

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YAĞ ANALİZ
YÖNTEMİYLE YAPILAN KESTİRİMCİ BAKIMIN
ARAŞTIRILMASI**

Mehmet Şah SARAÇ

Yüksek Lisans Tezi
Anabilim Dalı: Otomotiv Mühendisliği
Danışman: Prof. Dr. Hanbey HAZAR

OCAK-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YAĞ ANALİZ YÖNTEMİYLE YAPILAN
KESTİRİMCİ BAKIMIN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Şah SARAÇ

132136101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Kasım 2018
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Aralık 2018

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hanbey HAZAR (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cengiz ÖNER (F.Ü)
Dr. Öğr. Üyesi Emine ŞAP (B.Ü)



ARALIK-2018

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyen Otomotiv Mühendisliği Bölümü Bölüm Başkan Yardımcısı Öğretim Üyesi danışman hocam Prof. Dr. Hanbey HAZAR' a teşekkürü bir borç bilirim. Tezime proje kapsamında destekte bulunan FÜBAP birimine teşekkür ederim. Atatürk Üniversitesi DAYTAM birimine ve analizlerimde bana yardımcı olan Öğretim Görevlisi Dr. Hülya TÜRK' e teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında benden yardımını esirgemeyen Mahmut Nedim TANSU' ya teşekkür ederim.

Benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen kıymetli aileme teşekkür ederim.

Mehmet Şah SARAÇ
ELAZIĞ-2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XIII
SEMBOLLER LİSTESİ	XIV
1. GİRİŞ.....	1
2. BAKIMIN AMACI VE YÖNTEMLERİ	6
2.1. Bakım Sisteminin Amacı	6
2.2. Bakım Yöntemleri	6
2.2.1. Plansız (Düzeltilici) Bakım (CM: Corrective Maintenance).....	6
2.2.2. Planlı (Önleyici) Bakım (Preventive Maintenance)	7
2.2.3. Koruyucu Bakım	7
2.2.4. Kestirimci Bakım ve Aşamaları	9
2.2.4.1. Ölçme ve Kontrol Aşaması	10
2.2.4.2. Analiz ve Değerlendirme Aşaması.....	10
2.2.4.3. Bakım Planlama Aşaması.....	11
2.2.4.4. Bakım-Onarım Aşaması	11
3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	12
3.1. Literatürde Yer Alan Kestirimci Bakım Uygulamaları.....	12
3.2. Kestirimci Bakım Uygulamaları Hakkında Genel Bilgiler	26
3.2.1. Titreşim Analizi.....	27
3.2.2. Termal Kamera Analizi	30
4. YAĞLAMA.....	35
4.1. Yağlayıcı	35
4.2. Yağlamanın Amacı.....	35
4.3. Yağlayıcılarda Kullanılan Katkı Maddeleri	37
4.3.1. Deterjanlar ve Dağıtıcılar	38
4.3.2. Antioksidanlar	39

4.3.3.	Anti-aşınma Katkıları	39
4.3.4.	Viskozite İndeksi İyileştiricileri	39
4.3.5.	Akma Noktasını Düşürücüler	39
4.3.6.	Köpüklenmeyi Önleyiciler	40
4.4.	Yağlama Yağlarının Eskimesi ve Kullanılmış Yağ Analizleri	40
4.4.1.	Yağlayıcılarda Eskime	40
4.4.1.1.	Oksidasyon	40
4.4.1.2.	Dış Etken Kaynaklı Kirlenme	42
5.	YAĞLAYICI ANALİZLERİ	44
5.1.	Viskozite.....	44
5.2.	Viskozite İndeksi (VI).....	46
5.3.	Parlama Noktası	47
5.4.	TBN (Toplam Baz Sayısı) ve TAN (Toplam Asit Sayısı)	48
5.5.	Aşınma Ürünleri	49
5.5.1.	Demir (Fe)	50
5.5.2.	Alüminyum (Al)	51
5.5.3.	Krom (Cr)	51
5.5.4.	Bakır (Cu).....	51
5.5.5.	Silisyum (Si).....	51
5.5.6.	Nikel (Ni)	52
5.5.7.	Kurşun (Pb)	52
5.6.	ICP Yöntemi.....	52
6.	GENEL MOTOR YAPISINI OLUŞTURAN ELEMANLAR	54
6.1.	Silindir Kapağı	54
6.2.	Silindir Bloğu	55
6.3.	Silindir Gömlekleri.....	57
6.3.1.	Kuru Gömlekler.....	57
6.3.2.	Yaş Gömlekler.....	58
6.4.	Motor Yatakları	58
6.5.	Karter.....	59
6.6.	Pistonlar.....	60
6.7.	Segmanlar	62
6.8.	Piston Pimleri	64

6.9.	Biyel Kolu	65
6.10.	Krank Mili	65
6.11.	Volan	68
6.12.	Supaplar.....	69
6.13.	Kam Mili	71
7.	UYGULAMA ÇALIŞMALARI	73
7.1.	Analiz Süreci ve Uygulama.....	73
7.2.	Spektrometrik Metal Analiz Sonuçları.....	74
7.3.	Aşınma Elementleri Limit Değerleri	79
7.4.	Yağlayıcı Seyir Grafikleri	80
7.4.1.	Viskozite 100°C Durum Grafiği	80
7.4.2.	Viskozite 40°C Durum Grafiği	81
7.4.3.	Viskozite İndeksi Durum Grafiği.....	81
7.4.4.	Su Mevcudiyeti Durum Grafiği.....	84
7.4.5.	TBN Durum Grafiği	85
7.5.	Element Seyir Grafikleri	86
7.5.1.	B Elementi Durum Grafiği.....	86
7.5.2.	Na Elementi Durum Grafiği.....	86
7.5.3.	Mg Elementi Durum Grafiği	88
7.5.4.	Al Elementi Durum Grafiği.....	89
7.5.5.	Si Elementi Durum Grafiği	89
7.5.6.	P Elementi Durum Grafiği	91
7.5.7.	Ca Elementi Durum Grafiği	92
7.5.8.	Ti Elementi Durum Grafiği	93
7.5.9.	Cr Elementi Durum Grafiği.....	94
7.5.10.	Mn Elementi Durum Grafiği	94
7.5.11.	Fe Elementi Durum Grafiği.....	95
7.5.12.	Ni Elementi Durum Grafiği.....	95
7.5.13.	Cu Elementi Durum Grafiği	96
7.5.14.	Zn Elementi Durum Grafiği	97
7.5.15.	Sn Elementi Durum Grafiği	97
7.5.16.	Pb Elementi Durum Grafiği	98
8.	SONUÇLAR	100
	KAYNAKLAR.....	102
	ÖZGEÇMİŞ	110

ÖZET

Kestirimci bakım tekniği, makine parçalarının arızalanmadan önce çeşitli uyarılar vermesi esasına dayanmaktadır. Kestirimci bakım ile maliyet tasarrufu sağlanması, zamana dayalı önleyici bakımdan veya alışılmış bakımlardan daha yararlıdır. Çünkü sadece gerektiğinde yapılır. Titreşim analizleri, yağ analizleri, termal kamera analizleri ve ekipmana özgü yapılabilecek tahribatsız analizler, ekipmanın durumunu değerlendirmek için kestirimci bakım ile ulaşılabilecek önemli verilerdir.

Yağ analizlerinin uygulaması ucuz, çabuk ve kolay olduğu gibi, aynı zamanda çok önemli tasarruf sağlayabilmektedir. Yağ analizi, tıpkı bir kan tahlili gibi, makine ve motorların içinde neler olduğunu görmenin en hızlı, en kesin ve en güvenilir yoludur. Aslında temiz görünen bir yağda bile aşınmaya sebep olabilecek binlerce parçacık bulunabilmektedir. Bu parçacıklar, aşınmayı hızlandırır, sistem verimliliğini düşürüp, ünitenin performansını azaltabilmektedir.

Bu çalışmada öncelikle deney motorundan belli periyotlarla yağ numuneleri alınacak ve laboratuvarında incelenecektir. Yağ ile çalışan her sistemde, normal çalışma sonucu aşınma elementleri meydana gelmektedir. Aşınma elementleri analizi ile ünite arızalanmadan önce problem bulunmuş olur. Aşınma elementleri analizi ile çok küçük parçacıklar tespit edilebilecektir. Yağ analizlerinde bazı elementlerin varlığı ve kombinasyonu değerlendirilecektir. Bunlar; bakır (Cu), demir (Fe), krom (Cr), kurşun (Pb), alüminyum (Al), silisyum (Si) ve sodyum (Na) gibi elementler olacaktır. Yağ numunelerinin düzenli aralıklarla alınması gerekmektedir. Bu yüzden, yağ numuneleri dizel deney motorundan belirlenen bir yöntem ve periyotta alınacaktır. Numunelerde aşınmış parçacık analizi, su miktarı, viskozite, yoğunluk gibi değerler incelenecektir. Analiz sonuçlarına göre motor parçalarındaki değişiklikler belirlenecek ve deney motoru hakkında gerekli yorumlar yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kestirimci Bakım, Yağ Analizi, Aşınma

SUMMARY

Investigation of Predictive Maintenance by Oil Analysis Method in Internal Combustion Engines

Predictive maintenance technique is dependend on the fact that most machine components will give some type of warning before machine parts fail. Providing cost savings with predictive maintenance is more useful than time-based preventive maintenance or conventional maintenance because it is done only when necessary. To evalaute equipment condition, predictive maintenance utilizes nondestructive testing technologies such as vibration analysis, oil analysis, thermal camera analysis and other specific online tests.

The application of oil analysis is cheap, quick and easy, and at the same time it can save a lot of money. Oil analysis is the fastest, most accurate, and most reliable way to see what is in a machine and an engine, just like a blood test. In fact, even in an apparently clean oil, there are thousands of particles that can cause wear. These particles accelerate wear, reduce system efficiency, and reduce the performance of the unit.

In this study, firstly oil samples will be taken from the test motor at certain periods and will be examined in the laboratory. In every system that works with oil, the wear elements come into play with normal working. With the analysis of wear elements, the problem is found before the unit fails. Very small particles can be detected by analysis of wear elements. The presence and combination of some elements in oil analysis will be evaluated. These elements will be such as copper (Cu), iron (Fe), chromium (Cr), lead (Pb), aluminum (Al), silicon (Si) and sodium (Na). Oil samples must be taken at regular intervals. Therefore, the oil samples will be taken in a period and a method determined from the diesel test motor. In the samples, values such as worn particle analysis, water quantity, viscosity, density will be examined. According to the analysis results, the changes in the engine parts will be determined and required comments will be made about the test engine.

Keywords: Predictive Maintenance, Oil Analysis, Wear

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Bir buhar sisteminde ısı kayıpları, buhar borusu çatısının termal görüntüsü, ıslak zeminler ve zemindeki sızıntı.	23
Şekil 3.2. Bir elektrik dağıtım panosunun termal kamera görüntüsü.....	24
Şekil 3.3. Bir çatı zarında oluşan nemin gerçek ve termal kamera ile çekilmiş görüntüsü.	25
Şekil 3.4. Titreşim analizinde uygulamanın yapıldığı yerler	28
Şekil 3.5. Titreşim analizinde kullanılabilecek bir makinede parça sınıflandırılması	29
Şekil 3.6. Titreşim analiz sonucu alınan titreşim genliği-frekans durumları.	29
Şekil 3.7. Bazı elektriksel sistemlerin örnek termal kamera görüntüleri.	31
Şekil 3.8. Bazı mekanik sistemlerin örnek termal kamera görüntüleri.	32
Şekil 3.9. Freze işlemi sırasında kaydedilen sıcaklık noktaları.....	33
Şekil 5.1. Numunelerde element analizlerinin yapılmasında kullanılan Agilent 7800 ICP-MS cihazı.	53
Şekil 6.1. Silindir bloğu (motor bloğu)	56
Şekil 6.2. Silindir bloğu üzerinde bulunan çelik tapalar	56
Şekil 6.3. Kuru gömlek çeşitleri.....	57
Şekil 6.4. Yaş gömlek ve çevresinde bulunan soğutma sıvısı kanalları.....	58
Şekil 6.5. Yatak elemanı ve kısımları	59
Şekil 6.6. Karterin yapısı.....	60
Şekil 6.7. Otomotiv motorlarında kullanılan alüminyum alaşımlı bir piston.....	62
Şekil 6.8. İçten yanmalı motorlarda kullanılan segman çeşitleri	63
Şekil 6.9. Piston pimi ve biyel kolunun görüntüsü	64
Şekil 6.10. Piston-Biyel mekanizmasının montaj resmi.....	65
Şekil 6.11. Krank mili kısımlarının görünümü.....	66
Şekil 6.12. İçten yanmalı bir motora ait krank mili görüntüsü.....	67
Şekil 6.13. Volan ve volan dişlisinin birlikte görünümü.....	68
Şekil 6.14. Supap elemanının genel yapısı.....	69
Şekil 6.15. İçten yanmalı bir motora ait kam millerinin görüntüsü	71
Şekil 7.1. Spektral analiz yöntemiyle kimyasal metal analizlerinin yapıldığı spektrometre analiz cihazı.....	74

Şekil 7.2. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Viskozite 100 °C değerleri	80
Şekil 7.3. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Viskozite 40 °C değerleri	81
Şekil 7.4. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Viskozite İndeksi değerleri	81
Şekil 7.5. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen su değerleri.....	83
Şekil 7.6. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen TBN değerleri	85
Şekil 7.7. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen B elementi değişim grafiği	86
Şekil 7.8. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Na elementi değişim grafiği	87
Şekil 7.9. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Mg elementi değişim grafiği	88
Şekil 7.10. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Al elementi değişim grafiği	89
Şekil 7.11. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Si elementi değişim grafiği	89
Şekil 7.12. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen P elementi değişim grafiği	91
Şekil 7.13. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Ca elementi değişim grafiği	92
Şekil 7.14. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Ti elementi değişim grafiği	93
Şekil 7.15. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Cr elementi değişim grafiği	94
Şekil 7.16. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Mn elementi değişim grafiği	94
Şekil 7.17. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Fe elementi değişim grafiği	95
Şekil 7.18. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Ni elementi değişim grafiği	96

Şekil 7.19. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Cu elementi değişim grafiği	96
Şekil 7.20. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Zn elementi değişim grafiği	97
Şekil 7.21. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Sn elementi değişim grafiği	98
Şekil 7.22. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Pb elementi değişim grafiği	98



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1. Yağlama yağlarında spektral analiz yöntemiyle tespit edilebilen bazı elementler	38
Tablo 5.1. Seviye ve aralıklarına göre viskozite indeks tablosu.....	47
Tablo 5.2. Yağ analizlerinde tespit edilen bazı elementler ve sembolleri	50
Tablo 7.1. Krank mili numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları	75
Tablo 7.2. Kam mili numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları	75
Tablo 7.3. Silindir gömleği numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları	75
Tablo 7.4. Egzoz supap tablası numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları	76
Tablo 7.5. Egzoz supap gövdesi numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları	76
Tablo 7.6. Birinci kompresyon segmanı numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları.....	76
Tablo 7.7. Motor bloğu numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları	77
Tablo 7.8. Biyel kolu numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları	77
Tablo 7.9. Biyel kolu yatağı numunesinin iç yüzeyinden spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları.....	78
Tablo 7.10. Biyel kolu yatağı numunesinin dış yüzeyinden spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları	78
Tablo 7.11. Piston pimi numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları	78
Tablo 7.12. Piston numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları	79

Tablo 7.13. Özellikle benzinli motorlarda karşılaşılan aşınma elementleri limit değerleri.....	79
Tablo 7.14. Yağlama yağı üreticisi tarafından oluşturulmuş dizel ve benzinli motorlarda aşınma elementleri limit değerleri.....	80



KISALTMALAR LİSTESİ

FT-IR	: Fourier Transform Infrared
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer
KOH	: Potasyum hidroksit
ppb	: Parts per billion
ppm	: Parts per million
SAE	: Society of Automotive Engineers
TAN	: Toplam Asit Numarası
TBN	: Toplam Baz Numarası
VI	: Viskozite İndeksi

SEMBOLLER LİSTESİ

Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
B	: Bor
C	: Karbon
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
Ti	: Titanyum
W	: Tungsten (Wolfram)
Zn	: Çinko
µm	: Mikrometre

1. GİRİŞ

Bir sistemin veya ekipmanın arızalanmasını önleyip çalışır halde bulundurmak, işlevini kaybetmiş ya da kaybetmeye yüz tutmuş sistemin tekrar çalışır duruma getirilmesi için planlı bir şekilde uygulanan faaliyetlere bakım denmektedir. Dolayısıyla her türlü alet ve cihazın kullanılmaya başlanmasıyla birlikte giderek artan bir şekilde öneminden söz ettirmektedir. Sistem aktivitesinin devamının sağlanması verim, sürdürülebilirlik, kalite ve günümüz ekonomik dünyası düşünüldüğünde küresel rekabetin ön planda bulunması neticesinde sistemin ya da ekipmanın çalışma sürekliliğinin sağlanması önemli bir fonksiyon durumuna gelmiştir. Sistemi aktif halde bulundurmak, mümkünse verimliliğini artırmak, sistemin eksiklik ve arızalarını daha kısa zaman ve daha az kayıpla gidermeye çalışmak ekipmanı kullanan için temel hedeflerdendir. Bunun sağlanabilmesi için uygun bir prosedür dahilinde doğru teçhizat ve nitelikli elemanın bakım sürecinde bulunması gerekmektedir.

Sistemi veya ekipmanı kullanan işletmelerin, çağın teknolojik yenilikleri, bu yenilikler neticesinde enerji gereksinimlerinin artması ve sürekli artış halindeki rekabet şartları sonucunda sistemlerini aktif ve teknolojik yeniliklere açık tutma çabaları, beraberinde işletmelerin gider kalemlerinde artışa sebep olmaktadır. Bu da doğal olarak işletmelerin uygulayacağı bakım, onarım faaliyetlerinin önemini artırmaktadır. İşletmelerde teknolojik yeniliklere bağlı olarak artan yatırım giderleri, sistemin ayrılmaz parçası olan bakım faaliyetlerinin maliyetlerini de yükseltmektedir. İşletmenin, üretim esnasında sistemin çalışmasından kaynaklanabilecek aksaklıklar sonucunda karşılaşılabileceği kayıplar, kısa zamanlı dahi olsa yüksek maliyetlere yol açabilmektedir. Bakım faaliyetlerinin uygulanmasıyla; sistemi oluşturan ekipmanın kullanım ömrünün artması, sistem çalışmasının kesintiye uğramadan sürdürülebilirliğinin sağlanması, oluşabilecek aksaklıklardan kaynaklanan kayıpların minimuma indirilmesi ve toplamda işletme giderlerinde aşağıya yönelik hedeflenmektedir.

Bakım kavramına tarihsel bir bakışla bakıldığında, insanlığın kullandığı ilk aletler kadar bir geçmişe sahip olduğu görülse de, planlı ve belli bir prosedür dahilinde uygulanan bakım faaliyetlerinin endüstrileşmenin gelişmeye başladığı son bir asırlık bir döneme tekabül ettiği söylenebilir. Tabii olarak endüstrileşmenin olmadığı ya da basit sistemlerin var olduğu dönemlerdeki bakım faaliyetleri de buna paralel olarak karmaşık değildi. Son

yüzyılda sanayileşmenin hızla artması, işletmelerde mekanikleşmenin daha da karmaşıklaşması, bununla birlikte sistemde oluşabilecek aksaklıkların mümkün olduğunca azaltılmaya çalışılıp maliyetlerin aşağılara çekilmek istenmesi, planlı bakım çeşitliliğinin ve kalitesinin daha da gelişmesini sağlamıştır.

Endüstriyel işletmelerde sistemi oluşturan makine ve ekipmanların çalışmalarını aksatmadan faaliyetlerine verimli bir şekilde devam edebilmeleri için çeşitli bakım teknikleri uygulanmaktadır. Planlı olarak düzenlenen bu bakım yöntemleriyle, işletmenin zaman kaybı olmadan sürekli aktif halde çalışması, istenmeyen gereksiz donanım yenilemelerinin önüne geçilmesi ve olası çalışma aksamalarında karşılaşılabilecek yüksek maliyetli bakım işlemlerinin olabilecek en asgari düzeye indirilmesi hedeflenmektedir. Çünkü ekipmanda oluşabilecek bir arıza durumunda hem arızalı donanıma müdahale edilmesi hem de bu süre zarfında gereksiz duruşların neticesinde yüksek maliyetli kayıpların yaşanması büyük sorunlar oluşturmaktadır ve bu da işletme verimliliğine büyük ölçüde zarar vermektedir. Oluşabilecek bu kayıpların asgariye indirilmesi için sistemi oluşturan ekipman ve makinelerin yakından izlenmesi ve düzenli bakımlarının yapılması gerekir.

Sistem performansının sürekli takibi ile, oluşabilecek aksaklıkların önceden tespit edilip gerekli kontrol ve müdahalelerin planlı bir prosedür dahilinde uygulanması ve bu sayede istenmeyen maliyetlerin önüne geçilmesi, kestirimci bakım olarak adlandırılan arızaların önceden tahmin ve tespiti ile gerekli müdahalenin yapılma zamanının planlanması tekniklerinin geliştirilmesine zemin oluşturulmaktadır. Sistemde oluşabilecek aksaklıklara arıza oluşuktan sonra müdahale etme anlayışı bir bakım yöntemi olarak sayılmakla beraber, sistem arıza vermeden sistemdeki hedef bölgeye gerekli müdahalenin zamanında yapılma anlayışı hem giderek önem kazanmakta hem de teknolojik gelişmelerle de daha doğru saptamalarda bulunulabilmektedir.

Sistemdeki çalışan ekipmanların kullanım ömürleri de dikkate alındığında onarım ya da parça değişimi yapılması, normal olarak belli periyodik bakım dönemlerine ayrılmıştır. Buna önleyici bakım da denmektedir. Ancak iki önleyici bakım periyodu arasında sistemde oluşabilecek herhangi bir ekipman arızası sistem faaliyetlerini aksatmakta dolayısıyla işletmeye zarar vermektedir. Sistemlerin veya sistemdeki her parçanın üretim aşamasında, üretici tarafından belirlenmiş bir kullanım süresi veya planlanmış bir bakım periyodu bulunmaktadır. Tüm bu öngörülere ve belirlenmiş tüm bakım periyotlarının zamanında tatbik edilmesine rağmen bazen, ekipman için belirlenmiş ömür hedeflenenden daha kısa

sürebilmektedir. Bu tür risklerin varlığı göz önünde bulundurulduğunda, kestirimci bakım teknikleri sisteme dahil olmakta ve önemli kazanımlar sağlamaktadır.

Ekipmanın düzenli aralıklarla kontrol edilerek ölçümler alınması, alınan ölçümlerin bir değerlendirmeden geçirilerek sistemin çalışma durumu hakkında bir verinin oluşturulması, alınan tüm ölçümlerin karşılaştırılması sonucu sisteme müdahalenin gerekli olup olmadığının sistem arıza vermeden önce kararlaştırılması ve bütün bu işlemler devam ederken sistemin çalışmaya devam etmesinin, bir bakım yöntemi olarak düşünüldüğünde çok önemli kazanımlar sağladığı görülebilmektedir.

Kestirimci bakım tekniklerinde, sistemin verimi ve diğer parametrelerin takibi sonucu, oluşabilecek arıza zamanının yaklaşık olarak tahmin edilmesi hedeflenmekte, elde edilen veriler ışığında gerekli bakım programı seçilebilmektedir. Bu yöntemler arasında; termal analiz, vibrasyon (titreşim) analizi, ultrason, performans analizleri, yağ ve aşınmış parçacık analizleri sayılabilmektedir.

Mekanik sistemlerde birbiriyle temas halinde çalışan parçaların, sürtünmelere karşı aşınmasının önlenmesi, sessiz çalışması ve sistemde oluşacak yüksek sıcaklığın engellenmesi, bir sistem gereksinimi olarak sisteme eklenen yağlarla sağlanmaktadır. Sistem çalışması boyunca yağ, parçalarla temas halinde bulunacağından, sistemdeki yağın belirli periyotlarla alınarak incelenmesiyle, sistem verimliliği ve sistemdeki hareketli parçaların aşınma durum ve miktarları hakkında bilgi edinilebilmektedir. Analiz sonucu yağda bir metal varlığının arttığı tespit edildiğinde, bu metal yoğunluğunun en fazla hangi parçadan kaynaklanabileceği tespit edilebilmektedir. Ayrıca yağdaki kurum varlığı, yağa yakıt ve su karışması da belirlenebilmektedir.

Yağ analizleriyle, düşünülebilecek her türlü yağ analizi yapılabilmeyle beraber, daha çok motor, diferansiyel ve hidrolik sistem yağları gibi mekanik sistem yağları incelenmektedir. Hızlı, kolay uygulanabilir ve düşük maliyetli olduğundan, işletme veya kullanıcıya önemli kazanımlar sağlamaktadır.

Motor yağlarının kullanım amacı, hareket halindeki yüzeyler arasında ince bir film katmanı oluşturarak mekanik aşınmayı önlemek ve dolayısıyla oluşacak güç kaybını azaltmaktır. Bunun yanında yağlama yağlarının makinenin hareketli aksamının yağlanması dışında sürtünme kayıplarını azaltmak, piston gibi hareketli parçalarda sürtünmeden dolayı oluşan ısıyı absorblayarak bu parçaların yüzeylerinin soğutulmasını sağlamak, yanma sırasında oluşan asitleri nötrleştirmek ve motor çalışması sırasında yüzeylerde oluşabilecek tortu birikimini önlemek gibi görevleri de vardır. Makine sisteminde, çalışan parça ile

sistem arasındaki ara yüzey aynı zamanda sürtünme ve sürtünmeyle oluşan ısının transfer edilme alanıdır. Enerji verimliliğinin artırılması için geniş sıcaklık ölçeğinde sürtünmeyi mümkün olan en yüksek seviyede absorbe edecek ve aynı zamanda olabildiğince kullanılan makine sistemi için uygun viskoziteye sahip yağ filminin oluşturulması büyük bir öneme sahiptir [1].

İçten yanmalı motorlarda sürtünme ile meydana gelen aşınma, motorun kullanım ömrünü önemli ölçüde etkilemektedir. Yanma sürecinde yağlama yağı, silindir ve pistonun aşınmasını önleyerek sistem için koruyucu bir katman oluşturmaktadır. Ancak belli bir kullanım süresi ile beraber yağın oksidasyon sebebiyle fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğraması, ayrıca toz, yakıt, su, metalik parça gibi partiküllerin yağlama yağına karışmasıyla oluşan dış etkenler motor yağlarının eskiyerek koruyucu etkilerini kaybetmelerine sebep olmaktadır. Kullanım şartları, yakıt ve hava gibi dış etkenler de göz önünde bulundurularak makine üretici firmaları oldukça toleranslı yağ değişim periyodu tavsiye etmektedirler. Ancak çok sık uygulanacak yağ değişimi maliyeti arttırdığı gibi yağ değişim periyodunun olması gerekenden aşırı arttırılması da aşınmayla birlikte makine ömrünü olumsuz etkilemektedir [1].

Motor yağlarının eskimesi sürecinde karşılaşılan en önemli etken oksidasyondur. Tam olarak yanmamış yakıttan kaynaklanan karbon partiküllerinin yağlama yağı içinde oluşturdukları asidik yapıdaki polisiklik aromatik hidrokarbon formu, motor yağını oluşturan baz yağ ve katıkların içeriğinde bulunan farklı yapıdaki moleküllerin zamanla ortamda bulunan oksijenle reaksiyonu sonucu 150-200°C gibi sıcaklıklarda sıvı fazında oluşturdukları hidroperoksit ve peroksit formlar ile alkol, keton gibi diğer asidik bileşenler, yağa suyun karışmasıyla birlikte anti-freeze katkı maddelerinden kaynaklanan formik asit, glikolik asit gibi ürünlerin ortaya çıkması yağ içinde oksidasyona sebebiyet vermektedir. Daha sonraki süreçte bu organik bileşenler oksidasyon seviyesindeki artışla beraber kendi aralarında reaksiyona girerek yüksek moleküler ağırlıktaki lak ve çamur gibi polimer oluşumları meydana getirirler. Bununla beraber, makine blok ve sistem elemanlarının üretiminde kullanılan çelik ve çelik alaşımlı metal yüzeylerin aşınması, yağlama yağı içerisinde demiroksit oluşumuna sebep olur. Yağlama yağı içindeki tüm bu asidik oluşumlar oksidasyon sürecini hızlandırıp yağın kullanım periyodunu da önemli ölçüde etkilemektedir. Ortamdaki sıcaklığının artmasıyla beraber oksidasyon süreci ve buna bağlı olarak yağ eskimesi de hızlanmaktadır. Ayrıca yağlama yağının kirlenmesinde önemli rolü olan bir diğer etmen de yağın dış ortam kaynaklı olarak etkilenip kirlenmesidir. Sistemdeki

aşınma ve korozyonun bir neticesi olarak makine elemanlarından koparak yağlama yağına karışan çok küçük metal parçacıklarla, motor filtrelerinin yetersiz kalması neticesinde dış ortamdan giren toz, kir, kum tanecikleri yağın işlevini bozmaktadırlar. Bunlar, motor yağı içerisinde yağlama yağının ulaştığı yüzeylerde istenmeyen partiküler birikime neden olmaktadır. Yağ içinde mevcut bulunabilecek bu tip bir kirlenme, oksidasyon sürecini, sistem parçalarında aşınmayı ve yağ eskimesini etkileyen bir başka olumsuz durumdur. Yağlama yağı analizi, makine sistemine ait kısımların bulunulan zaman ve gelecekteki durumları hakkında fikir oluşturabilmemize olanak tanır. Ayrıca, yağın içindeki çeşitli madde oranlarının değişimini incelemek, sistemi oluşturan elemanların ömrünün tespiti, istenen kapasiteyle çalışmasının devamının sağlanması, oluşabilecek arızalar için maliyetin düşürülmesi ve böylece zamandan tasarruf edilmesi açısından gereklidir [1].

2. BAKIMIN AMACI VE YÖNTEMLERİ

2.1. Bakım Sisteminin Amacı

Bakım sistemlerinde hedeflenen en önemli amaç, makinelerde oluşabilecek olası arızaların en aza indirilmesi hatta mümkünse önüne geçilebilmesidir. Meydana gelebilecek önemli arızalar makinelerde zararlara ve bunun sonucunda onarım maliyetlerinde artışlara neden olabilecektir. Makinelerde arıza kavramına sistematik bir bakım anlayışıyla yaklaşılabilir [2].

Bakım sistemlerinde hedeflenen bir diğer amaç ise, bakım ihtiyaçlarının önceden tahmini ve bu ihtiyaçların planlanabilmesidir. Bu iki durumun uygulanabilmesiyle birlikte gereksiz yere yedek parça stoku oluşmayacak ve onarımlarda gereksiz zaman harcanmayacaktır [3].

Oluşabilecek arıza durumlarının azaltılmasıyla sistemdeki verimin artması ve sistemin çalışma kapasitesinin yüksek tutulması, bakım sisteminin bir diğer amacı olarak değerlendirilebilir [4].

2.2. Bakım Yöntemleri

2.2.1. Plansız (Düzeltilici) Bakım (CM: Corrective Maintenance)

Plansız bakımda, arıza ortaya çıktıktan sonra bakım-onarım faaliyetleri yapılmaktadır. Plansız bakım faaliyetleri sırasında bazı arızaların farkına varılamadığı, bazen bu fark edilemeyen arızaların sonradan daha büyük arıza ve sistem aksamalarına da neden olabildiği görülebilmektedir [5].

Genel bir ifadeyle, bir sistemin veya donanımın aksamasına veya üretim kalitesinde kabul edilebilir sınırlar dışına çıkılmasına sebep olan sorunların belirlenmesi ve bu sorunların giderilme yollarının bulunması bu bakım türünü tanımlamaktadır [6].

Bu yöntem, oluşabilecek herhangi bir arızadan dolayı sistemde bir aksama meydana geldiğinde yapılacak bakım ve onarımları içerdiğinden dolayı, envanterlerinde çok sayıda yedekleri bulunan ve yüksek maliyetli olmayan ekipmanların kullanıldığı sistemlerde uygulanmaktadır. Sistemde herhangi bir arıza sonucu oluşabilecek hasarın nasıl ve ne

zaman ortaya çıkabileceği kestirilemeyeceğinden dolayı verimli bir sistem çalışma planının olamayışı, bu bakım yönteminin en önemli eksikliği olarak meydana çıkmaktadır [7].

2.2.2. Planlı (Önleyici) Bakım (Preventive Maintenance)

Planlı bakım, sistemdeki ekipmanın ömrünü arttırmak ve ekipman bakım etkinliğinin belli bir prosedür dahilinde tasarlanması yöntemidir [8]. Donanımda herhangi bir arıza oluşum koşulu aranmaksızın yapılacak kontrol, yağlama, revizyon gibi faaliyetler neticesinde sistemin kullanılabilirlik süresinin maksimum artırılması çalışmalarından oluşmaktadır. Dolayısıyla sistemde oluşabilecek aksaklıklar neticesinde ihtiyaç duyulacak acil bakım gereksinimlerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır [5, 9].

Planlı bakım anlayışının uygulanabilmesi için makine, donanım ve parçalar konusunda gereken doküman, bilgi ve tecrübeye sahip olunması gerekir. Her makine, donanım için bakım talimatlarının önceden hazırlanarak hangi periyotta nelerin yapılacağı belirlenmelidir [5].

Önleyici bakım beraberinde üç faaliyeti gerektirmektedir [7]:

1. Günlük bakım (kontrol, temizlik, yağlama, vb.)
2. Periyodik yapılacak muayeneler ve ekipman tanıları.
3. Gerekli durumlarda onarma.

Planlı bakım iki şekilde uygulanabilmektedir. Birincisi yaklaşım, periyodik ya da koruyucu yaklaşım olarak adlandırılan zaman esaslı bakımdır. Bu bakım şeklinde, öngörülen bakım sırasında belirlenen esaslar çerçevesinde gereken bakım faaliyetleri uygulanmaktadır. İkinci yaklaşım şekli olarak da muayene esaslı yaklaşım yani kestirimci bakım anlayışıdır. Kestirimci bakım anlayışıyla bakım-onarım gereksinimi olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmaktadır [5, 7].

2.2.3. Koruyucu Bakım

Yapılan incelemeler sonucunda belirlenen bir bakım programının periyodik olarak uygulanması, bakım anlarında gerekebilecek onarım, yağlama, yenileme vb. işlemlerin uygulanmasıdır. Etkin bir planlama ile uygulandığında sistemin etkinliğinin ve kullanılabilirliğinin artması sağlanır [5].

Koruyucu bakım yaklaşımı, sistem aksamalarının ve iş güvenliğinin önemli olduğu durumlarda hem daha az maliyetli hem de daha emniyetli bir bakım anlayışı olarak uygulanabilmektedir [7, 10].

Koruyucu bakımda aşağıdaki faaliyetler gerçekleştirilir:

- Makine ve ekipmanlarda yapılacak periyodik muayene ile arıza oluşumunun önlenmeye çalışılması
- Tüm sistemin izlenerek önleyici önlemlerin alınması
- Sistemi oluşturan ekipmanın uygun şekilde temizlenmesi, yağlanması
- Makine ve ekipmanda gerekli kalibrasyon ve ayarlamaların yapılması
- Gerekli görülen durumlarda programlı yenileme ve parça değişimlerinin yapılması

Periyodik bakımın üstün özelliklerinin yanında sakıncalı yanları da bulunabilmektedir [7, 8, 10].

- Sistemde, planlanmış periyotlar dahilinde yine de beklenmedik arızalardan dolayı aksama oluşabilmektedir.
- Bakım ekibi, daha önceden planlanmış ama belki o anda gerekmeyecek bakım için zaman kaybedebilecektir.
- Periyodik bakım esnasında, gerek önceden belirlenmiş sonuçlara bakılarak ve gerekse deneyimler neticesinde değişmesi planlanan parçalar, halen kullanılabilecek olmasına rağmen ömürlerini tamamlamadan değiştirilmek zorunda kalınabilecektir. Ayrıca bir parçada meydana gelecek hasar, tahmin edilemeyecek başka parçalarda hasar oluşturabileceğinden, birçok parçanın stoklarda hazır bulundurulması gerekecektir. Bu da yedek parça maliyetinde artışlara neden olabileceği gibi stoklama sorununu da beraberinde getirecektir.
- Planlı periyodik bakım sırasında, özellikle hassas makinelerin sökölüp yeniden monte edilmeleri, çalışma duyarlılıklarını ve ayarlarını bozabilmektedir. Bu ayarsız süre içinde sistem performansı düşük olacaktır. Periyodik bakımdan sonra, gerek ayarlama gerekse yeni parçalarda oluşabilecek sürtünme ve aşınmalardan dolayı sistemin rejim haline gelmesi, her ne kadar mekanik sistemler için kısa sürse de, belirli bir süre geçecektir.

2.2.4. Kestirimci Bakım ve Aşamaları

Bakım teknolojisinde ulaşılan en son gelişmelerden olan kestirimci bakım, makine performanslarının sistem çalışırken izlenmesi ve yorumlanması esasına dayanır. Bu yöntemde sistemin sürekli bir şekilde izlenmesiyle sistemde oluşabilecek herhangi bir arızanın ne zaman oluşabileceğinin tahmin edilebilmesinin yanında arızanın oluşum sebepleri hakkında da tahminlerde bulunulabilme imkânı verir. Aslında bu bakım teknolojisi sistemde arıza oluşmadan sistemi oluşturan birçok makine parçasının bazı uyarı işaretleri göstermesi gerçeğine dayanmaktadır. Kestirimci bakım teknolojisinin yararlandığı bu işaretler başta titreşim analizi olmak üzere, yağ analizi, termal analiz ve ultrasonik testler gibi test ve analizlerin yorumlanmasıyla elde edilmektedir. Makineler üzerinden alınan parametrelerin zaman içerisindeki eğilimlerini takip ederek, makine sağlığı hakkında sistem geleceğine yönelik tahminlerde bulunma yöntemidir. Periyodik olarak sistemin izlenmesi ve performansı ile ilgili ölçümlerin alınmasıyla makine iyi durumda iken bile önceden olası arıza durumları tespit edilebilir. Böylelikle ihtiyaçlar doğrultusunda gerekebilecek bazı parça değişimlerinin makinenin çalışmadığı zamanlara planlamak mümkün hale gelebilmektedir. Son yıllarda kestirimci bakım yöntemleri teknolojinin gelişmesi ile birlikte daha güvenilir ve kullanışlı hale gelmiştir. Sistemdeki kritik noktalar devamlı izlenerek olası aksaklıklar önlenebilmekte ya da tahmin edilebilmektedir. Koruyucu bakımın bir diğer dalını oluşturan kestirimci bakım, bir cihazın arıza yapmak üzere mi olduğunun ya da durumunun genel olarak hangi aşamada olduğunun tespit edilebilmesi amacıyla periyodik takip neticesinde elde edilen teknik bilgilerin analizini sağlar. Problemler daha maliyetli ve büyük sistem aksamalarına dönüşmeden bir plan ve program dahilinde düzeltilebilmektedir.

Kestirimci bakım yöntemi diğer bakım yöntemlerine göre birçok avantaja sahiptir. Endüstriyel olarak gelişmiş ülkelerde kestirimci bakım uygulamalarının kullanımıyla beraber oldukça önemli kazanımlar sağlandığı görülmüştür. Stoklarda bulundurulacak yedek parça ihtiyacında % 30 oranında azalma olduğu ve bununla beraber bakım-onarım maliyetlerinde % 50-80 civarlarında azalmaların olduğu ve netice olarak sistemden elde edilen karın % 20-60 arasında arttığı tespit edilmiştir [11, 12].

Kestirimci Bakım yöntemi son çeyrek yüzyılda, özellikle endüstrileşmiş ülkelerde uygulama alanı yaygın hale gelmiş ve uzun vadede üretim maliyetlerinde büyük ölçülerde azalma sağlandığı kanıtlanmıştır. Özellikle üretimin, bakım faaliyetleri için bile olsa uzun

sürekli aksamasının gerek ekonomik gerekse sistem yönünden sakıncalı olduğu tesislerde bu yöntemin kullanılması daha da önemli hale gelmiştir. Elektrik santralleri, çimento, kâğıt, cam ve petro-kimya gibi tesisler bu sektörlere örnek olarak verilebilir. Bu yöntemin başlaması ve gelişmesi de öncelikle bu tip tesislerde olmuştur. Ancak bu gün kestirimci bakım neredeyse her sektörde tercih edilmekte ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [13].

Kestirimci bakım birkaç aşamadan oluşmaktadır:

1. Ölçme ve kontrol aşaması
2. Analiz ve değerlendirme aşaması
3. Bakım planlama aşaması
4. Bakım-onarım aşaması

2.2.4.1. Ölçme ve Kontrol Aşaması

Sistemi oluşturan makine ve ekipmanların çalışma koşullarının tespit edilip izlenebilmesi için yapılan bütün faaliyetleri içermektedir. Ölçme ve kontrol faaliyetlerinde ölçümler özel cihaz veya sistemler yardımıyla yapılabilir. Ölçüm faaliyetleri içerisinde; gürültü ölçümü, titreşim ölçümü, basınç ve akım farkı ölçümü vb. yöntemler sayılabilir [5, 7].

Ölçme ve kontroller genellikle sistem durdurulmadan veya sistem çalışmasında çok kısa duruşlar sağlanarak yapılır. Sistem normal çalışma seyrindeyken yapılan ölçüm ve kontroller, arıza nedenlerinin tespit edilmesinde en güvenilir ve en hızlı yöntemdir [10].

2.2.4.2. Analiz ve Değerlendirme Aşaması

Analiz ve değerlendirme, sistem ekipmanlarında ölçümü yapılan parametrelerin sonuçlarının yorumlanmasından oluşmaktadır. Ölçme ve kontrol sonuçlarının analizi, ölçülen parametrenin zaman içindeki gelişim seyrinin ortaya çıkarılması şeklindedir. Analiz sonuçları değerlendirilirken çeşitli bilgisayar programları yardımıyla parametre değerleri zamana bağlı grafik haline getirilerek, ekipmanların çalışma koşullarının hangi durumda olduğunun değerlendirilmesi yapılmaktadır [5, 7].

Yapılabilecek analiz türlerinin en önemlileri aşağıdaki şekilde sıralanabilir [14]:

- Vibrasyon analizi
- Yağ analizi
- Ultrasonik analiz
- Termal analiz

Vibrasyon ölçüm cihazı ile balans ayar bozukluğunu, merkez kaçıklığını, kaplin ayarsızlığını, eğri shaft problemini, aşınmış ve hasarlı dişliler, bozuk rulmanlar, kaymalı yataklarda yağ film kırıklığı, cıvata gevşeklikleri, elektrik motoru arızaları, kayış arızaları ve bozuk zincirleri arıza meydana gelmeden belirlenebilmektedir [14].

Yağ analizi ile yağın özelliklerini koruyup korumadığı ortaya çıkarılarak, makinenin zarar görmesi engellenmekte veya yağın kullanım ömründen maksimum derecede faydalanma sağlanabilmektedir [14].

2.2.4.3. Bakım Planlama Aşaması

Analiz ve değerlendirme aşamasında tespit edilen arıza nedeninin ortadan kaldırılması için en uygun zamanda uygulanmak üzere bakım-onarım planlamasının oluşturulması gerekmektedir. Sistemde oluşan arıza nedenine ilişkin parametrenin gelişim hızı, arızanın olası ortaya çıkabilme zamanını gösterebilmektedir. Dolayısıyla bu tarihten önce bakım prosedürünün uygulanması gerekir [5, 7].

2.2.4.4. Bakım-Onarım Aşaması

Bakım-onarım faaliyetleri hedeflenen zamanda gerekli doküman, donanım, malzeme ve iş gücü ile gerçekleştirilmektedir. Bakım-onarım sonrası gerekli ölçümler yapılarak sistemde uygun değerlerin elde edilip edilmediğine bakılır. Ekipman test edilerek sistem çalışmasına devam edilir [5].

3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

3.1. Literatürde Yer Alan Kestirimci Bakım Uygulamaları

Orhan ve diğerleri; titreşim analizli kestirimci bakım tekniğini incelemişler ve bir santrifüj pompa rulmanlarının çalışabilirliğini rulman yatakları üzerinden belirlenen periyotlarla aldıkları titreşim değerleriyle incelemişlerdir. Yapılan ölçümler sonucunda rulmanların titreşim genliklerindeki kayda değer artış dikkate alınıp pompanın ani duruşu engellenmiş, arızalı rulman değiştirilmiş ve pompanın çalışmasına yeni rulmanlar ile devam edilmiştir [15].

Arslan ve diğerleri; titreşim analizi yöntemini kullanarak bilyeli rulmanlardaki bölgesel yüzey bozukluklarını incelemişlerdir. Hazırlamış oldukları bir rulman-mil deney seti ile hem sağlam hem de iç ve dış bileziği yapay hasara uğratılmış rulmanlara ait titreşimleri incelemişlerdir. Ayrıca tasarladıkları sistem için teorik bir model oluşturarak sağlam ve hasarlı rulmanların analiz edilebilmesi için bir simülasyon programı oluşturmuşlardır. Simülasyon programından elde edilen sonuçların deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldığında bir paralellik içerisinde oldukları sonucuna varılmıştır [16].

Aliustaoğlu ve diğerleri; kestirimci bakım tekniğine dayalı, rulman hata tespiti üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla bir rulman test düzeneği oluşturularak, rulman iç ve dış bileziklerinde yapay kusurlar oluşturulmuş ve yapılan ölçümler ile titreşim bilgileri toplanmıştır. Bu bilgiler ışığında, hata frekans bileşenlerinin hatanın varlığını; bu bileşenlere ait genliklerin ise hatanın gelişme durumunu gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır [17].

Kalyoncu; makinelerde ve makine elemanlarında meydana gelen arızaların tespitinde titreşim analizli kestirimci bakım yöntemini incelemiştir. Örnek uygulama olarak, rulmanlarda oluşabilecek arızalar araştırılmış ve titreşim ölçümü ve analizi yapılarak belirlenen sınır değerlere göre yapılan karşılaştırmaların, makine ve teçhizatının hem geçmişinin takibi, hem de bulunulan zaman ve gelecekteki durumları hakkında yapılacak tahminlerin nasıl yapılacağı konuları incelenmiştir [18].

Açıkel ve diğerleri; matbaacılık sektöründe kullanılan sürekliform baskı makinesi için kestirimci bakım yöntemini kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Makine üzerinden alınan titreşim ölçümleri zaman ve frekans tanım bölgelerinde incelenerek eğilimler tespit

edilmiştir. Yapılan analizlerin sonucu olarak, sürekli form baskı makinesi ana motor fanında oluşan performans kayıplarının ve arızalarının titreşim ölçümleri ve analizleri kullanılarak ortaya çıkarılabileceği gösterilmiştir [19].

Engür; titreşim analizli kestirimci bakım yöntemini araştırmış, döner makinelerde balanssızlık, eksen kaçıklığı, mekanik gevşeklik ve rulman kusurları gibi arıza ve kusurların bu bakım yöntemiyle hızlı ve daha az bir maliyetle ortaya çıkarılıp olabilecek yüksek maliyetli kayıplardan korunulabileceğini belirtmiştir [20].

Narwade ve diğerleri; indüksiyon motorları için durum izleme ve hata teşhisinin önemini vurgulamışlardır. Titreşim analiziyle hata tespiti kapsamında kendi oluşturdukları deney düzenekleri üzerinde rulman iç ve dış bileziklerine verdikleri hasarlar ile durum izleme ve titreşim analizinin indüksiyon motorlarda uygulanmasının ne gibi avantajları olabileceği üzerine çalışmalar yapmışlardır [21].

Boukhobza ve diğerleri; rulman hasarlarının yerlerinin bulunması ve büyüklüklerinin tespit edilebilmesi için yapay sinir ağları metodu üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında rulman iç ve dış bileziği ve bilye üzerine farklı boyutlarda yapay kusurlar vererek yapay sinir ağları metodunun rulmandaki hataların derecesini belirleme üzerindeki etkinliğini araştırmışlardır [22].

Williams ve diğerleri; rulmanların çalışma sürelerini incelemek amacıyla bir deney düzeneği hazırlamışlardır. Daha önce yapılmış çalışmalardan farklı olarak rulmanlara yapay hasarlar vermeyip bunun yerine sağlam rulmanları hazırlamış oldukları bu deney düzeneğinde çalıştırarak farklı devirlerde, hasar meydana gelinceye kadar teste tabi tutmuşlar ve deney sonucunda elde edilen titreşim verilerini kaydetmişlerdir [23].

Al-Najjar; İsveç'te bulunan birbirinden farklı iki kâğıt fabrikasında kestirimci bakım teknikleri kapsamında rulman kusurlarının belirlenmesi, oluşum sebepleri, rulman ömürlerinin daha da uzatılması için yapılması gerekenleri ve etkin bir bakım işlemi için gereken stratejileri ele almıştır [24].

Mcfadden ve Smith; sabit bir yük altındaki bir rulmanın iç bileziğindeki tek ve ikili hasarın neden olduğu titreşimi tanımlayabilmek için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Deney yoluyla elde ettikleri sonuçların hesap yapılarak elde edilen verilerle uyum içinde olduklarını görmüşler ve oluşturdukları matematiksel modelin tatminkâr sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [25, 26].

Karaçay ve Aktürk; açısal temaslı bir rulmanın elemanlarında oluşan yerel hasarları modelleyerek bu elemanların temas noktalarındaki yük-ezilme ilişkilerini araştırmışlardır. Her bir hasarın şaftta yol açtığı dinamik değişiklikleri gözlemlemişlerdir [27].

Choudhury ve Tandon; sağlam rulman ile bilye ve iç bilezik yuvarlanma yolu üzerindeki küçük ve büyük hasar derecelerine sahip rulmanların farklı yüklemeler altındaki akustik emisyon değerlerini belirlemek için kendi deney düzeneklerini oluşturarak rulman hasarlarının bulunmasında akustik emisyon yönteminin kullanılabilirliğini incelemişlerdir [28].

Nelias ve Yoshioka; derin oluklara sahip bir bilyeli rulmanın çalışması sırasında, yuvarlanma elemanının yorulma başlangıcını belirlemek için bir bilgisayar simülasyonu kullanmışlardır. Bu simülasyon programında akustik emisyon tekniğini kullanarak deneysel çalışmalarını doğrulamışlardır. Çalışmalarında rulmanın kritik hasar belirtileri göstermeden önce, yüzey altı hasarlarının tam olarak bulunmasında başarılı sonuçlar elde etmişlerdir [29].

Jayaswal ve Wadhwani; titreşim analizli kestirimci bakım programı kapsamında yapay sinir ağları, bulanık mantık ve dalgacık dönüşümü yöntemlerini inceleyip bu yöntemlerin özellikle döner makinelerin en önemli elemanlarından olan rulmanlar üzerindeki uygulamaları ve kullanım alanlarını araştırmışlardır [30].

Tandon ve Choudhury; rulmanlardaki yerel ve dağınık hataları belirlemek için titreşim ve akustik ölçüm yöntemlerinin avantaj ve dezavantajlarını içeren çalışmalarını daha önce yapılmış çalışmalar ve güncel teknolojik yenilikleri de dikkate alarak sunmuşlardır [31].

Li ve diğerleri; rulmanlarda hatayı önceden tespit edip bu tespitin yapılması sırasında gürültü perdelemesi yapan etkili bir sinyal işleme yöntemi geliştirmişler ve farklı yüklemeler altında çalışan rulmanlarda hatanın büyüklüğünü tahmin ve bu hatanın zamana bağlı olarak gelişimi üzerinde kendi yapmış oldukları test düzeneklerini kullanarak çalışmalar yapmışlardır [32].

Lacey; rulman titreşimlerinin nedenlerini incelemiş ve bir rulmanın iç bilezik, dış bilezik, bilye ve kafes elemanları üzerinde meydana gelen bir hasarın spektrum üzerinde meydana getirdiği frekansları incelemiştir [33].

Bannister; rulman hasarlarını bulmada titreşim verilerine dayalı durum gözetleme yöntemlerini incelemiş, bu yöntemlerin birbirlerine kıyasla olumlu ve olumsuz yönlerini araştırmıştır [34].

Harker ve Sandy; rulman elemanlarında meydana gelen hasarların oluşturduğu titreşimlerin frekans spektrumu ile analizleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Rulman hasarlarının sebeplerini, bu hasarların gelişme safhalarını ve titreşim ölçüm yöntemlerini detaylı olarak araştırmışlardır [35].

Liu ve Mengel; yapay sinir ağları yöntemini kullanarak bilyeli rulmanların durumlarını incelemişler, bu yöntem ile rulmanın hasarlı olup olmadığının ve hasar bulunması durumunda ise hasarın rulmanın hangi elemanında olduğunun tespitinin yapılabilirliğini göstermişlerdir [36].

Nohal ve diğerleri; rulman çeliği hatalarının başlangıç ve gelişim aşamalarındaki ortaya çıkarılmasında akustik emisyon yönteminin daha hassas veriler vereceğini vurgulamış ve çalışmalarında akustik emisyon yöntemi ile iki farklı rulman çeliğinin iki farklı yükleme altındaki başlangıç ve gelişim aşamasında olan hatalarını araştırmışlardır [37].

Carmen ve diğerleri; rulmanlarda oluşan hataların boyutlarının tespit edilebilmesi için bir deney düzeneği hazırlamışlar ve farklı rulman iç bileziklerine farklı ebatlarda yapay hasarlar vererek bu hasarların boyutlarını basit bir matematik modeli ile de doğrulamışlardır [38].

Ayaz ve diğerleri; yapay olarak rulmanları hasara uğratılmış asenkron bir motordan titreşim verileri alarak spektral ve dalga form analizleri yapmışlardır. Sürekli Dalgacık Dönüşümü analiz yönteminin elektrik motorlarındaki hasarlı rulmanın bulunmasındaki etkinliği üzerinde çalışmalar yapmışlardır [39].

Bayram ve diğerleri; 106M208 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında altyapısı hazırlanan deney düzeneğini ve farklı boyutlarda iç bileziği, dış bileziği ve bilyesi yapay olarak hasara uğratılmış rulmanları kullanarak titreşim verilerini araştırmış, elde ettikleri sinyallere dalgacık dönüşümü yöntemini uygulayarak gürültüden arındırmışlardır. Gürültülü ve gürültüsüz sinyallerin enerjilerini hesaplayarak dalgacık katsayılarını elde etmişlerdir. Dalgacık dönüşümü yöntemi sonucu elde ettikleri katsayılar tekniği yönteminin etkinliğini, rulman elemanları üzerindeki farklı boyutlardaki hataları sınıflandırmada kullanılabilirliğini vurgulamışlardır [40].

F.Yılmaz, yaptığı çalışmada Nissan marka benzinli bir motorda yağlama yağının deformasyon süreci ve yağ değişim periyodunu araştırmıştır. Bu çalışmada 2 litre V6 motor silindir hacimli, benzin yakıtlı bir deney motorunda SAE 10W40 viskozite dereceli API-SJ/CF sınıfı yarı sentetik bir motor yağlama yağı kullanılmıştır. 22000 km süren test süreci boyunca araçtan 2500-3500 km aralıklarla alınan yağ numunelerinde viskozite 40-100°C, viskozite indeksi, TAN, TBN, parlama noktası ve yağda erimeyenler testleri ile ICP atomik emisyon spektrometrik element analizleri uygulanmıştır. Kullanılan deney aracı için üretici firma tarafından yağ değişim periyodu 10000 km olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında yapılan hesaplamalarla aracın optimum yağ değişim aralığı belirlenmeye çalışılmıştır. Deney süreci sonunda yapılan analizler doğrultusunda gerçekleştirilen hesaplamalar ve elde edilen sonuçlarla birlikte, motor komponentlerinden kaynaklı aşınma element konsantrasyonlarının ve yağ analizi sonuçlarının 16000 km'lik yağ değişim periyoduyla uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır [41].

W.Wang, W. Zhang, yağlama yağı analizlerinden yola çıkarak, uçak motorlarının kullanım ömürlerini tahmin etmek için deneysel bir model geliştirmişlerdir. Çalışmalarında 30 uçak motoruna ait yağlama yağı analiz sonuçlarından elde edilen metal konsantrasyon bilgileri kullanılmış ve yaklaşık 300 saatlik test sürecinden sonra elde edilen veriler toplanmaya başlanmıştır. İncelenen tüm motor yağı numunelerinde Fe, Cu, Al gibi 18 metal element gözlenmiştir. 18 değişken ilişkisini incelemek yerine, bunun yerine, orijinal değişken kümelerini, bas bileşenler olarak adlandırılan yeni ilişkisiz değişkenler kümesine çeviren bas bileşen analizi kullanılmaktadır. Bu yeni değişkenler, orijinal değişkenlerin, azalan önem sırasına göre türetilmiş lineer kombinasyonlarıdır. Bu çalışmada analitik denklem ve hesaplamalara dayanan orantılı risk modeli uygulanarak, verilerin modele uygulanmasında 30 uçak motorunun ömür verilerine dayanan maksimum olasılık metodu geliştirilmiştir. Bu modelle hedeflenen temel kavram, kalan ömrün yağ analiz programlarıyla ölçülen gerçek aşınma ile orantılı olduğunu varsayan orantılı kalan ömür kavramıdır. Ayrıca uygulanan deneyler sonucunda, kalan ömür ve yağ analiz programından elde edilen veri arasındaki ilişkinin modellemeye uygun olduğu belirtilmektedir [42].

M.Sutton, C.Stow, çalışmalarında dizel yakıtta bulunan kükürt miktarının yağlama yağı değişim periyoduna etkisini araştırmışlardır. Deney motoru olarak, 2.4 litre Dizel Ford Transit araç motoru kullanılmıştır. Araç 16000 km yağ değişim aralıklarında çalıştırılmış ve her bir yağ değişimi ile birlikte boşaltılan yağ yerine farklı bir yağ kullanılmıştır. Yağ

numuneleri başlangıçta her 1000 km’lik periyotlarla, daha sonraları her 2000 km çalışma aralıklarında alınmıştır. Deney motorunda yakıt olarak 5000 ppm kükürt oranına sahip dizel yakıt kullanılmıştır. Yağlama yağı olarak da dört farklı motor yağı markasının SAE 10W30 viskozite ölçekli yağları kullanılmıştır. Deney yöntemleri olarak yağlama yağında TBN ve TAN ölçümleri ile motor dinamometre testleri uygulanmıştır. Motor dinamometre deneylerinde 100 saatlik yağlama yağı değişim, 20 saatlik yağ numunesi alma periyodları uygulanmış ve motor sürekli olarak maksimum güçte çalıştırılmıştır. Deneysel süreç sonunda yağlama yağının içindeki güçlü asidik oluşumların artışına paralel olarak TAN değerinde önemli artış kaydedilmiştir. Grafiklerde TAN ve TBN değerlerinin kesiştiği noktanın yüksek kükürt oranına sahip dizel yakıt kullanımında yağlama yağı değişim periyodunun tam olarak tespit edilebilmesi için önemli bir veri oluşturduğu belirtilmektedir. Ayrıca başlangıçta aynı TBN seviyelerine sahip (12 mgKOH/g) farklı marka motor yağlarının TAN değerlerinde kesişme ve buna bağlı olarak kullanım periyodlarında da değişme görülmüştür [43].

Ö.Karacan, M.V.Kök, U.Karaaslan, çalışmalarında içten yanmalı motorda yağlama yağının termal stabilitesine bağlı olarak kullanım periyodunun tespit edilebilmesini incelemişlerdir. Gerçek yol ve yükleme şartlarında SAE 20W50 viskoziteye sahip motor yağının kullanıldığı, 1300 cm³ silindir hacimli taşıt motorundan alınan yağ numuneleri çalışmada kullanılmıştır. Yağ numunelerinin DuPont 951 TG/DTG ve 910 DSC test ve analiz yöntemleriyle analizleri yapılmıştır. Analiz yöntemlerinde yağ numunelerindeki diferansiyel ısı akıları ve kütle kayıplarını ölçmüşlerdir. İlk etapta kullanılmamış yağ numunesi bu testlere tabii tutulmuş, daha sonra 1800, 2300 ve 3600 km taşıt yol almaları akabinde alınan yağ numunelerinin de ölçümleri yapılarak performans analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda sıcaklık ve kütle kaybı grafikleri oluşturularak düşük sıcaklıklarda kullanılmış yağlarda meydana gelen kütle kayıplarının fazla olduğu, kullanılmamış yağın ise ısı etkisine karşı daha kararlı yapıda olduğu ve kütle kaybına uğramadığı görülmüştür. Bu durumun kullanılmış yağ içindeki düşük buharlaşma noktasına sahip daha hafif bileşen oluşumundan dolayı oluşabileceği belirtilmektedir. Bu durum yağın kullanım periyodu arttıkça polimerizasyon ve yoğunlaşma reaksiyonlarının fazlalaşması ve aromatik yapıların meydana gelmesi, yani yağın kimyasal zincir yapısında değişmelerin oluşmaya başlaması şeklinde açıklanmaktadır [44].

J.Bijwe, A.Garg ve O.Gandhi, yaptıkları çalışmada ticari taşıtlarda motor yağ değişim sürelerinin yeniden değerlendirilmesi kapsamında dizel motorlu iki ticari taşıt için

SAE 10W30 motor yağının değişim periyodlarını araştırmışlardır. Çalışmaları boyunca kullandıkları deney araçlarından ilkinde Mazda marka dizel motor, ikinci araçta Toyota marka dizel motor bulunmaktadır. Deney motorlarında kullanılan yağ için önerilen yağ değişim periyodu 10000 km olan araçlardan 80 km'lik periyodlarla motor yağı numuneleri alınmıştır. Alınan motor yağlarının durumlarını değerlendirmek için kinematik viskozite, toplam asit sayısı (TAN), su miktarı, pentanda erimeyenler, parlama noktası tayini, atomik emisyon spektroskopisi testleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda her iki araçta da viskozite artışlarının başlangıçta yavaş seyrettiği, 10000 km ile 12000 km arasında hızlı, 12000 km'den sonra ise çok yüksek olduğu ve 12000 km'de alınan yağ numunelerinde viskozite artışının da kabul edilebilir limitler dahilinde kaldığı görülmektedir. Fakat 12000 km'den sonra alınan yağ numunelerinde viskozite değerinin olması gereken orijinal değerinden %25 ile %50 kadar daha yüksek çıktığı görülmektedir. Numunelerde çıkan su miktarının 8000 km'ye kadar bir miktar artış gösterdiği daha sonraki periyotlarda ise sabit kaldığı görülmüştür. Pentanda erimeyenlerin 12000 km sonrasında ani bir şekilde yükseldiği gözlemlenmektedir. Parlama noktasındaki azalma her ölçüm periyodunda lineer olmakla birlikte, 12000 km'den sonra hızlı bir azalma trendine girmektedir. Toplam asit sayısı (TAN) ise 13000 km'ye kadar kabul edilebilir limitler dahilinde olduğu tespit edilmiştir. TAN değerindeki beklenen artışın az olması yani 13000 km'ye kadar makul görülmesinin olası sebebi olarak metal yüzeylerden kopan korozif parçacıkların asidik oluşumları nötralize etmesi veya uçucu asitlerin motor ısısından dolayı çökertilmiş olabileceği belirtilmektedir. Demir metal değerleri, ilk deney motorunda 11000 km, ikinci deney motorunda ise 12000 km sonrasında önemli ölçüde yükselmiştir. Yapılan deneysel çalışmayla birlikte, her iki araç için tavsiye edilen 10000 km'lik yağ değişim periyodunun Mazda marka motora sahip araçta yaklaşık 12000 km, Toyota marka motora sahip araçta ise 11500 km olabileceği tespit edilmiştir [45].

H.Kaleli, B.Khorramian, benzinli motorda yağlama yağı analizi ve kullanım periyodu üzerine yaptıkları çalışmada demir metal partikülündeki değişimlerin yağ eskimesiyle birlikte optimum yağ kullanım periyodunun belirlenmesindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada Tofaş-Fiat marka bir motor dinamometresinde SAE 15W50 viskozite ölçekli sentetik motor yağı kullanılmıştır. Bu motorda kullanılan motor yağı için tavsiye edilen yağ değişim periyodu 4000 km'dir. Deneysel çalışma kapsamında numuneler her 2000 km'de bir alınarak 21500 km'ye kadar çalışma sürdürülmüş ve toplam baz sayısı (TBN), toplam asit sayısı (TAN), parlama noktası, su mevcudiyeti, 40°C-100°C

viskozite değerleri ile metal partikül oranları tespit edilerek analizleri yapılmıştır. Motor 3500 rpm'de 35 hp güç çıkışında toplam 195.5 saat süreyle çalıştırılmış, neticede deney motoru için optimum yağ değişim aralığının demir partikül oranında tespit edilen artmaya bağlı olarak yaklaşık 11000 km olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yağ kullanım periyodunun azalmasıyla birlikte kilometre başına toplam maliyette artış olduğu, revizyon maliyetinin ise azaldığı, diğer taraftan yağ kullanım periyodunun artışına bağlı olarak kilometre başına yağ maliyetinin azaldığı ancak revizyon maliyetinin ise arttığı tespit edilmiştir [46].

V.Macian, B.Tormos, P.Olmeda, L.Montoro, yaptıkları çalışmalarda yağ analizlerine dayanarak içten yanmalı motor durumunun izlenmesi için motor yağı örneklerinden hareketle aşınmanın daha net saptanabilmesini mümkün kılacak analitik yöntem geliştirmektedirler. Yöntem, ölçüm tekniklerinin sınırlaması, aşınma tespitlerinde işletme şartları ve özel motor karakteristikleri olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Bu geliştirdikleri analitik yöntemin uygulamasını ticari SAE 15W40 viskoziteye sahip motor yağının kullanıldığı, birbirinden farklı 15 ticari araca ait üç farklı motor tipinden çeşitli periyotlarda alınan motor yağı numunelerinin spektrometrik analiz sonuçlarıyla yapmışlardır. Analiz sonuçlarına göre elde edilen demir partikül değerleri analitik yöntemde çıkarılan denklemlerde bozucu ilk konsantrasyon olarak tanımlanmaktadır. Yağ tüketim oranı ve değişikliği, yağ ilk kütlesi, yağ eklenmesi, aşınma oranı gibi parametreler de dikkate alınarak kirletici konsantrasyon değerleri ppm mertebesinde çıkarılmıştır. Bununla birlikte yağ tüketiminin ve katkılarının spektrometrik ölçümlere dayandırılarak elde edilmiş kirletici konsantrasyonuna etkisi incelenmiştir [47].

L.Zirker, J.Francfort, J.Fielding tarafından hazırlanan, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı Taşıt Teknolojileri Geliştirme Programı çerçevesinde uygulanan yağlama yağı by-pass filtre onarım çalışması ve yağ değişim periyodunun tespit edilmesine ilişkin onuncu dönem (Ocak-Mart 2005) raporunu 2005 Mayıs döneminde yayınlamışlardır. Bu çalışmada Idaho Ulusal Laboratuvarı envanterindeki 11 adet normal yağ değişim periyodu 12000 mil olan Caterpillar ve Detroit marka dizel motorlu otobüsler kullanılmıştır. Ocak-Mart 2005 döneminde bahsi geçen 11 otobüs 97943 mil, deneysel çalışmanın başladığı tarih itibari ile toplam 744059 mil yol kat etmiştir. Her 12000 millik çalışmada otobüsler bakıma alınarak filtreleri değiştirilip yağ analizine tabi tutulmuştur. Rapor döneminde ise 2 otobüsün filtre ve yağ değişimleri yapılmıştır. İki otobüsün yağlama yağının değiştirilme sebepleri olarak da; birinin yağlama yağındaki TBN değerinde düşüş, diğer Caterpillar

marka motora sahip otobüste ise arıza durumunun belirmesidir. Bunların dışında 2 otobüs de dizel motor aşınma ve kaplama ölçüm programına alınmıştır. Bu programda iki otobüsün iki tam kapasite çalışma yılı süresince çalıştırıldıkları göz önüne alınarak ayrıntılı analitik ferrografi tekniği kullanılarak by-pass filtrelerden ve karterden alınan numunelerin analizleri yapılmış olup aşınma sonu demir metal partikül oranının 10 μm 'nin altında, laminer ve kayma sürtünmesi sonu partiküllerin 50 mikronun altında kaldığı görülmüş ve ayrıca incelenen numunelerde az miktarda toz, kum ve fiber tespit edilmiştir. Deneysel çalışmaların başladığı 29 ay öncesinden itibaren rutin filtre değişiminden önceki planlanmış 53 yağ değişimine, yağlama yağı by-pass filtre tadilatı sayesinde gerek kalmamıştır. Bu da toplamda 464 galon yağ tasarrufu anlamına gelmektedir. Böylece yağ değişimleri için kullanılması beklenen yağın %85'i kullanılmayarak tasarrufa gidilmiştir [48].

J.Smith, çalışmasında düzenli bir yağ analiz programını takip etmiş bununla birlikte sistemde oluşan titreşim değişikliklerini de dikkate alarak onarım ve bakım maliyetlerinde ne derece tasarruf sağlanabileceğini incelemiştir. İlk olarak bu çalışmasını etilen üretim platformu soğutucu su türbini ve şanzıman kısmında uygulamıştır. Takip ettiği yağ analiz programı olarak analitik ferrografi tekniğini kullanmıştır. İlk analiz program sonucunda özellikle alüminyum kavrama ünitesinden alınan yağ numunesinde demir partikül miktarında 1.12 ppm' den 7.87 ppm'e yükselme görmüş ve aynı numune ölçüm zamanında titreşimde de yükselme kaydetmiştir. Sistemin durdurularak yapılan incelemesinde, problemin dişli yüzeylerinde oluşan aşınmadan kaynaklandığı ortaya çıkarılmıştır. Sadece dişli takımdaki onarımlarla problem giderilmiştir. Böylece yağ analiz programı sayesinde olası muhtemel büyük bir arızanın maliyet tasarrufunun yaklaşık olarak 15000-20000 dolar arasında olabileceği belirtilmiştir. Aynı çalışmayı reaktörün şanzıman kısmında da yapmış ve 19.9 ppm ortalamalarında seyreden demir partikülü miktarının 54.3 ppm değerine ulaştığını tespit etmiştir. Yapılan inceleme sonucunda yağ nozulunun tıkanığı tespit edilmiştir. Yağ nozulu sökölüp temizlenerek yerine takılmış ve ileride karşılaşılabilecek olası muhtemel arızaların önüne geçilmiştir. Bu şekilde alınan önlem neticesinde onarım tasarruf maliyetinin 20000-25000 dolar arasında olduğu belirtilmektedir. Üçüncü çalışmada kompresör, karter ve krank mili dişlileri incelenmiştir. Bu çalışmada ferrografik analiz yöntemi ile yağ numuneleri içindeki partikülleri 35 mikron seviyesinde incelemiştir. Alınan numunelerde özellikle bakır seviyesinin 4 ppm seviyesinden 53 ppm seviyesine yükseldiği görülmüştür. Bu tespit ve sonrasında alınan önlemler sayesinde

karter ve krank miline sirayet etmeden yapılan erken teşhisin firmaya onarım tasarruf maliyeti 100000 dolar seviyesinde olduğu belirtilmiştir [49].

J.Kilian, M.Rutherford, Dr.M.Afify, Dr.W.Leach, North Carolina Eyaleti Enerji Ofisi için Coca-Cola şişeleme şirketine bağlı 12 araçta, 2001 Mayıs –Kasım dönemleri arasında deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmalarındaki ana hedef, uzun yağ kullanım periyodunda yağ içinde motor parçalarından kaynaklı aşınma elementlerinin ölçülmesi ve elde edilen yağ analiz verileri doğrultusunda bu durumun yağ değişim periyoduna etkilerinin tespit edilmesidir. İncelenen 4 araçta Caterpillar 3116 dizel motor diğer 8 araçta ise DT-466 (Detroit) marka dizel motor mevcuttur. Araçlarda SAE 15W40 viskozite ölçeğine sahip madeni yağ kullanılmıştır. Normal yağ kullanımı periyodunun 90 gün olduğu bu çalışmada, uzatılmış yağ değiştirme aralıklarında numune analizleriyle elde edilen verileri belirlemek için yağlama yağı araçlarda 180 gün boyunca analize tabi tutulmuş ve bu süre sonunda yağ değişimine gidilmiştir. Bu süre boyunca araçlar 3000 9245 mil arası kullanılmıştır. Analize alınan yağ numunelerin tümünde aşınma elementlerinin kabul edilebilir limitler içinde olduğu ve laboratuvar onaylı olarak, yağın kullanılabilir durumda olduğu belirtilmiştir. 9245 milin sonunda bakır element oranının 28 ppm'e yükseldiği ve 30 ppm olan maksimum değerine yaklaştığı, 145 ppm maksimum değeri olan demir elementi oranının 47 ppm olduğu, diğer element oranlarında da testlerin son aylarına kadar önemli artışın kaydedilmediği ve sınır değerlerine yaklaşmadıkları tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda o anki çalışma koşullarında yağlama yağı yenileme periyodunun en az 180 gün veya 9245 mil civarında olabileceği açıklanmaktadır [50].

S.Kumar, N.M.Mishra, P.S.Mukherjee, yapmış oldukları deneysel çalışmalarında, dizel makine çalışma saatleri arttıkça yağlama yağındaki viskozite değerlerini, FT-IR (Fourier Transform Infrared) spektrometrik analiz sonuçları bağlamında yağlama yağında oluşan değişiklikleri inceleyip yağlama yağının değişim zamanını tespit etmişlerdir. Deneysel çalışma için tavsiye edilen yağ değişim periyodu 250 saat olan Hindistan yapımı Kirloskar Cummins marka 250 kVA güç çıkışlı ve aynı çalışma şartlarına sahip iki adet dizel jeneratör seçilmiştir. Numune olarak SAE 20W40 viskozite ölçeğine sahip motor yağını kullanmışlardır. Jeneratörlere yeni yağ konulmasıyla başlayan deneysel çalışma 350'nci çalışma saatine kadar devam ettirilmiştir. Test süresi arttıkça viskozite değerinde azalma görülmüştür. 300 saatten fazla kullanılan bir yağ için FT-IR analiz sonuçlarına göre oluşturulan grafiklerdeki değerlerin sınır limit değerler içinde kaldığı belirlenmiştir. Yağlama yağı katkı maddelerinden özellikle korozyon önleyici, viskozite artırıcı ve

aşınma önleyici katkı maddelerinin yağ içinde azalma sürecinin sistem çalışma saatiyle orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Deneysel çalışma ile birlikte yağlama yağı değişim periyodunun 319 saat civarında olması gerektiği tespit edilmiştir. Deneysel çalışma öncesine göre 250 saatte bir yapılması gereken yağ değişim periyodunda çalışma neticesinde %28 oranında artış kaydedilmiştir [51].

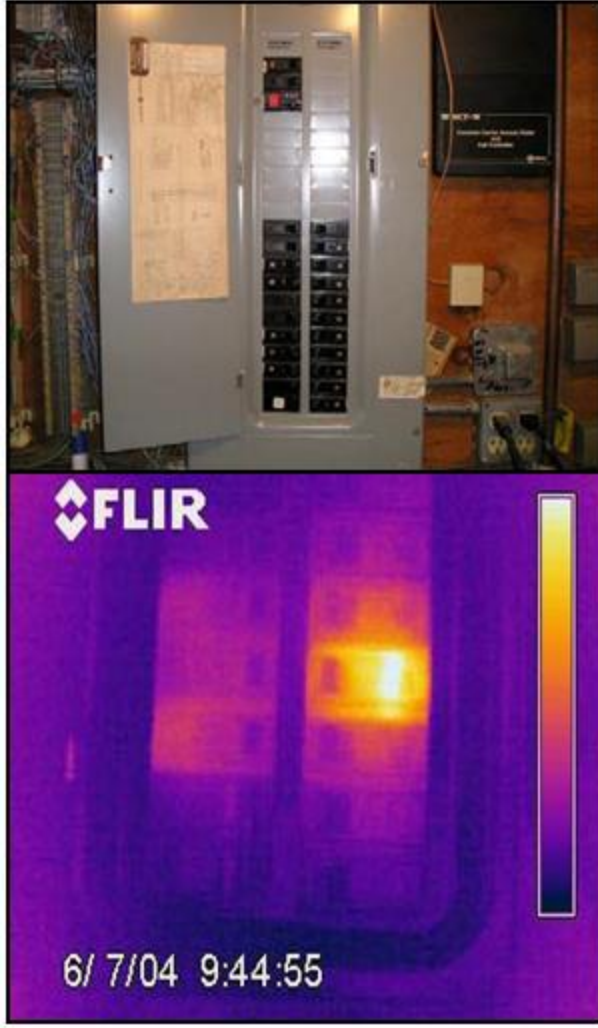
Haralambopoulos ve Paparsenos; yapmış oldukları çalışmada, termal dayanıklılık ölçümleri ve düzlemsel kızıl ötesi termografisiyle eski binalarda termal izolasyonu ölçmek için yazılan bir yöntemden söz etmişlerdir. Deneysel yöntemde eski bir bina kullanılmış ve binanın tam bir görüntüsünü elde etmek için iki yöntem bir araya getirilmiştir. Binanın dışındaki termal sızıntıların varlığı gösterilmiş ve noktasal ölçümler ve kızıl ötesi termografi analizlerinin sonuçlarının aynı an ve hızda kullanılmasıyla ölçümler yapılmıştır. Öne sürülen yöntemin güvenilir olduğu savunulmuş ve ayrıca yeni binaların ya da yenilenmeden sonra eski binaların da termal özelliklerinin tahribatsız testleri için de kullanılabilir olduğu gösterilmiştir [52].

Stockton tarafından yapılan çalışmada, termal kameralar ile haritacılık uygulamaları incelenmiş olup yeryüzü sıcaklık dağılımları çıkarılmış, sıcak ve ılık akarsuların kaynakları ve karışım noktaları tespit edilmeye çalışılmıştır [53]. Şekil 3.1. de Stockton tarafından yapılan çalışmada, bir buhar sistemindeki ısı kayıpları, buhar borusu çatısının termal görüntüsü, ıslak zeminler ve zemindeki sızıntı termal görüntüleme yöntemiyle gösterilmiştir [54].



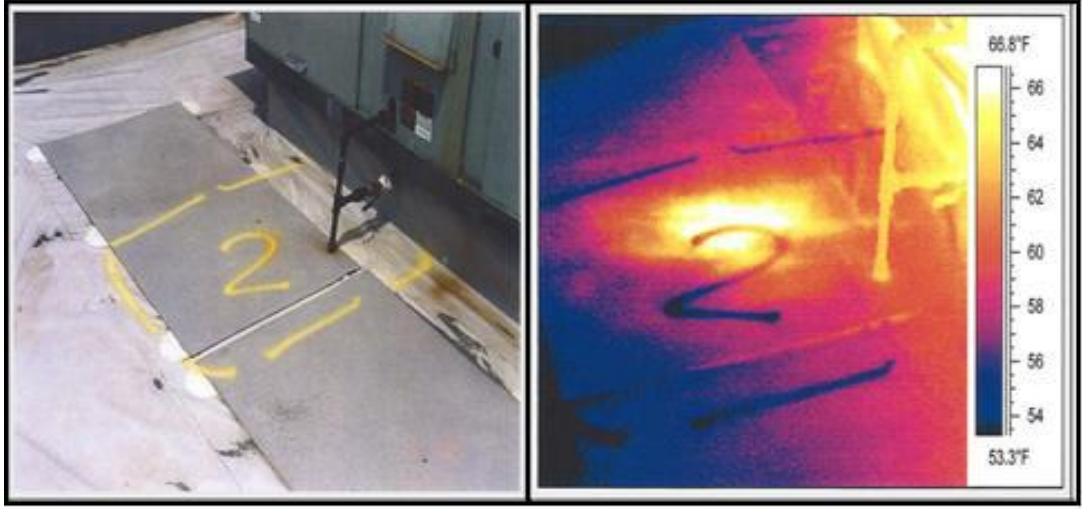
Şekil 3.1. Bir buhar sisteminde ısı kayıpları, buhar borusu çatısının termal görüntüsü, ıslak zeminler ve zemindeki sızıntı [54].

Tibbs yapmış olduğu çalışmada, kızılötesi görüntüler üzerindeki termal farklılıklar ışığında duvar içinde oluşan gizli nemi, çatılarda meydana gelen sızıntıları, elektrik devrelerinde oluşan aşırı ısınmaların tespit edilebildiklerini belirtmiştir. Tibbs'e göre, kızılötesi termografi kullanımı aynı zamanda küf gelişimi oluşma olasılığı olan binalarda gizli nem oluşum alanlarını bulmayı da mümkün hale getirmiştir [55]. Şekil 3.2. de Tibbs tarafından yapılan çalışmada, bir elektrik dağıtım panosunun normal ve termal kamera görüntüsü çekilerek gösterilmiştir [55].



Şekil 3.2. Bir elektrik dağıtım panosunun termal kamera görüntüsü [55].

Kominsky ve diğerleri; yapmış oldukları çalışmada bina yüzeylerinde oluşabilecek nemin varlığının belirlenmesinin, en iyi heterojenik bir ortamda bile tespitin zor olduğunu belirtmiştir. Kızılötesi termal görüntüleme yöntemiyle yerinde nem belirlemenin, yüzeyi hızlıca tarayarak aşırı nem oluşumunu gösteren düzensiz termal örneklerin, termal kameralar ile sistemde oluşan termal aykırılıkların sayesinde kolayca tespit edilebildiğinden söz edilmiştir. Termal taramaların görsel yorumlamasına göre, temassız incelemeleri için duvar yüzeyleri seçilmiş ve nemölçer sonuçlarıyla bağlantılar kurulmuştur. Bu araştırmalar neticesinde nemölçerler kullanılarak, görsel kontrol ve sayısal ispatların da yardımıyla gerçekleştirilen görsel kızılötesi termografinin, bina yüzeylerini ve nem aykırılıklarını belirlemekte etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir [56]. Şekil 3.3. de Kominsky ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, bir çatı zarfında oluşan nemin gerçek ve termal kamera ile çekilmiş görüntüsü verilmektedir [56].



Şekil 3.3. Bir çatı zarında oluşan nemin gerçek ve termal kamera ile çekilmiş görüntüsü [56].

Şekilde çatı zarında meydana gelen nemin gerçek ve termal kamera görüntüleri, çatının küçük bir bölgesinin görüntüleri alınarak incelenmiştir. Çatı zarındaki bir sızıntı, hava işleme ünitesinden sızan nemin çatı sistemine girmesine sebep olmuştur. Islak olduğu düşünülen alanlar, görüntülerde beyaz ve sarı alanlar olarak daha sıcak ve açıkça görülebilmektedir. Kuru ve daha soğuk alanlar pembe, mor ve siyah renklerde görülmektedir. Renk skalası 53.3- 66.8°F aralığında ölçülmüş sıcaklığı belirtmektedir.

Karaca tarafından yapılan çalışmada; yapılarda, duvar yalıtımında ısı kayıplarının ölçülmesi açısından termal kamera ile çekimler yapılmış, mevcut ısı kaçakları tespit edilmiş ve buna yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Öneriler arasında betonarme kısımlarda mantolama yapılmasına karşın ısı köprüleri oluştuğunu ve bunların giderilmesi için yalıtımı daha iyi olan daha kaliteli malzemelerin kullanılması gerektiğini belirtmiştir [57].

Xu ve Wang; yapmış oldukları çalışmada, Çin'deki binalarda enerji tasarrufuna yönelik neler yapılabileceği hakkında bir takım çalışmalar ve araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda, termal ölçümleme ile tahribatsız ve temassız yüzey sıcaklığı ölçümü yapmanın inşaat sektörü için çok büyük avantajlar sunduğu tespitinde bulunmuşlardır [58].

Snell yapmış olduğu çalışmada, kızılötesi termografinin mevcut ev ve binaların güçlendirilmesi için kullanımının potansiyel kazanımlarının çok yüksek olduğunu belirtmiştir. Snell ayrıca kızılötesi görüntüleme teknolojisini kullanan termografların iyi bir eğitime sahip olmaları gerektiğini de belirtmiştir [59].

Snell ve Spring tarafından yapılan çalışma, günümüzde bina denetiminde kullanılmakta olan birçok termal görüntüleme uygulamaları hakkındadır. Burada yapısal detayların geçerliliği, enerji performansı doğrulaması (taşıma ve hava sızması), nem fazlasının tespit edilmesi, çatılar ve cephelerdeki yapısal ve sistem bozulmaları tanımlanmıştır. [60]

Durmuş ve diğerleri; doğal taş plakaların ısı iletkenlik açısından termal kamera görüntüleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Afyonkarahisar bölgesinden çıkarılan ve yapılarda çeşitli alanlarda kullanılan bej, traverten ve andezit doğal taşının termal kamera ile ısı etkileri araştırılmıştır. İnceleme neticesinde birçok binada kullanılan bu doğal taşların ısı iletkenlik katsayılarının birbirine yakın olduğu tespitinde bulunmuşlardır [61].

Düzgün ve diğerleri; yapmış oldukları deneysel çalışmada, termal kamera görüntüleme tekniklerinin tıp alanında uygulamalarını araştırarak, hastalara zararlı bir etkisinin olmadığı, gebeliğin son döneminde %90–95 duyarlılıkla tanı koyma olanağı sağladığı, karpal tünel sendromu tanısında ve radyasyon kullanılmadığından dolayı gebelerde ideal bir tanı yöntemi olduğu tespitinde bulunmuşlardır [62]

Çalışan ve Türkoğlu, yaptıkları deneysel çalışmada, termal kamera görüntüleme tekniklerinin uygulama alanları değerlendirilerek, bir tesisin bakım faaliyetleri ile ilgili maliyetleri ve planlanmamış arıza sürecine bağlı maliyetler ve önleyici bakım görevlerini yerine getirmede termal görüntüleme teknikleri kullanıldığında, bu kaybedilen maliyetlerin büyük ölçüde azaltılabileceğini belirtmişlerdir [63]

Karakuş ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, birinci derece-gün sıcaklık bölgesi olan İskenderun'da farklı tipteki konut ve binaların termal kamera ile görüntüleri alınıp, yapılardaki nemli bölgelerde, kolon, giriş ve lentolarda oluşan ısı kayıplarının yüksek olduğu ve ayrıca balkonlara yerleştirilen kombilerin de bir miktar ısı kaybına sebep olduğu tespitine yer verilmiştir [64].

3.2. Kestirimci Bakım Uygulamaları Hakkında Genel Bilgiler

Kestirimci bakım uygulaması, makineler üzerinden, belirli periyodik aralıklar ile alınan, fiziksel parametre ölçümlerinin zaman içindeki değişim ve dönüşümlerini izleyerek, sistem durumu hakkında kullanıcıya belirleyici tahminlerde bulunma yöntemidir [65].

“Predictive maintenance” sözcüğünün karşılığı olan kestirimci bakım 1960’lı yıllarda Birleşik Devletler enerji sektöründe geliştirilmeye başlanmıştır. Endüstride aktif olarak kullanımı 1970’li yıllara rastlamasına rağmen o yıllardaki elektronik cihazların ebat ve ağırlık sorunlarının uygulamayı zorlaştırmasından dolayı, pratik uygulamalar 1980’li yıllara kalmıştır.

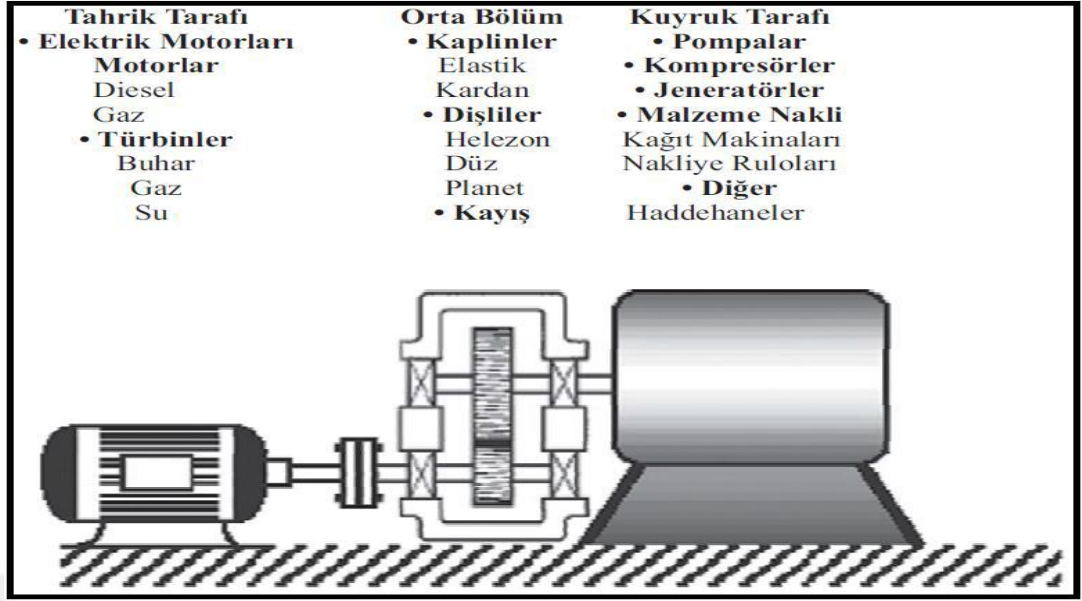
Ülkemizde uyarıcı bakım teknolojisinin aktif olarak uygulanışı 1990’lı yılların başında olmuştur. Bu uygulamalar öncelikli olarak çimento sektöründe başlamıştır [66]. Bugün çimento sektörünün büyük bir bölümü uyarıcı bakım uygulamasını ya kendi bünyesinde uygulamakta, ya da bakım uygulamaları alanında uzmanlaşmış kurumlarla çalışmaktadır. Ancak, ülkemizde daha önceki yıllarda petro-kimya, lastik gibi sektörlerde bazı basit sistemler kullanılarak çeşitli uygulamalar yapılmıştır [37].

3.2.1. Titreşim Analizi

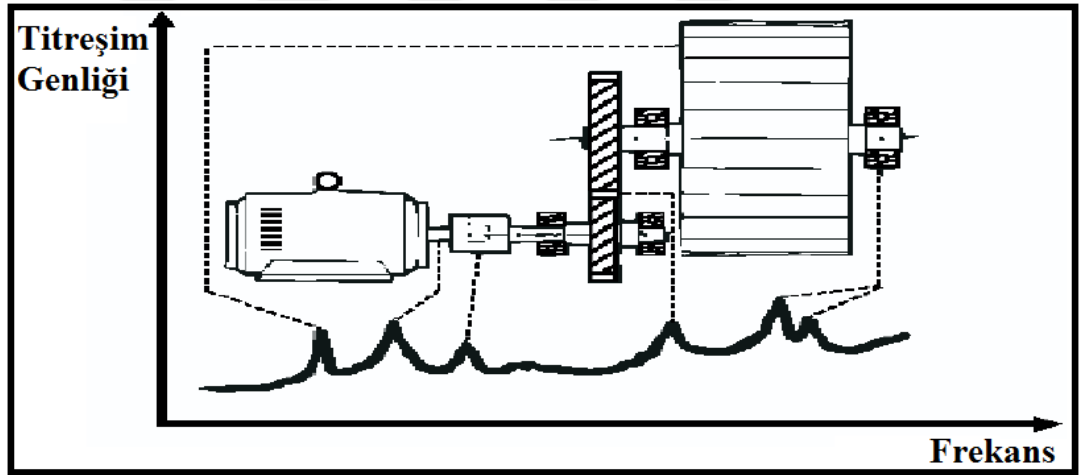
Arıza durumunda olan makinelerde normal olmayan titreşimler görülebilmektedir. Kestirimci bakım planlaması, kullanılan titreşim analizi araçları ile bu titreşimlerin nedenlerinin tespit edilmesine olanak sağlayacak verileri, parametreleri, grafikleri üretir.

Elektrik motorları, pompalar, fanlar, kompresörler, dizel motor-jeneratör grupları gibi bünyesinde belli devirde dönen bir rotor bulunduran sistemlerde ortaya çıkabilecek arızalar önceden tespit edilebilmektedir. Benzetmede bulunulacak olunursa insan bedeninde hastalık öncesi öksürük, ses tonunda değişiklikler vb. semptomlar belirirse, makineler de arıza göstermeden önce titreşim gibi arıza öncesi belirtilerde bulunabilirler.

Titreşim analizi yöntemi kullanılarak makine elemanlarında olası arızalarının belirlenmesi ile ilgili Kalyoncu tarafından yapılan bir çalışmada, mekanik sistemlerde meydana gelebilecek arızaların tespitinde titreşim analizinin kullanımından ve faydalarından söz edilmiştir. Makine veya sistemin sürekli takip edilmesi ve çalışma durumlarıyla bu çalışma şekillerinde meydana gelebilecek gelişme ve değişmelerin analiz edilmesini içeren ve yöntem olarak titreşim metodunu kullanan kestirimci bakım yöntemi incelenmiştir. Çalışmada örnek olarak, rulmanlarda meydana gelen arızalar incelenmiş, titreşim analizi yöntemi kullanılarak elde edilen veriler grafiksel olarak açıklanmıştır [67]. Şekil 3.4. te Kalyoncu tarafından yapılan çalışmada, bir motor yükleme deney düzeneğinde titreşim analizi için ölçümlerin yapılabileceği kısımlar gösterilmektedir [67].



Şekil 3.5. Titreşim analizinde kullanılabilecek bir makinede parça sınıflandırılması [20]



Şekil 3.6. Titreşim analiz sonucu alınan titreşim genliği-frekans durumları [20].

Şekil 3.6. da Engür tarafından yapılan çalışmada, titreşim analiz sonucu alınan titreşim genliği-frekans durumları gösterilmektedir [20].

Makinelerin döner kısımlarının durumları ile ilgili en ayrıntılı bilgi, yataklar üzerinden alınabilecek titreşim ölçümlerinin analizlerinden edinilebilmektedir. Tüm arızalar, oluşum özelliklerine göre değişik frekanslarda kendilerini göstermektedirler. Titreşim analizi sayesinde titreşimin, olası dişli sorunundan, balanssızlıktan, rulman arızalarından veya kaplin ayarsızlığından olup olmadığının anlaşılmasını sağlamaktadır [69].

Dönel mekanizmaların titreşim analiz yöntemi ile incelenmesi sonucunda sistem içyapılarındaki hasarlar hakkında önemli bilgilere ulaşılabilmektedir. Titreşim analizi ile elde edilen bilgiler sonucunda ilgili bakım planı yapılabilir.

Orhan ve arkadaşları tarafından yapılmış çalışmada, bilyalı ve silindirik makaralı yataklarda meydana gelen hasarların tespit edilmeleri titreşim analizi yöntemi yardımıyla araştırılmıştır. Bilyalı yatak aşınmaları, bilyalı yatak dış bilezik aşınmaları ve silindirik yatak dış bilezik aşınmaları titreşim analiz yöntemi kullanılarak başarılı bir şekilde teşhis edilmiştir. Açıkça görülmüştür ki, bilyalı ve silindirik makaralı yatak aşınmaları, dönel elemanın tipine bağlı kalmadan, benzer bir şekilde aynı yönde eğilim göstermiştir. Üstelik aşınmalar maksimum seviyeye ulaştığında, bilyalar kendi yüzeylerini de aşındırmakta ve yüksek frekans genlik değerlerinde genel bir azalma eğilimi göstermektedir. Bu aşamadan sonra yataklarda arıza durumuna geçmeden önce çalışma süreleri boyunca zaman zaman titreşimler görülmektedir [70].

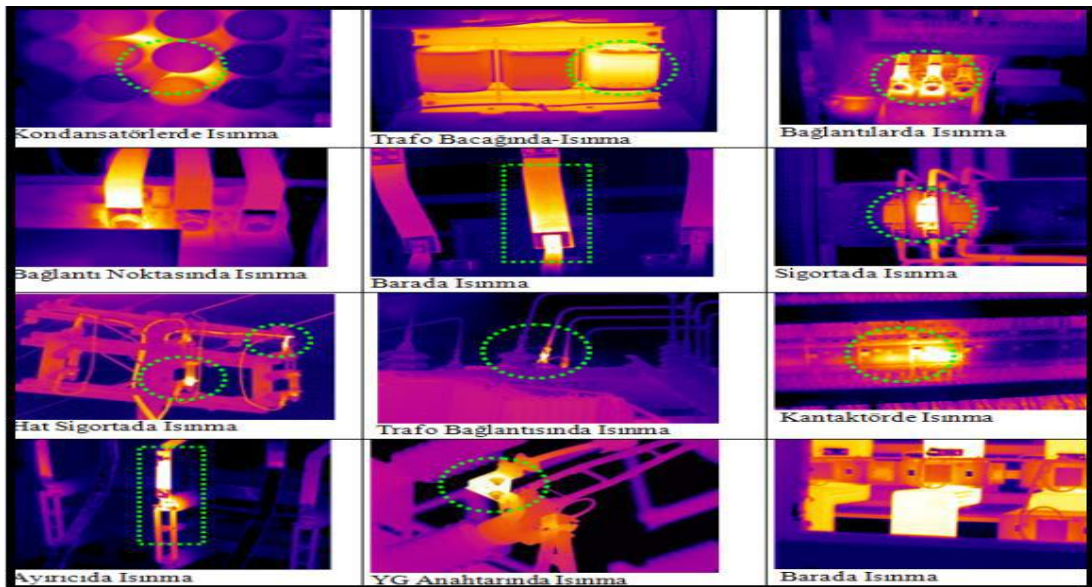
3.2.2. Termal Kamera Analizi

Termal kamera analizleri için alınacak ölçümler, tesislerin mekanik ve elektrik sistemlerinde yapılmakta olup ölçüm sırasında sistemi durdurma gibi herhangi bir müdahale söz konusu olmamakla beraber, ölçüm esnasında sistem normal olarak çalışmasına devam etmektedir. Mekanik ve elektriksel sistemlerde termal kameranın bakım amacıyla kullanılması düşük maliyetli etkin bir Kestirimci/Koruyucu Bakım sağlamanın yanı sıra, sistemde oluşabilecek potansiyel tehlikeleri belirleyerek yangın gibi riskleri azaltmakta böylece daha emniyetli şartlar sağlamaktadır. Tesislerin elektrik ve mekanik sistemlerinde uygulanan termal kamera ölçümleri, normal olarak görülmesi mümkün olmayan olası problemli elemanların anlık olarak kolayca tespit edilmesini sağlayarak istenmeyen sistem aksamalarının önüne geçilmektedir. Bu durum, sistem bakım planlamasının daha iyi yapılmasını sağlayarak üretim veya sistem performans kayıplarının azalmasını sağlamaktadır.

Sistemin yeni kurulmuş olması problemsiz olduğu anlamına gelmemektedir. Termal kamera analiz yöntemiyle alınacak ölçümlerle sistemde mevcut bulunabilecek aşınmış noktaların, zayıf bağlantı noktalarının, yalıtım kaçaklarının, kırık ve çatlakların, yağlama hatalarının ve sonradan problem teşkil edebilecek bölgelerin tespiti sağlanabilmektedir.

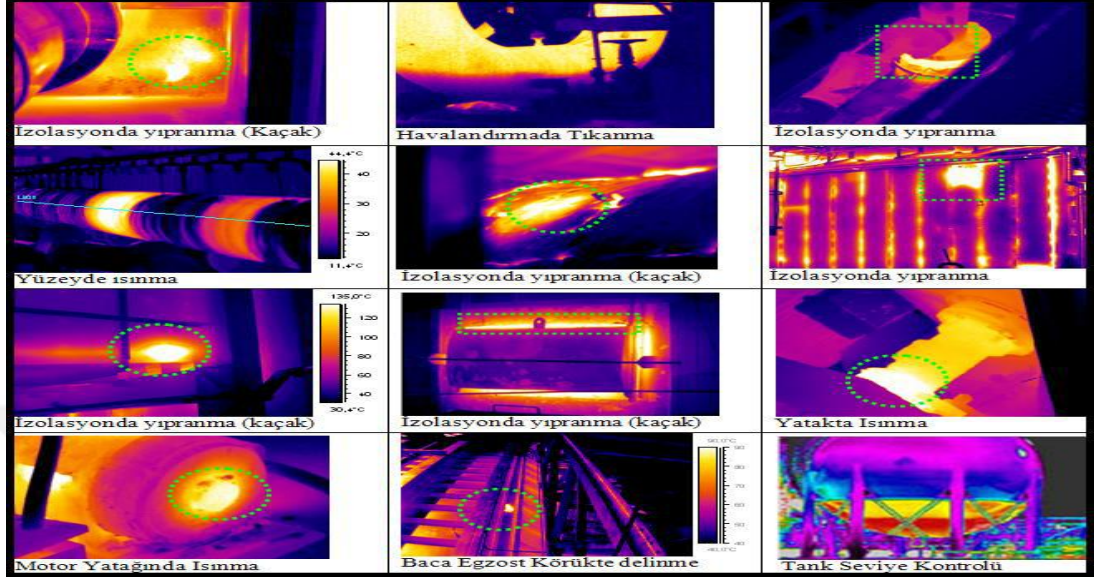
Ayrıca termal kamera ölçümü ile sistemdeki muhtemel enerji kayıplarının mevcut olduğu noktalar da tespit edilerek önemli oranlarda enerji tasarrufu da yapılabilmektedir. Kullanılan termal kamera, fonksiyon ve özelliklerine göre yapılan hassas termal kamera ölçümleri, uygulamada kolaylık ve sağladığı ekonomik yararlar ile hatırı sayılır bir kontrol ve denetim mekanizmasıdır. İşletmelerde alınabilecek termal kamera ölçüm noktaları elektrik panoları, enerji kabloları, transformatörler, şalterler, pompa ve motorlar gibi bölgeler ve sistem elemanlarıdır. Ayrıca motor yataklarında, vanalarda, buhar hatlarında, fırın yüzey ve kapaklarının ısı değerlendirilmesinde, bina ve çatıların yalıtım kontrolleri gibi birçok alanda da kullanılabilmektedir. Aşağıda bazı alanlarda uygulaması yapılmış örnek termal kamera görüntüleri gösterilmektedir [65].

Jadin ve Taib tarafından yapılan çalışmada elektrik sistemlerinde, termal kamera ile alınan ölçümler ve bu ölçümler sonucunda sistem bileşenlerinde tespit edilen anormallikler incelenmektedir. Çalışmada ekipman arızalarının anlaşılabilmesi için yapılan tüm faaliyetlerde en büyük verimliliğin termal kamera analizi ile sağlandığı vurgusuna değinilmiştir. Kompleks yapıdaki sistemlerde, sistemi oluşturan tüm ekipmanların ayrı ayrı kontrolü ve her ekipmanın tüm özellikleri kontrol altında tutulabildiğinden dolayı termal kamera ile analiz yönteminin daha da ön plana çıktığını belirtmişlerdir. Teknolojik gelişmelerle beraber, daha gelişmiş sistem kullanılarak daha da kompleks sistemlerin kaliteli bir şekilde kontrolleri yapılabilmektedir. Yüksek kalitede sistematik bir termal görüntüleme oluşturularak, birçok ekipmandan oluşan kompleks sistemlerin tek bir görüntüleme sayesinde detaylı olarak kontrol altında tutulabileceğini belirtmişlerdir [67].



Şekil 3.7. Bazı elektriksel sistemlerin örnek termal kamera görüntüleri [67].

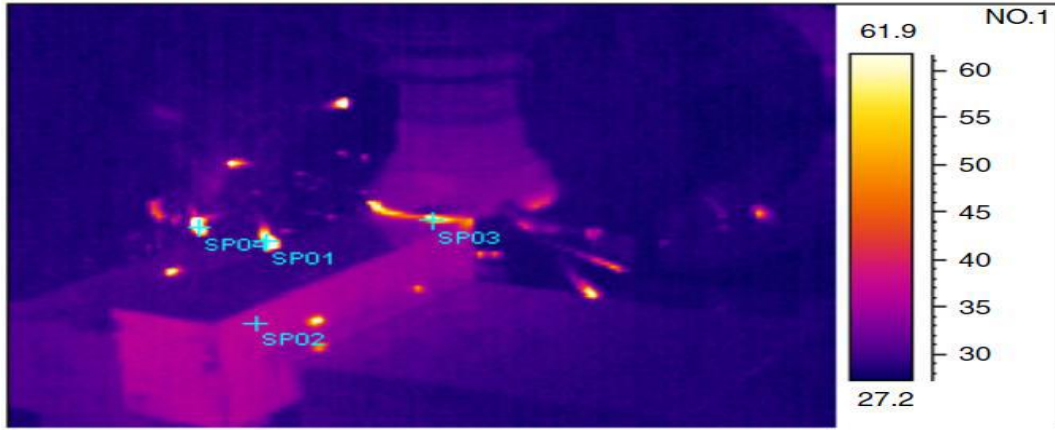
Şekil 3.7. de Jadin ve Taib tarafından yapılan çalışmada, bazı elektriksel sistemlerin örnek termal kamera görüntüleri verilmektedir [67].



Şekil 3.8. Bazı mekanik sistemlerin örnek termal kamera görüntüleri [67].

Şekil 3.8. de Jadin ve Taib tarafından yapılan çalışmada, bazı mekanik sistemlerin örnek termal kamera görüntüleri çekilmiş ve gösterilmiştir [67].

Sistemde beliren herhangi bir arıza daha fazla büyümeden veya arıza kaynaklı sistem aksamaları oluşmadan önce kestirimci bakım yöntemleriyle tespit edilen arızalar sistem performansına yönelik önemli getiriler sağlamaktadır. Kok Kiong ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, faal, kapalı sistem makine elemanlarında termal kamera kullanılarak görüntüleme ile izleme çalışmaları yapılmıştır. Frezeleme işlemi sırasında, freze işleminin optimum hızı ve optimum talaş kaldırılması çalışmasının belirlenebilmesi üzerine yapılan çalışmada termal kamera görüntüleme tekniği kullanılmıştır. Şekil 3.9. da Kok Kiong ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, freze işlemi sırasında kaydedilen sıcaklık noktaları gösterilmektedir [71].



Şekil 3.9. Freze işlemi sırasında kaydedilen sıcaklık noktaları [71].

Kok Kiong ve arkadaşları çalışmalarında, frezeleme işlemi başlangıcından sona erinceye kadar geçen süre zarfında SPO noktalarının sıcaklık değerlerini kayıt altına almışlardır. Alınan kayıtlarda farklı hız ve paso kalınlıkları karşılaştırılmış ve optimum paso kalınlığı ile optimum freze hızı tespit edilmiştir [71].

Güç kullanan veya ileten hemen hemen bütün ekipmanlar arızalanmadan önce ısınıp infrared enerji yaymaktadırlar. Belli mesafeden temassız olarak ölçüm yapabilen termal kameralar, cisimlerden yayılan bu infrared enerjiyi algılayarak elektronik sinyale dönüştürdükten sonra, çıktı olarak kamera ekranında termal görüntü şeklinde resimlemektedirler [72].

3.2.3. Yağ Analizi

Kestirimci bakım yöntemlerinin önemli bir kolu olan yağ analizleri, bünyesinde yağlama yağı bulunduran mekanik sistemlerin, iş makinelerinin ömrünü ve verimliliğini arttırmak, bakım giderlerini azaltmak ve bunun için harcanan zaman kaybını önlemek için kullanılan ve yaygın bir uygulama sahası bulunan kestirimci bakım programıdır. Yağ analiz yöntemi ile kullanılmış yağlar; motor, şanzıman, diferansiyel, cer ve hidrolik sistem yağlarında test uygulanabilmektedir. Bu testler, sadece yağların durumları hakkında değil, daha çok iş makineleri ve motorlarda durum değerlendirmesi yapmak üzere geliştirilmiştir. Kestirimci bir bakım programında sağlanacak başarı, kullanıcıya getirdiği ekonomik getirilerle ölçülebilir. Yağ analiz yöntemlerinde; uygulamanın ucuz, sonuç almanın çabuk ve kolay olmasının yanında, aynı zamanda çok önemli tasarruf da sağlanabilmektedir. Yağ analizi uygulaması, sistemde kullanılan yağların orijinallliği, filtrelerin yüksek performans özellikleri ile birleştiğinde makineler için mümkün olabilecek en iyi bakım programının

uygulanabilmesi sağlanabilmektedir. İyi uygulanmış bir yağ analiz programı, tıpkı bir kan tahlilinde olduğu gibi, makine ve motorların içinde neler olduğunu görmenin hızlı, kesin ve güvenilir bir yoludur. Böylece sistemde büyük arızalar oluşmadan önce erken uyarı yapılabilir. Bünyesinde yağlama yağı bulunduran her sistemde (motor, hidrolik, şanzıman vb.), normal çalışma sonucu makine ekipmanları kaynaklı aşınma elementleri meydana gelmektedir. Sistem yağında uygulanacak aşınma elementleri analizi ile üniteye meydana gelebilecek arıza ve aksaklıklar daha oluşmadan önce problemin kaynağı tespit edilebilmektedir. Aşınma elementleri analizlerinde yaklaşık 10 µ büyüklüğündeki parçacıklar tespit edilebilmektedir. Yağ analizleri yapılırken genel olarak 8 elementin varlığı değerlendirilmektedir. Bunlar; bakır, demir, krom, kurşun, alüminyum, molibden, silikon ve sodyumdur. Toz girişinden kaynaklı silikon ve su girişinden kaynaklanan sodyumun varlığı dışındaki tüm elementler, motorların genel malzeme yapısında bulunmaktadır. Numune içinde bulunabilecek bazı elementler de, sistem içindeki ekipman aşınmasından ziyade, yağ katkı maddeleri kaynaklı da olabilmektedir [73].

Yağ durum analizi; yağdaki deformasyonu izleyerek, sistem ekipmanlarında oluşabilecek hasarın önüne geçilmesini sağlar. İnfrared ışını kullanılan özel bir cihazda, referans olarak kullanılacak temiz yağ numunesi incelenip veriler kaydedilmekte ve bu referans bilgileri ışığında yeni yağ ile kullanılmış yağ arasındaki farklılıklar karşılaştırılmaktadır [73].

Yağ durum analizi ile oksidasyon, kurum, nitrasyon ürünleri ve sülfür ürünleri (asitleri) tespit edilebilmektedir. Bununla beraber incelenen yağ numunesinde su, yakıt ve antifriz karışması da belirlenebilmektedir. Yağ durum analizi yapılarak, kullanım sırasında yağda oluşan deformasyon ve bu süre içinde spesifikasyonlara uygunluğu saptanabilmektedir. Böylelikle meydana gelebilecek büyük boyuttaki arızalar engellenerek ekonomik yönden ve zamandan tasarruf sağlanmaktadır [73].

Yağ analizleri; meydana gelebilecek problemleri erken teşhis etmekte, böylece olası bu problemler daha büyük aksaklıklara meydan vermeden onarılabilir. Sistemdeki muhtemel arızanın önceden tespit edilebilmesi, onarım giderlerinin azaltılması ve sistemin durdurulmasıyla oluşacak zaman kaybının minimize edilebilmesi için sistemde kullanılan yağdan alınacak numunelerin belli periyotlar dahilinde alınması gerekmektedir. Tüm bunların yanında, sistemden alınacak tek bir yağ numunesiyle bile, dış ortamdan sisteme olan aşırı toz girişi, yağa muhtemel yakıt veya su karışması gibi önemli problemler tespit edilebilmektedir [73].

4. YAĞLAMA

4.1. Yağlayıcı

İki cismin temas yüzeyleri ne kadar hassas işlenirse işlensin birbirleriyle temas halindeyken mikroskopla incelendiklerinde aralarında birçok girinti ve çıkıntının var olduğu görülmektedir. Birbirleri üzerinde kayma gerilmelerine maruz bırakılan bu cisimlerin, bu girinti ve çıkıntılar nedeniyle harekete karşı bir direnç oluşturdıkları görülmektedir. Oluşan bu direncin etkisiyle ısı enerjisi meydana gelerek cisimlerin kristal yapılarında da deformasyonlara neden olmaktadır. Dolayısıyla cisimlerin hareket etme kabiliyetlerinde azalma oluşacağı gibi malzeme yapılarında da ağır tahripler oluşmaktadır [74].

Birbiriyle temas halinde olan iki katı cisim arasında yüzey pürüzlülüğünden dolayı oluşan sürtünmelerin azaltılarak hareket kolaylığının sağlanması için kullanılan maddelere **yağlayıcı** denmektedir. Yağlayıcılar bu işlevlerini bulundukları yüzeylere tutunup asılı kalarak, sürtünen yüzeyler arasında bir film tabakası oluşturup yüzeyler arası kayganlaşmayı sağlayarak gerçekleştirmektedirler. Bir başka ifadeyle; yağ filmi çok küçük büyüklükteki girintileri doldurarak bir tür dolgu görevi yaparken, çıkıntılar arasına girerek sürtünen parçaları birbirinden ayrı tutmaktadır. Böylelikle kuru sürtünme önlenerek, sıvı sürtünmesine olanak tanınmaktadır [74].

4.2. Yağlamanın Amacı

Kürecikler halinde moleküler yapılardan oluşup metal yüzeylerle temas eden yüzeylerin oluşturduğu çekim kuvvetine ya da sıvının katı cisme yapışma özelliğine **adhezyon**, yağ küreciklerinin kendi aralarında oluşturdıkları çekim kuvveti ya da herhangi bir maddeyi kendi iç yapısında bir arada tutan iç kuvvet ise **kohezyon** şeklinde adlandırılmaktadır. Adhezyon ve kohezyon kuvvetlerin etkisinde yağlayıcılar, metal malzemelerin mikro yapıdaki girinti ve çıkıntılardan oluşan yüzeylerinde bir film tabakası oluştururlar [75]. Adhezyon ve kohezyon kuvvetler etkisinde metalik yüzeyler üzerinde ince bir yağ filmi oluşturan yağlayıcılar bu sayede yüzeyler arasında yayılım ve yapışma özelliği göstererek malzemeyi yağlama görevinde bulunurlar.

Yağın viskozitesinde meydana gelen azalma yağ filminin incelmesine yol açmaktadır. Sistemdeki aktif çalışmayla sistem yükünün incelen yağ katmanı üzerindeki aktivitesi devam etmekte ve gittikçe incelme eğilimindeki yağ filminin metalik yüzeyler arasındaki sürtünmeleri karşılayamamasına bağlı olarak malzeme yüzeylerinde sürtünmeye bağlı aşınma ve kopmalar oluşabilmektedir [76].

Yağlayıcıların, sistemdeki hareketli parçaların yağlanması yanında, sürtünme kayıplarıyla oluşabilecek aşınma ve kopmaları önlemek, karbon artıklarının birikmesini önlemek, aşırı piston ısınmalarının önüne geçilmesi gibi sistemde ulaşılan elemanlarda soğutmanın sağlanması, yanma sırasında meydana gelen asitlerin etkisizleştirilmesi ve oluşturabilecekleri aşınmaların bertaraf edilmesi gibi görevleri de bulunmaktadır [76].

Yapılan araştırma ve deneysel çalışmalar göz önüne alındığında sistem içindeki yağlayıcı kayıplarının yaklaşık % 25-30'unun egzoz supap mekanizması içinde gerçekleştiğini, % 70-75 oranındaki geriye kalan büyük kısmın ise silindirlerdeki yanma sürecinde gerçekleştiğini ortaya çıkarmaktadır [77]. Ayrıca egzoz zamanı başlangıcında yanma odası basıncı düşmesiyle beraber yağlama yağı yanma sonu gazları ile karışıp yanma odasında kalmaktadır. Bununla beraber yağlayıcının bir kısmı egzoz supapları kapanmadan önce supap yolunda kalmakta ve hem silindir içerisinde kalan yağ miktarında azalmaya hem de bununla beraber egzoz sisteminde yanmamış hidrokarbon varlığına sebebiyet vermektedir. Pistondaki üst kompresyon segmanı da pistonun yukarı doğru hareketi sırasında üst segman üzerinde bir miktar yağlayıcı birikmektedir. Pistonun aşağı doğru hareketinde ise kompresyon segmanı yağın eksenel yönde silindir yüzeyine yapışmasına sebep olmakta ve böylece segman üstündeki yağ birikimi silindir temas yüzeyinde ince bir film tabakası oluşturmaktadır. Bu birikme miktarının fazla olması neticesinde, çok miktarda yağlayıcı yanma sonu gazlarına karışmaktadır [77].

Kullanım amaçları göz önünde bulundurulduğunda ideal bir yağlayıcıdan beklenen özellikler şöyle sıralanabilir [74, 76]:

- Silindir gömleği ve segmanlardaki aşınmaların önlenmesi amacıyla silindir gömleği yüzeyinde gerekecek yeterli ve kaliteli bir yağ film tabakasının oluşturulması,
- Segmanların yuvalarında sıkışıp yapışmalarına sebep olabilecek atıklar oluşturmamak,

- Motorda yağlayıcının dolaşımı sırasında, piston ve yataklar gibi soğutucu akışkanın ulaşamadığı sıcak noktalara soğuk yağ partiküllerini taşıyarak soğutma görevi yapmak,
- Karter ve yanma odası arasında conta görevinde bulunarak piston-segman ile silindir duvarları arasından gaz kaçışını önlemek,
- Piston üst ve alt kısımlarında karbonumsu atıklar bırakmamak,
- Silindir iç yüzeyi ve supaplarda yapışkan atıklar bırakmamak,
- Oluşabilecek yatak aşınmalarının azaltılmasına katkıda bulunmak,
- Tüm yağlama devresi boyunca sistemi temizlemek, sürtünme yüzeylerinden mekanik olarak koparak ayrılan parçacıkları kartere taşıyıp depolamak,
- Uzun kullanım süresi için gereken özelliklere sahip olmak,
- Değişken sıcaklık değerlerinde meydana gelebilecek yapısal bozunumların önlenmesi amacıyla, yüksek termal dayanıma sahip olmak,
- Tüketime yönelik ekonomik özelliklere sahip olmak,
- Yanma sonunda motorda oluşan ani darbeleri sönümleyerek parçaların zarar görmelerini önlemek.

4.3. Yağlayıcılarda Kullanılan Katkı Maddeleri

Motor yağlarına koruyucu, viskozite indeksi geliştirici, pas önleyici, temizleyici, aşınma önleyici, oksidasyona karşı koruyucu, köpükleşme önleyici gibi nitelikler kazandırılması amacıyla ortalama % 10-15 oranında eklenen ve böylelikle elde edilen yağlayıcıların fiziksel ve kimyasal yapı ve özelliklerinin, yağlama elemanında arzu edilen seviyeye gelmesini sağlayan maddelere **katkı maddeleri** adı verilmektedir [78]. Katkı maddeleri, sistemde kullanılacak yağlayıcının mevcut niteliklerini arttırmak amacıyla eklenmektedir. Yağlama yağından beklenen performans kriterlerine göre, yağlama yağına katılacak katkı maddelerinin nelerden oluşacağı ve hangi miktarda katılacağı belirlenmektedir.

Yağlayıcının kullanım yeri ve kalitesi, yağlayıcıda bulunması istenen katkı maddesini belirlemektedir. Kullanılacak katkı maddeleri, çeşitli test ve analizlerle tespit edilebilen çok sayıda kimyasal bileşen ve elementi bulundurmaktadırlar [79].

Motor yağlarında kullanılan katkı maddelerinin görevleri en genel haliyle üç maddeye ayrılabilir [74]:

- Yağlayıcı elemanın fiziksel özelliklerini geliştirmek veya onlara yeni özellikler kazandırabilmek,
- Yağlayıcı elemanın özelliklerini, kimyasal olaylara ve bozulmalara karşı koruyabilmek,
- Yanma ürünlerinin zararlı etkilerinden motor parçalarını koruyarak aşınma ve korozyon oluşumunu önlemek.

Yağlayıcılarda kullanılan katkı maddelerinin büyük kısmı, özellikle oksidasyon önleyiciler, viskozite geliştiriciler, köpükleşme önleyiciler, dağıtıcılar organik moleküler yapıda bulunmaktadır. Bu yapılar ise bünyelerinde karbon, oksijen, hidrojen, nitrojen veya sülfür bulundurmaktadırlar [80]. Tablo 4.1. de yağlama yağlarında spektral analiz yöntemiyle tespit edilebilen bazı elementler tablo halinde verilmektedir [79, 81, 82]. Genel olarak makinelerde kullanılan örnek bir yağlayıcı katkı maddesinin % 60 oranında dağıtıcılar, % 21 oranında deterjanlar, % 10 oranında aşınma önleyiciler, % 4 oranında sürtünme azaltıcılar, % 3 oranında oksidasyon önleyiciler, % 1'inde akma noktası düşürücüleri diğer % 1'inde ise pas ve köpük önleyiciler ile korozyon önleyiciler bulunmaktadır [78].

Tablo 4.1. Yağlama yağlarında spektral analiz yöntemiyle tespit edilebilen bazı elementler [79, 81, 82].

Katkı Maddesi	Spektral Analiz Yöntemiyle Tespit Edilebilen Bazı Elementler
Deterjanlar	B, Ba, Mg, Na, Ca
Dispersanlar	Ba, Ca, Mg, Na
Oksidasyon önleyiciler	Zn, Cu
Aşınma önleyiciler	Zn, Pb, Cu, P
Sürtünme azaltıcılar	Zn, Mo
Köpükleşme önleyiciler	Si

4.3.1. Deterjanlar ve Dağıtıcılar

Genellikle dizel ve benzinli motor yağlarında kullanılan deterjanlar, sistem içerisinde oluşabilecek kalıntıların kontrol edilebilmesi için katkı malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Sistemde oluşmuş zararlı atıkların sistemden atılıp nötrleştirilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca yağlama yağının temas ettiği metal yüzeylerde, yüzeyi bir tabaka gibi kaplayarak çamur ve lak gibi kalıntılara karşı koruma sağlamaktadır. Yağdaki dağıtıcı katkı maddeleri de polar başlıklı hidrokarbon zinciri yapılarıyla, yağlama yağında

oluşabilecek tortu ve lak gibi yapılaşmaları absorbe ederek reaksiyona girmelerini ve daha fazla gelişmelerini önlemektedir [80].

4.3.2. Antioksidanlar

Oksidasyon önleyiciler, sistem içerisinde yüksek sıcaklıklarda çalışan yağlama yağının oksitlenmesini azaltıcı yönde etki göstermektedir. Sistem aktivitesi neticesinde oluşan yanma sonu ürünleri, yağlama yağında kalınlaşmaya neden olarak yağlayıcılığı azalttığından, yanma sonu ürünlerinin meydana getireceği bu yağ kalınlaşmasıyla beraber asitleşmeyi bertaraf etmek için yağlama yağına katılmaktadırlar.

4.3.3. Anti-aşınma Katıkları

Sistem içerisinde temas ettikleri yüzeylerde, hareket halindeki elemanların birbirine uyguladığı basınç neticesinde oluşacak ezilmeleri önleyerek yüzey korunumu sağlamakta ve yağlama yağının yük taşıma kabiliyetini desteklemektedirler.

4.3.4. Viskozite İndeksi İyileştiricileri

Sistemin çalışması neticesinde ortaya çıkacak değişken ve yüksek sıcaklıklarda yağlama yağının viskozite kararlılığının sağlanabilmesi amacıyla yağlama yağına eklenmektedir. Düşük sıcaklıklarda yağlama yağının kendi viskozite altyapısı devredeyken, yüksek sıcaklık artışıyla beraber yağlama yağındaki viskozite istikrarını viskozite indeksi iyileştiricileri ayarlamaktadırlar.

4.3.5. Akma Noktasını Düşürücüler

Akma noktası düşürücüler özellikle düşük sıcaklıklarda yağlama yağında oluşan ve yağın akışkanlığını engelleyen reçinemsi yapının azaltılarak, düşük sıcaklıklardaki yağların akışkanlıklarını arttırmaktadır.

4.3.6. Köpüklenmeyi Önleyiciler

Sistem çalışması sırasında oluşan çalkantılarda veya herhangi bir nedenden dolayı oluşan köpürmeleri önlemek için yağlama yağına katılmaktadırlar. Köpük oluşumunu yağ yüzeyinde gerilimi azaltıp yağlama yağındaki hava kabarcıklarının yağ ortamından uzaklaşmasını sağlayarak kontrol altında tutmaktadırlar.

Ayrıca yağlama yağlarında mantar ve bakteri oluşumunun önlenmesi, yağın metale yapışıp tutuculuğunun artırılması ve yağda buharlaşmanın önlenip yağ eksilmelerinin önüne geçilebilmesi için de yağ katkı maddelerinden yararlanılmaktadır [82].

4.4. Yağlama Yağlarının Eskimesi ve Kullanılmış Yağ Analizleri

4.4.1. Yağlayıcılarda Eskime

Sistemde kullanılan yağlayıcı elemanın süreç içerisinde yapısal değişikliğe uğraması, dış ortam etkisi ile veya sistemin kendi aktiviteleri neticesinde yağlayıcı yapısında oluşturabileceği değişiklikler şeklinde açıklanabilmektedir. Bunlar; yağlayıcının okside olmasıyla yapısında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişiklikler ve dış etkenlere bağlı olarak toz, yakıt, su, kir ve aşınma maddelerinin yağa karışması sebebiyle yağlayıcının deforme olması şeklinde görülebilmektedir.

4.4.1.1. Oksidasyon

Uzun süreli sistem çalıştırmalarında yağlayıcı elemanda bazı istenmeyen değişiklikler olabilmektedir. Bunların içinde oksidasyon önemli bir yere sahiptir. Oksidasyon, yağın hizmet ömrünü ve yağlama kalitesini azaltan en önemli faktör olup reaksiyon zincirleri neticesinde oluşmaktadır.

Yüksek sıcaklıklara maruz kalan yağlayıcı hidrokarbon zincirinden hidrojen atomlarının ayrılmasıyla organik peroksit formu oluşmaktadır. Organik peroksitin dış ortamdan gelen oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu serbest durumda diğer peroksit yapıları oluşmaktadır. Kimyasal olarak oksidasyon, peroksit veya hidroperoksit oluşumlarıdır. 150 - 200°C gibi sıcaklıklarda sıvı halde hidroperoksit ve peroksit oluşumlar alkol, keton gibi diğer asidik bileşenleri oluşturmaktadırlar. Daha sonraki safhalarda bu

organik bileşenler daha fazla oksidasyonla kendi aralarında tepkimeye girerek yüksek moleküler ağırlıktaki vernik ve çamur gibi polimer oluşumlara neden olmaktadır. Sıvı fazında bu hidrokarbonların varlığı oksidasyon sürecinde önemli bir etki oluşturmaktadır. Yağlayıcıda meydana gelen bu durum, yağla temas halinde bulunan demir, bakır, çelik gibi metallerin yüksek oranda ısı tepkimeye girmesine neden olmakta ve neticesi oksidasyon olan, metal yüzeyler üzerinde asit ve oksit tabakasının oluşumuna sebep olmaktadır [83].

Oksidasyonun ilerleyen safhalarında zincirleme reaksiyonlar neticesinde mevcut polimer oluşumların ve oksit yapıların daha fazla tepkimeye girmeleri sonucu daha yüksek moleküler ağırlığa ve partiküler boyuta ulaşan yağda çözünemeyen yapılar meydana gelmektedir. Yağlayıcının kimyasal yapısı üzerinde sıcaklığın önemli etkisi bulunmaktadır. Yağlama elemanı, sistemde temas halinde bulunduğu aksamalara ait yüzeylerde oluşacak sıcaklık artışından önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu durum yağlayıcı elemanın deformasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklık, yağın kalınlaşmasında önemli bir etkidir ve organik tortu ve birikintilerin oluşmasına neden olmaktadır [84].

Bu oluşumların önemli bir kısmını çamur ve lak birikimi oluşturmaktadır. Yağlayıcı elemanda oksitlenme neticesinde çamurlaşma meydana gelmektedir. Yağlayıcı, kimyasal yapı bakımından hidrojen ve karbonlu hidrojenlerden oluşmasından dolayı, karbonlu hidrojenlerin hava içerisinde dağılmasıyla havadaki hidrojen ile yağlayıcı eleman arasında meydana gelen kimyasal tepkime sonucu oksitlenmiş karbonlu hidrojenler oluşmaktadır.

Oksitlenmiş karbonlu hidrojenler, yağ deposunda veya karterde görülen çamur birikintisi tabakasını oluşturmaktadır. Bu oluşumu tetikleyerek hızlanmasını sağlayıcı olarak, silindir gömleği ile piston arasında sızdırmazlığı amaçlayan piston segmanlarındaki aşınma neticesinde kartere egzoz gazının sızması görülmektedir. Bu sırada yanmamış bir miktar yakıt ve kurum da kartere geçebilmektedir. Karterdeki yağlama yağının da bu sızıntı maddelerle birleşmesi çamurlaşma olayını hızlandırmaktadır. Dolayısıyla silindirlerdeki yanma mekanizmasının yeterli olmayışı, karterde çamurlaşma olayının artmasına zemin hazırlamaktadır [76]. Bununla beraber sistemde dolaşan yağlayıcı eleman, yapısındaki birikinti ve tortular nedeniyle yağlayıcı kanallarında tıkanıklığa ve sistemdeki aşırı sıcaklığın, ekipmanın ısı transfer yüzey alanının azalmasına paralel olarak uzaklaştırılamamasına yol açmaktadır.

Polimerize olmuş maddelerin birikiminden oluşan lak, sıcak yüzey üzerinde ince bir tabaka halinde bulunan yağlayıcı katmanın oksitlenmesi sonucu meydana gelmektedir.

Blow-by olarak tanımlanan bu oluşumun nedeni pistonun genişleme stroku sırasında bir miktar yanmış gazın silindir içine sızarak iç cidar yüzeyinde bulunan yağ tabakasına yapışması ve yağın kirlenmesine sebep olmasıdır. Bir diğer adı da vernik olan laklar, motorda piston eteğine yerleşen, yapısında %10-20 arası oksijen bulunan, motor parçalarının birbirine yapışmasıyla hareket kabiliyetlerini azaltan plastik benzeri oksiasitlerdir [85].

Yağlayıcıdaki oksidasyon oluşumu, yağın içinde bulunan antioksidant özellikteki katkı maddelerinde de azalmaya sebep olmaktadır. Ayrıca yakıtın yanması sonucu oluşan asidik bileşenler de yağlayıcı elemanda kirlenmeye neden olmaktadır. Önlem alınmadığı takdirde artmaya devam eden bu asidik bileşenler, metal iç yüzeylerinde hızla koroziye oluşumlara neden olabilmektedirler. Alkaline yapıdaki katkı maddeleri ile bu asidik oluşumlar nötralize edilip oluşacak koroziye oluşumlar minimize edilebilmektedirler. Katkı maddelerindeki alkalinite özellikli bileşenlerde tespit edilecek azalma miktarı, yanma sonucu oluşan sıcak gazların yağlayıcıyla tepkimeye girmesi sonucu meydana gelen asit oluşumunun hangi oranda katkı maddesinde azaltmaya sebep olduğunun anlaşılmasında dikkat edilmesi gereken bir olgudur. Çözünemeyen oksidasyon ürünlerinin yağlayıcı eleman konsantrasyonundaki artışı daha fazla yağ bileşeninin kaybolmasına ve viskozitede artışa sebep olmaktadır. Metal yüzeylerde meydana gelen koroziye oluşumlardaki artış, hidrokinamik akış bölgesinden yağlamanın sınır değeri değişimin başladığı noktaya kadar viskozitede azalmaya neden olmaktadır [84].

4.4.1.2. Dış Etken Kaynaklı Kirlenme

Yağlama elemanında dış etkenlere bağlı olarak bulunabilecek yakıt, toz, kir, su ve metal partiküllerde, yağlayıcının kirlenmesinde dikkate alınması gereken önemli unsurlardandır.

Kullanılmış yağlama yağı, bu şekilde kirlenme sonucunda içerisinde asılı olarak belli oranlarda katı partiküller oluşumlar içerebilmektedir. Bu partiküller birikimler, çamurlaşma ve lak oluşumuna zemin hazırlayabildiği gibi kimyasal tepkimeler sonucunda oksidasyonu arttıracak bir durum olarak asidik oluşumlara da sebep olabilmektedir. Sürekli bir şekilde yağlayıcı elemanla temas halinde bulunan piston, silindir gömleği ve segmanların iç ve dış etkenler yoluyla kirlenen yağlayıcıyla yağlanmaları, kendi metal yüzeylerinde sürtünmenin

artmasıyla deformasyonlara, dolayısıyla sistem çalışmasının olumsuz yönde etkilenmesine yol açabilmektedir [1].

Özellikle dizel makinelerde yanma veriminin düşük olmasıyla beraber kurum oluşmakta, yağlayıcı elemanla temas haline geçen kurum yağın viskozitesinde artışa neden olup çamur ve lak oluşumuna sebep olmaktadır. Yağlayıcıdaki bu istenmeyen durum katkı maddelerinin işlevlerini gerçekleştirmelerini önemli ölçüde engellemektedir. Oluşan kurum yapısallığı itibariyle metal yüzeylerde aşınma ve çizilme oluşturabilecek şekilde kazıyıcı formda da olabilmektedir. Kısmen yanmış yakıtın çözünmeyen artıkları olan kurum oluşumunun en önemli nedeni motordaki yanma veriminin kaliteli olup olmamasından kaynaklanmaktadır. Yanma olayının kalitesiz olması daha fazla kurum oluşumuna sebep olmaktadır [82].

Miktarı ne kadar olursa olsun, su ve nemin varlığı anormal olarak kabul edilmektedir. Su, yağlayıcının yağlama özelliklerini etkilemekle birlikte sonraki aşamalarda oksidasyon ve pas oluşumuna sebep olarak metal yüzeylerde aşınmayı hızlandırmaktadır [82].

5. YAĞLAYICI ANALİZLERİ

Yağlayıcı elemanlarda yapılan analizler, uygun yöntemlerle alınmış ve yağlayıcının bütününe temsil edebilecek yeterli miktarda numunenin, fiziksel, kimyasal ve tribolojik özelliklerinin tespit edilebilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Yağlayıcı analizi ile makine sistemine ait kısımların halihazırda ve gelecekteki durumları hakkında fikir sahibi olabilme amacı hedeflenmektedir. Yağlayıcı eleman içindeki çeşitli madde oranlarının değişimini tespit edebilmek, makinenin optimum çalışmasının devam ettirilebilmesi, oluşabilecek muhtemel aksaklıkların minimize edilebilmesi açısından gerekmektedir. Böylece öngörülemeyen sistem aksaklıklarının oluşturabileceği yüksek maliyetin ve aksamalarda geçecek faydalı zamanın önüne geçilmesi hedeflenmektedir [1].

5.1. Viskozite

Yağlayıcı karakteristiği bakımından önemli parametrelerden birisi olup en basit tanımlamayla yağlayıcının akmaazlığı ya da akışa karşı gösterebildiği direnç olarak tanımlanır. Teknik olarak bakılacak olursa, biri hareketsiz diğeri sabit hızla hareket eden belirli iki düzlem arasındaki akışkan hızının, yüzeyler arasındaki kayma sonucunda aşamalar halinde azalış göstermesi ve hareket eden yüzeydeki hareketin sırayla sonraki tabakalara iletilebilmesi olarak tanımlanmaktadır [75].

Motor için ideal viskozite oranı bulunmamaktadır. Bu durum yağlayıcının temel görevleri ve yağlayıcının ulaştığı motor aksamında ihtiyaç duyulan viskozite oranına bağlı olmaktadır. Örnek olarak; karter yağı için yüksek viskozite oranı arzu edilmektedir. Sıcaklık faktörünün artışı ve azalışıyla beraber yağlayıcıdaki incelme ve kalınlaşma yapısalılığına bağlı olarak düşük sıcaklıklarda düşük viskozite yani daha az akmaazlık direnci, yüksek sıcaklıklarda ise yüksek viskozite yani daha çok akmaazlık direnci istenilen bir durum olmaktadır. Böylelikle değişik sıcaklık aralıklarında çalışan makine aksamalarında sürtünmeye karşı istenen film kalınlığının oluşturulabilmesi hedeflenmektedir. Aşırı yüksek değerlerde seyreden viskozite oranı yağlayıcının tüketim miktarını minimuma indirirken diğeri taraftan yağlayıcı katmanda oluşan sürtünme miktarında ise artışa neden olmaktadır [46]. İlk hareket sırasında yağlama yağının kolay sirkülasyonu ile birlikte daha iyi yağlayıcı dağılımı sağlanmaktadır. Yağlayıcılar soğuk ve

sıcak ortamlara göre kalınlaşma ve incelme eğilimi gösterdiklerinden viskozite seçiminde değişik uygulamalara gidilmiştir. Daha önce yaz ve kış şartlarına göre aynı sistemde farklı yağlar kullanılıyorken günümüzde viskozite indeksi artırıcı katkı maddeleriyle bu sorun çözülmüş bulunmaktadır [46].

Yağlayıcılardaki viskozite oranı olması gerekenden daha yüksek oldukları zaman silindir duvarında hızlı bir şekilde yayılamamakta ve pistonun aşağı yöndeki hareketi boyunca silindirin alt kısmına doğru itilmektedirler. Bu istenmeyen bir durum olarak silindir yüzeyinin kuru kalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle belirlenen limitlerin üzerinde aşırı viskoz özellikteki yağlama elemanları, yüksek sürtünme kayıplarıyla beraber silindir gömleği ve piston segmanlarında aşınmaya ve dolayısıyla kartere gaz kaçağına sebep olmaktadır. Bu da aşırı asidik ortamla beraber oksidasyonu arttırmaktadır. Bununla beraber viskozite değerinin limitlerin üzerinde seyretmesi yağlayıcının pompalanması ve sistem içi dolaşımı için daha fazla iş gerektirmektedir. Bu ise sürtünme kayıplarına yol açmakla beraber sistemde güç kayıplarına da sebep olmakta ve beraberinde de yakıt tüketiminde yaklaşık %15 kadar bir artışa neden olmaktadır [51].

Makine sistemlerinin çalışma durum ve koşullarına bağlı olarak sabit viskoziteli yağlayıcı kullanımlarının yeterli performansı sağlayamamasından dolayı üretici firmalar, ürünlerinde kabul edilebilir sınırlarda viskozite değişikliklerine uygun çalışmalar yapmaktadırlar.

Ancak viskozitede limit sınırların dışında aşırı yükseliş ve düşüşler, sistemde istenmeyen ısı üretimi ve aşırı güç tüketimlerine neden olmaktadır. Genel kabul gören limitlere göre yağlayıcı eleman viskozitesinde % 25 oranında yükseliş veya düşüş, kabul edilebilir maksimum limitler dahilinde bulunmaktadır [84].

Yağlama yağı viskozitesi karakteristiğinde kabul gören birçok endüstriyel standartlar bulunmaktadır. Bu sınıflandırmalar arasında en geniş kullanım alanına sahip olanı, SAE (Society of Automotive Engineers) standartlarıdır. Bu sınıflandırmada, yağlama yağlarının 18°C ve 100°C sıcaklıklardaki viskozite karakteristikleri tespit edilmektedir. Düşük sıcaklık viskozitesi gerektiren yağlayıcılarda sınıflandırma sayısından sonra 'W' harfi eklenmektedir (SAE 10W gibi). Yüksek sıcaklık viskozitesi gerektiren yağlayıcılarda ise sadece sınıflandırma numaraları (SAE 30 gibi) belirtilmektedir. Hem yüksek hem de düşük sıcaklıklarda kullanıma uygun multigrade yağlarda ise her iki gösterimin bileşimi olarak (SAE 10W30 gibi) belirtilmektedir [86].

40°C ve 100°C sıcaklıklardaki kinematik viskozite ölçüm değerlendirilmelerinde bazı avantajlar bulunmaktadır [87]:

40°C kinematik viskozite değerlendirmesi:

- Yağlama elemanı oksidasyonu ve termal yorgunluğun tanımlanabilmesinde
- Su, yakıt ve kirliliğe bağlı olarak viskozite değerindeki değişimin belirlenmesinde
- Yanlış kullanılan yağlayıcının tespitinde
- Yağlayıcı analizinde düşük maliyetli avantaj sağlamaktadır.

100°C kinematik viskozite değerlendirmesi:

- Yağlayıcılarda bulunan viskozite geliştirici katkı maddelerindeki olası azalma tespitinde
- Yüksek çalışma sıcaklıklarında faaliyet gösteren sistemlerin yağ analizlerinin takibinde avantaj sağlamaktadır.

5.2. Viskozite İndeksi (VI)

Viskozite indeksi (VI), bir akışkan için sıcaklık ve viskozite arasındaki ilişki ya da bir başka ifadeyle yağlayıcı elemanın sıcaklık faktörü altında incelme veya kalınlaşma durumu olarak tarif edilmektedir [88]. Yani yağlayıcının sıcaklığında meydana gelen değişimden dolayı viskozitesinde meydana gelen değişim oranı olarak tanımlanmaktadır. Sıcaklıktaki değişim ile birlikte değişme eğilimi gösteren yağlama yağı viskozitesindeki bu değişim hızı yağlayıcının yapısı ve içerdiği katkı maddelerine bağlı olarak değişmektedir.

Viskozite indeksi değerinin düşük olması, sıcaklık etkisinde viskozitede büyük bir değişimin ortaya çıktığını, viskozite indeksi değerinin yüksek olması ise sıcaklıkla beraber viskozite değerinde daha az değişimin olduğunu göstermektedir [82].

Viskozite indeksine göre yağlama yağları Tablo 5.1. de seviye ve aralıklarına göre viskozite indeks tablosu şeklinde gösterilmektedir [74].

Tablo 5.1. Seviye ve aralıklarına göre viskozite indeks tablosu [74].

Seviye	Aralık
Düşük viskozite indeksli	$VI < 40$
Orta viskozite indeksli	$40 < VI < 80$
Yüksek viskozite indeksli	$80 < VI < 100$
Multigrade viskozite indeksli	$VI > 100$

olarak viskozite indeksi ölçülerinde gruplandırılmaktadırlar [74].

Üreticiler tarafından sıcaklık faktörünün yağlama elemanının üzerindeki değiştirici etkisi arzu edilmediğinden; her mevsim kullanılabilen, özellikle ağır dizel makinelerde daha çok tercih edilen ve “multigrade viskozite indeksli yağ” diye tanımlanan yağlayıcılar tavsiye edilmektedir [74].

5.3. Parlama Noktası

Isıtıldığında, yağlayıcı elemanlardaki hafif bileşenlerde buharlaşma görülmektedir. Parlama noktası, yanmaya başladığı ana kadar yağlayıcı elemanın ısıtılarak buharlaşmasının sağlandığı sıcaklıktır. Belli bir periyot dahilinde kullanılmış makine yağları için parlama noktası, sistemde kullanılan ve uçuculuğu yüksek olan yakıtın, yağlama yağı ile ne derecede kirlendiğini göstermektedir. Kullanılan yakıtın yağlayıcıyla karışması durumunda yağın viskozitesinde azalma meydana gelmekte ve direncinin azalmasıyla akıcılığı artan yağlayıcının yüzeyler üzerinde oluşturduğu yağ film kalınlığında incelme oluşmaktadır. Laboratuvar ortamında parlama noktası tayin testleri açık ve kapalı koşullarda yapılmakta ve test sonuçları da açık parlama noktası (open flash point) ve kapalı parlama noktası (closed flash point) olarak tanımlanmaktadır. Belli bir kullanım periyodundan sonra yağlayıcının parlama noktasının orijinal değerinden önemli derecede düşük çıkması bu yağda yakıt kirlenmesi olduğunu göstermektedir. Kullanılmış yağda yapılan ölçümler neticesinde tespit edilen % 30 ve daha fazla oranlardaki düşüşler yağlayıcı elemanda önemli derecelerde kirliliğin olduğuna işaret etmektedir. Kullanılmamış dahi olsa yağlayıcının depolanma ve kullanım koşullarının emniyeti açısından, yüksek sıcaklıklarda yağda incelme ve kırılmalar meydana gelebilmekte ve bu nedenle parlama noktası derecesinde düşüşler olabilmektedir [1].

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

Genellikle makine yağlayıcıları ile ilgili olan TBN, yağlayıcının asidi nötrleştirmesi olarak tanımlanabilmektedir. TBN değeri ne kadar yüksek olursa o kadar daha fazla asit nötrleştirilebilmektedir. Makine yağları, yanma sonu oluşan asidik yanma sonu ürünlerini nötralize edebilmek için ilave katkı maddeleriyle formülize edilmektedirler. TBN, yağlayıcının alkalinite ölçüsü olup yağda mevcut bulunan ve etkisi devam etmekte olan katkı maddelerinin miktarının tespitinde önemli bir referans olmaktadır. TBN, 1 gram yağlayıcıda bulunan ve mg olarak potasyum hidroksit (KOH) miktarı şeklinde ifade edilen asidik durumu göstermekte ve yağlayıcının mineral asitle kimyasal titrasyonu yoluyla ölçülen alkalinite seviyesini tanımlamaktadır. Özellikle yüksek miktarda sülfür oranına sahip dizel yakıtların korozyif etkilerini tespit etmede TBN' den faydalanılmaktadır. Yağlama yağları genellikle üreticisine ve kullanım yerine göre değişkenlikler göstermekle beraber, 5.0 ila 15.0 arasında TBN değerleriyle üretilmektedirler. Yağın kullanılmışlık seviyesinin artmasıyla beraber asitlerle kirletilmekte ve TBN miktarında düşüşler meydana gelmektedir [1, 82].

Yağlayıcı elemanın korozyif asitleri absorbe edebilme yeteneğinin bir ölçüsü olan TBN yeni üretilen yağda olabilecek en yüksek seviyeyle üretilmektedir. Bu noktadan sonra oluşan asitler yağın alkali seviyesinde azalmaya sebep oldukça TBN değerinde düşüşler meydana gelmektedir. Normal motor yağlarında TBN değeri 5-7 arasında olabilirken, yüksek bileşime sahip yağlayıcıların TBN' si 12-15 arası olabilmektedir. Bununla beraber yağlayıcısı 35-40 TBN sayısına sahip, yüksek kükürtlü yakıt kullanan gemi makineleri de bulunmaktadır. TBN değerinin yüksek olması yağlayıcının asitlere karşı koyabilme yeteneğinin iyi olduğunu göstermekle birlikte, diğer özellikler bakımından yüksek TBN değerinin yağlayıcıyı daha kaliteli bir yapıya getirdiği anlamına gelmemektedir [89].

TBN değeri başlangıçta yağlayıcı elemanın ilk olarak kullanılmasında düşük değerlerde olup kullanımla beraber stabil bir değere ulaşmaktadır. TBN değerinin orijinal değerinin % 50 oranında altına düştüğü zaman yağlayıcı elemanın değiştirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla özellikle dizel makinelerde yağlayıcı elemanın değişim zamanının tespitinde önemli bir referans olmaktadır [82, 84].

TAN değeri yağlayıcı elemanın koşullarını belirleyen bir sınır değer durumundadır. Bunun nedeni farklı kimyasal karakteristiklerin kombinasyonuna sahip olmasından kaynaklanmaktadır. TAN (Toplam Asit Sayısı), nötralizasyon numarası olarak

tanımlanmaktadır. Nötralizasyon; asidin yapısındaki hidrojen iyonu ile suyun oluşumu için de gerekli olan hidroksil iyonu arasında meydana gelen tepkimelerdir [83]. Oksidasyon sürecinde yağlayıcı içerisinde organik asitler oluşmakta ve bu oluşumlar korozyon etki oluşturmaktadırlar [1].

Yağlayıcı eleman, makine yağlarındaki aşınma önleyici katkı maddelerinin asidik yapılarından kaynaklı olarak başlangıçta daha yüksek TAN değerine neden olmaktadır. Yağlayıcının kullanımı süresince TBN azalmakta ve TAN değeri artmaktadır. Yapılan çalışmalar TAN değerinin TBN değerini geçtiğinde, sistemde yağlayıcı elemanın temas halinde bulunduğu makine elemanlarında aşınma hızının aşırı miktarda arttığını göstermektedir [82].

5.5. Aşınma Ürünleri

Metal aşınması, genellikle hareket halindeki iki metal yüzeyin birbiriyle temas durumunda oldukları sırada yapılarında meydana gelen değişiklikler olarak tanımlanabilmektedir. Sistemde kullanılan yağlayıcıya rağmen yine de metal aşınması oluşabilmektedir [91].

Yağlayıcı eleman analizleriyle tespit edilebilen metalik partiküller 3 ana gruba ayrılabilir [1].

- Aşınma sonucu tespit edilen metalik partiküller
- Yağlayıcı elemanın kirlenmesi sonucu oluşan metalik partiküller
- Yağlayıcı eleman katkı maddelerinden kaynaklanan metalik partiküller

Tablo 5.2. de özellikle dizel makinelerde kullanılan yağlayıcı eleman analizleri neticesinde tespit edilen bazı elementler görülmektedir [91].

Tablo 5.2. Yağ analizlerinde tespit edilen bazı elementler ve sembolleri [91].

Elementler	Semboller
Demir	Fe
Alüminyum	Al
Krom	Cr
Bakır	Cu
Nikel	Ni
Sodyum	Na
Molibden	Mo
Çinko	Zn
Silisyum	Si
Magnezyum	Mg
Kurşun	Pb
Titanyum	Ti
Kalay	Sn
Gümüş	Ag
Bor	B
Mangan	Mn

5.5.1. Demir (Fe)

Yağlayıcı analiz numunelerinde en yaygın metalik partikül olarak tespit edilmektedir. Sistemi oluşturan makinedeki birçok parça bu metalin yağlayıcı numunede tespitine katkıda bulunmaktadır. Silindir gömlekleri, krank mili, kam mili, supap tablaları bu oluşuma katkıda bulunabilecek muhtemel parçalardır [79]. Bütün çelik alaşımlı metalik formlar değişik oranlarda birbirine karıştırılmış karbon ve demir ihtiva etmektedirler. Özellikle makine üretim ve revizyonunu takip eden ilk çalıştırma saatleri akabinde alınan yağlayıcı numunelerinde yüksek miktarlarda tespit edilmektedir. Bununla beraber analiz sonuçları incelendiğinde yağlayıcının değişim periyodunun belirlenmesinde en önemli metalik partikül olarak karşılaşılmaktadır [84].

5.5.2. Alüminyum (Al)

Makinelerin hareketli kısımları, piston başı ve segmanları, bazı yağ pompaları, makine dirsek kısımlarından kaynaklanabilmektedir. Özellikle makine üretim ve revizyonu sonrasında ilk çalıştırma saatleri akabinde alınan analiz numunelerinde yüksek oranlarda tespit edilebilmektedir. Bu metalik oluşumun analiz sonuçlarında yüksek çıkması ile hava emiş hattı, yağ filtresinde kirlilik, piston, supap kapakları ve karterde problem olabileceği düşünülebilmektedir. Bu durumun ilerleyen safhalarında aşırı yağ tüketimi, performans kaybı, anormal makine sesi gibi problemlerle de karşılaşılabilir [1].

5.5.3. Krom (Cr)

Krom genellikle makine elemanlarında kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Krom kaplı piston segmanları başta krom ve krom alaşımlı makine parçaları tespit edilen bu metalin olası kaynağını teşkil edebilmektedir. Ayrıca conta, silindir ve bazı yatak elemanlarından da kaynaklanabilmektedir. Silindir içine giren havadaki kirlilik artışı ve arızalı segmanlar bu metalin oranını arttırmaktadırlar. Analizlerde bu metalin artmasının tespit edilmesi ile birlikte sistemde aşırı yağ tüketimi veya kaçağı ile yağlayıcı kalitesinde bozulma olabileceği değerlendirilebilmektedir [1].

5.5.4. Bakır (Cu)

Pirinç ve bronz alaşımların yapısında bulunan bu metalik oluşum, kam yatakları, piston pim yatakları, dişli ve supap tablaları, bakır içeriği yüksek olan birçok dişli sisteminde mevcut bulunmaktadır. Yağlayıcı içerisinde bakır seviyesinin aşırı yükselmesiyle beraber yağ soğutma sisteminde korozyon etki oluşabilmektedir [1].

5.5.5. Silisyum (Si)

Metalik element olmamasıyla beraber birçok değişik yağlayıcı numunelerinde sıklıkla karşılaşılan kirlenici maddedir. Özellikle hava emiş hattının doğru filtrelenmemiş olması durumunda sisteme önemli miktarda giriş yapan toz ve kir formuyla görülmektedir [79]. Yağlayıcı elemandaki köpük önleyici katkı maddeleri, silisyum tespitinde bulunurken

dikkat edilmesi gereken önemli bir etken olmaktadır. Bunun nedeni, silisyumun temizleyici gibi davranarak metalik yüzeylerdeki yağlayıcı filmi olumsuz etkileyebilmesidir [1].

5.5.6. Nikel (Ni)

Saf haldeki demir ve paslanmaz çeliğin yapısında önemli miktarda nikel bulunmakla beraber yağlayıcının temas halinde olduğu birçok yüzeyde bir bileşen olarak bulunabilmektedir. Başlıca kaynak yerleri olarak supaplar, rulmanlı yataklar, türbin kanatları sayılabilmektedir [1].

5.5.7. Kurşun (Pb)

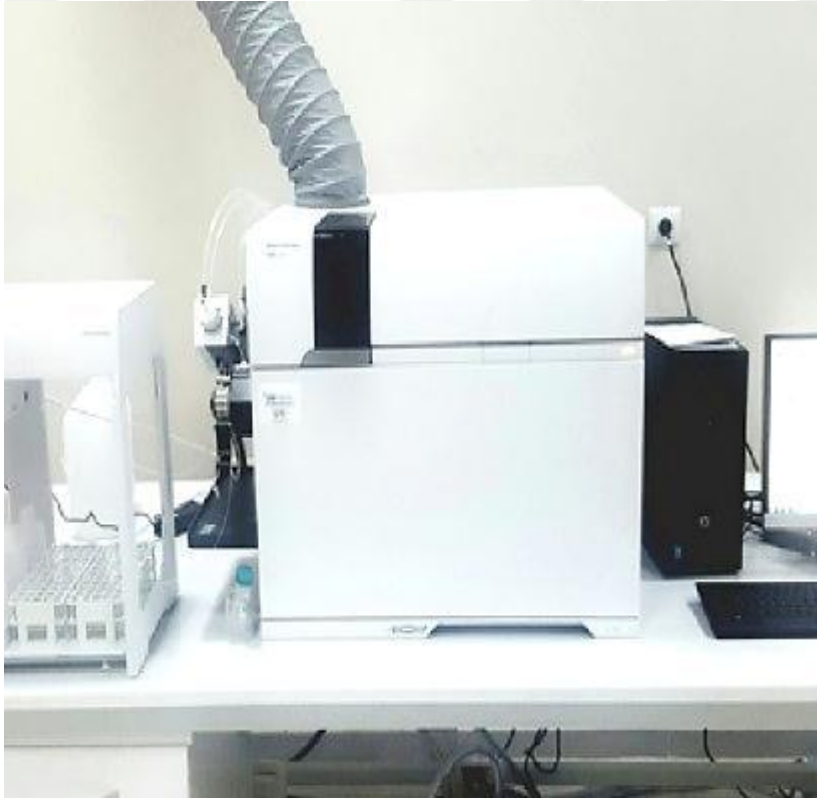
Genellikle kaplama maddesi olarak kullanılan kurşun, kaymalı yatakların aşınma ürünleri, bazı pistonlar, burçlar veya bazı sızdırmazlık elemanlarından kaynaklanabilmektedir. Bunun birlikte sistemde kullanılan yakıttan da karışabilmektedir. Yağlayıcı elemenda tespit edilecek aşırı kurşun seviyesi, yağlayıcıda yakıttan kaynaklanan kirliliğe ve korozyon etkiye yol açmaktadır [1].

5.6. ICP Yöntemi

ICP (Inductively Coupled Plasma) tekniği, yağlayıcı içinde metalik partiküller konsantrasyon oluşturan elementleri tespit etmek için kullanılan bir tekniktir. ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer) analiz cihazı katı ve sıvı numunelerde istenen çok sayıda elementin hassas, hızlı ve doğru biçimde niteliksel ya da niceliksel olarak analizlerinin yapılabilmesini sağlayan ileri teknoloji ürünüdür. Aynı anda birçok elementi analiz edebilme özelliğiyle nitel analizler ve izotop oranlarının tespit edilmesinde olduğu gibi, metalik elementler başta olmak üzere periyodik tablo elementlerinin büyük bir kısmının nicel ve yarı nitel tayinlerinde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Diğer yöntemlere oranla oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olan ICP-MS ile birçok element için düşük derişimlerde kalibrasyon grafikleri çizilebilmekte ve bu elementlerin analizlerine olanak sağlanmaktadır. Kalibrasyon standartlarının varlığına bakılmaksızın birçok elementin derişimi ya da numunede var olup olmadıkları tespit edilebilmektedir. ICP-MS cihazı ile toprak, bitki, tüm dokular, maden ve metal örnekleri, gıda, yem, ambalaj

ürünlerinde metal analizi, atık su, içme suyu, petrokimya, hidrojeoloji gibi pek çok alanda analiz yapılabilmektedir. Çalışma yöntemine bakıldığında; 8000-10000 Kelvin sıcaklığına ulaşan argon plazma tarafından numunenin iyonize edilmesi, iyonize olan elementlerin kütle spektroskopisi tarafından ayrıştırılarak element derişimlerinin bir dedektör tarafından ölçülmesi aşamalarından oluşmaktadır. Analizi yapılacak numunedeki elementler cihazda iyonize edildikten sonra kütle spektroskopisine gönderilmekte ve burada kütle/yük (m/z) oranına göre ayrılıp ölçülmektedirler [90].

Şekil 5.1. de numunelerin element analizlerinin yapılmasında kullanılan ve Atatürk Üniversitesi-Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi' nde bulunan Agilent 7800 ICP-MS ileri teknoloji cihazı görölmektedir [90].



Şekil 5.1. Numunelerde element analizlerinin yapılmasında kullanılan Agilent 7800 ICP-MS cihazı [90].

6. GENEL MOTOR YAPISINI OLUŞTURAN ELEMANLAR

İçten yanmalı motorlar, çok sayıda parça ve elemanın bir araya gelmesiyle meydana gelmektedir. Motorlardan güç elde edilebilmesi için, bu elemanların bir kısmı hareketsiz, bir kısmı da değişik biçimlerde hareket etmektedir. Motorların çalışma prensiplerine bakıldığında, silindir içerisine çalışma dolgusunun alınması, yanma sonu oluşan gazların dışarıya atılması, silindir içerisinde farklı basınç ve sıcaklık değişimlerinin oluşması vasıtasıyla termodinamik bir sistem oluşturacak elemanlara gerek duyulmaktadır. Bu elemanların bazıları silindir kapağı, silindir bloğu, silindir gömlekleri, manifoldlar, üst ve alt karter gibi statik bir biçimde görevlerini sürdüren hareketsiz parçalardan oluşmaktadırlar [74].

6.1. Silindir Kapağı

Silindir kapakları, silindirlerin üstünü kapatarak içerisinde hava-yakıt karışımının yandığı yanma odalarını oluşturmaktadırlar. Silindir kapakları, supap yuvaları, soğutma kanalları, buji veya enjektör tespit kanalları, ısıtma bujisi gibi parçaları da bulundurmaktadırlar [74].

Üzerinde taze gaz, egzoz gazı ve soğutma kanallarının bulunduğu silindir kapağı ancak döküm yöntemiyle elde edilebilmektedir. Çalışma sırasında silindir kapağının tabanı 40-60 bar yüksek yanma basıncıyla yüklenmekle beraber, termik olarak da aşırı derecede zorlanmakta ve ısı gerilimlerine maruz kalmaktadır. Ayrıca silindir kapak cıvatalarının da sıkılmasıyla yüksek sıkma gerilimleri oluşmaktadır. Bu yüzden silindir kapağının şu özellikleri taşınması beklenmektedir [92]:

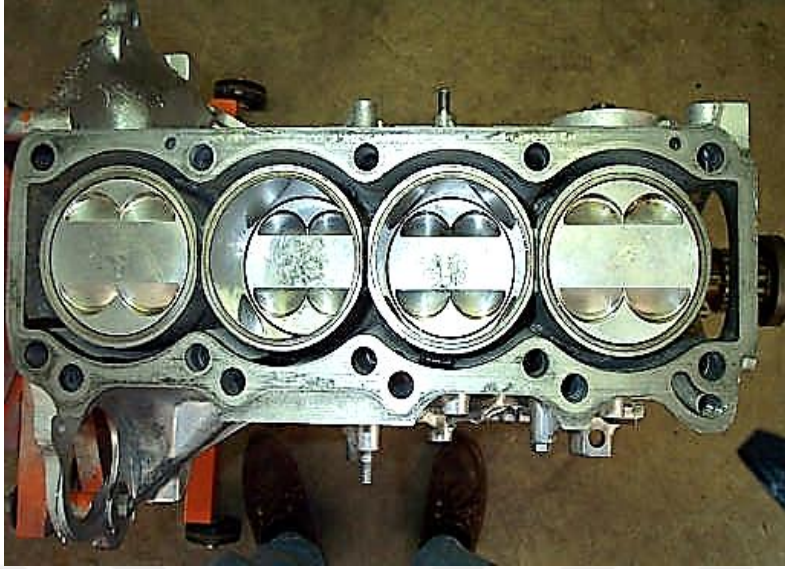
- İyi dökülebilirlik ve hafiflik,
- Maksimum ısı iletimi,
- Oluşan yüksek sıcaklığa dayanıklılık.

Yapısında esas olarak dökme demir kullanılmakla beraber, silindir kapağının basınç, korozyon ve termal dayanım, sertlik ve ısı iletme yeteneğinin artırılabilmesi için dökme demir içerisine karbon, krom, nikel, magnezyum gibi malzemeler katılmaktadır. Ayrıca, hafifliği ve ısı iletim katsayısının yüksek olması nedeniyle alüminyum alaşımlarından da yapılmaktadırlar. Yanma sonucu oluşan yüksek ısı alüminyum malzeme sayesinde kolayca

soğutma sıvısına geçtiğinden, silindir kapağı tasarım ve üretiminde alüminyum kullanımına özel önem verilmektedir. Alüminyum alaşımlarından yapılan silindir kapaklarında ayrıca dayanımı arttırmak için, dökme demir, nikel, magnezyum, silisyum ve düşük oranlarda bazı maddeler kullanılmaktadır. Bunların yanında, supap yuvalarına yeterli direncin kazandırılabilmesi için, dökme demir gibi termal etkiye dayanıklı özel çeliklerden imal edilen bagalar takılmaktadır. Silindir kapakları, silindir bloklarına cıvata veya saplama ve somunlarla bağlandıklarından, herhangi bir arıza durumunda kolayca sökülüp onarılabilmektedirler [74].

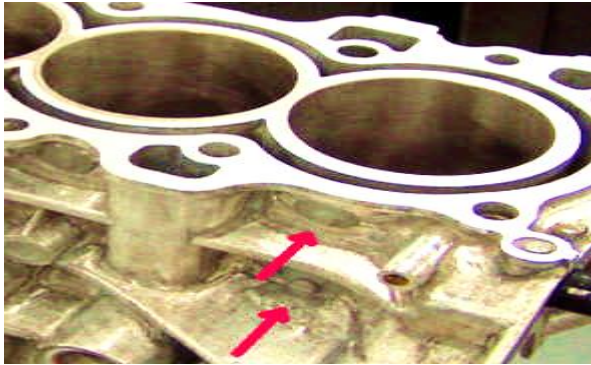
6.2. Silindir Bloğu

Silindir bloğu üst karterle beraber, motoru tamamlayan birçok sistem parçalarını üzerinde bulunduran ana gövdeyi oluşturmaktadır. Silindir bloğu karmaşık yapısı nedeniyle yaprak grafitli dökme demirden imal edilmektedir. Bir demir karbon alaşımı olan yaprak grafitli dökme demirin yapısında, yapısına kayganlık özelliği de kazandıran serbest grafit halinde % 2.5 ile 3.5 arasında karbon bulunmaktadır. Ayrıca dökme demir alaşımının içerisinde, korozyona ve aşınmaya karşı direncinin artırılması için karbon, krom, nikel, magnezyum gibi malzemeler katılmaktadır. Genellikle dökme demirden imal edilmesine karşın, otomotiv sanayiindeki birçok motorun silindir blokları, dökme demire göre daha hafif olması, işleme özelliğinin kolay ve ısı iletim katsayısının yüksekliği nedeniyle, alüminyum alaşımlarından üretilmektedirler. Yine alüminyumun yüksek ısıya, basınca ve titreşimlere karşı daha mukavim olabilmesi için yapısına nikel, dökme demir, magnezyum ve silisyum gibi metaller konulmaktadır [74, 92]. Şekil 6.1. de silindir bloğu görülmektedir [93].



Şekil 6.1. Silindir bloğu (motor bloğu) [93].

Alüminyum alaşım veya dökme demirden üretilen silindir bloklarında soğutma sıvısının dolaştığı su ceketleri ve kanalları bulunmaktadır. Ayrıca düşük sıcaklıklarda olası donmaların meydana getirebileceği silindir blok çatlamalarına karşı, yerinden çıkıp ayrılabilen ve bloğun yan tarafına yerleştirilmiş yuvarlak bombeli çelik tapalar bulunmaktadır. Şekil 6.2. de silindir bloğu üzerinde bulunan çelik tapaların bulundukları bölgeler gösterilmektedir [93].



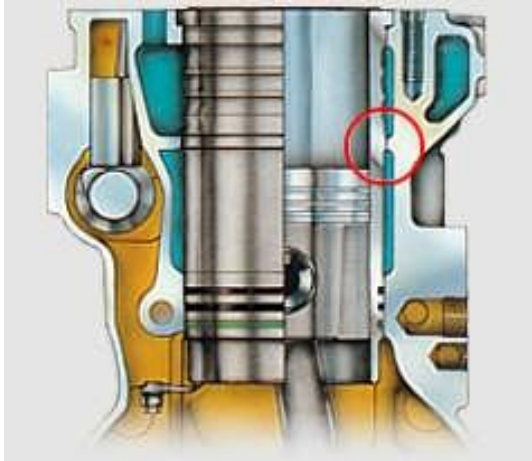
Şekil 6.2. Silindir bloğu üzerinde bulunan çelik tapalar [93]

Alüminyum alaşımlardan üretilmiş silindir bloklarını aşınmaya karşı dayanıklı hale getirmek için, çelik veya dökme demirden imal edilmiş kuru veya yağ gömlekler takılmaktadır [74].

tamamının yerine sadece gömlekler, daha kaliteli ve mukavim malzemelerden yapılarak, gereksiz üretim maliyetlerinden tasarruf sağlanabilmektedir [74].

6.3.2. Yaş Gömlekler

Dış kısmı sistemdeki soğutma suyu ile direkt temas halinde üretilen silindir gömleklerine yaş gömlekler adı verilmektedir. Yaş gömleklerin takılıp çıkarılmaları kolay olduğundan, onarımlarda büyük avantaj sağlanmaktadır. Yaş gömlekler, çok büyük motorlarda kullanılmakla beraber, günümüzde alüminyum silindir bloklu küçük motorlarda da sorunsuzca kullanılabilir [74]. Şekil 6.4. de şematik yapısı verilen bir yaş gömlek ve çevresinde bulunan soğutma sıvısı kanalları gösterilmektedir [93].

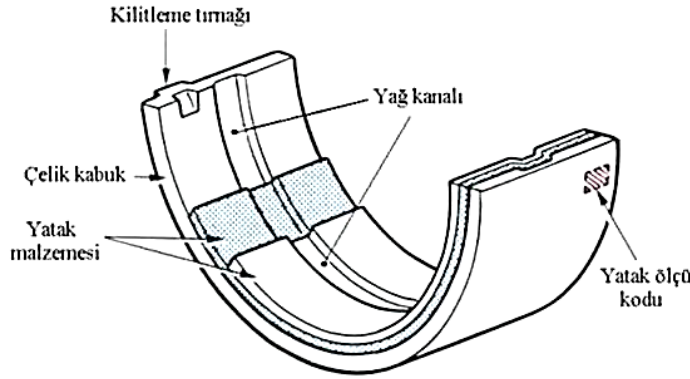


Şekil 6.4. Yaş gömlek ve çevresinde bulunan soğutma sıvısı kanalları [93].

6.4. Motor Yatakları

Hassas işlenmiş değiştirilebilir motor parçalarından olan motor yataklarının görevi, sistemde dönel hareket yaparak çalışan motor parçalarının hedeflenen çalışma şekillerinden farklı yön ve doğrultularda hareketlerinin önlenmesini sağlamak ve bununla beraber yatak malzemelerinin dönen mil malzemelerinden daha yumuşak olmasından dolayı, mile gelen ağır yüklerin yumuşak malzemedeki kaynaklı uygun sürtünme yüzeyi ile önlenip taşınmasını sağlayabilmektir. Bunu yaparken yataklık yaptığı muyludan önce aşınarak muyluların çalışma ömürlerinin uzamasını sağlamaktadır [74, 93].

Motorların çok önemli parçalarından olan krank ve kam millerinde yapılacak değişim ve yenileştirmelerin maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı, bu milleri üzerinde taşıyan yatakların sürtünme ile oluşabilecek aşınmaları kendi üzerinde toplaması ve bu sayede milleri koruması amaçlanmaktadır [74]. Şekil 6.5. de motorlarda kullanılan bir yatak elemanı ve kısımları şematik olarak gösterilmektedir [93].



Şekil 6.5. Yatak elemanı ve kısımları [93].

Döküm tipi ve kusunetli tip olmak üzere krank ana ve biyel yataklarında iki tip yatak kullanılmaktadır. Eski tip düşük devirli motorlarda kullanılan döküm tipi yatakların yerine, günümüzde motorların ana ve biyel yataklarında değiştirilmesi kolay yarım ay şeklinde kusunetli yataklar kullanılmaktadır. Her tip motorda kullanılabilen kusunetli yataklar sağlam olmaları, oldukça ince yatak malzemesine sahip olmaları, değiştirilmelerinin kolay ve düşük maliyetli olma gibi avantajlara sahip olmaları, günümüz motorlarında yaygın olarak kullanılmalarını sağlamaktadır. Yataklarda dayanıklılık ve sürtünmelerin az olması istendiğinden, çelik gövde üzerine yatak malzemesi olarak hafif metal alaşımları ile kaplanmaktadır. Bu metal alaşımların yapısında olması gereken malzeme ve elementler, bu yatakların kullanılacağı motorların özellikleri ve çalışacakları şartlara göre tespit edilmektedir [74].

6.5. Karter

Motor parçalarından olan karterin, motorun alt kısmının bir kapak gibi kapatılarak sistemdeki hareketli parçaların toz, toprak, su gibi dış etkenlerden korunması, sistemdeki yağlayıcı elemana yataklık yapılması, yağlayıcının dinlendirilmesi ve soğutulması gibi

görevleri bulunmaktadır [74]. Şekil 6.6. da içten yanmalı bir motora ait karter elemanı ve yapısı gösterilmektedir [93].



Şekil 6.6. Karterin yapısı [93].

Genellikle preslenerek şekillendirilmiş çelik saclardan üretilen karterlerin yanında bazı motorlarda alüminyum alaşımlarından dökülerek de üretilmektedir. Bununla beraber, bazı ağır taşıt ve iş makinelerinin motorlarında dökme demirden dökülerek yapılan karterler de kullanılmaktadır. Dökme demir ve alüminyum alaşımlardan üretilen karterlerin cidar kalınlıkları çelik saclardan üretilen karterlere göre daha kalın yapıldıklarından, dökme demir ve alüminyum alaşımlardan yapılan karterlerin yağlayıcıyı soğutabilmeleri için kendi dış yüzeylerine yerleştirilmiş hava kanatçıkları bulunmaktadır. Yağlayıcının, aracın hareketi esnasında çalkalanıp köpürmesini ve yağ pompasından uzaklaşmasının önlenmesi için, karterin içerisinde ara bölmeler bulunmaktadır. Ayrıca sistemdeki yağlayıcının değişiminin yapılabilmesi için karterin alt kısmında tahliye tapası bulunmaktadır [74].

6.6. Pistonlar

Piston, silindir içerisinde iki ölü nokta arasındaki doğrusal hareketiyle zamanların oluşumunu sağlamaktadır. Yanma sonu oluşan gaz basıncını biyel üzerinden krank miline iletmektedir. Emme zamanında silindir içerisinde vakum etkisi oluşturarak çalışma dolgusunun silindirlere emilimini sağlarken, egzoz zamanında yanmış gazları iterek dışarı atmaktadır [74].

Piston başı, yanma odasının alt kısmını oluşturduğundan, yanma zamanında ortaya çıkan yüksek sıcaklığa dayanması, şekil değişimine uğramadan ve sıkışıp segmanlarla kaynama yapmadan çalışması gerekmektedir. Aynı zamanda pistonun, yanma zamanıyla ortaya çıkan yüksek basınca da dayanması ve bu basınç altında uzun süre şekil değişimine

uğramadan görev yapması gerekmektedir. Pistonun, yüksek ısı ve basınca dayanabilmesi için yeterli ağırlıkta olması, piston atalet kuvvetlerini yenerek ölü noktaları sorunsuzca aşabilmesi için de olabildiğince hafif malzeme yapısına sahip olması istenmektedir [74].

Yanmış gazların oluşturduğu gücün basınç uyguladığı kısım olan piston başları, değişik şekillerde yapılabilmektedir. Supapların açık olduğu zaman, piston ile supaplar arasında yeterli boşluğun sağlanabilmesi için, piston tepelerine çeşitli yuvalar açılmaktadır. Silindir ile piston arasında hareketi kolaylaştırmak için bırakılan boşluktan kaynaklanabilecek sızmaların önlenebilmesi için piston üzerine segmanlar takılmaktadır. Bu segmanlara kompresyon ve yağ segmanları adı verilmektedir. Kompresyon segmanları, yüksek basınçla beraber yanmış gazların kartere sızmasının önlenmesini sağlarken, yağ segmanları da silindir cidarlarındaki yağlayıcıyı sıyrıp yağlayıcı elemanın yanma odasına geçişini önlemektedirler. Pistonların esas kısmını oluşturan piston eteği, pistonun silindir cidarı ile esas temas ettiği yüzey olmaktadır. Piston eteğinin her iki yüzeyinde de iki ayrı dayanma yüzeyi bulunmaktadır [74].

Piston silindir içerisinde, doğrusal hareketi boyunca bazı temel görevleri yerine getirmektedir. Bunlar [74];

- Yanma odasının alttan, kartere karşı kapatılması ve silindir içerisinde sızdırmazlık sağlamak,
- Yanma sonucu oluşan gaz basıncının oluşturduğu kuvveti, piston kolu vasıtasıyla, krank miline iletilerek dönme hareketinin yapılmasını sağlamak ve oluşan yanal kuvvetleri silindir yüzeyine sürtünerek karşılamak,
- Yanmış gazların, yüksek sıcaklıkla beraber, pistonun üst yüzeyine vermiş oldukları ısıнын büyük kısmını silindirlere hızlı bir şekilde ileterek oradan da soğutucu sisteme aktarılmasını sağlamak,
- Hareketleri neticesinde sistemde zamanların oluşumunu sağlamaktır.

Alüminyum alaşımı pistonların dökme demir gibi diğer malzemelerden yapılmış pistonlara göre ısı iletim katsayıları daha yüksek olduklarından diğer piston çeşitlerine göre daha iyi soğutulmaktadırlar. Dökme demir pistonlara nazaran, genleşme katsayıları yüksek olan alüminyum alaşımlı pistonlarda; silindirle piston arasında daha fazla boşluk verilerek üretilmektedirler [93]. Şekil 6.7. de içten yanmalı motorlarda kullanılan alüminyum alaşımlı bir piston resmi gösterilmektedir [93].



Şekil 6.7. Otomotiv motorlarında kullanılan alüminyum alaşımlı bir piston [93].

Bazı piston üreticileri tarafından, alüminyum alaşımlı pistonlara ısıtma işlemleri uygulandıktan sonra, elektrolitik işlemler uygulanmakta ve bunun sonucunda piston yüzeyinde 0.0005 mm kalınlığında alüminyum oksit tabakası oluşturulmaktadır. Bu tabakayla, pistonun aşınmalara karşı direncinin artırıldığı gibi piston yüzeyinde daha iyi yağlanma özelliği oluşturulmaktadır. Piston başları genellikle, düz, bombeli yapılabildiği gibi bazı dizel motorlarda iç bükey şekilde de yapılabilmektedir. Piston başlarında üretim sırasında verilen oyuk bazı şekillerle, piston başlarının supap başlarına çarpmasının önlenmesi amaçlanmaktadır [93].

6.7. Segmanlar

Piston üzerinde bulunan segmanlar, yanma odası ile karter bölgesi arasında birer sızdırmazlık contası görevinde bulunmaktadır. Bu sayede pistonun hareketi sırasında gazların kartere sızması önlenmektedir. Ayrıca yağlayıcı elemanın silindir çevresindeki dağılımını sağlayarak kartere dönüşünü sağlamaktadır. Böylece yağlayıcı elemanın yanma odasına geçip yanmaya katılmasını önleyerek yağlayıcının yanmasına ve yanma odası etrafındaki aşırı karbon birikmelerine engel olmaktadır. Silindir gömlekleriyle temas halinde olduklarından, piston üzerinde oluşan ısının silindir gömleklerine doğru geçişini sağlayarak pistonun soğutulmasına katkıda bulunmaktadır. Motorlarda, kompresyon ve yağ segmanı diye iki farklı segman çeşidi kullanılmaktadır. Yanma odasından kartere doğru gazların sızmasını kompresyon segmanları önlemektedir. Kompresyon segmanları, yanma odasına en yakın çalışan parçalardan olduklarından, yüksek basınç, titreşim ve sıcaklık etkisi altında çalışmaktadırlar. Bu görevleri yerine getirebilmeleri için

dayanımlarının da yüksek olması gerekmektedir. Bununla beraber silindir cidarlarındaki aşınmanın minimum seviyede olması istenmektedir. Segman malzemesi olarak en çok dökme demir kullanılmaktadır. Segmanlar, sifero döküm yöntemiyle üretilerek dökme demir içerisindeki grafit malzemesi çok küçük parçacıklara ayrılmakta, böylece hem segmanın kendi kendini yağlaması sağlanmakta, hem de esnekliğinin artmasıyla malzemede oluşabilecek kırılmalıkların azaltılması amaçlanmaktadır. Tüm bu fonksiyonların daha iyileştirilebilmesi için segman yüzeylerinde kaplama yöntemi uygulanmaktadır. Kompresyon segmanlarında çabuk aşınmayı önlerken segmanlarda yağlayıcı özelliklerin artırılabilmesi için segman malzemelerinde kaplama malzemesi olarak, demir oksit, kadmiyum, nikel, fosfat, kalay, krom ve molibden gibi malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca özellikle ateş segmanı denilen birinci kompresyon segmanında kaplama malzemesi olarak krom veya molibden kullanılarak, segmanın yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılığı artırılmaktadır [74, 93]. Şekil 6.8. de içten yanmalı motorlarda kullanılan bazı segman çeşitleri gösterilmektedir [93].



Şekil 6.8. İçten yanmalı motorlarda kullanılan segman çeşitleri [93].

Piston üzerinde bulunan yağ segmanları, sistemdeki yağın yanma odasına geçişine engel olmakta, aynı zamanda pistonun aşağı hareketinde yağlayıcı elemanın kartere geri inmesine yardımcı olmaktadır. Bu sıyırma işlemi sırasında, sistemdeki yanma olayıyla ortaya çıkan karbon parçacıkları, motora giren toz ve diğer kirlleticiler de kartere indirilmektedir. Karterdeki yağlayıcı elemanda biriken bu istenmeyen parçacıklar, motor filtre elemanlarıyla sistemden çekilmeye çalışılmaktadır. Yağlayıcı elemanın sistemdeki döngüsüne devam etmesi ve filtrelerde uygulanan temizleme işlemleri neticesinde, piston, silindir yüzeyi, segman gibi motor elemanlarının temiz kalmaları sağlanmaktadır. Ayrıca karterde yağlayıcı elemanın soğutularak sisteme tekrar aktarılmasıyla motor parçalarında soğutma işlemi de yapılmış olmaktadır. Segmanlar her ne kadar gaz ve yağ sızdırmazlığını

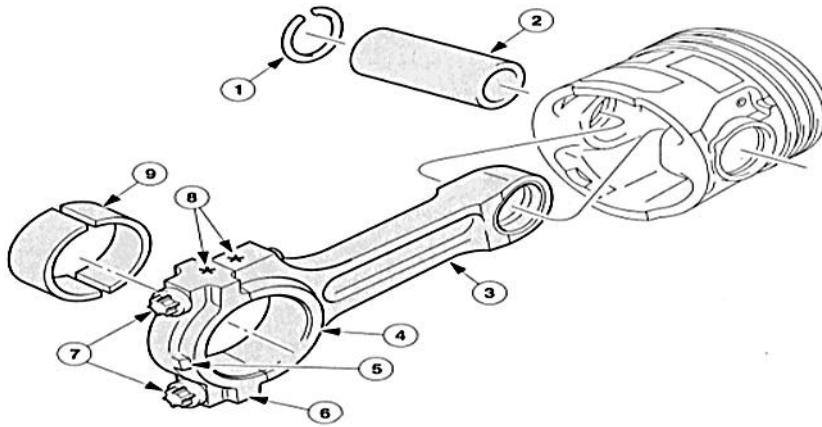
6.8. Piston Pimleri

Piston pimleri, büyük basınç altında çalıştıklarından dolayı yüksek basınca ve aşınmalara karşı dayanıklı alaşım çeliklerinden yapılmaktadır. Pimde aşınmaya karşı dayanıklılığın artırılabilmesi için ısıl işlemler ile yüzey sertleştirilmeleri yapıldıktan sonra

taşlanıp leblenerek, piston ve biyel ayağının birleştiği yerdeki yuvalarına takılmaktadırlar [93].

6.9. Biyel Kolu

Biyeller, krank mili ve pistonu birbirine mafsallı olarak bağlamaktadır. Pistondan alınan yanmış gaz basıncının, krank miline geçerken üzerinden iletildiği motor elemanı görevinde bulunmaktadır. Pistonun yanma odasında oluşan yanmış gaz basıncının etkisiyle silindir içerisinde yaptığı doğrusal hareketi, krank milinde dairesel harekete dönüşmesine yardım etmektedir. Geri kalan üç zamanda da krank milinin dönmesiyle oluşan dairesel hareket, biyel kolu yardımıyla doğrusal harekete çevrilerek pistonun zamanları meydana getirmesi sağlanmaktadır. Biyel kolları bir diğer adıyla piston kolları pistonu krank miline bağlamakta, bu nedenden ötürü çok sert ve sabit olmayan çekme, basma ve bükülme gibi kuvvetlere maruz kalmaktadırlar. Biyel kolları çevrim süresince devamlı yük altında çalışmaktadırlar. Bu yüzden dayanımlarının bütün bu yükleri karşılayabilecek düzeyde tutulması gerekmektedir. Biyel kolunun çiftli T kesitli yapısına sahip olması, biyel koluna gereken sertliği sağlamaktadır [92, 93, 94]. Şekil 6.10. da kısımlarına ayrılmış şekilde piston-biyel mekanizması görülmektedir [94].



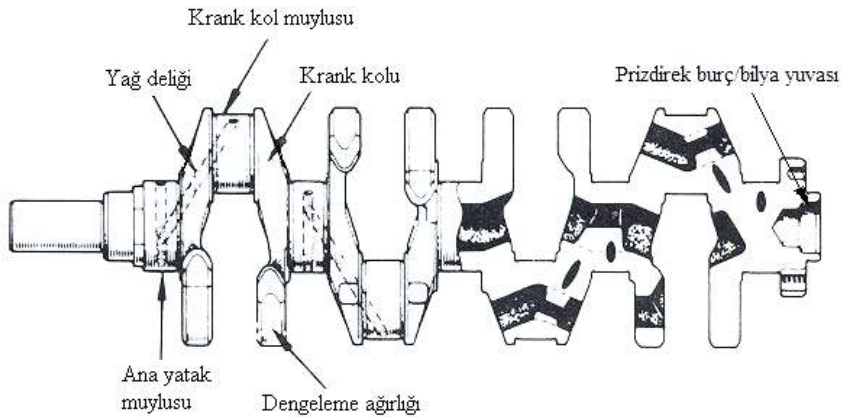
Şekil 6.10. Piston-Biyel mekanizmasının montaj resmi [94].

1-Segman, 2-Piston pimi, 3-Biyel kolu, 4-Büyük uç, 5-Çıkıntı, 6-Yatak kabuğu, 7-Tespit cıvataları, 8-Boy tanım işaretleri, 9-Yatak kepi [94].

6.10. Krank Mili

Motor çalışması sırasında oluşan yanma basıncının etkisiyle silindir içerisinde doğrusal hareket eden piston-biyel ikilisinin mevcut hareketlerini dairesel harekete çevirerek bu hareketi volan ve kavramaya ileten krank miline, yanma sonu oluşan doğrusal hareketi düzgün dairesel harekete çevirip gerçek anlamda sistem çalışmasını sağladığından dolayı ana mil de denmektedir. Döndürme momentinin uygun şartlar altında oluşturulabilmesi için biyeler, krank milleri üzerinde değişik açılarda bulunan muylulara bağlanmışlardır. Şekilsel olarak farklı görünümünden dolayı dirsekli mil olarak da tanımlanabilmesine karşın, otomotiv mühendisliği literatüründe daha çok krank mili olarak tanımlanmaktadır [74, 93].

Krank milleri ağır gerilmelere maruz kaldıklarından değişik yüklemeleri emniyetli bir şekilde karşılamak durumundadırlar. Bu farklı yükleme durumları, milin duruş ve konumuna, çevrimler içerisinde oluşan zamanların durumlarına göre değişebilmektedir. Diğer millerde olduğu gibi krank millerinde de dönel hareket sırasında ortaya çıkan burulma gerilmelerinin karşılanabilmesi için milin iç dokusu belirli bir elastikiyette yapılmaktadır. Sahip olunan bu elastikiyet neticesinde gaz ve kütle kuvvetlerinin etkisi altında kalarak eğilmeye zorlanmaktadır. Bu kuvvetler volanın bağlantı yerlerinde zorlanmalara neden olmaktadır. Buna rağmen volan ve krank milinin uygun bir flanş ile birbirlerine emniyetli cıvatalarla bağlı olduklarından, bağlantı yerlerinde bu kuvvetlerin etkisi çok fazla görülmemektedir. Bu şartlar altında en fazla etki, krank kollarının yan bölgelerinde görülmektedir [74]. Şekil 6.11. de krank mili ve kısımlarının görünümü verilmektedir [93].

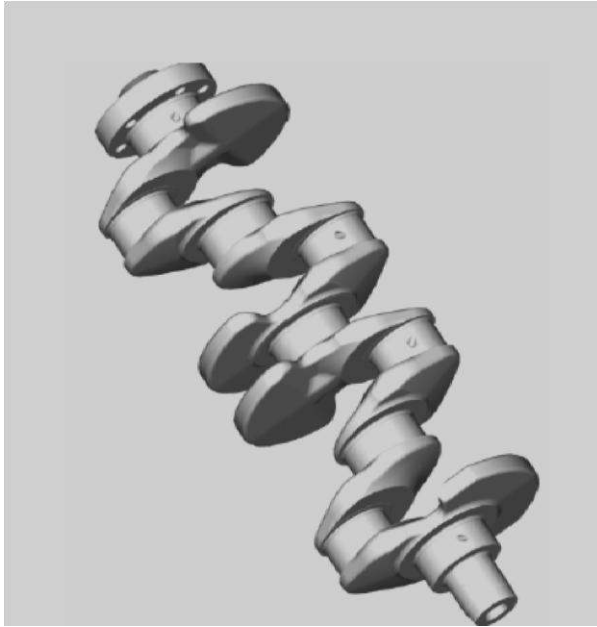


Şekil 6.11. Krank mili kısımlarının görünümü [93].

Krank millerinin maruz kaldıkları muhtelif kuvvetlerin etkisiyle eğilmeye karşı dayanımlarını arttırmak için mil yüzeyine ısıtma işlemleri uygulanarak sertleştirilmektedirler. Bu yolla krank millerinde yaklaşık % 60-90 oranında mukavemet artışı elde edilebilmektedir. Mukavemet oranındaki bu farklılık, sertleştirmede kullanılan yöntem, krank mili üretiminde tercih edilen yöntemlerden kaynaklanmaktadır [74].

Krank millerinin burulma gerilmelerinin karşısında en zayıf bölgesi, biyel muyluları olması hasebiyle, muylu emniyetli bir şekilde yataklanmakta, biyel ağırlığı, dayanımı ve montajı dikkate alınarak boyutlandırılmaktadır. Bilhassa yağlayıcı elemanın geçtiği delik ağızları uygun bir şekilde açıldığında muhtemel sıkıntılar azaltılmış olmaktadır. Çünkü yağ delikleri krank mil muylusu üzerinde çentik etkisi oluşturmaktadırlar [74].

Krank milleri, genellikle tek parça halinde, dövülerek veya dökülerek alaşımlı çeliklerden üretilmektedirler. Bazı özel motorlarda parçalı krank milleri de kullanılabilir. Krank millerinde statik ve dinamik denge uyumunun sağlanabilmesi, titreşimlerinin azaltılabilmesi, yüzey sertleştirme işlemlerinin tüm yüzeylere eşit uygulanabilmesi için tek parça olarak üretilmesi daha çok tercih edilmektedir [74]. Şekil 6.12. de içten yanmalı bir motora ait krank mili görüntüsü verilmektedir [94].



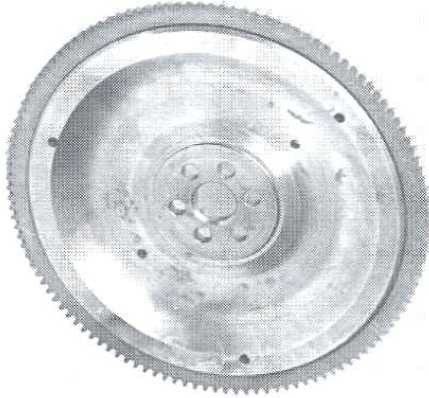
Şekil 6.12. İçten yanmalı bir motora ait krank mili görüntüsü [94].

6.11. Volan

Motorun çalışması esnasında, volanın üstlendiği görevler şu şekilde sıralanabilmektedir [74].

- Çevresine geçirilen volan dişlisi yardımıyla marş motoru dişlisinden hareketi almakta ve motora ilk hareketi sağlamaktadır.
- Ateşleme ve iş zamanlarında kazandığı hareket enerjisini bünyesinde depolayarak, diğer zamanlarda bu enerjinin tekrar kullanılmasıyla birlikte pistonların ölü noktaları kolayca atlatabilmesine yardımcı olmaktadır.
- Dairesel biçimli ve büyük kütleli olması nedeniyle, krank milinde meydana gelen değişik değerlerdeki dönme kuvvetlerini ortalama bir değere getirerek, özellikle ateşleme aralığı fazla olan dört veya daha az silindir sayısına sahip motorlarda düzenli çalışmayı sağlamaktadır.
- Kavramaya yataklık etmekte ve kavrama tertibatı yardımıyla güç aktarma organlarına hareket iletimini gerçekleştirmektedir.

Şekil 6.13. de volan ve volan dişlisinin birlikte görünümü verilmektedir [93].

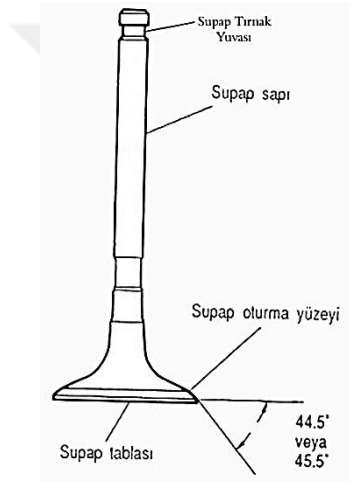


Şekil 6.13. Volan ve volan dişlisinin birlikte görünümü [93].

Volanlar genellikle ucuz, işlenmesi kolay olmasından dolayı grafitli dökme demirden veya dövme çelikten imal edilmektedirler. Dış tarafında da volan dişlisi adı verilen çelik bir çember dişlisi bulunmaktadır. Bu dişli, marş motorunun pinyon dişlisiyle karşılaşarak, motora ilk hareketi sağlamaktadır [74, 93].

6.12. Supaplar

Supaplar, içten yanmalı motorlarda çalışma dolgusunun emme zamanında silindir içerisine girmesini, egzoz zamanında da yanma sonu oluşan gazların silindirden dışarı atılmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, emme ve egzoz supaplarının her ikisi de sıkıştırma zamanında yeterli basıncın oluşabilmesi, ateşleme zamanında ise yanma sonu oluşan yüksek basıncın en yüksek oranda hareket enerjisine dönüştürülebilmesi için sızdırmazlık sağlamaktadırlar [74, 93]. Şekil 6.14. de supap elemanının genel yapısı gösterilmektedir [93].



Şekil 6.14. Supap elemanının genel yapısı [93].

Supaplar, dört zamanlı motorlarda kullanılırken, iki zamanlı motorlarda bu elemanların görevlerini “port” denilen kanallar yerine getirmektedir. Supap düzenekleri aracılığıyla açılıp kapanmaları gerçekleştirilen supapların açılmasını kam milleri sağlarken, kapanma görevi de supap yayları tarafından sağlanmaktadır. Dört zamanlı motorlarda emme ve egzoz olmak üzere her silindirde iki ayrı supap bulunmaktadır. Yüksek güç üreten motorlarda volümetrik verimin artırılması, yanma sonu oluşan gazların daha çabuk ve yüksek miktarda dışarıya atılımının sağlanabilmesi için, bir silindirde ikişer adet emme ve egzoz supapları bulunabilmektedir [74].

Supaplar, supap tablası ve supap sapı olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Supap tablasında supap oturma yüzeyi, supap yuvasına göre 1° farkla taşlanmaktadır. Örneğin, tabla oturma yüzeyi 45° ise supap yuvası 44° açıyla taşlanmaktadır. Böylece supap oturma yüzeyi ile supap yuvası arasında supaplar kapalıyken iyi bir sızdırmazlık sağlanmaktadır.

Emme supaplarının tabla çapı genel olarak egzoz supaplarının tabla çapından daha büyük yapılmaktadır. Bu şekilde emme zamanında silindir içerisine daha fazla karışımın alınması mümkün olmaktadır [74, 93].

Emme supabı, emilen soğuk çalışma dolgusu tarafından düzenli olarak soğutulmasına karşın 550 °C sıcaklıklara kadar çıkabilen çalışma sıcaklıklarıyla karşılaşırken, egzoz supapları ise sıcak gazlarla sürekli temas halinde olduklarından, 800-900 °C gibi yüksek sıcaklık etkisi altında kalmaktadırlar. Supapların bu tür yüksek düzeyden sıcaklıklara maruz kalmaları, mekanik ve kimyasal zorlanmalarla karşılaşmalarına, ayrıca supap ucunda, supap sapında ve supap oturma yüzeyinde sistem çalışmasıyla oluşan titreşimler nedeniyle de mekanik aşınmalara uğramalarına sebep olmaktadır. Emme ve egzoz supaplarının böyle yüksek ve farklı sıcaklıklarda çalışma zorunluluklarından dolayı her iki supap da farklı malzemeden yapılmaktadır [74, 93].

Supaplar, daima yüksek sıcaklıklarda çalıştıklarından dolayı mukavemetlerinin de bu yüksek sıcaklıklarda düşmemesi gerekmektedir. Genel olarak kullanılacak supap malzemelerinde kopma gerilmelerinin 800 °C’de 20 kg/mm² değerinden düşük olmaması gerekmektedir. Emme supapları genellikle nikel, krom, silisyum katkılı çeliklerden üretilmektedir. Supap oturma yüzeyleri, supap gövdeleri ve tırnak yayları da sürtünmelerden dolayı oluşan aşınmaların en aza indirilebilmesi için sertleştirilmektedirler. Egzoz supap malzemeleri, krom-kobaltlı, silisyum-wolframli, krom-nikel-wolframli, krom-manganlı özel çeliklerden seçilip üretilmektedir. Supap tablası ve supap gövdesinin tablayla birleşen kısmı yüksek sıcaklık dayanımı gerektirdiğinden özellikle, krom-manganlı çeliklerden üretilmektedir. Egzoz supap gövdesinin diğer bölümü ise, sürtünmelere karşı iyi kayma özelliği istendiğinden, sertleştirilebilen krom-silisyumlu çeliklerden üretilmektedir [74].

Krom-manganlı çeliklerden üretilen supapların ısı iletimlerinin istenen düzeyde olmamasından dolayı, supap gövdesi üretim aşamasında içi boş olarak imal edilerek, boşaltılmış bölgeye ısı iletim katsayısı yüksek olan metalik sodyum ile doldurulmaktadır. Soğuk şartlarda supaptaki boşluğun hacimsel olarak yaklaşık % 60’ını dolduran metalik sodyum, 97-100 °C sıcaklıklarında eriyerek iyi bir ısı ileticisi durumuna gelmektedir. Supap hareketleri neticesinde, supap tablası ve supap gövdesi arasındaki boşlukta hareket eden metalik sodyum eriyiği, ısı transferini sağlayarak, supap tablası sıcaklığının yaklaşık 100 °C daha aşağı çekilmesini sağlamaktadır. Bu özelliğiyle de bilhassa buji ile ateşlemeli motorlarda, dolgu malzemesinin egzoz supabı tarafından tutuşturulma tehlikesinin de

önüne geçilmiş olmaktadır [74, 92]. Ayrıca supaplar, yuvalarına oturduklarında üzerlerindeki ısıнын büyük bir kısmını yuvalar aracılığıyla sistem soğutucu akışkanına aktarmaktadırlar. Isının geri kalan kısmı da supap sapı ve supap kılavuzu yardımıyla soğutucu akışkana iletilmektedir. Bunun yanında, emme supapları, emme zamanında silindirlere alınan dolgu veya hava ile de soğutulmaktadırlar [93].

6.13. Kam Mili

Supapları dört zaman çevrimi esasına göre, zamanında açan, ilgili kurs süresince açık kalmasını sağlayan ve supap yayları vasıtasıyla kapanmalarını sağlayan, yapısında eksantrik çıkıntılarla üretilmiş bir mil olan kam miline, eksantrik mili de denilmektedir. Kam mili; bu temel özelliğinden başka ayrıca, üzerinde bulunan bir helis dişli vasıtasıyla distribütör ve yağ pompasını, özel bir kam yardımıyla da yakıt otomatığını çalıştırmaktadır [74,93].

Dört zamanlı motorlarda kam milleri, motor bloğu içerisinde krank milinden $\frac{1}{2}$ oranında hareket iletim oranıyla çalışmaktadır. Yani bir çevrimin gerçekleşebilmesi için krank mili 720° dönerken kam mili 360° dönmektedir. Bir başka anlatımla krank milinin her iki devrine karşılık kam mili bir devir yapmaktadır [74, 93].

Kam milleri, krank milleri ile birlikte çalışarak zamanların oluşumunu sağlamaktadır. Krank milinden hareketlerini dişli, zincir veya triger kayışı vasıtasıyla almaktadırlar [93]

Şekil 6.15. de içten yanmalı bir motora ait kam millerinin görüntüsü verilmektedir [94].



Şekil 6.15. İçten yanmalı bir motora ait kam millerinin görüntüsü [94]

Kam milleri küresel grafitli dökme demirden veya yüksek kaliteli çelik alaşımlardan presle dövülerek veya dökülerek tek parça halinde üretilmektedirler. Kam mili üzerinde muylular, kamlar ve hareket verme dişlileri bulunmaktadır. Mil sertleştirilmeden önce muylu ve kam yüzeyleri kaba olarak işlenmekte, daha sonra ısıt işlemlerden geçirilerek muylu ve kam yüzeyleri sertleştirilmektedir. Kaba işlenen yüzeyler esas ölçülerinde hassas olarak taşlanarak kullanılabilir duruma getirilmektedir. Sertleştirilme işlemi genellikle alev veya indüksiyonla yapılmaktadır. Sertleştirilme işlemi ile kam milinin çalışan dış çevresinde; aşınmalara karşı, derinliği 0.76-1.01 mm arasında sert, özlü bir katman oluşturulmaktadır [93].



7. UYGULAMA ÇALIŞMALARI

7.1. Analiz Süreci ve Uygulama

Analiz çalışmasında yağ numunelerinin alındığı deney motoru olarak; 2007 model, 3 silindirli, 1.4 litre motor silindir hacmine sahip, sıkıştırma ateşlemeli dizel motoru kullanılmıştır. Taşıt, Mart-Ağustos ayları arasında Malatya, Elazığ, Diyarbakır illeri yerel sıcaklık değerleri altında şehir içi, şehirlerarası, yokuş dirençli yol, şose yapılı yol durumları ayrımı olmaksızın analiz numunelerinin alımları süresince takibe alınmıştır. Motor yağı numunesi olarak araçtan 900-1000 km'lik normal araç kullanımları akabinde, numune alım şartlarına uygun olarak, motor yağı numuneleri alınmıştır. Analizi yapılacak motor yağı numuneleri alınırken araç rüzgâr, aşırı güneş ışığı, uçuşabilecek toz zerrecikleri gibi dış ortam etkilerinden etkilenmeyecek şekilde azami steril koşullar oluşturulmaya çalışılmıştır. Numune alımı öncesinde aracın, normal kullanımı sonrasında yaklaşık olarak 3-4 dakika rölanti çalışması sağlanmış, motorun durdurulması akabinde sistem ekipmanlarını yağlayan yağlayıcı elemanın sistemden süzülüp taşıt karterine inmesi için yaklaşık 1 dakika beklenmiştir. Bekleme süresi, sistemden süzülen motor yağının kartere indikten sonra içerisinde bulundurduğu aşınma ürünlerinin karter tabanına inmesinin önlenmesi amacıyla kısa tutulmuştur. Araç yağ dolum tapası dikkatli bir şekilde açılmış, yağlayıcı numune alım kiti, yağlayıcı eleman seviye izleme çubuğu uzunluğu dikkate alınarak, karter tabanındaki muhtemel tortulaşmaya temas edilmeden, yağ çubuğu uzunluğu alt seviyesi baz alınmış ve karter içerisine yerleştirilmiştir. Analizler için gerekli miktar ve araç yağlayıcı eksilmesi dikkate alınarak, karterden yağlayıcı numuneleri çekilmiş ve özel yapım cam deney tüplerine alınmıştır. Motor çalışması akabinde çekilen sıcak yağın plastik deney kaplarıyla muhtemel reaksiyonlarını önlemek amacıyla kapaklı cam deney tüpleri tercih edilmiştir. Numune alımları sonucunda cam tüpler ışıktan ve dış etkenlerden muhafazalı bir şekilde analiz laboratuvarlarına gönderilmiştir. Bu işlemler, deney motoru karter yağ hacmi dikkate alınarak, biri kullanılmamış motor yağı numunesi olmak üzere dört numune alımı şeklinde tekrar edilebilmiştir.

Araçta ayrıca motor parçalarının metal kompozisyonlarının tespiti için de spektrometrik analizler de yapılmıştır. Bunun için de, analizlerde kullanılan aracın servis ve yedek parça hizmetlerinin sağlandığı birimlerden, aynı teknik özelliklere sahip araçların

servis ve arıza onarımları neticesinde ortaya çıkarılmış eş motor parçaları kullanılmıştır. Spektrometrik analizler için, organize sanayi bölgesinde döküm malzeme üretimleri gerçekleştiren, özel sektöre ait bir döküm fabrikasının spektrometrik analiz cihazı kullanılmıştır.

Alınan yağlayıcı numunelerinin, viskozite, su miktarı, TBN gibi değerlerinin ortaya çıkarılması için laboratuvar çalışmalarına tabi tutulmuştur. Ayrıca ICP tekniği kullanılarak, numunelerde mevcut elementlerin tespit edilmesi amacıyla elementsel analizler yapılmıştır. Şekil 7.1. de özel sektöre ait, spektral analiz yöntemiyle kimyasal metal analizlerinin yapıldığı spektrometre analiz cihazının resmi gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Spektral analiz yöntemiyle kimyasal metal analizlerinin yapıldığı spektrometre analiz cihazı

7.2. Spektrometrik Metal Analiz Sonuçları

Tablo 7.1. de krank mili numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları verilmektedir.

Tablo 7.1. Krank mili numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları

Fe	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Ce	Cr
98.1	0.206	0.950	0.0225	0.0312	0.0085	0.0096	0.0383	<0.0050	0.5980

Cu	Mg	C	V	La	Sn	Pb	B	Ca
0.0187	0.0035	0.421	0.0112	<0.0010	<0.0022	<0.0055	<0.0015	>0.0081

Zn	Zr	Bi	Ti	Co	As	Nb
0.0033	<0.0010	<0.0045	0.0030	0.0023	<0.0035	0.0174

Tablo 7.2. de kam mili numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları verilmektedir.

Tablo 7.2. Kam mili numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları

Fe	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Cr	C
97.6	0.322	0.730	0.0133	0.0128	0.168	0.409	0.334	0.505	0.190

Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
0.0172	0.128	<0.0055	<0.0055	<0.0055	0.0283	<0.0110

Tablo 7.3. de silindir gömleği numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları verilmektedir.

Tablo 7.3. Silindir gömleği numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
93.12	3.40	1.85	0.840	0.1150	0.0802	0.347	<0.0050	0.158	0.0030

Co	Cu	Mg	Nb	Ti	V	Pb	Sn	B
<0.0050	0.0818	0.6705	<0.0020	0.0209	0.0076	<0.0500	0.0878	0.0012

Zr	As	Zn
0.0030	0.0089	<0.0050

Tablo 7.4. de egzoz supap tablası numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları verilmektedir.

Tablo 7.4. Egzoz supap tablası numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
61.90	0.479	0.113	11.80	0.0124	<0.0050	21.20	<0.0050	4.115	0.0050

Co	Cu	Nb	Ti	V	W
0.0378	0.152	0.0060	0.0082	0.0679	0.0040

Tablo 7.5. de egzoz supap gövdesi numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları verilmektedir.

Tablo 7.5. Egzoz supap gövdesi numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Ni
1.345	0.025	0.380	0.050	<0.0050	0.0015	19.045	0.250	1.285	78.050

Cu	Zr	Ti	Nb	B	V	W	Co	Mg	Pb
0.020	0.015	3.120	0.030	<0.0030	0.0205	0.0125	0.315	0.0040	0.0025

Tablo 7.6. da birinci kompresyon segmanı numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları verilmektedir.

Tablo 7.6. Birinci kompresyon segmanı numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları

Fe	C	Cr	Mn	P	S	Si	Mo	Ni	Al
93.452	2.86	3.80	0.120	0.024	<0.0050	0.007	0.018	0.050	0.018

As	Bi	Zr	Ti	B	Nb	V	W	Co
0.0020	<0.0040	<0.0020	0.0045	<0.0015	0.0030	<0.0085	<0.0060	0.0090

Mg	Sn	Pb	Zn	Ta
0.035	0.0030	0.0045	<0.0105	<0.0050

Tablo 7.7. de motor bloğu numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları verilmektedir.

Tablo 7.7. Motor bloğu numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
92.85	3.40	1.71	0.718	0.0596	>0.140	0.173	<0.0050	0.0630	0.0026

Co	Cu	Mg	Nb	Ti	V	Pb	Sn	B	Zr
0.0103	0.763	0.0041	<0.0020	0.0208	0.0176	<0.0500	0.0276	0.0116	0.0072

As	Zn
0.0252	0.0078

Tablo 7.8. de biyel kolu numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları verilmektedir.

Tablo 7.8. Biyel kolu numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
94.82	0.52	1.73	0.944	0.0522	>0.140	0.1324	0.0450	0.424	0.0023

Co	Cu	Mg	Nb	Ti	V	Pb	Sn	B
0.0194	0.0719	<0.0005	<0.0020	0.0074	0.0070	<0.0500	0.0163	0.0157

Zr	As	Zn
<0.0030	0.0292	<0.0050

Tablo 7.9. da biyel kolu yatağı numunesinin iç yüzeyinden spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları verilmektedir.

Tablo 7.9. Biyel kolu yatağı numunesinin iç yüzeyinden spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları

Fe	Mn	S	Cr	Ni	Al	Co	Cu	Mg	Ti
0.0265	0.0140	1.1195	0.0254	0.0284	5.854	0.0082	0.0456	<0.0245	<0.0015

Sn	As	Zn	Pb	Bi	Cd
7.015	<0.0002	0.0560	82.685	<0.0015	<0.0015

Tablo 7.10. da biyel kolu yatağı numunesinin dış yüzeyinden spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları verilmektedir.

Tablo 7.10. Biyel kolu yatağı numunesinin dış yüzeyinden spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
99.41	0.09055	0.0109	0.3765	0.0126	0.0101	0.0119	<0.0050	<0.0050

Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
0.0985	<0.0010	0.0072	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0010	<0.0020

Sn	B	Zr	As
0.0062	<0.0010	0.0036	<0.0050

Tablo 7.11. de piston pimi numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları verilmektedir.

Tablo 7.11. Piston pimi numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
98.96	0.236	0.220	0.464	0.0226	0.0390	0.0127	<0.0050	<0.0050	0.0016

Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	B
<0.0010	0.0138	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0010	<0.0020	0.0054	<0.0010

Zr	As
0.0025	0.0090

Tablo 7.12. de piston numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları verilmektedir.

Tablo 7.12. Piston numunesinden, spektrometrik analiz sonucu elde edilen kimyasal metal analiz raporunda elementlerin % derişim oranları

Fe	Pb	Mn	Ni	Si	Al	Zn	Cr	Ti
0.865	0.00849	0.155	0.965	12.65	82.95	0.116	0.0120	0.0315

Mg	Cu
0.930	1.300

Çeşitli yağlama yağı üretici verileri ve yapılan araştırmalar neticesinde benzinli ve dizel yakıt kullanan motorların kullanılmış yağlama yağı analizlerinde tespiti yapılan elementlerin, yağlayıcı eleman içerisinde bulunabilme oranları aşağıda tablolar halinde verilmektedir. Birinci tabloda iki değere yer verilme nedeni ilk değerin düşük aşınma seviyesini, ikinci değerin ise yüksek aşınma seviyesini belirttiği anlamını taşımaktadır. Yağlama yağı üreticilerinin ve yağ üretim teknik ve kalitelerinin çeşitliliği nedeniyle farklı yağlayıcılarda farklı limit aşınma değerleri olabilmektedir.

7.3. Aşınma Elementleri Limit Değerleri

Tablo 7.13. de özellikle benzinli motorlarda karşılaşılan aşınma elementleri limit değerleri ppm mertebesinde tablo olarak verilmektedir [46].

Tablo 7.13. Özellikle benzinli motorlarda karşılaşılan aşınma elementleri limit değerleri [46].

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

Tablo 7.14. de yağlama yağı üreticisi tarafından oluşturulmuş dizel ve benzinli motorlarda aşınma elementleri limit değerleri ppm mertebesinde bir tablo şeklinde verilmektedir [95].

Tablo 7.14. Yağlama yağı üreticisi tarafından oluşturulmuş dizel ve benzinli motorlarda aşınma elementleri limit değerleri [95].

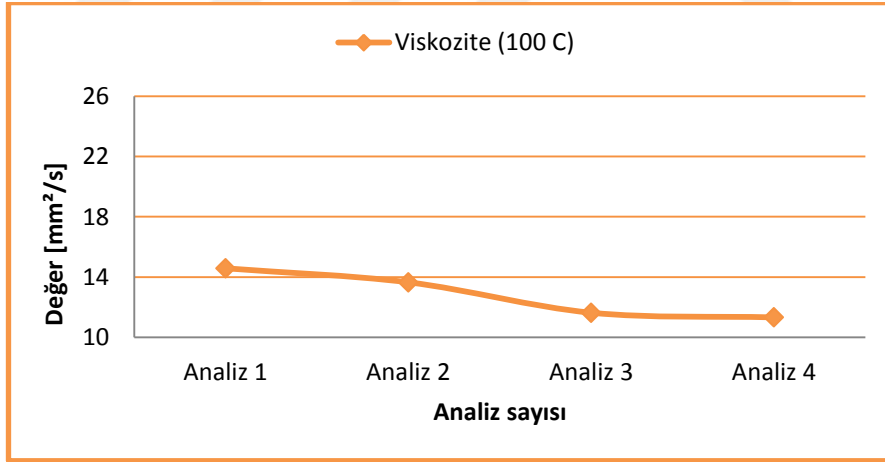
Element (ppm)	Fe	Al	Cr	Cu	Pb	Ni	Sn	Si	Mn	Sb	Na
Dizel Motor	50	20	10	30	20	5	15	15	5	5	50
Benzinli Motor	300	37	25	37	4999	7	20	30	250	25	50

7.4. Yağlayıcı Seyir Grafikleri

Laboratuvar analizleri neticesinde elde edilmiş olan, kullanılmış yağlama yağı verilerinden oluşturulmuş durum grafikleri aşağıda verilmektedir.

7.4.1. Viskozite 100°C Durum Grafiği

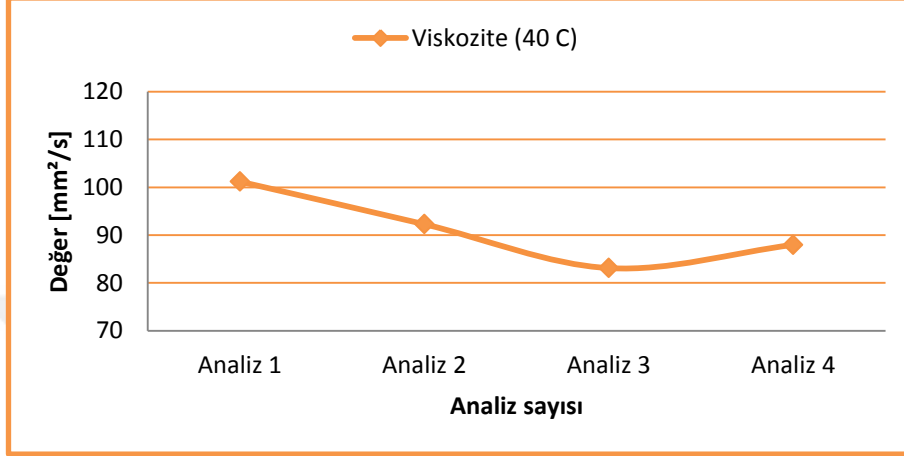
Şekil 7.2. de, yapılan analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Viskozite 100 °C değerleri verilmektedir.



Şekil 7.2. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Viskozite 100 °C değerleri

7.4.2. Viskozite 40°C Durum Grafiği

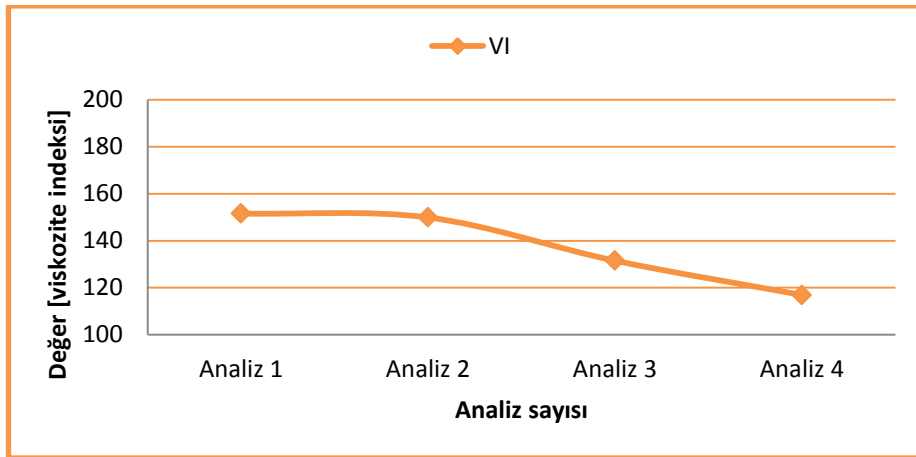
Şekil 7.3. de, yapılan analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Viskozite 40 °C değerleri verilmektedir.



Şekil 7.3. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Viskozite 40 °C değerleri

7.4.3. Viskozite İndeksi Durum Grafiği

Şekil 7.4. de, yapılan analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Viskozite İndeksi değerleri verilmektedir.



Şekil 7.4. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Viskozite İndeksi değerleri

Viskozite indeksi (VI), sistemde kullanılan yağlayıcı elemanın dış ortamdan kaynaklanan veya sistemin çalışmasıyla oluşabilecek sıcaklık artışlarından veya aksine

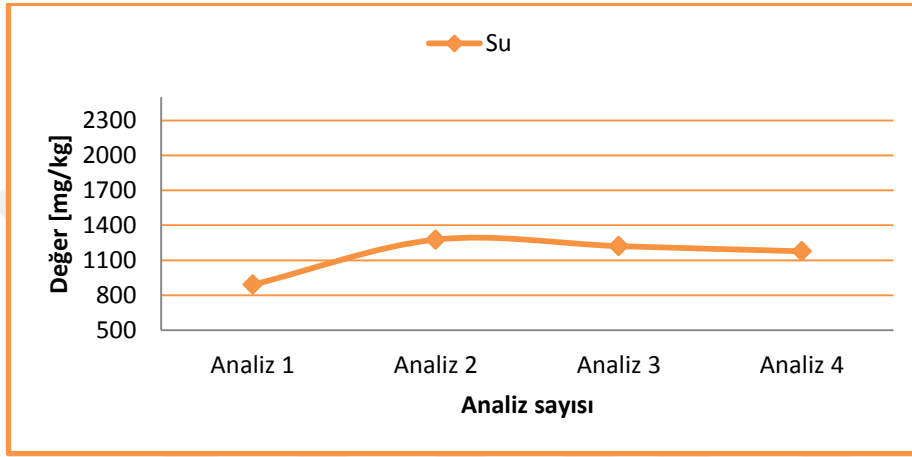
düşük sıcaklıklardan kaynaklı viskozite değişimlerinin bir ölçütü olarak karşımıza çıkmaktadır [88]. Daha açıklayıcı bir biçimde ele alınırsa; viskozite indeksi değerinin yapılan analizler sonucunda bir azalış profilinde elde edilmesi, sıcaklık karşısında yağlayıcının incelmesini dolayısıyla viskozitesinde azalmaların oluşacağını göstermektedir. Aynı bakış açısıyla bakıldığında, viskozite indeksi değerinin analizler sonucunda artma eğilimi göstermesi de, yağlayıcı elemanın sıcaklık faktörü karşısında viskozite kararlılığını koruduğunu ve değişimin sınırlı kaldığını açıklamaktadır. Bunu sağlarken de, yağlayıcı elemanların sıcaklık artışıyla yapılarında incelme olması, sıcaklık düşüşüyle de katılaşma formuna yönelmeleri bir ölçüt olarak öngörülebilmektedir. Sıcaklıkla viskozite değerindeki düşüşler sistemdeki yağlayıcının yağlama özelliğini olumsuz etkilediğinden, yağlayıcı eleman üreticileri tarafından üretilen multigrade yağlar bilhassa ağır hizmet araçlarında tavsiye edilmektedir [96]. Analiz sonucu elde edilen grafiğe dikkat edildiğinde; multigrade sınıfından kullanılan yağlayıcının analiz öncesi değerinin 100'ün üzerinde olduğu ve analiz sayısına bağlı olarak zamanla ölçülen diğer değerlerde düşüş trendine girdiği görülmektedir. Bunun nedenleri olarak; Gresham, Yıldırım gibi literatür çalışmaları da dikkate alındığında [1, 88], numunelerin alındığı aracın kullanıldığı bölgelerdeki yerel sıcaklık ortalamalarının yüksek seyretmesi ve araç motorunun bu sıcaklık değerleri altında uzun süreli aktif halde tutulması olarak öngörülmektedir. Kaba bir hesaplama ile viskozite indeksi değerinin yaklaşık % 22 azalma yönlü değişimi ve özellikle ikinci numune alımından sonra düşüş eğiliminde olmasında, bölgenin yaz sıcaklık değerlerindeki yükselmelerin ve uzun süreli motor çalıştırmalarının etkisiyle motor sıcaklığındaki yüksek seviyelerin de katkısının olduğu tespitinde bulunmaktadır. Elbette istenmeyen bir durum olarak viskozite indeksiindeki bu düşüş takip edilmeli ve % 25'lik düşüşlerle [96] karşılaşılması için aracın seyir durumları gözden geçirilmelidir. Ayrıca viskozite 40 °C ve viskozite 100 °C değerleri incelendiğinde, sırasıyla yaklaşık % 18 ve % 22.3 değerlerinin kabul edilebilir maksimum yağlayıcı eleman viskozite değerleri arasında olduğu [46, 96], ancak motor durum takibinin yapılması gerektiği değerlendirilmektedir.

Yapılan araştırmalar ve deneysel çalışmalar, sistemdeki yağlayıcı eleman kayıplarının yaklaşık % 70-75 gibi yüksek oranlarda seyreden kısmının silindirlerdeki yanma olayıyla beraber gerçekleştiği, bu oranın %5-10 gibi kısmının ise silindir ve çevresinde oluşan yüksek ısıdan kaynaklanan buharlaşma neticesinde azaldığını göstermektedir. Silindir blok sıcaklığının artmasıyla bu sıcaklığın emme stroku boyunca

silindir iç yüzeyinde kalan yağlayıcı katmana etkisi artmakta ve yağlayıcı azalması gerçekleşmektedir [44, 77].

7.4.4. Su Mevcudiyeti Durum Grafiği

Şekil 7.5. de, yapılan analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen su değerleri verilmektedir.



Şekil 7.5. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen su değerleri

İçten yanmalı motorlarda veya mekanik sistemlerde, belli yük ve tahrik gücü altında birbirleriyle temas halinde çalışan tüm sistem ekipmanları arasında hareketin kolaylaştırılması, kuru sürtünme durumlarıyla oluşabilecek aşınma neticesindeki madde kayıplarının önüne geçilmesinde ve sistemde soğutma amaçlı veya sistemde oluşabilecek yüksek ısının giderilmesi amaçlarıyla yağlayıcı elemanlardan yararlanılmaktadır. Bu nedenlerle sistemdeki yağlayıcı elemanın yağlayıcılık özellikleri önem arz etmekte ve bu özelliklerin muhafaza edilmesi büyük önem taşımaktadır. Yağlama yağına dış etken kaynaklı olarak karışabilecek yabancı maddeler ve sistemde çalışma sonucu üretilen yanma ve aşınma ürün ve partiküller, yağlayıcı elemanın yağlama kapasitesinde kayıplara, dolayısıyla yağlama görevinin yapılamamasına neden olmaktadır. Motor yağları, hidrolik yağlar, transmisyon, diferansiyel ve cer yağları olmak üzere yağlayıcı eleman kullanılan tüm sistemlerde ortak olarak bulunmaması gereken dış ortam kaynaklı kirleticilerin başında, yağlayıcı elemandaki olası su varlığı gelmektedir. Yağlama yağında su varlığı; sistemde asit oluşumuyla birlikte korozyona neden olmakta, yağlayıcıda oksitlenme ile beraber köpükleşme ve lak oluşumlarının meydana gelmesine neden olmaktadır. Yağlama

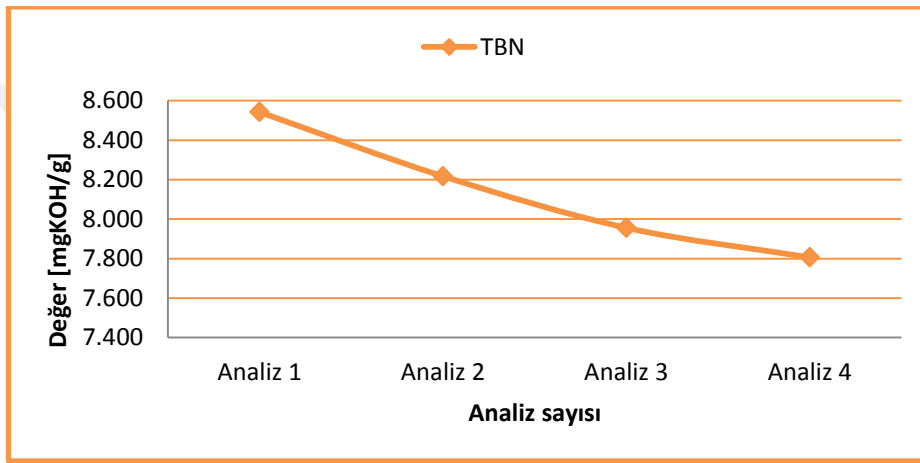
yağlarının üretimi sırasında her ne kadar yağlayıcıya su molekülleri katılmasa da dolum, taşıma ve depolama safhalarında atmosferdeki nem, sıcaklık değişimleriyle oluşabilecek su buharı ve sızma şeklinde havayla temas neticesinde bile yağlayıcı elemanda su varlığına rastlanabilmektedir. Hatta yağlama yağının sisteme aktarımı sırasında yağın içinde bulunduğu tankın veya muhafazanın kapağının açılmasıyla bile havayla temas neticesinde yağda su zerrecikleri karışabilmektedir. Nitekim bazı literatür çalışmaları ve yağ analiz sektöründe hizmet veren kurumların çalışmaları [97, 98] göz önüne alındığında, kullanılmamış yağda su varlığına rastlanılması yönündeki tahmin ve tespitler daha da güçlenmektedir. Analiz çalışmaları kapsamında kullanılan deney motorundan alınan yağlayıcı eleman numunelerinde, laboratuvar çalışmaları neticesinde kullanılmamış yağ numunesinde de analizlere dayanarak su miktarı tespitinde bulunmaktadır. Kullanılmamış yağ numunesi olarak tespit edilen yaklaşık 890 mg/kg su değeri yüksek bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonraki analiz süreçleri dikkate alındığında, yağ numunelerindeki su miktarının artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Özellikle üçüncü analiz sonuna kadar artma eğiliminde bulunması dikkate değer görülmekte ve bir uyarı işareti olarak değerlendirilmektedir. Analiz değerlendirmeleri dikkate alındığında, ortaya çıkan sonuçların bir bütün olarak değerlendirilmesi görüşü önem teşkil etmektedir.

Sistemde bir nevi soğutkan olarak ta kullanılan yağlama yağları, uğradıkları sistem ekipmanlarındaki yüksek sıcaklığı da üzerine almakta ve döngüsünü sürdürerek kartere geri dönmektedir. Sıcak bir şekilde kartere gelen yağ, yanma sonucu oluşan su buharı zerreciklerini de sızma sonucu bünyesine alabilmekte, yetersiz karter havalandırması ve her sıcaklıkta buharlaşma olması sonucunda oluşan su buharı zerreciklerinin yoğunlaşmasıyla kartere geri dönerek yağda su varlığına sebebiyet verebilmektedir. Kg bazında 890 mg değeri ilk bakışta düşük gibi görülse de, hiçbir yağlayıcı elemanda en düşük miktarda bile olsa su miktarının kabul edilmemesi ana prensibi gereğince ortaya çıkan durumun sebep ve sonuçlarıyla incelenmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Çeşitli araştırma ve analiz verileri ile yağlama yağı üreticileri bilgilendirmeleri dikkate alındığında, motor yağlama yağlarında tolere edilebilecek maximum su miktarlarının % 0.2 ile % 0.5 arasında değişkenlik gösterebildiği görülmektedir [99, 100]. Buna göre kullanılmamış yağ ve sonraki yağlayıcı eleman analizlerindeki değerlerin, bu sınır değer çeşitlemelerine göre daha düşük kaldığı tespitinde bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre yağlayıcı elemanın kullanılabilirliğinde herhangi bir müdahale durumuna gerek olmadığı yönünde kanaate varılmaktadır. Tek yönlü analiz değerlendirmelerinin geçerlilik derecesi,

tüm analiz değerlendirmeleri göz önünde bulundurulduğunda yetersiz ve zaman zaman yanlış sonuçlara da neden olabilmektedir. Bu yüzden genel durum değerlendirmesinde, yapılan diğer analiz sonuçları da durum belirleyici konumda olabilmektedir.

7.4.5. TBN Durum Grafiği

Şekil 7.6. da, yapılan analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen TBN değerleri verilmektedir.



Şekil 7.6. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen TBN değerleri

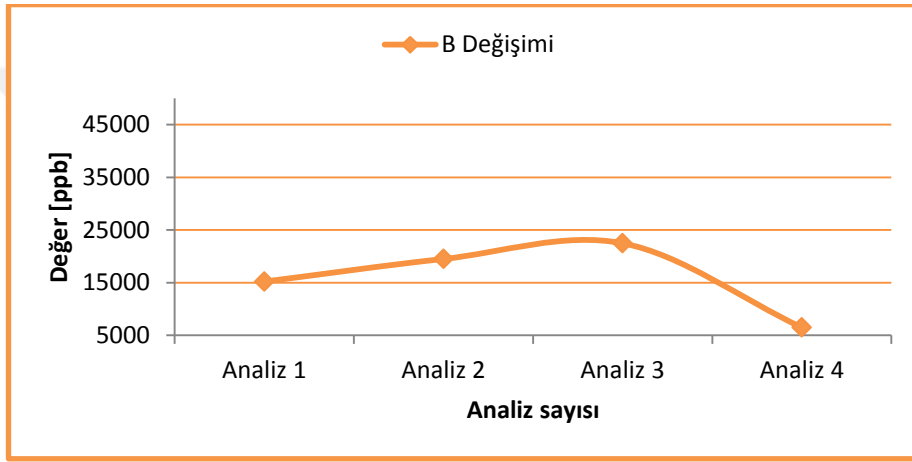
ICP-MS cihazı kullanılarak yağlayıcı numunelerinde yapılan element analizleri neticesinde ulaşılan elementsel verilerin analiz sayılarına göre değişim grafikleri oluşturulmuş ve aşağıda verilmiştir. ICP-MS analiz cihazında tüm numuneler üç tekrar analiz sürecinden geçirilmiştir. Ulaşılan değerler ppb (parts per billion) mertebesinde olup her analiz sonucunda elde edilen veriler kayıt altına alınmıştır. Numunelerdeki elementsel analizlerin sonucunda elde edilen bütün değerlere karşılık, tespiti yapılan her bir elementin değerlerinin ortalama değeri hesaplanarak o element için ppb mertebesinde ortalama element mevcudiyeti ortaya çıkarılmıştır. Analiz çalışmasında kullanılan deney motoru silindirinin düşük hacimli olması da dikkate alınarak daha hassas analiz yapılabilmesi amacıyla ppb mertebesinde element tespiti yapılmıştır. Bu nedenle, ilerleyen kısımlarda tespiti yapılan bazı elementlerdeki yüksek oranların ppb mertebesinde tespit edilen değerler olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

7.5. Element Seyir Grafikleri

ICP-MS analiz cihazı kullanılarak yağlayıcı numunelerinde tespiti yapılan elementlerin durum grafikleri aşağıda verilmektedir.

7.5.1. B Elementi Durum Grafiği

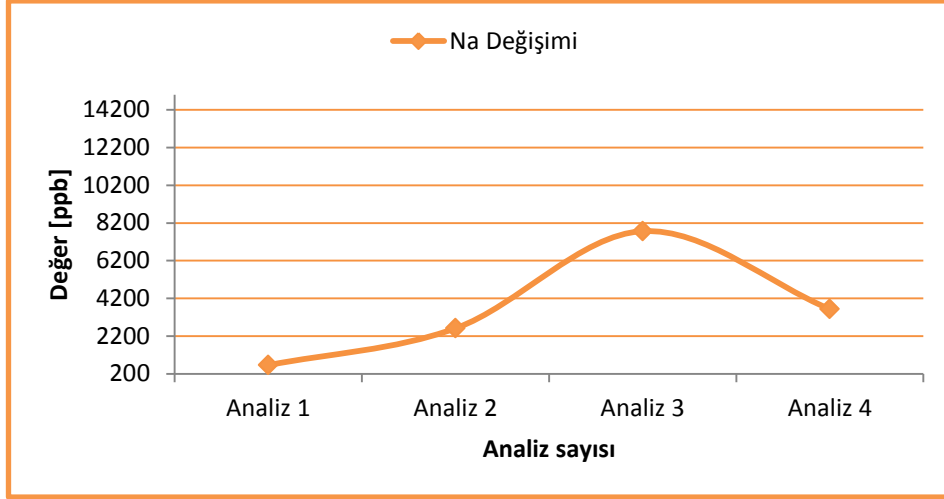
Şekil 7.7. de, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen B elementi değişim grafiği verilmektedir.



Şekil 7.7. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen B elementi değişim grafiği

7.5.2. Na Elementi Durum Grafiği

Şekil 7.8. de, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Na elementi değişim grafiği verilmektedir.



Şekil 7.8. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Na elementi değişim grafiği

Yağlama yağında su varlığının tespiti ve sonrasında bu miktarın artan eğilimde belirlenmesi ile diğer analiz sonuçlarına da bakılması gerektiği tespiti yapılmaktadır. Nitekim element analizinde ortaya çıkan bor ve sodyum elementlerinin varlığı ve miktar durumları, konunun değerlendirilmesinde ek bir bakış açısı oluşturmaktadır.

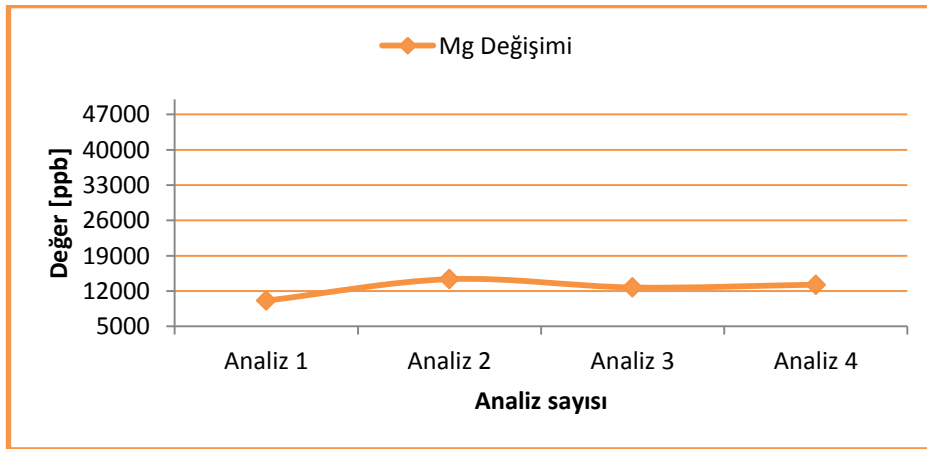
Bor elementi genellikle yağlayıcı elemanlarda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bilindiği gibi yağlama yağlarına katılan katkı maddeleri, yağı korozyif etkileşimlere, sürtünme etkisi ve köpükleşme gibi yağlama yağı özelliklerini azaltıcı etkenlere karşı koruyuculuk sağlamaktadır. Ayrıca sistem çalışması devam ettikçe bu katkı maddelerinin seviyelerinde azalmalar olmaktadır. Dolayısıyla bor ve sodyum elementleri miktarında zamanla azalmaların olması gerektiği tespitinde bulunmaktadır. Ancak bu iki element mevcudiyetlerinde ilerleyen analizlerde artışlar olduğu görülmektedir. Özellikle sodyum miktarında analizlerin kendi aralarında sırasıyla % 298, % 197 ve kullanılmamış yağa göre üçüncü analiz sonucunda yaklaşık % 1085 oranında artışlar olduğu tespit edilmiştir. Motorların yapısında bulunmamasına rağmen sodyum miktarında oluşan bu artışlar yağlama yağına soğutma suyunun karıştığı bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir [37, 100, 101]. Bor miktarında ilk üç analiz arasında sırasıyla, % 28, % 15 ve genelde kullanılmamış yağa göre üçüncü analiz sonucunda yaklaşık % 47 oranında artış görülmektedir. Yağlama yağında su varlığının tespiti ve sonrasında bor ve sodyum miktarlarındaki artış oranları birlikte değerlendirildiğinde, su girişiyle beraber bor katkılı motor antifrizinin de yağlama yağına karıştığı öngörüsünde bulunmaktadır. Ayrıca aktif olarak kullanılan deney aracı kullanıcısı tarafından motorda soğutma suyu eklemelerinin sık aralıklarla yapıldığı ve araç kış koşulları kullanımında motor radyatör suyuna donma

önleyici olarak antifriz koyulduğu bilgileri elde edilmiştir. Eksilen soğutma suyunun yerine yenisinin eklenmesiyle ve kış şartlarından kalma antifriz miktarının su eklemeleriyle giderek seyrelmesiyle üçüncü analizden sonra bor miktarında düşüşler olduğu tespitinde bulunmaktadır. Bor ve sodyum elementlerinin yağlayıcı numunelerinde üçüncü analizden sonra birlikte düşüş trendine girmeleri, motor soğutma suyunda bulunan antifrizden kaynaklandığı görüşünü desteklemektedir. Üçüncü analizden sonra düşüş eğilimine girmesine rağmen, dördüncü analizde kullanılmamış yağ numunesine göre % 453 daha fazla sodyum miktarı tespiti ile sızıntının azalma eğiliminde olmakla beraber devam ettiği öngörüsünde bulunmaktadır. Ayrıca sodyum miktarının yüksek çıkmasında dış ortamdaki yol tuzu ve toz zerreciklerinin de sisteme dahil olabileceği konusunun da ihtimaller arasında olduğu belirtilmektedir [102].

Dış ortamdaki motora hava emiş sistemi veya herhangi bir sızma yoluyla girebilecek toz ve kirlilik partikülleri yağlama yağı analizlerinde genel olarak tespit edilebilen kirleticiler grubundan sayılmaktadır. Doğal olarak bu partiküllerin sisteme aşırı miktarda nüfuz etmesiyle motor elemanlarında sürtünme ve aşınma yoluyla deformasyonların oluşabileceği sistem yağlayıcı analizlerinde tespit edilebilmektedir.

7.5.3. Mg Elementi Durum Grafiği

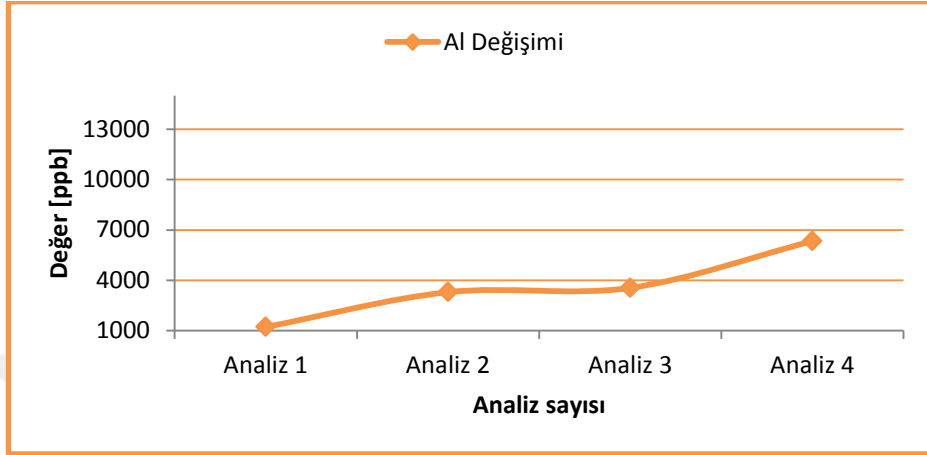
Şekil 7.9. da, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Mg elementi değişim grafiği verilmektedir.



Şekil 7.9. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Mg elementi değişim grafiği

7.5.4. Al Elementi Durum Grafiği

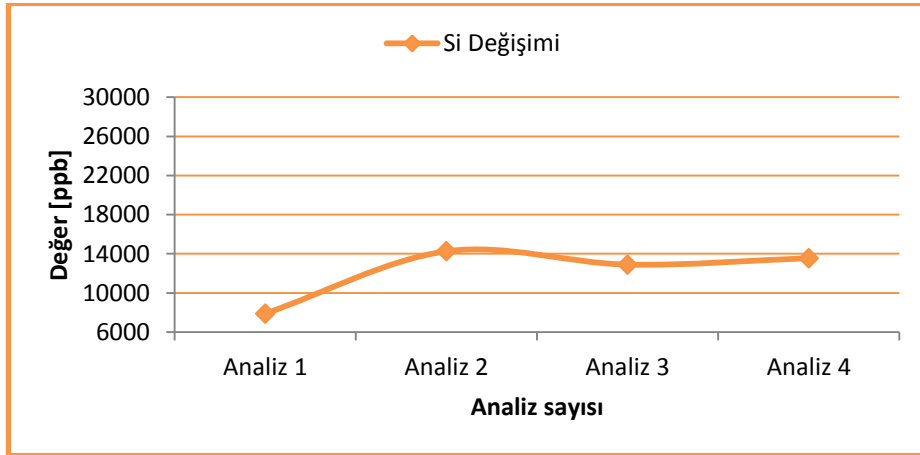
Şekil 7.10. da, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Al elementi değişim grafiği verilmektedir.



Şekil 7.10. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Al elementi değişim grafiği

7.5.5. Si Elementi Durum Grafiği

Şekil 7.11. de, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Si elementi değişim grafiği verilmektedir.



Şekil 7.11. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Si elementi değişim grafiği

Yağlama yağı numunelerinde yapılan silisyum elementi tespitinde, kullanılmamış motor yağı numunesinde köpükleşme önleyicilik gibi etkileri nedeniyle yağlama yağına katkı maddesi olarak katıldığı görülmektedir [79, 81, 82]. Ayrıca silisyum elementinin

antifriz üretimi sırasında katkı maddesi olarak kullanıldığı ve motor yağlama yağına olası soğutucu sızıntısıyla karışabileceği belirtilmektedir [100].

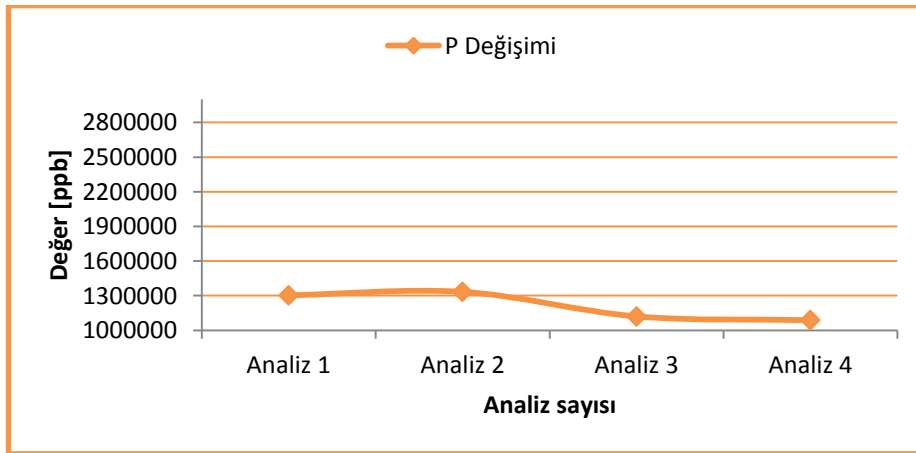
Dış ortamdan kaynaklanan silisyum girişi ile motorda aşınma elementlerinin değerlerinde artış olması beklenmektedir. Yağ film tabakasının sistem dışından gelen kirleticiler yoluyla zamanla deformasyona uğraması, yağlama özelliğinin azalması, birbiriyle temas halindeki metallerin arada herhangi bir yağlayıcı eleman olmadan çalışmaya devam etmesi anlamına gelmektedir. Bu sayede metal yüzeyler arasında kuru sürtünme durumu oluşmakta ve oluşacak aşınma neticesinde aşınma element oranlarında artışlar meydana gelmektedir.

Sistem dışından veya atmosferik ortamdan sistem içerisine girebilecek kirlilik partikülleri arasında silisyum veya alüminyum elementlerinin de SiO ve AlO gibi bileşik formlarında mevcut olabileceği ve dış ortamdan gelen kirlilik formunda farklılıklar olmakla beraber silisyum ve alüminyum bulunma oranlarının yaklaşık % 10 ile % 50 ve arasındaki değerlerde olabileceği belirtilmektedir [100]. Bu nedenle motor yağlayıcı numunelerinde görülebilecek dış ortam kaynaklı kirlenmelerde silisyum elementi ile beraber alüminyum elementi değerlerinin de yükselmesi beklenebilmektedir. Yağlayıcı numunelerinde yapılan analizler incelendiğinde, silisyum elementinin kullanılmamış yağ ve takip eden ikinci analiz neticesinde bulunma miktarında yaklaşık % 80 oranında artış tespit edilmiştir. Alüminyum için bakıldığında, kullanılmamış yağ numunesi ve sonraki analiz sonucunda bulunma miktarında yaklaşık % 170 oranında artış olduğu gözlenmektedir. Alüminyum ve silisyum elementlerinin birbirlerine göre bulunma oranları 0.15 ve 0.23 gibi değerlerle literatür çalışmalarındaki verilerle örtüşmektedir [100]. Ancak silisyum ve alüminyum elementleri analiz grafikleri değerlendirildiğinde, literatür çalışmalarındaki [100] değerlendirmelere uygun olup kirletici formun dış ortam kaynaklı olduğunu göstermekle beraber, alüminyum miktarının giderek yükselen değerlere ulaştığı özellikle dördüncü analizde katlanarak arttığı tespit edilmektedir. Analizler değerlendirildiğinde yağlayıcı numunesinde kirlenmenin atmosferik ortamdan kaynaklanmakla beraber, piston numunesi spektrometresi de incelendiğinde, alüminyum alaşımlı piston yapısından da aşınma partiküllerinin geldiği öngörüsünde bulunmaktadır. Magnezyum elementi değişim grafiği incelendiğinde, yağlayıcı eleman numunesinde katkı maddesi olarak bulunmasına rağmen [79,81, 82], ilerleyen analizler neticesinde yükselen eğilimde bulunması, spektral analizlerde magnezyum elementinin piston ve silindir gömleği yapısında daha yoğun olarak yer alması ve bu motor komponentlerinin birbiriyle

ilişkili şekilde çalışması, bu elementin sistem ekipmanlarından piston ve silindir gömleğinden kaynaklandığı yönünde öngörülebilir bulunmaktadır. Ayrıca ilerleyen analizlerde görülebileceği üzere; krom elementi seviye grafiğinde kullanılmamış yağ numunesine göre ikinci ve üçüncü analizlerde sırasıyla % 14 ve % 54 oranındaki artışlar, piston-silindir grubundaki birinci kompresyon segmanı elemanından kaynaklanabileceği yönündeki tespitlere neden olmaktadır. Demir elementi grafiği incelendiğinde, dördüncü analize doğru gelindiğinde bir önceki analize göre daha yavaş eğilimde artmasında, üçüncü analizden sonra eksilen yağ numunesine takviye amaçlı olarak bir miktar yeni yağlayıcının eklenmesinin etkisi fark edilebilmektedir. Krom-nikel mevcudiyetine dikkat edildiğinde, özellikle nikel elementinin üçüncü analize kadar yüksek oranda artması, yine krom element varlığının kayda değer şekilde yükselerek artması, spektral analiz sonuçları ışığında her iki elementin de baskın element olarak tespit edildiği egzoz supap gövde ve tabla yapısını kaynak olarak çağrıştırmaktadır. Elbette yağlayıcı numunelerindeki krom mevcudiyetinin kaynağı olarak segman elemanı gösterilebilmekle beraber, analizlerde krom-nikel elementlerindeki artışlarda, spektral metal analiz sonuçları da göz önünde bulundurulduğunda, bu iki elementin yüksek oranda beraberce bulundukları egzoz supap elemanının da dikkate alınması gerektiği öngörülmektedir.

7.5.6. P Elementi Durum Grafiği

Şekil 7.12. de, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen P elementi değişim grafiği verilmektedir.

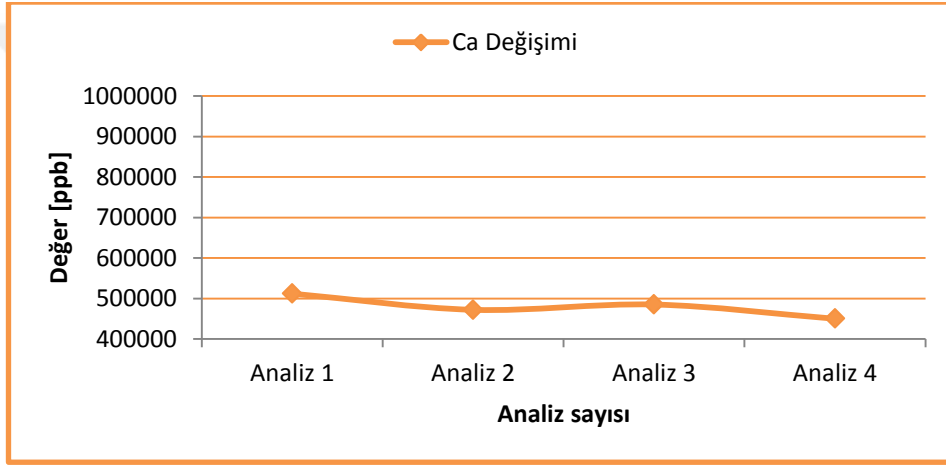


Şekil 7.12. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen P elementi değişim grafiği

Yağlayıcı elemanlara katkı maddesi olarak katılan P elementinin üçüncü analize doğru azalma eğilimine doğru girdiği görülmekte, üçüncü numune alımından sonra yağlayıcı elemene yapılan yeni yağ eklemesiyle grafik seyrinde düzelme olduğu görülmektedir.

7.5.7. Ca Elementi Durum Grafiği

Şekil 7.13. de, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Ca elementi değişim grafiği verilmektedir.



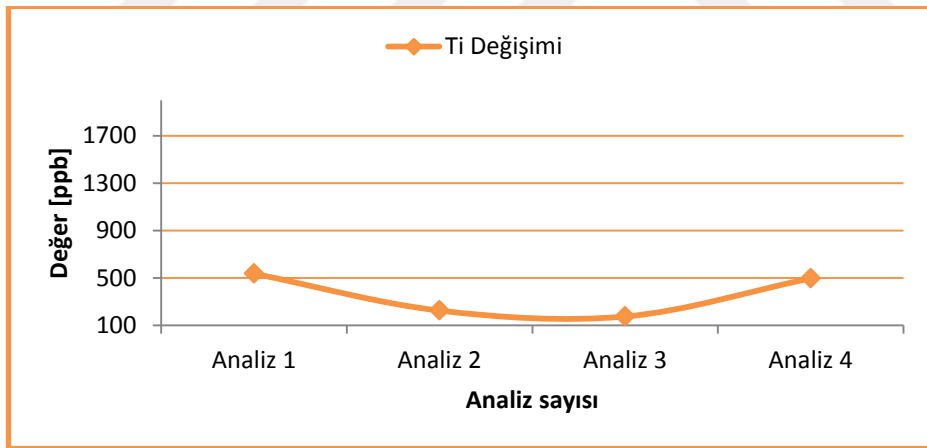
Şekil 7.13. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Ca elementi değişim grafiği

Yağlama yağı üreticileri tarafından yağlayıcılara; deterjan, dispersan, oksidasyon önleyici, aşınma önleyici, köpükleşme önleyici, sürtünme azaltıcı gibi amaçlarla eklenen Ca, P, Zn, B, Mg, Si, Na, Mg, Pb gibi katkı maddelerindeki oranlar, sistemin çalışması sürdükçe değişmeye devam etmektedir. Yağlayıcı elemanın içerisinde bulunan bu ajanların durumları hakkında en yalın haliyle bilgi sahibi olabilmek için, kullanımdaki yağlayıcıdan alınacak numunede yapılacak TBN analiziyle mümkün olabilmektedir. Bir başka ifadeyle; TBN gözlemlenmesiyle yağlayıcının genel olarak korozyonu önleyebilme kapasitesindeki değişimleri tespit edilebilmektedir. Bu yolla TBN düzeyindeki tespit edilebilecek azalma, yağlayıcı elemandaki katkı maddelerinde azalma ve bozulmaların ortaya çıkışını gösterebilmektedir. Buradan da anlaşılmaktadır ki sisteme yeni eklenecek yağlayıcının oksidasyon, aşınma gibi yağlayıcı performansını azaltacak faktörlerden korunabilmesi için TBN değerinin mümkün olan en yüksek seviyede olması gerekmektedir. Asit oluşumları

yağlayıcı elemanda sistemin çalışması süresince alkali katkı maddelerini tüketmeye devam ettikçe, katkı maddeleri seviyesi dolayısıyla TBN değeri de düşmeye başlayacaktır. Yapılan analizler göz önünde bulundurulduğunda; genel olarak yağlayıcı elemandaki katkı maddeleri miktarında azalma eğilimleri tespit edilmektedir. Bununla beraber TBN analizine bakıldığında yine aşağı yönlü grafik seyri olduğu gözlenmektedir. Yağlayıcı eleman üreticileri tarafından bildirilmiş ve genel kabul görmüş olan yağlama yağının TBN değerlerinde ki kritik sınır değerler olan yaklaşık % 50 ve daha yüksek düşüşler baz alındığında, analizler sonucu elde edilen TBN değerlerinin kritik değerler dahilinde olduğu, fakat yağlayıcı numunesi alınan motorda, gözlem ve kontroller ile motor durum takibinin sürmesi gerektiği tespitinde bulunmaktadır.

7.5.8. Ti Elementi Durum Grafiği

Şekil 7.14. de, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Ti elementi değişim grafiği verilmektedir.

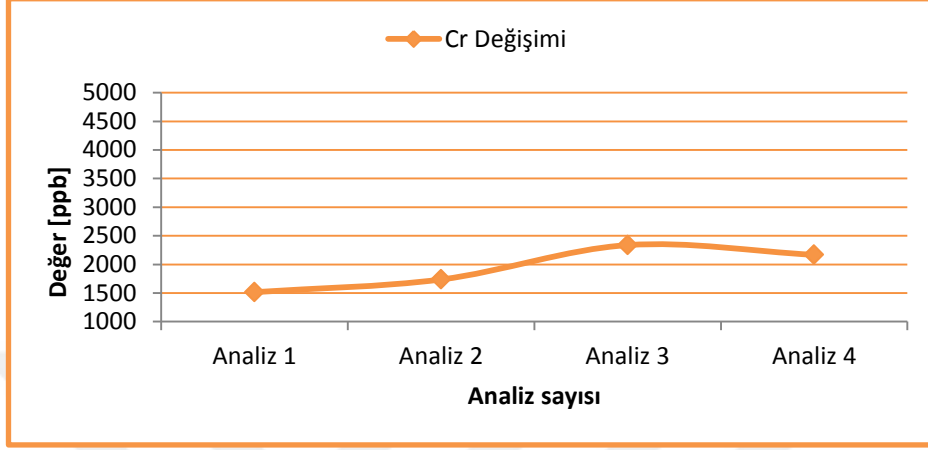


Şekil 7.14. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Ti elementi değişim grafiği

Ti durum grafiğine dikkat edildiğinde düşük ppb seviyelerinde olmasına rağmen üçüncü analize kadar düşüş trendiyle beraber bundan sonraki analizlerde yükselme eğiliminde olması bu element değerlendirmesinde dikkati yağlayıcı katkı maddesi olmasına çekmektedir. Ancak spektral metal analizlerinde egzoz supap gövde malzemesi olarak ortaya çıkan değeri bu elementin tespit edilmesinde bu motor elemanından da bir miktar gelmiş olma ihtimalini ortaya çıkarmaktadır.

7.5.9. Cr Elementi Durum Grafiği

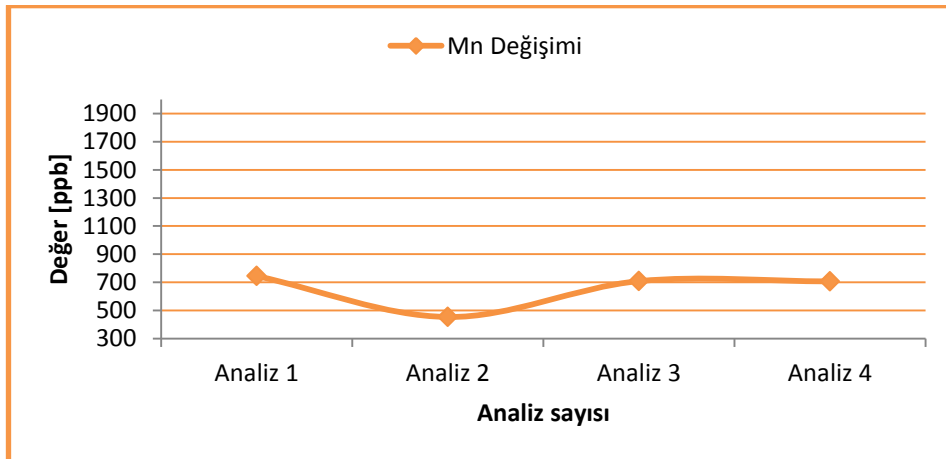
Ŗekil 7.15. de, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Cr elementi deđiŖim grafiği verilmektedir.



Ŗekil 7.15. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Cr elementi deđiŖim grafiği

7.5.10. Mn Elementi Durum Grafiği

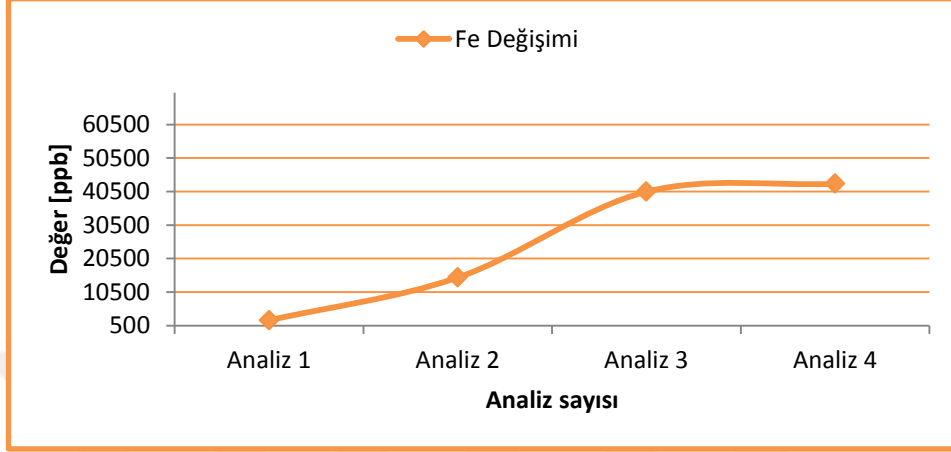
Ŗekil 7.16. da, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Mn elementi deđiŖim grafiği verilmektedir.



Ŗekil 7.16. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Mn elementi deđiŖim grafiği

7.5.11. Fe Elementi Durum Grafiği

Şekil 7.17. de, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Fe elementi değişim grafiği verilmektedir.

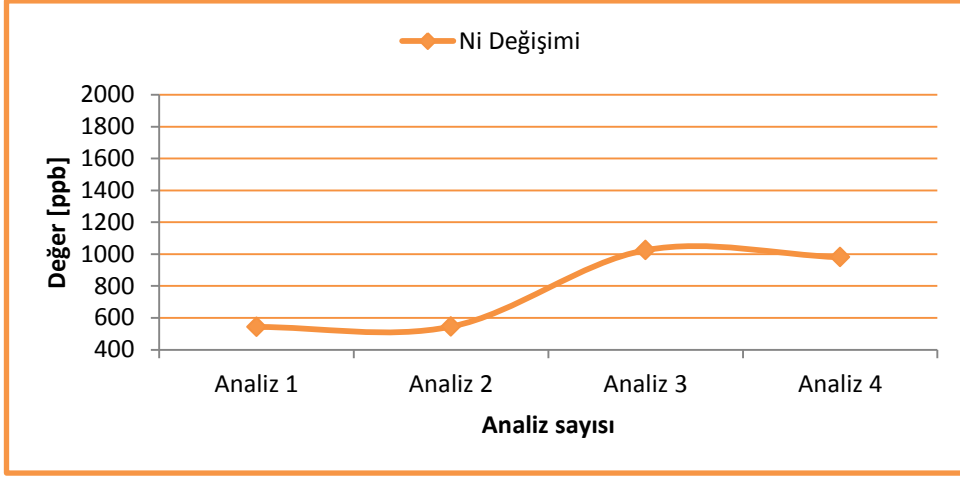


Şekil 7.17. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Fe elementi değişim grafiği

Ti ve Mn elementleri durum grafikleri incelendiğinde genel olarak üçüncü analizden sonra yükselme eğilimleri, spektral metal analiz değerlendirmeleri dikkate alındığında bu elementlerin egzoz supap malzemesi olarak kullanılmış oldukları ve bu elemandan gelmiş olabilecekleri değerlendirilmektedir.

7.5.12. Ni Elementi Durum Grafiği

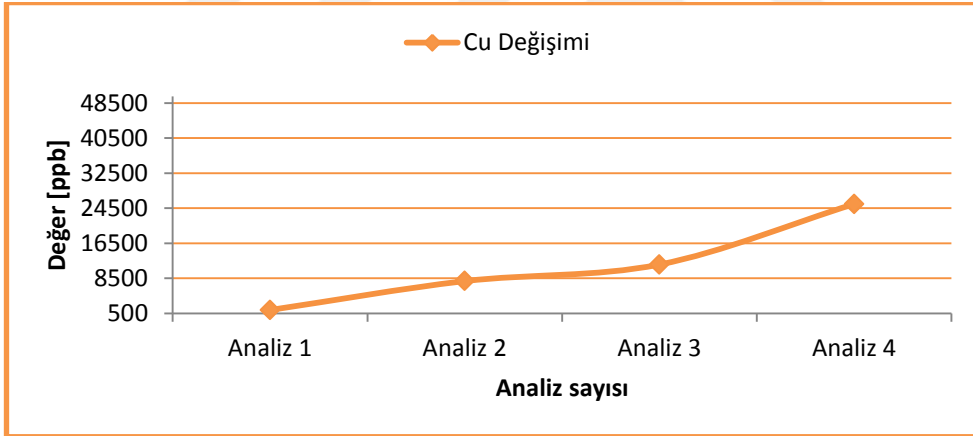
Şekil 7.18. da, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Ni elementi değişim grafiği verilmektedir.



Şekil 7.18. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Ni elementi değişim grafiği

7.5.13. Cu Elementi Durum Grafiği

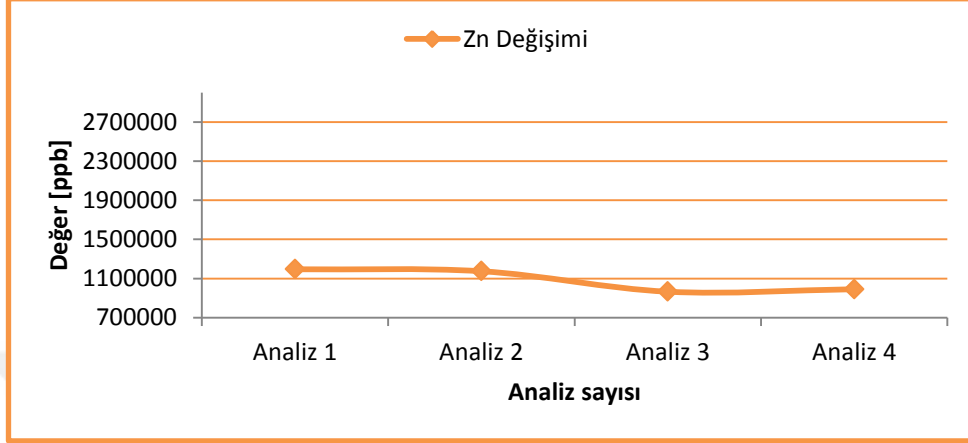
Şekil 7.19. de, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Cu elementi değişim grafiği verilmektedir.



Şekil 7.19. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Cu elementi değişim grafiği

7.5.14. Zn Elementi Durum Grafiği

Şekil 7.20. de, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Zn elementi değişim grafiği verilmektedir.

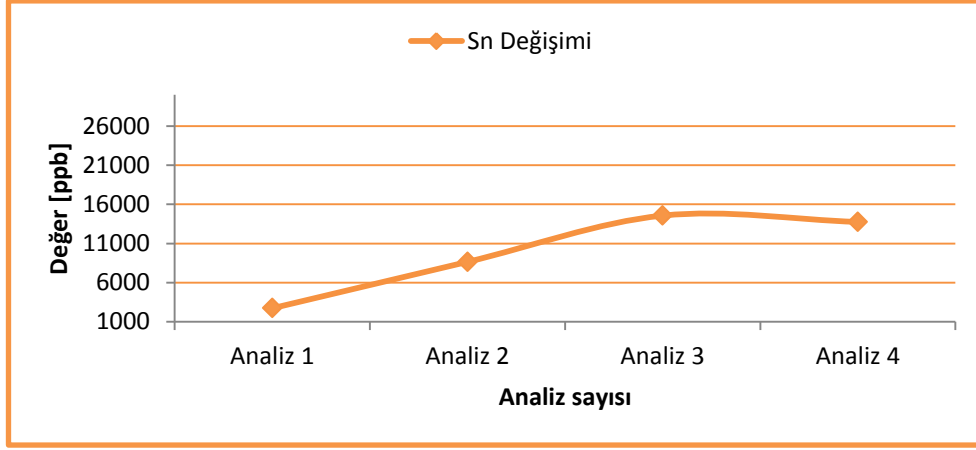


Şekil 7.20. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Zn elementi değişim grafiği

Spektral analiz sonuçları göz önüne alındığında metalik kompozisyon olarak genelde yatak malzemesi olarak karşımıza çıkan Zn elementinin elementsel analiz grafiğinde görüldüğü gibi yüksek ppb seviyelerinde görölmesi aslında bu elementin yağlayıcı elemandaki katkı maddelerinden kaynaklandığını göstermektedir. Ayrıca P elementiyle birbirine yakın eğim seyrinde olmaları ve üçüncü analize kadar azalma seyriyle beraber üçüncü numune alımından sonraki yeni yağlayıcı eklenmesiyle sabit ve hatta yükselme eğiliminde bulunması bu elementin genel olarak yağlayıcı katkı maddesi kaynaklı olduğu yönündeki görüşü desteklemektedir.

7.5.15. Sn Elementi Durum Grafiği

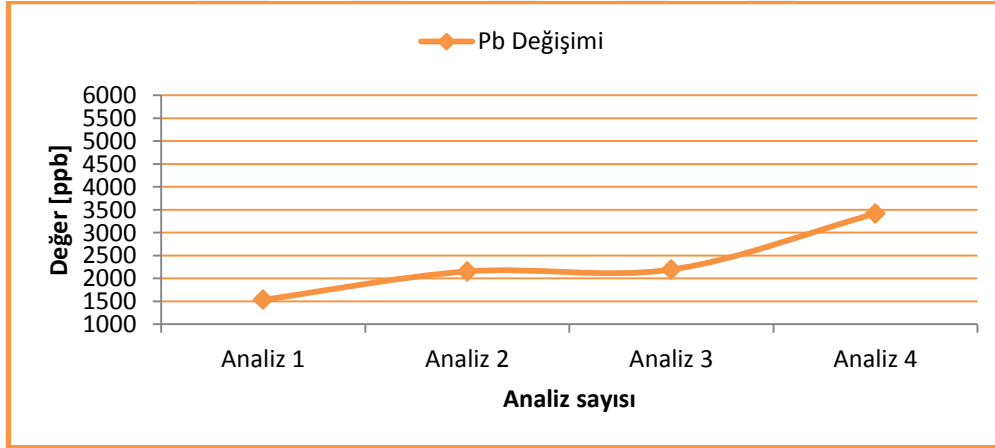
Şekil 7.21. de, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Sn elementi değişim grafiği verilmektedir.



Şekil 7.21. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Sn elementi değişim grafiği

7.5.16. Pb Elementi Durum Grafiği

Şekil 7.22. da, yapılan elementsel analizler neticesinde yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Pb elementi değişim grafiği verilmektedir.



Şekil 7.22. Yağlayıcı numunelerde analiz sayısına bağlı olarak elde edilen Pb elementi değişim grafiği

Yağlayıcı numunelerinde tespit edilmesi en muhtemel olan partikül demir elementi olarak karşımıza çıkmaktadır. Sistemi oluşturan ekipmanların kimyasal kompozisyonları incelendiğinde, hemen hemen bütün elemanlarda baskın element olarak bulunması, demir elementini yağlayıcı analizlerinde karşılaşılan en temel element haline getirmektedir. İlgili grafik incelendiğinde, demir elementinin kullanılmamış yağ numunesiyle ilerleyen analizler arasında sırasıyla; % 614, % 63, % 5.8 ve kullanılmamış yağ numunesi-dördüncü analiz arasında % 1961 oranında değişimi gözlenmektedir. Bu sonuçla demir elementinin

birbiriyle ilişkili olarak çalışan sistem ekipmanlarının genelinden olmak üzere, spektral metal analizlerinin sonuçları dikkate alındığında, özellikle silindir gömleği malzemesi aşınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Analiz grafiklerinde bakır elementi varlığına dikkat edildiğinde, ikinci analizde yaklaşık % 519 oranında artış meydana geldiği, üçüncü analizde artış eğilimini azaltmakla beraber devam ettiği, dördüncü analizde ise üçüncü analizdeki mevcudiyetinin yaklaşık iki katı kadar arttığı görülmektedir. Yapılan hesaplamalara göre, kullanılmamış yağ numunesi ve son analiz arasında yaklaşık % 1903 gibi bir oranın varlığı görülmektedir. Kalay miktarında ise kullanılmamış yağ numunesiyle ilerleyen analizler arasında sırasıyla; % 217 ve % 68 oranında artışların meydana geldiği, son analiz ve kullanılmamış yağ analiziyle arasında % 405 oranında artış olduğu görülmektedir. Bununla beraber kurşun elementi grafiği incelendiğinde, kullanılmamış yağ numunesi ve ilerleyen analizler arasında sırasıyla; % 40, % 1.9 ve % 55 oranlarıyla kullanılmamış yağ numunesi ve son analiz arasında yaklaşık % 122 gibi bir oran görülmektedir. Analizler değerlendirildiğinde; yatak aşınmasının varlığı yönünde tespitlerde bulunulmakla beraber, bakır elementinin ilk etapta aşırı yüksek çıkmasının nedeni olarak soğutma suyu ve antifrizin yağlama yağına karışması sırasında motor radyatörünün yapısında bulunan bakır elementini de [100] taşımış olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca üçüncü numuneden sonra bir miktar yağlayıcının sisteme dahil edilmesiyle, yağlama yağlarına oksidasyon ve aşınma önleyici gibi nedenlerden dolayı katkı maddesi olarak eklenen bakır varlığında artış olduğu tespitinde bulunmaktadır. Yine kurşun elementinin katkı maddesi olarak yağlama yağına katıldığı, zamanla miktarında azalma olmayarak yatak iç malzemelerinden partiküller halinde yağlayıcı numunelerine katıldığı düşünülmektedir. Ayrıca analiz yorumlamalarında piston-silindir grubu elemanlarında olduğu değerlendirilen aşınmalar sonucunda silindir cidarlarından kartere doğru yanma odasından yakıt sızması olduğu değerlendirilmektedir. Yağlama yağına yakıt karışmasıyla yağın yağlayıcılık özelliğinde azalma ve yapısında incelme oluşturacağından, yağlayıcı eleman viskozitelerinde düşüşler olduğu tespitinde bulunmaktadır [96]. Normal motor çalışmaları sonucunda yağlayıcı eleman viskozitelerinde zamanla yağlama yağında birikecek partiküller nedeniyle artmaların olması beklenmektedir. Ancak analizleri yapılan yağlayıcı numunelerinde Viskozite 100 ve Viskozite 40 değerlerinde düşüşler gözlemlenmektedir. Ayrıca üçüncü yağ numunesi alımından sonra sisteme yağlayıcı ilave edilmesiyle her iki viskozite değerlerinde de düzelmeler görülmektedir.

8. SONUÇLAR

İlk analizler yorumlanırken numunelerdeki silisyum elementi varlığının motor içinden veya atmosferik ortamdan kaynaklandığının tespit edilebilmesi için motor hava emiş sisteminde kontroller yapılarak hava filtresi yenilenmiştir. Ayrıca deney motorunun düşük silindir hacimli olması, bölgedeki yerel sıcaklık ortalamalarının yüksek seyredip motor soğutma sisteminde aksamaların önüne geçilebilmesi ve deney aracının 2007 model dizel motora sahip olması nedenlerinden dolayı üçüncü yağ numunesi alımı sonrasında eksilen yağlayıcı elemana takviye edilmek suretiyle bir miktar yeni yağ eklenmiştir.

Bir sistemi oluşturan ekipmanlarda belirli yöntem ve tekniklerle yapılan analiz ve incelemeler neticesinde durum tespitinde bulunulması temel ilkesine dayanan kestirimci bakım yöntemlerinin önemi yeterli olmamakla beraber gün geçtikçe artmaktadır. Bir sistemde rutin faaliyetlerin devamı sırasında olası sistem aksama ve arızalarının tahribat oluşmadan önce çeşitli yöntem ve tekniklerle tespit edilmeye çalışılması kestirimci bakım tekniklerinin ortaya çıkmasında önemli rol oynamıştır. Ekipmandaki küçük bir aksamının alınan önlemler neticesinde zincirleme etkiyle daha büyük problemlere yol açmadan giderilebilmesi, bakım kavramının gelişen ve yenilenen bir sektör olarak faaliyet göstermesine neden olmaktadır. Durum takibinin yapılması istenen sistem ve ekipmanda uygulanabilecek tüm analiz ve araştırmalar, daha sağlıklı sonuçlara ulaşabilmeyi mümkün hale getirebilmektedir.

Yağlayıcılar, su ve kirlilik partikülleri söz konusu olduğunda bir mıknatıs gibi davranarak, kendisi için zararlı olan bu elemanları üzerine doğru çekmeye çalışmaktadır. Suyu kendine çeken bir madde olan sıvı yağlayıcılar, havada uçuşan kirletici elemanları da aynı şekilde kendisine çekmektedir. İster motor yağı ister hidrolik yağı olsun yağlayıcı olarak adlandırılan yağlarda bir miktar kirlilik ve su varlığıyla karşılaşmaktadır. Yapılan çalışma ve analizler neticesinde kullanılmamış yağlayıcılarda dahi su ve kirlilik partiküllerinin mevcut olabildiği belirtilmektedir. Yağlayıcı maddenin üretimi ve nakledilmesi sırasında, depolanması veya içerisine koyuldukları varillerden kaynaklı olarak, istenmeyen partikül ve suya maruz kalabilmektedirler. Tankerlerle taşınırken, taşıma sırasında ortamın sıcaklık değişimi ve dış ortamdaki toz zerreciklerine maruz kalan tank kapakları sıkı kapatılmalarına karşın nefes alarak atmosferik nemi ve mikron boyuttaki toz zerreciklerini içeri almaktadır. Depolama sırasında, yağlayıcıya karışan toz

partiküllerinde büyük ölçüde çökelme olurken ebat olarak küçük olan partiküller yerçekimini yenerek yağlayıcı eleman içerisinde asılı durabilmektedir. Gece ile gündüz sıcaklık farkının yüksek olduğu mevsim ve bölgelerde, sıcaklık yoluyla genleşen yağ tankının sıcaklık düşüşüyle büzülerek ek yerlerinden ve boşaltma ve nefes alma tapalarından içeriye havanın nemini alıp tank içinde yoğuşarak yağa karışmasıyla, yağda su varlığına sebebiyet verebilmektedir [98].

Yapılan deneysel çalışma ve analizler ışığında, kullanılmamış yeni yağın kimyasal kompozisyonunda su ve kirlilik partikül formlarına rastlanılabileceği göz önünde bulundurularak yapılacak çalışmalarla daha verimli sonuçlara ulaşılabileceği öngörülmektedir. Her ne kadar yağ analiz yöntemi ile durum tespitinde bulunulsa da uygulanacak diğer yöntem ve tekniklerle, ulaşılabilecek sonuçların geçerlilik derecesi artırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Yıldırım, E.,** 2006. TCG Turgutreis Fırkateynine Ait Ana Makinelerin (MTU 20V 1163 TB 93) Yağ Değişim Periyodunun Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- [2] **Gelen, D.W.,** 1993. Introduction to Machine Vibration, *DLI Eng. Corp.*, 14–15.
- [3] **Lipovsky, G.Y., Solyomvari, K. and Varga, G.,** 1990. Vibration Testing of Machines and Their Maintenance, 52–56.
- [4] **Bognatz, S.R.,** Alignment of Critical and Noncritical Machines, www.bently.com/service/training/mlmidalign.htm.
- [5] **Baskak, M.,** 2005. İTÜ İşletme Fakültesi Endüstri Müh. Bölümü Bakım Yönetimi Ders Notları.
- [6] **Baraçlı, H., Coskun, S., and Eser, A.,** 2001. Toplam kalite programlarının başarılı olarak uygulanabilmesinde toplam üretken bakım tekniği, *I. Demir-Çelik Sempozyumu*, Zonguldak, 03-05 Ekim.
- [7] **Er, E.,** 2004. Bakım Yönetimi ve Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemlerinin Türkiye’de Uygulama Düzeyi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Worsham, C.W.,** 2004. Önleyici bakım gerekli midir?, *Mühendis ve Makine Derg.*, 45, 538, 21–23.
- [9] **Swanson, L.,** 2001. Linking Maintenance Strategies to Performance, *Int. J. Prod. Econ.*, 70, 237–244.
- [10] **Erçelebi, S.G., and Ergin, H.,** 1997. Maden makinalarında koruyucu bakım onarım planlaması, *Türkiye 15. Madencilik Kongresi*, Ankara, 6-9 Mayıs, 125–132.
- [11] **Bartos, F.J.,** 1999. Predictive Maintenance Maximizes Machinery Healths, *Control Engineering*, Cilt 46, No 7, Sf. 51 -52.
- [12] **Ball, P.G.,** 1998. Machine Wear Analysis- A Rotational Approach to Methods Integration for Maximum Benefits, *Lubrication Engineering*, Cilt 54, No 3, Sf. 18-22.
- [13] **Karahan, M.F.,** 2005. Titreşim Analizi İle Makinelerde Arıza Teşhisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı.

- [14] **Parida, S., Kotu, N.R., Prasad, M.M.,** 2000. Development and implementation of reliability centered maintenance using vibration analysis: Experiences at Rourkela steel plant, The 15th WCNDT, Roma; Italy, April 19-23, Retrieved November 11, 2007 from <http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn135/idn135.htm>
- [15] **Orhan, S., Aktürk, N. and Çelik, V.,** 2003. Bir Santrifüj Pompa Rulmanlarının Çalışabilirliğinin Titreşim Analizi ile Belirlenmesi, *Gazi Üni. Fen Bilim. Derg.*, Cilt 16, Sayı 3, Sayfa 543-552.
- [16] **Arslan, H., Aslan, E. and Aktürk, N.,** 2006. Bilyalı Rulman Hasarlarının titreşim analizi yöntemiyle incelenmesi, *Gazi Üni. Müh. ve Mim. Fak. Derg.*, Cilt 21, No 3, Sayfa 541-552.
- [17] **Aliustaoğlu, C., Ocak, H. and Ertunç, H.M.,** 2007. Rulman Titreşim Analizi ile Bölgesel Hataların İncelenmesi, *TOK'07 Bildir. Kitabı*.
- [18] **Kalyoncu, M.,** 2006. Titreşim Analizi ile Makine Elemanları Arızalarının Belirlenmesi, *Mühendis ve Makine*, Cilt 47, Sayı 552, Sayfa 28-35.
- [19] **Açıkel, S., Karaçay, T. and Aktürk, N.,** 2010. Sürekliiform Baskı Makinesi Fan Arızasının Titreşim Sinyali Yardımıyla Kestirimci Bakım Analizi, *Makine ve Teknol. Elektron. Derg.*, Cilt 7, No 2, Sayfa 81-86.
- [20] **Engür, A.İ.,** 2007. Kestirimci Bakımda Titreşim Analizi,” *Mühendis ve Makine*, Cilt 48, Sayı 570, Sayfa 27-31.
- [21] **Narwade, S., Kulkarni, P. and Patil, C.Y.,** 2013. Fault Detection of Induction Motor Using Current and Vibration Monitoring, *Int. J. Adv. Comput. Res.*, Cilt 3, Sayı 4 Baskı 13, Sayfa 272-279.
- [22] **Boukhobza, M.E., Derouiche, Z., Foitih, Z.A.,** 2013. Location and Evaluation Of Bearings Defects By Vibration Analysis And Neural Networks, *Mechanics*, Cilt 19, Sayı 4, Sayfa 459-465.
- [23] **Williams, T., Ribadeneira, X., Billington S. and Kurfess, T.,** 2001. Rolling Element Bearing Diagnostics in Run-to-Failure Lifetime Testing,” *Mech. Syst. Signal Process.*, Cilt 15, No 5, Sayfa 979-993.
- [24] **Al-Najjar, B.** 2000. Accuracy, Effectiveness and Improvement of Vibration-Based Maintenance in Paper Mills: Case Studies, *J. Sound Vib.*, Cilt 229, No 2, Sayfa 389-410.

- [25] **McFadden, P. D. and Smith, J.D.,** 1984. Model for the Vibration Produced by a Single Point Defect in a Rolling Element Bearing, *J. Sound and Vib.*, Cilt 96, No 1a, Sayfa 69-82.
- [26] **McFadden, P. D. and Smith, J.D.,** 1985. The Vibration Produced by a Multiple Point Defect in a Rolling Element Bearing, *J. Sound Vib.*, Cilt 98, No 2, Sayfa 263-273.
- [27] **Karaçay, T., Aktürk, N.,** 2009. Bilyeli Rulman Yerel Kusurlarının Neden Olduğu Titreşimlerin Modellenmesi, *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Derg.*, Cilt 24, No 2, Sayfa 191-197.
- [28] **Choudhury, A., and Tandon, N.,** 2000. Application of Acoustic Emission Technique for the Detection of Defects in Rolling Element Bearings, *Tribol. Int.*, Cilt 33, Sayfa 39-45.
- [29] **Nelias, D., and Yoshioka, T.,** 1998. Location of an Acoustic Emission Source in a Radially Loaded Deep Groove Ball-Bearing, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol.*, Cilt 212, No 1, Sayfa 33-45.
- [30] **Jayaswal, P., and Wadhwani, A.K.,** 2009. Application of Artificial Neural Networks Fuzzy Logic and Wavelet Transform in Fault Diagnosis via Vibration Signal Analysis:A review, *Aust. J. Mech. Eng.*, Cilt 7, No 2, Sayfa 157-171.
- [31] **Tandon, N., and Choudhury, A.,** 1999. A Review of Vibration and Acoustic Measurement Methods for the Detection of Defects in Rolling Element Bearings, *Tribol. Int.*, Cilt 32, Sayfa 469-480.
- [32] **Li, Y., Zhang, C., Kurfess, T. R., Danyluk, S. and Liang, S.Y.,** 2000. Diagnostics and Prognostics of a Single Surface Defect on Roller Bearings, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C: J. Mech. Eng. Sci.*, Cilt 214, No 9, Sayfa 1173-1185.
- [33] **Lacey, S.J.,** 2008. An Overview of Bearing Vibration Analysis, *Maintenance&Asset Manag.*, Sayı 23, No 6, Sayfa 32-42.
- [34] **Bannister, R.H.,** 1985. A Review of Rolling Element Bearing Monitoring Techniques, In *Cond. Monit. Mach. Semin.*, Sayfa 11-24.
- [35] **Harker, R. G., and Sandy, J.L.,** 1989. Rolling Element Bearing Monitoring and Diagnostics Techniques, *J. Eng. for gas turbines and power*, 111, No:2, 251–256.
- [36] **Liu, T. I., and Mengel, J.M.,** 1992. Intelligent Monitoring of Ball Bearing Conditions, *Mech. Syst. and Signal Process.*, Cilt 6, No 5, Sayfa 419-431.

- [37] **Hancı, G.**, 2009. Lastik Endüstrisinde Kullanılan Kestirimci Bakım Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi.
- [38] **Carmen, B., Razyan, M., Dimutru, O.N.**, 2014. Study on Defect Size of Ball Bearings Elements Using Vibration Analysis,” *Appl. Mech. and Mater.*, Cilt 658, Sayfa 289-294.
- [39] **Ayaz E., Öztürk, A. and Şeker, S.**, 2006. Sürekli Dalgacık Dönüşümü ile Elektrik Motorlarında Arıza Tanısı Üzerine Bir İnceleme, *IEEE 14th Signal Process. and Commun. Appl. Conf.*
- [40] **Bayram, S., Kaplan, K., Kuncan, K., and Ertunç, H.M.**, 2014. Rulman Hatalarının Dalgacık Dönüşümü Yöntemi Kullanarak Elde Edilen Katsayılara Etkisi, *22nd Signal Process. and Commun. Appl. Conf.*
- [41] **Yılmaz, F.**, 2004. Nissan (benzinli) Motorunda Optimum Yağ Değişim Sürecinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ, İstanbul.
- [42] **Wang, W., Zhang, W.**, 2003. A model to Predict the Residual Life of Aircraft Engines Based upon Oil Analysis Data, *WILEY Interscience*, DOI 10.1002/nav.20072, Salford Univ. Engl.
- [43] **Sutton, M., Stow, C.**, 2004. Preliminary Studies of the Impact of Diesel Fuel Sulphur on Recommended Oil Service Interval, *Ford Mot. Company*, Turkey, 131–135.
- [44] **Karacan, Ö., Kök, M.V., Karaaslan, U.**, 1999. Dependence of Thermal Stability of an Engine Lubrication Oil on Usage Period, *J. Therm. Anal. Calorimetry*, ODTÜ, Ankara, 55, 109–114.
- [45] **Gandhi, O., Garg, A., Bijwe, J.**, 2000. Reassessment of Engine Oil Periodicity in Commercial Vehicles, *J. Soc. Tribol. Lubr. Eng. ,Lubr. Eng. India*, 23.
- [46] **Kaleli, H., Khorramian, B.**, 1998. Used Oil Analysis and Study of Oil Drain Period in Gasoline Engine, *SAE Int. SAE Tech. Pap. Ser. 981448*, Michigan, USA, 91–104.
- [47] **Macian, V., Tormos, B., Olmeda, P., Montoro, L.**, 2003. Analytical Approach to Wear Rate Determination for Internal Combustion Engine Condition Monitoring Based on Oil Analysis, *Tribol. Int. ELSEVIER, Val. Spain*, 36, 771–776.
- [48] **Zirker, L., Francfort, J., Fielding, J.**, 2005. Oil Bypass Filter Technology Evaluation Tenth Quarterly Report, *Idaho Natl. Lab. US. Dep. Energy Free. Technol. Program, INL/EXT-05-00381*, 1-14, Idaho, USA.

- [49] **Smith, J.,** 2005. Coupling Oil Analysis and Vibration Analysis to Save Time and Money, *Equistar Chem. Mach. Lubr. Mag.* Jan 2005 Noria Corp. 1-4, USA.
- [50] **Kilian, J., Rutherford, R., Afify, E., Leach, J.,** 2002. Experimental Evaluation of Motor Oils for Use in State Vehicles, *Mech. Aerosp. Eng. Dep.* 7-15, North Caroline State Univ. USA.
- [51] **Kumar, S., Mishra, N., Mukherjee, P.,** 2005. Additives Depletion and Engine Oil Condition-a Case Study, *Ind. Lubr. Tribol.* Emerald Gr. Publ., 57, 69-72, Jharkhand, India.
- [52] **Haralambopoulos, D.A., Paparsenos, G.F.,** 1998. AssessingTheThermalInsulation Of Old Buildings-The Need For In Situ Spot Measuraments Of Thermal Resistance And Planar Infrared Thermography, 39, ½, 65–79.
- [53] **Stockton, G.,** 2003. AerialInfrared– An Asset Management Tool for District Heating System Operators By: Stockton Infrared Thermographic Services, Inc.8472 Adams Farm Road Randleman, NC 273177331, 2003.
- [54] **Acar, G.,** 2003. AerialInfrared– An Asset Management Tool for District Heating System Operators By: Stockton Infrared Thermographic Services, Inc.8472 Adams Farm Road Randleman, NC 273177331.
- [55] **Tibbs, A.,** 2004. Using Infrared Thermography to Assess Building Problems, *Pres. Closer Look spections.*
- [56] **Kominsky, J.R., Luckino, J.S., Martin, T.F.,** 2005. Passive Infrared Thermography—A Qualitative Method for Detecting Moisture Anomalies in Building Envelopes, *Environ. Qual. Manag. Inc.,* 1800 Carillon Boulevard, Cincinnati, OH 45240.
- [57] **Karaca, H.,** 2007. Yapılarda Duvar Yalıtımında Isı Kayıplarının Ölçme Ve Değerlendirme Yöntemleri, Sakarya Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi.*
- [58] **Xu, Q., Wang, Z.,** 2006. Application Of Infrared Thermography In Building Energy Efficiency, *Beijing Instutide Civ. Eng. Archit.* Beijing P.R. China, 100044.
- [59] **Snell, J.,** 2008. Infrared Thermography:(Nearly) A DailyTool.
- [60] **Snell, J., Spring, R.,** 2008. Testing Building Envelope Systems Using Infrared Thermography.

- [61] **Durmuş, G., and Görhan, G.,** 2009. Doğal Taş Plakaların Isıl İletkenlik Bakımdan Termografik Görüntülerinin İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Tek. Bilim. Mesl. Yüksek Okulu *Tek. Online Dergi*, Cilt 8, Sayı: 1.
- [62] **Düzgün, D., Or, M.E.,** 2009. Termal Kameraların Tıpta Veteriner Hekimlikte Kullanımı, İstanbul Üniv. Cerrahpaşa Tıp. Fak. Biyofizik Anabilim Dalı, İstanbul Üniv. Vet. Fak. İç Hast. Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
- [63] **Çalışan, M., and Türkoğlu, İ.,** 2011. Termal Kameralar ve Uygulamaları. Elektrik- Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 46-50, Elazığ, Türkiye.
- [64] **Karakuş, C., Ertuğrul, G., Özutku, O., Baltacıoğlu, E.,** 2013. Binalarda Termal Kamera Kullanımı, *2.Anadolu Enerji. Sempozyumu*, Dicle Üniversitesi, 504-515, Diyarbakır, Türkiye.
- [65] **Acar, G.,** 2014. Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kestirimci Bakım Yöntemleri Ve Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi.
- [66] **Çağlayan, İ.H.,** 1993. Türkiye’de Değişik Sanayi Kollarında Uyarıcı Bakım Uygulamaları ve Elde Edilen Sonuçlar, Vibratex Mühendislik ve Mümesillik Ltd. Şti., TB-04.
- [67] **Jadin, M.S., Taib, S.,** 2011. Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography, 4th ed., Elsevier, Malaysia.
- [68] **Betta, G., Liguori, C., Palillo, A., Pietrosanto, A.,** 2002. A DSP-based FFT analyzer for the fault diagnosis of rotating machine based on vibration analysis, *IEEE Trans Instrum Measure*, 56, 1316-1328.
- [69] **Köse, R.K.,** 2005. Makine Arızalarının Belirlenmesinde Titreşim Analizi, *bakimkongresi.org*
- [70] **Orhan, S., Aktürk, N., and Çelik, V.,** 2005. Vibration monitoring for defect diagnosis of rolling element bearings as a predictive maintenance tool, *NDT&E International*, 39, 293–298.
- [71] **Kiong, T.K., Yi, Z., Sunana, H., San, W.Y., Henga, L.T.,** 2009. Decoupled tracking and thermal monitoring of non-stationary targets, *4th ed., Engineering Drive*, Singapore.
- [72] **Cao, Y., Gu, X., Jin, Q.,** 2008. Infrared technology in the fault diagnosis of substation equipment, *Proceedings of the China International Conference on Electricity*, China, 10-11 January .

- [73] **Ateş, M. G.,** 2010. Yağ analizi, *İş makineleri mühendisleri birliği dergisi*, 31, 40-50.
- [74] **Yardım, M.H.,** 2008. Motor Teknolojisi, *1st ed. Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti.*, Ankara.
- [75] **Hani, İ.,** 2002. Madeni Yağlar ve Petrol Ofisi Ürünleri, Petrol Ofisi A.Ş. Madeni Yağ Direktörlüğü, syf. 16-40, İstanbul.
- [76] **Küçükşahin, F.,** 2001. Denizcilik Kimyası, Yakıtlar-Yağlar Suların Fiziksel Ve Kimyasal Özellikler, *Akademi Yayınları*, syf. 88-110, İstanbul.
- [77] **Dursunkaya, Z.,** 2000. Oil Loss Mechanisms Due To In-Cylinder Components, *Lubrication Engineering*, Sep.2000, 1-3, ODTÜ, Ankara.
- [78] **Taşkıran, Y.,** 1992. Kullanılmış Motor Yağlarında Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Oluşum Sürecinin İzlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- [79] **Navair., 2005.** Nonaeronautical Equipment Analytical Methodology, 17-15- 50.4, Naval Air Systems, *Joint Oil Analysis Program*, 1, 2/1-2/15, USA.
- [80] **Barnes, M.,** 2003. Molecular Spectroscopy a Precision Lubrication Tool, *Practicing Oil Analysis Magazine*, May 2003, Issue: 200305, pp. 1-4, Noria Corporation, USA.
- [81] **Toms, L.A.,** 1998. Machinery Oil Analysis Methods, Automation&Benefits, *Coastal Training Technologies Corporation*, Second Edition, 45-50, 100-106, Virginia, USA.
- [82] **Orhan, A.,** 2009. Yağ Analiz Yöntemiyle Yapılan Kestirimci Bakımda Motor Arızalarının Tespiti, *Yüksek Lisans Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi.
- [83] **Kajdas, C., Harvey, S.S.K., Wilusz, E.,** 1990. Encyclopedia of tribology, ELSEVIER, *Tribology Series 15*, 220-234, England, Poland.
- [84] **Kaleli, H., Yavasliol, I.,** 1997. Oil Ageing-Drain Period in a Petrol Engine, *Industrial Lubrication and Tribology*, MCB University Pres, 49, 120-126.
- [85] **Kaleli, H.,** 1995. Motorların Değişik İşletme Şartlarında Yağların Yapısal Değişimlerinin Aşınmalara Etkilerinin İncelenmesi ve Optimum Yağ Değiştirme Süreçlerinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, YTÜ, İstanbul.
- [86] **Navair.,** 2005. Lubricating Oils, Greases, Specialty Lubricants and Lubrication Systems, Naval Air Systems, *Joint Oil Analysis Program*, S9086-H7- STM-010/CH-262R5, pp.262/1-17, USA.

- [87] **Lukas, M., Anderson, D.P.,** 1997. Laboratory Used Oil Analysis Methods-II, *Journal of Society of Tribologists and Lubrication Engineers*, CRC Pres, 19-23, USA.
- [88] **Gresham, R.M.,** 2007. The Basics of Viscosity Index, *Society of Tribologists and Lubrication Engineers*, Sep 2007.
- [89] **US Navy.,** 1999. US Navy, Joint Oil Analysis Program Manuel, 15 Mart .
- [90] **Daytam.,** Atatürk Üniversitesi-Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi - <http://daytam.atauni.edu.tr/cihaz/icp-ms> induktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi.
- [91] **Gökalp, B., Saraç, H. İ., Çelik, C.,** 2007. Yağ analiz programı ile aşınmaya bağlı hasar analizi, 8. *Uluslar Arası Kırılma Konf. Bildir. Kitabı* 7 – 9 Kasım .
- [92] **Staudt, W.,** 1995. Metal Teknik - Motorculukta Metal Tekniği. *Ajans-Türk Matbaacılık Sanayii A.Ş.* Ankara.
- [93] **Megep.,** Motorlu Araçlar Teknolojisi, *Megep - Mesleki Eğitim ve Öğretim Sist. Güçlendirilmesi Projesi.*
- [94] **Demir, A.,** Sıkıştırma ile Ateşlemeli Motorlar,” *Marmara Üniversitesi Teknol. Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Ders Notları* .
- [95] **Anonim.,** 2000. Yakıtlar Yağlar ve Yağlama SHELL Madeni Yağlar Yayını.
- [96] **Mayer, A.,** 2006. What the Tests Really Tell Us, *Noria Corporation.*
- [97] **Bayındır, A.K.,** 2015. Benzin ve lpg kullanan iki motorun yağ analiz yöntemiyle durumlarının değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi.
- [98] **Çağlayan, İ.H.,** 2016. Hidrolik yağlarının iki büyük düşmanı: Kirlilik ve su., TB:22.
- [99] **Detroit Diesel and MTU.,** Technical Publications Fluid And Lubricants Specifications, Detroit Diesel and MTU A001061/29E.
- [100] **Ateş, M. G.,** 2010. Yağ Analizi, *İş makineleri mühendisleri birliği Derg.*
- [101] **Çağlayan, İ.H.,** 2003. İş makinelerinde yağ analizi ve önemi, *İş makineleri sempozyumu ve sergisi.*
- [102] **Gökalp, B.,** 2005. Kullanılmış Motor Yağlarını İyileştirme Yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Muş'ta doğdum. İlköğretim ve lise öğrenimimi Muş'ta tamamladım. 2009 yılında kazanmış olduğum Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Otomotiv Öğretmenliği bölümünden 2013 yılında bölüm birincisi olarak mezun oldum. 2013-2018 yılları arasında sırasıyla Otomotiv Mühendisliği ve Makine Mühendisliği Lisans programlarını tamamladım.

