.2 423 Komatsu Kamyon Diferansiyeli.....	134
5.4.3 117 992 Cat Yükleyici Diferansiyeli.....	135
5.4.4 Makina Yağı ve Aşınmış Parçacık Analiz Yönteminin Diferansiyelde Değerlendirilmesi.....	135

6 SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	136
KAYNAKLAR.....	138

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	SAYFA
Şekil 2.1 Bakım felsefeleri.....	3
Şekil 2.2 Kestirimci bakım.....	12
Şekil 2.3 Örnekleme portlarının konumu.....	31
Şekil 2.4 Damlama tüplü örnekleme yöntemi.....	32
Şekil 2.5 Bir redüktöre bağlanan ticari örnek alma tüpü.....	34
Şekil 2.6 Piyasadan bulunabilen örnek alma valfleri (Minimess Valfleri – Hydrotechnik).....	34
Şekil 2.7 Örnekleme valflerinden yağ örneğinin toplanma prosedürü (Hidra-Check Valfleri).....	35
Şekil 2.8 Hat üzerinden yağ örneğinin alınmasını sağlayan Hidra-Check valf.....	36
Şekil 2.9 Kapan boru adaptörleri.....	37
Şekil 2.10 Harici kirliliğe meydan vermeden yağ örneklerinin toplanması.....	43
Şekil 2.11 Atomik absorpsiyon prensibi şematik diyagramı.....	71
Şekil 2.12 Atomik emisyon(yayılm) prensibi şematik diyagramı.....	72
Şekil 2.13 Optik Mikroskop Şematik Diyagramı (A) Taramalı Elektron Mikroskobu (B).....	75
Şekil 2.14 IBAS 2000 görüntü analiz programının tipik bir ölçme program yapısı.....	76
Şekil 2.15 Ferrografik analizatör şematik diyagramı.....	77
Şekil 2.16 Parçacık miktarı ölçümleyici.....	81
Şekil 3.1 Kazıma ile aşınmış parçacık, 5 µm'den küçük.....	87
Şekil 3.2 Kesme ile aşınmış parçacık, 160 µm.....	88
Şekil 3.3 Öğütme ile aşınmış parçacık, 400 µm.....	89
Şekil 3.4 Dişli yorulması ile oluşan parçacık, 500 µm.....	90
Şekil 3.5 Aşırı metal metale sürtünme aşınması ile oluşan parçacık, mavileşmiş çelik 150 µm.....	91

Şekil 3.6 Aşırı metal metale sürtünme aşınması ile oluşan parçacık, renkli çelik 240 µm.....	91
Şekil 3.7 Fretting aşınma parçacığı, hepsi 5 µm' den küçük.....	92
Şekil 3.8 Pas parçacıkları, 400 µm'ye kadar.....	93
Şekil 3.9 Prinç aşınmış parçacığı, 200 µm.....	94
Şekil 3.10 Bronz aşınmış parçacığı, 280 µm .....	94
Şekil 3.11 Krom pulları, 50 µm'ye kadar.....	95
Şekil 3.12 Şekilsiz kömür parçacıkları, 170 µm'a kadar.....	96
Şekil 3.13 Kristalimsi kömür parçacıkları, 250 µm'ye kadar.....	96
Şekil 3.14 Şist, 280 µm.....	97
Şekil 3.15 Mineraller 10 µm'ye kadar.....	97
Şekil 3.16 Bakır parçacıkları, 80 µm'ye kadar.....	98
Şekil 3.17 Molibden disülfid parçacıkları, 10 µm'ye kadar .....	98
Şekil 5.1 HD785-1 Komatsu ağır kamyon.....	104
Şekil 5.2 Hidrolik ekskavatör.....	105
Şekil 5.3 Elektrikli ekskavatör.....	106
Şekil 5.4 HD785-1 Komatsu kamyon motoru.....	107
Şekil 5.5 Mikroskopik incelemede piston kol burç talaşı görüntüsü (x50µm).....	110
Şekil 5.6 Motor söküldüğünde yatakların durumu.....	112
Şekil 5.7 Mikroskopik incelemede yatak talaş görüntüsü(x100µm).....	113
Şekil 5.8 Mikroskopik incelemede kol burç talaşı görüntüsü(x100µm).....	116
Şekil 5.9 Aşınmış Kol Yatağı Görüntüsü.....	116
Şekil 5.10 488 nolu Komatsu Kamyonunun Motorunda Oluşan Hasarlar.....	120
Şekil 5.11 289 nolu Komatsu Dozerin Motorunda oluşan hasar.....	124
Şekil 5.12 Hidrolik yağ içerisindeki talaş parçaları görüntüleri.....	129
Şekil 5.13 HD785-1 Şanzıman.....	131
Şekil 5.14 HD785-1 Diferansiyel Resmi.....	132
Şekil 5.15 Diferansiyel yağ içerisindeki talaş parçaları görüntüleri.....	133

## TABLolar LİSTESİ

	SAYFA
Tablo 2.1 Yağ analizindeki koşulların karşılaştırılması.....	20
Tablo 2.2 Partikül sayısına karşılık skala sayısı.....	39
Tablo 5.1 Soma ELİ'nde Yıllara Göre Dekapaj ve Kömür Üretimi.....	103
Tablo 5.2 İş Makinesi Parkı.....	104
Tablo 5.3 Komatsu Kamyon Motor Yağı İzleme Tablosu.....	107
Tablo 5.4 Kawasaki Yükleyici Motor Yağı İzleme Tablosu.....	109
Tablo 5.5 D155A-1 Komatsu Dozer Motoru Yağ İzleme Tablosu.....	111
Tablo 5.6 D155A-1 Komatsu Dozer Motor Maliyet Tablosu.....	114
Tablo 5.7 HD785-1 Komatsu Kamyon Motoru Yağ İzleme Tablosu.....	115
Tablo 5.8 HD785-1 Komatsu Kamyon Motoru Maliyet Tablosu.....	117
Tablo 5.9 Komatsu Kamyon Motor Yağı İzleme Tablosu.....	118
Tablo 5.10 HD785-1 Komatsu Kamyon Motoru Maliyet Tablosu.....	122
Tablo 5.11 Komatsu Dozer Motor Yağı İzleme Tablosu.....	123
Tablo 5.12 D155A-1 Komatsu Dozer Motor Maliyet Tablosu.....	125
Tablo 5.13 Komatsu Kamyon Hidrolik Yağ İzleme Tablosu.....	128
Tablo 5.14 Komatsu Kamyon Fren Yağı İzleme Tablosu.....	128
Tablo 5.15 Komatsu Kamyon Hidrolik Yağı İzleme Tablosu.....	129
Tablo 5.16 Komatsu Kamyon Şanzıman Yağı İzleme Tablosu.....	131
Tablo 5.17 Komatsu Kamyon Diferansiyel Yağ İzleme Tablosu.....	133
Tablo 5.18 Komatsu Kamyon Diferansiyeli Yağı İzleme Tablosu.....	134
Tablo 5.19 117 CAT.Yükleyicinin Diferansiyel Yağı İzleme Tablosu.....	135

## TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans çalıőmasının her aşamasında engin bilgi ve tecrübesi ile bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli danıőman hocam Öğr.Gör.Dr. N.Sinan KÖKSAL' a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin meydana gelmesinde büyük payları olan değerli arkadaşım Makine Mühendisi Tamer CEBECİ' ye, çalışma arkadaşlarım Fevzi ALATAŐ, Seher KARACA, Levent SELÇUK, Mustafa İlhan UYSAL, İrem ERASLAN, Haluk BAYKAL ve tüm Cenkyeri Atölyesi çalıőanlarına teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim

## 1- GİRİŞ

İşletmelerde çalışan makinelerin arıza yapmadan, uzun süreli ve verimli çalışması sağlamak amacıyla birçok bakım yöntemi uygulanmaktadır. Bu şekilde işletmede aniden durmaların, makinelerde gereksiz parça değişimlerin ve bakım maliyetlerinin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Ekonomik yaklaşımla, makinelerde hem oluşan arızanın parça değişimi veya tamirle giderilmesi hem de makinenin çalışmaması durumlarında önemli kayıplar oluşmaktadır. İşletmenin verimliliği açısından bu kayıpları en aza indirmek için makinelerin izlenmesi ve bakımının düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Makinelerdeki olası arızaların önceden belirlenip yedek parça, tamir ve işletme masraflarının azalmasını sağlamak önemlidir. Kestirimci bakım diye adlandırılan titreşim analizi, yağ ve aşınmış parça analizi, ultrason, termografi, performansın ölçülmesi ve ekipmanın koşullarını değerlendiren teknikler kullanılmaktadır [1,2].

Makinelerde çalışan parçaların gürültüsüz, aşınma olmadan ve aşırı ısınmayı önleyecek şekilde çalışmasını sağlayan hareketli aksamın vazgeçilmezidir yağdır. Çalışma ortamı ve makineye uygun yağın seçilmesi ve çalışma süresince yağın özelliklerini koruması önemlidir. Çalışma süresince kullanılan makine yağı parçalarla temas halinde olduğundan yağın incelenmesi birçok açıdan önemli olmaktadır. Kullanılan yağın kalitesinde bir azalma olmadan, içerisine toz, kir, yakıt ve su gibi yabancı maddeler karışmadan kullanılması gerekmektedir. Dolayısıyla çalışan makinelerdeki yağın incelenmesi ile makine verimliliği ve aşınma durumu hakkında bilgi alınabilir. Makinenin çalışan parçalarında oluşan aşınmanın şekli ve miktarı, düzenli aralıklarla alınan yağ numunelerini incelemekle belirlenebilmektedir. Bu yöntemde yağ numunesi ile yağdaki toz varlığı, su veya yakıt karışması gibi ciddi problemler teşhis edilebilir. Yağ analizi ile bir metalin konsantrasyonlarının arttığını tespit edilirse bu artışa en fazla neden olabilecek parça da belirlenebilir. Örneğin, hidrolik yağ numunesinde bakır ve demir değerlerinin aniden yükselmesi, yağın bozulması veya kirlenmesi sonucu hidrolik pompada bir aşınma olabileceğini gösterebilmektedir. Yağ analizi aşınma elementlerini tespit ettiği gibi kirlenmeyi (toz girişini) de tespit edebilmektedir. Ayrıca yağ durum

analizi ile, kurum, oksidasyon, nitrasyon ve sülfür oranı, bunun yanısıra yağa su, yakıt ve antifriz karışması da belirlenmektedir [3-4].

Günümüzde yağlardaki aşınma parçacıklarının tespitinde kullanılan yağ analiz teknikleri, spektrometrik yağ analiz programları (SOAP), manyetik tapa/dedektörler, parçacık sayma (PQ), mikroskopik parçacık tayini (MPE) ve ferrografidir. Aşınma elementleri analizi ile metal aşınma parçacıkları, kirliliği ve yağ katkı maddelerinin içerdiği diğer elementler takip edilir [5]. Yağ durum analizi ile kullanılmış yağ ile temiz yağ karşılaştırılarak, yağın yeterli derecede yağlama ve koruma yapabilecek durumda olup olmadığı tespit edilir. Yağdaki parçacıkların sayılmasıyla, bileşenlerin ömrünü kısaltan zararlı kirliliklerin belirlenmesini sağlar. Aşınma veya dışarıdan gelen kirlilik sonucu oluşan metal veya metal olmayan parçacıklar (kavrama disk malzemesi gibi), parçacık sayımı analizi ile belirlenmektedir. Aşındırıcı özelliğe sahip olup aşınmayı hızlandırabilecek parçacıklar ile yağdaki su, antifriz veya yakıt da özel testlerle belirlenir. Bu yöntemin birçok alanda başarılı uygulamaları yapılmaktadır[6-7].

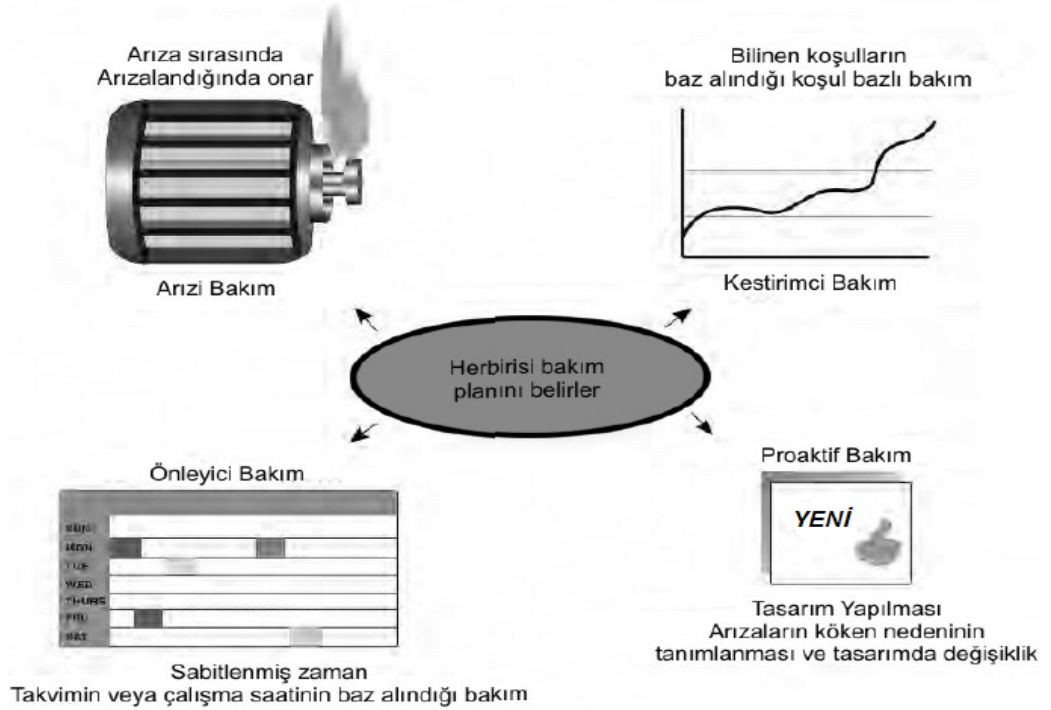
Bu çalışmada, aşınmış parçacıklar ve yağ analizi yöntemi Soma Ege Linyitleri İşletmesinde (ELİ) kullanılan iş makinelerinin motor, hidrolik sistem, şanzıman ve diferansiyellerdeki uygulamaları incelenmiştir. Arazi şartlarında çalışan iş makinelerinden standartlara uygun olarak 50, 100, 150 ve 200 saatte alınan yağ numuneleri filtreden geçirilerek mikroskop altında incelenen parçacıklar ile parçacık miktarı, aşınma atlası ile karşılaştırılmıştır. Böylece parçalardaki aşınma şekli, miktarı, yağdaki kirlilik derecesi belirlenip, gerekli yağ ve parça değişimleri yapılmıştır. Sonuçta bu yöntemle iş makinelerinin motor, hidrolik sistem, şanzıman ve diferansiyellerdeki parçalarının çalışma süresi %25 daha uzamış ve gereksiz ve uzun süreli durmalar ortadan kaldırılarak işletme verimliliği artmıştır.

## 2 KESTİRİMCİ BAKIM

### 2.1 Bakım Felsefesi

Farklı işletmelerde kullanılan bakım felsefeleri işletmelerin çalışma prensipleri birbirinden çok farklı olmasına rağmen biraz benzerlik göstermektedir. Bu bakım felsefeleri genellikle dört kategoriye ayrılabilir.( Şekil 2.1)

- Arızalanma veya arızı bakım için çalışma
- Önleyici veya zaman bazlı bakım
- Kestirimci veya koşul bazlı bakım
- Proaktif veya önleyici bakım



Şekil 2.1 Bakım felsefeleri



### **2.1.1 Arızalanma veya Arıza Bakım**

Arızı Duruş bakımının arkasındaki temel felsefe ekipmanın arızalanana kadar çalışmasına izin vermek ve sadece ekipman tamamen duracak hale geldiğinde veya gelmeden hemen önce hasarlanan parçaların onarılması veya değiştirilmesidir. Bu yaklaşım eğer ekipmanın durması üretimi etkilemiyor, işçi ve malzeme maliyetleri bir sorun oluşturmuyorsa bir işe yaramaktadır. Dezavantajı, bakım biriminin daima plansız bir şekilde *kriz modunda* çalışmasına neden olur. Üretimde beklenmedik duraksamalar meydana geldiğinde anında bakımın yapılabilmesi için çok fazla yedek parçaya ihtiyaç duyulmaktadır. Şüphesiz bu, bir üretim fabrikasına bakım yapmanın en verimsiz yoludur. Maliyeti düşürmek için daha ucuz yedek parçaların satın alınması ve sıradan işçilerin kullanılması sorunu daha da kötü hale getirir.

Genel olarak bu gibi durumlarda daha fazla çalışma gerekeceğinden, her gün bitmemiş iş listesi ile karşılaşmaktan ve gece boyunca yeni acil işler çıkacağından dolayı personelin morali düşüktür. Modern çağda birçok teknik ilerleme kaydedilmesine rağmen bu bakım felsefeleri ile çalışan işletmeler mevcuttur.

### **2.1.2 Önleyici veya Zaman Bazlı Bakım**

Kestirimci bakımın ardındaki düşünce daha önceden belirlenen zaman aralıklarında takvime ve ekipmanların çalışma saatlerine dayanarak bakım faaliyetlerinin programlanmasıdır. Burada hasarlı ekipmanın onarılması veya değiştirilmesi problem açık olarak kendini ortaya koymadan önce yapılmaktadır. Bu felsefe ekipman sürekli olarak çalışmıyorsa ve personel yeteri kadar kalifiye değil ise ve önleyici bakımın yapılması için yeterli zaman yok ise faydalıdır.

Bu yöntemin dezavantajı planlanan bakım faaliyetlerinin ya *çok erken* ya da *çok geç* yapılabilmesidir. Ekipman belirli bir çalışma saatinden sonra bakıma alınabilir. Burada herhangi bir işlevsel arızanın kanıtı olmadığında bileşenler halen çalışma ömürleri kalmasına rağmen yenisi ile değiştirilmektedir. Bu yüzden gereksiz bakım yapılmasından dolayı üretimde düşüş olasılığı ortaya çıkar. Birçok durumda yanlış onarım yöntemlerinden dolayı performansın azalması söz konusudur. Bazı durumlarda mükemmel derecede iyi olan ekipmanlar sökülür, bunların iyi sorunsuz parçaları çıkarılır ve atılır, yeni parçalar sonrasında soruna neden olacak şekilde yanlış olarak monte edilir.

### **2.1.3 Kestirimci veya Koşul Bazlı Bakım**

Bu yöntem sadece işlevsel bir arıza tespit edildiğinde bakım faaliyetlerinin programlanmasından ibarettir. Mekanik veya çalışma koşulları periyodik olarak izlenmeli ve sağlıksız eğilimler tespit edildiğinde ekipmandaki sorunlu parçalar tanımlanmalı ve bakım için program yapılmalıdır. Ardından ekipman en uygun zamanda durdurulmalı ve hasarlı parçalar yenileri ile değiştirilmelidir. Eğer bu durum ihmal edilirse bu arızalar maliyeti yüksek olan ikincil hasarlara neden olacaktır.

Bu yöntemin avantajlarından birisi bakım faaliyetlerinin düzenli olarak programlanabilmesidir. Bu yaklaşım gerekli onarım işleri için parçaların satın alınmasında biraz daha tedarik süresi kazandırmaktadır. Bu sayede stokta daha az yedek parça tutulmasını sağlamaktadır. Bakım işi sadece gerekli olduğunda yapıldığı için ayrıca üretim kapasitesinde artış sağlanmaktadır.

Arızalı ekipmanların yanlış değerlendirilmesinden dolayı bakım işlerinin artması ise bu yöntemin olası bir dezavantajıdır. Titreşim, sıcaklık veya yağlamadaki sağlıksız yönelimlerinin bulunması için bu parametrelerin özel cihazlar ve bu iş için yetiştirilmiş personel kullanılmalıdır veya buna alternatif olarak ekipmanların izlenmesi işi bu konuda tecrübeli bir uzmana verilmelidir.

Eğer bir organizasyon arızı veya önleyici bakım felsefesi ile çalışmış ise üretim ve bakım grubunun her ikisi de bu yeni felsefeye uymak zorundadır. Yönetimin bakım grubunu yeterli derecede eğitilmiş personel ve gerekli ekipman ile desteklemesi çok önemlidir. Personel verilen bir zaman aralığında gerekli olan veriyi toparlayabilmeli ve problemleri bulduğunda ekipmanı durdurmasına izin verilmelidir.

#### **2.1.4 Proaktif veya Önleyici Bakım**

Bu yöntem tüm arızaların kendi kökeninin nedeninde yakalanmasına dayanmaktadır. Her bir arıza analiz edilmiştir ve proaktif ölçümler alınarak bu arızaların tekrarlanmayacağından emin olunmuştur. Yukarıda incelenen kestirimci/önleyici bakım tekniklerinin tümü köken nedenli arıza analizi ( *RCFA* ) nden yararlanmaktadır. *RCFA* tespit eder ve arızaya neden olan problemlerin tam yerini tespit eder. Bunun için uygun bir kurulum ve bakım teknikleri benimsenmesini ve uygulanmasını sağlar. Bunun yanında bu tip problemlerin tekrarlanmasını önlemek için ekipmanın yeniden tasarlanmasını veya modifikasyonunu gündeme getirir. Kestirimci bakımda olduğu gibi ekipmanların düzenli bir program ile bakımlarının yapılması mümkündür. Fakat tekrar tekrar meydana gelen potansiyel problemlerin azaltılması veya ortadan kaldırılması için yapılması gerekli olan iyileştirmeler ek güç harcanarak yapılabilmektedir.

Tekrar, bakım faaliyetlerinin düzenli olarak programlanması gerekli onarımlar için parçaların satın alınmasından biraz daha zaman kazandırmaktadır. Bu sayede stokta daha az yedek parça tutulması sağlanmaktadır. Çünkü bakım işleri sadece gerekli olduğunda yapılmaktadır. Arızanın nedeninin araştırılmasında ve ekipmanının güvenilirliğinin artırılması için yapılacakların belirlenmesinde ek güç sarf edilir. Bu konuların hepsi de üretim kapasitesinde önemli miktarda artış sağlar.

Buradaki dezavantaj önleyici, kestirimci ve önleyici/proaktif bakım uygulamalarında son derece bilgili çalışanlara gerek duyulmasıdır. Bunun yanında *RCFA* fazında bakım personeliyle yakın olarak çalışabilecek bilgili müteahhit firmalara dış kaynak yapma olasılığı da bulunmaktadır. Ayrıca proaktif bakım gelişmiş

ekipmanların satın alınmasını ve bu işlerin yapılması için konu hakkında eğitilmiş personel gerekmektedir[8].

## 2.2 Bakım Felsefelerinin Gelişimi

Endüstride ekipman bakımı arıza bakımdan zaman bazlı önleyici bakıma kadar gelişim göstermiştir. Şu anda ise kestirimci ve proaktif bakım yöntemleri gündemdedir.

Arıza bakım üretim teknolojisinin erken safhalarında uygulanmış ve doğası gereği reaktiftir. Bu taktirde belirli bir çalışma saatinden sonra ekipmanın bakımının yapılması için herhangi bir arıza belirtisi olmasa bile ekipman devreden çıkarılmaktaydı. Bu sistemin eksikliği ekipman bileşenlerinin daha çalışma ömürlerinin olmasına rağmen değiştirilmeleridir. Maalesef bu yaklaşım bakım maliyetlerini düşürmeye yardımcı olmamaktadır. Önleyici bakım kullanıldığında ortaya çıkan yüksek bakım maliyetlerinden dolayı ekipmanın ihtiyaç duyulan koşulu baz alınarak ekipmanın bakımı ve incelenmesi için program yapılabilen bir yaklaşım tercih edilmiştir. Bu sayede kestirimci bakımın ve temelindeki tekniklerin gelişmesine izin vermiştir.

Kestirimci bakım, arızaların tespit ve teşhis edilmesi için ekipmanın sürekli olarak izlenmesini gerektirmektedir. Bir arıza algılandığında bakım işleri planlanır ve yerine getirilir.

Günümüzde endüstride kestirimci bakım ilerleme kaydetmiş ve avantajları endüstri tarafından kabul görmüştür. Çünkü ekipmandaki mekaniksel ve yapısal problemler ile ilgili arızalar erkenden belirlenebilmektedir. Bu yöntem şu anda bakım maliyetlerini, çalışma ve onarım sürelerini ve stok sayılarını aşağıya çekmede belirgin bir etkisi olan bir tespit ve teşhis yöntemi olarak görülmektedir. İşletmenin sürekli olarak çalıştığı yağ ve gaz, güç üretimi, çelik, kağıt, çimento, petro kimya, tekstil, alüminyum komplekslerinde ufak bir duruşun bile meydana gelmesi işletmeye mali açıdan büyük zarar vermektedir. Bu gibi durumlarda kestirimci bakımın yukarıdaki alanlara uyarlanması gerekmektedir. Yıllar geçtikçe kestirimci bakım üretim hacminin,

ürün kalitesinin, karın ve tüm işletmelerin genel veriminin arttırılmasına yardımcı olmuştur.

Genel olarak üreticilerin spesifik ekipman problemlerinden daha fazla sakınmak için ve sonrasında arızaların köken nedenlerinin tanımlamaya çalışılması için bu felsefeyi seçtikleri görülmüştür. Bu eğilim proaktif bakım olarak adlandırılan bakım türünün gelişmesine izin verilmiştir.

Bu durumda bakım birimleri hassas dengeleme, daha doğru kaplin ayarı, boru salınımlarının kontrolü, yağ kontrolü/değişimi programlarına sıkı sıkıya bağlı kalmak gibi işler için ek zamana ihtiyaç duymaktadır. Bu sayede ise gelecekte ekipmanda meydana gelebilecek olan arızaların kökeni ortadan kaldırılır.

Bakım felsefesindeki bu gelişme ekipman ömrünün uzamasına, güvenlik seviyesinin, ürün kalitesinin artmasına, ömür çevrim maliyetlerinin azalmasına, acil duruş ve ani kararların azalmasını sağlayarak büyük ve öngörülemeyen mekaniksel arızaların önüne geçilmesini sağlamıştır.

Özet olarak, şu faydalar elde edilmiştir:

- *Ekipmanın üretkenliğinin artması:* Kestirimci bakımın uygulanması ile beklenmeyen ekipman arızalarından kaynaklanan işletmenin duruş süresinin ortadan kaldırılmasının teorik olarak mümkün olmaktadır.
- *İki bakım çalışması arasındaki sürenin uzatılması:* Bu bakım felsefesi ihtiyaç duyulduğunda programlanmış bakım çalışmalarına izin veren bilgileri sağlamaktadır.
- *Açma, inceleme ve onarım sayılarının en aza indirilmesi, gerekli ise bakım yapılması:* Kestirimci bakım arızaların yerini tam olarak tespit eder ve bu sayede tüm olası arızaları araştırma yerine bakım işlerine daha fazla odaklanılır.
- *Bakım süresinin iyileştirilmesi:* Özel ekipman problemleri ileri seviyede bilindiğinden dolayı bakım işleri programlanabilir. Bu sayede bakım işleri daha hızlı ve daha kolay yapılabilir. Ekipmanlar arıza meydana gelmeden önce durdurulduğundan

teorik olarak ikincil bir hasar meydana gelmediğinden onarım süresi düşmektedir.

- *Ekipman ömrünün arttırılması:* Bakımı iyi yapılmış bir ekipmanın genellikle daha uzun ömürlü olmaktadır.
- *Uygun olarak planlanmış bakım için kaynaklar:* Ekipman arızalarının tahmin edilmesi arızanın tespit edilme zamanını düşürmektedir. Bu yüzden ayrıca arıza raporu oluşturma süresi, işe personel ayrılması, doğru dokümanların bulunması, gerekli yedek parçaların ve araçların ve onarım için gerekli diğer kalemlerin hemen elde edilmesini sağlar.
- *Ürünün kalitesinin iyileştirilmesi:* Genellikle iyileştirilmiş bir bakım faaliyetinin genel verimi ürünün kalitesini iyileştirmektedir. Mesela kâğıt ekipmanlarındaki titreşimin kâğıdın kalitesi üzerine doğrudan etkisi bulunmaktadır.
- *Bakım maliyetlerinde azalma:* Yapılan çalışmalar uygun bir bakım planının gerçekleştirilmesi ile bakım maliyetleri üzerinde doğrudan %20 ~ 25 tasarruf sağlanmasının yanında üretimin iki katına çıktığını göstermektedir[8].

## 2.3 Ekipmanın Sınıflandırılması ve Öneriler

### 2.3.1 Bakım Stratejisi

Yukarıda bahsedilen bakım felsefelerinin kendilerine has avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır ve ekipmanın kritiklik analizi yapıldıktan sonra uygulanmaktadır. Genellikle kritiklik analiziyle ekipman aşağıdaki kategorilerden birisinde yer alır:

- Kritik
- Zorunlu
- Genel amaç

Bir ekipmanın *kritik* olması için aşağıdaki maddeleri yerine getirmesi gerekmektedir:

- Arızalı olması işletmenin güvenliğini etkiliyor mu?
- İşletmenin çalışması için zorunlu mu ve duruşu işletmenin üretkenliğini azaltıyor mu?
- Yedek parçasının temin edilme süresi uzun mu ve büyük güce sahip mi?
- Yatırım maliyetleri ve bakım maliyetleri ( yüksek devirli turbo makinalar gibi )

veya bakım süreleri uzun mu?

- Prosedürlere ve talimatlara uyulmaksızın yapılan bir çalışmada en ufak bir etkide işletme şartları kötüleşiyor mu veya ekipman arızalanıyor mu?
- Son olarak ekipmanının güç aktarma organları enerji tasarrufuna sahip mi veya üretkenliği artırıyor mu?

Tüm olasılıklarda proaktif ve kestirimci bakım felsefesi kritik ekipmana uyarlanmıştır. Titreşimi izleyen enstrümanlar bu ekipmanlar için sürekli ve tam zamanlı izleme kapasitesine sahiptir. Bazı sistemler aynı anda izleme kanallarına sahiptir. Bu sayede ekipmanın tümünün hızlı olarak değerlendirilmesi mümkün olmaktadır.

*Zorunlu* ekipmanlar genellikle aşağıdaki maddeleri yerine getirmektedir:

- Arıza işletmenin güvenliğini etkileyebilir
- İşletmenin çalışması için ekipmanlar zorunludur ve herhangi bir nedenle durduklarında prosesin bir kısmı veya tümü kesintiye uğrar
  - Kurulu yedek parçası olabilir veya olmayabilir
  - Devreye alma mümkündür, fakat üretim prosesini etkileyebilir
  - Yüksek devre veya yüksek güce sahiptir. Fakat sürekli olarak çalışmayabilirler,
  - Pistonlu kompresörler gibi bazı ekipmanlar zaman bazlı bakıma gereksinim duyabilir
    - Bu ekipmanlar onarım için orta seviyede masrafa, uzmanlığa ve zamana gereksinim duyarlar.
    - Geçmişten bugüne planlı bakım programlarında yer alan ekipmanlar, sürekli kötü çalışma şartlarında bozulan ekipmanlardır. Mesela korozif ortamda çalışan santrifüj fanlar örnek olarak verilebilir.

Birçok durumda bu tip ekipmanlar için önleyici bakım felsefesi ve yeri geldiğinde daha az karmaşık olan kestirimci bakım programı uyarlanmıştır. Bu zorunlu ekipmanlar, kritik ekipmanlardakine benzer şekilde izleme enstrümanlarına gereksinim duymazlar. Zorunlu ekipmanların üzerindeki titreşim izleme sistemleri tarayıcı tipte olabilir. Bunlarda sistem bir sensörden diğerine çıkış seviyelerini birer birer göstererek açar.

*Genel amaçlı* ekipman aşağıdaki maddelere göre belirlenir:

- Arızalanması halinde işletmenin güvenliği etkilenmez
- İşletmenin üretkenliği üzerinde bir önemli bir etkisi yoktur
- Ekipmanın stokta yedeği bulunur veya dışarıdan hemen temin edilebilir
- Bu ekipmanlar onarım için düşük ve orta masrafa, uzmanlığa ve zaman ihtiyaç duymaktadır
- İkincil hasarı yoktur veya çok azdır.

Genellikle genel amaçlı ekipman üzerinde arıza bakım felsefesi kullanılabilir. Ancak modern işletmelerde genel amaçlı ekipmanlar için bile şansa yer yoktur. Bu ekipmanlar bir sürekli izleme sistemine veya üzerlerinde sürekli olarak bulunan bir enstrümana sahip değildirler ve taşınabilir enstrümanlarla izlenirler[8].

#### **2.4 Kestirimci Bakımın Prensipleri**

Kestirimci bakım temel olarak koşul tarafından tetiklenen bir önleyici bakımdır. Endüstriyel veya işletmedeki ortalama ömür istatistikleri bu durumda bakım faaliyetlerinin programlanması için kullanılmaz. Kestirimci bakım mekanik durumu, ekipmanın verimini ve diğer parametreleri izler ve işlevsel arıza zamanını yaklaşık olarak tahmin etmeye çalışır. Kapsamlı bir kestirimci bakım programı en etkili maliyet düşürme araçlarının kombinasyonundan yararlanarak ekipmanın ve işletmenin etkin çalışma koşullarının elde edilmesinden faydalanır. Toplanan bu veriler temel alınarak bakım programı seçilir. Kestirimci bakım yöntemi olarak; titreşim analizi, yağ ve aşınmış parça analizi, ultrason, termografi, performansın ölçülmesi ve ekipmanın koşullarını değerlendiren diğer teknikleri kullanmaktadır.

Kestirimci bakım teknikleri etkin olarak medikal teşhis tekniklerine çok benzerlik göstermektedir. İnsan vücudunda bir problem ile karşılaşıldığında bu bir semptom gösterir. Sorunlu sistem açık verir. Bu tespit etme kademesidir. Bundan başka eğer gerekli ise patolojik testler yapılarak problem teşhis edilir. Bu durum temel alınarak gerekli müdahale yapılır ( Şekil 2.2 ).





**Şekil 2.2** Kestirimci bakım

## 2.5 Kestirimci Bakım Teknikleri

Kullanılan birkaç tane kestirimci bakım tekniği bulunmaktadır.

a) *Titreşimin izlenmesi*: Bu dönen bir ekipmandaki mekaniksel arızaların tespit edilmesi için en etkili tekniktir.

b) *Akustik emisyon*: Yapılardaki ve boru hatlarındaki kırılmaların tespit edilmesi, konumunun belirlenmesi ve sürekli olarak izlenmesi için kullanılır.

c) *Yağ analizi*: Burada, yağlama yağı analiz edilir ve rulmanlar ve dişlilerin koşulu ile ilgili olarak belirli mikroskobik partiküllerin varlığı araştırılır.

d) *Partikül analizi*: Aşınan ekipman bileşenleri dönen ekipmanlarda, dişli kutularında veya hidrolik sistemlerde olup olmadığına bakılmaksızın parça bırakır. Bu parçaların toplanması ve analiz edilmesi bu bileşenlerin hasarı hakkında çok önemli bilgiler verir.

e) *Korozyonun izlenmesi*: Boru hatları, açık deniz uygulamaları ve proses ekipmanlarında yapılan ultrasonik kalınlık ölçümleri korozyon aşınmasının belirlenmesi için kullanılır.

f) *Isı grafiği*: Faal elektriksel ve mekaniksel ekipmanın analiz edilmesi için ısı grafiği kullanılır. Bu yöntem jeneratörler, aşırı ısınan hatların, boylerlerin, ayarsız kaplinlerin ve diğer birçok arızanın tespit edilmesi için kullanılabilir. Bu yöntem ayrıca uçaklardaki karbon iplikçiği yapılarındaki hücre hasarlarının tespit edilmesi için de

kullanılabilir.

g) *Performansın izlenmesi*: Ekipmanın çalışması ile ilgili sorunların tespit edilmesi için kullanılan çok etkili bir tekniktir. Ekipmanların verimi onların iç koşulları hakkında iyi bir fikir sahibi olunmasını sağlar.

Tüm bu yöntemlere rağmen kestirimci bakım yönetim desteğinin yetersiz kalması, kötü planlama ve yetenekli ve eğitilmiş insan gücünün olmayışı gibi nedenlerle başarısız sonuçlara yol açabilir. Kestirimci bakım programının uygulanması ile ekipmanın izlenmesi için uyarlanacak spesifik tekniklere karar verilmesi çok önemlidir. Ayrıca endüstri koluna, ekipmanın tipine bağlı olarak değişik yöntemler bulunmaktadır ve bunun yanında fazla sayıda eğitilmiş insan gücü gerekmektedir. Ayrıca kestirimci bakım teknikleri ekipmanın arızasının tespit ve teşhis edilmesi için ileri tekniğe sahip ekipmanların kullanılmasını da gerektirmektedir. Bu ekipmanlar genel olarak çok pahalıdır ve verdikleri bilgilerin analiz edilmesi için çok iyi tekniğe sahip çalışanlara ihtiyaç duyulmaktadır. İster akıllı enstrümantasyon isterse yetenekli insan gücü olsun genellikle kestirimci bakım felsefesinin işletmeye uyarlanması ile maliyetlerine dair soru işaretleri ortaya çıkmaktadır. Ancak yönetimin desteği ile insan gücüne ve ekipmana yeterli seviyede yatırım yapıldığında kestirimci bakım kısa bir süre içerisinde çok iyi sonuçlar vermektedir [8].

## **2.6 Yağ Analizi**

### **2.6.1 Yağ ile İlgili Temel Bilgiler**

Bir yağlayıcı genellikle baz akışkandır. Bu baz akışkan genellikle petrol kökenli olup baz akışkanın arzu edilen özelliklere sahip olması için katkı kimyasalları ile karıştırılmaktadır. Baz akışkanlar iki ana kaynaktan elde edilirler. Bunlardan bir tanesi petrol kökenli ham yağın rafine edilmesi ve diğeri yağlayıcıya arzu edilen özellikleri veren bağül olarak saf bileşenlerin sentezinden oluşmuştur.

#### **2.6.1.1 Mineral Yağlar**

Yağlayıcı baz yağın üretimi ile ilgili genel prensipler arzu edilen yağlayıcı özelliklerinin sağlanması için bir adımdan oluşmaktadır. Bunlar:

- Viskozite indeksi
- Oksitlenmeye karşı gösterdiği direnç
- Isıl direnci
- Düşük sıcaklıktaki akışkanlığıdır.

Petrol kökenli ham yağ ile başlarsak, yağlayıcı bir baz yağın yapılması için tipik proses şu şekilde olacaktır:

- Gaz, jet yakıtı, dizel gibi düşük kaynama noktalı malzemelerin ayrılması
- Aromatikleri ve polar bileşenleri içeren kirleticilerin yapıdan uzaklaştırılması
- Baz yağın arzu edilen viskozite sınıfının verilmesi için distile edilmesi
- Düşük sıcaklıkta akışkanlığın iyileştirilmesi için parafinden arıtma
- Oksidasyonun ve ısıl kararlılığın iyileştirilmesi için yapılan son işlemler

### 2.6.1.2 Sentetik Yağlar

Yağlayıcı baz akışkanın bir diğer kaynağı sentetik kökenlidir. Sentetik bir malzeme için uygun bir tanımlama şudur: *Belirli tahmin edilebilir özelliklerin sağlanmasında moleküler ağırlığı daha fazla olan bir akışkanın üretilmesi için daha düşük moleküler ağırlıktaki malzemeler ile kimyasal reaksiyon sonucu oluşan bir üründür.* Bu rafine yöntemine ve ham stok kaynağına bağlı olarak farklı kimyasal kompozisyondaki birçok bileşenin karışımından meydana gelen rafine edilmiş petrol yağların tersidir.

Yaygın olarak kullanılan üç sentetik baz yağ:

- Poli alfa olefinler
- Organik esterler
- Poli glikollerdir.

Diğer sentetik akışkanlar çok özel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlar fosfat esterleri, silikonlar, silikat esterleri ve poli fenil eterleridir. Sentetik yağlayıcılar sıradan mineral yağlara göre birkaç tane avantaja sahiptir. Bunlar:

- Düşük sıcaklıkta mükemmel akışkanlık

- Düşük akma noktası
- Yüksek doğal viskozite endeksi
- Mükemmel oksidasyon kararlılığı
- Yüksek parlama, alev alma ve otomatik ateşleme noktaları
- Düşük uçuculuk
- Korozif olmama ve zehirli olmamadır.

Düşük sıcaklık yağlayıcıları ve aleve dirençli hidrolik akışkanlar gibi sentetik yağlayıcılar uzunca bir süredir havacılık endüstrisinde kullanılmaktadır. Bunlar bu yağlayıcıların yüksek maliyetlerini ortalamaktadır. Aynı viskozite aralığında sentetik malzemeler genellikle petrol bazlı akışkanlara göre daha geniş sıcaklık aralığında kullanılabilir. Uygun petrol bazlı yağ bulunamadığında belirli sentetik yağlayıcıların baz stokları petrol kökenli yağlarla karıştırılarak yüksek sıcaklıkta uçuculuk ve düşük sıcaklık viskozite karakteristikleri elde edilebilir.

### 2.6.1.3 Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri baz mineral yağa yeni özellikler katan malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Katkı maddeleri yağlayıcının mevcut olan özelliğini arttırmaktadırlar. Yağlayıcının içine katılacak olan katkı maddelerinin miktarı ve tipi yağlayıcıdan beklenen performans özelliklerine bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan katkı maddeleri şunlardır:

*Deterjanlar ( metalik dispersanlar )*: Bunlar sistemin içindeki kalıntı oluşumunu kontrol etmek için kullanılmaktadır. Bunlar makina parçalarının temiz tutarlar ve süspansiyon içerisinde kalıntı oluşmuşsa bunları tutarlar. Dispersanlar gibi deterjanlar, yağlayıcı ile karıştırılarak zararlı ürünlerin sistemden atılması ve nötrleştirilmesini sağlar. Buna ek olarak deterjanlar metal yüzeyleri üzerinde koruyucu bir tabaka oluşturarak çamur ve vernik kalıntılarının oluşmasını engeller. Motorlarda bu üretilen asidik malzemelerin miktarını düşürmektedir. Deterjanlar için metalik baz olarak baryum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum kullanılmaktadır. Deterjan katkı maddeleri daha çok dizel ve

benzinli motorlar için kullanılmaktadır.

*Külsüz dispersanlar:* Bu katkı maddesinin amacı yağlayıcı içerisinde bulunan zararlı ürünlerin askıya alınması ve ayrılmasıdır. Bu yüzden katkı maddeleri bu ürünlerin etkilerini nötrlemektedir. Zararlı ürünler kir, su, yakıt, proses malzemesi gibi kirletici maddeleri içerdiği gibi çamur, vernik ve oksitlenme gibi ürünleri de içermektedir. Tipik uygulamaları dizel ve benzinli motorlar için kullanılan yağlar, transmisyon akışkanları, yardımcı güçle çalışan direksiyon akışkanları ve bazı durumlarda vites kutusu yağlarıdır.

*Oksitlenme ve Yatağın Korozyona Uğramasını Önleme:* Pas ve korozyon oksijen ve asidik ürünlerin metal yüzeyi üzerine saldırı yapması sonucu oluşmaktadır. Süreç su ve kirleticilerin olması ile hızlandırılmaktadır. Pas ve korozyon önleyiciler asitleri nötrleştirir ve kayma yüzeyleri üzerinde koruyucu bir film tabakası oluşturur. Bu önleyiciler yağlayıcı da ve sıvı seviyesinin üzerindeki yüzeylerde olmak zorundadır.

*Anti oksidantlar:* Bir anti oksidant yüksek sıcaklıklarda çalışan yağların oksitlenmesini sınırlandırır. Oksidasyon önleyici olarak da bilinirler ve oksidasyon ürünlerini iyi halli ürünlere kimyasal olarak döndüren oksitlenme işlemi ile girişim yapar. Buna ek olarak bazı oksidasyon önleyiciler serbest katalitik metaller ( başlıca bakır ve demir ) ile etkileşime geçerek bunları oksidasyon sürecinden uzaklaştırmaktadır. Yağlayıcıların tümü neredeyse ticari olarak farklı derecelerde anti oksidasyon katıklarını içermektedir.

*Viskozite İndeksi İyileştiriciler:* Bu katkı maddeleri yağın viskozite sıcaklık ilişkisini iyileştirmektedir. Viskozite iyileştiriciler yağlayıcının yüksek sıcaklıklarda tatminkâr seviyede yağlama yapması için yağlayıcıya eklenmektedir. Düşük sıcaklıklarda baz stoğun viskozite karakteristiği hüküm sürerken yüksek sıcaklıklarda doğru viskoziteyi viskozite iyileştiriciler sağlamaktadır.

*Akma noktasını düşürücüler:* Akma noktası düşürücüler düşük sıcaklıklardaki yağlar için yerçekimi ivmesi ile akma özellikleri sağlar. Bunlar düşük sıcaklıklarda parafin oluşmasını önlemeye meyillidir. Yağ formüllerinin birçoğunda özellikle viskozite

iyileştirici içerenlerde ilave akma noktası düşürücüler diğer katkı maddelerinin içerisinde bulunduğundan dolayı ek akma noktası düşürücü gerekli değildir.

*Aşırı Basınç, anti aşınma katkıları:* Bunlar yağ için gerekli olan yük taşıma kapasitesi sağlarlar ve sınır yağlama koşulları altında hareket eden parçaların birbirini ezmesini (*scuffing*) önlerler.

*Köpük Önleyiciler:* Köpük önleyiciler köpük oluşumunu kontrol ederler. Anti köpük ajanları yağlayıcının köpürme eğilimini düşürmek için kullanılır. Eğer bir köpürme problemi teşhis edilmişse ekipman çalışırken yağlayıcıya köpük önleyici katılır. Yağlayıcı ve ekipman üreticileri doğru miktarda köpük önleyicinin konulması son derece önemli olduğundan köpük önleyici eklenmeden önce bu firmalara danışılmalıdır. Aşırı miktarda köpük önleyici katılması daha fazla köpük oluşmasına neden olacaktır.

*Emülgatörler:* Emülgatörler yağın yüzey gerilimini düşürmek için kullanılırlar.

*Demülsif ediciler:* Bunlar çevre kirliliğinin bir kaynağı olan yağ buharının oluşmasını azaltır ve bu sayede yağ kaçaqları önlenir.

*Yapışkanlık Ajanları:* Bunlar metale tutunma ve yapışmayı iyileştirirler.

*Biyokıran:* Bakteri ve mantar oluşumunu kontrol eder.

Aşağıdaki liste katkı maddelerinde yaygın olarak kullanılan elementleri ve bunların yağlama yağındaki rolünü içermektedir:

Baryum (Ba)	Deterjan veya dispersan katığı
Bor (B)	Aşırı basınç katığı
Kalsiyum(Ca)	Deterjan veya dispersan katığı
Bakır(Cu)	Anti aşınma katığı
Kurşun(Pb)	Anti aşınma katığı

Magnezyum(Mg)	Deterjan veya dispersan katığı
Molibden(Mo)	Sürtünme düzenleyici
Fosfor(P)	Korozyon önleyici, anti aşınma katığı
Silikon(Si)	Anti köpük katığı
Sodyum(Na)	Deterjan veya dispersan katığı
Çinko(Zn)	Anti aşınma ve anti oksidan katığı

Mineral bazlı yağlar belirli katkı maddeleri ile karıştırılır ve bu sayede özel uygulamalarda kullanılabilir. Endüstride kullanılan farklı tipteki yağlayıcılar:

- Otomotiv yağları ( benzin, dizel, özel uygulamalar )
- Dişli ve transmisyon yağları
- Karter yağları
- Türbin yağları
- Isıl işlem yağları
- Isı transfer akışkanları
- Hidrolik yağlar
- Kesme yağları
- Demiryolu uygulamalarında kullanılan yağlar
- Soğutma yağları
- Paslanmayı önleyen yağlar
- Kauçuk işleme yağları
- Tekstil ekipmanı yağları
- Özel uygulama yağlarıdır.

### 2.6.2 Yağ Analizi

Kullanılmış yağ analizinin ilk aşaması 1940ların ilk dönemlerine rastlamaktadır. Bu tarihte yağ analizi Amerika Birleşik Devletleri'nin batısındaki demiryolu şirketleri tarafından yapılmıştır. Yeni lokomotiflerin satın alınmasıyla teknisyenler lokomotif motorunun yağının izlenmesi için basit spektrografik ekipman kullanmışlar ve fiziksel testler yapmışlardır. Buharlı lokomotiflerin yerine dizel lokomotifler kullanıldığı zaman

yağ analiz tekniği demiryolu şirketleri tarafından kullanılan düzenli bir faaliyet olmuştur. 1980lerde Kuzey Amerika' da ki birçok demiryolu şirketinin koşul bazlı bakım programlarının temelini oluşturmuştur.

Amerikan Donanması 1950lerin ortasında kendi uçaklarındaki jet motorlarının izlenmesi için spektrometrik teknikleri kendisine uyarlamıştır. Bu zamanlarda Rolls Royce da kendi jet türbinlerini izlemek için yağ analizi ile deneyler yapmıştır. Yağ analizi kavramı 1950ler ve 1960ların başlarında Amerikan Ordusu ve Hava Kuvvetleri tarafından yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu tekniğin işe yarar olduğunun kanıtı yağ analizi teknolojisinin yıllardır yapılıyor olmasıdır. Buna rağmen titreşim yaklaşımı da kullanılmalıdır. Titreşim analizi birçok endüstri kolunda koşul izlemenin temel teşhis tekniği olarak kalmıştır. Buradaki problem birçok koşul izleme takımının yağ analizinin gücünden habersiz olmasıdır. Ayrıca şirketler yağ analizini yapması için personel ayırmadığı durumlarda bu insanlar durum izleme takımlarında titreşim analizi ile ara yüz oluşturmamıştır.

Neticede bu durum negatif eğilim olacak şekilde değişmiştir. Şirketlerin birçoğu yağ analizini titreşim izlemeye ekleyerek kendi durum izleme programlarını iyileştirmişlerdir. Bunun gibi birkaç titreşim durum izleme firması yağ analizi cihazı, servisi ve veri yönetimini şirketlerin kullanımına sunmuştur. Bu birleşme ile durum izlemesi yapan kişi ekipmanın çalışma koşulları ile ilgili daha fazla fikir sahibi olabilmekte ve bu yüzden etkili kararlar ve tavsiyeler için daha iyi bir konumda olmaktadır.

Titreşim ve yağ analizi birbirini tamamlamaktadır. Bir arada kullanıldıklarında biri diğerine yardımcı olabilir. Örneğin titreşim analizi bir rezonansı teşhis edebilir. Fakat bu yağ analizinin yeteneğinin ötesindedir. Benzer olarak titreşim analizi yağ analizinin hem aşınmayı tespit etmede ve hem de özel arızaların şiddetinin belirlenmesinde tek çözümün olduğu yerlerde yağ ile yağlanan kaymalı yataklarda aşınmanın tam olarak algılanmasında başarılı değildir. Tüm analiz teknikleri aynı problemi gösterdikten sonra teşhis ve öneriler nadiren hatalı olmaktadır.



Pale Verde Nükleer Üretim Fabrikası'nda Bryan Johnson ve Howard Maxwell tarafından sunulan *Integration of Lubrication and Vibration Analysis Technologies* adlı makalede iki analiz tekniğinin bir arada kullanımı incelenmiştir. Bu makalede iki tekniğin özellikleri ve bunların kombine etkisinin nasıl daha etkili olduğu açıklanmıştır (Tablo 2.1).

**Tablo 2.1** Yağ analizindeki koşulların karşılaştırılması

<b>Koşul</b>	<b>Yağ Programı</b>	<b>Titreşim Programı</b>	<b>Korelasyon</b>
Yağ ile yağlanmış sürtünmesiz yataklar	Verimli	Verimli	Yağlama analizi arıza başlangıcını algılayabilmektedir. Titreşim ise arıza kademe bilgisini geç ve verimli olarak verebilmektedir.
Yağ ile yağlanmış kaymalı/eksenel yataklar	Verimli	Vasat	Yağ ovalama içerisinde veya gevşeklik koşulundan dolayı aşınma kalıntıları oluşacaktır.
Ekipmanın dengesiz olması	Uygulanamaz	Verimli	Titreşim programı dengesizliği algılayabilir. Sonuç olarak yağ analizi artan yatak yükünün etkisini gösterecektir.
Yağda su bulunması	Verimli	Uygulanamaz	Su hızlı arızalanmaya neden olabilir. Bu aylık gelişigüzel yapılan titreşim taraması ile tespit edilir.
Greslenmiş yatak	Vasat	Verimli	Rutin greslenmiş yatak analizi için titreşim izlemeyi ekonomik hale getirmektedir. Yağ laboratuvarlarının birçoğu greslenmiş yataklar ile ilgili bilgi vermek için yeterli deneyime sahip değildir.

Greslenmiş motorlu valfler	Vasat	Verimsiz	Nükleer enerji sektöründe aktüatörler önemli ekipmanlardır. Gres örnekleri hemen test edilebilmelidir. Fakat uygun bir örneğin alınması zor olmaktadır. Ayrıca bu valfleri çalışır vaziyette bulmak zor olabildiğinden titreşim teknikleri ile izlenmesi zor hale gelmektedir.
Mil kırılmaları	Uygun değil	Verimli	Titreşim analizi kırılmış bir milin izlenmesi için çok etkili olabilmektedir.
Dişli aşınması	Verimli	Verimli	Titreşim teknikleri ile herhangi bir dişlideki arıza tespit edilebilir. Yağ analizi ile arıza modunun tipi tahmin edilebilir
Ayarlama	Uygun değil	Verimli	Titreşim programı ile ayarsızlık durumu tespit edilebilir. Yağ analizi artan/uygun olmayan yatak yükünün etkisini gösterebilir.

Yağlayıcı durumunun izlenmesi	Verimli	Uygun değil	Yağlayıcı arızanın önemli bir nedeni olabilmektedir.
Rezonans	Uygun değil	Verimli	Titreşim programı ile herhangi bir rezonans durumu tespit edilebilir. Yağ analizi bunun etkisini gösterecektir.
Köken nedenli analiz	Verimli	Verimli	Her iki programın birlikte yürütülmesi en iyisidir.

### 2.6.3 Bir Yağ Analiz Programının Oluşturulması

Bir işletmede yağ analiz programının oluşturulması için sistematik bir yaklaşım olması gerekmektedir. Bu yaklaşım temelde dört adımdan oluşmaktadır. Bunlar:

1. Ekipmanın denetlenmesi
2. Yağlayıcının denetlenmesi
3. İzleme
4. Programın uygulanmasıdır.

#### 2.6.3.1 Ekipmanın Denetlenmesi

Ekipmanın denetlenmesi yağ analizi ile izlenebilecek ekipmanın tanımlanması ile ilgili çalışmalar yapmaktır. Çalışma sırasında ekipmanın detaylı olarak mekanik ve çalışma koşulları incelenmektedir ve ardından uygun yağ analizi programı belirlenmektedir. Bu bakım programı için temel olan sınırları ve hedefleri belirlenmesidir. Ekipmanın denetlenmesi aşağıdakilerden oluşmaktadır:

#### Ekipmanın Kritikliği

Güvenlik, çevresel konular, duruş maliyeti, bakım onarım maliyetleri ve ekipmanın geçmişi ekipmanın bu program için kritik ekipman olarak seçilip seçilmemesini belirlemektedir.

**Ekipman Bileşeninin ve Sistemin Tanımlanması**

Bu ekipmanla ilgili tüm bilgilerin alınmasını ve ekipmanın karmaşıklığının anlaşılmasını içermektedir.

**Çalışma Parametreleri**

Bu adım ekipmanın çalışma penceresini tanımlamaktadır. Bunun içerisinde debi, basınç ve sıcaklık sınırları bulunmaktadır.

**Çalışan Ekipmanın Değerlendirilmesi**

Bu ekipmanın görsel olarak incelenmesidir ve havalandırmalar, soğutucular ve filtreler gibi bileşenlerin tanımlanmasına yardımcı olmaktadır. Çalışma sıcaklıkları ve basınçları, hizmet çevrim süreleri, dönme yönü, devir, filtre göstergeleri ve bunlarla ilgili faktörler kaydedilmelidir.

**Çalışma Ortamı**

Kötü ortamlar veya çevresel kirlenme yağlayıcının bozulmasını etkileyebilir, sonunda ekipmanın hasarlanmasına neden olur. Ortalama sıcaklık, nem ve olası kirlenmeler gibi çevresel koşullar kaydedilmek zorundadır.

**Bakım Tarihi**

Ekipmanın aşınma ve yağlama probleminden kaynaklanan önceki problemleri bilinmelidir. Bu yeni hedeflerin ve sınırların konulması için gereklidir. Bu sınırlar önceden ikazlı arızalar için yeterli derecede hassas olmalıdır.

**Yağ Örneğinin Konumu**

Yağ örneği kolay alınabilecek yerden alınmalıdır. Bu sayede normal çalışma koşulları altında örnekler güvenle ve kolaylıkla toplanabilir. Alınan örneğin ekipmanın koşulu hakkında doğru bilgiyi sağlayabilmesi için aşınmış partikül konsantrasyonu bulunmalıdır.

## **Yağ Testleri**

Fiziksel yağ testi dört kategoriden oluşmaktadır. Bunlar:

1. Yağın fiziksel özellikleri
2. Yağın kimyasal özellikleri
3. Yağın kirliliği
4. Aşınmış partiküllerin tespit edilmesidir.

Yağlayıcının ve ekipmanın sağlık durumu ve durumunun verimli olarak izlenmesi için ekipmana özel test prosedürleri gerekmektedir. Muafiyet testleri ile yağlayıcıdaki değişim nedeninin kökenini belirlenebilir.

## **Yeni Yağ ile İlgili Bilgiler**

Yağlayıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri için bir başlangıç noktası olması açısından yeni yağlayıcıya ait örnek gerekmektedir. Yağın özellikleri çalışma koşulları ve zamana göre değişim gösterir. Bu değişimlerin hesaba katılması için yağlayıcı hedefleri ve alarm değerleri buna göre ayarlanmalıdır.

## **Hedef Değerleri ve Alarm Değerleri**

Orijinal ekipman üreticileri ( OEM ) ne ait sınırlar ve standartlar hedef ve alarm değerlerinin ayarlanması için kullanılabilir. Çoğu kez sınır değerleri daha önceden kazanılan deneyimlerden belirlenir ve bu deneyim ekipmanın ve yağlayıcının durumunda meydana gelen değişimleri belirlemenin en iyi yöntemidir.

## **Veritabanının Geliştirilmesi**

Ekipman bilgisinin ve ekipmanın belirli bir parçası için hedef ve alarm değerleri arasında toplanan yağ analizi sonuçlarının organize edilmesi için bir veritabanı geliştirilmelidir. Bu veritabanı kullanıcı dostu olmalı ve ekipmanın durumunu kolay anlaşılacak şekilde göstermelidir.

### **2.6.3.2 Yağlayıcının Denetlenmesi**

Ekipmanların birçoğunun güvenilir olarak çalışması uygulama için doğru fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bir yağlayıcı kullanılmasını gerektirmektedir. Sağlığının düzenli olarak izlenmesi gereken ekipmanlarda olduğu gibi yağlayıcılardan düzenli aralıklarla yağlayıcının ömrü boyunca kendisinden beklenen gereksinimleri karşılayıp karşılamadığının görülmesi için örnek alınmalı ve bu örnek kontrol edilmelidir.

#### **Yağlayıcı Gereksinimleri**

Daha önce bahsedilen ekipmanın denetlenmesi ekipmanın üreticisi tarafından belirlenen gerekli tipteki yağlayıcıya göre bilgi sağlayacaktır. Bu adım yağlayıcının viskozitesinin çalışma sıcaklığı ile olan ilişkisi gibi özelliklerinin kontrol edilmesini içermektedir.

#### **Yağlayıcıyı Tedarik Eden Firma**

Yağlayıcılar bu alanda isim yapmış tedarikçilerden alınmalıdır ki beklenen kalite elde edilsin. Örneği alınan ve test edilen yağlayıcılar kalitesi için kontrol edilmelidir.

### **Yağın Depolanması**

Etiketleme gibi organize edilmiş depolama yöntemleri çok önemlidir. Yeni tedarikler için ilk giren ilk çıkar politikası yağlayıcının kullanımı ile gerçekleştirilebilir. Bu bir zaman aralığı boyunca yağlayıcı özelliklerinin bozulması olasılığını azaltır.

### **Taşıma ve Karıştırma**

Taşıma ve karıştırma yöntemleri öyle bir şekilde yapılmalıdır ki yağlayıcıda hiç kirlenme, karışma veya atık meydana gelmemelidir. Boşaltma, tamamen doldurma ve yağlayıcının değiştirilme tarihleri kaydedilmelidir.

### **Atık Yağ**

Bir yağlayıcı ömür çevriminin sonuna geldiğinde güvenli bir şekilde bertaraf edilmelidir. Yağlayıcının tipinin tanımlanması için uygun bir etiket yapıştırılmalı ve bu etiket bertaraf yönteminin nasıl olacağını belirtmelidir. Kullanılmış yağlar uzun süre depolanmamalıdır.

### **Temel Özellikler**

Temel özellikler kısa bir zaman aralığında ekipmanın ve yağlayıcının sağlığı ile ilgili alınan parametrelerdir. Normalde ardışık aylarda alınan üç okuma değeri gelecekteki eğilimlerin karşılaştırılması için yeterlidir.

### **Ekipmanın Değerlendirilmesi**

Bir yağlayıcının analiz edilmiş bir örneği, ilgili ekipmanın verisiyle birlikte kullanılmadığında sadece kısmi bilgi verir. Bu herhangi bir değişim için olası köken nedenlerini ve görülen sapmaların nedenlerini gösterebilir.

### **Örnek Alma**

Bir örnek alma prosedürü örneklerin toplanması için yöntemi ve aparatları belirler. Buradaki amaç ekipmandaki ve yağlayıcıda meydana gelen değişimlere göre duyarlı bir örneğin alınmasıdır.

## **Test Etme**

Bu ekipmanın sağlığı ile ilgili sonuçları vermesi gereken testlerin tiplerini belirler.

## **Muafiyet Testi**

Ölçülen parametrelerin herhangi birisinde yağ analizi ile bir anormallik tespit edilir edilmez bu bir *muafiyet testi* ile doğrulanmalıdır. Teşhis perspektifinden bakıldığında bu analiz ve tekrarlanabilirlik için bir ek test olmaktadır.

## **Veri Giriş, Gözden Geçirme ve Raporlama**

Tüm örneklerin sonucu bir veri yönetim sistemine girilmelidir. Bunlar ortaya çıkma eğilimleri için periyodik olarak gözden geçirilmeli ve ayrıca daha önce toplanan temel veriler ile karşılaştırılmalıdır.

Bir tavsiye listesi içeren düzenli raporlar tutulmalıdır. Bu raporda test frekansını ve yağlayıcının ve/veya çalışma koşullarının şu andaki durumunun kabul edilebilir sınırlar içerisinde nasıl iyileştirilebileceği belirtilmelidir.

### **2.6.3.3 İzleme**

İzleme veri toplama ve ekipmanın ve yağlayıcı koşullarının eğilimini öğrenme sürecidir. Bu bilgi bakım etkinlikleri için işletmedeki ekipmanların son derece güvenli, güvenilir ve düşük maliyetle çalışmasını sağlayacak bir kılavuz gibidir.

## **Rutin İzleme**

Rutin izleme ekipmanın sağlığının takip edilmesinde belirli aralıklarla veri toplanmasını sağlayan sabit bir programdır.



**Turlar**

Tur, örnekleme konumu için ekipmanların belirli bir sırayla izlenmesidir. Tur sırası mümkün olan en kısa zaman aralığında güvenli ve engel olmadan veri toplanmasını sağlamalıdır.

**İzleme Frekansı**

İzleme frekansı ekipmanın ve yağlayıcının çeşidine bağlıdır. Ancak bu program geliştikçe veya gözlenen koşullarda kötüleşme görüldüğünde değiştirilebilir.

**Testler**

Testler herhangi bir yağ analiz programında ekipmanın o andaki durumunu belirleyen altyapıyı oluşturur. Testlerde bir anormallik görüldüğünde hemen doğası gereği teşhis edici olan muafiyet testleri yapılmalıdır. Ayrıca normal olmayan eğilimlerin doğrulanması için bir diğer teşhis tekniği de uygulanmalıdır. Rutin testlerin sonuçları normal olarak 48 saat sonra alınabilir. Ancak acil durumlarda 24 saatte de sonuç almak mümkündür.

**Bakım Sonrası Yapılan Test**

Ekipmanın bakımından veya önemli parçaların değiştirilmesinden sonra problemin giderildiğinden emin olunması için belirli yağ testleri yapılmalıdır. Bundan başka başlangıç aşamasında olan hayati öneme sahip olası koşulların tespit edilmesi ve yeni temel değerlerinin alınması da önemlidir.

**Veri Analizi**

Belirli bir zaman aralığı boyunca yağ analizi ve bununla ilgili diğer teknikler ile toplanan veriler ekipmana özel bilgi kütüphanesinin oluşturulmasına yardımcı olur. Ekipmanın operatörleri ve atölye personelinin de ekipman ile ilgili deneyimlerine önem verilmelidir. Onların tecrübesi ekipmanın çalışma koşulları ile ilgili bilgileri doğabilecek olası problemlerin çözülmesi için bir zemin oluşturacaktır. Ara sıra nedeni bilinmiyor gibi gözükten tekrarlı problemler toplanan bilgilerle çözülebilir ve böylece köken nedenli analize ulaşılır.

## **Raporlar**

Tamamlanan tüm turlar, muafiyet testi ve köken nedenli analiz raporlanmalıdır ve uzman kestirimci bakım personeli tarafından kaydedilmelidir. Bu uzman personel tanımlanan anormallik üzerinde düşünmeli ve gereken düzeltici faaliyetleri yapmalıdır. Bu raporlar gelecekte referans olarak kullanılmak üzere organize edilmiş şekilde dosyalanmalıdır. Bu raporlarda:

- Ekipmanla ilgili özel tanımlamalar
- Örnekleme tarihi
- Raporlama tarihi
- Analizi yapan kişinin adı
- Ekipmanın ve yağlayıcının şu andaki durumu
- Öneriler
- Örnekleme testine ait sonuç verileri
- Özel açıklamalar bulunmalıdır.

Bilgisayarlaştırılmış bir sistemin kullanılması raporların gereken herhangi bir şekilde tasarlanmasına ve birçok durumda ekipmanın durumu ile ilgili ön izlenim raporunun oluşturulmasına olanak tanıyacaktır.

## **Programın Uygulanması**

Durum izleme ve kestirimci bakım programlarının esas görevi güvenliği, üretim hedeflerini ve bakım bütçesini etkileyebilecek olan arızaların başlangıcını tespit etmektir. İyi yönetilen programlar bu fonksiyonu yerine getirebilir. Programın başarısı izlenen ekipman sayısı ve önlenebilen duruş sayısı ile ölçülebilir. Ancak bu programlardaki kazancın finansal terimlere dönüştürülmesi genellikle biraz zor olmaktadır. Bu sadece finansal kazançların sürekli desteklenen programlar ile gösterildiğinde ve maliyeti kesen bir kıstas olarak azalma veya kesilme yapılmadığındadır. Bir yağ analiz programına başlamak uygun olarak yürürlüğe konulan programla ilgili tüm maliyet faydalarının belgelendirilmesini gerektirmektedir.

## 2.6.4 Yağ Analizi – Örnekleme Yöntemleri

Herhangi bir yağ analiz programının en önemli elemanlarından birisi harici kirleticiler tarafından kirletilmemiş bir örneğin alınmasıdır ( *gelen atık dışarı çıkar* ). Bu mikroskobik aşınmış partiküller için kullanılan bir yağ analizini için anlaşılacak zorundadır ve harici kirleticiler mikroskop altında gözlemlenen sonuçları etkileyebilir.

Bu yüzden örnekleme yöntemi, aparat, aksesuar, prosedür ve örnekleme frekansı örneğin bilgi içeriğini belirler ve bu sonrasında faydalı sonuçların nasıl olacağını belirler. Bir örnekleme programı tasarlanırken önemli faktörler ortaya konulmalıdır. Bunlar:

- En iyi konum – Birçok durumda bu ekipmana özgüdür
- En iyi araç – Vakum pompaları, örnekleme şişeleri, vanalar, kapanlar, vb.
- Kirliliği en aza indirmedir.

### 2.6.4.1 Örnekleme Portunun Konumu

Yağ analizini kullanarak bileşenlerin sağlığının teşhis edilmesi daha çok uygun konumlarda örnekleme portlarının açılmasıyla sağlanmaktadır. Bu portlar öyle bir konumda olmalıdır ki her bir bileşenden örnek alınabilsin. Bu arızaların meydana gelmeden önce analitik olarak algılanmasını sağlar ve arıza nedenlerinin kökenine inilmesini sağlar. Basit portlar genellikle primer ve sekonder olmak üzere iki kategoriye ayrılır ( *Şekil 2.3* ).

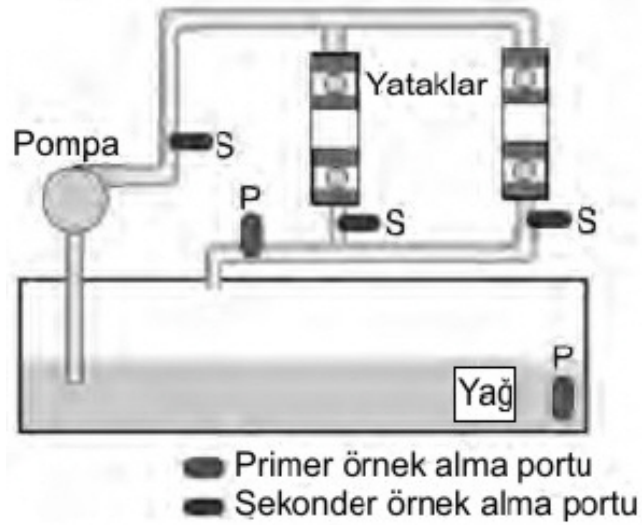
#### Primer Örnekleme Portları

Bu porttan rutin yağ örnekleri toplanır. Aşınmış partiküllerin tespit edilmesindeki amaç yağ kirlenmesinin ve yağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin test edilmesidir. Daha önce bahsedildiği gibi bunlar genellikle ekipmanın tipine bağlıdır ve sistemden sisteme değişmektedir. Ancak primer portlar normalde karterin veya rezervuarın tekil geri dönüş hattının gelen akım tarafında bulunurlar.

### Sekonder Örnekleme Portları

Bunlar her bir bileşenin giden akım tarafından örneklerin toplanması için konulmuşlardır. Bunlar yağlama sisteminde gelen akım bileşenlerinin izole edilmesi için kullanılırlar. Aşağıdaki örneği göz önüne alalım. Bir yağ pompası iki yatağa yağ beslesin. Yataklardan boşaltılan yağ kartere girmeden önce tek bir geri dönüş hattına gönderilsin. Ancak ikincil örnekleme portları yağ pompasının giden akım tarafında yataklardan alınan ayrı bir boşaltma hattı üzerinde olmalıdır.

Primer porttan alınan örnek bir bozulma eğilimi göstermiyorsa ikincil porttan örnek almaya gerek kalmamaktadır. Fakat bir anormallik görüldüğünde ikincil porttan alınan örnekler problemin kaynağının belirlenmesi için kullanılabilir. Problemlili porttan alınan örnekleme frekansı tek başına bileşenin bozulma koşulunun izlenmesi için artırılabilir.



**Şekil 2.3** Örnekleme portlarının konumu

Primer port filtrelerde neler olabileceğini gösterir. Sekonder örnekleme portları ise filtrelerde ne olduğunu gösterir. Bu yüzden ikincil örnekleme portları filtrelerin performansının izlenmesi için kullanılabilir. Bu prosedür bir filtrenin koşulu baz alınarak basınç farkı göstergesinin filtrenin by-pas olduğunu göstermeden uzun bir süre önce değiştirilebilmesine imkan sağlamaktadır.

### 2.6.4.2 Örneklemeye – En İyi Araçlar

#### Damlama Tüpü – Örneklemesi

Damlama tüpü yağ analizi için örneklerin toplanması için kullanılan vakum örneklemesi en basit ve maliyeti en düşük yöntemlerden birisidir. Ancak, bu örneklemeye yöntemi kullanıldığı zaman dikkatli olunmalıdır ( Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Damlama tüplü örneklemeye yöntemi

Örnek toplandığı zaman ekipman açılmalıdır ve bu yüzden yağ ortama şartlarına maruz kalacaktır. Bir ekipmanın açılması potansiyel olarak yağa havadan önemli miktarda kirletici gelir ve hasara neden olur.

Etkili bir yağ analiz programında en önemli faktör ekipman çalışırken ve normal yük altında iken belirli bir konumdan yağ örneğinin alınabilmesidir. Damlama tüpü yöntemi redüktör tipi elemanlarda kullanıldığında birkaç noktaya dikkat edilmelidir:

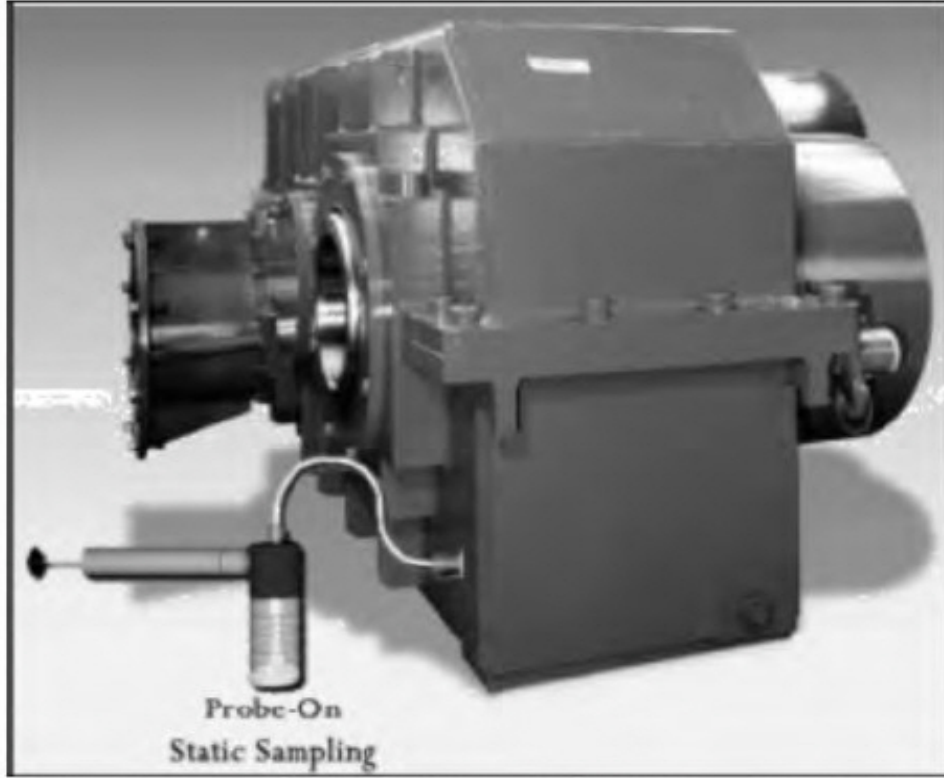
- Plastik hortum redüktöre çekilmelidir. Bu örneği alacak kişinin güvenliğinin sağlanması içindir.
- Büyük bir flaş hacmi gerekmektedir.
- Aynı konumdan benzer örneğin alınmasının zor olmaktadır.
- Yüksek viskoziteli akışkanlarda örneklemenin problemlidir.

### **Boşaltma Portundan Örnek Alma**

Daha önce bahsedildiği gibi bir karter veya rezervuardan yağ örneğinin alınması için en iyi konum geri dönüş hattına, dişlilere ve yataklara en yakın olan konumdur. Devir daim yapan sistemler için geri dönüş hattı en ideal konumdur. Kartardan toplama yapıldığında yağ karterin yarı derinliğinden toplanmalıdır. Bu kirletici maddelerin aşağıda toplanmasını sağlar ve bu yüzden en alttaki boşaltma tapası örneğin alınması için iyi bir yer değildir. Büyük hacimler flaş edilecekse bile hala güvenilir olmadığından dolayı biraz rahat olması düşünülebilir.

Eğer boşaltma portu, redüktörden örneğin alınması için tek yol ise *Şekil 2.5* 'te görüldüğü gibi karterin hem alt hem de yan tarafına konulabilecek tüpler piyasadan emin edilebilir.

Bu içeri giren pilot tüpleri, örneğin karterin veya rezervuarın içinden en uygun konumdan alınabileceği şekilde bir konuma yerleştirilebilir. Bu her defasında sistemin içerisinde aynı konumdan örneğin alınabilmesi açısından önemlidir. Bu yöntem damlama tüpü ile örnek alma yöntemine göre daha kararlı ve örneği alınan yağı en iyi şekilde gösterir.



Şekil 2.5 Bir redüktöre bağlanan ticari örnek alma tüpü

### Örnekleme Valfleri

Bunlar piyasada bulunan ve farklı özellikleri bulunan örnekleme valfleridir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Piyasadan bulunabilen örnek alma valfleri(Minimess Valfleri –Hydrotechnik)

Bu özel örnek alma valfleri, çek valflere benzer. Bu valf normalde kapalıdır örnek alma portu adaptörü vidalama veya ittirilme ile açılmaktadır. Yüksek kaliteli örnek alma portlarının ikinci kademedeki kaçak koruması için o-ring e sahip bir toz kepi bulunmaktadır. Bu adaptörün bir tarafında standart plastik boruların uyduğu bir hortum ucu bulunmaktadır. Adaptör örnek alma portuna vidalandığından dolayı valfteki çek bilyasını yerinden kaldırır ve akışkanın bunun içinden akmasına izin verir. Bu valfler basınçlandırılmamış akışkan hatlarında kullanılabilir ve 35 MPa 'ya kadar basınçlandırılabilir.

13 MPa 'nın üzerinde basınçlandırılan sistemler için örnekleme ölçümün güvenli olduğu mesafeden yapılmalıdır. Bunun için basıncı 35 MPa 'dan 0.35 MPa 'ya düşüren örnekleme portları ve adaptörleri ile kullanılabilen, elde taşınabilen valflerin kullanılması önerilmektedir. Bu tip bir örnekleme yönteminin bir diğer avantajı da çok az bir statik yağ hacmine gerek duyulmasıdır. Bunun bir sonucu örnek alınmadan önce daha az yağ flaş edilir.



**Şekil 2.7** Örnekleme valflerinden yağ örneğinin toplanma prosedürü (Hydra-Check Valfleri)

Hat üzerinden örnek alınmasını sağlayan bir diğer valf tipi *Şekil 2.7* 'de görülmektedir. *Şekil 2.7* ve *2.8* 'de özel örnek alma vanaları kullanılarak yağdan örnek alınması gösterilmektedir. Burada örneğin alındığı nokta geri dönüş hattı filtresinin girişinde veya girişine yakındır.



Aşağıda dört adımlı prosedür tanımlanmıştır:

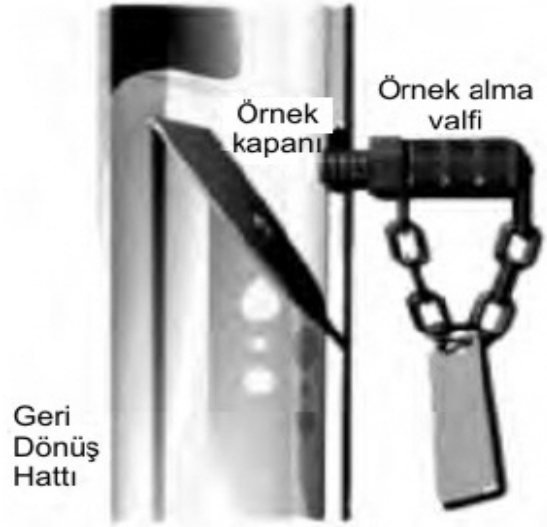
1. Toz tutucu kapağın çıkarılması
2. Yayla gerilmiş kafanın un  $90^0$  döndürülmesi ve valfin flaş edilmesi. Kafa serbest bırakıldığında otomatik olarak kapanmalıdır.
3. Kafa bir daha döndürülür ve örnek alınır.
4. Kafa serbest bırakılır ve toz tutucu metal kapak yerine konulur.



**Şekil 2.8** Hat üzerinden yağ örneğinin alınmasını sağlayan Hydra-Check valf

### **Kapan Boru Adaptörleri**

Bunlar düşey borulardan yağ örneği alınması gerektiğinde kullanılırlar ve temelde akışkan olmayan tipteki uygulamalar içindir. Bu tip borularda yağ genellikle borunun cidarı boyunca spiral çizer. Kapan boru geçici olarak bir baraj formunda ufak bir yağ hacmini tutar. Bu baraj vasıtasıyla borudan zengin veriye sahip bir örnek alınabilmektedir.



Şekil 2.9 Kapan boru adaptörleri

### Yağ Örneği Şişeleri

Yağ analizi laboratuvarları yağ örneği için şişe vermektedir. Tekrarlı saflık konusu örnek şişesine de uygulanabilir. ISO 3722 standardı örnekleme yöntemlerinin saflığı için rehber olmaktadır. Bu standart örnek şişesinin saflık seviyesi için de kullanılabilir. Saflık seviyeleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Temiz – 10 mikron/ml ‘den daha fazla 100 partikülden daha az
- Süper temiz – 10 mikron/ml ‘den daha fazla 10 partikülden daha az
- Ultra temiz – Cam şişeler yıkanır ve *temiz* bir ortamda kurutulur.

Genel olarak, *temiz* kategorisi altına düşen şişeler seçilmektedir. *Ultra temiz* in seçildiği hiçbir nokta yoktur. Bunun nedeni şişenin laboratuvarın dışında açılır açılmaz *ultra temiz* özelliğini kaybetmesidir. Sterilize edilmiş şişelerin yağ analizi açısından hiçbir önemi bulunmamaktadır. Bunlar sadece bakteriden arınmış olduğunu gösterir ve yağ analizi ile bir ilgisi yoktur.

*Temiz* bir şişe 100 partikül>10 mikron/ml ‘ye sahip olmalıdır. Örneğin gereken saflık kodu ISO 19/16 veya ISO 12/9 ise ISO kodu şunları tanımlayacaktır ( 10 mikron boyut aralığı için):

- ISO 19/16 – 1200 partikül > 10 mikron/ml
- ISO 12/9 – 9 partikül > 10 mikron/ml

Görünüşte *temiz* şişenin ISO 12/9 spesifikasyonlarını karşılamadığı görülmektedir. Burada ayrıca *temiz* bir şişenin ISO 19/16 saflık kodu için yeterli olup olmadığı ile ilgili bir şüphe bulunmaktadır. Bu problemi çözmek için sinyal parazit oranı ( SNR ) olarak bir parametre tanımlanmıştır.

$$SNR = \frac{\text{Yağın hedeflenen temizlik seviyesi}}{\text{Maksimum izin verilebilir şişe kirliliği}}$$

ISO 19/16 spesifikasyonu için hedeflenen yağ saflık derecesi 1200 partikül>10 mikron/ml dir. Temiz bir şişe için şişenin izin verilen maksimum kirlenme miktarı 100 partikül>10 mikron/ml dir. Bu yüzden SNR bu durumda 12:1 olacaktır. ISO 12/9 spesifikasyonu için hedeflenen yağ saflık derecesi 9 partikül>10 mikron/ml dir. Temiz bir şişe için şişenin izin verilen maksimum kirlenme miktarı 100 partikül>10 mikron/ml dir. Bu yüzden SNR yaklaşık olarak bu durumda 1:10 olacaktır. Elde edilen pratik bilgiler SNR nin en azından 5:1 olmasının gerektiğini göstermiştir. Bu değerden daha düşük olan değerler örnek içerisindeki kirliliği arttıracığından dolayı hatalı okumalara neden olacaktır. SNR değerinin 5:1 olması parazit (şişedeki orijinal partiküller) partikül sayı hassasiyetini kabaca %20 civarında etkileyeceğini göstermiştir. Bu yüzden temiz şişe ISO 19/16 'ya uyumludur. Fakat ISO 12/9 için kabul edilemez. SNR 'nin daha yüksek değerlere sahip olmasıyla şişedeki kirlilik partikül sayısının eğilimine olan etkisi giderek azalmaktadır. Ancak daha saf bir hedef gerekirse yüksek SNR değerlerinin sağlanması daha zor hale gelmektedir. Örnek şişeleri genellikle polietilen terphalate ( PET ), yüksek yoğunluklu polietilen ( HDPE ) ve camdan imal edilmektedir. Bunların her birisi akışkanların birçoğu ile uyumludur. Önerilen hacim ise 100 ml dir. PET ve cam şişeler temizdir. Fakat HDPE opaktır ve örneğin anında görsel olarak incelenmesine izin verir. Cam şişeler yüksek oranda saflık sağlarlar. Fakat taşırken büyük bir özen gösterilmelidir. Gereksinime bağlı olarak uygun bir şişe seçilmek zorundadır.

### Örnek Portunun Tanımlanması

Bir yağ analiz programı korozyona karşı dirençli yaftalara sahip örnekleme portlarının etiketlenmesini gerektirmektedir. Bu yaftalara uygun örneğin alınabilmesi için teknisyen tarafından üzerine bilgi yazılmalıdır. Bu bilgiler şunlardır:

- Örnekleme portunun kimliği ( tanımlama )
- Makinanın kimliği
- Yağlayıcının kimliği
- Hedeflenen saflık seviyesi

Portların etiketlenmesi için bar kodlu tanımlama etiketlerinin kullanılması daha iyi bir yoldur.

Partikül sayısı için ISO 4406 standardı Tablo 2.2 'de verilmiştir.

**Tablo 2.2** Partikül sayına karşılık skala sayısı

ml Başına partikül sayısı		Skala Sayısı
Den daha fazla	'e kadar ve dahil	
80000	160000	24
40000	80000	23
20000	40000	22
10000	20000	21
5000	10000	20
2500	5000	19
1300	2500	18
640	1300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12

10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1
0.005	0.01	0
0.0025	0.005	0

ISO 4406 kodu ya iki ya da üç boyut aralığını belirler. Skala sayısı her bir boyut aralığında 1ml 'deki partikül sayısını göstermektedir. Skala sayıları aralarında ters bölü çizgisi ile raporlanırlar. İlk sırada her zaman için >5 ( veya >2 mikron ) skala sayısı bulunur.

### 2-kodlu partikül sayısı

Boyut	Sayı	Skala
>5	3600	19
>15	28	12

ISO Kod = 19/2

### 3-kodlu partikül sayısı

Boyut	Sayı	Skala
2	11893	21
>5	3620	19
>15	28	12

ISO Kod = 21/19/12

ISO partikül kirlilik kodu partikül sayısının raporlanması için partikül sayısı sonuçlarının sınıflara veya kodlara dönüştürülmesini önermektedir. Bir kod sayısının bir sonrakine artış göstermesi partikül kirlilik seviyesini iki katına çıkarır. ISO kodu skala sayısı toplam partikül sayısını veya verilen boyut aralığından daha büyüğünü baz almaktadır. Boyut aralıkları yakın zamanda 4, 6 ve 14 mikrona güncellenmişti. Şu anda eski aralıklar olan 2 ( resmi olmayan ), 5 ve 15 mikron da kullanılmaktadır. Laboratuvarlar örneğin mili litre hacmi başına olan sayı veya 100 mili litredeki sayıya göre rapor oluşturmaktadır. Bunun yanında her bir aralıktaki sayılar *kümülatif* ( aralığa eşit veya aralıktan daha büyük toplam partikül ) veya *fark* ( sadece bir aralıkta ve sonrakinde ) olarak da raporlanabilir.

Örneğin 5/15 kod sistemi ile, bir 2 aralığında, 100 mili litredeki kümülatif sayı ISO 14/12 'ye göre 5 mikron veya daha büyük boyutta 8000 ila 16000 partiküle sahip örneği temsil etmektedir. Bu örnekte 15 mikron veya daha büyük boyutta 2000 ila 4000 partikül bulunabilir.

#### **2.6.4.3 Örneğin Kirlenmesini En Aza İndirmek**

Yağ örneği, toplama süresince veya toplamadan sonra atmosferdeki partiküllerin meydana getireceği kirlilikten korunmalıdır. Yağ örneğinde *kirleticinin kirlenmesini önlemek* için özel ilgi gerekmektedir. Eğer atmosferik elemanlar yağ örneğini kirletiyorsa kirleticilerin ayırt edilmesi son derece zor hale gelmektedir. Yağ analizi programı bu problemden dolayı büyük ölçekte aksayabilir.

Kirliliğin azaltılması için birçok teknik bulunmaktadır. Bunlar:

- Sertifikalı şişe saflığı
- Prob tüplü şişe ataşmanları ( şişe kapakları hiçbir zaman çıkarılmaz )
- Yayvan örnekleme valfinin flaş edilmesi
- Taşınabilir aygıtların sık olarak temizlenmesi/flaş edilmesi ( örn: damlama tüpü vakum örnekleycileri )

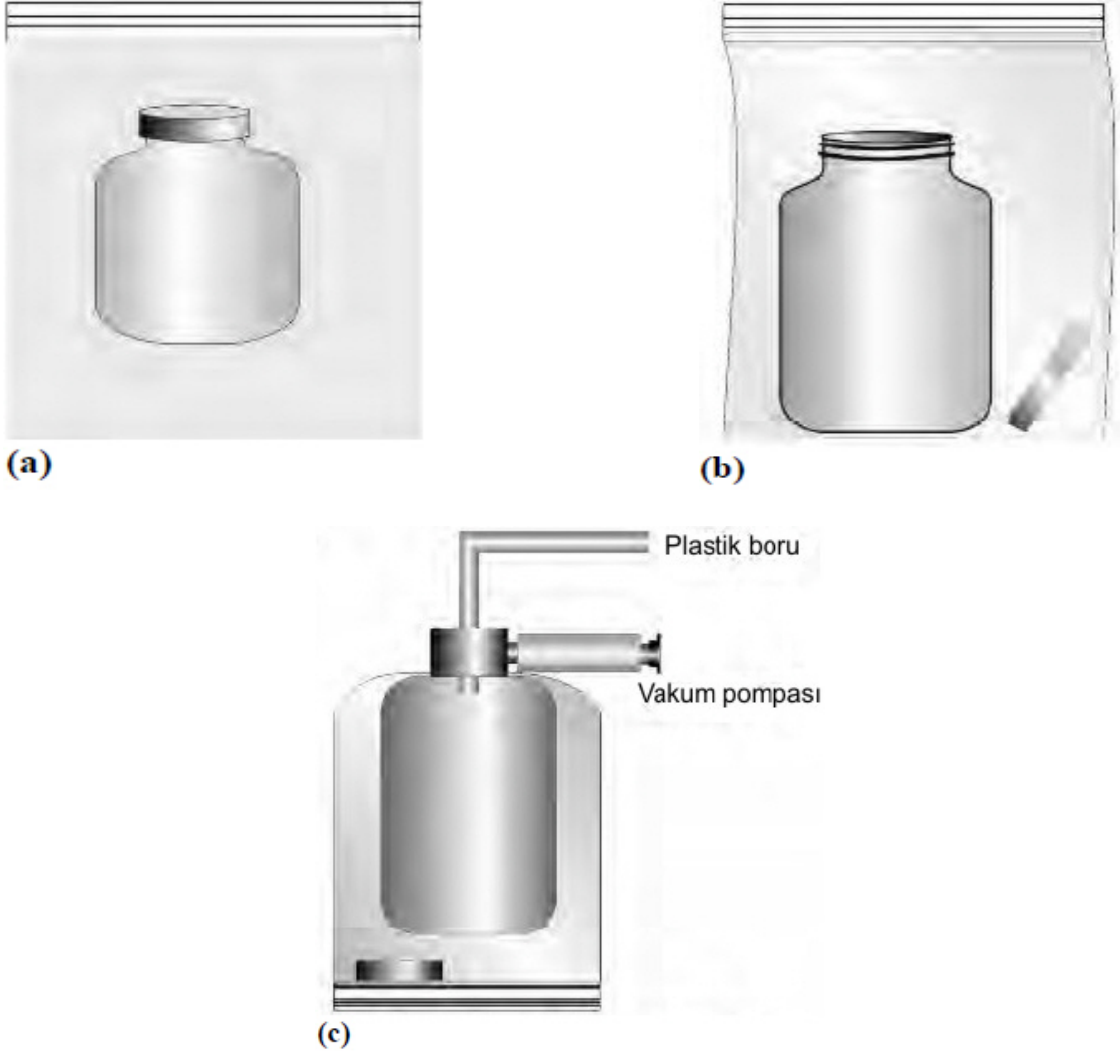
Yukarıda bahsedilen prosedürlerden herhangi birisinden olan hafif bir sapma yağ analiz programının bütünlüğünü bozabilir. Yağ örneği toplamanın ve harici kirlenmeyi önlemenin birçok özgün yolu bulunmaktadır.

#### **2.6.4.4 Yağ Örneklemesinin Özeti**

Yağ analiz programının en önemli parçası örnekleme sürecidir. Bu programın etkinliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Fakat aşırı bir özen ve sistematik bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu aşağıdaki yaklaşımları ve rehberleri içermektedir:

- Örnekleme frekansı
- Örneğin alınmadan önceki flaş edilmesi gereken miktarı
- Yağ örneğinin elde edilme yöntemi
- Örnekleme için kullanılacak araçlar
- Örneğin nasıl etiketleneceği
- Muafiyet testleri için rutin yöntemler ve gereksinimler
- Ekipmanın güvenilirliğinde ve örneğin bütünlüğünde artış sağlayan özel işaretler

Uzmanlar şişede yağ örneğinin kalitesinden emin olunması için harcanacak nakit ve zamanın günün sonunda yağ analizinin faydaları gözden geçirildiğinde kendisini amorti edeceğine inanmaktadır. Son olarak en iyisi yağ örnekleme yapan kişilerin uygun olarak eğitilmesidir. Fakat örnekleri toplayan bir çift kirli el bu faydaları yok edip atmaya yetmektedir.



**Şekil 2.10** Harici kirliliğe meydan vermeden yağ örneklerinin toplanması

### 2.6.5 Yağ Analizi – Yağlayıcının Özellikleri

Yağ analizi aslında iki tip analizin bir kombinasyonudur. Bunlardan birisi yağlayıcının kendisidir ve diğeri de yağlayıcının içerisindeki kirleticilerin analizidir. Yağlayıcının test edilmesi aslında yağda herhangi bir bozulmanın teşhis edilmesidir. Bazı kirleticiler dâhili olarak oluşur ve bazıları da çevreden kaynaklanır. Testler çevreden kaynaklanan kirleticiler üzerine odaklanmaktadır. Bu kısımda yağlayıcı yapısının analiz edilmesine odaklanılmıştır. Yağ özünde bir kimyasal akışkandır, fiziksel ve kimyasal özelliklerini gösteren bir sayı ile tanımlanmaktadır.



Bir sonraki kısımda yağlarla ilgili ve bunlardan türetilen olası bilgiler ile ilgili test listesi ve testlerin tanımları açıklanmıştır. Bu testlerden elde edilen sonuçlar yağın durumunun ekipmanın işleyişini nasıl etkilediğini göstermesi açısından önemli bilgiler sağlamaktadır.

#### **2.6.5.1 Görünüş, Renk ve Koku**

Bu test temel ve basit olup, fiziksel yöntemler ile yapılmaktadır:

- Yağ temiz ve puslu olmalıdır. Pusluluk veya bulanıklık yapıda suyun bulunduğunu göstermektedir.
- Asılı kalmış kirleticiler aşınmanın göstergesidir.
- Köpüklenme çalkalanma veya anti köpük ajanlarının bittiğini gösterir.
- Yağlar genellikle ağır bir kokuya sahiptir. Yanmış veya sert koku oksitlenmenin habercisi olabilir.
- Normalde sarıya çalan renkte olan yağlar parlak temiz ise koyu kırmızı renkte görülürler. Bunun nedeni oksitlenme ve büyük çaptaki kirlenmedir.

#### **2.6.5.2 İnorganik Asitlik**

Suda çözünen güçlü mineral asitlerinden arınmışlık için yapılan bir testtir.

#### **2.6.5.3 Organik Asitlik**

Bu test yapıda organik asitlerin olup olmadığını tespit eder ( suda çözünemeyen fakat alkolde çözünebilen ). Yapıda bulunan asitler katık olarak eklenebilir veya oksidasyon süresince şekillendirilebilir.

#### **2.6.5.4 Toplam Asitlik**

Bu inorganik ve organik asitlerin toplamıdır. Bu testin sonucu *nötralizasyon değeri* veya *toplam asit sayısı (TAN)* olarak referans alınır. TAN, yağın temel ayıraçla

reaksiyona girme yeteneğidir. Bu test sistemin asitlik seviyesini ölçmektedir. Sistemin asitlik seviyesi zamanla artar ve bu artış bu testle tespit edilebilir. Buna ek olarak bazı kirlilik formları asitlik seviyesini arttırmaktadır. TAN 'ı belirlemek için belirli bir miktardaki yağ, nötrlenmiş benzen ve fenol fitalin benzeri alkol içeren bir indikatör karışımı ile seyreltilir. Bu karışım ardından iyonik desiy normal potasyum hidroksite karşı titre edilir. Sonuç 1 g yağın nötrlenmesi için gereken mili gram cinsinden KOH sayısı ile verilir. Bu yüzden TAN KOH/gm-yağ mili gram olarak tanımlanan bir sayıdır. TAN daki artış genellikle başlangıçta yavaştır. Fakat bundan sonraki artış biraz daha hızlı olabilir.

#### **2.6.5.5 Özgül Ağırlık**

Bir yağın özgül ağırlığı yoğunluğunun suyun yoğunluğuna göre olan oranıdır. Bu sadece yağın orijini hakkında şüpheye düşüldüğünde kullanılır. Bir yağ daha hafif veya daha ağır ürünler ile büyük oranda saflığı bozulduğunda bu test bitmiştir. Aksi halde bu özelliğin yağlayıcının performansına bağlı olarak çok az etkisi bulunur.

#### **2.6.5.6 Kinematik Viskozite**

Kinematik viskozite muhtemelen yağlayıcı olarak kullanılan herhangi bir mineral yağın en önemli özelliğidir. Viskozite yağın akmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Normalde özel bir uygulama için kullanılan herhangi bir yağın viskozite aralığı uygulamanın özellikleri ile ayarlanır.

Viskozite artabilir veya azalabilir. Yağın oksitlenmesi viskozitesini artırır. Sürekli proseslerde yağın oksitlenmesi önlenememektedir. Fakat artış hızı şu şekilde belirlenebilir:

- Hava ile olan temas hızı
- Daha yüksek çalışma sıcaklığı
- Bakır, demir, kurşun, çinko gibi soy metallerin ve nemin katalitik etkisi

Oksidasyondan ötürü viskozitede artış meydana geldiğinde asitlikte de artış meydana gelir. Bunun nedeni yağın oksitlenmesinin asit oluşumunu meydana getirmesidir. Viskozitedeki artış normal değerinden %5 fazla ise muhtemelen oksidasyon meydana gelir. Ancak, anma değerinden yaklaşık olarak %10 'luk bir artış halen kullanılabilir. Viskozitenin azalmasının nedeni:

- Daha düşük viskozitedeki yağda büyük kirlilik olması
- Benzin gibi hafif bir hidrokarbonun seyreltilmesi
- Viskozite indeksi iyileştiricilerinin eklenmesi olabilir.

Hidrokarbonun seyreltilmesi sonucu viskozitede azalma meydana geldiğinde yağın parlama noktasında da bir düşüş meydana gelir. Yağ için kinematik viskozite normalde 40 ve 100 C<sup>0</sup>'de belirlenir. Kinematik viskozite için kullanılan birim cSt dir.

#### **2.6.5.7 Viskozite İndeksi**

Viskozite indeksi ( VI ) bir akışkan için viskozite ve sıcaklık arasındaki bağıntıdır. Bu yağın sıcaklığındaki değişimden dolayı viskozitesindeki değişim oranı olarak tanımlanmaktadır. Yağlama yağının viskozitesi sıcaklıktaki değişim ile değişecektir. Değişim hızı yağın kompozisyonuna bağlıdır. Naftanik bazlı yağlar parafinik bazlı yağlara göre daha fazla değişim gösterir. Belirli sentetik yağlayıcılar parafinik yağlara göre daha az değişir. VI 'nın düşük olması sıcaklıkla viskozitede büyük bir değişimin meydana geldiğini ve yüksek VI sıcaklıkla viskozitede daha az değişimi gösterir. Bu yüzden bir yağın viskozitesi yağlama yağının ekipmanın çalışma karakteristikleri veya devreye alınmasını etkileyen sıcaklıktaki fark edilir değişimin olduğu uygulamalar için önemlidir. Bir geminin güvertesindeki ekipman ve belirli acil durum ekipmanları bu gibi durumlar için örnektir.

#### **2.6.5.8 Parlama Noktası**

Flaş noktası, akışkanın anlık yanmasının ( parlama ) koruyacak olan minimum sıcaklıktır. Fakat sürekli yanma önceliklidir ( alevlenme noktası ). Parlama noktası

alevin ve petrol bazlı ürünler ile ilgili patlama zararlarının önemli bir işaretçisidir. Kullanılmış yağlarda bu seyreltme ile ilgilidir. Bunların parlama noktası daha düşüktür. Yüksek sıcaklıklarda bazen yağda kırılma meydana gelir ve bu parlama noktasını düşürebilir.

#### **2.6.5.9 Akma Noktası**

Akma noktası bir yağın veya damıtılmış yakıtın düşük sıcaklıklarda serbest olarak akabilme yeteneğinin göstergesidir. Bu tavsiye edilen koşullar altında yağ soğutulduğunda akışkanın akacağı en düşük sıcaklıktır. Yağların birçoğunda bu akma noktası düşürücü katıkları kullanılarak akma noktasının mümkün olduğu kadar aşağı çekilmesidir.

#### **2.6.5.10 Bakır Şeritle Korozyon Testi**

Bir petrol ürününün saf bakırı korozyona uğratma eğiliminin ölçülmesi için kullanılan bir testtir. Bakır sülfür bazlı korozyon bileşenlere karşı çok hassastır.

#### **2.6.5.11 Köpüklenme**

Zenginleştirilmiş, kirlenmiş veya oksitlenmiş yağlara hava üflendiğinde köpürme gözlenir. Bu test yağın köpüklenme sınırının içinde olup olmadığının kontrol edilmesi için yapılır. Köpüklü yağlar defolu yağlardır. Hava ve yağın karışımı bir sünger ile karşılaştırılabilir. Bu yataklarda yükü alma kapasitesine sahip değildir. Köpüğü önlemek için silikon anti köpük ajanı olarak eklenir.

#### **2.6.5.12 Sabunlaşma Numarası**

Sabunlaşma sayısı yağın tamamen sabunlaşması için gerekli olan KOH miktarının ölçüsüdür. Sabunlaşma sayısı KOH/gm mg yağ ile ifade edilmektedir. Yapıda asitlerin, yağların ve oksitlenmiş ürünler varsa bu testle ortaya çıkmaktadır.

Sülfür bileşenleri veya halojenler gibi malzemeler yapı içerisinde var ise dönüştürülmesinde dikkat edilmelidir. Bunlar ayrıca sabunlaşma sayısını arttırma eğiliminde olan KOH ile de reaksiyona girer.

#### **2.6.5.13 Pas Önleme Karakteristiği**

Türbin veya hidrolik yağlar gibi yağların birçoğuna kullanıldıkları yerde su ile temasa geçtiklerinde çeliği paslandırmamaları için katkı maddeleri eklenir. Bu test pasın önlenmesi normal veya zararlı ise bunu belirlemek için kullanılır.

#### **2.6.5.14 Demülsife Sayısı**

Bu suyun, yağdan ne kadar hızlı ayrıldığıнын bir ölçüsüdür. Demülsife sayısı yağın belirlenen koşullar altında dövüldükten sonra tekrar ayrışması için geçen saniye olarak zamandır. Bu türbin yağları için yaygın olarak kullanılan bir testtir. Fakat yaşlanmaya karşı duyarlıdır.

#### **2.6.5.15 Oksidasyon Testleri**

Serviste kullanılan yağların kararlılık karakteristiklerinin belirlenmesi ve karar verilmesi için bir dizi oksidasyon testi yapılır. Bunlar ayrıca yağlarda kullanılan anti oksidantların veriminin belirlenmesine de yardımcı olur. Bu indikatörler asitlik, viskozite, çamur değerindeki atık karbon miktarının artması veya azalması olarak ölçülür. Bunun yanında korozyon ürünleri ve toplam oksidasyon ürünleri de ölçülür.

Aşağıda yaygın olarak kullanılan oksidasyon testleri verilmiştir.

#### **Döner Vizör ile Oksidasyon Kararlılığı ( D-2272 )**

Türbin yağları veya diğer yağlarda oksidasyon test ömrünün ölçülmesi için kullanılır. Kullanılmış yağlarda kalan oksidasyon test ömrü vizör testi süresince basınç düşümü ile alınan oksijenin ölçülmesiyle belirlenebilir.

### **Kullanılmayan Türbin Yağlarının Oksidasyon Testleri ( D-943 )**

Türbin yağları veya diğer yağlarda oksidasyon test ömrünün ölçülmesi için kullanılır. Bunun yanında kullanılan yağların daha ne kadar kullanılabilceği de kontrol edilebilir.

#### **2.6.5.16 Pompa Aşınma Testi ( D-2282 )**

Bu test sabit bir süre için standartlaştırılmış basınç koşulları altında *Vickers-Detroit* ( veya benzeri ) kanatlı pompa kullanılarak hidrolik akışkanların anti aşınma özelliklerini belirlemek içindir. Pompadaki çalışan parçalardaki ağırlık kayıpları ve akışkanın debisindeki düşüş belirlenir.

#### **2.6.5.17 Emülsiyon ve Demülsife Karakteristiği**

Bu test, belirlenen koşullar altında suyun yağdan ne kadar hızlı ayrılabilceğini ölçmektedir. Yağ standartlaştırılmış mekaniksel karışma koşulları altında suyla ayırır, yağ ve suyun ayrılma zamanı kaydedilir. Bu test genelde türbin ve hidrolik yağlarına uygulanmaktadır.

#### **2.6.5.18 Nefes Alma Değeri**

Bu yöntem yağın içerisindeki havanın çıkarılabilme yeteneğini ölçmektedir. Bu daha çok hidrolik ve türbin yağlarında kullanılmaktadır. Havanın çıkma değeri yağdaki hava için test koşulları altında hacimde %0.2 düşüş olduğu zamanki dakika sayısıdır.

#### **2.6.5.19 Salmastra Uyumluluğu**

Bu yöntem hacimde ve shore sertliğinde değişim söz konusu olduğunda nitril kauçuk salmastra malzemelerinin petrol bazlı yağlarla olan uyumluluğunu belirler. Bu test süresince nitril kauçuk numunenin başlangıçtaki hacmi ve sertliği belirlenir. Numuneler bunda sonra 80 °C 'deki yağın içerisine daldırılarak 100 saat beklenir ve ardından oda sıcaklığına soğutulur. Hacim ve shore sertliği tekrar ölçülür ve aradaki fark kaydedilir.

### 2.6.5.20 FZG Testi ( FZG – Niemon EP Testi )

Bu yöntem bir EP dişli test çevriminden yararlanmaktadır. Bu testin amacı dişli yarıları üzerindeki yük sınırlarını, yüzeylerin birbirini ezmesini ve çizilme sınırlarını basamak adımı şeklinde artış gösteren yüklemeler ile dişli çarklardaki ağırlık değişimlerini standart koşullar altında belirlemektir.

### 2.6.5.21 pH Değeri

pH değeri hidrojen iyon konsantrasyonunun bir ölçüsüdür ve akışkanın asidik, nötral veya bazik olup olmadığını belirtir. pH ölçümleri bazen kalite kontrolü içinde kullanılır. Fakat durum izleme açısından bakıldığında bu o kadar da önemli değildir.

### 2.6.5.22 Su İçeriği

Yeni yağlayıcılarda su bulunmamaktadır. Servis süresince bunlar buhar türbinlerindeki soğutucular ve labirentlerden gelen suyla temasa geçebilir. Su ise yağ bulanık hale getirmektedir. Çatlama testi ( 120 °C sıcaklıktaki bir sıcak plaka üzerine birkaç damla yağın bırakılması ) yağın yapısında suyun olup olmadığını belirler. Bu test su içeriği 100 ppm'den fazla olduğunda hassastır. Eğer su içeriği yeteri kadar yüksekse yağın köpürmesine ve çamurlanmasına neden olacaktır. Sudaki çok küçük izler *Karl Fischer* veya *Dean ve Stark* yöntemi ile tespit edilebilir.

### **Karl Fischer – ASTM D-1744**

Bu test 50 ppm 'den ( %0.005 ) az olan su içeriğinin belirlenmesini sağlar. Türbin sistemlerinin analizinde, servo sistemlerde ve düşük su toleransının olduğu diğer sistemler için kullanılır.

### **Dean ve Stark**

Yağ, 100 ila 120 °C arasındaki bir sıcaklıkta kesilen veya toluen gibi suda çözünmeyen çözücüler ile reflüks altında ısıtılır. Bu çözücü suyla eş olarak damıtılır. Bu

buhar ardından bir kapan içerisinde yoğunlaştırılır. İkisinin çözünmemesi yağdan çıkarılan suyun miktarının belirlenmesine yardımcı olur.

### **2.6.5.23 Ateşe Dayanım Hidrolik Karakteristikleri**

Ateşe karşı dirençli hidrolik yağlar su içinde yağ veya yağ içinde su emülsiyonlarıdır. Su glikoller veya iyonik olmayan sentetik akışkanlar hidrolik sistemlerde ateş alma riski olmayan her yerde kullanılabilir. Ateşe karşı direnç karakteristiği bu durumlarda önemli bir özelliktir. Bu özellikle üç test ile belirlenmektedir:

1. Kendinden ateşlenme sıcaklığı
2. Sprey ateşleme sıcaklığı
3. Alev yayılma testi

Bu akışkanın ve kömür tozunun karışımında yapılır.

#### **Kendinden Ateşlenme Sıcaklığı**

Bu testin amacı atmosferik basınçtaki bir hidrolik akışkanın kendiliğinden ateşlenmesi için gereken en düşük sıcaklığın belirlenmesidir.

#### **Sıcaklık-Basınç Sprey Ateşleme Testi**

Bu testin amacı bir hidrolik akışkanın, akışkan üç farklı ateşleme kaynağı üzerine püskürtüldüğü zaman alev alma yeteneğinin belirlenmesidir.

#### **Akışkan ve Toz Kömürü Karışımında Alevin Yayılma Testi**

Alevin yayılması 75 g kömür ve 37.5ml akışkan karışımında ölçülür. Bu test suni havalandırma olmadan ortam sıcaklığında kapalı bir ortamda yapılır.



#### 2.6.5.24 Sülfatlanmış Kül

Bu test yağın içerisindeki kül miktarını belirler. Yağ ilk önce yakılır ardından kalanı sülfirik asit ile işlenir ve kuruması için buharlaştırılır. Kül içeriği kütlenin yüzdesi ile ifade edilmektedir. Bu değer organo metalik katıkların doğasını ve miktarını belirlemektedir. Bu daha çok yatak külü içeren yağlayıcıların kalite kontrolü veya kirleticilerin için test yapılmasında kullanılmaktadır.

#### 2.6.5.25 Elektriksel Dayanım

Elektriksel dayanım testi yağların elektriksel yalıtım özelliklerinin ölçülmesi için kullanılmaktadır. Bu test belirlenen koşullar altında elektriksel gerilimdeki düşüş ile belirlenir. Bu özellik kirlilikten ve su, nem, oksitlenmiş mineral ve lifli malzemelerden kolaylıkla etkilenmektedir. Birçok kez yağın sıcak vakum koşulları altında filtrelenmesiyle bunun önüne geçilebilir.

#### 2.6.5.26 Özgül Direnç

Özgül direnç tavsiye edilen koşullar altında verilen bir anda  $Amper/cm^2$  olarak akım yoğunluğunun numuneden paralel olarak geçen akımdaki  $Volt/cm$  olarak DC potansiyel oranıdır. Bu sayısal olarak sıvının  $1\text{ cm}^3$  'ündeki zıt yüzeyleri arasındaki dirence eşittir. Bu  $ohm - cm$  olarak ifade edilmektedir.

#### 2.6.5.27 Dielektrik Güç Kaybı Katsayısı

Dielektrik güç kaybı katsayısı, kapasitörün dielektriği yalnızca yalıtım yağından ibaret olduğunda uygulanan gerilim ve sonuç olarak  $\pi/2$  radyan olarak sapma gösteren akım arasındaki faz farkına eşit olan açının tanjantıdır. Bu özellikler yalıtım yağının yaşlanma karakteristikleri ile ilgilidir.

### 2.6.5.28 Ara Yüz Gerilimi

Bu platin telden yapılan düz bir halkanın yüzey gerilimi yağ-su yüzeyinden daha yüksek olan bir sıvının içerisinde iken yüzeyden ayrılması için gereken kuvvettir. Bu Newton/metre olarak ölçülmektedir. Kullanılmış yağın ( örneğin kullanılmış transformatör yağı ) oksidasyon boyutunun belirlenmesi için bu test çok kullanışlıdır. Bu değer kullanım boyunca zamanla azalmaktadır.

### 2.6.5.29 Aşırı Basınç Özellikleri

Aşırı basınç ( EP ) katkıları metal parçaları üzerinde kompozisyonu bozar ve yüzeye yapışma ile koruyucu bir tabaka oluşturur. Bu anti aşınma katkıları orta dereceli sıcaklıklarda ve basınç ortamlarında işlev görürken EP katkıları daha uç koşullarda etkili olmaktadır.

Molibden di sülfid ve grafit katkıları anti tutucu ajanları olarak bilinen anti aşınma katıklarının özel bir formudur. Bunlar grafit veya molibden di sülfid birikimi ile metal parçaların üzerinde koruyucu bir tabaka oluştururlar. Anti tutucu ajanları sıcaklıktan ve basınçtan bağımsız olarak çalışmaktadır. Genel olarak motorlarda, yardımcı güçlü direksiyon sistemlerinde transmisyon akışkanı olarak ve çekicilerde hidrolik akışkanı olarak kullanılmaktadır. EP katkıları daha çok dişli yağları, metal kesme sıvıları ve bazı hidrolik sıvılarında kullanılmaktadır.

### Timken OK Değeri

Bu test yağlayıcıların EP karakteristiklerini belirler ve test bloğu üzerinde metalin çizilmesine izin vermez.

### Dört Küre Yöntemi ( Ortalama Hertz Yüğü )

Bu test çevrimi ağır bir yük altında çelik küre yüzeylerinin skarlaşma ve tutukluğunu belirler.

### 2.6.5.30 Çözünmeyenler ( Pentan ve Hegzan )

Bu test kullanılmış yağlardaki kirleticiler için yapılmaktadır. Yağ ilk önce pentan ile seyreltilerek belirli oksidasyon reçineleri için yağın çözücülüğünün kaybolmasına ve bunun yanında kir, kurum ve aşınmış metal gibi yabancı maddelerin çökmesine neden olur. Bunun ardından çözünmeyen pentan oksidasyon reçineleri ( önceden benzen kullanılırdı ) ile çözünen toluen işlenir. Kalan katılar çözünmeyen toluen olarak adlandırılır. Çözünmeyen pentan ve çözünmeyen reçineler olarak adlandırılan çözünmeyen toluen arasındaki fark ağırlıktadır.

### 2.6.5.31 Toplam Baz Sayısı ( TBN )

TBN genellikle motor yağları ile ilgili bir özelliktir. Bu yağın asidi nötrleştirilmesi olarak da tanımlanmaktadır. TBN ne kadar yüksek olursa bununla daha fazla asit nötrleştirilebilir. Bu ayrıca alkali rezervi olarak da ele alınır ve yağ içerisindeki aktif deterjan miktarı ile doğru orantılıdır. Yeni motor yağları genellikle üreticisine ve kullanım amacına bağlı olarak 5.0 ila 15.0 arasında TBN değerine sahiptir. Yağ kullanılmış olduğunda asitlerle kirletilir ve TBN düşer. Genel olarak TBN seviyesi 3.0 altında olduğunda çok düşük kabul edilir ve yağın değiştirilmesi gerektiğini gösterir. TBN nin azalmasının bir nedeni düşük kaliteli yüksek sülfür içerikli yakıtla ilgilidir. Yanma prosesi süresince bu sülfür sülfirik asite döner ve daha sonrasında TBN azalmasını hızlandırır. Aşırı ısınma ve değiştirme aralıklarının uzaması yağın oksitlenmesine neden olmaktadır. Oksidasyon ürünleri asidiktir ve TBN nin düşmesine neden olacaktır.

### 2.6.5.32 TAN-TBN Oranı

TAN kendi başına motor yağının koşullarını belirleyen bir sınır değerdir. Bunun nedeni farklı kimyasal karakteristiklerin kombinasyonuna sahip olmasıdır. Modern motor yağlarındaki anti aşınma katıklarının asidik doğası başlangıçta daha yüksek TAN

değerine neden olur. TBN ile karşılaştırma yapıldığında TAN dan daha fazla yarar sağlanmaktadır. Yağın kullanımı süresince TBN azaldıkça TAN artmaktadır. Bu iki sayının karşılaştığı noktada belirli bir yük altında belirli bir motor için optimum yağ değişimi aralığı görülebilir. Çalışmalar TAN değerinin TBN değerini geçtiğinde motorun aşınma hızının anormal derecede arttığını göstermektedir.

## **2.6.6 Yağ Analizi – Yağlayıcılardaki Kirleticiler**

Bazı kirleticiler dâhili olarak oluşurken diğerleri çevresel kaynaklıdır. Çevreden veya yakıt, kir, su, yakıt kurumu ve oksidasyon ürünleri, azot oluşumu, sülfat oluşumu veya diğer kaynaklar dışından oluşmaktadır. Entegre olarak oluşan kirleticiler bileşenlerin aşınmasından meydana gelen partiküllerdir. Bu tip kirleticilerin analizi ekipmanın sağlığının bir göstergesidir ve bakımın programlanmasında temel oluşturabilir.

### **2.6.6.1 Harici Kaynaklardan Meydana Gelen Kirlenme**

Yakıt, kir, su, yakıt kurumu gibi kaynakları da içeren harici kaynaklardan dolayı yağlama yağında oluşan kirlenmedir. Yağın görevini doğru olarak yerine getirebilmesi için yağ analizinde önemli nedenlerden birisi budur. Kirlilik laboratuvar analizi ile tespit edilebilir ve bakım prosedürleri ile kontrol edilmek zorundadır. Yağın harici kaynaklardan dolayı kirlenmesi yağın ömrü süresince herhangi bir anda meydana gelebilir. Bu problem için yeni yağ eş değeri olarak uygundur. Drumlardaki taze yağ genellikle taze ve temiz olarak kabul edilir. Ancak, yeni yağın rezervuara transfer edilme prosedürü olası kirlilik kaynakları için denetlenmelidir. Bu bağlamda kirlilik için bakılacak benzer alanlar aşağıda tanımlanmıştır.

Tedarikçi firmadan alınan yağ kirlidir. Yağ rafineriyi terk ettiğinde zaten kirlenmiş durumdadır. Kirlilik taşıma süresince de meydana gelir. Yüksek temizlikte yağların üretilmesi herhangi bir yağ üreticisi için çok zordur.

Tesis içi depolama ve taşıma yağı kirleten bir diğer önemli kaynaktır. Yağ drumları genellikle kirliliğe neden olacak şekilde depolanmaktadır. Bazen sadece yağın bir kısmı drumdan pompalanmaktadır. Pompalar bunun ardından bu durumdan diğer drumla gönderilir ve drumlar uygun olarak kapatılmazlar. Yapılan tüm etkinlikler kirliliğe neden olmaktadır. Sadece bir yağ tipinin diğer yağ tipi ile karıştırılması değil aynı zamanda atölye zemininden, sudan, hava kaynaklı tozlardan ve artık maddelere de maruz kalmaktadır.

Ekipman kendi başına bir diğer olası kirlilik kaynağıdır. Bir vent, nefeslik, filtreler ve salmastralar olası tüm kirlilik kaynaklarıdır. Açık ventler hava kaynaklı partiküller veya su için bir kanal oluşturmaktadır. Nefeslikler ve filtreler dış ortamdaki kirliticileri sistemden uzak tutmak üzere tasarlanmışlardır. Benzer olarak hasarlanmış veya amacına uygun olarak çalışmayan salmastralar da kir veya su partiküllerinin sisteme girmesine izin vermektedir. Yağmur veya temizleme prosedürleri süresince su kolaylıkla yolunu bularak yağ sistemine girmektedir.

Yağ yakıt, glikol veya soğutucu ile özellikle motorlarda temasa geçebilir. Uygun olmaya veya arızalı ekipman bu ürünlerin sisteme girmesine, kirliliğe ve çalışma koşullarının tersine dönmesine neden olabilir. Bundan başka fakir yanma yağda kurum seviyesinin yükselmesine neden olacaktır. Bu tip bir kirliliği önlemek için aşağıdaki adımlar takip edilmelidir.

Yağın saflığı için spesifikasyonlar yağın tedarikçisi tarafından sağlanmalıdır. Tedarikçi bunun ardından yağı filtreleyebilir veya spesifikasyonları karşılması için herhangi bir ön işlemeyi yapmak zorunda olabilir. Bu yüzden yeni yağın kaynağının temiz olduğundan emin olunur. Tüm yeni yağlar temiz ve kontrollü bir ortamda depolanmalıdır. Buna ek olarak depolama konteynirlerinin tümü düzgün olarak işaretlenmelidir. Yağları taşımak için kullanılacak olan konteynirler temiz olmalı ve sadece bir yağlayıcı için kullanılmalıdır. İlave yağlayıcıları için yağ tenekeleri, şişeleri ve pompaları için aynısı kullanılmalıdır. Ventler, nefeslikler, filtreler ve salmastralar ortamdaki kirliticilerden arınmış olduklarına dair kontrol edilmelidir.

Nefesliğe ve filtreye sahip olmayan ekipmanlar da hesaba katılmalıdır. Nefeslikler ventlerin yerine kullanılabilir ve filtrelerin kullanılması ek koruma sağlayabilir.

### **2.6.6.2 Farklı Harici Kirleticiler**

Sisteme bir kez girdi mi yağlama sürecini kötü olarak etkileyebilecek farklı harici kirleticiler bulunmaktadır. Buna ek olarak kirlilik ekipmanın hasarlanmasına da neden olabilir.

#### **Partiküller**

Yağlardaki esas harici kirleticiler partiküllerdir. Partikül artışı aşınma ve oksidasyon hızını artırır. Bu yağın içerisinde katkı maddelerinin verimini düşürmektedir. Yağlayıcı içerisinde geçen partiküller ekipman ve hidrolik sistemin tipine göre tektir. Örneğin motorlarda görülen partiküller şu şekildedir:

#### **Yakıt Kurumu ( Dizel Motorlar )**

Kurum viskoziteyi artırır ve çamur ve vernik oluşumuna neden olarak katkı maddelerinin işlevlerini yerine getirmesini önler. Bu yapısal olarak çizilme ve aşınma meydana getirebilecek şekilde kazıyıcı etkinliğe sahip olabilir. Yanma verimi motorlarda kurum oluşumunun kalitesini belirler. Yanma veriminin düşük olması daha fazla kurum oluşmasına neden olur. Kurum genellikle dizel motorlarda toplam katıların ana içeriğidir. Kurum seviyesinin yükselmesi hava-yakıt karışımının uygun olmaması, aşınmış veya yapışmış segmanlar, yüksek sıcaklıkta çalışma, çekme veya boşaltma aralıklarının uzatılmasından kaynaklanmaktadır. Toplam katı içeriğinde yakıt kurumunun miktarının belirlenmesi için kızılötesi ışın analizi kullanılmaktadır.

#### **Oksidasyon ve Azotlama Ürünleri**

Yağın kompozisyonu oksidasyon ve azotlama gibi kimyasal reaksiyonlardan dolayı değişebilir. Yağ bu tip reaksiyonlara karşı katkı maddeleri ile donatılmıştır. Ancak, aşırı ısınma, yağ boşaltma sürelerinin uzatılması ve yüksek sülfür içerikli yakıtlarda kaçağın fazla olması katkı maddelerini pasifleştirebilir ve bu reaksiyonlar

meydana gelebilir. Bu yağın aşırı derecede kalınlaşmasına, metal korozyonuna ve vernik oluşumuna neden olur. Normal katıların test edilmesinde kötü bir koşul tespit edildiğinde oksidasyon ve azotlamanın derecesinin ölçülmesi için kızılötesi analiz yapılmalıdır.

### **Kir ve Diğer Çevresel Atıklar**

- Kir içeriği genellikle yağ içerisindeki toplam katıların ufak bir yüzdesini oluşturmaktadır ve silikon için bir spektro-kimyasal analiz ile miktarı belirlenebilir.
- Kir motor yağında aşınmış metal partiküllerinin ana kaynağıdır. Tespit edilen kir ile gözlenen aşınmış metal miktarı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Ancak kir ( veya diğer herhangi bir partikül ) parçaları birbirinden ayıran yağ filminden daha kalın olmadıkça aşınmaya neden olmaz.
- Partikül boyutunun ve kir miktarının mümkün olduğu kadar düşük tutulması çok önemlidir. Ufak boyutlu kir partiküllerinin daha yüksek konsantrasyonda bulunması yığılma ve kazıma aşınmasına neden olabilir.
- Silika ( quartz olarak da bilinir ) kir bileşeni kazıma aşınmasına neden olur. Silika, metal oksitlerle birleştiğinde silikat oluşur ki bu kumun temel maddesidir ve neredeyse tüm kayaların yapısında bulunmaktadır.
- Silika karbon ile birleştiğinde *zımpara* olarak bilinen bir aşındırıcı meydana getirir. Bunun sertliği elmasla karşılaştırılabilir seviyededir. Silika, silikon di oksit (  $\text{SiO}_2$  ) olarak adlandırılan bir silikon oksittir.
- Yağ analiz laboratuvarları kir için doğrudan analiz yapmamaktadır. Laboratuvarlar tarafından tespit edilen silikon, silikon di oksittendir. Bu yüzden laboratuvarın değerleri yağ içerisindeki silika miktarını göstermektedir. Basitleştirmek için silikon kir için kullanılan bir diğer terimdir.
- Yağlarda anti köpük özellikleri için kullanılan silikon katıkları ve yeni döküm proseslerindeki kum silikanın olası diğer kaynaklarıdır.

## Nem

Su ileride aşınmayı hızlandıracak olan oksidasyon ve pas oluşumuna neden olur. Nem ayrıca yağın yağlayıcı özelliklerini de etkiler. Nem yağlanmış yatak sistemlerine farklı yollardan girer ve çözünür askıda kalır veya suyun yağdan kolayca ayrılmasına neden olur. Çözünen ve asılı kalan su yağlayıcıdaki katkı maddelerinin ve baz yağın hızlı bir şekilde oksitlenmesine neden olur. Bunlar yağlayıcının performansını düşürür. Su rulmanın bilye yüzeylerine girdikçe hidrojen gevrekliğine neden olur. Bu rulmanın ömrünü önemli derecede azaltmaktadır. Nemden kaynaklanan diğer aşınmalar ve korozyon süreçleri tüm rulmanlarda ve kaymalı yataklarda yaygın olarak görülmektedir.

Nem kirliliğine karşı en iyi koruma hedeflemekten, ayırma ve tespit etmekten ( TED ) oluşan üç adımlı, proaktif bakım stratejisidir.

*Hedef* Genel bir kural olarak, yağlayıcının performansı ve rulmanın ömrü söz konusu olduğunda birçok uygulama için 100 ppm bir normal kirlilik sınırıdır. Ancak bazı uygulamalarda suyun girişi kaçınılmazdır ve bu durumlarda daha yüksek bir sınır değerini seçilmesi daha pratiktir.

*Ayırma* Bu rulman yataklarındaki salmastralar ve nefesliklerin daha etkili olarak kullanılması ile yapılabilir. Kanatlı valf stili kurutucu nefeslikler nemli hava girişinin ve yoğunlaşma/yüzey emiliminin olabileceği yerlerdeki havalandırılmış sistemlerde etkilidir. Eğer yağlayıcı içerisinde nem süspansiyonuna izin verilirse suyu ayıklayan filtreler ve/veya santrifüj gibi ayırıcılar kullanılabilir.

*Tespit Etme* Tespit etme yukarıda bahsedilen testlerle mümkündür ve bunun için piyasada taşınabilir cihazlar bulunmaktadır. Yağlayıcıların ve rulman gibi ekipman bileşenlerinin ömürleri daha çok yağ içerisindeki nem seviyesinin düşürülmesine bağlıdır.



### **Yakıt Kirliliği**

Yakıt kirliliği yağın viskozitesinin aniden düşmesine neden olur ( yağlayıcıyı incelttiğinden ötürü ). Bu katkı maddelerini seyreltir, aşınmayı artırır ve ayrıca alev riskini ortaya çıkarır. Motorlarda yağın fazla seyrelmesi tercih edilmez. Bunun nedeni viskoziteyi ve bunun yanında yağ filminin direncini düşürmesidir.

Seyrelmenin esas nedenleri arızalı yakıt püskürtme sistemi, arızalı veya boğulmuş hava girişi, çok düşük çalışma sıcaklıklarından kaynaklanan kötü yanma, ayarsız supaplar veya yetersiz sıkıştırma. Kullanılmış motor yağının seyrelmesi gaz kromatografisi ( GC ) veya Fourier transform kızılötesi spektroskopi ( FTIR ) kullanılarak ölçülebilir. En yaygın teknik belirli bir sıcaklıkta yağın parlama noktasının ölçülmesidir. Parlama noktası tespit edildiğinde seyrelme miktarı yüksektir ( %4 'den fazla ), eğer değilse seyrelme makul seviyedir ( %4 'den az ).

### **Glikol Kirlenmesi**

Glikol kirlenmesi aşınmayı, korozyonu ve oksidasyonu artırır. Glikol herhangi bir soğutucunun ve anti friz akışkanının önemli bir içeriğidir. Soğutucu kirlenmesi herhangi bir yağlayıcı sistemine ciddi bir tehlike oluşturur. Az miktardaki anti friz şiddetli korozyonlara neden olabilir. Bu özellikle kirliliğin motorun sızdırmasına neden olabileceği krank yatakları ve biyel yataklarında zararlı olabilir.

Glikol bir sisteme farklı kaynaklardan giriş yapabilir. Teorik olarak diğer problemlerin tümü komple bir inceleme ile karşılaştırıldığında en düşük bakım faaliyeti ile düşürülebilir. Bir glikol kirliliği tespit edildiğinde aşağıdakiler kontrol edilmelidir:

- Yağ soğutucularının kaçak yapması
- Arızalı segmanlar
- Silindir kapağı contalarının kaçırması veya silindir kapağının kırılmış olması
- Islak silindir gömleklerinde segmanların veya contaların kaçırması
- Motor bloğunun kırılması
- Yeni yağın kirli kaplar tarafından kirletilmesi

Su/glikol kaçaklarının tespit edilmesi testlerin bir kombinasyonunu gerektirmektedir. Bunlardan birincisi suyun çitirdaması testidir. Bu çok yüzeysel bir testtir ve bir damla yağın sıcak bir yüzey üzerine damlatılması ile yapılır. Eğer yağ sıçrıyor veya balon yapıyorsa yapıda su bulunuyor demektir. Suyun içerisindeki yağ içeriği %0.1 'den fazla ise çitirdama meydana gelir.

Buradaki dezavantaj tespit edilen suyun soğutucunun kirliliğinden kaynaklanacağı gibi yoğuşma olayı sonucu da olabileceğidir. Burada bir olasılık daha bulunmaktadır. Yağın içerisinde soğutucu olsa bile yüksek motor sıcaklıklarında buharlaşmadan ötürü su tespit edilemeyebilir. Bu yüzden bu test dikkatlice yapılmalıdır. Su miktarı *Karl Fisher* test aygıtı kullanılarak hassas bir şekilde ölçülebilir.

Glikolün tanımlanması için son test, bir kimyasal testtir. Bu test, bir kimyasal solüsyonu içerisinde bulunan yağ örneğinin sallanması ve renginin gözlenmesidir. Bu testte 300 ppm geçilmişse sonuç pozitifdir. Yani yağda glikol bulunmaktadır. Bu seviyedeki bir glikola karşı acil önlem alınmalıdır.

Spektro-kimyasal analiz eser miktardaki glikolün tespit edilmesi için elverişlidir. Potasyum, sodyum ve bor çoğu soğutucunun formülasyonunda bulunan metallere aittir. Bunlara motor yağında rastlanması glikolün kendi başına tespitini sağlayabilir. Bu veri genellikle bakım personeline var olan bir problem için yeterli bilgiyi vermektedir.

Glikol kirliliğinin izlenmesi için bu yöntem kullanıldığında bazı noktalara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bazı yağlarda sodyum ve/veya bor yağın katkı maddelerinin içerisinde kullanılmaktadır. Eğer bu katkı maddeleri kullanılırsa motor yağındaki sodyum ve bor seviyeleri referans alınarak kontrol edilmelidir. Eğer yukarıdaki seviyelerden fazla miktarlar var ise bu glikol kirliliğine katkıda bulunur.

### **Dâhili Olarak Oluşan Kirlleticiler**

Harici kirleticilerin yanında aşınmış, yıkanmış ve yağlayıcıdan uzaklaştırılmış sistemin içinde çevrim halinde olan partiküller de bulunmaktadır. Genellikle partikül

kirliliği kendi kendine meydana gelen farklı tipteki aşınmaların nedenidir.

Birincil tip aşınmaya, her birisinde görülen en yaygın neden ile aşağıda değinilmiştir. Bu aşınma mekanizmalarının her birisi bileşenin daha fazla hasar görmesine neden olacak partikül kirliliği meydana getirmektedir.

- Kazıma aşınması            Hareketli bitişik iki yüzey arasındaki partiküller
- Yapışma aşınması        Yüzey yüzeye temas (yağ filminin kaybolması)
- Eroziyon aşınma         Partiküller ve yüksek aşınma hızı
- Yorulma aşınması        Partikülün zarar verdiği yüzeylerin tekrarlı gerilimlere maruz kalması
- Korozif aşınma          Su veya kimyasallar

### **Kazıma Aşınması**

Bu tip bir aşınma bileşen yüzeyinde sert pürüz uçları veya yağın içerisine girmiş olan farklı tipteki partiküller ( pas, kir veya metaller ) tarafından oluk açılmasıyla meydana gelir. Bu partiküller çok ufak olduğunda bu olay *abrazif erozyon* ( özellikle hidrolik sistemlerde yaygın olan ) olarak bilinmektedir. Bir filtreleme işlemi kullanılarak kazıma aşınması azaltılabilir. Bu ayrıca havalandırma, nefeslik ve salmastraların düzgün olarak çalıştıklarından emin olunması açısından da önemlidir.

### **Yapışma Aşınması**

Bu metalin metale temas etmesi sonucu oluşan aşırı ısınma veya yetersiz yağlama koşullarının bir sonucudur. Bunun sonrasında yumuşak metalin ağır metalin üzerinde birikmesiyle ( demir üzerinde alüminyum, çelik üzerinde kurşun ) mikro kaynak oluşumu meydana gelir. Sonuç olarak kesişimlerde bir kesilme ve metal partiküllerinin transferi meydana gelir.

### **Kavitasyon**

Akışkan düşük basınçlı alana girdiğinde baloncuklar oluşur. Ancak akışkan tekrar yüksek basınç alanına girdiğinde sıkışan hava veya gaz baloncukları bir araya

gelmeye başlar. Sistem bileşenlerinin iç yüzeyine çarptıklarında kırılmalar ve karıncalanma meydana gelir. Yağın köpüklenme karakteristiğinin bir anti köpük katkısı ile kontrol edilmesi kavitasyonun düşürülmesine yardımcı olmaktadır.

### **Korozif Aşınma**

Bu kimyasal veya galvanik reaksiyon sonucu meydana gelmektedir. Bunun sonucunda malzeme bileşenin yüzeyinden ayrılmaktadır. Korozyon asidik oksidasyonun doğrudan bir sonucu olabilir. Gelişigüzel elektrik akımı da korozyona neden olabilir. Suyun veya yanma ürünlerinin bulunması korozif aşınmaya zemin hazırlar. Bu durumda korozyona karşı dirençli malzemelerin kullanılmasından sakınılmalıdır ve bunun yanında yağın içerisine nötrleştirici katkı maddeleri katılmalı ve yağ belirli aralıklarla değiştirilmelidir.

Korozyonun bir diğer şekli de yüzey temasındandır. Neredeyse statik temasta olan iki yüzey arasında malzemenin yüzeyden ayrılır. Fakat mekanik titreşime ve salınma maruz kalmaktadır. Bu *temas korozyonu* veya *aşındırma korozyonu* olarak adlandırılmaktadır. Sonuç olarak belirli partiküllerin oksidasyonu bulunmaktadır. Bu yüzden demir malzemeler için bir *kızıl güç* birikmesi bulunmaktadır. Mekanik salmastralarda teflon kama gibi ikincil bir salmastra ve mil kovani arasındaki aşınma, aşındırma korozyonuna bir örnektir.

### **Kesme Aşınması**

Yumuşak bir yüzey üzerine aşındırıcı bir parça kendiliğinden gömüldüğünde kesme aşınması meydana gelir. Ekipmanın dengesiz veya ayarsız oluşu kesme aşınmasına katkı sağlayabilir. Uygun filtreleme ve bakım kesme aşınmasının düşürülmesi için kaçınılmazdır.

### **Yorulma Aşınması**

Bileşenin yüzeyindeki kırıklar partikül oluşumuna neden olduğunda meydana gelir. Yetersiz yağlama, yağlayıcının kirlenmesi, titreşim, yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve diğer agresif koşullar yorulma aşınmasını teşvik eder.

### **Kayma Aşınması**

Bu tip aşınma ekipmanın gerilimi süresince meydana gelir. Ekipmanlar yüksek devirlerde veya yüklerde çalıştıklarında kayma aşınması meydana gelir. Aşırı yüklenme durumunda oluşan fazla ısı yağ filmini kırar ve metalin metale temas etmesine neden olur. Kayma aşınması ayrıca durgun bir parçanın hareketli bir parça ile temas haline geçmesiyle de meydana gelmektedir.

### **Elektriksel Aşınma**

Elektriksel arklardan kaynaklanan erozyon bu tip bir aşınmadır. Arklar motorlar ve alternatörlerde yetersiz elektrik yalıtımından meydana gelmektedir [8].

## **2.7 Aşınmış Parçacık Analiz Yöntemi**

Makine aksamlarından alınan numunelerin çeşitli tekniklerle incelenmesi ile hem yağın kalitesi hem de makine parçalarının aşınma durumu değerlendirilerek makinenin performansı, sürekli oluşan arızaların sebepleri ve arızaya yönelimi arıza oluşmadan önlenir. Beklenilmeyen arızaların önüne geçmek için makine aksamının kötüleşmesinin bir göstergesi olan aşınmış parçacıklar; miktar, renk, şekil, kimyasal bileşim ve büyüklük olarak incelenir, bunun sonucu olarak düzeltici önlemler hemen alınır. Makine bakım analizi teknikleri içinde aşınmış parçacık analizi, yağlama sistemli makineler için en uygun yöntem olduğu yapılan araştırmalar sonunda kanıtlanmıştır.

Bunun nedenleri şunlardır;

1- Bu yöntemde kullanılan cihazlar ucuzdur ve kullanımı kolaydır. Örneğin günlük 50 adedin üzerinde yağ numunesi çeşitli makinelerden alınarak incelenebilir.

2- Makine aksamlarının çoğu çelik veya metal alaşımlardan yapılmış ve Aşınmış parçacıkların çoğu manyetikdir. Bu parçacıkları varlığını belirlemek ve miktarını ölçmek bu yöntem ile yapılmalıdır.

3- Yağ numunelerinin incelenmesiyle yağın kirlilik derecesi ve yağda su olup olmadığı belirlenebilir. Yağ filtre edilmeden yağdaki suyun varlığı ve yağın temizlik derecesi kontrol etmek mümkün değildir. Yağın kirlenmesine neden olan maddeler (toz, metal parçacıkları, su, plastik maddeler v.b.) planlı yağ değişimine kadar makine

aksamında kalmaktadır. Aşınmış parçacık analiz yöntemi uygulanarak yapılan bakımlarda yağ temizliğini kontrol etmek mümkündür.

4- Aşınmış parçacık analiz yöntemi ile uygulanan koruyucu bakım ile yedek parça ve iş gücünde tasarruf sağlamaktadır. Geliştirilmekte olan birçok yeni tekniklerle birlikte daha birçok analiz yöntemleri, aşınmış parçacıkların bileşimi, miktar, içeriği ve yapısal anlamda değerlendirilmesinde başarıyla uygulanmaktadır. Bu metodların çoğunluğu yağlama yağının laboratuarda incelenmesini içerir fakat bunların dışında birçok direkt (on-line) aşınmış parçacık izleme tekniği de vardır. Pratikte bu teknikler iki veya daha fazla kombinasyonla kullanılır.

### **2.7.1 Aşınmış Parçacık Analizinin Hedefleri**

1- Makine elemanlarındaki aşınmanın derecesine karar verebilmek için aşınmış parçacıkların varlığını, kimyasal bileşim, şekil, renk, miktar ve büyüklük olarak değerlendirmektir.

Aşınmış parçacıklar:

- a) Parçacık miktarı (Aşınmanın ilerleme derecesini belirtir).
- b) Parçacık boyut dağılımı (Aşınmanın ilerleme derecesini ve sertliğini belirtir).
- c) Parçacıkların fiziksel yapısı (Şekil ve renk; aşınmanın tribolojik olarak hangi sebebe dayandığını ve tahmini kaynağı hakkında bilgi verir).

2- Yağların ömrünü ve yağ içerisinde su veya herhangi bir kirletici maddenin varlığını belirlemek. Böylece yağlama yağının optimum değişim ve tamamlama aralıklarını belirlemek hedeflenmektedir. İlaveten ölçüm değerleri, muhtemel bir arızanın habercisi olarak arıza-bakım ekibine makineyi değerlendirme imkanı tanır.

Yağlama yağının detaylı incelenmesi ile ayrıca güvenilirlik, verim ve emniyeti artırılarak ileri düzeyde çalışma koşulu sağlar.

### **2.7.2 Aşınmış Parçacık Analiz Metodları**

Yağlama yağı analizinde ilk çalışmalardan biri 1941'de Denver ve R.G.W. Demiryolu laboratuvarlarında Baird-3 Emission Spectrometer adı altında yapılan çalışmalardır. Bu alet dizel motor yağlarından veriler elde edip, bu verilerle rutin bir

izleme sistemi kurmaya dayanıyordu. Bu programın başarısı diğer laboratuvar ve endüstri kuruluşlarını, aşınmış parçacık analizi yapmaya teşvik etmiş ve çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Aşınmış parçacık analiz metotları iki ana grupta toplanır.

### 2.7.2.1 Doğrudan Analiz Yöntemleri

Yağdaki parçacıklar, çalışma sırasında akış doğrultusunda konan yoğunluk ve kirliliği ölçen optik transdisörler, elektriksel kondakter filtreleri, endüktif dedektörler, kapasitif dedektörler, manyetik pluglar ve kollektörler aracılığıyla toplanarak aşınmanın miktarı anında göstergelerden okunabilir.

Ayrıca toplanan parçacıklar laboratuvarda da çeşitli yöntemlerle incelenip alınan sonuçlara göre gerekli müdahaleler yapılabilir.

Bu yöntemin uygulanması için bazı noktalara dikkat edilmelidir. Bunlar ise;

1- İzleme (analiz) düşük maliyetli olmalıdır. Bu maliyet üretim ve makine bakım maliyetinden düşük olmalıdır.

2- İzlenmekte olan makinede herhangi bir zorunlu duruş olmadan önce, bu sistem doğru ve etkili bir arıza beklentisi işareti vermelidir.

3- Bu sistemin çalışması için her zaman mühendis gerektirmeyecek derecede kuruluşu ve işletmesi kolay olmalıdır.

4- Güvenilir olmalıdır. Ölçüm başlangıcında tercihen hiç veya çok basit kalibrasyona ihtiyaç duyulmalıdır. Cihazların onarımı için ihmal edilebilecek kadar az süreye ihtiyaç duyulmalıdır.

5- Sistem istendiğinde geliştirilebilmeli ve genişletilebilmelidir.

6- Ekipman kapanması gerektiğinde, en az kapalı kalma süresini sağlayacak doğrulukta tanıları verebilecek, problemi tanımlayacak bir sistem olmalıdır.

7- Çevresel faktörlerden etkilenmemelidir.

8- Büyük boyutlu parçacıklara cevap verir olmalıdır.

9- İşletmenin maliyetini azaltacak şekilde bilgi işleme ve hesaplama sistemi, o işletmede kullanılan bilgisayar sistemiyle uyumlu olmalıdır.

10- Sistem şayet sürekli değişen elektriksel bir çıkış veriyorsa bu çıkış yakalanan parçacıkların miktarı veya büyüklüğü ile orantılı olmalıdır.

11- Etkili bir aşınmış parçacık analizi için on-line izleme sistemlerinin ancak devir daimli yağlama sistemlerinde kullanılabilir[9].

Bu yöntemin uygulama şekilleri aşağıdaki gibidir.

- 1- Optik Transdüserler
- 2- Elektriksel kondaktör filtreleri
- 3- İndiktüf dedektörler
- 4- Kapasitif dedektörler
- 5- Filtrasyon sistemleri
- 6- Mağnetik pluglar
  - a) Parçacık dedektörleri
  - b) Miktersal Parçacık izleme sistemleri
  - c) Sürekli aşınmış parçacık takibi

#### **2.7.2.2 Numune Alarak Laboratuarlarda Analiz**

Bu yöntem yağdan periyodik aralıklarla numune alarak laboratuarda seçilen tekniklerle incelenmesi esasına dayanır. Sırasıyla;

1- Kullanılacak analiz tekniklerine bağlı olarak yeterli düzeyde eğitimli kullanıcılar ve laboratuvar tesisleri.

2- Numune kaybı riskine engel olunmalı, özenle ve düzenli aralıklarla yağ numuneleri alınmalıdır.

3- Numune alma sıklığı ve zamanı (Laboratuvar uzaksa) etkili bir şekilde düzenlenerek, herhangi bir arıza makinede çıkmadan önce numunelerin alınması ve değerlendirilmesi sağlanmalıdır.

4- Analiz için gereken doğruluk derecesi ve hız seviyesi göz önüne alınmalıdır.



5- Analiz sonrası istenen bilgilerin; aşınmış parçacıkların miktarı, kimyasal bileşimi, şekli, renk ve büyüklük dağılımı olduğuna dikkat edilmelidir.

6- Farklı teknikler kullanılsa bile elde edilen sonuçlar diğer laboratuvar sonuçları ile karşılaştırılabilir olmalıdır .

Şu nokta önemle anlaşılmalıdır ki; yağlama yağ analizi başlangıçta önemli ölçüde kar getirecek bir tasarruf sağlamaz. En belirgin tasarruf, beklenilmeyen arıza duruşları olmaksızın sürekli çalışacak makinelerde olur. Hareketli makinelerde tasarruf ise gereksiz yağ değişimlerinden sakınılarak elde edilir. Bir örnek olarak İngiliz Demiryolu İşletmesi 20 yılı aşan bir çalışmanın sonucu, 1983 yılında numune alarak laboratuvarında analiz yöntemini uygulamaya başlamış yıllık 1.000.000 paundluk bir tasarruf sağlamıştır [9].

#### **2.7.2.2.1 Numune Alma Kayıtları**

Etkili ve doğru bir izleme için ön koşul, makinenin gerçek durumunu yansıtması açısından temsili bir yağ numunesi almaktır. Yağ analiz sonuçlarının etkili bir şekilde yorumlanabilmesi için şu bilgiler olmalıdır.

- 1- İlk montajdan itibaren makinenin geçmişi ile ilgili kayıtlar.
- 2- Yağ değişimleri ve çalışma saatlerini içeren kayıtlar.
- 3- Numunenin alındığı makineyi ve tarihi gösterecek şekilde etiketlenmiş şişeleme.[9]

#### **2.7.2.2.2 Yağlama Yağı Numune Alma Prosedürü**

1- Numune almadan önce makine en az bir tam vardiya çalıştırılmalıdır. Numune mümkün olduğunca makine durur durmaz (bütün parçacıklar halen yağda asılı vaziyette homojen karışım iken) alınmalıdır. Yoksa numune temsili bir parçacık yoğunluğuna sahip olmayacaktır.

2- Numune alınırken makinenin çalışma sıcaklığında olmasına dikkat edilmelidir.

3- Aşınmış parçacık analizi sonuçlarında kritik bir artış görüldüğünde, istenirse en az bir vardiya sonra yağ değişiminden önce ve sonra numune alınabilir.

4- Numuneler filtre kapağı veya tercihen seviye tapasından bir şırınga veya tüple etiketli (60 ml) şişelere alınmalıdır. Fakat numunelerin her zaman aynı yerden ve seviyeden alınmasına dikkat edilmelidir. Bir önceki yerin alt seviyesinden alınan numunelerin normalden yüksek, üst seviyesinden alınan numunelerin ise normalden düşük sonuç vereceği unutulmamalıdır. Yeni durdurulmuş bir makineden alınan numunelerde bile, aşınmış parçacık dağılımı örneğin makinenin dişli kutusunun çeşitli yerlerinde farklı yağ seviyelerinde kesinlikle üniform değildir [9].

### 2.7.2.2.3 Yağlama Yağı Numune Alma Teknikleri

**Numune Valfi:** Bu maksatla konulmuş numune valflerinden yağ numuneleri çekilebilir. Devirdaimli yağlama sisteminde basıncın yüksek olduğu yere valfler yerleştirilir. Bu tip valfler çoğunlukla durağan deniz ve demiryolu makinelerinde kullanılır.

**Akıtılarak Numune Almak:** Bu yöntemde numuneler yalnızca yağın akıtılması sırasında alınabilir. Sık yağ değişimi isteyen makinelerde kullanılır. Abartılı kirlilik seviyelerinden kaçınmak için en az makine aksamındaki yağın yarısını numune şişesine doldurulmadan önce akıtılmasına dikkat edilmelidir. Bu yöntem diğerleri ile birlikte destekleyici bir yöntem olarak da kullanılabilir.

**Vakumlayarak Örnek Almak:** Vakumlayarak örnek alma maden makineleri gibi tasarım sınırlamaları bulunan, kötü ve zorlu koşullarda çalışan makinelerde, hareketli makinelerde ve otomatik teçhizatlarda en uygun yöntemdir. Numune almak için yağ haznesine bir emici alet (örneğin şırınga veya numune tabancası, filtre kapağı veya yağ tapası gibi uygun bir yere) yerleştirilir. Dişli kutuların içine çelik tüplerin yerleştirilmesi ve bu noktadan numunenin şırıngayla çekilebilmesi, numune alma işlemini aynı noktada doğruluğunu ve tekrar edilebilirliğini sağlamıştır.

**Magnetik Tapalar:** Bu tip tapalar yağ kaybını engelleyecek şekilde kendinden kapatmalı tiptir ve parçacıkların toplanması için kullanılır. Bu tapalar yüksek derecede magnetize edilmişler ve aşınan magnetik parçacıkların toplanmasını sağlar. Bu tip magnetik bir tapayla numune alma işlemi yapabilmek için numune şişesine bir adaptör

takmak gereklidir. Buna bir örnek; parçacık dedektörü muhafazasına takılan adaptörle numune almak gösterilebilir. Adaptör muhafaza içinde valfi yerinden kaydırarak numunenin çekilmesine imkan sağlar. Bu tip tapalar kolaylıkla yerlerine uyan ve özellikle az miktarda aşınmış parçacık oluşan makinelerde kullanıma uygundur. Ayrıca sürekli uzak aşınmış parçacık analizi metodlarına oranla daha az maliyetli olacaktır[9].

## **2.8 Yağ Numunesi Analiz Teknikleri**

Bu yöntem birçok tekniği içerir. Bunlardan en önemlileri şunlardır;

- 1) Spektrometrik yağ analizi
  - a ) Atomik Absorbsiyon
  - b) Atomik yayılım(Emisyon)
- 2- Mikroskobi
  - a)Optik mikroskop
  - b)Tarayıcı elektron mikroskobu
- 3- Görüntü analizi
- 4- Ferrografi
- 5- Dönen parçacık depolayıcı
- 6- Aşınmış parçacık test edici
- 7- Parçacık miktarı ölçüsü
- 8- Lazer ışını dağıtma ( Difraksiyon ) yöntemi

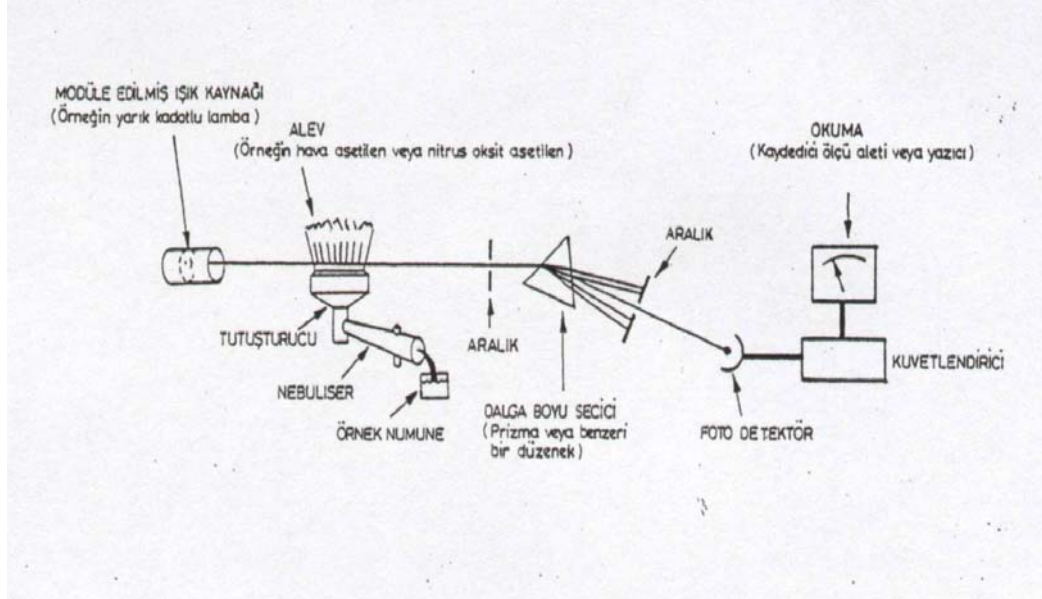
### **2.8.1 Spektrometrik Yağ Analizinin Kullanımı**

İki farklı tekniğe ayrılır.

#### **2.8.1.1 Atomik Absorbsiyon Prensibi**

Atomik absorbsiyon prensibi nötr durumundaki bir atomun belli bir dalga boyuna sahip ışıktaki enerjiyi emerek uyarılmış duruma geçmesiyle meydana gelir. Bu dalga boyundaki emilen ışık enerjisinin miktarı, ışığın yolundaki elementin atom numarası arttıkça artar. Emilen ışığın miktarı ile bilinen standartlardaki, mevcut konsantrasyonlar arasındaki ilişki, bilinmeyen konsantrasyonların emdikleri ışık miktarı

ölçülere kayıt edilmesi için kullanılabilir. Şekil 2.11’ de Atomik absorpsiyon prensibi gösterilmiştir. Numune Aerosol halinde hava-asetilen veya nitrous oksit-asetilen alevine veyahut sıvı veya katı olarak grafik bir yüzeye verilir. Bu adımda numunelerdeki çeşitli elemanlar her biri (özel) dalga boyunda ışığı emebilen atom formlarına dönüşür. Normalde kullanılan ışık kaynağı elektroksuz deşarj lambası veya yarık katodlu lambadır [10].

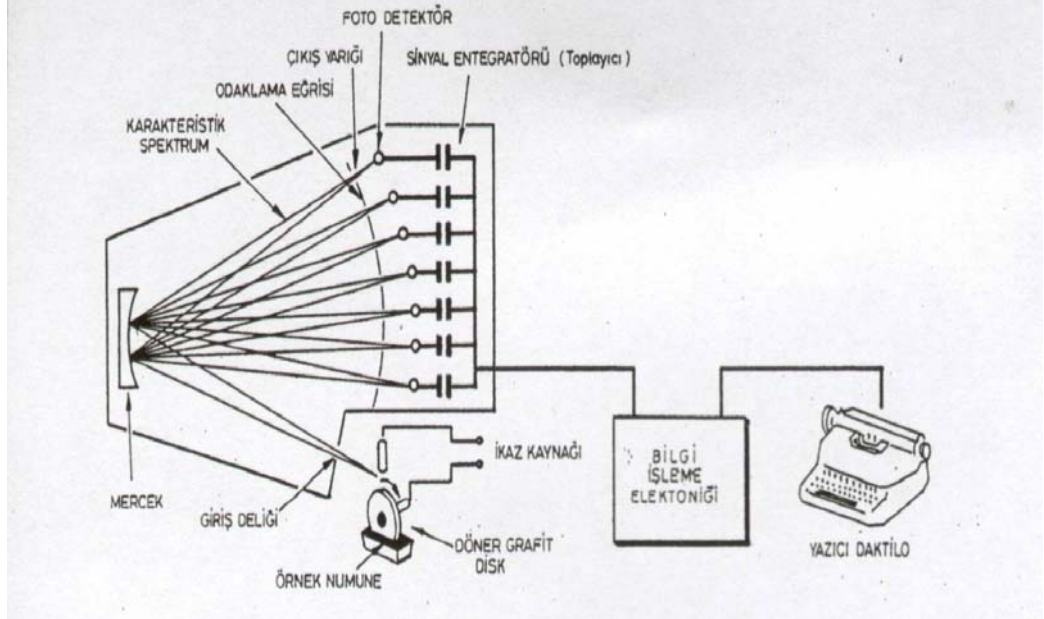


Şekil 2.11 Atomik absorpsiyon prensibi şematik diyagramı

### 2.8.1.2 Atomik Yayılım Prensibi

Bu prensip uyarılmış atom veya iyonların karakteristik dalga boylarının ölçülmesine dayanır. Bu emisyon kararsız bir enerjiye sahip serbest bir atom veya iyonun yeterli miktarda ısı veya elektrik enerjisiyle harekete geçirilmesiyle olur. Bir optik süzgeçle bir ışının spektromuna ayrılır. Bu spektrom çizgilerine konan foto çoğullayıcılar aynı anda element konsantrasyonlarına ölçer. Önceleri ikaz için kullanılan enerji kaynakları basitçe alevdi. Gelişmeler sonunda elektro termal kaynaklar hava-asetilen, nitrous oksit-Asetilen alevleri kullanılmaya başlandı. En son kullanılan kaynak Inductively Coupled plasma (ICP) adıyla bilinmektedir. Bu, iyonize argonun bir radyo frekans bölgesiyle etkileşmesiyle sağlanır. Argon gazı 10.000 K sıcaklığına kadar ısıtılarak tüp şeklinde kuvars ışık vericiye akarak numunenin daha önceki kaynakların

sağladığından yaklaşık dört katı fazla ısıtılmasına neden olur. Elektriksel arklarda benzeri sıcaklıklar yakalanabilir fakat (ICF) den daha zayıf tekrar edilebilme özelliğine sahiptir. Plasman halka şeklinde olup numune bu halkanın (kimyasal olarak hareketsiz bir atmosfer hazırladığı ve optik olarak ince bir ısıtım kaynağı oluşturduğu) merkezine aerosol durumda verilir [9].



**Şekil 2.12** Atomik emisyon(yayılm) prensibi şematik diyagramı

### 2.8.1.3 Spektrometrik Yağ Analizi Tekniklerinin Ana Hatları

**Uygulamalar:** Yağlama yağının elementel analizi için en yaygın tekniklerden biri spektrometrik yağ analizidir. Atomik Absorbsiyon ile analiz edilmiş bir yağ numunesinde şu elementler bulunabilir. Alüminyum, Antimon, Baryum, Kadmiyum, Kalsiyum, Krom, Kobalt, Bakır, demir, Kurşun, Lityum, Magnezyum, Molibden, Nikel, Silikon, Gümüş, Kalay, Titanyum ve Çinko, ICP) ısıtım spektrometresi, atomik emişten daha iyi özelliklere sahiptir. Pratik olarak periyodik tablodaki tüm elementleri, bu arada atomik emiş tarafından zayıf olarak ayırt edilebilenlerde dahil olmak üzere Bor, Fosfor ve Uranyumu da kapsayacak şekilde algılayabilir.

**Maliyet:** Diğer spektrometrik yağ analiz teknikleri ile karşılaştırınca atomik emiş en düşük maliyettedir. Cihaz oldukça basittir ve profesyonel olmayan bir personel tarafından bile kullanılabilir. Atomik emisyonun (yayılım) yüksek maliyeti kullanıma en büyük engeldir. Cihaz ise oldukça büyük ve karmaşık kalibrasyon işlemleri içeren tiptedir [10].

#### **2.8.1.4 Performans ve Sınırlamalar**

(ICP) Işınım (Emisyon) spektrometresi özellikle aynı anda 6 veya daha fazla elementin ayırt edilebilmesi için çok hızlı bir analiz yöntemi oluşturur. Ama atomik emiş her numune için 6'dan az elementin ayırt edilmesi için daha hızlıdır. Bu asıl olarak (ICP) 'nin bir bilgi işareti için işlemin başlangıcından kararlı bir düzeye ulaşmaya kadar çok daha uzun süreye ihtiyaç duymasından kaynaklanır. Atomik absorpsiyon ile bir anda tek bir element ölçülebilir. Fakat çoğunlukla çok sayıdaki yarık katodlu lambaların değiştirilmesi zahmetlidir. ICP diğer spektrometrik tekniklerin aksine kimyasal girişimlerin etkileşiminden etkilenmez ve yüksek çalışma sıcaklığından dolayı geniş bir analitik sahayı kaplar.

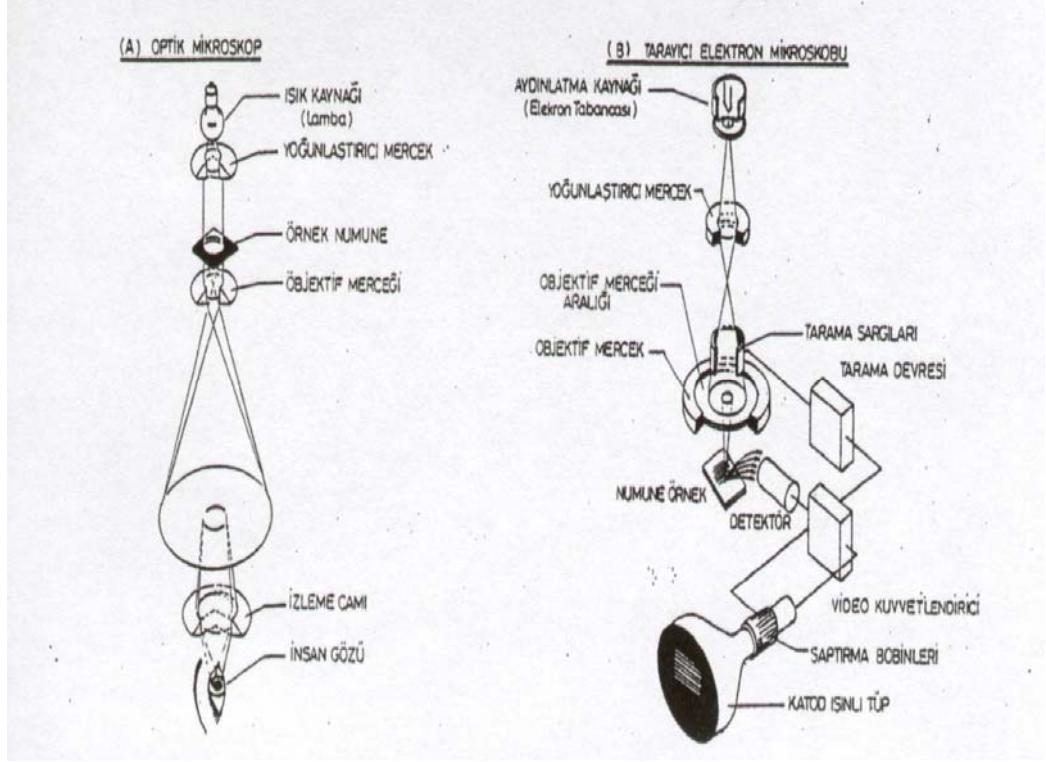
Atomik absorpsiyon spektrometresi karışık ve çok yönlüdür. 5 µm'den küçük parçacıkların oluşturduğu karışımlarda çok doğru sonuçlar verir. Fakat asitler tarafından çözülmedikçe, bütün spektrometrik yağ analizi teknikleri 15 µm'den büyük parçacıklara kördür. Son olarak etkili bir parçacık analizi için bu teknikler iyi organize edilmiş laboratuvarlarla birlikte bilgisayarlı bir bilgi işlem sistemi kurabilecek; büyük endüstri kurumları için uygundur.

#### **2.8.2 Mikroskopinin Kullanımı**

Mikroskopik analiz; aşınmış parçacıklar ve yüzeylerine ait bilgiler içerir. Yüzey analizinde çok çeşitli mikroskoplar kullanılmasına rağmen, aşınmış parçacık analizinde çoğunlukla optik ve taramalı elektron mikroskopları uygulanmaktadır. Bunlar;

**Optik Mikroskopi;** Optik mikroskobun büyütmesi, numune ve (Işığı yansıtan ve yayan) izleme parçasının bileşiminin sonucudur. Şekil 2.13' de gösterildiği gibi görüntünün teşkil edilmesi; İzleme parçası ve ölçekleme düzeneğinin vasıtasıyla olur. Optik mikroskoplar, aşınmış parçacıkların şekli, büyüklüğü, rengi, morfolojik karakteristikleri hakkında yaklaşık bir bilgi edinmek için en temel araç olarak kabul edilir ve aşınmış parçacık analizi ile uğraşan her kurumun ilk yatırımıdır. Bu yöntem en çok rastlanılan aşınma süreçlerinin partikül mikrograflarını içeren bir aşınmış parçacık atlasıyla birlikte kullanılırsa etkili olur.

**Taramalı Elektron Mikroskopisi;** Bu terim bir grup farklı aletlerin tümünü kapsar. Tümünün ortak özellikleri görüntü oluşturmanın prensibi, elektronik kuvvetlendirme ve tarama için elektron ışınının kullanılmasıdır. Görüntü oluşturmanın temel prensibi Şekil 2.13.'de gösterilmiştir. Elektron ışını numuneyle o şekilde etkileşir ki bu ışın emilir, yansıtılır, dağıtılır veya polarize olur ve numune radyasyon yayabilir. Bu fiziksel oluşumlardan birinden orantılı bir sensör ile alınan işaret kuvvetlendirilir ve bir monitörde gösterilir. En çok kaba yüzeylerin karakterize edilmesi ne uygundur. Alanın derinliği; deliklerin, çatlakların ve aşınmış parçacıkların netlikle fotoğrafa geçirilmesine izin verir. Bu elementel analizde yetişmiş elamanlara ihtiyaç vardır. Bu sistemde düz bir yüzeyin mikro yapısını etkili bir şekilde açığa çıkarmak mümkün olmaz ve numuneler görüntünün iyileştirilmesi ve elektriksel iletkenlik sağlamak için ince bir ağır metal filmi ile kaplanmalıdır [11].



**Şekil 2.13** Optik Mikroskop Şematik Diyagramı (A) Taramalı Elektron Mikroskobu (B)

### 2.8.3 Görüntü Analizi Kullanımı

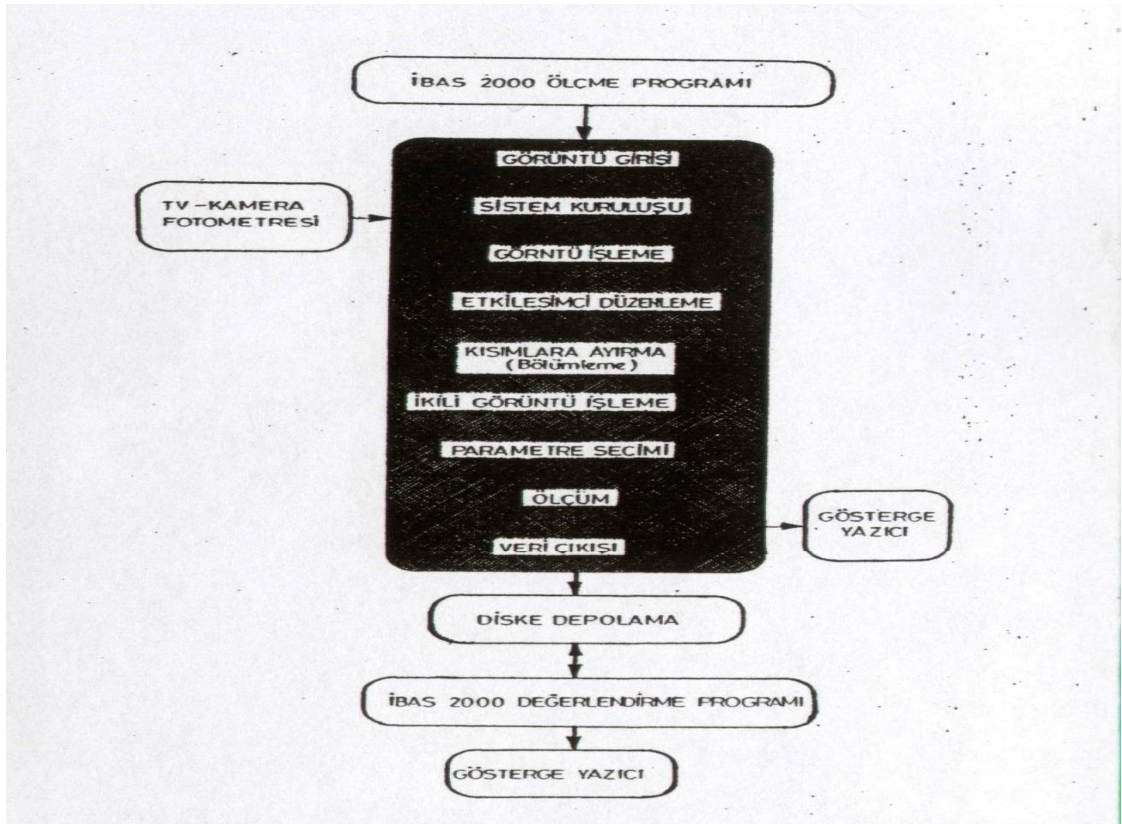
Bir görüntü analiz edicinin ana görevi, mikroskop gibi bir görüntüleme sisteminden alınan optik görüntünün video kamera gibi bir çevirici yardımı ile numunenin miktarını verecek elektriksel bir görüntüye çevrilmesidir. Bu analiz ediciler oldukça ucuz yarı otomatik sistemlerden, çok pahalı ve oldukça karmaşık, bilgisayar denetimli sistemlere kadar değişik türleri vardır. Görüntü analizi mineroloji, tıp, metalografi, metalurji ve tribolojide genişçe kullanılmaktadır. Ölçülecek nesnelere ve onların dışını çeviren maddeler arasında yeterli renk kontrastı olduğu sürece görüntü analiz edici ile analizi mümkün numune tipleri pratik olarak sınırsızdır. Modern görüntü analiz ediciler geniş bir büyüklük sahasındaki partikül tipleri için hızlı ve güvenilir miktarsal veriler sağlar. Fakat kullanıcı için bir eğitim gereklidir. Örnek olarak İngiliz maden işletmelerinde yaygın olarak kullanılan "IBAS 2000" analiz edici ele alınmıştır.



IBAS 2000 görüntü analiz edici; iki boyutlu görüntüler üzerine geometrik özelliklerin şekil, alan, çevre, numunenin büyüklük dağılımı, seçilen büyüklüklere ait nümerik yoğunluk gibi niceliksel analizini yapmaktadır.

Bir video kamera ile fotoğraf, Jeolojik harita, herhangi bir yüzeyin mikroskobik görüntüsü veya aşınmış parçacık gibi iki veya üç boyutlu nesnelerin görüntülerini bir görüntü işleyici birime verilir. Görüntü üzerinde analizle ilgisi bulunmayan elementlerin elimine edilmesinden sonra asıl görüntünün alan, şekil, sayı vb. gibi işlenen parametreleri belirlenir ve monitörde gösterilerek, yazıcıdan veriler alınır. Bu veriler uygun bir bilgisayar programı ile değerlendirilir. Bu ölçme programının tipik yapısı Şekil 2.14'de gösterilmiştir. Diğer bütün analiz tekniklerindeki gibi bu cihazla da etkili bir aşınmış parçacık analizinin yapılabilmesi için numune özenle hazırlanmalıdır. Parçacıkların birbirlerine yapışık toplanmalarını engelleyecek ve yeterli parçacık kontrastını sağlayacak bir sıvı içinde mikroskop camı üzerine iyice dağıtılmış olmalıdır.

Çok fazlaca kirlenmiş numuneler hatalı değerlendirme vereceklerinden analizden önce gerçek aşınmış parçacıklar ayrılmalıdır [12].



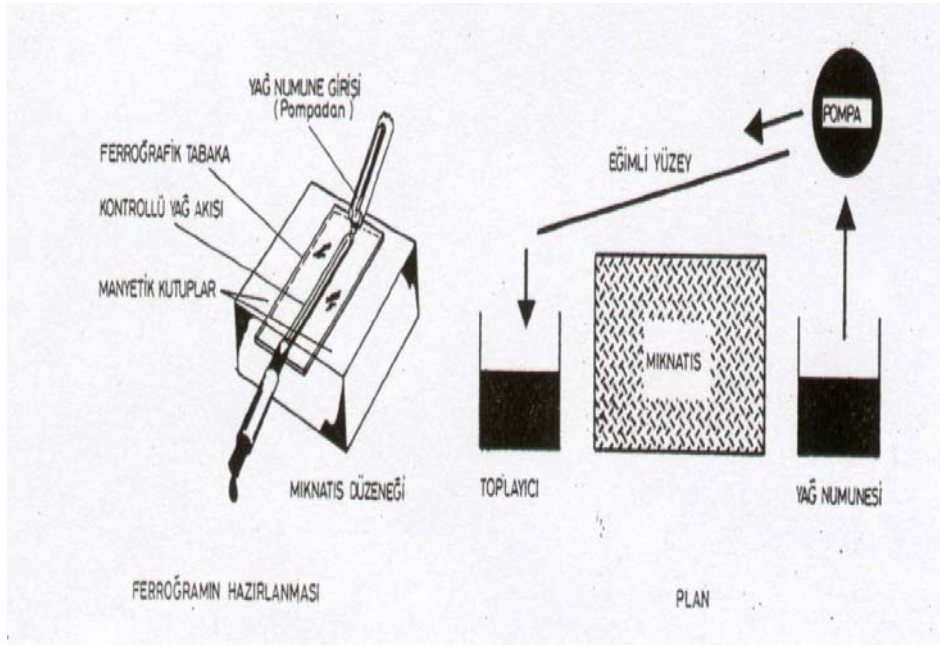
Şekil 2.14 IBAS 2000 görüntü analiz programının tipik bir ölçme program yapısı

### 2.8.3.1 Taramalı Elektron Mikroskobu

Bu terim bir grup farklı aletlerin tümünü kapsar. Tümünün ortak özellikleri görüntü oluşturma prensibi, elektronik kuvvetlendirme ve tarama için elektron ışınının kullanılmasıdır. Elektron ışını numuneyle o şekilde etkileşir ki bu ışın emilir, yansıtılır, dağıtılır veya polarize olur ve numune radyasyon yayabilir.

### 2.8.4.1 Analitik Ferrografi

Analitik ferrografi yöntemi ilk başta yaklaşımakta olan bir arızanın habercisi olarak jet motor yağlarının analizi için geliştirilmiştir.



**Şekil 2.15** Ferrografik analizatör şematik diyagramı

Ferrografik analizörün prensibi Şekil 2.15'de gösterilmiştir. Yağ numunesinin kontrollü akışı süresince bir numunedeki mağnetik parçacıklar ayrılarak büyüklüklerine göre yüksek dereceli bir mağnetik alanın etkisiyle ferrogram üzerine biriktirilir. En büyük ve en mağnetik olanlar hemen girişte, daha az mağnetik ve küçük olanlar ise çıkışa doğru toplanır. Çözücü bir sıvıyla yıkanarak parçacıklardan yağ temizlenir. Ferrogram, orjinal haliyle rengi yansımaları aynı anda kullanan özel bir mikroskop

için geliştirilmiştir. Fakat daha detaylı bir analiz bilgisayar taramalı elektron mikroskobu veya görüntü analizi veyahut diğer bir yağ analiz tekniği kullanılarak gerçekleştirilebilir [13].

#### 2.8.4.2 On-Line Ferrografi

On-Line ferrografi için mevcut iki teknik bulunmaktadır. Bunların her ikisi de yağlama dolaşımı içindeki aşınma seviyesini gözlemler. Tekniklerden birincisi, yüksek derecede mağnetize bir alan tarafından toplanan aşınmış parçacıkların duyarlı bir sensör yardımıyla niceliksel ölçümüne dayanır.

Ünite, yağı otomatik olarak örnekleyecek büyüklük ve yoğunluk seviyesini gözler aşınmış parçacık seviyeleri önceden verilmiş ayarlı değerleri aşarsa elektronik denetim ve gösterim birimleri yüksek konsantrasyon seviyesi alarmını verir.

İkinci teknik; birincisiyle aynı prensipte, yüksek mağnetik alan içinde aşınmış parçacıkların toplanmasıyla başlar sonra bu parçacıklar mağnetik toplayıcı tüpünün iç kısmında yakalanır ve fotodedektörler yardımıyla sonuç parçacıkların kapladığı alanın yüzdesi olarak iki ayrı bölgede hesaplanır. Bu bölgelerden birincisi 5 µm'den küçük, ikincisi de 5 µm'den büyük parçacıkların ayırt edilebilmesi içindir. Aşağıdaki bağıntılarda olduğu gibi aşınmanın bir göstergesi olarak bu iki bölge indeks olarak kullanılır.

$$I=Q \times S$$

$$Q=D1+D2$$

$$S = D1-D2$$

Q = Niceliksel endeks

S=Şiddet endeksi

I=Aşınma endeksi şiddeti

D1=Büyük parçacıkların yoğunluğu

D2=Küçük parçacıkların yoğunluğu

S=Büyük parçacıkların yüzdesiyle birlikte artarsa monitör büyük ve küçük parçacıkların önceden bildirilen konsantrasyon değerleriyle karşılaştırılarak yaklaşan bir arızayı haber verir [11].

Ferrografi ilk haliyle yağlama yağının diğer yerlere göre daha temiz olduğu havacılık endüstrisi gibi alanlarda kullanım için geliştirilmiştir. Yüksek kirlenme oranına sahip ve aşınmış parçacıkların çok olduğu numuneler partiküllerin üst üste gelerek analitik analizde hataya sebep olmamaları için temiz yağ ile seyredilmelidir. Fakat aşırı seyretme doğruluğun kaybına neden olabilir analitik ferrografi maliyeti yüksek bir cihazdır ve kullanıcının profesyonelliğini isteyen bir tekniktir. Analitik ve On-Line ferrografinin birlikte kullanımıyla diğer tekniklerin çoğunun etkisiz kalabildiği büyük parçacıkların varlığı incelenerek anormal aşınma sorunlarının açığa çıkması sağlanabilir [11].

### **2.8.5 Dönen Parçacık Depolayıcısının Kullanımı**

Dönen parçacık depolayıcı İngiliz kömür işletmeleriyle birlikte Swensea triboloji merkezi tarafından bir yüzey üzerine aşınmış parçacıkların toplanması için geliştirildi. Dakikada 70 devir dönen eğik yüzey, sıvının radyal olarak dışarı doğru yönlendirilerek aksamasına neden olur. Bu eğik yüzeyin altına yerleştirilmiş bir mıknatıs dönme kuvveti etkisiyle parçacıklar değişik ölçülerde yoğunluk halkaları oluşturarak eğik yüzey üzerinde toplanır. Eğik yüzey bir defada 150 devir/dakika hızıyla döndürülürken bir şırınga pompa sistemi vasıtasıyla çözücü bir sıvıyla yıkanır. En son adımda kurutulur [10].

Dönen parçacık toplayıcıları, parçacıkların mikroskop veya görüntü analiz edicilerle incelenebileceği şekilde partiküllerin iyi sınıflandırılmasını sağlar. İngiliz kömür işletmelerindeki çalışmalar göstermiştir ki; parçacıkların üst üste yapışması nedeniyle ferrografinin kullanılmadığı fazla kirli ve çok miktarda aşınmış parçacık bulunan numunelerde söz konusu yöntem mükemmel sonuçlar vermiştir. Demir partiküllerinin yanında demir olmayan partiküller de bu yöntemle algılanabilir. Cihazın kullanımı kolaydır ve numuneler seyreltilmeden çabucak işlenebilir. İş gücü ve sarf malzemeleri itibariyle düşük maliyetlidir [10].

### 2.8.6 Aşınmış Parçacık Test Edici Kullanımı

Bu cihaz Inspection instrument Ltd. tarafından Rolls Royce ile birlikte gaz türbün motorlarında kullanılmak üzere geliştirildi. Test edici, ölçme başlığı içinde yan yana monte edilmiş endüktif elamanlardan oluşan çok hassas bir köprü içerir.

Endüktif elamanın üzerine demir parçacıkları içeren bir numune konulduğunda, bu ölçme köprüsünün dengesi bozulur. Bu dengesizlik bir kuvvetlendiriciyle kuvvetlendirilerek gösterge üzerinden okunur.

Çoğaltma faktörü 1 den 1000'e kadar gösterilir. Test edici aşağıdaki materyallere cevap verir. Dökme demir ve dökme çelik (dişli kutusu muhafazası) rulman çeliği, dişli çeliği, alaşımlı çelik (rulman kafesleri, rondela), paslanmaz çelik, pas. Bu sistem aşağıdaki malzemelere cevap vermez. Alüminyum bronz, Antimon, Prinç, Krom, Kömür tozu, Bakır, Molibden Disülfat, Fosfor bronz, Kalay bronz.

Doğru bir sonuç için ölçme süresince aşağıdaki adımlar gereklidir.

1- Cihazın kalibrasyonu: Her kalibrede 5.0 değeri veren bir kalibrasyon numunesi kullanılarak her kullanıştan önce yapılmalıdır.

2- Sıfıra ayarlama: Filtre kağıdı cihaza verilmeden önce cihaz sıfıra ayarlanmalıdır.

3- Ölçme: Filtre kağıdı ölçme başlığı üzerine konur ve ölçme sonucu, ölçüm göstergesinden istenirse çoğaltılarak okunur.

4- Sınırlamalar: Kalibrasyon ve çalıştırma sırasında ölçme başlığı yakınlarında saat, yüzük, kol düğmesi vb bulunmamalıdır. Sıcaklık değişimleri, titreşim ve hava akımlarından sakınılmalıdır.

Aşınmış parçacık test edici manyetik parçacık dedektörü üzerindeki bir filtre kağıdına yapışan (özellikle demir) partiküllerin ağırlıklarını kolay, çabuk ve doğru ölçümünü sağlar. Cihazın hassasiyeti yüksek kalitede dişli kutuları ve türbinlerin ürettiği son derece küçük parçacıkların düşük seviyede olduğu ana elamanların arızasının güvenlik nedeniyle tehlike oluşturduğu, üretim kaybı veya maliyeti yüksek bakım gerektiren herhangi bir makine aksamı için bu yöntem uygulanabilir. Cihazın kullanımı son derece kolay, uygulaması ucuz olduğundan kömür işletmeleri, havacılık

endüstrisi ve diğer kuruluşlarda yaygınca kullanılmaktadır. Sonuçlar optik bir mikroskop ve aşınmış parçacık atlası ile birlikte kullanılırsa çok daha verimli olacaktır [14].

### 2.8.7 Partikül Miktarı Ölçüsü

Bir numune içindeki partiküllerin manyetik yoğunluklarıyla ölçen partikül miktarı ölçme düzeneği Swensea Triboloji merkezince geliştirilmiştir. Ölçme; numune manyetometre üzerinde iken ve değilken okunan değerler arasındaki manyetik kuvvet değişiminin karşılaştırılmasıyla olur. Aşınmış parçacık içeriğinin miktarı; aşınmış parçacıkların manyetik kütlesiyle orantılı olan Partikül miktarı endeksi diye adlandırılan bir sayısal çıkış olarak elde edilir. Bu endeks; numune cihaza yerinde plastik kaptta veya ince bir yüzey üzerinde (eğimli yüzey metodu gibi) verilse de hep aynı kalır. İşlem, endeks elde edilinceye kadar 30 saniye sürer [15].(Şekil 2.6)



**Şekil 2.16** Parçacık miktarı ölçümleyici

Partikül miktarı (PQ) ölçme metodu aşınmış parçacık test ediciye alternatif bir yoldur. Prensipieri farklı olmasına rağmen aynı amaca hizmet ederler.

Deneyimler parçacık test edici yöntemin yanında (PQ) ölçme sisteminin aşağıdaki avantajları olduğunu göstermiştir.

1- PQ ölçümleyici kendi sıfırlama yaptığında elle yapılan bir ayar ya da kalibrasyon istemez.

2- Sıcaklık değişmesi, hava akımı vb. gibi, aşınmış parçacık test edicinin etkilendiği faktörlerden etkilenmez.

3- Plastik şişe ve eğimli yüzeyde filtre kağıdı kullanmak gibi iki seçime olanak tanır. Hassasiyet; numune hazırlamada diğer yöntemde filtre kağıdı gözenek büyüklüğünden kaynaklanan parçacık kaybına neden olmadığından, plastik şişeleme seçeneğinde daha yüksektir.

4- Sarf malzemesi miktarı, plastik şişe kullanılan partikül miktarı ölçme düzeneğinde, aşınmış parçacık test ediciden daha azdır[15].

### **2.8.8 Lazer Işını Spektrumuna Ayırıştırma Yoluyla Partikül Büyüklüğü**

Bu yöntem; gibi parçacıkların büyüklük dağılımının ölçümü için geliştirilmiştir.

1- Gaz veya sıvı içindeki asılı katı partiküller.

2- Gaz veya başka sıvılarla karışmayan sıvıların içindeki damlacıklar.

3- Sıvılarda gaz kabarcıkları.

Bu yöntemin ana uygulaması Çimento kristalleştirme, Pigment üretimi, toz kömür tutuşturma, sıvı yakıt vb. özel maddelerin üretiminde yer almaktadır [16].

### **2.8.9 Bir Aşınmış Parçacık Analiz Sisteminin Seçimi**

Aşınmış parçacık analizi yardımıyla makine arızalarının önceden tahmini için hangi elamanların arızaya neden olabileceğinin önceden değerlendirilmesi gerekir.

Seçim yaparken şu faktörler dikkate alınmalıdır:

### **2.8.9.1 Kullanım Şekli**

En kolay yöntem uygulama maliyeti en az olduğu kadar, yetişmiş personel gerektirmeyecek kadar çalıştırılması basit bir sistemin seçilmesidir. Karmaşık sistemler ayrıntılı bir araştırma, veri kullanma ve yorumu gerektirebilir. Kullanım türü çalışan makinelerin sayısına, türüne ve karmaşıklığına bağlıdır. Direkt aşınmış parçacık sistemleri montajı ve çalıştırması kolaydır. İlaveten doğrudan ölçüm okuma imkanı sunarlar. Tek olarak yağlama yağı numunesi analiz tekniklerine göre ucuzdurlar ama izlenecek makine sayısı artarsa sistem pahalı olur.

On-Line izleme sistemi, yağlama sistemi yeniden düzenlenmedikçe çarpınmalı yağlama sistemlerinde etkin olarak kullanılamaz. İlaveten On-Line izleme sistemi uyarı ve belirtileri, doğrudan vermekteyken, yağlama yağı analiz teknikleri daha çok teşhise yönelik bilgi sağlayacaktır. İdeal olanı; büyük kuruluşlarda anahtar durumundaki makinelerde On-Line metodunu ve diğer makinelerdeyse yağlama yağı analiz tekniklerini, birbirini destekleyecek biçimde birlikte kullanmaktır [16].

### **2.8.9.2 Bileşimin Seçimi**

Şu nokta kabul edilmiştir ki hiç bir teknik tek başına istenen bütün verileri sağlamaz. Uygulanan izleme tekniklerinin geniş bir büyüklük sahasındaki partikül iriliklerine cevap verebilmeli ve kirlenmeyle fazlaca etkilenmemelidir. Rutin izleme için en iyi seçim iki veya daha fazla tekniğin birlikte kullanımınıdır. Örnek olarak ferrografi, spektrometrik yağ analizi ve mağnetik tapalar yöntemleri birlikte, aşınmış parçacıkları izleme yoluyla yaygın bir makina sağlığı takibi sistemi oluşturmak için kullanılabilir. Bu üç tekniğin birlikte kullanımı aşınmış parçacıkların genel büyüklükleri için yeterli ölçüm sahasını kapsar. Spektrometrik yağ analizi 15  $\mu\text{m}$ 'den büyük partiküllere kördür. Ferrografi ise 1 ve 100  $\mu\text{m}$  arasındaki parçacıkları inceleyebilir ki, bu parçacıklar spektrometrik yağ analizi için çok büyük, mağnetik tapalarla inceleme içinse de çok küçüktür. Mağnetik tapaların kullanımı aşınmış parçacıkların yağ akışı sırasında yakalanmasından dolayı makineye ikincil zararlar verilmesini de önler.



Özel gereksinmelere bağlı olarak değişen çeşitli kombinasyonlar vardır ve en optimum seçim uygun periyot süresince en yararlı bilgiyi en az maliyete sağlayan sistemdir. Şu konuda hatırdta tutulmalıdır ki tek başına veya kombine kullanılan hiç bir izleme sistemi yaklaşan arızanın % 100 etkin tahmin yapamaz ve makine performansını geliştirmez [16].

### 3 AŞINMIŞ PARÇACIKLAR VE AŞINMA ATLASI

Yağ içinde zamanla oluşan aşınmış parçacıklar şekil, renk, yapı, boyut ve çelik cinsine göre sınıflandırılır [17].

#### 3.1 Şekil

(a) Düz plaka veya yongalar: Bunlar boy ve genişliklerine oranla incedirler ve metalin metale sürtünmesiyle oluşurlar.

(b) Helisler veya talaşlar: Bunlar takım tezgahları talaşları gibi görünürler ve tamamen aynı yolla açığa çıkarlar (Ör: Sert bir parçacığın veya sert bir yüzeyin yumuşak bir yüzeye dalması)

(c) Cips tipi yongalar ve taneler: Bunlar yassı parçalardan (plaka) daha kalındır ve dişli veya yatak yorulması sonucu yüzeyden kopma şeklinde meydana gelirler.

#### 3.2 Renk ve Yapı

(a) Renk: Isınan çelik sıcaklık yükseldikçe saman renginden kahverengiye kahverenginden maviye kadar sıcaklıkla değişen renkler üretir. Hararet sonucu renk değiştiren aşınmış parçacıklar düz plaka yada yongalardır ve genelde yağsız çalışma veya yetersiz yağlamadan dolayı meydana gelen aşınma sonucu oluşurlar.

(b) Yapı: Yeni oluşan aşınmış parçacıklar çoğunlukla açık renkli ve parlaktır. Yağ içerisinde belli bir süre ( bir kaç hafta ) kalmış olan parçacıklarda oksitlenme veya korozyon sonucu kararma görülür.

#### 3.3 Boyut

Parçacık boyutu ile ilgili genel kural şudur; parçacık boyutu ne kadar büyükse hasar o kadar büyüktür ve makinenin, durumu da o kadar kötüdür. Genel olarak parçacıklar 25  $\mu\text{m}$ 'den küçükse makine çalıştırılabilir. Parçacıklar için aşağıdaki 4 boyut gurubunu tanımlayabiliriz.

Çok küçük-5  $\mu\text{m}$ 'den küçük; genelde kabul edilebilir yuvarlanma sürtünmesi ve

kaya ve kömür tozlarının sebep olduğu aşınma neticesinde meydana gelirler. Bu parçacıkların büyük oranlarda görülmesi örneğin keçe problemi olduğunu ve dolayısıyla yağın kirlendiğini ifade eder.

Küçük-25  $\mu\text{m}$ 'den küçük; Makina parçalarındaki normal aşınma sonucu üretilir ve normalde problem oluşturmazlar.

Orta-25-60  $\mu\text{m}$  arasında; Yorulma sonucu oluşan pitting ve aşırı metal metale kayma sürtünmesi ile üretilir. Bu boyuttaki parçacıkların görülmesi arızaya sebep olabilecek kabul edilemez ölçüde metal kaybı olduğu konusunda bir uyarıdır.

Büyük--60  $\mu\text{m}$ 'den büyük; aşırı aşınma ve yorulma neticesinde meydana gelirler ve makine aksamında önemli bir hasar olduğunun işaretidirler. Bu parçacıkların bizim görebildiğimiz en büyük boyutu 1 mm dir.

### 3.4 Çelik Tipi

Çoğu durumda yalnız üç cins çeliği belirlemek isteriz.

- Yatak çeliği
- Dişli çeliği
- Alaşimsız çelik

Yatak çelikleri daima endişe sebebidir. Çünkü eğer bir yatak aşınmaya veya yorulmaya başlamışsa genelde aşınma devam eder. Diğer taraftan dişli çeliklerinde başlangıç aşamasında oluşan normal aşınma ve pitting zamanla durabilir. Dişliler, dişli kırığı olmadan ve tahrik kaybedilmeden büyük miktardaki pitting hasarlarına direnç gösterirler. Alaşimsız çelik parçacıkları dişli kutusu, ayar şimler ve pullarda açığa çıkarlar. Parçacık boyutları 85  $\mu\text{m}$ 'den küçük olduğu sürece dikkate değer problem teşkil etmezler.

### 3.5 Parçacık Belirlenmesi

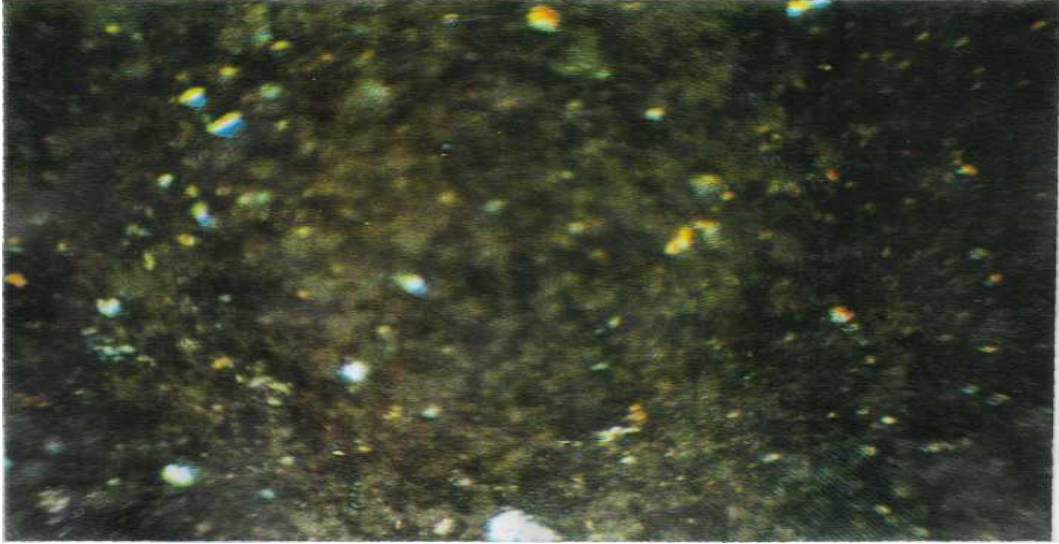
Yağdaki ferro parçacık miktarı parçacık test cihazında okunan değerlerden tespit edilir. Yağdaki parçacık cinsi bir optik mikroskop kullanılarak filtre kağıdının incelenmesi sonucu ortaya çıkarılabilir. Aşınmış parçacıkların tespitinin doğruluğunu

sağlamak için bu aşınma atlasındaki fotoğraflar ile parçacıkların mukayesesinde aynı büyütme ve benzeri ışıklandırma yapılması önemlidir. Fotoğrafların hepsi düşey yansıyan ışık kullanılarak X 100 büyütmede çekilmiştir. Bu şartlar altında hasara yol açabilecek büyük parçacıkların yüzey detayları kolayca görülebilir.

Eğik ışıklandırma, bakma yönüne ışık kaynağının 45 derece olarak kullanılması (Birçok mikroskoptaki gibi) parçacıkların büyük çoğunluğunu karanlık gösterir ve bu durum tavsiye edilmez.

### 3.5.1 Kazıma ile Aşınmış Parçacık

Sert kaya ve kömür tozları keçelerden sisteme girerek ve bütün metal yüzeylerini kazıyarak 5  $\mu\text{m}$ 'den daha küçük ölçüde ince parçacıklar aşındırırlar. Parçacıklar mikroskop altında tek tek görünmezler. (Şekil 3.1) Aşındırıcı kirlenme 10  $\mu\text{m}$ 'den büyük yüksek aşınma değerlerinin en yaygın sebebidir. Eğer değerler her yağ değişiminden sonra devamlı olarak yüksek kalıyorsa bu durum sızdırmazlık arızası olabileceğini gösterir. (Şekil 3.1)

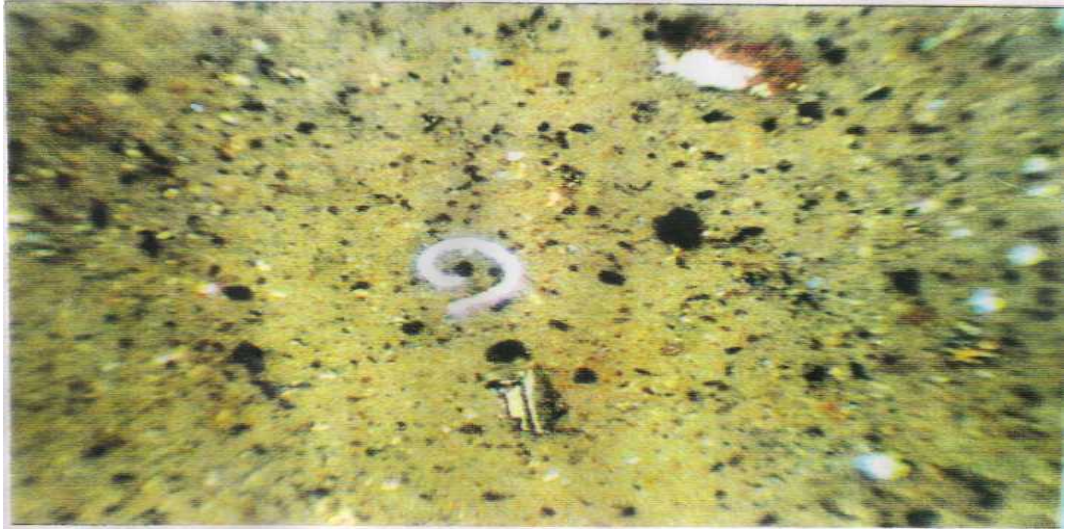


Şekil 3.1 Kazıma ile aşınmış parçacık, 5  $\mu\text{m}$ 'den küçük

### 3.5.2 Kesme ile Aşınmış Parçacık

Kesilerek aşındırılan parçacıklar sert bir malzemenin yumuşak bir malzeme üzerinden kayması yani yumuşak yüzey üzerinden malzemenin kazınması ile oluşurlar.

Bunlar takım tezgahı talaşı veya torna talaşına benzerlikleriyle kolayca tanınırlar. Çoğunlukla yatak bileziğinin yuvasında veya bir shaft üzerinde sarması sonucu meydana gelirler. (Şekil 3.2)

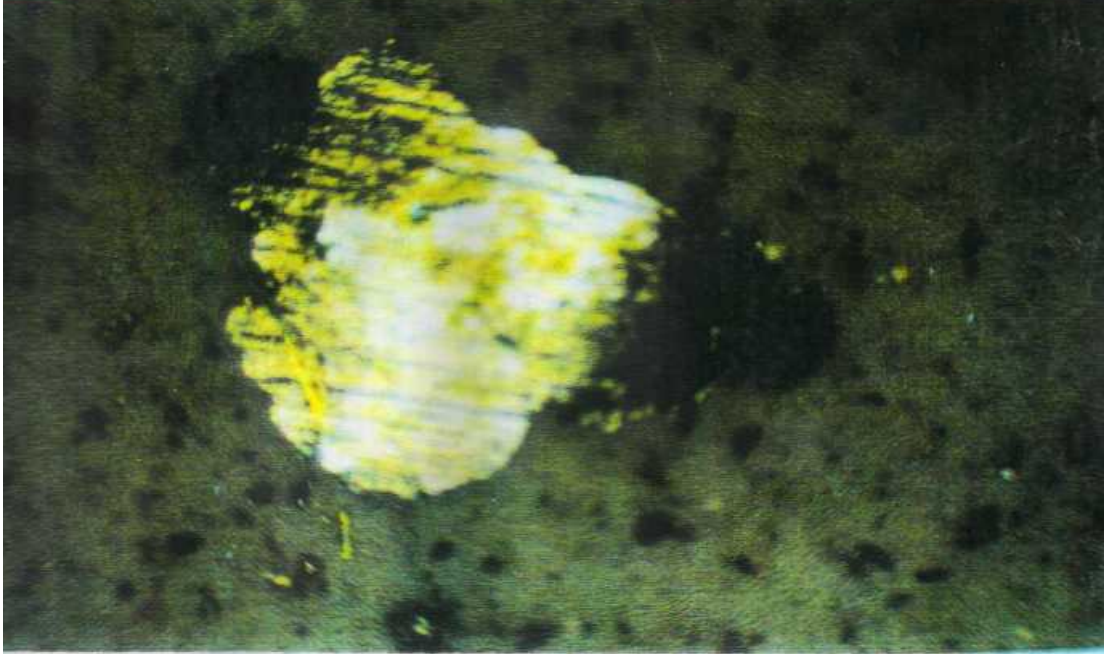


Şekil 3.2 Kesme ile aşınmış parçacık, 160  $\mu\text{m}$ .

### 3.5.3 Öğütme ile Aşınma

Bu parçacıklar küçükse, yani yalnız mikroskop kullanılarak görülebiliyorsa bunlar genelde normal kabul edilebilir aşınmanın bir göstergesidir. Ancak bunlar 25  $\mu\text{m}$ 'den uzunsa istenmeyen oranda bir aşınmayı gösterirler. Parçacıklar genelde çok incedir ve "plakalar" olarak, belirtilirler. Parçacıklarda sık sık oluşmaları sırasındaki hareket yönünü gösteren, yüzeyleri boyunca paralel çizgilere rastlanır ve "kazınmış" parçacıklar olarak adlandırılır. Diğer sürtünme yoluyla oluşan parçacıklar düzgündür ve bunların dişliler arasından zımparalanarak geçtiği düşünülür ve özelliiksiz olarak

oluşurlar. Aşınmış parçacıklar (sürtünme yoluyla) dişli pompa, eş çalışan dişliler, kutulara sürten dişliler ve yatak kafeslerine sürten ringlerde meydana gelen kayma aşınması ile üretilirler. (Şekil 3.3)



**Şekil 3.3** Öğütme ile aşınmış parçacık, 400  $\mu\text{m}$ .

#### **3.5.4 Dişli Yorulması**

Yorulma sonucu oluşan dişli parçacıkları kalın olma eğilimindedirler, öyle ki bütün parçacığı odaklamak (görüntülemek) mümkün değildir. Dişli yorulması ile doğan parçacıklar alışan sistemlerde alışma başlangıcında bulunabilir fakat aşınma sonra durur ve bir yağ değişiminden sonra tamamen kaybolur. Uzun bir servis süresinden sonra dişli yorulma yongaları görülebilir ve bunlar genelde dişlilerin diş yuvarlanma dairesinden açığa çıkarlar. Dişli kutusu servisten alınmadan önce yüksek miktarda dişli aşınmasına tolerans gösterilebilir. (Şekil 3.4)

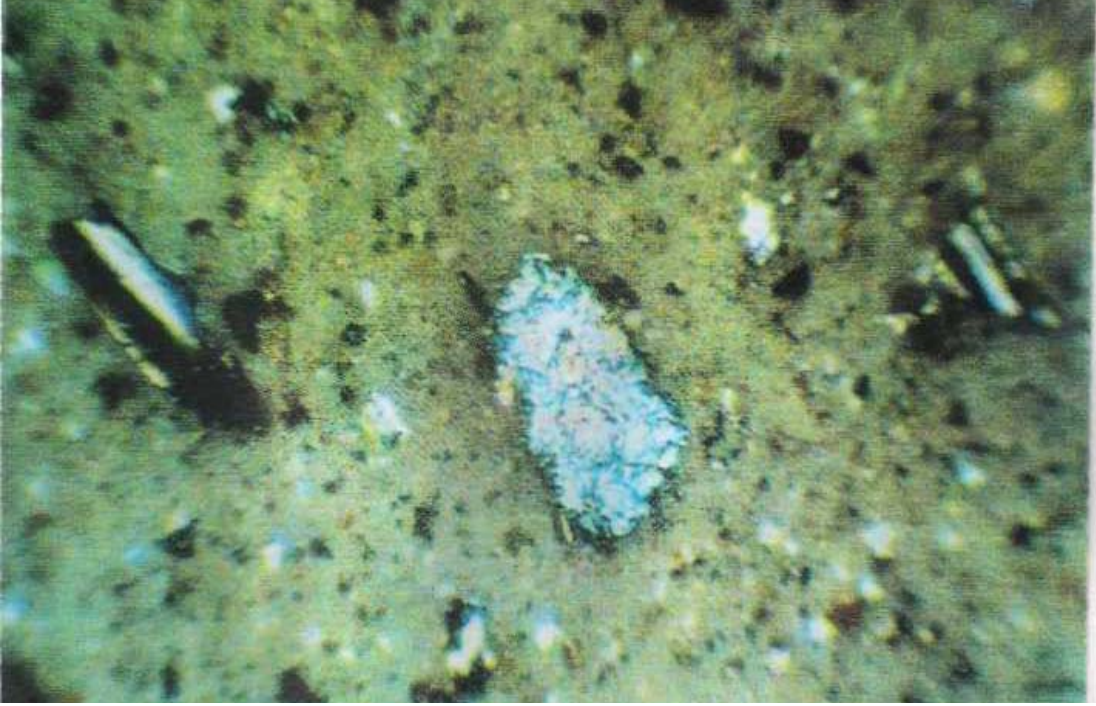




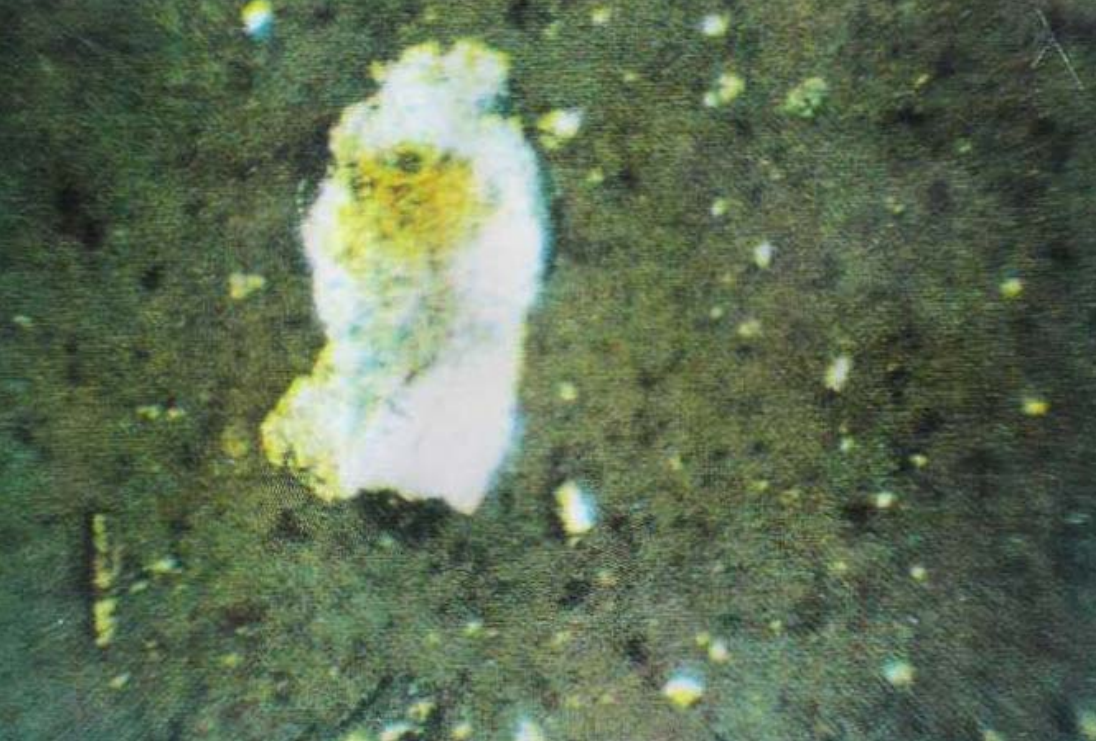
**Şekil 3.4** Dişli yorulması ile oluşan parçacık, 500  $\mu\text{m}$

### 3.5.5 Aşırı Metal Metale Sürtünme

Dişli kutuları aşırı yüklendiklerinde veya yağsız kaldıklarında aşırı ısınırlar ve renkli aşınmış parçacıklar üretilmesine yol açan şiddetli kayma sürtünmeleri meydana gelir. Söz konusu renkler çelik sıcaklığının yükselmesiyle oluşan hararet sonucu oluşan renklerdir ve saman renginden kahverengiye, kahverengiden maviye kadar değişirler. (Şekil 3.5) Rengin derinliği parçacıkların üretildiği sıcaklığı ve böylece aşınmanın şiddetini ortaya koyarlar. Saman renkli parçacıklar sarı renkli pirinç parçacıklarla karıştırılmamalıdır. Saman renkli parçacıklar genelde, yüzeylerinde paralel çizgiler taşımalarına karşılık pirinç parçacıklarının yüzeylerindeki işaretler genellikle düzensizdir.(Şekil 3.6)



**Şekil 3.5** Aşırı metal metale sürtünme aşınması ile oluşan parçacık, mavileşmiş çelik  
150  $\mu\text{m}$ .



**Şekil 3.6** Aşırı metal metale sürtünme aşınması ile oluşan parçacık, renkli çelik 240  $\mu\text{m}$ .



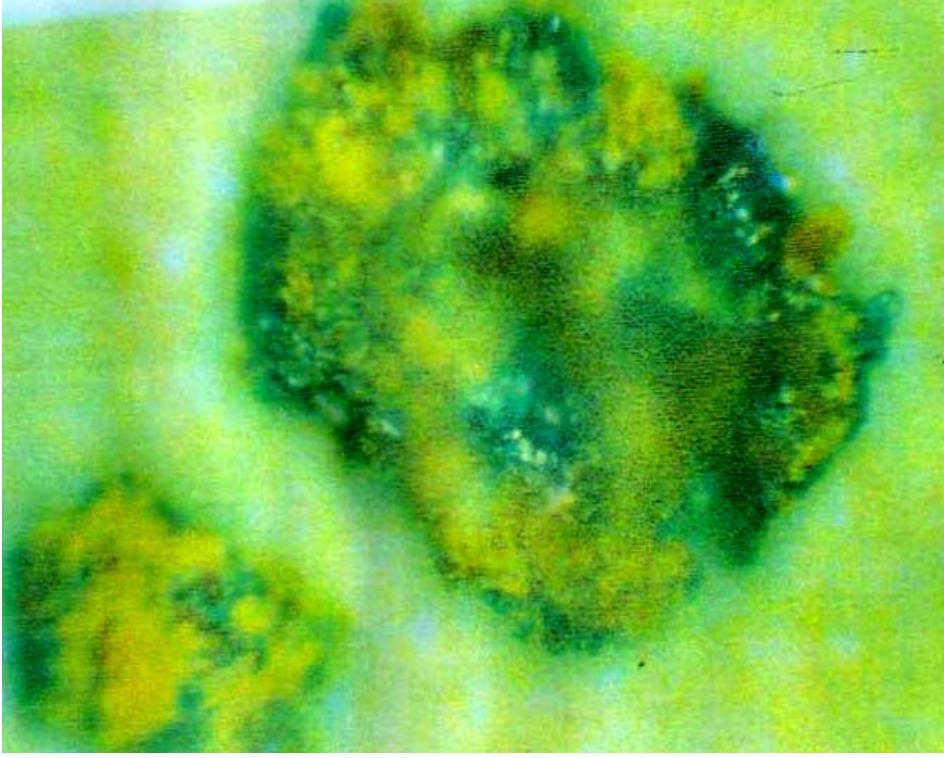
### 3.5.6 Fretting Aşınması

Bu tip aşınma iki yüzey küçük genlikli vibrasyona maruz kaldığında meydana gelir. Eş çalışan yüzeyler oksidasyona maruz kalır ve kuvvetli bir sülfür kokusu meydana getiren yağ bozulmasına sebep olur aşınma bir filtre kağıdında koyu siyah olarak gözükür ve 10 dan daha fazla, yüksek bir okuma değeri gösterir. Mikroskop altında bakıldığında parçacıklara çok küçük olduğundan tek tek görmek imkansızdır. Ve birikinti sık olarak çok kalındır, yüzeyde kuruyan çatlakların bir ağı görünür. Bu tip aşınma genelde iki yüzeyin gevşek monte edildiği ve birlikte titreştiği yerlerde meydana gelir ve yağla doldurulmuş cer dişlilerinde bulunur.(Şekil 3.7)



**Şekil 3.7** Fretting aşınma parçacığı, hepsi 5  $\mu\text{m}$ ' den küçük

### 3.5.7 Aşınmış Parçacık Örnekleri



Şekil 3.8 Pas parçacıkları, 400  $\mu\text{m}$ 'ye kadar

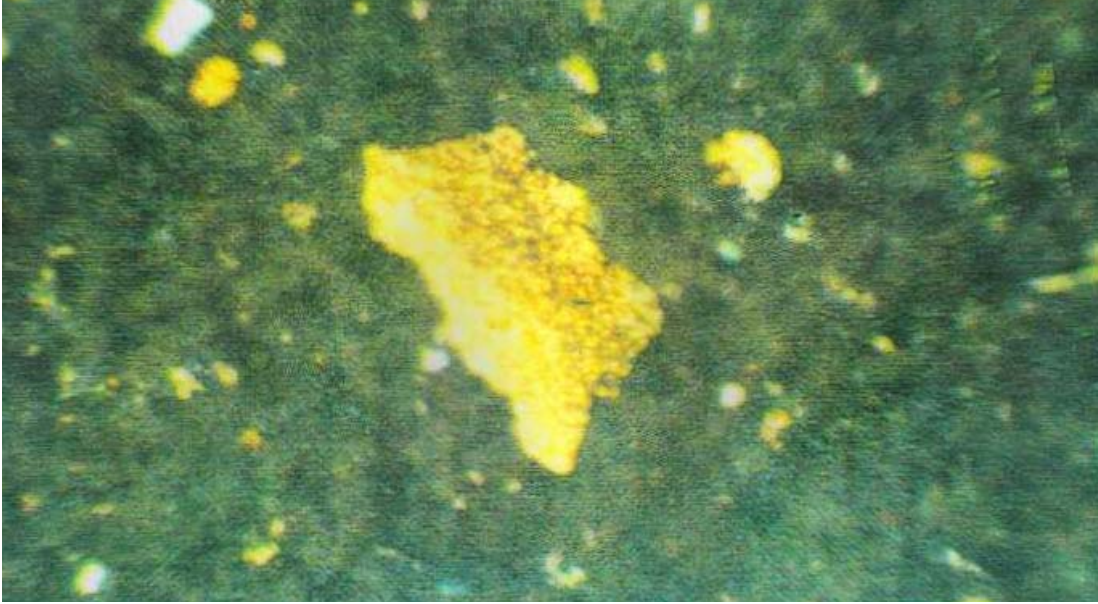
### 3.5.8 Korozyon Ürünleri

Su yağ numunelerinde sık olarak bulunur, genelde su ile birlikte düzensiz şekilde büyük turuncu parçacıklar şekil 3.8'de görüldüğü gibi, gözüken pas parçacıkları vardır. Korozyona maruz kalmış çelik, parçacıklar üzerinde kahverengi veya turuncu birikintiler görülebilir.

### 3.5.9 Prinç veya Bronz

Prinç, derin sarı rengi düzensiz şekli ve yüzey özellikleri ile kolayca ayırt edilebilir. Yatak kafeslerinde ve selektörlerde kullanılır.(Şekil 3.10) Bronz, episikloid dişilerde baskı bileşiği olarak kullanılır ve pembe renkli gözüktür.

Bu metaller aşınmış parçacık test değerlerine tesir etmez ve neticede bunların varlığı tespit edilirse, düşük aşınma test değerlerine rağmen bir aşınma problemi olduğuna işaret ederler.



**Şekil 3.9** Prinç aşınmış parçacığı, 200  $\mu\text{m}$

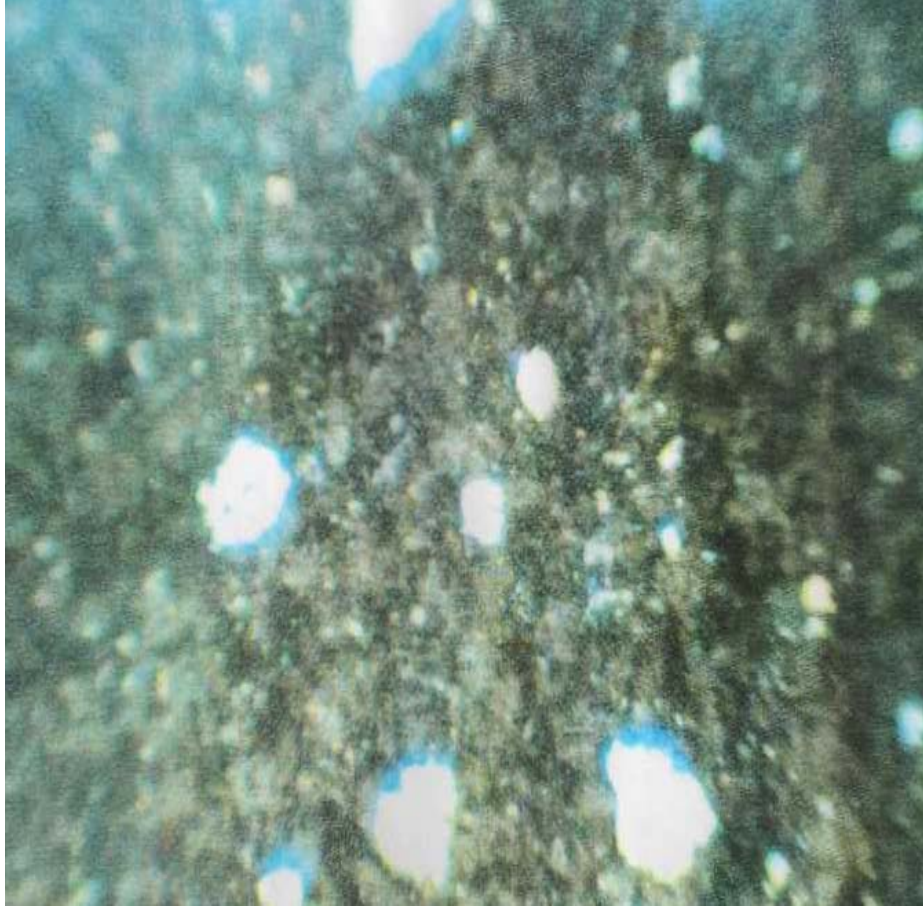


**Şekil 3.10** Bronz aşınmış parçacığı, 280  $\mu\text{m}$



### 3.5.10 Krom

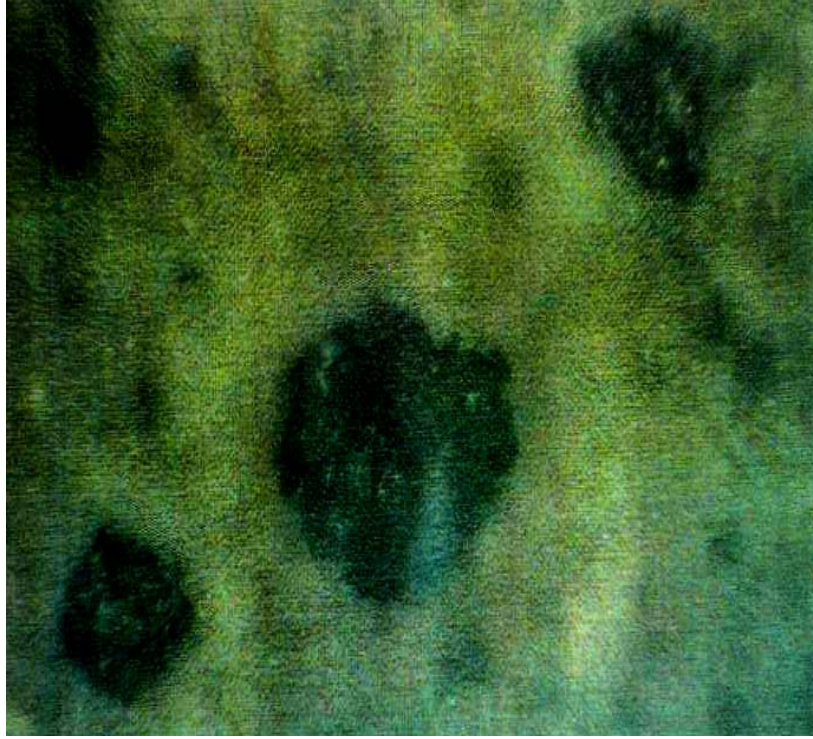
Krom parçacıkları nadiren 40  $\mu\text{m}$  büyüktür bunlar serttir ve bundan dolayı da çok pürüzsüzdür ve genelde kırılındırlar. Parçacıklar yüksek derecede yansıtıcıdır ve renkli parçacıklardan daha parlak görünürler.(Şekil 3.11) Bu parçacıklar episikloid dişli kutularında krom kaplı yüzeyler kırıldığıında bulunurlar. Krom parçacıklar genelde pirinç veya bronz pleytlerle birlikte bulunur.



**Şekil 3.11** Krom pulları, 50  $\mu\text{m}$ 'ye kadar

### 3.5.11 Kömür

Kömür Şekilsiz veya kristalimsi formda bulunabilir. Şekilsiz form belirli bir Őekle veya ayırt edici yüzey özelliklerine sahip değildir. (Şekil 3.12) Kristalimsi formu düzenli Şekildedir ve parlaktır, ĉelięe benzer rengi gridir, iki tipinde lęs bir kaĉ yüz  $\mu\text{m}$  olabilir.(Şekil 3.13)



Şekil 3.12 Şekilsiz kömür parĉacıkları, 170  $\mu\text{m}$ 'a kadar



Şekil 3.13 Kristalimsi kömür parĉacıkları, 250  $\mu\text{m}$ 'ye kadar



### 3.5.12 Şist

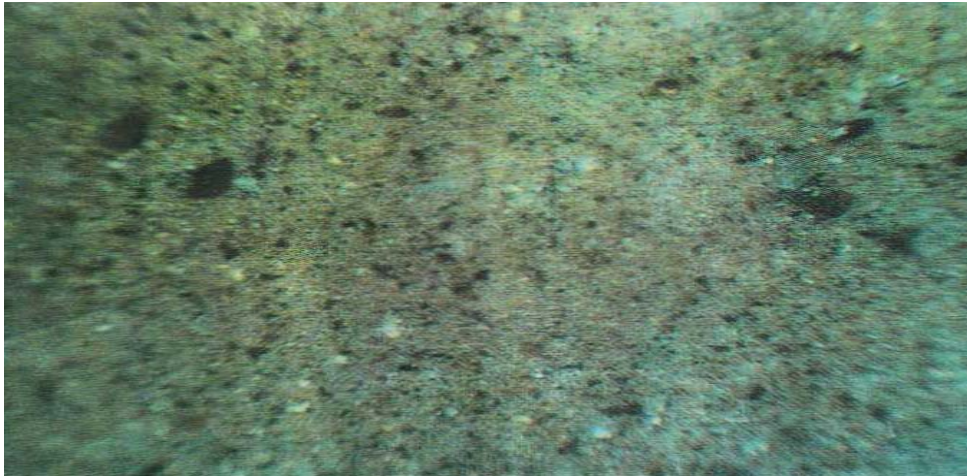
En yaygın görülen minerallerden birisi şisttir. Şist genellikle siyah ve parlaktır ve sıkça kavisli paralel çizgilere sahiptir.(Şekil 3.14) Bu paralel çizgiler çeliklerde bulunan düz çizgiler benzemezler ve 1 mm ölçüsüne kadar bulunabilirler.



Şekil 3.14 Şist, 280 µm

### 3.5.13 Mineraller

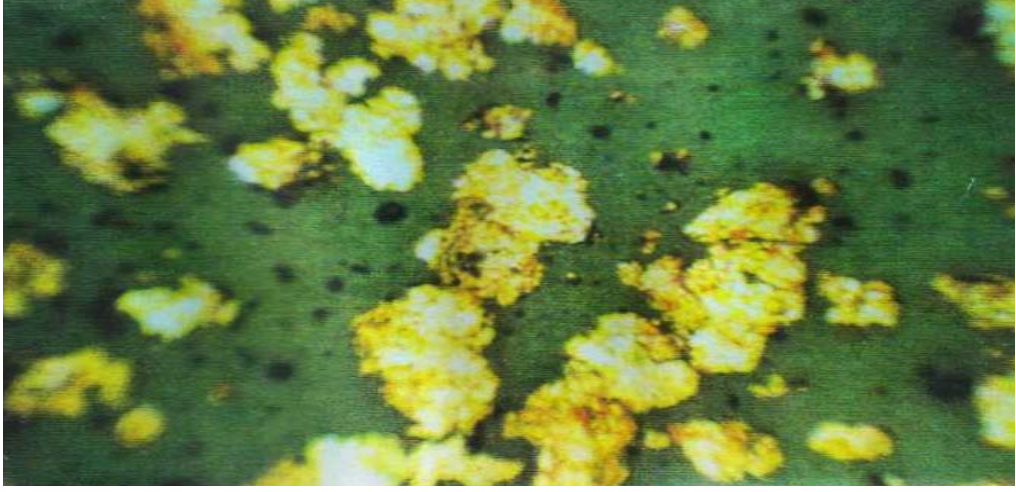
Mineraller daima mevcuttur fakat tek tek parçacıklarının X100 büyütmede gözükmesi zordur.(Şekil 3.15)



Şekil 3.15 Mineraller 10 µm'ye kadar

### 3.5.14 Bakır

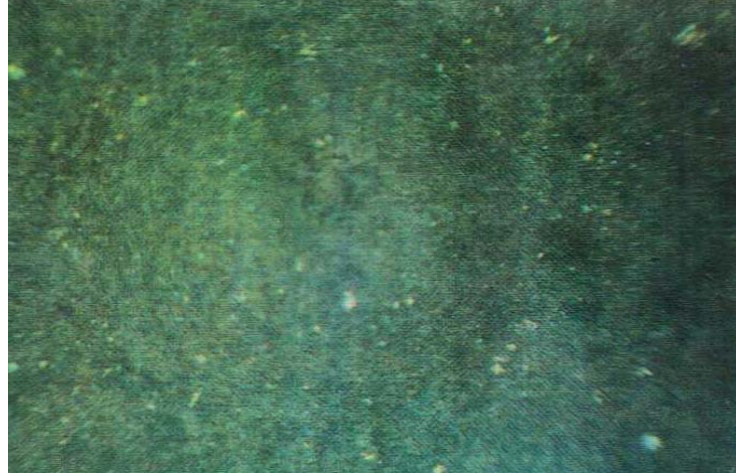
Bu parçacıklar nispi olarak büyüktür, 80  $\mu\text{m}$ 'ye kadar pembedirler ve buruşuk bir yüzeye sahiptirler. (Şekil 3.16) Bunlar montaj sırasında bakım kayıcı gresin kullanıldığı yerlerde bulunurlar.



Şekil 3.16 Bakır parçacıkları, 80  $\mu\text{m}$ 'ye kadar

### 3.5.15 Molibden Disülfür

Bu bileşik aşınma test değerlerine tesir etmez ve mikroskop altında çok küçük düzensiz şekilde siyah parçacıklar olarak görünürler. Hararet ve ses meydana gelmesi durumunda dişli kutusu ömrünü uzatmak için sisteme bu yağ (Molibden disülfid) ilave edilir. (Şekil 3.17)



Şekil 3.17 Molibden disülfid parçacıkları, 10  $\mu\text{m}$ 'ye kadar

## 4 MAKİNA YAĞI VE AŞINMIŞ PARÇACIK ANALİZ YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

### 4.1 Çalışma Prensipleri

ELİ Müessesesi Makina İşletme Şube Müdürlüğü bünyesinde uygulanan Yağ ve Aşınmış Parçacık Analiz Yöntemi, kestirimci bakım ilkelerine dayanarak makinelerin optimum oranda bakım ve minimum arıza ile çalıştırılması için gerekli bilgileri vermek üzere uygulanmıştır. Bu amaca yönelik olarak motor, şanzıman, hidrolik, diferansiyel ve cerlerden yağ numuneleri alınarak aşağıda belirtilen prosedüre göre analizler yürütülmektedir;

- 1- Yağ numunelerinin toplanması.
- 2- Yağ numunelerindeki Ferrous parçacık miktarının belirlenmesi.  
(PQ : Particle Quantifier)
- 3- Optik mikroskop ile parçacıkların fiziksel yapısının incelenmesi.
- 4- Yağ numunelerinin TBN (Toplam Baz Nosu) değerinin belirlenmesi.
- 5- Yağ numunelerinin vizkozitesinin ölçümü.
- 6- Analiz sonuçlarının değerlendirilerek arıza durumuna göre gerekli ikazın ve müdahalenin yapılması.

#### 4.1.1 Numune Alımı

Makine aksamlarından aşağıda belirtilen sürelerde numuneler alınmaktadır.

Motor Yağı: 50, 100, 150, 200 saatte.

Hidrolik Yağı: 900, 1400, 1900 saatte.

Şanzıman Yağı: 900 saatte.

Diferansiyel ve Cer Yağı: 900 saatte [18].

Numuneleri alan ekipler aynı zamanda laboratuvar tarafından verilen ikazlara göre yapılması gerekli işlemin takibinden ve bakım planlamasından da sorumludurlar. Numuneler makine durdurulur durdurulmaz yağ sıcak iken alınmaktadır. Numuneler özel numune pompalarına bağlanmış 60 ml.'lik plastik kaplara, yağ tankının ortasına dek inen plastik hortumlar aracılığıyla çekilmektedir. Her numunenin üstündeki karta



makine kapı numarası, makine ve yağ çalışma saatleri, yağın alındığı aksam ve tarih anında işlenmektedir.

#### 4.1.2 Parçacık Miktarının (PQ) Belirlenmesi

Yağ numunelerindeki ferrous parçacık miktarı Parçacık Sayıcı cihazı ile tespit edilmektedir. Cihaz döner bir disk üzerine yerleştirilen 2ml.'lik yağ numunesindeki ferrous parçacıkların dengede duran manyetik köprünün dengesinin bozulması ve bu farkın optik olarak okunması esasına göre çalışır. Numune 60 °C' de ayarlanmış bir etüvde ısıtılıp iyice çalkalandıktan sonra 2 ml' lik yağ şırınga ile PQ numune kabına konur. Cihazda yapılan ölçümün sonucu sonuç anında bilgisayara girilir. Yağ numune sonuçlarının değerlendirmesinde PQ miktarı için kabul edilen tecrübe ile bulunmuş sınır değerleri temel alınır.

Yağların çalıştığı makina ve aksamlara göre alınan PQ değerleri şu indeks sınır değerleri dahilinde değerlendirilir [18].

- a) Tüm motor yağları için (250 saatte) : PQ 20
- b) Tüm hidrolik yağları için (1000 saatte) : PQ 20
- c) Şanzıman yağları için (1000 saatte) :
  - Ağır iş kamyonlarında : PQ 60
  - Tekerlekli yükleyicilerde : PQ 40
  - Paletli makinelerde : PQ 20
- d) Diferansiyel ve cer yağları için (1000 saatte):
  - Ağır iş kamyonlarında : PQ 100
  - Tekerlekli yükleyiciler de : PQ 60
  - Paletli makinelerde : PQ 150

Bu indeks değerleri ortalama sınırlardır. Makina tip ve modellerine, işletme şartlarına ve yöntemlerine göre ortaya çıkacak sonuçlar temel alınarak bu PQ sınır değerleri aşağı yada yukarı çekilebilir. Bu değerlendirmelerde ölçü, PQ trendinin değişimi, yol açtığı arızalar ve performans kayıplarıdır. PQ miktarının periyodik olarak işlendiği tablolarda sadece ölçümler ve yapılan işlem belirtilirken grafiklerde, yağ

değişim saatlerindeki PQ'nun ulaşabileceği değerler interpolasyon ile işlenmektedir. Böylece PQ Trendi çarpıcı olarak görülebilmektedir [18].

#### 4.1.3 Mikroskopla Fiziksel Analiz

Parçacıkların aşınma karakterlerinin, boyutlarının ve kaynaklarının belirlenmesi için 2 ml lik yağ membran filtreden (5 µm) geçirilir. Bu filtre kağıdı optik mikroskop altında incelenir. Mikroskobun 5, 10, 50, 150 olan büyütme kapasiteleri sayesinde istenen oranda büyütülerek gerekli tespit yapılabilir. Böylece hem aşınma durumu, hem de kirlilik derecesi ile su olup olmadığı kontrol edilebilir. Mikroskopta görülen parçacıklar mevcut aşınma atlası ile karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Aşınma atlasında aşınma tipleri, sebepleri ve aşınmış parçacıkların tiplerine göre örnek fotoğrafları verilmiştir. Böylece arıza başlangıcının ve tahmini sebebinin tespiti mümkün olmaktadır.[18]

#### 4.1.4 TBN (Toplam Baz Nosu) Değerinin Belirlenmesi

TBN ölçüm sistemi birbirine seri olarak bağlı 5 üniteden oluşmuş, komple otomatik ve bilgisayar kontrollü bir analiz cihazıdır. TBN, bir gram yağdaki asidi nötralize etmek için gereken, asit miktarına eşdeğer miktarının mg olarak ifadesidir. Ülkemizdeki yakıtlarda sülfür miktarı yüksektir. Yakıt yandığında yağdaki sülfür, sülfür oksitlerine dönüşüp su buharı ile birleşerek H<sub>2</sub>S<sub>4</sub> oluşmaktadır. Bu da çok tehlikeli Korozif asidik bir yanma ürünüdür.

Bütün yağlar asidik olmaya yönelimlidir, özellikle aşırı hararet, oksidasyon, yanma ürünleri ve su varlığı dolayısıyla TBN daha hızlı düşer. ASTM D -2896 Standardına göre kullanılmış yağlar için:

TBN'si 12-20 arasında ise minimum 7,

TBN'si 7-12 arasında ise minimum 5,

TBN'si 5-7 arasında ise minimum 3'e müsaade edilir.

Ancak, yağ üretici kataloglarında TBN için nominal değerler verilmiş ise alt

sınır olarak bu değerler kabul edilmiştir. Bu değerlerin altına dūřılduęünde yaę acilen değiştirilmelidir. Aksi halde, korozyon, erozyon, pitting ve abrasif aşınma kaçınlmaz olacaktır [18].

#### **4.1.5 Viskozite lümü**

Viskozite yağın en önemli karakteristik değerlerinden biridir. Viskozite akmaya karşı gösterilen direnç olarak tanımlanabilir. Viskozitede olabilecek önemli değişiklikler yağlama kabiliyetini doğrudan etkiler. AVS/S Anodize alüminyum tip ölçüm istasyonu veya AVS/SK-PVDF-Paslanmaz elik istasyon ile optik olarak sıvı akışı belirlenir ve böylece doğru ölçüm sağlanır. Kapilere önceden otomatik olarak çekilmiş olan sıvı, otomatik ayarlanan pompa basıncı sayesinde uygun olarak hatasız akıtılır. Sıvının kapilerden akışı sırasında 1 ve 2 seviyeleri arasındaki akış zamanı elektronik sensrlerce okunur ve kinematik viskozite Cst olarak okunur. Viskozite ASTM D-445 Standardına göre 40 C'de;

Multigrade yağlar için motor yağlarında % 30 azalabilir.

Hidrolik yağlarında % 10 artıp azalabilir.

Dişli yağlarında ISO'dan bir grade farklı olabilir [18].

#### **4.1.6 Analizlerin Değerlendirilmesi**

Analiz yönteminin prosedrine göre analizleri yapılan tüm yağlar, numunenin alındığı makina aksamına göre belirlenmiş kriterler dahilinde değerlendirilir.

## 5 MAKİNE YAĞI ve AŞINMIŞ PARÇACIK ANALİZ YÖNTEMİNİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Soma E.L.İ. Müessesesi, değişik alanlarında açık ve yeraltı ocakları olarak iki şekilde linyit kömürü üretimi yapmaktadır. Termik santralin yeni ünitelerinin açılması ve piyasada Soma kömürüne olan talebin artmasına paralel olarak müessesenin kömür üretimi genelde yıldan yıla artış göstermektedir. 1030 MW kurulu güç kapasiteli termik santral ünitelerini beslemenin yanında yurdumuzun önemli bir bölümünün yakacak ve sanayi kömürü ihtiyacını karşılamaktadır. İşletmenin yıllara göre dekapaj ve kömür üretimi Tablo 5.1' de verilmiştir.

**Tablo 5.1** Soma ELİ'nde Yıllara Göre Dekapaj ve Kömür Üretimi [19].

YIL	Kömür( Ton)	Dekapaj (m3 )
2004	6.849.597	54.892.921
2005	8.312.610	79.946.311
2006	8.434.644	88.013.306
2007	9.802.151	55.670.546
2008	14.867.987	53.684.630

Gerçekleştirilen kömür üretiminin yaklaşık %85-90'lık kısmı açık ocaklardan elde edilmekte olup geri kalanı yeraltı ocaklarından sağlanmaktadır. Bu bakımdan açık ocaklar çok daha büyük öneme sahiptir. Açık ocaklardaki dekapaj ve kömür üretimi mekanize olup shovel ekskavatör kamyon sistemiyle gerçekleştirilmektedir. Açık ocak makine parkı Tablo 5.2 de verilmiştir. Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3' te E.L.İ. 'de üretim yapan makinelere örnekler verilmiştir.

**Tablo 5.2 İş Makinesi Parkı [19].**

MAKİNE	MİKTARI(Adet)
Ağır kamyon	138
Elek. Ekskavatör	16
Hidr . Ekskavatör	9
Buldozer	47
Paydozer	3
Yükleyici	21
Delik makinası	21
Greyder	16
<b>TOPLAM</b>	<b>271</b>

**Şekil 5.1 HD785-1 Komatsu ağır kamyon**

Açık ocaklarda yapılan dekapaj ve kömür üretiminin kesintisiz ve randımanlı bir şekilde yürütülebilmesi, iş makinelerinin azami düzeyde faal tutulmasına bağlıdır. Bunun için makine duruşları, özellikle tamir-bakımdan kaynaklanan duruşlar asgari düzeye indirilmelidir. Tamir-bakım faaliyetleri her üretim tesisinde verimliliği önemli ölçüde etkiler. Açık ocaklarda, makinelerin çalışma koşulları çok zor olduğundan tamir bakımın verimliliğe olan etkisi çok daha belirgindir. Bundan dolayı tamir-bakım, maden işletmelerinde en önemli faaliyetler arasındadır.



**Şekil 5.2** Hidrolik ekskavatör.

1987 yılına kadar Soma ELİ Müessesesinde iş makineleri haftalık periyodik bakım uygulanmaktaydı. Özellikle ağır iş kamyonlarında mevcut kamyon sayısı 7 iş gününe bölünerek, gerekip gerekmediğine hatta bazı kamyonlarda periyodik bakım sonrası oluşan arızadan beklemesi göz önüne alınmaksızın her gün bakıma kamyon çağırılmakta idi; bu da hem gereksiz iş yapılmasına yol açmakta hem de kimi kamyonlarda kısa süreli bakım, tekrarına yol açmaktaydı. Yapılan analiz ve değerlendirmeler de bu tip bakımın uygun olmadığı, sonucuna varılarak 1987'den itibaren çalışma saatine dayalı periyodik bakım uygulamasına geçilmiştir.





**Şekil 5.3** Elektrikli ekskavator.

Periyodik saate dayalı bakım uygulaması ile birlikte günde bakıma gelen kamyon sayısında önemli ölçüde azalma olmuştur. Periyodik bakım 50, 100, 250, 500, 1000 ve 2000 çalışma saatlerinde yapılmakta olup her bakım saati için standart yapılacak işler ve değişecek parça listeleri mevcuttur. Bu uygulamayla önemli ölçüde makine çalışma saati artışı ve tamir-bakım işçilik tasarrufu sağlanmıştır. Bu çalışmalara paralel olarak 1991 yılı ortalarından itibaren aşağıda belirtildiği gibi tamir-bakım çalışmaları kademeli olarak Yağ ve Aşınmış Parçacık Analiz Laboratuvarı tarafından analiz sonuçları ışığında yürütülmeye başlanmıştır.

1992 Yılı başından itibaren yağ analiz yöntemiyle yapılan kestirimci bakım analizleri yukarıda belirtilen makine parkında tamir-bakım ve revizyon işlemleri için (motor, hidrolik, şanzıman, diferansiyel ve cerler) temel alınmaya başlanmıştır. İş makineleri çalışma performansları değerlendirildiğinde yağ analiz yöntemiyle yapılan kestirimci bakıma geçmeden 1991 yılında ortalama çalışma saati 2810 saat iken 1992 yılında 3276 saate, en son 2007-2008 arasında da yaklaşık 3500 saate ulaşmıştır.

Dolayısıyla yağ analiz yöntemiyle yapılan kestirimci bakım analiz sonuçlarını baz alarak tamir-bakım çalışmalarının yürütülmesinin arıza başlangıcında gerekli müdahaleyi yapabilecek olanağı sağlaması açısından optimum bakım yöntemi olduğu açıktır.

## 5.1 Makine Yağı ve Aşınmış Parçacık Analizinin Motorlarda Uygulanması



Şekil 5.4 HD785-1 Komatsu kamyon motoru

### 5.1.1 412 Kapı Nolu Komatsu Kamyon Motoru

Motor Markası: Cummins

Motor Tipi : KT38

Gücü : 877 HP

Kullanılan Yağ : SAE15W-40

Kullanılan Yağ Miktarı : 150 litre

Yakıt : Dizel

Silindir sayısı : 12

**Tablo 5.3** Komatsu Kamyon Motor Yağı İzleme Tablosu.

TARİH	MOTOR ÇALIŞMA SAATİ	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ	AÇIKLAMALAR
09.01.2008	6706	65	0	Filtre normal
17.01.2008	6796	155	0	Filtre normal
23.02.2008	7106	58	5	Filtre normal
29.02.2008	7209	159	5	Filtre normal
08.04.2008	7575	65	10	Filtre normal
03.05.2008	7800	112	10	Filtre normal
09.05.2008	7875	187	5	Yağa mazot karışmış Yakıt sistemi kontrol



22.05.2008	7961	53	10	Yağa mazot karışmış ACİL DUR Yakıt sistemi kontrol Yağ değişimi
06.06.2008	8113	129	10	Filtre normal
11.06.2008	8170	186	30	Piston ve sekman talaşları var. Yağ değişimi
19.06.2008	8262	68	10	Filtre normal
26.06.2008	8333	139	5	Filtre normal
11.07.2008	8490	75	0	Filtre normal
23.07.2008	8562	147	20	Piston talaşı ve kirlilik var. Yağ değişimi Filtre kontrol
04.08.2008	8686	67	0	Filtre normal
14.08.2008	8798	179	10	Mazot karışmaya başlamış Yakıt sistemi kontrol
27.08.2008	8879	64	10	Filtre normal
16.09.2008	9082	66	10	Filtre normal
15.10.2008	9277	69	10	Filtre normal
23.10.2008	9360	152	5	Filtre normal
12.11.2008	9485	77	5	Filtre normal

Sonuç: Motor çalışma saati 7875 iken,PQ değeri normal değerlerde olmasına rağmen motor yağının özelliğini kaybettiği ve yağa mazot karıştığı tespit edilmiştir. Yapılan araştırmada motora enjektör oringinden mazot karıştığı anlaşılmıştır. Arıza giderilerek araç işe sevk edilmiş ve şu anda problemsiz çalışmaktadır.

### 5.1.2 111 Kapı Nolu Kawasaki Yükleyici Motor Tipi : Cummins KT19

Motor Markası:Cummins

Motor Tipi : KT19

Gücü : 383 HP

Kullanılan Yağ : SAE15W-40

Kullanılan Yağ miktarı : 59 litre

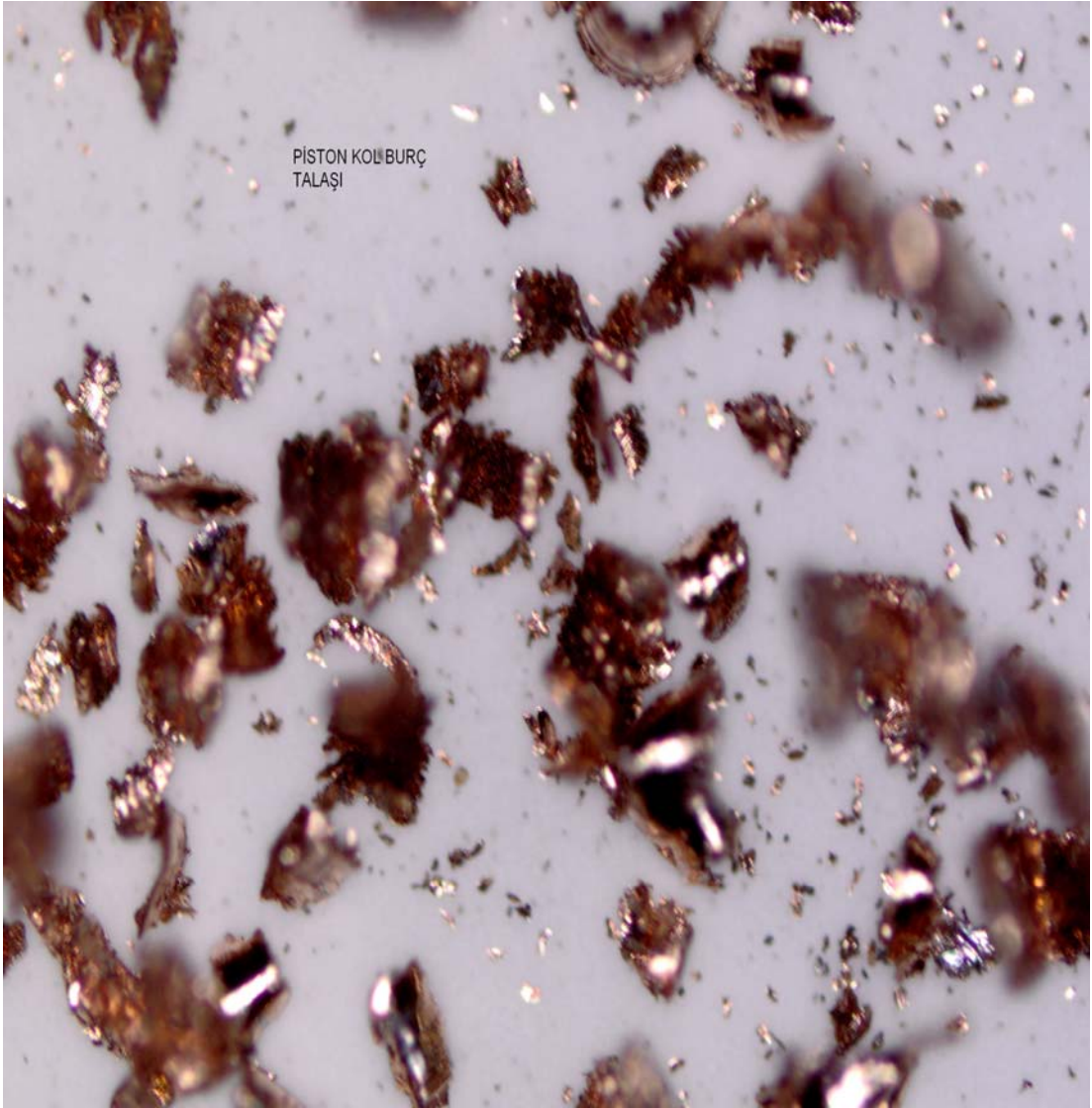
Yakıt : Dizel

Silindir sayısı : 6

**Tablo 5.4** Kawasaki Yükleyici Motor Yağı İzleme Tablosu.

TARİH	MOTOR ÇALIŞMA SAATİ	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ	AÇIKLAMALAR
01.03.2008	0	0		Yeni Motor
01.03.2008	162	36	5	Filtre normal
10.04.2008	413	79	10	Filtre normal
06.05.2008	660	114	5	Filtre normal
21.05.2008	729	183	20	Toz girişi ve Piston talaşı var Yıkama
06.06.2008	802	57	10	Filtre Normal
19.06.2008	902	157	10	Filtre Normal
24.07.2008	1000	56	20	Burç talaşı var Yağ değişimi
13.08.2008	1098	92	5	Filtre normal
21.08.2008	1158	152	5	Filtre normal
22.09.2008	1268	65	5	Filtre normal
07.10.2008	1314	111	10	Filtre normal
07.11.2008	1354	151	0	Filtre normal

Sonuç: Motor çalışma saati 729, yağ çalışma saati 183 saatte iken PQ değeri 20 olan ünitenin yapılan incelemede toz girişi ve piston talaşı tespit edilmiştir. Motora ince yağ ile yıkama verilmiş, yıkama sonucu 57 saatte tekrar numune alınmış yapılan inceleme de PQ normale dönmüştür. Motor çalışma saati 1000, yağ çalışma saati 56 olduğunda PQ 20 çıkmıştır. Toz girişi ve piston kol burç talaşı tespit edilmiştir (Şekil 5.5). Yağ değişimi önerilmiştir. Yağ değiştirildikten sonra motor normale dönmüştür.



**Şekil 5.5** Mikroskopik incelemede piston kol burç talaşı görüntüsü (x50 $\mu$ m)

### 5.1.3 269 Kapı Nolu D155A-1 Komatsu Dozer Motoru

Motor Markası:Komatsu

Motor Tipi : S6D155-4

Gücü : 320 HP

Kullanılan Yağ : SAE15W-40

Kullanılan Yağ miktarı : 75 litre

Yakıt : Dizel

Silindir sayısı : 6

Tablo 5.5 D155A-1 Komatsu Dozer Motoru Yağ İzleme Tablosu

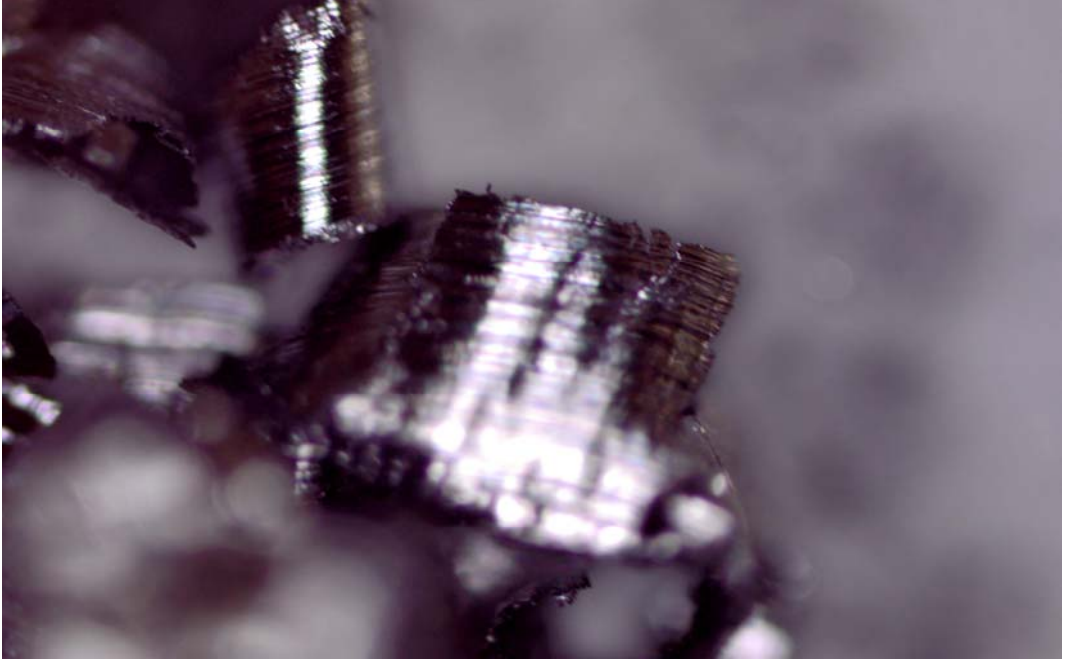
TARİH	MOTOR ÇALIŞMA SAATİ	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ	AÇIKLAMALAR
07.02.2007	1444	81	5	Filtre normal
22.03.2007	1500	143	5	Filtre normal
21.04.2007	1560	213	0	Filtre normal
15.05.2007	1610	59	5	Filtre normal
02.06.2007	1663	103	5	Filtre normal
14.09.2007	1700	139	5	Filtre normal
25.09.2007	1773	197	10	Talaş mevcut Yağ değişimi
17.10.2007	1836	58	5	Filtre normal
14.11.2007	1900	134	0	Filtre normal
22.11.2007	1954	186	5	Filtre normal
11.12.2007	2000	204	5	Filtre normal
30.12.2007	2094	96	0	Filtre normal Toz girişi var Filtre kontrol
25.01.2008	2160	162	5	Filtre normal
07.02.2008	2248	203	5	Filtre normal
14.02.2008	2300	56	5	PQ normal Yağda mazot var Yağ değişimi
19.02.2008	2352	52	15	Mazot kaçağı devam ediyor. Hasar başlamış Yağ değişimi
24.02.2008	2401	61	10	Vizkositede artış var Filtre normal

01.03.2008	2475	115	15	Yağda Mazot var Yağ değişimi
06.03.2008	2539	39	15	Yatak talaşı var Yağ değişimi
11.03.2008	2600	63	10	Talaş azalmış Fakat kontrollü devam edecek
1703/2008	2665	118	15	Aşınma devam ediyor İkaz
24.03.2008	2704	209	25	Acil kontrol Yıkama
30.03.2008	2882	76	20	Kontrollü devam edecek Numune tekrarla
09.04.2008	3093	47	55	Acilen durdur



**Şekil 5.6** Motor söküldüğünde yatakların durumu

Sonuç: Motor çalışma saati 2300 iken PQ değerinin normal olduğu gözlenmiştir. Fakat viskozite değerlerinin düşük olması sebebiyle ve yapılan inceleme neticesinde yağa mazot karıştığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda yağ değişimi verilmiş ve 50 saat sonra PQ değerinin yükselmeye başladığı yine laboratuvar çalışmaları sonucunda görülmüştür. Yapılan incelemede yatak talaşı tespit edilmiş, motor kontrollü olarak işe verilmiştir. Fakat motor 3093 saate geldiğinde, motor yağı PQ değeri 55 olduğu için motor sökölme kararı alınmıştır. Motor söküldüğünde ana yatakların hasarlı olduğu tespit edilmiş, ana yataklar değiştirilerek motorun daha fazla hasar görmesi önlenmiştir. Ünite şu an sorunsuz çalışmaktadır.(Şekil 5.6)



**Şekil 5.7** Mikroskopik incelemede yatak talaş görüntüsü(x100µm)

Tablo 5.6 D155A-1 Komatsu Dozer Motor Maliyet Tablosu

KULLANILAN MALZEMELER LİSTESİ

Makine modeli : D155A-1  
 Motor Markası : KOMATSU  
 Motor Modeli : S6D 155-4  
 Motor Seri No : 155.4Y-16  
 İŞ EMRİ : 10607

KULLANILACAK MALZEMENİN		MİKTARI	BİRİM FİYATI TL.	TOPLAM MALİYET TL.
NOSU	CİNSİ			
6127-21-8002	ANA YATAK S.T.D	1 Tk.	144,00	144,00
6127-31-3042	KOL YATAK	6 Ad.	20,00	120,00
6128-K1-0025	TAKIM CONTA	1 Tk.	423,00	423,00
6128-K2-1037	TAKIM CONTA	1 Tk.	548,00	548,00
6610-51-5300	KOVA FİLTRE	1 Ad.	11,00	11,00
600-311-8291	YAKIT FİLTRE	2 Ad.	4,00	8,00
LF670	YAĞ FİLTRE	2 Ad.	13,00	26,00
TOPLAM MALİYET				1.280,00 TL

**5.1.4 435 Kapı Nolu HD785-1 KOMATSU Kamyon**

Motor Markası: Cummins

Motor Tipi : KT38

Gücü : 877 HP

Kullanılan Yağ : SAE15W-40

Kullanılan Yağ miktarı : 150 litre

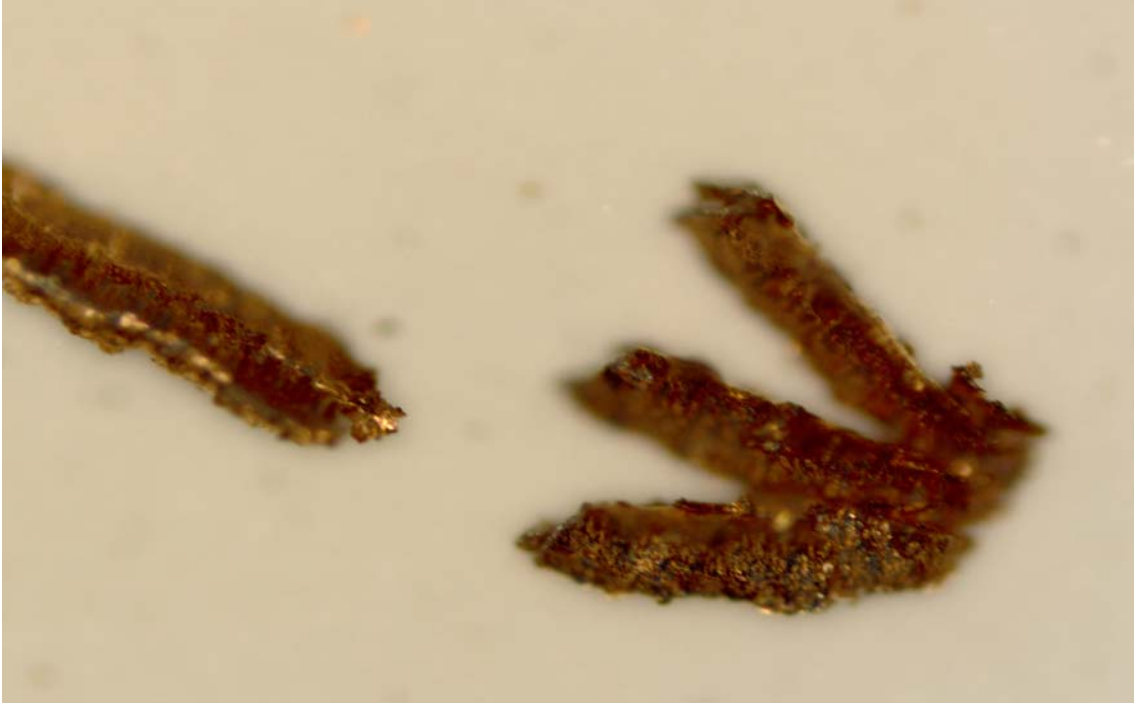
Yakıt : Dizel

Tablo 5.7 HD785-1 Komatsu Kamyon Motoru Yağ İzleme Tablosu

TARİH	MOTOR ÇALIŞMA SAATİ	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ	AÇIKLAMALAR
05.07.2006	521	187	10	Filtre normal
07.07.2006	553	219		Yağ değişimi
12.07.2006	628	75	5	Filtre normal
03.08.2006	763	210		Yağ değişimi
27.09.2006	1383	162	5	Filtre normal
05.10.2006	1436	215		Yağ değişimi
19.10.2006	1521	85	5	Filtre normal
01.11.2006	1684	203		Yağ değişimi
23.11.2006	1792	153	5	Filtre normal
30.11.2006	1844	178		Yağ değişimi
04.12.2006	1902	58	5	Filtre normal
25.12.2006	2046	202	10	Aşırı toz girişi. Az talaş Filtre kontrol. Yıkama
27.12.2006	2078	234		Yağ değişimi
08.01.2007	2156	78	5	Filtre normal
16.01.2007	2289	211		Yağ değişimi
24.01.2007	2358	69	0	Filtre normal
16.02.2007	2646	150	5	Filtre normal
22.02.2007	2702	206		Yağ değişimi
13.03.2007	2874	172	10	Filtre normal
20.03.2007	2907	205		Yağ değişimi
25.03.2007	2959	52	10	Filtre normal
04.04.2007	3065	158	25	Yatak talaşları var Revizyon

Sonuç: Motor 3065 saate kadar sorunsuz çalışmış, 3065 saatte iken PQ değeri 25 olarak tespit edilmiştir.(Şekil 5.8) Bu sonuç doğrultusunda motora kısmi revizyon kararı verilerek motor indirilmiştir. Motor açıldığında ise kol yataklarında aşınma olduğu görülerek kol yatakları değiştirilmiştir. Motorun daha fazla hasar görmesi önlenerek motor servise verilmiştir.(Şekil 5.9)





**Şekil 5.8** Mikroskobik incelemede kol burç talaşı görüntüsü (x100µm)



**Şekil 5.9** Aşınmış kol yatağı görüntüsü.

Tablo 5.8 HD785-1 Komatsu Kamyon Motoru Maliyet Tablosu

KULLANILAN MALZEMELER LİSTESİ

Makina Modeli : HD785-1

Motor Markası : CUMMINS

Motor Modeli : KT-38

Motor Seri No : 33107983

KULLANILACAK MALZEMENİN		MİKTARI	BİRİM FİYATI TL.	TOPLAM MALİYET TL.
NOSU	CİNSİ			
3047390	KOL YATAK	24 Ad.	343,00	8.232,00
3801719	TAKIM CONTA ALT	1 Ad.	608,00	608,00
3801720	TAKIM CONTA ÜST	1 Ad.	1.370,00	1.370,00
229670	YAĞ FİLTRESİ	4 Ad.	13,00	52,00
299202	MAZOT FİLTRESİ	2 Ad.	10,00	20,00
TOPLAM MALİYET				10.625,00 TL

### 5.1.5 488 Kapı Nolu HD 785-1 Komatsu Kamyon Motoru

Motor Markası:Cummins

Motor Tipi : KT38

Gücü : 877 HP

Kullanılan Yağ : SAE15W-40

Kullanılan Yağ miktarı : 150 litre

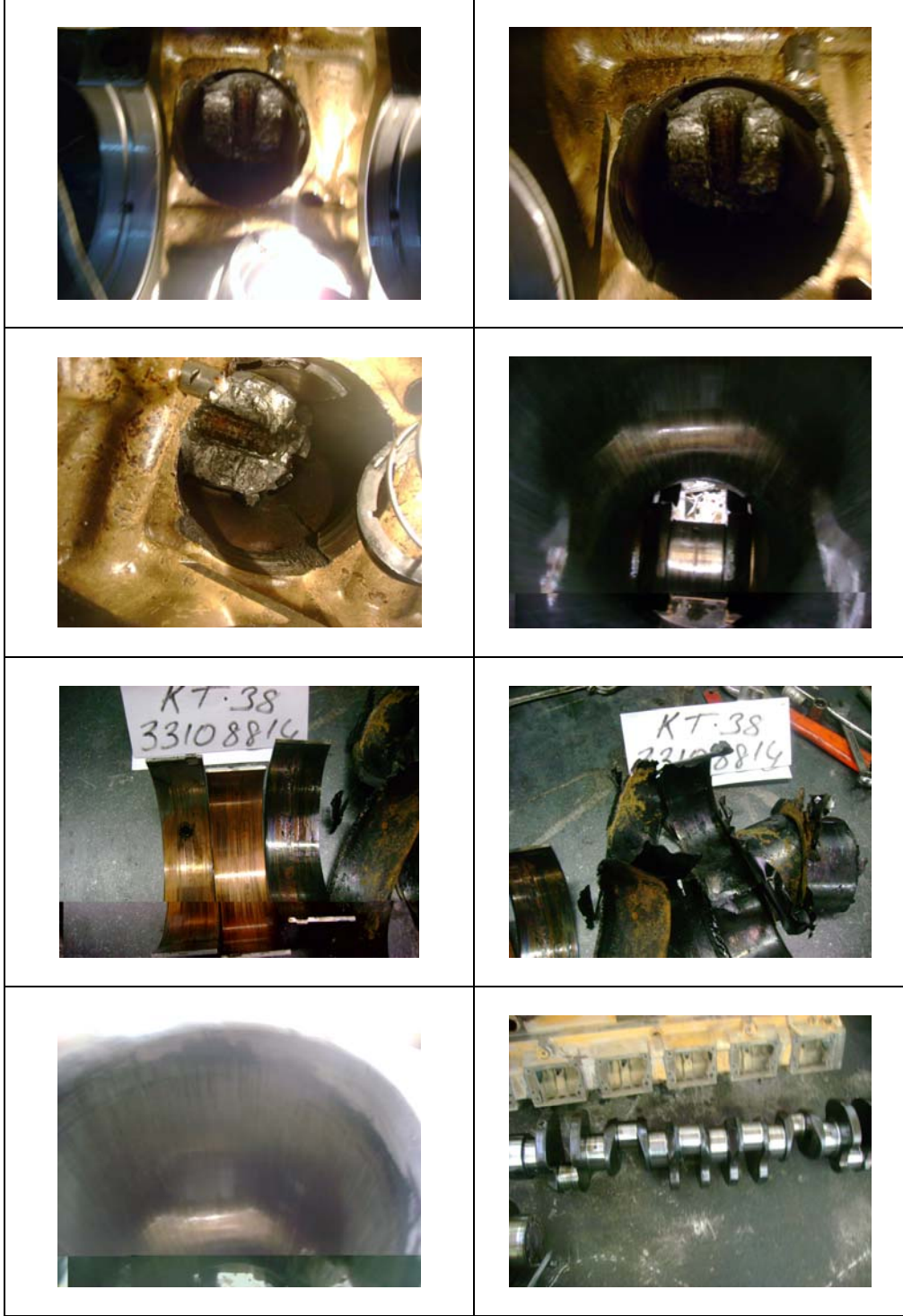
Yakıt : Dizel

Tablo 5.9 Komatsu Kamyon Motor Yağı İzleme Tablosu

TARİH	MOTOR ÇALIŞMA SAATİ	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ DEĞERİ	AÇIKLAMALAR
24.01.2008	2620	100	0	Filtre normal Herhangi bir metal partikül yok
	2670	150*	*	Numune gelmemiş
07.02.2008	2695	175	5	Ünite normal seviyede kirlilik ve talaş içeriyor
	2745	200*	*	Numune gelmemiş
	2795	50*	*	Numune gelmemiş
28.02.2008	2817	97	5	Ünite normal seviyede kirlilik ve talaş içeriyor
06.03.2008	2870	150	5	Ünite normal seviyede kirlilik ve talaş içeriyor
	2920	200*	*	Numune gelmemiş
20.03.2008	2989	74	10	Talaşlarda yükselme Var Numune iste Kontrol
03.04.2008	3055	140	15	200 saate kadar devam .200 Saatte Bakım ve Yağ değişim
	3105	200*	*	Numune gelmemiş
	3155	50*	*	Numune gelmemiş

17.04.2008	3211	90	15	Talaşlar devam ediyor Numune iste
03.05.2008	3281	160	20	Alüminyum ve Bakır talaş Var, Kirlilik var Ünite yıkanacak
	3331	200*	*	Numune gelmemiş
20.05.2008	3394	92	20	Sıyırma piston talaşı veriyor Ünite yıkanacak
30.05.2008	3452	24	10	Talaş seviyesi düştü Fakat kontrollü devam et
05.06.2008	3518	90	20	Talaş seviyesi sınırdadır devam ediyor Dikkat Numune iste
	3568	150*	*	Numune gelmemiş
12.06.2008	3600	172	10	Talaşlar devam ediyor Kirlilik var Filtreleri kontrol et
	3650	200*	*	Numune gelmemiş
	3700	50*	*	Numune gelmemiş
21.06.2008	3746	110	15	İnce Karışık Talaş Veriyor Numune İste
10.07.2008	3806	170	20	Piston talaşı ve Burç talaşı var Ünite yıkanacak
	3856	200*	*	Numune gelmemiş
	3906	50*	*	Numune gelmemiş
17.07.2008	3942	102	*	Numune gelmemiş
	3992	150*	*	Numune gelmemiş
01.08.2008	4023	200*	*	Numune gelmemiş
	4073	50*	*	Numune gelmemiş
14.08.2008	4120	100*	*	Numune gelmemiş
28.08.2008	4190	150*	*	Blok patlatması sonucu Motor indirilmiştir.

**Sonuç:** Numuneler düzenli gelmediği için 4190 saatte motor blok patlatması sonucu hasarlanmıştır. Kestirimci bakımda kullanılan numune alma periyotlarına uyulmadığı için arıza önceden tespit edilememiş motorda büyük hasarlar (krank, motor bloğu, yatak, piston) meydana gelmiştir. (Şekil 5.10)



**Şekil 5.10** 488 nolu Komatsu kamyonunun motorunda oluşan hasarlar



Şekil 5.10 488 nolu Komatsu kamyonun motorunda oluşan hasarlar(devamı)

Tablo 5.10 HD785-1 Komatsu Kamyon Motoru Maliyet Tablosu.

KULLANILAN MALZEMELER LİSTESİ

Makine modeli : HD785-1  
 Motor Markası : CUMMINS  
 Motor Modeli : KT-38  
 Motor Seri No : 33108814  
 İŞ EMRİ : 10733

KULLANILACAK MALZEMENİN		MİKTARI	BİRİM FİYATI TL.	TOPLAM MALİYET TL.
NOSU	CİNSİ			
AR 12250	ANA YATAK	1 Tk.	955,00	955,00
3047390	KOL YATAK	24 Ad.	343,00	8.232,00
3631245	PİSTON	12 Ad.	416,30	4.995,60
3804571	SEGMAN TK.	12 Ad.	100,00	1.200,00
3007525	GÖMLEK	12 Ad.	86,00	1.032,00
3011076	GÖMLEK LASTİĞİ	12 Ad.	8,00	96,00
3014668	GÖMLEK LASTİĞİ	12 Ad.	11,50	138,00
3081489	GÖMLEK LASTİĞİ	12 Ad.	8,00	96,00
3801719	TAKIM CONTA ALT	1 Ad.	608,00	608,00
3801720	TAKIM CONTA ÜST	1 Ad.	1.370,00	1.370,00
3801731	KOMPRESÖR TAM.KİTİ	1 Ad.	323,00	323,00
229670	YAĞ FİLTRESİ	4 Ad.	13,00	52,00
299202	MAZOT FİLTRESİ	2 Ad.	10,00	20,00
3088393	EMME SUBAP	24 Ad.	22,00	528,00
3088391	EKSOZ SUBAP	24 Ad.	82,00	1.968,00
3202210	YOLLUK	48 Ad.	7,50	360,00
S3161066	SİLİNDİR BLOĞU	1 Ad.	77.000,00	77.000,00
3632225	BİYEL KOLU	2 Ad.	155,00	310,00
AR12388	YAĞ POMPASI	1 Ad.	2.582,00	2.582,00
3052254	PLANCIR BAREL	12 Ad.	100,00	1.200,00
3003993	ENJEKTÖR MEMESİ	12 Ad.	74,00	888,00
3630076	KRANK	1 Ad.	21.000,00	21.000,00
TOPLAM MALİYET				124.953,60 TL



### 5.1.6 289 Kapı Nolu Komatsu D355A-3 Dozer Motor

Motor Markası : Komatsu

Motor Tipi : S6D155-4

Gücü : 320 HP

Kullanılan Yağ : SAE15W-40

Kullanılan Yağ miktarı : 75 litre

Yakıt : Dizel

Silindir sayısı : 6

Tablo 5.11 Komatsu Dozer Motor Yağı İzleme Tablosu

TARİH	MOTOR ÇALIŞMA SAATİ	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ DEĞERİ	AÇIKLAMALAR
19.01.2008	85	79	10	Ünite normal seviyede kirlilik ve talaş içeriyor
26.01.2008	148	142	20	İnce karışık talaş veriyor Numune İste
	198	200	*	Numune gelmemiş
	250	50*	*	Numune gelmemiş
	300	100*	*	Numune gelmemiş
	350	150*	*	Numune gelmemiş
03.04.2008	405	191	20	Piston talaşı ve Burç talaşı var Ünite Yıkanacak
12.04.2008	464	44	20	Talaşlar devam ediyor, Numune İste
21.04.2008	515	95	20	Alüminyum ve Bakır talaşı var, Yağda kirlilik var, Ünite yıkanacak
30.04.2008	570	150	20	Ünite yıkanmadı, Numune geldi, Talaşlar devam ediyor, Yıkama Yap
	620	200*	*	Numune gelmemiş
	670	50*	*	Numune gelmemiş
04.06.2008	701	93	20	Talaşlarda yükselme var, Yağ değişimi, Yıkama yap, Numune iste

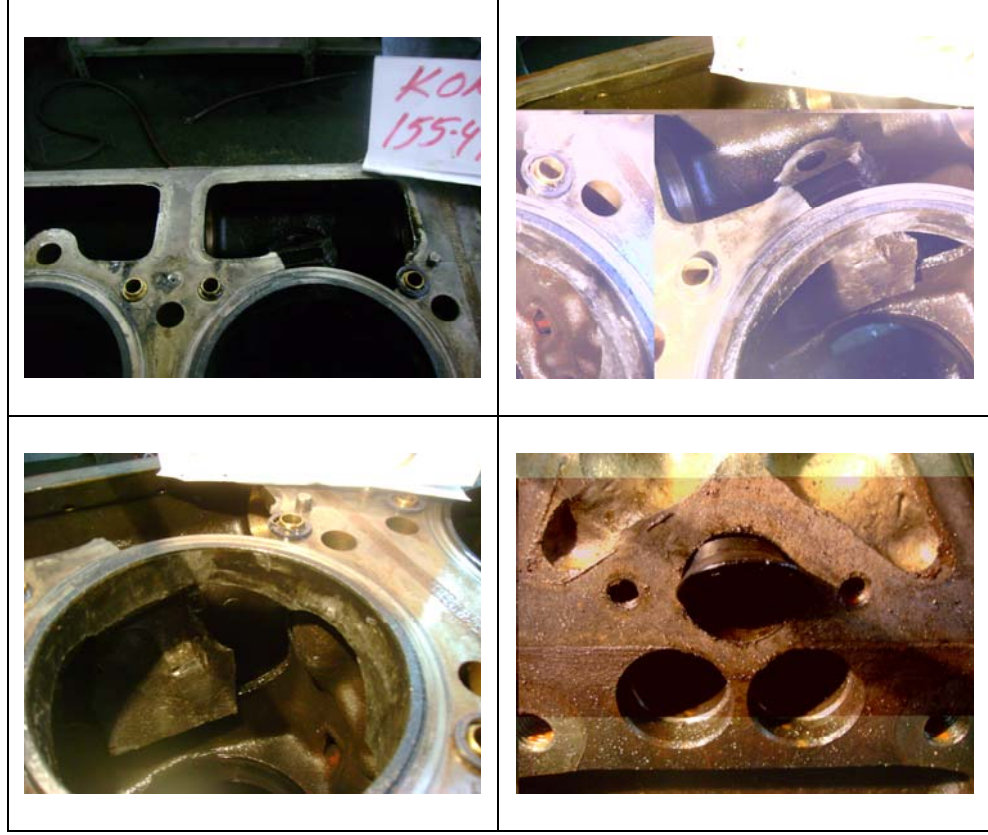


27.06.2008	760	152	*	Numune gelmemiş
15.07.2008	810	200*	*	Numune gelmemiş
09.09.2008	860	50*	*	Numune gelmemiş
26.09.2008	910	100*	*	Numune gelmemiş
24.10.2008	960	150*	*	Blok patlatması sonucu Motor indirilmiştir.

Sonuç: Numuneler düzenli gelmediği için 960 saatte motor blok patlatması sonucu hasarlanmıştır. Kestirimci bakımda kullanılan numune alma periyotlarına uyulmadığı için arıza önceden tespit edilememiş, motorda büyük hasar meydana gelmiştir.(Şekil 5.11)



Şekil 5.11 289 nolu Komatsu dozerin motorunda oluşan hasar



Şekil 5.11 289 nolu Komatsu dozerin motorunda oluşan hasar(Devamı)

Tablo 5.12 D355A-3 Komatsu Dozer Motor Maliyet Tablosu.

KULLANILACAK MALZEMENİN		MİKTARI	BİRİM FİYATI TL.	TOPLAM MALİYET TL.
NOSU	CİNSİ			
6127-21-8002	ANA YATAK S.T.D	1 Tk.	144,00	144,00
6127-31-3042	KOL YATAK	6 Ad.	20,00	120,00
6127-31-2050	PİSTON	6 Ad.	467,00	2.802,00
6127-31-2060	SEGMAN TK.	6 Tk.	64,00	384,00
6128-31-2215-1	GÖMLEK	6 Ad.	110,00	660,00
6127-31-1012	KRANK MİLİ	1 Ad.	12.548,00	12.548,00

6128-K1-0025	TAKIM CONTA	1 Tk.	423,00	423,00
6128-K2-1037	TAKIM CONTA	1 Tk.	548,00	548,00
6127-21-1490	EKSANTRİK YATAĞI	7 Ad.	12,00	84,00
6127-31-3101	BİYEL KOLU	1 Ad.	1.884,00	1.884,00
6610-51-5300	KOVA FİLTRE	1 Ad.	11,00	11,00
600-311-8291	YAKIT FİLTRE	2 Ad.	4,00	8,00
LF670	YAĞ FİLTRE	2 Ad.	13,00	26,00
6127-21-8051	KRANK GEZİNTİ AYI	1 Ad.	38,00	38,00
6128-SE-0010	SİLİNDİR BLOK KİTİ	1 Ad.	36.255,00	36.255,00
6127-41-1103	EKSANTRİK MİLİ	1 Ad.	2.225,00	2.225,00
<b>TOPLAM MALİYET</b>				<b>58.160,00 TL</b>

### **5.1.7 Makine Yağı ve Aşınmış Parça Analizinin Motorlarda Uygulanmasının Sonuçları**

E.L.İ Müessesesi'ndeki ağır iş makinelerinde standart motor yağı değişimi, Süperşarj SAE 15W-40 (API CF-4) yağ kullanıldığından 250 saat olarak kabul edilmiştir. Ancak bu değişim saati tüm analiz sonuçları uygun çıkan yağlar için geçerlidir. SAE 15W-40 yağın kullanılabilirlik sınırları şöyle özetlenebilir:

TBN : 9,5 ASTM D 2896

Viskozite (40 °C ) : 100,6 ASTM D 445 [22]

Eğer yağın özellikleri yukarıdaki sınırların dışında ise veya yağda su ve kirlilik varsa yağ kaç saatlik olursa olsun değiştirilir. Aşınma kriterine göre bakıldığında PQ (250 saatte) 20 değeri sınır kabul edilmektedir. Eğer PQ 20'den fazla ise numune optik mikroskopta kontrol edilir. Aşınmış parçacıkların kaynağı tespit edilmeye çalışılır [20].

Değerlendirmelerde esas teşkil eden bilgiler şunlardır;

- \* Motor yaşı (Revizyon sonrası çalışma saati)
- \* Bir önceki revizyona geliş sebebi ve yapılan işlemler
- \*Yağ çalışma saati
- \*Kamyonun haftalık çalışma performansı
- \* Bakım sırasında görülebilen eksiklikler
- \*Motora çalışması esnasında yapılan müdahaleler
- \*PQ trendi
- \*Varsa operatör şikayetleri

Eğer PQ değeri yağ çalışma saatine göre sınır değerinin üstünde ise, mikroskopta yapılan fiziksel değerlendirmeden sonra öncelikle makine üstünde performans testleri yapılır. (supap ayarı, enjektör ayarı, yakıt pompası, yağlama basıncı, hava emiş hattı, turbo, soğutma sistemi, karter tapası kontrolü vb.) Eğer büyük bir arıza başlangıcı görülmezse yapılması gerekli ayarlardan sonra motor yıkanarak işe verilir ve 50 saatlik numune alınır. Hala PQ değeri yükselme eğiliminde ise motorun yaşına göre ve aşınmış parçacıkların karakterine göre ya kısmen tamirat yada motor komple revizyon yapılır.

Analiz yönteminin E.L.İ.'de iş makineleri motorlarında uygulanması sonucu yağ değişim sürelerinde herhangi bir artış olmamıştır. Yağ içindeki aşınmış parçacıkların takibi ile motorlardaki arızalar hasar büyümeden tespit edildiği için motor çalışma saatlerinde önemli miktarda artış olmuş, özellikle motorları tamir etmek için kullanılan yedek parça ve işçilikte önemli düşüşler sağlanmıştır.

a- Aynı tip 2 adet 785-1 KOMATSU kamyonlarda kullanılan KT 38 motorların arızalarını gidermek için kullanılan yedek parçalar açısından karşılaştırılmış:

Kestirimci bakım uygulanan motorun tamiri için harcanan yedek parça tutarı 10.625 TL iken ( Tablo 5.8), Kestirimci bakım takibi uygulanmayan motor için harcanan yedek parça tutarı 124.953,6 TL'dir. (Tablo 5.10)

b- Aynı tip 2 adet 155A-1 ve 355A-3 KOMATSU dozerlerde kullanılan motorların arızalarını gidermek için kullanılan yedek parça açısından karşılaştırılmış;

Kestirimci bakım uygulanan motor tamir için harcanan yedek parça tutarı 1.280 TL iken (Tablo 5.6), Kestirimci bakım uygulanmayan motor için harcanan yedek parça 58.160 TL'dir.( Tablo 5.12).

## 5.2 Makine Yağı ve Aşınmış Parça Analizinin Hidrolik Sistemlerde Uygulamaları

### Örnek 1: 412 Komatsu Kamyon Hidrolik Sistemi

Kullandığı yağ : SAE10

Kullanılan yağ miktarı : 750 litre

Tablo 5.13 Komatsu Kamyon Hidrolik Yağ İzleme Tablosu

TARİH	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ DEĞERİ	AÇIKLAMALAR
23.02.2008	465	5	Filtre normal
08.04.2008	914	10	Filtre normal
06.06.2008	1472	10	Filtre normal
11.07.2008	1849	10	Filtre normal
23.07.2008	1921	10	Filtre normal
14.08.2008	2156	0	Filtre normal
15.10.2008	2636	5	Filtre normal
12.11.2008	77	5	Filtre normal

Sonuç:Makineden alınan numune neticesinde hidrolik yağları 1000 saatte değiştirilmesi önerisine rağmen hidrolik yağı 2636 saate kadar sorunsuz çalışmıştır.

### Örnek 2: 431 Komatsu Kamyon Hidrolik Sistemi

Kullandığı yağ : SAE10

Kullanılan yağ miktarı : 750 litre

Tablo 5.14 Komatsu Kamyon Fren Yağı İzleme Tablosu

TARİH	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ DEĞERİ	AÇIKLAMALAR
01.04.2008	1168	5	
06.05.2008	1385	5	
15.07.2008	2115	15	
25.08.2008	386	15	
17.10.2008	793	10	

Sonuç: Hidrolik yağ 2115 saate kadar sorunsuz çalışmıştır. Yağ değişimi verilmiş, hidrolik sistem normal çalışmaktadır.

### Örnek 3: 423 Komatsu Kamyon Hidrolik Sistemi

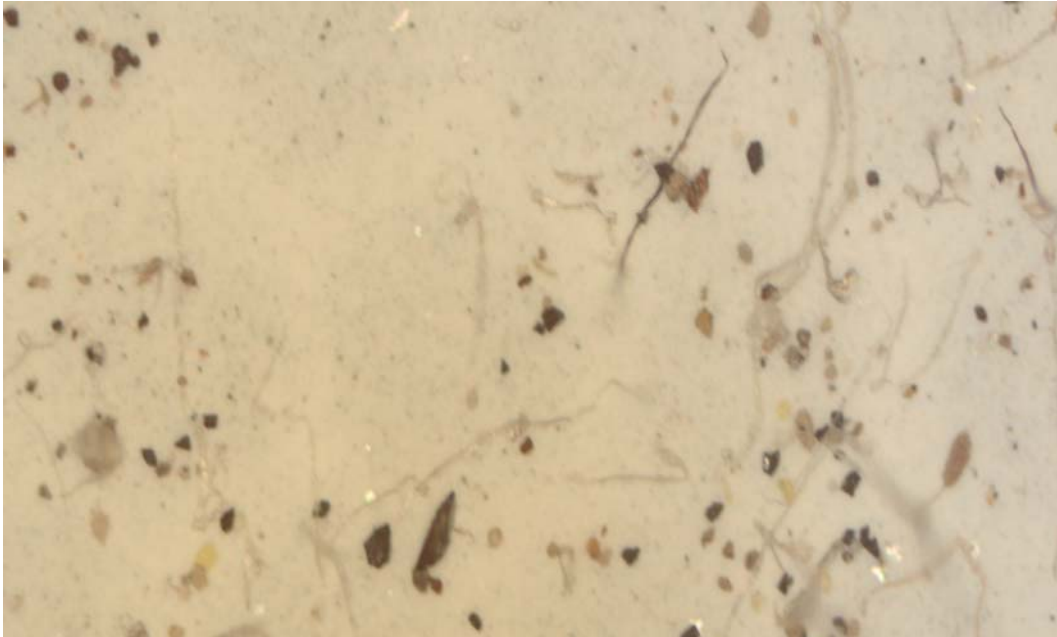
Kullandığı yağ : SAE10

Kullanılan yağ miktarı : 750 litre

Tablo 5.15 Komatsu Kamyon Hidrolik Yağı İzleme Tablosu

TARİH	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ DEĞERİ	AÇIKLAMALAR
25.01.2008	1076	5	Filtre Normal
03.05.2008	1385	5	Filtre Normal
14.06.2008	1724	5	Filtre Normal
11.07.2008	2020	45	Metal Talaşlar var Yağ bozuk Yağ değişimi
30.07.2008	52	10	Filtre Normal
16.09.2008	314	20	Filtre Normal
25.10.2008	507	10	Filtre Normal
18.11.2008	791	5	Filtre Normal

Sonuç:2020 saate kadar sorunsuz çalışmış 2020 saatte PQ 45 çıkmış pompa talaşları tespit edilmiş, pompa değişimi yapılmış hidrolik sistem normale dönmüştür.(Şekil5.12)



Şekil 5.12 Hidrolik yağ içerisindeki talaş parçaları görüntüleri.

### **5.2.1 Makine Yağı ve Aşınmış Parça Analizinin Hidrolik Sistemlerde Değerlendirilmesi**

E.L.İ Müessesesi ağır iş makinelerinde hidrolik sistem yağı olarak Süperşarj SAE 10W yağ kullanılmaktadır. Hidrolik sistemlerin genel karakteri itibariyle motor yağları gibi (fren yağları hariç) kimyasal reaksiyona maruz kalmadıklarından özelliklerini çok daha uzun süre koruyabilirler. Laboratuarda hidrolik yağların PQ kontrolü dışında, TBN ve viskozite kontrolü de yapılarak sonuçlar iki aşamada irdelenir. Genelde hidrolik yağları 1000 saatte değiştirilmekteyken laboratuvar kontrolünde yağ değişimlerinin üst sınırı 2000 saate çekilmiştir. 2007 yılı itibariyle hidrolik sistemlerde 436441 kg hidrolik yağ kullanılmıştır. Yağ çalışma saati 1000 saatten 2000 saate çekilmesiyle  $436441 \text{ kg} \times 1,84 \text{ TL/kg} = 803051,44 \text{ TL}$  kar elde edilmiştir. Yağ numuneleri 900, 1400 ve 1900 saatte bir alınır. Analiz sonuçlarına göre PQ yüksek olsa bile eğer yağda kirlenme (pislik ve su ) yok ise, yağın TBN ve Viskozitesi de sınırlar dahilinde ise yağ filtre edilir. İşletmemizde bu amaca yönelik olarak 1 µm'ye kadar temizleme hassasiyetli 3 adet filtrasyon cihazı kullanılmaktadır. Hidrolik yağları kapalı devre sistemi ile filtre edilerek direkt depoya geri beslemekte ve yağı doldurma boşaltma problemi olmamaktadır. Filtreleme işlemi eğer yağ kullanılabilir durumda ise her numuneden sonra tekrarlanmaktadır.

PQ değeri, yüksek çıkmış numuneler sonrası yağ filtre edilip makine işe verildiğinde aşınma sonucu arıza riskine karşı pompaların performansları kontrol edilir. Arıza başlangıcı gözükürse sistem komple etkilenmeden pompa değiştirilir.

Analiz sonuçları, istatistiksel olarak değerlendirildiğinde Komatsu HD785-1 Kamyonların damper ve direksiyon yağlarından alınan numunelerin PQ değeri aşağıdaki gibi ölçülmüştür:  $PQ > 20-30 \%$  18,  $PQ < 20 \%$  82 olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla Özellikle damper direksiyon yağlarında ana kriter olarak yağın teknik özelliklerinin baz alınması ve yağ değişimlerinin buna göre yapılması hem ekonomik yönden hem de arıza kontrolü açısından uygun olacaktır. Laboratuvar bu mantıktan hareket ederek hidrolik yağların değişimlerini kontrol altına almıştır.



Fren yağlarında ise çalışma şartları ve yüksek oranlı fren kullanımından dolayı aşırı kirlenme ve bozulma gözlenmiştir. Aşırı disk sıyırmasından dolayı kısa sürede yağ özelliğini yitirmekte, bu da arızaları arttırmaktadır.

### 5.3 Makine Yağı ve Aşınmış Parça Analizinin Şanzımanlarda Uygulamaları



Şekil 5.13 HD785-1 Şanzıman

#### 5.3.1 419 Komatsu Kamyon Şanzımanı

Kullandığı Yağ : SAE30

Yağ Miktarı : 130 Litre

Şanzıman özellikleri : 6 ileri, 1 geri otomatik şanzıman.

Tablo 5.16 Komatsu Kamyon Şanzıman Yağı İzleme Tablosu

TARİH	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ	AÇIKLAMALAR
25.04.2008	425	0	Filtre Normal
30.05.2008	752	10	Filtre Normal
25.06.2008	1016	35	Yağ Özelliğini Kaybetmiş ve Aşınma Var Sisteme Su Karışmış Yağ değişimi
01.09.2008	338	20	Filtre Normal
15.09.2008	510	20	Filtre Normal



Sonuç: Yağ 1016 saate iken PQ 35 tespit edilmiş, makine üzerindeki kontrol sonucu yağa su karıştığı tespit edilmiş, yağ soğutucusunun delik olduğu tespit edilmiş, yağ soğutucusu değiştirilmiş, şanzıman normale dönmüştür.

### 5.3.2 Makine Yağı ve Aşınmış Parça Analizinin Şanzımanlarda Değerlendirilmesi

İş makinelerine ait şanzımanlarda yağ numuneleri her 900 saatte bir alınmaktadır. Yağın TBN ve viskozite değerlerine bakılarak eğer yağda bozulma varsa nedenleri araştırılmakta (Örneğin: yağa su karışması), yağ değişimi yapıp 50 saat sonra numune alınıp incelenmektedir.

PQ değeri de yükselme eğiliminde ise aşınmanın nedenleri araştırılmakta, (Örneğin: Kavrama disk aşınması, pompa aşınması, dişli aşınması vb..) öncelikle yağ değişimi yapılmakta, 50 saat sonra numune alınıp trend incelenmektedir. Aşınma miktarı artmaya devam ederse şanzıman üzerinde pompa ve valf ayarları ve manyetik filtreler kontrol edilmekte gerekirse şanzıman sökülüp tamir edilmektedir.

### 5.4 Makine Yağı ve Aşınmış Parça Analizinin Diferansiyelde Uygulanması



Şekil 5.14 HD785-1 diferansiyel resmi

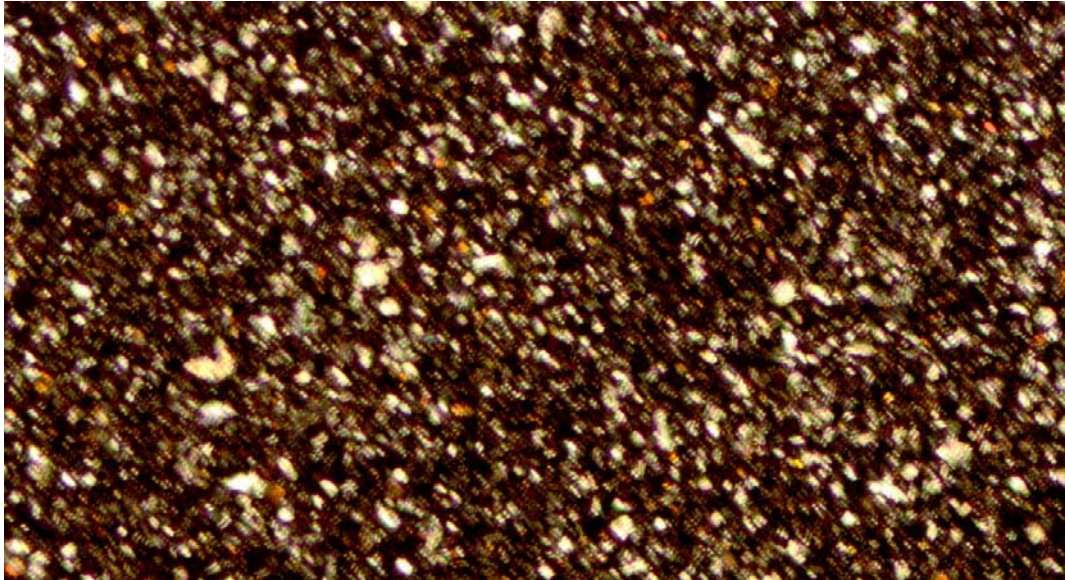
### 5.4.1 449 Komatsu Kamyon Diferansiyeli

Kullandığı yağ : SAE 85W-140

Yağ miktarı : 280 litre.

Tablo 5.17 Komatsu Kamyon Diferansiyel Yağ İzleme Tablosu

TARİH	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ DEĞERİ	AÇIKLAMALAR
25.01.2008	377	10	
25.03.2008	138	150	
03.04.2008	223	120	
09.04.2008	285	120	
24.04.2008	450	200	
02.05.2008	556	210	
26.05.2008	858	180	
17.06.2008	1110	500	Burç Talaşı Revizyon



Şekil 5.15 Diferansiyel yağ içerisindeki talaş parçaları görüntüleri.

**Sonuç:** Yağ 1110 saate iken PQ 500 tespit edilmiş mikroskopta burç yatak parçası tespit edilmiş, diferansiyel sökülerek revizyon yapılmıştır.(Şekil 5.15) Revizyonda sadece 4 adet burç değiştirilerek diferansiyeldeki büyük hasar önlenmiştir. 4 Adet burç fiyatı 800 TL iken eğer zamanında müdahale edilmeyip diferansiyeldeki dişliler zarar görseydi vereceği zarar yaklaşık 50.000 TL olacaktı.

#### 5.4.2 423 Komatsu Kamyon Diferansiyeli

Kullandığı yağ : SAE 85W-140

Yağ miktarı : 280 litre.

Tablo 5.18 Komatsu Kamyon Diferansiyeli Yağı İzleme Tablosu

TARİH	ÇALIŞMA SAATİ	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ DEĞERİ	AÇIKLAMALAR
08.01.2008		489	605	Tozumsu Burç Aşınması Yağ Değişimi
27.02.2008		304	465	İnce Burç Aşınması Yağ Değişimi
03.05.2008	72	72	240	200 H Numune
14.05.2008	192	192	280	300 H Numune
26.05.2008	258	258	350	400 H Numune
14.06.2008	411	411	185	600 H Numune
11.07.2008	707	707	245	900 H Numune
30.07.2008	901	901	170	Çok Aşırı Kirlilik Yağ Değişimi
16.09.2008	1163	128	100	300 H Numune
15.10.2008	1356	321	150	600 H Numune
18.11.2008	1640	605	160	900 H Numune

**Sonuç:** 489 saatte PQ 605 tespit edilmiş yatak burcu aşınması tespit edilmiş yağ değişimi yapılarak diferansiyel normale dönmüştür.

### 5.4.3 117 992 CAT Yükleyici Diferansiyeli

Kullandığı Yağ : SAE 40

Kullanılan Yağ Miktarı : 450 litre

Tablo 5.19 117 CAT.Yükleyicinin Diferansiyel Yağı İzleme Tablosu

TARİH	ÜNİTE	YAĞ ÇALIŞMA SAATİ	PQ DEĞERİ	AÇIKLAMALAR
24.01.2008	ÖN DİF.	8367	195	8700 h numune
	ARKA DİF.	8367	120	8700 h numune
28.02.2008	ÖN DİF.	8814	225	9100 h numune
	ARKA DİF.	8814	120	9100 h numune
17.04.2008	ÖN DİF.	9203	280	9500 h numune
	ARKA DİF.	9203	160	9500 h numune
22.05.2008	ÖN DİF.	9575	210	9800 h numune
	ARKA DİF.	9575	160	9800 h numune
26.06.2008	ÖN DİF.	9825	210	10200 h numune
	ARKA DİF.	9825	160	10200 h numune
14.08.2008	ÖN DİF.	10218	210	10600 h numune
	ARKA DİF.	10218	150	10600 h numune
17.09.2008	ÖN DİF.	10619	295	10900 h numune
	ARKA DİF.	10619	225	10900 h numune
17.10.2008	ÖN DİF.	10982	190	11200 h numune
	ARKA DİF.	10982	55	11200 h numune
13.11.2008	ÖN DİF.	11242	180	11600 h numune
	ARKA DİF.	11242	60	11600 h numune

**Sonuç:**Yağ üretici firmasının yağ için tavsiye ettiği çalışma süresi 1000 s iken; diferansiyel yağ çalışma saati 11242 s olmasına rağmen diferansiyel sorunsuz çalışmaktadır.

### 5.4.4 Makine Yağı ve Aşınmış Parçacık Analiz Yönteminin Diferansiyelde Değerlendirilmesi

Diferansiyel ve cer yağları da kapalı sistem olduklarından dışarıdan gelen bir kirlenme olmadığı sürece özelliklerini kaybetmezler. Dolayısıyla TBN ve viskozite değerleri standart kaldığı sürece kullanılabilirler. Burada ana faktör PQ değeri olmaktadır. 900 saatte bir numune alınmakta PQ sınırların üstünde ise yağ değiştirilmekte ve 50 saatlik numunelerle trend belirlenmektedir. PQ değerinde artma devam ederse aşınma şekline göre (burç veya dişli aşınması) diferansiyel açılıp hasar büyümeden parçalar değiştirilmektedir.

## 6 SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Aşınmış parçacıklar ve yağ analizi yöntemi Soma Ege Linyitleri İşletmesi Müessesesi'ndeki iş makinelerinin motor, hidrolik, şanzıman ve diferansiyel sistemlerine uygulanmıştır. Bu işletmedeki her bir uygulamanın sonuçları ayrıntılı olarak incelenmiştir.

İşletmeye ait altı adet iş makinesi motorlarına bu yöntemin uygulanması sonucunda, aşınmanın izlenmesi ile arızalar önceden tespit edilerek motorlara müdahale edilmiş ve gerekli parça değişimleri ile büyük hasarların önüne geçilmiştir. Bu yöntemi kullanarak hasar oluşmadan parça değişimi gerçekleştirildiği için 10-40 kat daha az maliyetli bir durum oluşmuştur. (Tablo 5.8-Tablo 5.12). Böylece motorların tamir, parça ve işçilikte büyük kazançlar elde edilmiş ve motor performansları artmıştır. Yağ değişim sürelerinde ise herhangi bir artış sağlanmamıştır.

Hidrolik sistemde uygulanması ile arızaların önceden tespitinin yanında en önemli kazanç yağ değişim periyotlarının uzamasıdır (Tablo 5.13-Tablo 5.15). Yağ değişim süresinin en az iki kat artışı ile yıllık toplam kullanımda en az 800 000 TL gibi bir kazanç elde edilmiştir.

Bu yöntemin şanzımanlara uygulanması ile arızalar önceden tespit edilerek, (Tablo 5.16) çalışma saatlerinde ve büyük hasarlı arızaların önlenmesinde gelişmeler sağlanmıştır.

Diferansiyellerde bu yöntemin uygulanması ile yağ değişim süreleri artmış (Tablo 5.17- Tablo 5.19), ayrıca arızalar önceden tespit edilerek yedek parça ve işçilik giderlerinde önemli azalmalar olmuştur. İş makinelerinin diferansiyellerinin arıza yapmadan ve duruş olmadan çalışma saatlerinde artış sağlanmıştır.

Bu analiz yönteminin tamir, bakım ve revizyon sisteminde uygulanması ve yapılan düzenlemelerle Soma ELİ deki makine performansı, işçilik ve malzeme

sarfiyatında belirgin iyileşmeler sağlanmıştır. Programlı revizyon çalışmaları ile makine ekonomik ömrü uzatılmış, makinelerde oluşabilecek arızalar önceden belirlendiğinden büyük hasarlar önlenmiştir. İşletmeye ait bakımın yağ ve aşınmış parçacık analiz yöntemiyle desteklenmesiyle tamir bakım süreleri kısalmış ve makine performansı artırılmıştır. Bu analizler göstermiştir ki, parçacık miktarı (PQ), mikroskopla boyut, şekil ve renk analizi, TBN ölçümü ve viskozite ölçümünden oluşan kombinasyon sayesinde, bakım organizasyonuna uygun olacak şekilde düzenlendiğinde en az arıza ile en fazla çalışma süresi gerçekleştirilmiştir.

Düzenli aralıklarla alınan yağ numunelerindeki parçacık miktarının belirlenmesi ve parçacıkların mikroskopik incelemesiyle makine aksamalarında oluşabilecek arızalar tespit edilir ve TBN ve viskozite ile yağ performansı ve sarfiyatı da kontrol altında tutulabilir. Ancak unutulmamalıdır ki tek başına hiçbir bakım tekniği tamamen arızaları önleyecek ve performansı arttıracak kapasitede değildir.

Ayrıca makineyi kullanan operatörün eğitiminin önemi de ihmal edilmeden yağ ve aşınmış parçacık analiz sonuçlarının ışığında kestirimci bakım ve revizyon çalışmaları sürdürülmeli ve gerekli yedek parça, arıza oranlarına göre stoklanmalıdır. ELİ Müessesesinde oluşturulan tamir, bakım ve revizyon çalışmalarının koordineli kullanımını kapsayan sistem sayesinde istenen amaca ulaşılarak makine performansları yukarı çekilmiştir.

Genel sonuç olarak; Soma ELİ bünyesinde iş makineleri çalışma performansları değerlendirildiğinde, yağ analizi yöntemi uygulanmadan 1991 yılında ortalama çalışma saati 2810 saat iken, 1992 yılında yağ analizi yapılarak uygulanan kestirimci bakıma geçildiğinde 3276 saate, en son 2008 yılında yaklaşık 3500 saate ulaşmıştır. Böylece makinelerin yıllık çalışma saatinde %25 civarında artış sağlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1]. M. Husnawan, H.H. Masjuki, T.M.I. Mahlia, M.G. Saifullah, Applied Thermal analysis of cylinder head carbon deposits from single cylinder, diesel engine fueled by palm oil–diesel fuel emulsions, *Energy* 86 (2009) 2107–2113
- [2]. A.T. Prata, J.R. Barbosa Jr., Role of the thermodynamics, heat transfer and fluid, mechanics of lubricant oil in hermetic reciprocating compressors, *Heat Transfer Engineering* 30 (7) (2009) 533–548.
- [3] Kilbane, P., Look at Your Motors' Lubricant, *EC&M Electrical Construction and Maintenance*, Vol. 97, Issue 9, p. 4, 1998.
- [4] Dalkılıç, S., Tanatmış, A.A., Pistonlu Uçak Motorlarında Yağlama Sistemleri ve Yağ Analiz Programlarının Uygulanması, TMMOB Makine Müh. Odası Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, 159-174, Denizli, 2003.
- [5]. G.P. Stachowiak, G. W. Stachowiak, P. Podsiadlo, Automated classification of wear particles based on their surface texture and shape features, *Tribology International*, 41, (1), 2008, 34-43.
- [6]. Tanatmış, A. A., Uçak Bakımında Yağ Analiz Yöntemleri, Kayseri VI. Havacılık Sempozyumu, Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık Y. O., TOBB-ETÜ Mühendislik Fak., Kayseri, 577-581, 2006.
- [7]. S. George, S. Balla, M. Gautam, Effect of diesel soot contaminated oil on engine wear, *Wear*, 262 (9-10) (2007), 1113-1122.
- [8]. SHEFFER C, GİRDHAR P, Çeviren: KES Ataman, Ekipmanlarda Pratik Titreşim Analizi ve Kestirimci Bakım 2008
- [9] BEDFORD. S.A.(1986), "Wear Debris Analysis". B.Sc. Thesis, Dept. Of Mining Eng. The University of Nottingham, Marck. 142 p.
- [10] ADAMO.R. and CORSA.S. (1985), "The Application of Ferrography in Monitoring Öotor Oils During Engine Development" Second Int. Symposium on the Performance Evaluation of Automatic Fuels and Lubricants, C.E.C. June 5-7 Wolfsburg. Pp. 31-56
- [11] ANDERSON.D.P.(1981), "Condition Monitoring by Wear Debris Analysis Wring ICP Spectrometry" Proc. Of an Int.Conf. on Condition Monitoring Ed. M.H.Jones, March 31-Apr.3. Swansea. pp. 222-233
- [12] BOGUE.M.P.(1981), "An Improved Magnetic Plug for the Continuous Monitoring of Wear Debris" Proc. Of an Int.Conf. on condition Monitoring. Ed.M.H.Jones. Apr 10-13, Swansea, pp. 628-636

- [13] BOYCE. M.P.(1981), "ON-LİNE Condition Monitoring of Turbomachinery", Proc. Of an Int.Conf. on Condition Monitoring, Ed.M.H.Jones, March 31-Apr.3. Swensea. Pp. 90-111
- [14] CLIFTON.R.H. (1974), "Principles of Planned Maintenance", EAP Ltd., London, pp.9-15
- [15] CORDER A.S (1976), "Maintenance Management Tecnigues", Me Graw Hill, London, p264
- [16] CUTTS A. And JARVISE E. (1987), "Improving Maintenance and Reliability by Condition Monitoring", Mining Technology, Vol.69, No 800, June pp.163-170
- [17] Elmacı, B., Aşınma Atlası
- [18] Elmacı, B., (1992), "Makina Yağı ve Aşınmış Parçacık Analiz Yöntemleri ile Makine Arızalarının Önceden Belirlenmesi", I.T.Ü. Maden Fak, Meslek İçi Eğitim Semineri, Kasım 25-27, İstanbul, 25s,
- [19] Ege Linyitleri İşletmesi Müessesesi Performans Kitapçığı, 2008.