

BENZİN VE LPG KULLANAN İKİ MOTORUN
YAĞ ANALİZ YÖNTEMİ İLE
DURUMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Abdullah Koray BAYINDIR

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos - 2015

BENZİN VE LPG KULLANAN İKİ MOTORUN YAĞ ANALİZ YÖNTEMİ İLE
DURUMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Abdullah Koray BAYINDIR

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. İsmet ÇELİK

Ağustos - 2015

KABUL VE ONAY SAYFASI

Abdullah Koray BAYINDIR'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı BENZİN VE LPG KULLANAN İKİ MOTORUN YAĞ ANALİZ YÖNTEMİ İLE DURUMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

07 /08 /2015

Üye: Prof. Dr. Remzi ÇETİN

Üye: Doç. Dr. İsmet ÇELİK (Danışman)

Üye: Doç. Dr. Özer AYDIN

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../2015 gün vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan GÖÇMEZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %20 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Danışman Adı Soyadı

Öğrenci Adı Soyadı

Doç. Dr. İsmet ÇELİK

Abdullah Koray BAYINDIR

İmzası

İmza

BENZİN VE LPG KULLANAN İKİ MOTORUN YAĞ ANALİZ YÖNTEMİ İLE DURUMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Abdullah Koray BAYINDIR

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2015

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmet ÇELİK

ÖZET

İçten yanmalı motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılan LPG, günümüz otomotiv sektöründe oldukça yaygın bir kullanım alanı bulmuş, diğer yakıtlara göre daha ekonomik ve çevreci olması tercih edilmesinde başlıca unsurlar olmuştur.

Otomotiv sektöründe LPG kullanımı ile ilgili ekonomi, performans ve çevrecilik açısından çeşitli akademik çalışmalara rastlanırken, LPG kullanımının motor içyapısı ve bileşenlerinde ne gibi bir etkiye sebebiyet verdiği ile alakalı çalışmalar sınırlıdır.

Bu çalışmada kestirimci bakım tekniklerinden “Yağ Analizi” yöntemi kullanılarak benzin ve LPG kullanan iki aynı marka, donanım ve modeldeki aracın motor yağları 10.000 km’lik kullanım sonunda analiz edilmiş ve yağın kullanım öncesindeki değerleri ile mukayese edilip tablolar halinde ortaya konmuştur.

Viskozite, yoğunluk, elementel analiz, yabancı partikül büyüklüğü, kirlilik sınıfı, TAN değeri, oksitleme değeri ve su miktarı gibi özellikler çalışmada dikkate alınan veriler olmuştur. Bu veriler her üç numune için grafik ve tablolar halinde sunulmuş ve birbirleri ile mukayese edilmesi kolay hale getirilmiştir.

Analiz sonucunda birkaç verideki büyük sapmanın dışında genelde ölçümlerde çok büyük farklılıklar gözlenmemiş ve değerlerin kabul edilir sınırlar içinde kaldığı görülmüştür.

Elde edilen veriler ışığında araçlarda LPG kullanımının yağlama yağına olumsuz etkisinin sınırlı kaldığı ve bu etkinin de motor yağ teknolojisinde yapılacak iyileştirmelerle giderilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Benzin, Kestirimci Bakım, LPG, Otomotiv, Yağ Analizi.

COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO ENGINES USING GASOLINE AND LPG THROUGH OIL ANALYSIS METHOD

Abdullah Koray BAYINDIR

Mechanical Engineering, Master's Thesis, 2015

Thesis Instructor: Doç. Dr. İsmet ÇELİK

SUMMARY

Considered as an alternative fuel in internal combustion engines, LPG has found a wide area of use in today's automotive sector and the fact that it is environment-friendlier and more economical than other fuels is among the main reasons for its preferability.

Despite various academic studies about LPG use in automotive sector in terms of economy, performance and environmentalism, studies about the effects of LPG use on the internal structure and components of engines are limited.

In this study, using "Oil Analysis" method, one of the predictive maintenance techniques, the engine oil of two vehicles, one running on gasoline and the other on LPG, which are the same brand and model with the same hardware, was analyzed after 10,000 km and the oil values before and after use were compared and put into tables.

Such factors as viscosity, density, elemental analysis, foreign particle size, contamination class, TAN value, oxidation value and water amount were the data taken into account in the study. These data were presented as graphs and tables for three samples each so that their comparison could be facilitated.

As a result of the analysis, except for some exceptional changes in some data, no significant differences were observed and it was seen that the measured values were within the range of acceptable limits.

In the light of the data, it was concluded that the negative effect of LPG on engine health is limited and this effect could be overcome through improvements in engine oil technology.

Key Words: Gasoline, Predictive Maintenance, LPG, Automotive, Oil Analysis

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanmasında büyük emek ve gayretleri olan, her konuda çekinmeden yardımına başvurduğum başta danışman hocam Doç. Dr. İsmet ÇELİK'E, lisans ve lisansüstü eğitimimde emeği geçen tüm bölüm hocalarıma, ilk ve ortaöğretimdeki hocalarıma ve tabii ki aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Seyitömer Termik Santrali Laboratuvarı'nda yaptığımız ölçüm ve testlerde büyük yardımları bulunan laboratuvar sorumlusu Suat OKDELEN'E teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE LPG KULLANIMI.....	5
3. BAKIM METOTLARI	10
3.1. Arıza Çıktıkça Bakım.....	11
3.2. Koruyucu (Periyodik) Bakım.....	11
3.3. Proaktif Bakım	13
3.4. Kestirimci Bakım	13
3.4.1. Kestirimci bakımın prensipleri.....	15
3.4.2. Kestirimci bakım teknikleri.....	16
4. YAĞ ANALİZİ TEKNİĞİ.....	18
4.1. Yağlarla İlgili Temel Bilgiler.....	18
4.2. Mineral Yağlar.....	18
4.3. Sentetik Yağlar	18
4.4. Katkı Maddeleri	19
4.5. Yağ Analizi.....	22
4.5.1. Motor yağı analiz açıklamaları.....	24
4.5.2. Akışkanları ayırt etmede kullanılan fiziksel testler	29
4.5.2.1. Görsel ve fiziksel testler.....	29
4.5.2.2. Metal aşınma analizi	30
4.5.2.3. Yağ analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	31
4.6. Partikül Analizi	33
4.6.1. Aşınma miktarı analizi	33
4.6.2. Aşınma tipleri	34

İÇİNDEKİLER

Sayfa

4.6.2.1. Adhezyon aşınması	35
4.6.2.2. Kazıma aşınması	36
4.6.2.3. Abrazyon aşınması	37
4.6.2.4. Korozyon aşınması.....	38
4.6.2.5. Yorulma aşınması	40
4.7. Akışkan Temizlik Standartları	41
4.7.1. ISO 4406 Standardı	41
4.7.2. NAS 1638 Standardı.....	45
4.7.3. SAE AS 4059 Standardı	47
4.7.4. GOST 17216-2001 Standardı (Rusya)	49
4.7.5. NAV AIR 10-1A-17 Standardı	49
5. ANALİZ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	52
5.1. Viskozite.....	53
5.2. Yoğunluk	56
5.3. TAN.....	57
5.4. Oksidasyon.....	59
5.5. Su Miktarı	60
5.6. Elementel Analiz.....	62
5.7. Partikül Sayımı Ve Sınıflandırılması.....	74
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	79
6.1. Sonuçlar	79
6.2. Tartışma.....	81
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Propan ve bütanın basınç ve sıcaklığa bağlı olarak denge durumu.....	7
3.1. Aylık periyotlarda bakım.	12
3.2. Koruyucu bakımda arıza olasılığı - zaman grafiği.	13
3.3. Kestirimci bakım.	16
4.1. Basite indirgenmiş adhezyon aşınması şeması.....	35
4.2. Sınır yağlamada adhezyon aşınması.	36
4.3. Adhezyon aşınmasına uğramış bir yüzeyin yakınlaştırılmış görüntüsü.	36
4.4. Abrazyon aşınması oluşum şekilleri.....	38
4.5. Abrazyon aşınmasına uğramış makine parçaları.	38
4.6. Bir MAN dizel motorunda korozyon aşınması.	39
4.7. Kaymalı bir yatakta meydana gelen yüzey yorulması.	40
4.8. Örnek bir ISO kodlama sistemi.	42
4.9. ISO 18/16/13 (Büyütme x 100).....	42
4.10. ISO 14/12/09 (Büyütme x 100).	42
4.11. ISO 21/19/17 Akışkan (Büyütme x 100).	43
4.12. NAS 4 (1 Birim = 30µ).	47
4.13. NAS 12 (1 Birim = 15µ).	47
5.1. SpectroVISC Q300 yarı otomatik viskozimetre cihazı.	54
5.2. Viskozite değerleri.	55
5.3. DMA 4500 M yoğunluk ölçüm cihazı.	56
5.4. Yoğunluk değerleri.	57
5.5. Alpha FT-IR Spektrometresi.	58
5.6. TAN değerleri.....	59
5.7. Oksidasyon değerleri.....	60
5.8. Aquamax KF coulometric titrator cihazı.	60
5.9. Yağ içindeki su miktarı.....	61
5.10. Spectroil M/C-W yağ analiz spektrometre cihazı.	62
5.11. Yağ içindeki demir (Fe) miktarı.	63
5.12. Yağ içindeki krom (Cr) miktarı.	64
5.13. Yağ içindeki kurşun (Pb) miktarı.	64
5.14. Yağ içindeki bakır (Cu) miktarı.....	65

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.15. Yağ içindeki alüminyum (Al) miktarı.	65
5.16. Yağ içindeki nikel (Ni) miktarı.....	66
5.17. Yağ içindeki (Gümüş) miktarı.	67
5.18. Yağ içindeki silisyum (Si) miktarı.....	67
5.19. Yağ içindeki bor (B) miktarı.....	68
5.20. Yağ içindeki sodyum (Na) miktarı.	69
5.21. Yağ içindeki magnezyum (Mg) miktarı.....	69
5.22. Yağ içindeki kalsiyum (Ca) miktarı.	70
5.23. Yağ içindeki baryum (Ba) miktarı.	71
5.24. Yağ içindeki fosfor (P) miktarı.	71
5.25. Yağ içindeki çinko (Zn) miktarı.	72
5.26. Yağ içindeki Titanyum (Ti) miktarı.....	72
5.27. Yağ içindeki vanadyum (V) miktarı.	73
5.28. Yağ içindeki mangan (Mn) miktarı.	74
5.29. LNF Q200 Partikül görüntüleme cihazı.	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Çeşitli ülkelerde yaz ve kış aylarında LPG içindeki propan/bütan oranları.....	7
4.1. Katkı maddelerinde kullanılan elementlerin yağlama yağındaki rolleri.	21
4.2. Yağ içinde oluşan metallerin geldiği yerler.	33
4.3. Yağ içindeki bazı yabancı maddelerin sınır değerleri.	34
4.4. ISO Kodlama sistemi örnekleme.	43
4.5. ISO 4406:1999 Tablosu.	44
4.6. Temizlik seviyesi korelasyon tablosu.	45
4.7. NAS 1638 Tablosu.	46
4.8. Diferansiyel partikül sayımları için temizlik sınıfları I.	48
4.9. Kümülatif partikül sayımları için temizlik sınıfları II.	48
4.10. GOST 17216-2001 Tablosu.	49
4.11. NAV AIR 10-1A-17 Tablosu	50
5.1. ISO 4406 (1999) standardına göre partikül sayımı ve sınıflandırılması.	75
5.2. NAS 1638 standardına göre partikül sayımı ve sınıflandırılması.	76
5.3. NAVAIR 01-1A-17 standardına göre partikül sayımı ve sınıflandırılması.	77
5.4. Maksimum çap metodu ve aşınma türüne göre partikül sayımı.	78
6.1. Elementel analiz sonuçlarındaki değişim.	81

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Kısaltma****Açıklama**

FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy
GOST	Euro-Asian Council for Standardization
ISO	International Organization for Standardization
LPG	Liquified Petroleum Gas
NAS	The National Aerospace Standards
PPM	Parts Per Million
SAE	Society of Automotive Engineers
TAN	Total Asid Number
TBN	Total Base Number

1. GİRİŞ

Ekonomik boyut ve çevresel faktörler dolayısıyla son yıllarda otomotiv sektöründe benzine göre öncelikli tercih edilir bir hal alan LPG, alternatif bir yakıt olmaktan çoktan çıkmış ve birçok otomobil firması fabrika çıkışlı olarak LPG ile çalışan motor ve model üretir olmuştur.

Ülkemizdeki benzin ve LPG fiyatları mukayese edildiğinde içten yanmalı bir motorda benzin yerine LPG kullanımı sonucunda elde edilen tasarruf miktarı 2015 yılı itibariyle yaklaşık % 40 dolaylarındadır. Aynı şartlar altında içten yanmalı bir motorda belli bir iş için tüketilen 1 litre benzine karşılık aynı iş için harcanan LPG miktarı 1,10 - 1,15 litre civarındadır. Fiyat mukayesesinde benzin fiyatının LPG fiyatının yaklaşık iki katı olduğu düşünülürse % 40 tasarruf oranı hiç de şaşırtıcı değildir. Böyle bir tasarruf oranı da gün geçtikçe LPG'ye olan ilgiyi arttırmaktadır.

Çevresel boyut göz önüne alındığında da LPG, benzin ve motorine göre son derece çevreci bir yakıttır. Yanma sonu ürünleri incelendiğinde LPG'de ortaya çıkan zararlı madde emisyon değerlerinin diğer iki yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan zararlı madde emisyon değerlerinden çok daha düşük olduğu bilinmektedir.

Bugüne kadar LPG dönüşümü yapılmış benzinli motorlarda ekonomik tasarruf, çevre ile ilişki ve performanstaki değişim üzerine çeşitli akademik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmamızda, öncekilerden farklı olarak LPG dönüşümü yapılan benzin motorlarında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişiklikler kestirimci bakım tekniklerinden “Yağ Analiz Yöntemi” kullanılarak gözlemlenip irdelenmiştir.

Çalışmamızdaki bir diğer amaç, yakıt olarak LPG kullanılan motorlarda benzinli kullanıma göre ekstra bir aşınmanın olup olmadığının ortaya konması ve elde edilen aşınma değerlerinin motor üreticilerinin belirtmiş olduğu aşınma sınır değerlerinde kalıp kalmadığının belirlenmesidir.

Çalışma, Hyundai firmasının Accent Era modeli iki araç üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu araçlar eş zamanda sıfır olarak alınmış, motor ve diğer ekipmanları birebir aynıdır. Yalnız araçların bir tanesi bayiden LPG kiti takılı olarak, diğeri ise benzinli olarak teslim alınmıştır. Belirli kullanım süreleri sonunda prosedüre uygun olarak motor yağı numuneleri alınmış ve yağ analizleri gerçekleştirilmiştir. İki motorun yağ analizleri birbiri ile mukayese edilerek, motorda LPG kullanımının aşınmaya ne derece etki ettiği ve ekstra bir yıpranmaya sebep olup olmadığı araştırılmıştır.

Literatürde “Otomotiv Sektöründe LPG Kullanımı” ve “Yağ Analizi” konuları ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır:

Bayraktar ve Durgun (2004), buji ateşlemeli bir motorda benzin ve LPG kullanılmasının bir araba motorundaki egzoz emisyonları ve performansa etkisini araştırmışlardır. Motor silindir basıncı ve sıcaklığı, matematiksel olarak modellenmiş ve farklı eşitlikler kurulmuştur. Aynı yakıt/hava oranı ve farklı motor hızları için sayısal hesaplamalar çevrim modeli olarak bir bilgisayar kodu hazırlanmıştır. Farklı motor hızlarında yapılan uygulamada yakıt/hava oranı; yakıt tüketimi ve ekonomisi bakımından gerçekçi karşılaştırma yapabilmek için her bir yakıt için aynı seçmişlerdir. Uygulamanın sonucu olarak, buji ateşlemeli bir motorda LPG, aynı koşuldaki benzinli motorda kullanıldığında egzoz emisyonlarında önemli gelişmeler sağlanabileceği görülmüştür. Ancak, diğer motor parametrelerindeki değişim ve motor yapısal unsurlarında bir gelişme görülmemiştir (Bayraktar ve Durgun, 2004).

Kart (2009) yaptığı çalışmada, benzin ve LPG ile çalışabilen bir motora enerji ve ekserji analizi uygulamıştır. Motor momenti, hız, sıcaklık, basınç değerleri, yakıt ve su debileri, belirlenmiştir. Her bir yakıt için özgül yakıt tüketimi, yakıt enerjisi, efektif güç, ısı ve egzoz kayıpları hesaplanarak en uygun çalışma şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır (Kart, 2009).

Can (2009) çalışmasında, LPG ile çalışan benzinli bir motora kademeli dolgu yapılmasının performans üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştir. Sonuç olarak, kademeli dolgu yöntemi kullanılarak çok fakir karışımlarla bile motorun çalışmasının mümkün olduğu görülmüştür. Performans deneyleri sonucunda, uygulanan kademeli dolgu sisteminin hem kısmi yükler altında hem de rölanti devrinde daha az yakıt tükettiği, motor performansının ve egzoz emisyonunun ise homojen dolgulu motorlara nazaran daha iyi olduğu görülmüştür (Can, 2009).

Kocagöz (2009), çift yakıtlı (LPG-Benzin) buji ateşlemeli bir motorda hacimsel verimin performans ve emisyonlara etkisini incelemiş, karışım içerisindeki LPG oranının artması ile hacimsel verimde azalma olduğunu tespit etmiştir. Egzoz emisyonları ve yakıt ekonomisi açısından en iyi sonuçlar %100 LPG kullanımında elde edildiği, %100 LPG kullanımı ile özgül yakıt maliyetinde, karbondioksit, karbonmonoksit ve hidrokarbon emisyonlarında sırasıyla %23.5, %33.9, %53.3 ve %72.6 oranında azalma sağlandığı görülmüştür. Motor performansı açısından ise yalnız %25 LPG kullanım oranında olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Kocagöz, 2009).

Bayındır vd. (1997), yapmış oldukları bir deneysel çalışmada 1992 Model Renault 9 aracına LPG yakıt sistemini monte etmişler ve motorun belli devirlerinde aynı kriterlerde 4 benzinle yapılan çalışmayla karşılaştırma yapmışlar. Bu çalışmalar sonucunda LPG'li çalışmada daha düşük HC ve CO emisyonu değerleri elde edilmiştir (Bayındır, 1997).

Balki (2005), buji ateşlemeli motorda farklı sıkıştırma oranlarında LPG kullanımının performans ve emisyonlara etkisini deneysel olarak incelemiş, yüksek sıkıştırma oranlarında LPG ile çalışıldığında motor gücünün artmakta olduğunu ve yakıt tüketiminin azaldığını ortaya koymuştur (Balki, 2005).

Murillo ve ark. (2005), yapmış oldukları bir deneysel çalışmada buji ateşlemeli bir motorda LPG kullanmışlardır. Çalışmanın amacı benzin yerine LPG kullanıldığında; motor temel parametreleri, karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbon (HC) ve nitrik oksit (NO_x) değerlerinin gösterdiği miktarları belirlemektir. Bu çalışmanın sonucunda, LPG kullanımı ile özgül yakıt tüketimi, CO ve HC emisyonu benzine göre fark edilebilir bir güç kaybı olmaksızın oldukça düşüş göstermektedir. Ters olarak NO_x emisyonunda bir yükselme kaydedilmiştir (Murillo, 2005).

Smith ve ark. (1997), 1.4 litrelik bir taşıt motorunda LPG ve benzin yakıtları kullanarak emisyon ve verimlilik bakımından karşılaştırma yapmışlardır. LPG ile çalışmada HC emisyonlarının benzinliye göre daha düşük çıktığı belirlenmiştir (Smith, 1997).

Dinler ve Yücel (2002), iki farklı motorda LPG ve benzinli çalışmanın egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Gerek benzin gerekse LPG ile çalışmada egzoz emisyonlarının HFK'na bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. LPG'nin benzine göre emisyon değerlerinde iyileşmeye sebep olduğu tespit edilmiştir (Dinler ve Yücel, 2002).

Wu ve Mathews (1996) tarafından yapılan bir proje çalışmasında yedi adet taşıtın emisyon davranışları LPG, Doğal gaz ve benzin kullanılarak incelenmiş ve LPG ve doğal gaz ile çalışmada daha düşük egzoz emisyonu elde edilmiştir (Wu ve Mathews, 1996).

Sierens (1992) tarafından yapılan çalışmada benzin enjeksiyonlu bir motora sıvı halde LPG püskürtülmesi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. LPG'li çalışmada egzoz emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir (Sierens, 1992).

Orhan (2009), yağ analiz yöntemiyle yapılan kestirimci bakımda motor arızalarının tespiti üzerine çalışmıştır. Bu çalışma ile iş makinalarının tamir bakım masraflarında önemli miktarda azalma ve çalışma saatlerinde artış sağlanmıştır. Sonuçta makinelerdeki arızalar tespit

edilerek gerekli önlemlerin alınması ile makinelerin arıza yapmadan verimli bir şekilde çalışması sağlanmıştır (Orhan, 2009).

Denli (2007), kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi ile ilgili çalışmış, bakım onarım tekniklerini tanıtır, uygulamalı olarak örnekler vermiştir (Denli, 2007).

Kurt (2012), kestirimci bakım yöntemi kullanılarak egsoz fanında arıza teşhisi üzerine bir çalışma yapmış ve işletmelerde kestirimci bakım teknikleri uygulanıp arızalar oluşmadan tespit edilip müdahale edilmesi halinde gereksiz duruşların önüne geçip, işletme maliyetlerini düşürmenin mümkün hale geldiğini ortaya koymuştur (Kurt, 2012).

Gökalp ve ark. (2007), yaptıkları çalışma ile motor aşınma değerlerini bir yağ analiz programı ile deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar, motor yağlarının kullanıldığı sistemlerde motor bünyesinde oluşabilecek aşınmaya bağlı hasarların yapılacak düzenli yağ analizleri ile daha önceden tespit edilebileceğini ortaya koymuştur. (Gökalp, 2007).

2. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE LPG KULLANIMI

1970 ve 1980'li yıllarda ortaya çıkan petrol krizinden sonra hükümetler benzin ve türevlerine alternatif bir yakıt aramaya başlamış ve bu arayışların sonunda; motorlarda rahat ve güvenli olarak kullanılabilen, fiyat olarak da oldukça avantajlı olan LPG, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlanan bir yakıt olmuştur.

Günümüzde LPG motorlu taşıtlar dışında; konutlarda, tarımda ve çeşitli sanayi uygulamalarında enerji kaynağı olarak yaygın kullanım alanı bulmaktadır. LPG, ham petrol veya türevlerinden elde edilen propanın (C_3H_8) ve bütanın (C_4H_{10}) belirli oranlardaki karışımından oluşmaktadır (Çalık, vd., 1999). Bu karışım basınç altında sıkıştırılarak sıvılaştırılır, böylece az yer işgal eder ve kolayca depolanır ve nakledilir. Sudan hafiftir ve kullanırken üzerindeki basınç kaldırılarak gaz haline getirilir ve yanma işlemine sokulur (Balki, 2005).

LPG, rafinerilerde petrol distilasyonu sırasında en hafif fraksiyon olarak elde edilir. Türkiye'de rafinerilerden elde edilen LPG iç tüketime yetmediğinden özel gemi tankerler vasıtasıyla önemli miktarda dış alım yapılmaktadır (Kadırgan, 1999).

LPG; uygun fiyatı, yeterli miktarda ve yaygın olarak bulunması nedeniyle oldukça cazip bir alternatif yakıttır. Dağıtım ve dolum istasyonlarının uluslararası bir ağ şeklinde yaygınlaşmasıyla LPG kullanımı da artmaya başlamıştır (Caton vd., 1997) LPG'nin alternatif yakıt olarak kullanımı günümüzde oldukça ileri düzeye ulaşmış olup, ülkemizde 2015 yılının Mart ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı 10 milyon 40 bin 689 adet otomobilin %41,1'i LPG, %29,9'u dizel, %28,6'sı benzin yakıtlıdır (<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18765>). LPG'nin kullanıcılarca kabul görmesi; satış fiyatı, toplam işletme maliyeti, araç performansı, güvenlik ve çevreye olan etkisine bağlıdır (Caton vd., 1997).

LPG'nin motorlarda yakıt olarak kullanılmasında başlıca iki türlü etken mevcuttur. Birincisi yukarıda sözü edilen satış fiyatı ve toplam işletme maliyeti gibi ekonomik etkenler, diğeri de düşük egzoz emisyonları, yüksek oktan sayısı gibi teknolojik etkenlerdir.

LPG fiyatlarının benzine göre daha düşük düzeyde olması, dönüşüm sisteminin getirdiği ek maliyetlere rağmen, genelde ekonomik yönden bir avantaj sağlamaktadır. Ancak, LPG üretimi kısıtlı olduğu için, tüketimin sınırlandırılması amacıyla bazı önlemlerin uygulanmasına gerek duyulmaktadır. Halen yaygın olarak LPG'nin taşıtlarda yakıt olarak kullanıldığı bazı ülkelerde (örneğin Hollanda) LPG üzerinde üretim vergisi bulunmamakta, ancak LPG kullanan taşıtlardan ek vergi alınmaktadır. Diğer taraftan bazı ülkelerde de (örneğin İtalya) LPG kullanan

taşıtlara ek vergi uygulanmamakta, ancak LPG üzerindeki üretim vergisi ile fiyat dengelemesi yapılmaktadır. Her iki uygulamada da dönüşümün ekonomik yönden avantaj sağlayabilmesi, taşıtın yılda yaklaşık 20.000 km kadar yol yapması ile mümkün olabilmektedir (Ergeneman, Soruşbay, 1996). Benzer bir uygulama da Fransa’da uygulanmaktadır. “Fransa Temiz Hava Kanunu” LPG’li taşıt kullanıcılarına bazı avantajlar vermektedir. İngiltere hükümeti ise LPG dönüşüm sistemi ücretinin %70’ini karşılamaktadır. Ayrıca Londra’da şehir merkezlerine giriş tüm taşıtlara ücretli iken, LPG’li taşıtlar hiçbir ücret ödmeden bu merkezlere girebilmektedirler (Price, 2004).

Sadece benzin yakıtı kullanılan motorlarla karşılaştırıldığında, LPG’nin motorlarda kullanımında çok daha az CO ve HC emisyonları görülmektedir (Sayın, 2004).

LPG’nin önemli bir bölümünü propan oluşturur. Propanın egzoz bileşenleri benzine göre daha düşüktür. En önemli üstünlüklerinden biri doğalgaza göre daha kolay sıvılaştırılması ve bu özelliği sayesinde daha kolay depolanabilmesidir. En önemli dezavantajı ise petrole göre kütleli olarak % 11, hacimsel olarak da % 33 daha az enerji bulundurmasıdır. Setan sayısı düşük olduğu için dizel motorlarında kullanılmaya uygun değildir (Durgun, 1988).

Propan ve bütanın farklı kaynama noktalarına sahip olması, diğer bir deyişle atmosfer basıncı altında gaz fazından sıvı fazına geçiş sıcaklıklarının farklı olması nedeniyle depolamada iklim koşullarına göre farklı karışım oranları uygulanmaktadır. Atmosfer basıncında, propan -43 °C sıcaklıkta sıvı fazında bulunurken, bütan 0 °C sıcaklıkta sıvı fazında bulunmaktadır. Bu nedenle özellikle soğuk iklimlerde ve soğuk mevsimlerde karışım içindeki propan oranı artırılarak sıvı fazından gaz fazına geçiş kolaylaştırılmaktadır. Karışım oranındaki bu değişime bağlı olarak yakıtın özellikleri de değişim gösterir (Ergeneman, Soruşbay, 1996). Türkiye’de satılan LPG % 70-80 bütan, % 20-30 propan içermektedir (Kadırgan, 1999). Çeşitli Avrupa ülkelerinde yaz ve kış aylarında kullanılan LPG içindeki propan/bütan oranları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

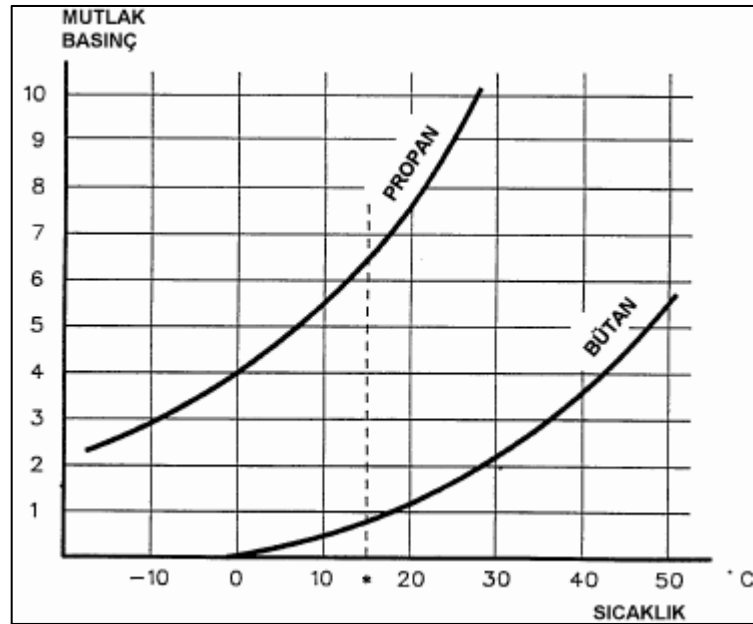
LPG’nin en önemli özelliklerinden biri buhar basıncıdır. Buhar basıncı, belli sıcaklıkta buharlaşma ortamının sıvı buharına doyması sonucu buharlaşmanın devam etmediği kısmi basınçtır (Safgönül, 1995). Buhar basıncı başlı başına motorun ilk çalışması ve motor ısınana kadar düzgün olarak çalışması için gerekli en önemli özelliktir (CHEVRON Inc., 1996).

Karışımın propan/bütan oranına bağlı olarak LPG’nin buhar basıncı değişmektedir. Kaynama noktaları normal ortam sıcaklıklarının üzerinde olduğu için, benzin ve dizel yakıtı gibi alışılmış yakıtlar taşıt üzerindeki yakıt depolarında atmosfer basıncı altında sıvı fazda

saklanabilirken, 0 °C'nin altındaki sıcaklıklarda da buharlaşan LPG, buhar basıncının yüksek olması nedeniyle, 4-10 bar gibi yüksek basınçta sıvı fazda saklanmaktadır (Şekil 2.1). Artan sıcaklıkla birlikte sıvı fazındaki propan ve bütanın hacmi hızla azalmakta ve basınç değerlerinde artış görülmektedir. Bu husus yakıt tanklarında emniyet açısından önem taşımaktadır (Çalık vd., 1999).

Çizelge 2.1. Çeşitli ülkelerde yaz ve kış aylarında LPG içindeki propan/bütan oranları (Ergeneman, Soruşbay, 1996).

ÜLKE	Propan/Bütan Oranı	
	Yaz	Kış
Belçika	30/70	50/50
Almanya	Propan	
Danimarka	50/50	70/30
İngiltere	Propan	
Avusturya	20/80	80/20
Hollanda	30/70	70/30
İsveç	Propan	50/50
İsviçre	Propan	



Şekil 2.1. Propan ve bütanın basınç ve sıcaklığa bağlı olarak denge durumu (Çalık vd., 1999).

LPG'nin diğer yakıtlarla (benzin ve dizel) karşılaştırıldığında bazı önemli avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- LPG'nin H/C oranı yüksektir.
- LPG için tutuşabilirlik sınırları %2,4 - %9,5 arasındadır.
- Verimli yanma özelliği bulunmaktadır.
- LPG kullanımında yanma odasında ve ateşleme bujilerinde karbon ve kurum oluşturmaz.
- LPG ile çalışan motorların benzin ve motorin ile çalışanlarla karşılaştırıldığında daha az karbondioksit oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca zararlı egzoz emisyon değerleri daha düşüktür (Uğurlu, 2008). LPG'nin bu özelliği diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında karbon içeriğinin daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Bielaczyc, 2001).
- LPG'nin daha yüksek bir oktan sayısına sahip olması, vuruntu oluşumunu önlemekte ve motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına imkan vermektedir. Ancak çift yakıtlı (benzin \ LPG) taşıtlarda sıkıştırma oranı tasarım olarak başlangıçta benzine göre belirlendiğinden dolayı, bu tip taşıtlarda daha yüksek bir sıkıştırma oranı ancak motor modifikasyonu ile sağlanabilmektedir (Uğurlu, 2008)
- Yüksek ısı verime sahiptir, böylece içten yanmalı motorlarda benzine oranla daha yüksek yakıt ekonomisi sağlanabilmektedir (Karamangil, 2007).
- Yanma odasına tamamen gaz fazında girmesine bağlı olarak motor yağının seyrelmesine neden olmamakta ve artık madde bırakmamaktadır. Böylece benzine nazaran daha düşük bakım masraflarına neden olmaktadır (Karamangil, 2007).
- Basınç altında depolandığından LPG dönüşüm sisteminde yakıt pompası kullanılmaz. LPG dönüşüm sisteminde, benzin yakıt pompası devrede değildir ve bu nedenden dolayı yakıt pompası, onarım ve değişim masrafı olmaz.
- LPG dönüşüm sistemleri, kapalı yakıt sistemi olması nedeni ile akıtma ve buharlaşma kayıpları yoktur.
- LPG içerisinde, benzinin oktan sayısını arttırmak için kullanılan kurşun tetra etil bulunmamaktadır. LPG'nin içeriğinde kükürt olmaması nedeniyle, egzozda kükürt oksit emisyonu oluşumu söz konusu değildir. Ayrıca dizel motorlarında görülen is ve 9 partikül emisyonları da oluşmamaktadır (Sayın, 2004).

- Ucuz bir yakıttır.
- LPG dönüşüm sistemleri basit ve ucuz parçalardan oluşmaktadır.

Araçlara LPG yakıt sistemlerinin montajı sadece bazı özel parçaların sisteme ilave edilmesiyle gerçekleştirilir. Aracın mevcut yakıt ve ateşleme sistemi aynen muhafaza edilir. Şoför mahalline yerleştirilen bir yakıt seçici anahtar vasıtasıyla motorun istendiği zaman benzin, istendiği zaman da LPG ile çalıştırılması mümkündür. LPG dönüşüm sisteminin emniyeti mükemmeldir. Araçlarda kullanılan LPG tankları 20 bar işletme basıncı ve 45 bar test basıncına göre dizayn edilmektedir (Örücü, 1999).

3. BAKIM METOTLARI

Bakım onarım, bir işletmedeki tüm makine, donanım ve sistemlerin işlevlerini tam olarak ve en yüksek performansla yerine getirebilmeleri ve bu hallerini sürdürebilmeleri için gerçekleştirilen faaliyetlerin bütünüdür. Her ne kadar gereken önem verilmesine de bir işletmedeki en kritik bölümlerden biri bakım onarım bölümüdür. Üretimin sürekli olarak devam ettirilebilmesi, makine ve donanımlarda meydana gelen beklenmedik arızaların giderilmesi ve arızaların önüne geçilmesi için periyodik bakımlarının yapılması, işletmenin bina ve yardımcı tesislerin bakımı ve işletilmesi ile tezgâhların montajı ve yer değiştirmesi gibi temel görevleri olan bu bölüm, çoğu zaman tezgâhların isleyişini geliştirecek ya da etkinliğini ve verimliliğini arttıracak yeni tasarımlar yapılması, imalatı ve montajı, çevre kirliliğine karşı önlemler alınması, iş güvenliği önlemlerinin uygulanması, hurda ve atık malzemelerin yönetimi, bina ve tesislerin yangından korunması gibi işlerden de sorumlu tutulur (Denli, 2007).

İşletmeler büyüyüp karmaşıktıkça, bakım onarım bölümünün önemi de artar. Sipariş üzerine imalat yapan işletmelerde meydana gelen arızalarda üretimin diğer tezgâhlara kaydırılması ile ekonomik kayıplar en aza indirilse de, seri imalat yapan işletmelerde böyle bir çözüm söz konusu olamayacağından, arızanın bir an önce giderilmemesi çok büyük ekonomik kayıplara sebep olabilir. Bir arıza sonucunda oluşan durusun işletmenin verimliliği ve maliyetleri üzerindeki etkileri şu şekilde sıralanabilir; arızalı tezgâhın ve bu tezgâhla ilişkili diğer tezgâhların operatörler bos kalır, dolaylı işçilik ve imalat genel masraflarının artar, arızalı tezgâhtan önceki üretim hattında stoklar artar, sonraki tezgâhlar çalışamaz, zamanında teslim edilemeyen ürün sebebiyle müşteri memnuniyetsizliği oluşur. Görüldüğü gibi üretimin bir noktasında meydana gelen arıza tüm hatta yayılarak işletmeyi zor durumda bırakabilmektedir (Denli, 2007).

Meydana gelen arızaların en kısa sürede çözümlenebilmesi için gereken ilk şart, yetkin ve eğitilmiş bakım onarım ekibidir. Bakım onarım personelinin sürekli olarak eğitimine önem verilmelidir. Bunun yanında teknolojik tamir ve ayar donanımlarının da bakım onarım bölümünün demirbaşına katılması gerekir. Herhangi bir arızada, tam donanımlı ve teknik yeterliliğe sahip personel doğru çözümün tek anahtarıdır (Denli, 2007).

Farklı işletmelere baktığımızda, işletmelerin yapısı birbirinden çok farklı olmasına rağmen, kullanılan bakım felsefeleri birbiriyle benzerlik göstermektedir. Bu bakım felsefeleri genellikle dört farklı kategoriye ayrılabilir (Girdhar ve Scheffer, 2004).

1. Arıza çıktıkça bakım
2. Koruyucu (Periyodik) bakım
3. Proaktif bakım
4. Kestirimci bakım

3.1. Arıza Çıktıkça Bakım

Arıza çıktıkça bakımın arkasındaki temel felsefe, makine arızalanıncaya kadar çalışmasına izin vermek veya tamamen duracak hale geldiğinde veya gelmeden hemen önce arızalı parçaların değiştirilmesi ya da onarılmasıdır.

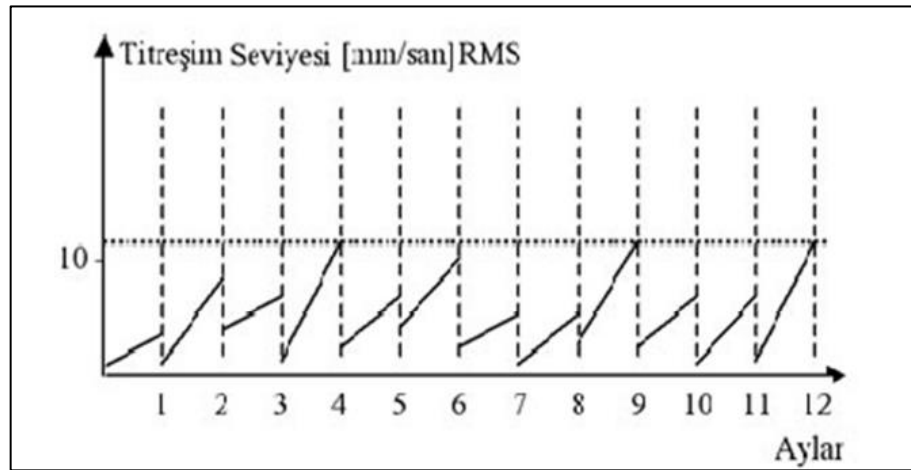
Bu bakım yönteminin en büyük sakıncası bakım ekibinin sürekli bir alarm durumunda olması ve çok yüksek iş gücü ve stok maliyetleri barındırmasıdır. Her fabrikada plansız bakımın uygulanmasını gerektirecek noktaların bulunması normaldir ancak fabrikanın genelindeki bir uygulama düşünüldüğünde kuskusuz ki en verimsiz bakım yöntemidir (Girdhar ve Scheffer, 2004).

3.2. Koruyucu (Periyodik) Bakım

Günümüzde, işletmelerde yaygın olarak kullanılan bu bakım yöntemi bir periyodik bakım uygulamasıdır. Planlı bakım yada zamana dayalı bakım olarak da adlandırılan bu bakım türü, özellikle arızalanması halinde üretimi sekteye uğratacak, arızalanmasının maliyeti çok yüksek olabilecek kritik ekipman ve tezgâhlara uygulanır. Bu yüksek maliyetle karşılaşmamak için, periyodik olarak yağlama, ayar, parça değişimi ve temizlik yapılır. Böylece bakım uygulamalarında beklenmeyen arızalar azalır, düzenli olarak bakım ve ayar yapıldığından makinelerin kullanım ömürleri ve verimlilikleri artar, enerji tüketimleri düşer. Bununla birlikte, arızanın önüne geçebilmek için bakım periyotlarının kısa tutulması, bu nedenle bakım ve işletme maliyetlerinin yükselmesi, ekonomik ömrünü tamamlamamış, daha uzun süre hizmet verebilecek parçaların değişimi gibi gereksiz bakım uygulamalarının yapılabilmesi, yapılan bakım sırasında istenmeden de olsa bazı ayarlar ve parçaların bozulması yada hatalı yapılan bir ayar veya montajın bir sonraki bakım periyodundan önce arızaya neden olması gibi dezavantajları bulunur. Ayrıca öngörülen bakım periyodundan önce beklenmeyen bir arıza çıkması da mümkündür. Periyodik bakımda, aşınmanın zamanla hızlanan yavaş ve sürekli bir süreç olduğu ve önleyici bakımın aşınma hızını yavaşlatarak aşınmayı düşük bir seviyeye indirdiği kabul edilir, ancak aşınmanın doğası biraz daha farklıdır. Ekipman normal olarak çalışırken bir dış etken olmazsa, yağda bozulma ya da tezgâhın sınırlarının aşırı zorlanması gibi, parçalarında neredeyse hiçbir aşınma belirtisi görülmez. Bu tip bir dış etkenin olmadığı

durumlarda yapılan bakım gereksizdir. Bu dış etkilerin oluşup hızla aşınmaya neden olarak tezgâhın ömrünü kısaltmaya başladığı sırada yapılan bakım ise geç kalmış bir uygulama olacaktır. Birçok periyodik bakım uygulamasında yapılan ise maalesef ya gereksiz ya da çok geç kalınmış bakım uygulamalarıdır (http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/Bus%20Sch-op-maint_101.pdf).

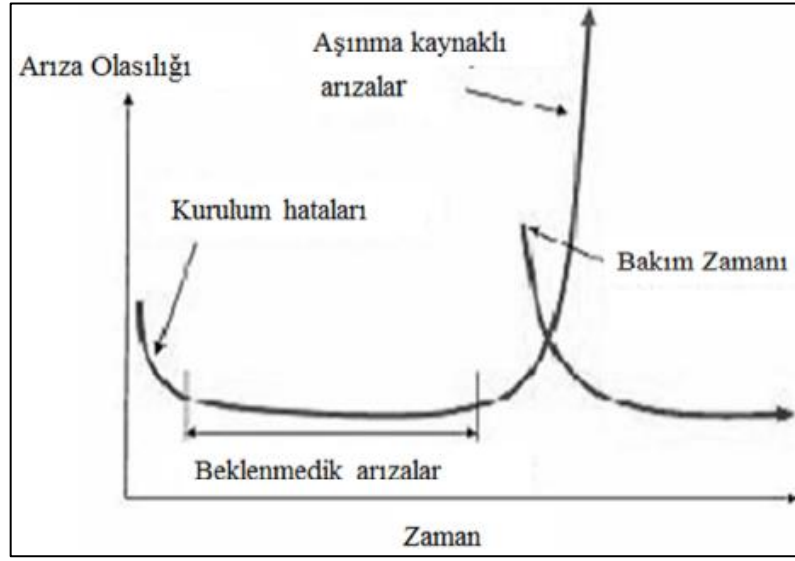
Şekil 3.1’de aylık periyotlarla bakım yapılmış bir makine görülmektedir. Bu makinede yılda 12 duruş ile koruyucu bakım uygulanmıştır. Aynı süreçte, titreşim ölçümleri de bilgi için alınmıştır. Ölçümler, her bakım periyodunda titreşimin farklı olduğunu, bakım sonrası titreşim seviyelerinin her zaman istenilen seviyeye düşürülemediğini göstermektedir (Denli, 2007).



Şekil 3.1. Aylık periyotlarda bakım.

Şekil 3.2’deki arıza olasılığı-zaman grafiğine bakıldığında, döngünün nispeten yüksek bir arıza olasılığı değeri ile başladığı görülür, bunun sebebi tezgâhın imalatı ve kurulumu aşamasında meydana gelen hatalardır. Bundan sonra arıza olasılığı, tezgâhta aşınma baş gösterene kadar göreceli olarak düşük seyrederek. Periyodik bakım, artış tam olarak başlamadan önce yapılması gereken bir bakım türüdür. Bu genelde tam olarak belirlenemediğinden ya zamanından çok önce yapılarak maliyet artışına ve güvenilirlik azalmasına (her bakımdan sonra, bir takım bakım hataları sebebi ile arıza olasılığı başlangıçta biraz daha yüksektir) ya da geç yapılarak tezgâhın parçalarının aşınmasına neden olur (Denli, 2007).

Buradan da anlaşılacağı gibi, periyodik bakımla bir takım arızaların önüne geçebilmek mümkün olmakla birlikte, hem her zaman arızaların kesin olarak giderilememesi, hem de gereksiz maliyet artışlarına sebep olabilmesi nedeniyle bakım sorununa kesin bir çözüm değildir.



Şekil 3.2. Koruyucu bakımda arıza olasılığı - zaman grafiği.

3.3. Proaktif Bakım

Proaktif bakım; oluşan arızaların analiz edilerek temel sebebinin tespit edilmesine ve bu sebebin giderilmesine dayanır. Oluşan her arıza analiz edilip o arızanın bir daha tekrar etmemesi için gerekli önlemler alınır. Üretim artışı, arızaların tekrarının önüne geçildiği için kestirimci bakım yönteminden daha fazladır. Ne var ki tüm önceki bakım yöntemlerine haiz eğitimli iş gücü ve gelişmiş cihaz ihtiyacı vardır. Bir işletme için optimum bakım yöntemi yukarıdaki birkaç yöntemin bir arada kullanılması ile yapılacak bir program ile bulunabilir. Araştırmalar üretim maliyetlerinin %15-%40 arasının bakım maliyetlerinden oluştuğunu göstermektedir. Yine araştırmalarla hali hazırda yapılan bakımların %50' sinin gereksiz yere yapıldığı görülmüştür (SKF TÜRK, 2010).

3.4. Kestirimci Bakım

Kestirimci bakım makinaların çalışırken performansının izlenmesi esasına dayanır. Bu bakım yöntemi bakım teknolojisindeki son gelişmedir. Bu yöntemde makinalar sürekli bir şekilde izlenirler, bu izleme sadece makinaların ne zaman arızalanabileceğini tahmin etmeyi değil aynı zamanda niçin arızalandığını tahmin etme imkanı da verir. Bu bakım teknolojisi makinalar arızalanmadan önce çoğu makina parçalarının bazı uyarı tipleri vermesi gerçeğine dayanmaktadır (Yücel, 2009).

Yapılan araştırmalara göre, bakım masraflarının %30 oranında azaltılması, kestirimci ve önleyici bakımla mümkün olabilmektedir. Önleyici ve kestirimci bakım birbirlerini tamamlayan

bakım felsefeleridir. Önleyici bakım yalnızca ön görülen yedek parça değiştirme zamanlarında yedek parçaların değiştirilmesi değildir. Önleyici bakım bir arızanın oluşmaması için ön tedbir almak olup, bir anlamda proaktif bakım felsefesidir. Zor şartlar altında çalışan bir mekanizmada sentetik yağ kullanımına geçmek bir önleyici bakım pratiğidir. Aynı şekilde, kayışlarda ve kaplinlerde hassas ayarlar yapılması arızanın oluşmasını engelleyici önleyici bakım pratiklerindendir (Kirazlılar, 2007).

Kestirimci bakımla ilgili gelişmeler son dönemlerde bakım literatüründe bir hayli yer tutmaktadır. Kestirimci bakımın anlamı çok net bir ifadeyle, bazı hasar türlerinin tam olarak arıza pozisyonuna gelmeden önce bir takım özel yöntemlerle tespit edilme çalışmalarıdır. Bu konuda söylenmesi gereken çok önemli nokta; hiçbir kestirimci bakım metodu ve cihazının bir fabrikadaki arızaların tümünü önceden belirlemesinin mümkün olmadığıdır. Bazı arızaların gerek mekanikte, gerek elektrikte adım adım gerçekleşmediği yani hiçbir belirti vermeden ortaya çıkacağı bilinmelidir (Kirazlılar, 2007).

Kestirimci bakım, makine ve teçhizatların sürekli gözlemlenmesi ve işlem görme şartlarının ve bunların zamanla gelişiminin analiz edilmesini içerir. Makinenin durumunun gözlemlenmesi için müracaat edilen bir uygulamadır. Makinelerin durumu periyodik veya sürekli ölçüm yapılarak tespit edilir. Ölçüm ve kontrollerin sonucuna göre üretimi etkileyecek arızanın oluşabileceği zaman önceden tahmin edilir. Buna göre uygun zamanlarda makineler bakıma alınır. Toplanan veriler üzerinde yapılan analizler ile arızaların kaynağı ve gelişimleri öğrenilir. Böylece makinelerin en yüksek verimde kullanılması ve beklenmeyen arıza duruşlarının önlenmesi sağlanır. Bu metot, genellikle herhangi bir müdahaleyi planlamayı ve makine veya teçhizat duruşlarını çok küçük düzeyde tutmayı mümkün kılacaktır (Kalyoncu, 2006).

Kestirimci bakımın kapsama alanı aslında mühendisin bakış açısına göre çok geniş olabilir. Her fabrikada bilerek ya da bilmeyerek kestirimci bakım bir şekilde uygulanmaktadır. Tecrübeli bir mekanikçinin her gün veya her vardiya öncesi tesisteki makinaları beş duyusunu da kullanarak kontrol etmesi, günümüz koşullarında hala çok önemli bir kestirimci bakım metodudur. Bırakınız büyük tesisler için sistem kontrolünü, tornavida ile elektrik motorunun kontrolü bile kestirimci bakım yöntemi olarak hemen her yerde uygulanan bir yöntemdir. Kestirimci bakım günümüzde özel olarak bu işler için geliştirilmiş cihazlarla yapılan bir bakım konseptine dönüşmüştür. Bir işletmede kestirimci bakımın tüm bakım ve işletme personelinin katılımı ile başarıya ulaşacağı defalarca kanıtlanmış olup, bir cıvata gevşemesinin en kısa sürede bakımcılara ihbar edilmesi bile çok önemlidir. Yalnızca rutin vibrasyon kontrolleri uygun bir

kestirimci bakım yapıldığının göstergesi olamaz. Kısacası, her türlü olumsuzluk ihbarı da kestirimci bakım için gerekli bir unsurdur. Unutulmamalıdır ki, bakım servisinin tek başına yaptığı çabalar, işletme personeli destek vermezse sonuçsuz kalacaktır (Kalyoncu, 2006).

Kestirimci bakımın avantajları:

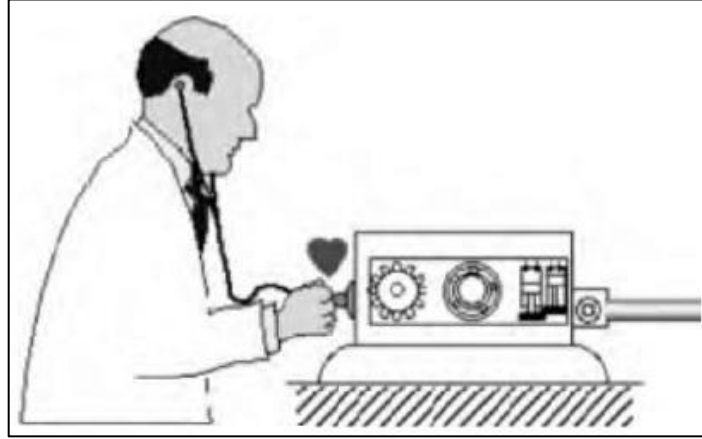
- Bakım süreleri ve makinaların duruş süreleri azalır.
- Zamanla oluşan küçük arızaların büyüyerek daha büyük sorunlar oluşturmasının önüne geçilir.
- Makinalarda oluşabilecek önemli arızalar, en alt seviyeye iner.
- İyi durumdaki makinalar, gereksiz yere durdurulmamış ve zaman kaybı yaşanmamış olur.
- Üretim kaybı oldukça azalır (Acar, 2014).

3.4.1. Kestirimci bakımın prensipleri

Kestirimci bakım temel olarak koşul tarafından tetiklenen bir önleyici bakımdır. Endüstriyel veya işletmedeki ortalama ömür istatistikleri bu durumda bakım faaliyetlerinin programlanması için kullanılmaz. Kestirimci bakım mekanik durumu, ekipmanın verimini ve diğer parametreleri izler ve işlevsel arıza zamanını yaklaşık olarak tahmin etmeye çalışır. Kapsamlı bir kestirimci bakım programı en etkili maliyet düşürme araçlarının kombinasyonundan yararlanarak ekipmanın ve işletmenin etkin çalışma koşullarının elde edilmesinden faydalanır. Toplanan bu veriler temel alınarak bakım programı seçilir. Kestirimci bakım yöntemi olarak; titreşim analizi, yağ ve aşınmış parça analizi, ultrason, termografi, performansın ölçülmesi ve ekipmanın koşullarını değerlendiren diğer teknikleri kullanmaktadır (Orhan, 2009).

Kestirimci bakım teknikleri etkin olarak medikal teşhis tekniklerine çok benzerlik göstermektedir. İnsan vücudunda bir problem ile karşılaşıldığında bu bir semptom gösterir. Sorunlu sistem açık verir. Bu tespit etme kademesidir. Bundan başka eğer gerekli ise patolojik testler yapılarak problem teşhis edilir. Bu durum temel alınarak gerekli müdahale yapılır (Orhan, 2009).

Şekil 3.3.'te bir doktorun hastasının sırtını stetoskop ile dinleyip teşhis koymaya çalışması ile kestirimci bakımın benzerliği vurgulanmış ve bir makinedeki arızanın tespit edilmesi karikatürize edilmiştir.



Şekil 3.3. Kestirimci bakım.

3.4.2. Kestirimci bakım teknikleri

Pratikte çeşitli kestirimci bakım teknikleri bulunmaktadır. Bu teknikler içinden yağ analizi çalışmada tercih edilip kullanılan teknik olmuştur.

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

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

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

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

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

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

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

Tüm bu yöntemlere rağmen kestirimci bakım yönetim desteğinin yetersiz kalması, kötü planlama ve yetenekli ve eğitilmiş insan gücünün olmayışı gibi nedenlerle başarısız sonuçlara yol açabilir. Kestirimci bakım programının uygulanması ile ekipmanın izlenmesi için uyarlanacak spesifik tekniklere karar verilmesi çok önemlidir. Ayrıca endüstri koluna, ekipmanın tipine bağlı olarak değişik yöntemler bulunmaktadır ve bunun yanında fazla sayıda eğitilmiş insan gücü gerekmektedir. Ayrıca kestirimci bakım teknikleri ekipmanın arızasının tespit ve teşhis edilmesi için ileri tekniğe sahip ekipmanların kullanılmasını da gerektirmektedir. Bu ekipmanlar genel olarak çok pahalıdır ve verdikleri bilgilerin analiz edilmesi için çok iyi tekniğe sahip çalışanlara ihtiyaç duyulmaktadır. İster akıllı enstrümantasyon isterse yetenekli insan gücü olsun genellikle kestirimci bakım felsefesinin işletmeye uyarlanması ile maliyetlerine dair soru işaretleri ortaya çıkmaktadır. Ancak yönetimin desteği ile insan gücüne ve ekipmana yeterli seviyede yatırım yapıldığında kestirimci bakım kısa bir süre içerisinde çok iyi sonuçlar vermektedir (Girdhar ve Scheffer, 2004).

4. YAĞ ANALİZİ TEKNİĞİ

4.1. Yağlarla İlgili Temel Bilgiler

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

4.2. Mineral Yağlar

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

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

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

- Gaz, jet yakıtı, dizel gibi düşük kaynama noktalı malzemelerin ayrılması
- Aromatikleri ve polar bileşenleri içeren kirleticilerin yapıdan uzaklaştırılması
- Baz yağın arzu edilen viskozite sınıfının verilmesi için distile edilmesi
- Düşük sıcaklıkta akışkanlığın iyileştirilmesi için parafinden arıtma
- Oksidasyonun ve ısıl kararlılığın iyileştirilmesi için yapılan son işlemler (Orhan, 2009).

4.3. Sentetik Yağlar

Yağlayıcı baz akışkanın bir diğerkaynağı sentetik kökenlidir. Sentetik bir malzeme için uygun bir tanımlama şudur: *Belirli tahmin edilebilir özelliklerin sağlanmasında moleküler ağırlığı daha fazla olan bir akışkanın üretilmesi için daha düşük moleküler ağırlıktaki malzemeler ile kimyasal reaksiyon sonucu oluşan bir üründür.* Bu rafine yöntemine ve ham stok

kaynağına bağlı olarak farklı kimyasal kompozisyondaki birçok bileşenin karışımından meydana gelen rafine edilmiş petrol yağların tersidir.

Yaygın olarak kullanılan üç sentetik baz yağ:

- Poli alfa olefinler
- Organik esterler
- Poli glikollerdir.

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

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

Düşük sıcaklık yağlayıcıları ve aleve dirençli hidrolik akışkanlar gibi sentetik yağlayıcılar uzunca bir süredir havacılık endüstrisinde kullanılmaktadır. Bunlar bu yağlayıcıların yüksek maliyetlerini ortalamaktadır. Aynı viskozite aralığında sentetik malzemeler genellikle petrol bazlı akışkanlara göre daha geniş sıcaklık aralığında kullanılabilir. Uygun petrol bazlı yağ bulunamadığında belirli sentetik yağlayıcıların baz stokları petrol kökenli yağlarla karıştırılarak yüksek sıcaklıkta uçuculuk ve düşük sıcaklık viskozite karakteristikleri elde edilebilir (Orhan, 2009).

4.4. Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri baz mineral yağa yeni özellikler katan malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Katkı maddeleri yağlayıcının mevcut olan özelliğini arttırmaktadırlar. Yağlayıcının içine katılacak olan katkı maddelerinin miktarı ve tipi yağlayıcıdan beklenen

performans özelliklerine bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan katkı maddeleri şunlardır (Orhan, 2009):

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

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

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

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

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

Akma noktasını düşürücüler: Akma noktası düşürücüler düşük sıcaklıklardaki yağlar için yerçekimi ivmesi ile akma özellikleri sağlar. Bunlar düşük sıcaklıklarda parafin oluşmasını önlemeye meyillidir. Yağ formüllerinin birçoğunda özellikle viskozite iyileştirici içerenlerde ilave akma noktası düşürücüler diğer katkı maddelerinin içerisinde bulunduğundan dolayı ek akma noktası düşürücü gerekli değildir.

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

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

Emülgatörler: Emülgatörler yağın yüzey gerilimini düşürmek için kullanılırlar.

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

Yapışkanlık ajanları: Bunlar metale tutunma ve yapışmayı iyileştirirler.

Biyokıran: Bakteri ve mantar oluşumunu kontrol eder.

Çizelge 4.1.'de katkı maddelerinde yaygın olarak kullanılan elementler ve bunların yağlama yağındaki rolleri görülmektedir.

Çizelge 4.1. Katkı maddelerinde kullanılan elementlerin yağlama yağındaki rolleri.

Element	Yağlama Yağındaki Rolü
Baryum (Ba)	Deterjan veya dispersan katığı
Bor (B)	Aşırı basınç katığı
Kalsiyum (Ca)	Deterjan veya dispersan katığı
Bakır (Cu)	Anti aşınma katığı
Kurşun (Pb)	Anti aşınma katığı
Magnezyum (Mg)	Deterjan veya dispersan katığı
Molibden (Mo)	Sürtünme düzenleyici
Fosfor (P)	Korozyon önleyici, anti aşınma katığı
Silikon (Si)	Anti köpük katığı
Sodyum (Na)	Deterjan veya dispersan katığı
Çinko (Zn)	Anti aşınma ve anti oksidan katığı

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

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

4.5. Yağ Analizi

Bakım servisi için bir makinanın bozulacağını önceden bilmek veya onun sağlıklı bir şekilde çalışıp çalışmadığını tespit etmek çok önemli bir şey olurdu. Bu aslında yağ ile çalışan makinalarda kısmen mümkün bir şeydir. 2. Dünya savaşından sonra Amerikan Donanmasında kullanılan makine yağlarının testlere tabi tutulup motorların durumunun değerlendirilmesi endüstriyel bakımçıların dikkatini çekmiş ve bu uygulama rutin bir makine bakım prosedürü haline gelmiştir. Bu arada özellikle motor yağlarının analizinde “blotter” denen bir kağıtla ucuz fakat yalnızca görsel açıdan yağ durum testleri yapılıyordu. Buna göre yeni yağ solgun sarı bir renk verecekken, kirlenmiş ve eskimiş yağın blotter’a verdiği leke partiküllü ve opaklaşacaktı (Kirazlılar, 2007).

Mekanik parçalar temelde 10 mikronluk bir yağ filmi üzerinde çalışırlar ki bu kalınlık yaklaşık olarak bir kan hücresinin çapına eşittir. Bu yağ filminin ortadan kalkması arızanın oluşması anlamına gelir. Bu yağ filminin temiz ve sağlıklı olması son derece önemlidir. Bu amaca ulaşılmasını sağlayan kestirimci bakım metodu yağ analizi olarak adlandırılır. Buna ek olarak, insan vücudundaki kan gibi, makinelerdeki yağ da makinenin sağlığı ile ilgili olarak çok önemli ipuçları verir. Yağ analiziyle bu ipuçları analiz edilerek operasyonları ve bakım kararlarını etkileyen çok önemli bilgilere dönüştürülür.

Yağ analizi sadece kullanılan yağa yapılmamalıdır. Çoğunlukla, işletmeye yeni giren yağın temiz ve standartlara uygun olduğu gibi bir kabul yapılır, ancak bu kabul son derece tehlikeli ve yanıltıcıdır. Gelen yağın uygun özelliklerde ve temiz olup olmadığının anlaşılması için, ilk girişte yağdaki parçacık sayımı yapılmalı, nemi ve viskozitesi kontrol edilmelidir. Aynı şekilde, stokta bekleyen yağlar da düzenli olarak kontrol edilmelidir. Bununla birlikte, yapılan rutin kontrollerle makinelere hatalı yağ eklenmesi, sistemdeki keçe ve sıyrıcıların düzgün çalışmaması ya da aşınması sonucu sisteme su veya pislik girmesi, bakımı yapılan, yeni ya da tamir edilen makinelerin haznelerindeki yağın parçacıktan arınmamış veya kirli olması gibi problemlerin önüne geçilir (Orhan, 2009).

Yağ analizinde yapılan parçacık sayımı ile makinedeki filtre arızaları, aşınma ve sürtünme gibi problemler tespit edilebilir. Eğer metal parçacık sayımı da yapılırsa, tespit edilen parçacıkların kir mi, yoksa keçe parçacıkları ya da aşınma sonucu oluşan metal parçacıkları mı olduklarını kolaylıkla belirlenebilir ve arıza kaynağının çok daha çabuk bir şekilde tespiti sağlanabilir, metalin metale sürtmesinin temel nedeni olan düşük viskozite periyodik olarak izlenebilir, yağın içindeki kesif parçalar ve su miktarı belirlenerek yağın kimyasal değerleri takip edilir ve özelliklerini kaybetmeye başladığı noktada, bir arıza kaynağı tespit edilmişse (filtre arızası, keçe yırtılması, yağa soğutucu karışması vs.) yağ değişimi ve/veya arızanın giderilmesi için planlama yapılarak makine bakıma alınır (Köse, 2005).

İşletmelerde, yağ değişim takvimleri hazırlanırken çoğunlukla göz ardı edilen birçok gizli maliyet bulunmaktadır. İşletmelerin çoğunda, yağ değişim maliyeti, atık yağın uzaklaştırılmasının (ISO 14001 çevre yönetim sistemine göre), yeni yağın ve yağ değişim işçiliğinin maliyetlerinin toplamına eşit olarak alınır, fakat bunlar buzdağının sadece görünen kısmıdır. Bu maliyete ek olarak kullanım ömrü daha dolmamış olan yağın atılmasının, duruş süresinin, üretim kaybının, taşımanın, yağın stok maliyetlerinin de hesaplanması gerekir. Ayrıca yağ değişimi sonrasında yanlış yağ kullanımı, yağ tankını eksik ya da fazla doldurma, tezgâhı

yağsız çalıştırma, yağa pislik bulaşması gibi sorunlar dolayısı ile tezgâhın arıza yapabileceği gerçeği de göz ardı edilmemesi gereken bir risktir.

Yağ değişimi, analizlerde göz önüne alınan testlerinin sonuçlarına bakılarak gerektiği yapılr. Yağ analizi için yüzlerce çeşit test metodu bulunmakla birlikte, temelde iki çeşit analitik analizden bahsedebiliriz. Bunlardan ilki yağın fiziksel özellikleriyle diğeri kirlilik seviyesi ile ilgilidir. Fiziksel özellikler yağın durumunu çok iyi bir şekilde belirtir ve genellikle yağ değişimine karar verilmesinde kullanılır. Sıklıkla kullanılan fiziksel testler, viskozite, TAN ve TBN (yağdaki katkı maddelerinin sayısı) testleridir. Kirlilik seviyesi testleri ise genelde radyatör kaçakları ya da filtre arızalarının bulunmasında kullanılır. En sık kullanılan kirlilik seviyesi testleri yakıt derişimi, parçacık sayısı, yağdaki su miktarı ve metal aşınma analizidir.

Yağları, motor yağları ve hidrolik yağlar olarak ikiye ayırırsak, bu ayrımın sebebi motor yağlarında yanma sonucu kimyasal değişimler olur iken hidrolik yağlarda bu tarz kimyasal değişimler olmamasıdır, motor yağlarında yapılacak yağ analizleri sonucunda, sağlıklı yağ kullanımı ile motor ömrü artar. Ayrıca yapılan analizler sonucunda motor problemleri, çok daha ciddi boyutlara ulaşmadan fark edilebilir. Motoryağı analiz programlarında, temelde şu özelliklere bakılır.

4.5.1. Motor yağı analiz açıklamaları

Viskozite: Bir sıvının akışa karşı iç direncinin ölçüsüdür. Birimi “m²/s” dir. Kabul edilebilir sınır değeri ± %15-20’dir.

En önemli özellik ve analizlerden biridir. Yağın fiziksel durumu için doğrudan referans oluşturur. Viskozite düşüşü yağ filminin dayanıklılığını azaltır ve motorda aşınma hızlanır. Viskozite azalma nedeni; yağ yakıtla karışmış, viskozite için gerekli olan yağın katkı maddeleri yanmış ve de ilave edilen yağın viskozite katkı maddesi motor içinde ki yağdan çok daha düşük olması olabilir.

Genelde uzun süre kullanılmış motor yatakları içinde eskiden var olan büyük oranda kurum ve diğ er atıklar artı motorun yüksek çalışma ısısından veya uzun süreli çalışmasından dolayı oluşmuş oksitli atıklar ve de yağa suyun karışımından dolayı emülsiyonlaşması viskozite yükselmesinin nedenlerinden bir olabilir. Ayrıca yağa ilave edilen yağın motor içinde var olan yağdan daha yüksek viskoziteli olması da bir etkidir. Çalışma sırasında gözlenen bir viskozite artışı, yağın kısmen bozduğ unun belirtisi olabilir. Düşüş ve yükselişlerde düzeltici önlemlerin alınmasını gerektirecek alt-üst viskozite değerleri genellikle deneyimle ve operatörün kararına

göre belirlenir (<http://www.cot.com.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAA6AA849816B2EF212362B84F7B7B76>).

Yağ kondisyon indeksi: Bu test yağın kirlilik oranını belirler. Yağın viskozitesinin sıcaklık değişimlerinden ne kadar etkilendiğini gösteren değer viskozite indeksidir. Yağın 40°C ve 100°C'deki kinematik viskozitelerinden hesaplanır. Bir yağın Viskozite indeksi değeri ne kadar yüksekse, sıcaklık değişimlerinden etkilenmesi o kadar az olur.

Viskozite indeksi 0-40 ölçek arasında değerlendirilir. 8-11 arası değerler yeni yağlar için tipik değerlerdir, 28 ölçeğe kadar olan yağlar kabul edilebilir kullanılmış yağ değerleridir. Daha yüksek değerler yağın kondisyonuyla ilgili problem olduğunu işaret eder (<http://www.cot.com.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAA6AA849816B2EF212362B84F7B7B76>).

TAN (mgKOH/g): Bu değer yağın oksitlenmesinin göstergesidir. Yağ oksitlenmeye başlayınca oksijen iyonları yağdaki karbon ve hidrojenle birleşerek COOH asit kökünü oluşturur. TAN ise 1 gram yağda oluşan bu asidi nötralize etmek için gerekli alkali madde potasyum oksidin (KOH) miligram cinsinden miktarını gösterir. TAN değerinin artması sonucunda metal yüzeylerde sakızlaşma ve reçineleşme başlar, viskozite artar, yağda su da varsa korozyon başlar. TAN değeri kullanılmamış yağlarda genellikle 0,01-2,00 arasında bir değerdedir. Eğer ölçümle bulunan değer, kullanılmamış yağdaki değer 1,0 fazlasına ulaşmışsa bu yağ yeterince oksitlenmiş denilerek kullanılamaz.

TBN (mgHCl/g): Bu sayı yağın korozyona neden olan asitleri absorbe edebilme yeteneğinin ölçüsüdür. Bu noktadan itibaren asitler yağın alkali öğelerini tükettikçe TBN değeri düşmeye başlayacaktır. Yağa yeni yağ eklemek TBN düşüşünü önlemeye yardımcı olur.

Bu değer sadece motor karter yağlarında kullanılır. Motor yağlarında silindir içinde yanma meydana geldiği için segmanlarla kartere inen sızıntılar ve gazlar çok yüksek oranda oksitlenmiş yanma artıkları taşır. Bunlar da yağı hızlı bir şekilde oksitlendirirler. Bunu önlemek için yağa, fazla miktarda alkali madde katılır ki, oksitlenme sürdükçe bu rezervde bulunan alkali maddeler asitlenmeyi nötralize etsinler. TBN bu alkali maddeden geride ne kadar kaldığının ölçüsüdür ve 1 gr yağdaki alkali maddeyi nötralize edecek miktardaki asidin miktarını ölçer.

Tipik motor yağlarının TBN aralığı 5-7 arası değişirken, yüksek kükürtlü yakıt kullanılan gemi makinelerinin yağları 35-40 TBN değerine sahip olabilir. Yüksek TBN, yakıtın asitlere karşı koyma yeteneğinin daha iyi olduğunu gösterir, ancak; diğer özellikler bakımından

yüksek TBN yağın daha iyi olduğunu göstermez. Yağlama yağına toz, toprak, su, yakıt kurumu veya kurşun karışımından ve aşırı sıcaklıkta çalışmadan dolayı viskozitede artış görülebilmektedir. Kullanım süresine de bağlı olarak yağ içerisinde bulunan çeşitli katkı maddelerinin ve yağın temizleyici özelliğinin göstergesi olan TBN değeri azalmaktadır. Ancak TBN değeri sadece yağın kullanım süresi ile orantılı olarak azalmamaktadır. Yağın saklandığı tankın kirliliği bile TBN değerini azaltıcı bir etkidir. Asitli yağ, suyla birlikte oldukça agresif olabilir ve korozyon oluşumuna neden olur. Çoğu motor üreticileri TBN sayımında %50'lik bir azalmayı kabule edilebilir bulur (<http://www.cot.com.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFFAAF6AA849816B2EF212362B84F7B7B76>).

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

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

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

Su/glikol kaçaklarının tespit edilmesi testlerin bir kombinasyonunu gerektirmektedir. Bunlardan birincisi suyun çıtırdaması testidir. Bu çok yüzeysel bir testtir ve bir damla yağın sıcak bir yüzey üzerine damlatılması ile yapılır. Eğer yağ sızıyor veya balon yapıyorsa yapıda su bulunuyor demektir. Suyun içerisindeki yağ içeriği %0,1 'den fazla ise çıtırdama meydana gelir.

Buradaki dezavantaj tespit edilen suyun soğutucunun kirliliğinden kaynaklanacağı gibi yoğunlaşma olayı sonucu da olabileceğidir. Burada bir olasılık daha bulunmaktadır. Yağın

içerisinde soğutucu olsa bile yüksek motor sıcaklıklarında buharlaşmadan ötürü su tespit edilemeyebilir. Bu yüzden bu test dikkatlice yapılmalıdır.

Su miktarı, *Karl Fisher* test aygıtı kullanılarak hassas bir şekilde ölçülebilir. Glikolün tanımlanması için son test, bir kimyasal testtir. Bu test, bir kimyasal solüsyonu içerisinde bulunan yağ örneğinin sallanması ve renginin gözlenmesidir. Bu testte 300 ppm geçilmişse sonuç pozitifdir. Yani yağda glikol bulunmaktadır. Bu seviyedeki bir glikole karşı acil önlem alınmalıdır.

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

Glikol kirliliğinin izlenmesi için bu yöntem kullanıldığında bazı noktalara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bazı yağlarda sodyum ve/veya bor yağın katkı maddelerinin içerisinde kullanılmaktadır. Eğer bu katkı maddeleri kullanılırsa motor yağındaki sodyum ve bor seviyeleri referans alınarak kontrol edilmelidir. Eğer yukarıdaki seviyelerden fazla miktarlar var ise bu glikol kirliliğine katkıda bulunur (Orhan, 2009).

Alevlenme Noktası: Bir petrol ürününün alevlenme noktası (flash point), o ürün için en ufak bir kıvılcımla alev alabilecek hava-yakıt buharı karışımının oluşmasına neden olacak ürün buharının oluşacağı sıcaklıktır. Alevlenme noktaları, güvenlik açısından gerek açıkta, gerekse kapalı kaplarda saklanan, taşınan ve kullanılan sıvı petrol ürünlerinin tâbi olacakları azami sıcaklıkların tanımlanması bakımından çok önemlidir. Bir ürünün ölçülen alevlenme noktasının, o ürünün standart değerinin ciddi ölçüde altında çıkması, o ürüne benzin gibi daha düşük buharlaşma özelliğine sahip bir ürünün karışmış olabileceğinin sağlam bir göstergesidir. Birimi “ °C “ dir. Sınır değerleri olarak; 195 °C ve üzeri normal, 195-185 °C arası tehlikeli, 185 °C ve altı ciddi risk olarak kabul edilir (<http://www.cot.com.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAAF6AA849816B2EF212362B84F7B7B76>).

Akma Noktası: Belli koşullar altında bir yağın akabileceği en düşük sıcaklık. Yağın çalışabileceği en düşük sıcaklıklar hakkında bir fikir verir. Akma noktası çoğu kez yanlış olarak algılandığı gibi, söz konusu yakıt ve yağı kullanan makine veya teçhizatın çalıştırılabileceği en düşük ortam sıcaklığı değildir (<http://www.cot.com.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAAF6AA849816B2EF212362B84F7B7B76>).

Yağ Durum Analizi: Yağ durum analizi, analiz programlarının önemli bir bölümünü oluşturur. Yağdaki bozulmayı izleyerek, parçalarda oluşması muhtemel hasarların önüne geçilmesine yardımcı olur. Kirlenme, sıcaklık ve oksijene maruz kalması, yağın bozulmasına neden olur. Özellikle motor yağı, sülfür, nitrasyon, yanma ürünleri, yüksek sıcaklıklar, yanma sebebi veya yoğunlaşmadan kaynaklanan su nedeniyle bozulabilir. Bu analiz yapılmadan önce, temiz bir yağ örneği analiz edilerek veri bankasına kaydedilmelidir. Böylelikle, analiz edilecek olan kullanılmış yağdaki değişimlerin karşılaştırılabileceği bir numune elde edilir. Yağ durum analizi ile, kullanım sırasında yağın ne kadar bozulduğu ve istenilen kriterlere uygunluk derecesi saptanabilir. Yağ durum analizinde incelenen parametreler ve bu parametrelerin motorda sebep olabileceği arızalar şu şekilde özetlenebilir;

Kurum: Sadece motor yağında bulunur ve tam olarak yanamayan yakıtın çözünemeyen artıklarıdır. Yüksek konsantrasyondaki kurum, birbirine temas eden yüzeylerde yağlanmayı azaltarak aşınmaya neden olur. Ağırlık yüzdesi ile ifade edilir. Çoğu motor üreticisi % 2,5'a kadar olan değeri kabul edilebilir bulur.

Oksidasyon: Oksijenin bir madde ile (örneğin yağ) birleşerek başka bir madde (mesela lak) oluşturmasıdır. Bu prosesin sonucunda, oksidasyon ürünleri oluşur ve genellikle de ısı koşulları altında gerçekleşir. Yağın rengi açık kahverenginin siyaha doğru gittikçe bu onun çözünebilen/çözünmeyen oksidasyon ürünleri ile doyum halini gösterir. Oksidasyonun sebepleri, yetersiz yağ akışı, yağın kullanılmasıyla oluşan normal birikme, yüksek yağ ve su sıcaklığı ve motordaki bölgesel sıcak noktalardır. Oksidasyon yağı kalınlaştırarak asit oluşumuna sebep olur, yağlama kalitesini azaltır ve motorun ömrünü kısaltır.

Nitrasyon Ürünleri: Nitrasyon ürünleri bütün motor yağlarında ortaya çıkar. Yanma ürünlerinden gelen nitrasyon bileşikler yağı incelterek yağlama yeteneğini azaltır.

Sülfür (Kükürt) Ürünleri/Asitler: Sülfür (Kükürt) yakıtta bulunur ve tüm motoru etkiler. Yanma sırasında yakıttaki sülfür oksitlenir ve suyla karışması sonucu sülfürik asit meydana gelir. Asit bütün motor parçalarını aşındırır.

Antifriz: Antifriz, yağın hızla oksitlenmesine neden olur ve genellikle soğutma sistemindeki bir kaçağı işaret eder. Yağda antifrizin en az miktarı bile kabul edilemez.

Su: Miktarı ne olursa olsun, suyun varlığı anormal olarak değerlendirilir. Aşınma, çamur ve emülsiyon birikintilerine neden olur. Su soğutma sisteminden, düşük çalışma sıcaklığından, krank yatağının iyi havalanmamasından, sistemin sık sık kapatılmasından kaynaklanabilir.

Birim olarak “%” veya “ppm” kullanılır. Yağ içinde % 0,2 (2000 ppm) ‘den fazla suya müsaade edilmemelidir.

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

Seyrelmenin esas nedenleri arızalı yakıt püskürtme sistemi, arızalı veya boğulmuş hava girişi, çok düşük çalışma sıcaklıklarından kaynaklanan kötü yanma, ayarsız supaplar veya yetersiz sıkıştırma. Kullanılmış motor yağının seyrelmesi gaz kromatografisi (GC) veya Fourier transform kızılötesi spektroskopi (FTIR) kullanılarak ölçülebilir. En yaygın teknik belirli bir sıcaklıkta yağın parlama noktasının ölçülmesidir. Parlama noktası tespit edildiğinde seyrelme miktarı yüksektir (%4 ‘den fazla), eğer değilse seyrelme makul seviyedir (%4 ‘den az) (<http://www.cot.com.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFA6AA849816B2EF212362B84F7B7B76>).

4.5.2. Akışkanları ayırt etmede kullanılan fiziksel testler

Akışkanları ayırt etmede kullanılan yüzlerce farklı test türü vardır. Ancak bunlardan bir kısmı üretici ve satıcılar tarafından hem ekonomikliği hem de daha doğru sonuç vermesi ve kullanışlı olması dolayısı ile tercih edilir.

4.5.2.1. Görsel ve fiziksel testler

Görünüm: Yapılabilecek en kolay testlerdendir. Yağın kirliliği ve durumu ile ilgili birçok ipucu içerir. Bununla birlikte, sonuçları sübjektiftir, temizken koyu olan yağlarda sonuç vermesi çok zordur, kirlilik seviyesini ve yağdaki parçacıkların cinsini veremez.

Koku: Genellikle yağların çok ayırt edici bir kokuları yoktur. Yağda fark edilecek normal dışı kokular yağın bozulmaya başladığının göstergesidir. Bu metodun sonuçları da sübjektiftir ve testi yapanın koku duyusunun gücünden etkilenir. Ayrıca kapalı tanklar ve saklama kapları ilk açıldıklarında, içeride biriken buharın oluşturduğu güçlü koku test edeni yanıltabilir.

Viskozite (Düsen kütle testi): Yağ analizlerinde yapılan en önemli testlerden birisidir. Testte viskozitesi bilinen bir yağ ile test edilecek yağ özdeş kaplara konularak içlerine bir kütle atılır ve kütlelerin düşüşü gözlemlenir. Kütlelerin arasındaki mesafe, viskozitenin hesaplamasında kullanılır. Bu test genelde %1 yanılma payı ile sonuç verir.

Kurutma Kağıdı Testi: Karter yağlarındaki çamur oluşumunu tespit etmek için kullanılan bir testtir.

Su İçerme (Çatlama testi): Yağda bulunan küçük miktardaki su ($\sim 0,1\%$) yağ içerisinde kendini pek belli etmez fakat 120-125 °C'deki sıcak bir yüzeye damlatılırsa, çatlama benzeri bir ses çıkararak hızla buharlaşır. Oldukça sübjektif olan bu test yağdaki su miktarını tam olarak belirtmez.

Parçacık Sayımı (Benek Testi): Benek testi, parçacık sayımında kullanılan en basit testlerden biridir. Yaklaşık 100 ml hacmindeki yağ, standart boydaki bir filtre kâğıdından geçirilir. Kâğıt kurutularak, oluşan benek, parçacık seviyeleri bilinen resimler ile karşılaştırılır. Bu test sonucunda, yağdaki parçacık boyutu ortaya çıkar ancak kompozisyonu tam olarak belirlenemez.

4.5.2.2. Metal aşınma analizi

Metal Aşınma Analizi (Atomik Soğurma Yöntemi): Bu metotta, yağ örneği yüksek sıcaklıkta yakılarak metal parçaların ne kadar enerji soğurduğunu bulunur. Analiz edilen her metal için örnek, kalibreli cihazdan tekrar geçirilir. Bu metotta analiz edilen metal basına doğruluk oranı çok yüksektir ancak çok zaman alır.

Metal Aşınma Analizi (Emisyon Spektrometresi Yöntemi): Bu metotta da yağ örneği yüksek sıcaklıkta yakılır ancak bu kez cihaz ısınım seviyelerini ölçer. 18 farklı aşınma parçası için ölçüm yapılabilir. Analiz süresi kısadır ve ppm mertebesinde doğru sonuçlar verir (<http://www.lubes-n-filters.com/synthetics/oil-analysis/oil-analysis3.html>).

Yağ analizi yapanlar için yağda bulunan parçacıkların boyutları, yüzey alanları, sertlikleri, yoğunlukları, şekilleri, kompozisyonları, kutupsallıkları ve manyetik etkilenebilirlikleri son derece önemlidir. Doğru ölçü, yapı ve sertlikteki parça, zamanını bekleyen potansiyel bir tehlikedir. Bu özellikteki iki parça, riski doğru orantılı olarak artırır. Aslında, yüzeyden kaldırılan metal miktarı, bu metali kaldıran parçacığın kütlesinin 4-10 katı kadar olabilir. Filtre edilmeyen banyo ve sıçrama tarzı yağlama sistemi kullanan makinelerde risk çok daha fazladır. Ayrıca, bu parçacıkların yeni parçacıklar unutulmamalıdır. Bu sebeple parçacık sayısının kontrol altında tutulması makine güvenilirliğinin sağlanmasında oldukça yararlı bir stratejidir (http://www.practicingoilanalysis.com/article_detail.asp?articleid=78).

Analizi yapılacak örneklerin alındıkları zaman, örnekleme periyodu, örnekleme yerleri, alınma teknikleri ve dokümantasyonu oldukça önemlidir. Yağ analizi için örnekler genelde ya tezgâh çalışırken, ya da kapatıldıktan hemen sonra alınır. Bu sayede yağ içinde taşınan aşınmış

parçalar ile kirler çökmemiş ve yağa karışmış su ile soğutma sıvısı yağdan ayrılmamış olur (<http://www.lubes-n-filters.com/synthetics/oil-analysis/oil-analysis3.html>).

Temelde, yağ analiz periyotlarının belirlenmesinde 3 temel teknik vardır. Bunlar; problem oluşunca örnekleme, kontrol için rasgele örnekleme ve trend analizi için örnekleme. Bu metotların tamamı kullanılıyor olsa da genel eğilim maliyet üzerine olduğundan problem oluşunca örnekleme daha sık tercih edilen metottur (<http://www.lubes-n-filters.com/synthetics/oil-analysis/oil-analysis3.html>).

Örnek alma teknikleri de yağ analizi sonuçlarını çok büyük oranda etkiler. Bu nedenle yağ örneği alırken kullanacağımız teknik, örnek şişesinin içine en fazla miktarda bilgiyi alırken, analiz sonuçlarını etkileyecek çevresel etkileri mümkün oldukça dışarıda tutmalıdır. Özellikle maden bölgeleri, şantiyeler, dökümhaneler, rüzgârlı sahalar ve yere yakın örnek alma noktaları gibi yüksek riskli yerlerden alınan örneklerin tozla kirlenmemiş olduğundan emin olunmalı, gerekirse birden fazla örnek alınmalıdır.

4.5.2.3. Yağ analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Yağ analizinin temel amacı ekipmanın ve ekipmanda kullanılan yağın durumu hakkında bilgi edinmektir. Bu bilgiler beklenmedik arızaların önlenmesinde, yağ değişim zamanlarının ve makine ömrünün uzatılmasında kullanılır.

Bazı durumlarda analitik veriler problemi açıkça gösterir. Örnek olarak, yüksek düzeydeki su, bor ve/veya sodyum, antifriz kaynaklı bir kaçak olduğunun göstergesidir, fakat birçok durumda veriler kesin bir sonuca varmayı sağlamaz.

Bu tip durumlarda daha sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek için o an alınan örnek ile önceki örnekler karşılaştırılır. Yağ analizinde göz ardı edilmemesi gereken önemli bir nokta vardır, her makine kendi şartlarına göre aşınma miktarı gösterecektir, bu sebeple aynı şartlarda çalışan makinelerde farklı sonuçlar görülebilir. Karşılaştırma yapılırken mümkün oldukça aynı tezgâhın önceki ölçümleri kullanılmalı, benzer şartlarda çalışan makinelerin ölçümleri sadece zorunlu kalındığında bir fikir vermesi için kullanılmalıdır.

Sonuçların güvenilirliğini arttırabilmek adına veriler, benzer uygulamalardan alınan örneklerin verileri ile karşılaştırılabilir. Karşılaştırma, tezgâh tiplerine, çevre ve iklim koşullarına veya kullanım şartlarına göre yapılabilir.

Analizlerin tümünde olduğu gibi deneyim, yorumlamada doğruluğu arttırmadaki en önemli etmendir. Analizi yapacak kişinin deneyimi ne kadar fazla ise, sonuçların doğruluğu o kadar yüksek olacaktır (Denli, 2007).

Motor Yağı: Motor yağının özelliğini kaybetmeye başladığını gösteren en temel gösterge viskozite artışıdır. Bu artışın en önemli sebepleri, yağ içerisinde bulunan daha hafif bazdaki yağ parçacıklarının buharlaşması ve bozulmaya başlayan ürünlerin yağ içinde kimyasal olarak birleşerek uzun polimer zincirleri oluşturmasıdır. Motor yağları için viskozitedeki %25'lik bir artış, yağın ömrünü tamamlamaya başladığının en temel göstergesidir. Motor yağı çalıştıkça viskozitesi yavaşça artar. Ancak viskozitede bir düşüş görülürse yağa yakıt karışmış olabileceğinden şüphelenilmelidir.

Birçok motor yağına yağlamayı arttırıcı, Oksidasyon ve korozyonu yavaşlatıcı ve çamurlaşmayı engelleyici ajanlar katılır. Kritik ajanların seviyesi, yağın korozyonu önlemeye devam etme yeteneğini ölçen toplam baz sayısı (TBN) gözlemlenerek belirlenebilir. TBN'deki düşüş, ajanların bozulmaya başladığının göstergesidir. Genellikle TBN'de %50'lik bir düşüş gözlemlendiğinde yağ değişimi yapılır. Her yağdaki katkı miktarı farklı olduğundan ajan miktarı da farklıdır, bu sebeple yağın temizken ki TBN değeri bilinmelidir. Bu değer malzeme bilgi formundan alınabileceği gibi spektrografik metal analizi ile de belirlenebilir.

Normal metal analizinde birçok yağda ortak olarak bulunan ajanlardan çinko, fosfor, kalsiyum ve baryum miktarına ppm olarak bakılır. Ppm'deki %50'lik bir düşüş yine değişimin gerekliliğini gösterir.

En önemli motor yağı kirleticilerinin başında su ve soğutucu gelir. Bunlar, yağın yağlama kabiliyetini azaltır, korozyona ve çamurlaşmaya sebep olur. Yüksek sıcaklıklarda su buharlaştığı için bazen sadece yağdaki su miktarına bakmak, gerçek sonucu bize vermez, zira %0,05'in altındaki değerler testlerde genellikle görülemez. Bu yüzden yağdaki kirlilik analizi yapılırken glikol varlığına ya da bor veya sodyum seviyesi spektrografisine bakılmalıdır. Yağların bazıları bor ve sodyum ajanlar içerdiklerinden spektrografik değerlerindeki belirgin bir değişim, soğutucu kaçacağını gösterecektir.

Toz ve pislikler motor yağlarının en genel kirleticileridir ve yüksek miktarları motor aşınmalarına neden olur. En kolay tespit metotları spektrokimyasal analizdeki silikon oranına ve başlangıçtaki değerine göre değişimine bakmaktır. Kirlilik seviyesi, motor tipine ve çalışma yerlerine göre değişmekle birlikte, eğer çok büyük veya hızlı bir değişim varsa yağ deposu kapağının açık olmasından ya da filtrelerin is görmediğinden şüphelenilebilir (Denli, 2007).

4.6. Partikül Analizi

4.6.1. Aşınma miktarı analizi

Aşınmış metal parçalarının analizi hangi motor parçasının arızalandığı konusunda bilgi verir. Birçok testte, 10 mikron büyüklüğe kadar olan bakır, demir, krom, kurşun, alüminyum, molibden, sodyum vb. elementlerinin varlığı araştırılır. Yağ içindeki elementlere bakılarak motor elemanlarındaki aşınmalar tespit edilir. Çizelge 4.2.'de yağ içinde oluşan metallerin geldiği yerler görülmektedir.

Çizelge 4.2. Yağ içinde oluşan metallerin geldiği yerler (<http://www.cot.com.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EF212362B84F7B7B76>).

Metal	Geldiği yer
Bor (B)	Radyatör suyu, biyosid içeren yakıtlar
Sodyum (Na)	Deniz suyu (deniz araçlarında), toz, radyatör suyu
Silisyum (Si)	Kum, toz, kir, glikol katkıları
Baryum (Ba)	Yağ katkıları, dizel katkıları
Alüminyum (Al)	Piston, yatak, burç yatak, gömlek, kir, toz vs.
Krom (Cr)	Segman, Gömlek, itici, eksantrik mili radyatör suyu
Bakır (Cu)	Yatak, burç, bakır macunu
Demir (Fe)	Değişik motor parçaları
Kurşun (Pb)	Yatak
Kalay (Sn)	Yatak, kalaylı pistonlar
Molibden (Mo)	Gömlek, segman
Nikel (Ni)	Eksantrik mili
Titanyum (Ti)	Lastik contalar
Gümüş (Ag)	Yataklar

Bazı metaller yağ içinde partikül olarak değil de çözülmüş olarak bulundukları zaman bunların ayrıştırılması çok zordur. Çok büyük oranlarda olmadıkları sürece zararlı değildir.

Çizelge 4.3.'te yağ içindeki bazı yabancı element ve maddelerin sınır değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.3. Yağ içindeki bazı yabancı maddelerin sınır değerleri (<http://www.cot.com.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EF212362B84F7B7B76>).

METAL	Normal	Uyarı	Ciddi
Demir (Fe)	0-75 ppm	75-100 ppm	>100 ppm
Bakır (Cu)	0-40 ppm	40-50 ppm	> 50 ppm
Kurşun (Pb)	0-20 ppm	20-30 ppm	> 30 ppm
Kalay (Sn)	0-10 ppm	10-15 ppm	> 15 ppm
Alüminyum (Al)	0-12 ppm	12-20 ppm	> 20 ppm
Krom (Cr)	0-5 ppm	5-15 ppm	> 15 ppm
Silisyum (Si)	0-20 ppm	20-40 ppm	> 40 ppm
Sodyum (Na)	0-20 ppm	20-35 ppm	> 35 ppm
Kurum	% 0-2	% 2-3	> % 3
Yakıt	% 0-2	% 2-4,5	> %4,5
Yanma Noktası	>195 °C	195 °C -185 °C	<185 °C

4.6.2. Aşınma tipleri

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

- Adhezyon aşınması; Temas eden pürüz uçlarında birinden diğerine metal transferi.
- Kazıma aşınması; Şekil değiştirme ve sürtünmeye dayalı ısınmalar sert tabaka veya "beyaz tabaka" adı verilen sıcak lekeleri oluşturur. Mikroyapısı 1000 Vickers sertlik derecesi üzerindedir.
- Abrazyon aşınması; Sert bir partikül ile yumuşak bir yüzey üzerinde tıpkı tarlada saban sürülmesi şeklinde oluşan çizgisel aşınma.
- Korozyon aşınması; Mekanik hareket sonucu korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu kimyasal değişim.
- Yorulma aşınması (örnek: Pitting); Yüksek gerilim değişimlerinden dolayı oluşan yorulma nedeniyle yırtılan parçaların soyulması ve kopmasıdır.

4.6.2.1. Adhezyon aşınması

Özellikle birbiriyle kayma sürtünmesi yapan, metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Kayma şartları altında her iki yüzeyin pürüz uçları temas eder, yapışır ve normal ve teğetsel kuvvetler altında plastik deformasyona uğrar. Bu şartta adhezyon aşınması meydana gelir. Normal yük altında mikro pürüzlerin kaynaması ve kırılması sonucu bir yüzeyden diğerine metal transferi oluşur. Temas eden pürüz uçlarında basınç oldukça yüksektir; sürtünme sıcaklığı artarak kaynama ve kopma ile birlikte yüzeyde plastik şekil değiştirme meydana gelir. Aşınmanın azalması pürüz uçlarının sertliğine bağlıdır. Bu uçlar ne kadar sert ise temas alanı o kadar düşüktür (Kaleli, 2008). Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de adhezyon aşınmasının şematik gösterimi, Şekil 4.3.’te adhezyon aşınmasına uğramış bir yüzeyin yakınlaştırılmış görüntüsü görülmektedir. Sürtünme sonucu oluşan aşınma hacmi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.

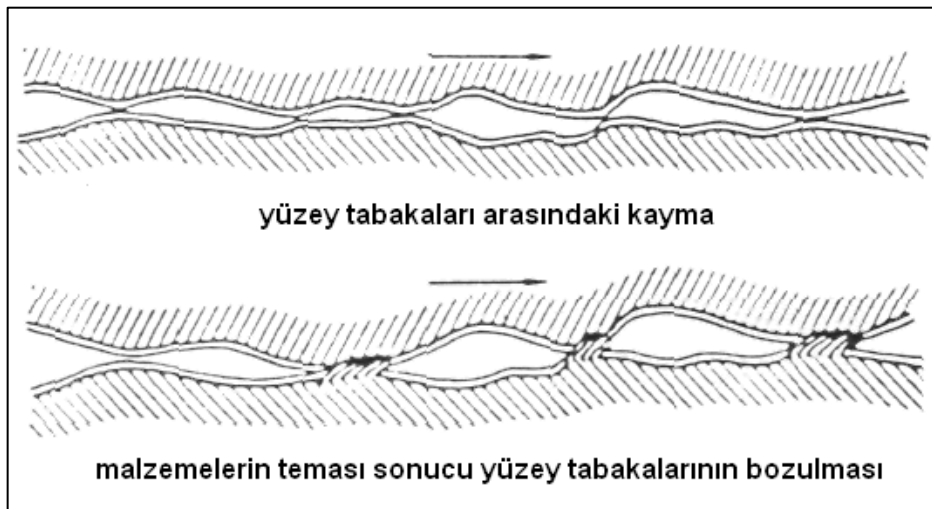
$$\text{Aşınma Hacmi} = K.S.F / \tau$$

K: Aşınma Sabiti (Kullanılan malzemeye ve aşınma şartlarına göre değişmekte olup, 10^{-2} ile 10^{-9} arasında yer alır)

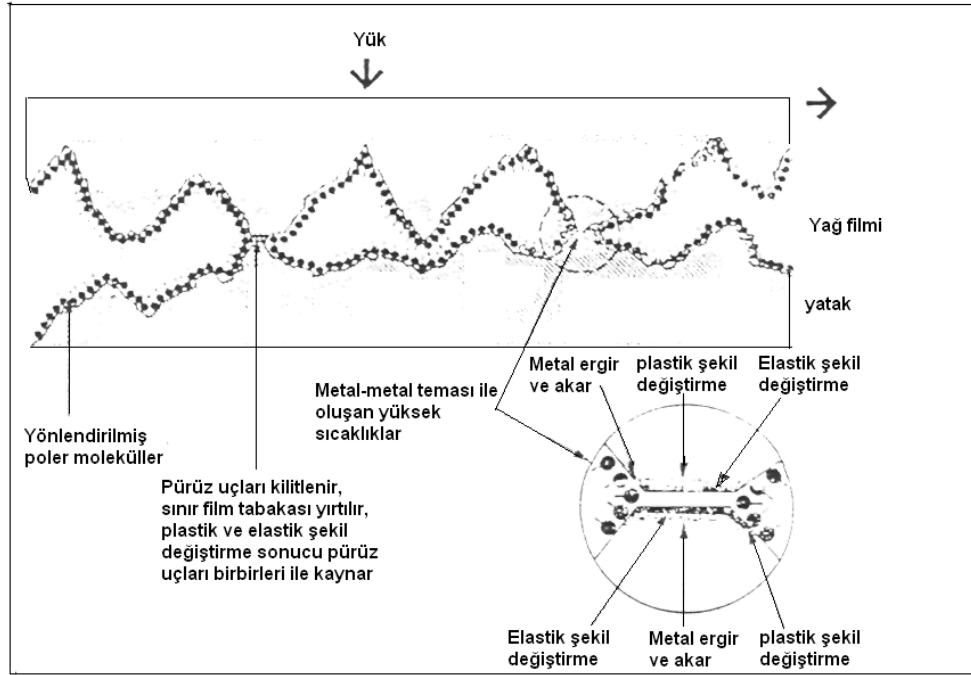
S: Kayma Mesafesi

F: Uygulanan Kuvvet

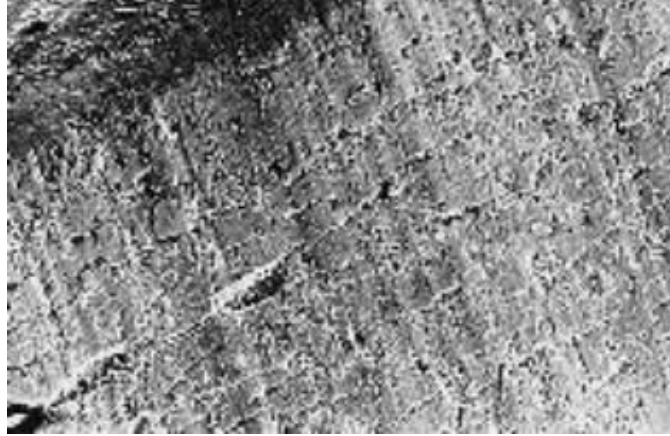
τ : Kayma Gerilmesi



Şekil 4.1. Basite indirgenmiş adhezyon aşınması şeması.



Şekil 4.2. Sınır yağlamada adhezyon aşınması.



Şekil 4.3. Adhezyon aşınmasına uğramış bir yüzeyin yakınlaştırılmış görüntüsü.

4.6.2.2. Kazıma aşınması

Yapılan incelemeler "kazıma aşınması" adhezyon aşınmasının bir uzantısı olduğunu göstermektedir. Segman ve silindirlerde meydana gelen "kazıma aşınması", adhezyon aşınmasını takiben içten yanmalı motorlarda gaz kaçağının meydana gelmesi ve yağ harcanmasına sebep olur. Bu tip aşınma tıpkı tıbbi alanda bir virüsün bulaşması gibidir. Aşınma tiplerinden en zarar verici olan "kazıma aşınması" felaket derecede motor hasarına sebep olabilmektedir. Bu tip aşınmanın tanımı ise "Birbiri ile kayan yüzeyler arasında yağ filminin

bozulması (yağ açlığı) ve metal metale temas önderliğinde, yerel kaynamaların oluşumuna bağlı olarak belirlenen büyük bir yüzey hasarıdır". Aşınma ilerledikçe yüzeylerdeki derinlik, genişlik ve uzunluklardaki artış yağ tutma özelliğini kaybettirmektedir. Dökme demir malzemesinin kullanılması durumunda yapılan incelemeler yerel yüksek sıcaklık şartları altında yüzeylerde yüksek karbon miktarına sahip olan sert beyaz faz tabakası (white layer) olduğunu göstermiştir. Bu sert karbon tabakası yüksek aşınma oranlarını sağlamaktadır. Bu tabakanın çatlaması pürüzlü bir yüzey topoğrafyası meydana getirir ki bu da yüzeyin sızdırmazlık kabiliyetinin kaybına sebep olur. Yanma odasından kaçan gazlar yağlayıcıyı yüzeyden uzaklaştır ve mevcut durumu daha da kötüye götürür (Kaleli, 2008).

4.6.2.3. Abrasyon aşınması

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

$$\text{Şiddet Derecesi} = W/H_v$$

W : Partikül üzerine gelen yük

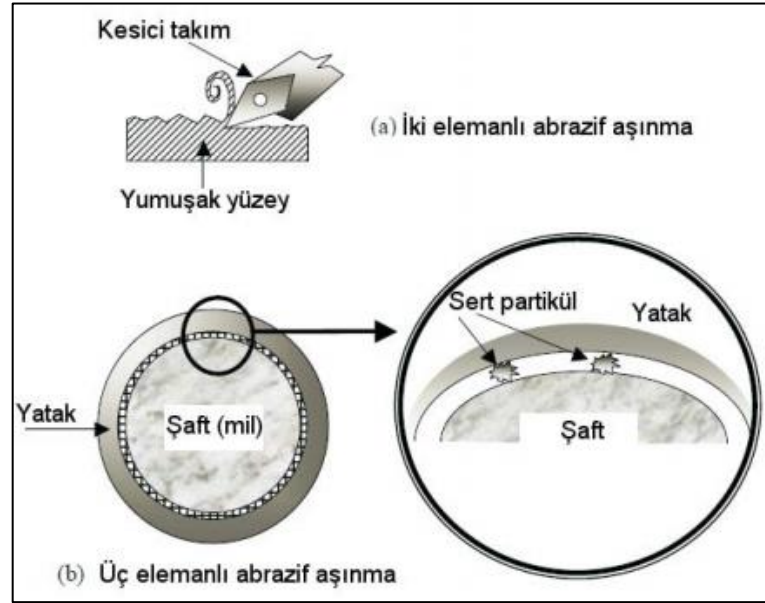
H_v : Yüzey sertliği

Aşınma Hacmi : $(W/H_v) \cdot A \cdot L$

A : Yarığın kesit alanı

L: Yarık uzunluğu

İçten Yanmalı Motorlarda, bilhassa segman ve silindir cidarlarında oluşan en genel aşınma tipi abrazyon aşınmasıdır. Aşınma gerek malzeme sürtünmesinden gerekse yanma sonucu yağ filmine karışan katı partiküllerden dolayı meydana gelmektedir. Abrazyon miktarı segman yüzeylerinde ve silindir üst ölü nokta civarında oldukça yüksek mertebededir. Aşınma ile birlikte orijinal yüzey işleme kaybolmaya başlayıp grafit yapı oluşur (Kaleli, 2008). Şekil 4.3.'te abrazyon aşınmasının oluşum şekilleri, Şekil 4.4.'te abrazyon aşınmasına uğramış makine parçaları görülmektedir.



Şekil 4.4. Abrazyon aşınması oluşum şekilleri.



Şekil 4.5. Abrazyon aşınmasına uğramış makine parçaları.

4.6.2.4. Korozyon aşınması

Bu tip aşınma atmosferdeki hava, nem, CO_2 ile reaksiyona girebilen ürünlerin kimyasal etkisi, yağlayıcının oksidasyonu veya hal değiştirmesi sonucu meydana gelir. Hal değişimi ile birlikte organik asitler oluşur. Şekil 4.6'da dizel bir motordaki korozyon aşınması görülmektedir.



Şekil 4.6. Bir MAN dizel motorunda korozyon aşınması.

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

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

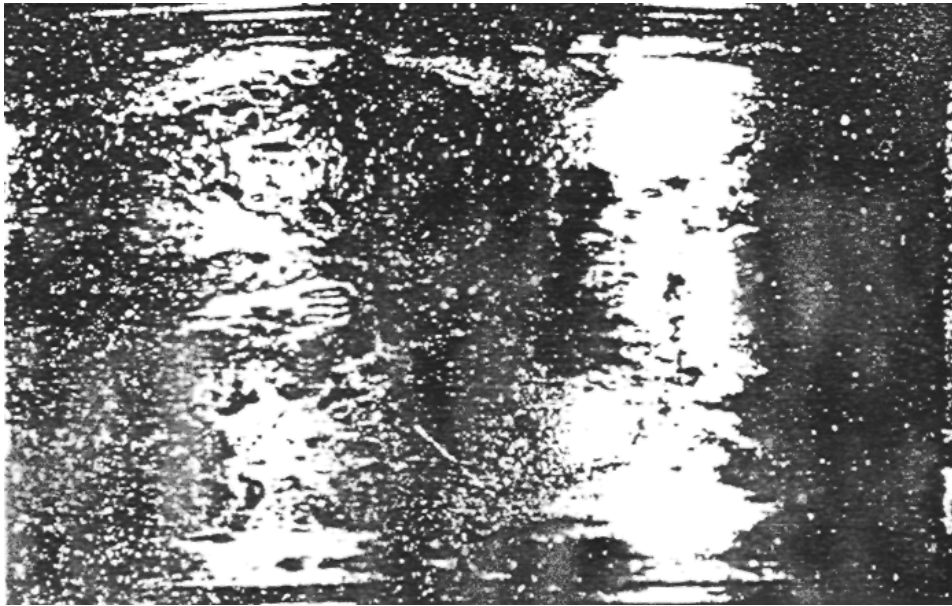
Birçok durumda korozyon ürünleri ayrıldıkları yüzeylerden daha serttir ve oluşturdukları film tabakası incelinceye kadar aşınmaya karşı dayanıklılık gösterir. Kritik kalınlığa erişildiği takdirde sürtünme kuvvetinden dolayı yüzeyden ayırma işlemi devam eder ve proses tekrar edilir.

Bazı durumlarda ise korozyon ile oluşan film tabakası düşük kesme kuvveti olan yumuşak yapıdaki (metal klorid, sülfid ve fosfat) malzemeleri içerir. Bu ürünler sınır yağlama

için uygun olup, düşük aşınma oranları gösterirler. Bu tip yumuşak korozif aşınması aşırı basınç katık kullanılan yağlamadan sonra gerçekleşmektedir (Kaleli, 2008).

4.6.2.5. Yorulma aşınması

Yüksek gerilimden dolayı yorulma sınırında kayma ve yuvarlanma hareketi sonucu genelde gevşek partiküllerin yüzeyden ayrılmasıdır. Bu tip aşınma bilyalı yataklarda, düz yataklarda ve dişlilerde meydana gelir. Hasar yüzeyde ve yüzey altında "Pitting" i oluşturur. Şekil 4.7.'de kaymalı bir yatakta meydana gelen yüzey yorulması görülmektedir.



Şekil 4.7. Kaymalı bir yatakta meydana gelen yüzey yorulması.

-Yorulma aşınmasına bağlı Pitting"teşekkülü: Birbirine göre yuvarlanan, kayan ve yuvarlanan elemanlar, yüksek basınç teması altında yükün birçok defa tekrarı suretiyle yüzeyler üzerinde adeta pul pul meydana gelen kabuklara veya bunların soyulması ile deliklerin oluşmasına neden olur. "Pitting", temas gerilimleri ile oluşan metal yorulmasıdır. "Pitting" teşekkülüne etki eden faktörler temas gerilimi, malzeme özellikleri ve yağ filmini de içine alan temas yüzeylerdeki kimyasal ve fiziksel karakteristiklerdir. Temas yüzeyinde ve altında oluşan gerilimlerin dağılımı ve büyüklüğü Hertz tarafından tasvir edilmiştir. Yuvarlanma-temas yorulmasındaki ana gerilim kaynağı, yuvarlanma yönünün ters istikametindeki kesme gerilimleridir. Yuvarlanma esnasındaki kesme gerilimleri düz satıhın hemen alt yüzeyinde meydana gelmekte ve burada yorulmaya bağlı çatlaklara neden olabilmektedir. Bu çatlaklar

tekrar edilen yüklerde ilerlemekte, yüzeye erişmek suretiyle tıpkı pulların soyulması gibi küçük delikler veya "Pitting"i oluşturmaktadır.

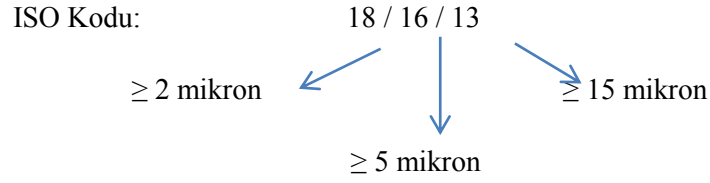
-Korozyona bağlı Pitting"teşekkülü: Metaller üzerinde meydana gelen "Pitting" yüzey üzerinde oluşan keskin çukurların ürettiği yerel korozyondur. "Pitting", yüzey üzerinde metal ile temasta olan korozyon yapıcı maddenin yerel hareketi ve metal yüzeyinin anod kutbunu oluşturması ile meydana gelir. "Pitting", korozyonun en beklenmedik şekliyle oluşan kısmıdır. Metal üzerinde küçük ağırlık kayıplarını üretmesi ile arızayı meydana getirebilir. "Pitting" in bazen laboratuvar testlerinde ve hizmet esnasında teşhis edilmesi zordur; zira çukurların gözle görülür bir boyuta gelebilmesi için korozyon yapıcıya ve metale bağlı olarak aylar veya yıllar alabilir. Korozyona bağlı olarak "Piting" in meydana geliş sebepleri arasında metal yüzeyinin homojen olmayan durumu, koruyucu oksit tabakasının kimyasal veya mekaniksel olarak çatlaması, katı bir partikül altında metal iyonunun veya oksijen konsantrasyonunun oluşumu sayılabilir. Ayrıca "Pitting" oranının artması solüsyondaki korozyon yapıcı maddenin şiddeti ve elektriksel iletkenliğidir. Verilen herhangi bir metaldeki "Pitting" olasılığı bazı spesifik iyonlardaki artışla hızlanmaktadır. Oksitleyici solüsyonlara örnek olarak hipokloritler, kromatlar, nitratlar ve sülfür bileşikler sayılabilir (ASM Handbook Committee).

4.7. Akışkan Temizlik Standartları

Akışkan kirlilik seviyesinin bilinmesi ancak bunun ölçülebilmesi ile mümkündür. Kirlilik ölçümü akışkan içinde mevcut parçacık sayımı şeklinde gerçekleştirilmektedir. Çok hassas olarak imal edilmiş optik ekipmanlarla, değişik hacimler içerisindeki partiküllerin sayısı tespit edilmektedir. Bu sayılar raporlanmakta ve belirlenmiş hacim miktarı içerisindeki partiküllerin büyüklüklerine göre sınıflandırılmaktadır. Belirtilen problemleri bulmak veya düzeltmek amacı ile bir kirlilik referans cetveli kullanımına ihtiyaç vardır.

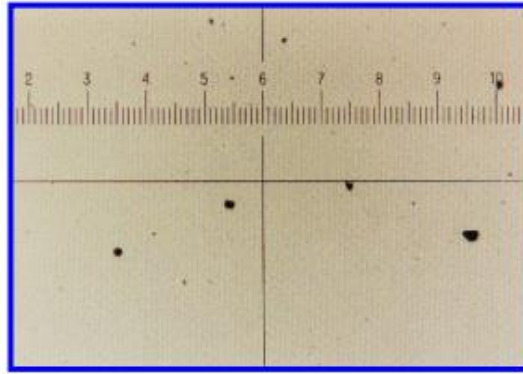
4.7.1. ISO 4406 Standardı

ISO 4406 (International Standards Organization) temizlik seviyesi standartları tüm endüstride yaygın olarak kabul görmüştür. Geniş bir kullanım alanına sahip olan standartların değişik versiyonları olup, genellikle 1 mililitrelik veya 100 mililitrelik bilinen bir hacim içerisindeki 2, 5 ve 15 mikrondan büyük partiküllerin sayısını referans almaktadır. Şekil 4.8.'de örnek bir ISO kodlaması görülmektedir. 2+ ve 5+ mikron ölçüsündeki partiküllerin sayısı, silt partiküller için referans noktası olarak kullanılmaktadır. 15 + mikrondan büyük partiküllerin sayısı ise komponentler üzerindeki yıkıcı etkinin olma ihtimalini referans olarak vermektedir (http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/70f242d4bc85198_ek.pdf).

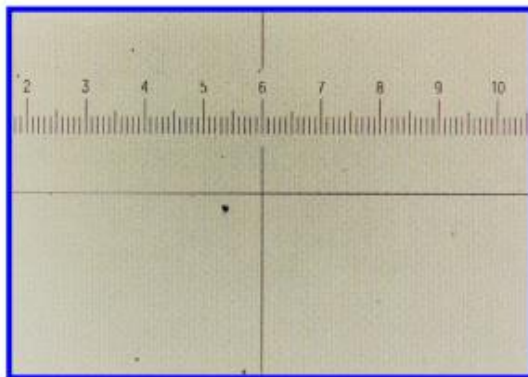


Şekil 4.8. Örnek bir ISO kodlama sistemi.

Şekil 4.9. ve Şekil 4.P10.'da iki farklı ISO değerine sahip numunenin mikroskop altındaki görüntüleri yer almaktadır (<http://www.mmo.org.tr/resimler/dosyaekler/70f242d4bc85198ek.pdf>).



Şekil 4.9. ISO 18/16/13 (Büyütme x 100).



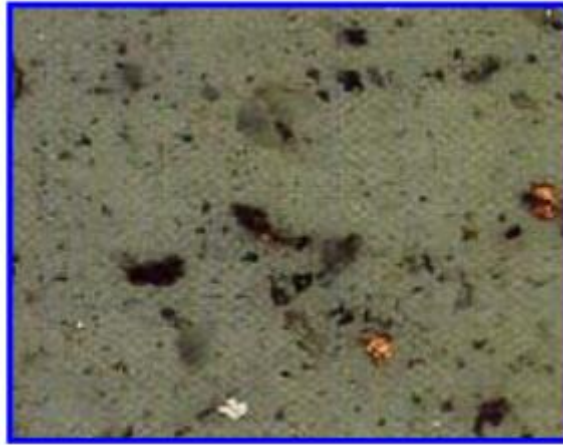
Şekil 4.10. ISO 14/12/09 (Büyütme x 100).

Çizelge 4.4.'te standardın nasıl tanımlandığı açıklanmıştır (http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/70f242d4bc85198_ek.pdf).

Çizelge 4.4. ISO Kodlama sistemi örnekleme.

ISO Sayısı	Mikron	Aktüel Partikül Sayısı / ml
18	2+	1300 - 2500
16	5+	320 - 640
13	15+	40 - 80

Şekil 4.11.'de ISO 21/19/17 sınıfına ait bir akışkanın mikroskop altındaki görüntüsü yer almaktadır (http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/70f242d4bc85198_ek.pdf).



Şekil 4.11. ISO 21/19/17 Akışkan (Büyütme x 100).

ISO 4406 tablosu kirlilik seviyesinin hızlı ve kolay anlaşılmasını sağlamak amacı ile düzenlenmiştir. Her bir sınıf numarası bir önceki sınıfın iki katını oluşturur.

Örnek olarak;

Sınıf 19 = 2,500 ile 5,000 / ml

Sınıf 20 = 5,000 ile 10,000 / ml

Çizelge 4.5.'te ISO sıralaması ve bu sıralama ile ifade edilen 1 ml'deki parçacık sayısı belirtilmektedir (<http://www.precisionfiltration.com/products/iso-4406-cleanliness-code.asp>).

Çizelge 4.5. ISO 4406:1999 Tablosu.

Sıralama Numarası	1 mililitre içindeki partikül sayısı	
	'den fazla	'e kadar / dahil
24	80.000	160.000
23	40.000	80.000
22	20.000	40.000
21	10.000	20.000
20	5.000	10.000
19	2.500	5.000
18	1.300	2.500
17	640	1.300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2,5	5
8	1,3	2,5
7	0,64	1,3
6	0,32	0,64

ISO temizlik sıralaması her üç kirlilik grubu;

1. ≥ 2 mikron

2. ≥ 5 mikron

3. ≥ 15 mikron

için verilmelidir. Çizelge 4.6.'da ISO temizlik standardı, NAS ve SAE standartları ile karşılaştırılmaktadır (http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/65c97e2bd1eecbc_ek.pdf).

Çizelge 4.6. Temizlik seviyesi korelasyon tablosu.

ISO Kodu	Partikül/mililitre			NAS 1638 (1964)	SAE Seviyesi (1963)
	≥ 2 mikron	≥ 5 mikron	≥ 15 mikron		
23/21/18	80.000	20.000	2.500	12	-
22/20/18	40.000	10.000	2.500	-	-
22/20/17	40.000	10.000	1.300	11	-
22/20/16	40.000	10.000	640	-	-
21/19/16	20.000	5.000	640	10	-
20/18/15	10.000	2.500	320	9	6
19/17/14	5.000	1.300	160	8	5
18/16/13	2.500	640	80	7	4
17/15/12	1.300	320	40	6	3
16/14/12	640	160	40	-	-
16/14/11	640	160	20	5	2
15/13/10	320	80	10	4	1
14/12/9	160	40	5	3	0
13/11/8	80	20	2,5	2	-
12/10/8	40	10	2,5	-	-
12/10/7	40	10	1,3	1	-
12/10/7	40	10	0,64	-	-

4.7.2. NAS 1638 Standardı

ABD Ulusal Havacılık Standardı (National Aerospace Standard) olan NAS sistemi 5-15µ, 15-25µ, 25-50µ, 50-100µ ve >100µ büyüklük aralıklarına giren parçacıkların sayımını yapar. NAS standardı 2001 yılında resmi olarak uygulamadan kalkmış olmakla birlikte (yerine APC 4059 standardı geçmiştir) kompone kirlilik düzeyinin belirlenmesi için hala kullanılmaktadır (<http://www.ismakinalari.org.tr/tr/article.asp?id=182>).

NAS sistemi aslında içinde kirlilik içeren uçak komponentleri için kirlilik sınıflarının tanımlanması amacıyla 1964 yılında geliştirilmiştir. Bu standardın uygulamaları endüstriyel hidrolik sistemler için genişletilmiştir çünkü o dönemde bu sistemler için başka bir standart bulunmuyordu (<http://www.parker.com/literature/Hydraulic%20Filter/ConMon/Guide%20to%20Contamination%20Standards.pdf>).

Kirlilik sınıfları, 100 mililitre içindeki maksimum partikül miktarını belirtmek için 00'dan 12'ye kadar bir sayı ile tanımlanmıştır. Çizelge 4.7.'de NAS 1638 Tablosu görülmektedir (http://www.hydrotech-bg.com/common/d_images/src/file/PDF/MP-Filtri/200.059.pdf).

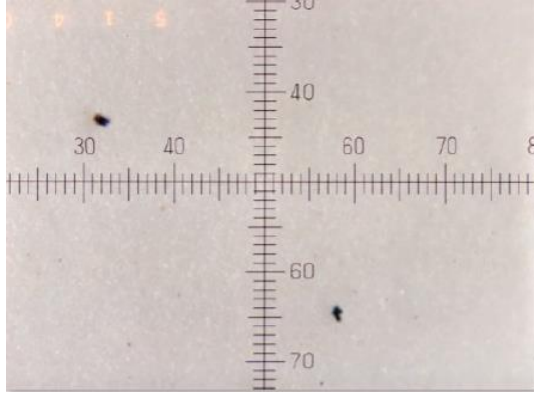
Çizelge 4.7. NAS 1638 Tablosu.

Boyut Aralığı		5-15 μ	15-25 μ	25-50 μ	50-100 μ	>100 μ
NAS Sınıfları (Maksimum kirlilik sınırları, 100 mililitredeki parçacık sayısına göre)	00	125	22	4	1	0
	0	250	44	8	2	0
	1	500	89	16	3	1
	2	1.000	178	32	6	1
	3	2.000	356	63	11	2
	4	4.000	712	126	22	4
	5	8.000	1.425	253	45	8
	6	16.000	2.850	506	90	16
	7	32.000	5.700	1.012	180	32
	8	64.000	11.400	2.025	360	64
	9	128.000	22.800	4.050	720	128
	10	256.000	45.600	8.100	1.440	256
	11	512.000	91.000	16.200	2.880	512
	12	1.024.000	182.400	32.400	5.760	1.024

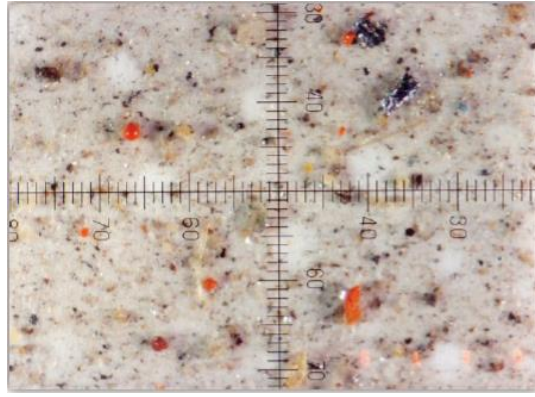
Kodlama sistemi, ISO 4406:1999'daki gibi kümülatif sayım kullanmaktan ziyade çeşitli boyut aralıklarında izin verilen maksimum miktarı (diferansiyel sayım) tanımlar (<http://www.parker.com/literature/Hydraulic%20Filter/ConMon/Guide%20to%20Contamination%20Standards.pdf>).

NAS 1638 standardı, ISO standardından daha kaba bir ölçektir ve ISO ile tam olarak örtüşmez. O nedenle NAS 1638 standardında tek rakamla ifade edilen bir aralık ISO standardında iki ayrı rakamla ifade edilebilir. Bir de NAS belli bir boyut için, ISO ise üç ayrı boyutun adetini vererek daha sağlıklı bir ölçüt sağlamaktadır.

NAS 4 ve NAS 12 kirlilik sınıfına ait örneklerin mikroskop altındaki görüntüleri Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'de görülmektedir (<http://www.docdatabase.net/more-international-particle-count-standards-nas-1638-national--959180.html>).



Şekil 4.12. NAS 4 (1 Birim = 30 μ).



Şekil 4.13. NAS 12 (1 Birim = 15 μ).

4.7.3. SAE AS 4059 Standardı

SAE AS 4059 (Aerospace Standart), hidrolik akışkanların partikül kirliliği için temizlik düzeylerini tanımlar ve kirlilik seviyelerine ilişkin veri raporlama yöntemlerini içerir.

Çizelge 4.8. ve Çizelge 4.9. sırasıyla otomatik parçacık sayıcısı ile elde edilmiş diferansiyel ve kümülatif parçacık sayımlarını verir. Çizelgeler standardın en son revize edilmiş hali olan SAE AS 4059 Rev. E.'ye göredir (http://www.hydrotech-bg.com/common/d_images/src/file/PDF/MP-Filtri/200.059.pdf).

Çizelge 4.8. Diferansiyel partikül sayımları için temizlik sınıfları I.

Boyut		Maksimum kirlilik değerleri (partikül / 100 ml)				
		6-14 μ	14-21 μ	21-38 μ	38-70 μ	>70 μ
SAE AS 4059 Rev. E. Sınıfları	00	125	22	4	1	0
	0	250	44	8	2	0
	1	500	89	16	3	1
	2	1.000	178	32	6	1
	3	2.000	356	63	11	2
	4	4.000	712	126	22	4
	5	8.000	1.425	253	45	8
	6	16.000	2.850	506	90	16
	7	32.000	5.700	1.012	180	32
	8	64.000	11.400	2.025	360	64
	9	128.000	22.800	4.050	720	128
	10	256.000	45.600	8.100	1.440	256
	11	512.000	91.200	16.200	2.880	512
	12	1.024.000	182.400	32.400	5.760	1.012

Çizelge 4.9. Kümülatif partikül sayımları için temizlik sınıfları II.

Boyut		Maksimum kirlilik değerleri (partikül / 100 ml)					
		> 4 μ	> 6 μ	> 14 μ	> 21 μ	> 38 μ	> 70 μ
Boyut Kodu		A	B	C	D	E	F
SAE AS 4059 Sınıfları	000	195	76	14	3	1	0
	00	390	152	27	5	1	0
	0	780	304	54	10	2	0
	1	1560	609	109	20	4	1
	2	3.120	1.217	217	39	7	1
	3	6.250	2.432	432	76	13	2
	4	12.500	4.864	864	152	26	4
	5	25.000	9.731	1.731	306	53	8
	6	50.000	19.462	3.462	612	106	16
	7	100.000	38.924	6.924	1.224	212	32
	8	200.000	77.849	13.849	2.449	424	64
	9	400.000	155.698	27.698	4.898	848	128
	10	800.000	311.396	55.396	9.796	1.696	256
	11	1.600.000	622.792	110.792	19.592	3.392	512
	12	3.200.000	1.245.584	221.584	39.184	6.784	1.024

4.7.4. GOST 17216-2001 Standardı (Rusya)

Rus askeri standardı GOST 17216-2001 uçak sanayi için formüle edilmiştir ve SAE AS 4059 standardı ile benzerlik gösterir. Çizelge 4.10’da standardın tablosu görülmektedir.

Çizelge 4.10. GOST 17216-2001 Tablosu (<http://www.parker.com/literature/Hydraulic%20Filter/ConMon/Guide%20to%20Contamination%20Standards.pdf>).

Boyut	5-10 µ	10-25 µ	25-50 µ	50-100 µ	> 100 µ
Gost 17216-2001 Sınıfları	00	8	4	1	0
	0	16	8	2	0
	1	32	16	3	0
	2	63	32	4	1
	3	125	63	8	2
	4	250	125	12	3
	5	500	250	25	4
	6	1.000	500	50	6
	7	2.000	1.000	100	12
	8	4.000	2.000	200	25
	9	8.000	4.000	400	50
	10	16.000	8.000	800	100
	11	31.500	16.000	1.600	200
	12	63.000	31.500	3.150	400
	13	-	63.000	6.300	800
	14	-	125.000	12.500	1.600
	15	-	-	25.000	3.150
	16	-	-	50.000	6.300
	17	-	-	-	125.000

4.7.5. NAV AIR 10-1A-17 Standardı

Amerika Birleşik Devletleri’nde uçak hidrolik sistemleri için kullanılan NAV AIR 10-1A-17 hidrolik akışkanlar standardı “Aviation Hydraulics Manual, (2002)” de tanımlanmıştır. Çizelge 4.11.’de partikül kirliliği için standardın tablosu görülmektedir.

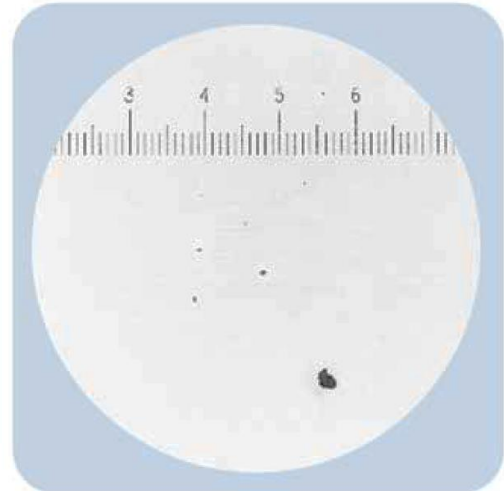
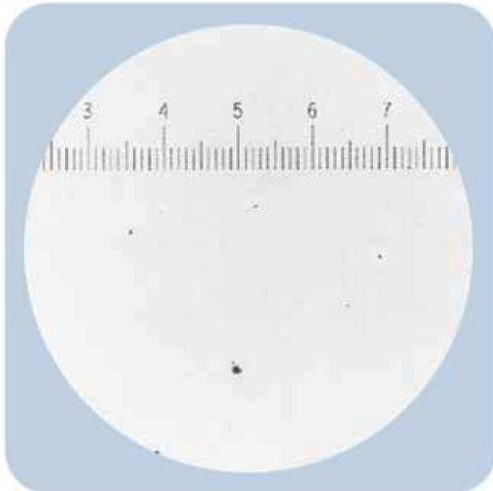
Çizelge 4.11. NAV AIR 10-1A-17 Tablosu (<http://www.navybmr.com/study%20material/NAVAIR%2001-1A-17.pdf>).

		Maksimum kirlilik değerleri (partikül / 100 ml)				
Boyut		5-10 μ	10-25 μ	25-50 μ	50-100 μ	>100 μ
NAV AIR 10-1A-17 Sınıfları	0	2.700	670	93	16	1
	1	4.600	1340	210	28	3
	2	9.700	2.680	380	56	5
	3	24.000	5.360	780	110	11
	4	32.000	10.700	1.510	225	21
	5	87.000	21.400	3.130	430	41
	6	128.000	42.000	6.500	1.000	92

4.7.6. Kirlilik Sınıfları İçin Karşılaştırma Fotoğrafları (http://www.hydrotech-bg.com/common/d_images/src/file/PDF/MP-Filtiri/200.059.pdf)

1 Birim = 10 μ

1 Birim = 10 μ



ISO 4406:1999 Sınıf 14/12/9

ISO 4406:1999 Sınıf 15/13/10

SAE AS4059E Tablo 1 Sınıf 3

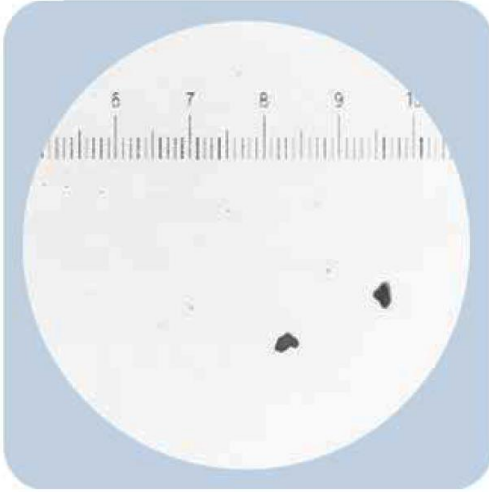
SAE AS4059E Tablo 1 Sınıf 4

NAS 1638 Sınıf 3

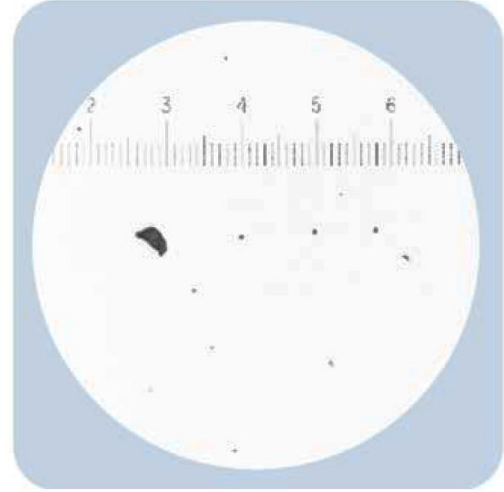
NAS 1638 Sınıf 4

SAE AS4059E Tablo 2 Sınıf 4A/3B/3C

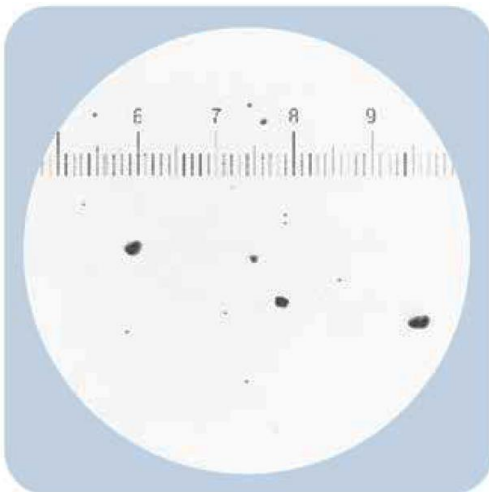
SAE AS4059E Tablo 2 Sınıf A/4B/4C

1 Birim = 10 μ 

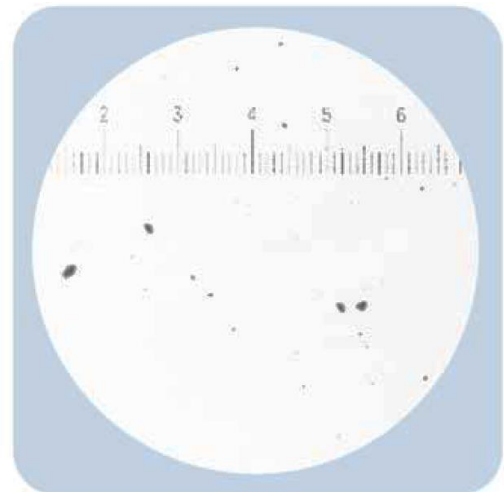
ISO 4406:1999 Sınıf 16/14/11
SAE AS4059E Tablo 1 Sınıf 5
NAS 1638 Sınıf 5
SAE AS4059E Tablo 2 Sınıf 6A/5B/5C

1 Birim = 10 μ 

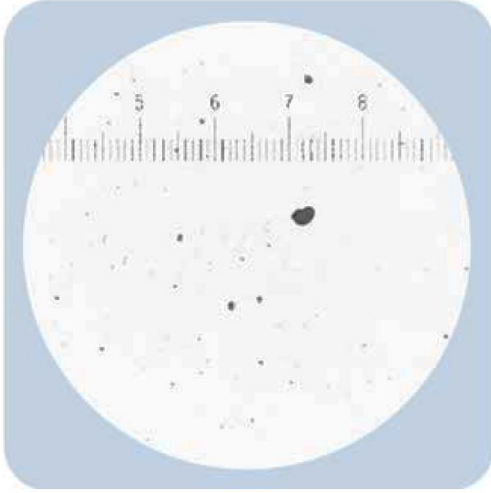
ISO 4406:1999 Sınıf 17/15/12
SAE AS4059E Tablo 1 Sınıf 6
NAS 1638 Sınıf 6
SAE AS4059E Tablo 2 Sınıf A/6B/6C

1 Birim = 10 μ 

ISO 4406:1999 Sınıf 18/16/13
SAE AS4059E Tablo 1 Sınıf 7
NAS 1638 Sınıf 7
SAE AS4059E Tablo 2 Sınıf 8A/7B/7C

1 Birim = 10 μ 

ISO 4406:1999 Sınıf 19/17/14
SAE AS4059E Tablo 1 Sınıf 8
NAS 1638 Sınıf 8
SAE AS4059E Tablo 2 Sınıf 9A/8B/8C

1 Birim = 10 μ **ISO 4406:1999**

Sınıf 20/18/15

SAE AS4059E Tablo 1

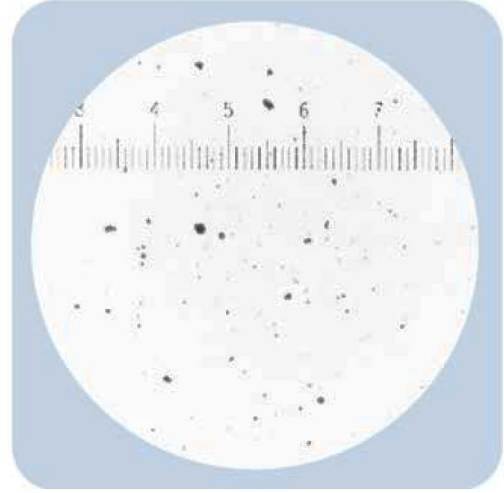
Sınıf 9

NAS 1638

Sınıf 9

SAE AS4059E Tablo 2

Sınıf 10A/9B/9C

1 Birim = 10 μ **ISO 4406:1999**

Sınıf 21/19/16

SAE AS4059E Tablo 1

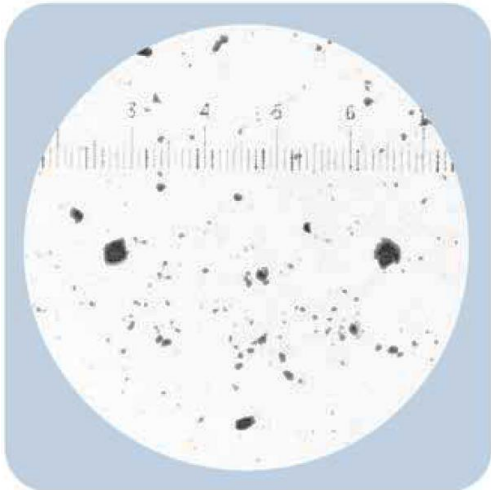
Sınıf 10

NAS 1638

Sınıf 10

SAE AS4059E Tablo 2

Sınıf 11A/10B/10C

1 Birim = 10 μ **ISO 4406:1999**

Sınıf 22/20/17

SAE AS4059E Tablo 1

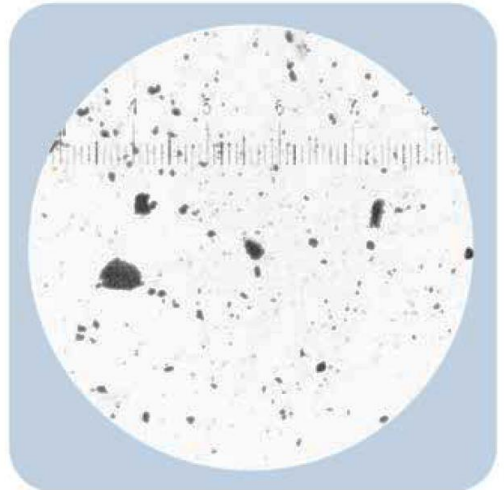
Sınıf 11

NAS 1638

Sınıf 11

SAE AS4059E Tablo 2

Sınıf 12A/11B/11C

1 Birim = 10 μ **ISO 4406:1999**

Sınıf 23/21/18

SAE AS4059E Tablo 1

Sınıf 12

NAS 1638

Sınıf 12

SAE AS4059E Tablo 2

Sınıf 13A/12B/12C

5. ANALİZ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Çalışmamızda, yakıt olarak biri benzin diğeri LPG kullanan iki adet aynı marka, model ve motor hacmine sahip otomobil kullanılmıştır. Araçlardan birisine teslim alınmadan önce sıralı otogaz sistem montajı yapılmıştır. Hyundai firmasının “Accent Era” modeli olan araçlar yetkili bayiden sıfır olarak alınmış ve aynı zamanda kullanılmaya başlanmıştır.

Araçlarda kullanılan motor yağı aynı olup, bu yağın ilk andaki analiz sonuçları ile araçların 10.000 km kullanıldıktan sonraki analiz sonuçları mukayese edilmiştir. Yağ analizi sonucunda elde edilen veriler ışığında LPG yakıtının motor üzerinde meydana getirdiği fiziksel ve kimyasal değişiklikler incelenmiştir.

Viskozite, yoğunluk, elementel analiz, yabancı partikül büyüklüğü, kirlilik sınıfı, TAN değeri, oksitleme değeri ve su miktarı gibi özellikler çalışmada dikkate alınan veriler olmuştur.

Yağ analizleri sonucunda elde edilen veriler birbiri ile mukayese edilmiş ve tablolar halinde ortaya konmuştur. Verilen değerler; kullanılmamış motor yağı, benzinle çalışan motorun yağı ve LPG ile çalışan motorun yağı olmak üzere üç farklı değeri içermektedir.

Öncelikli olarak araçlarda kullanılan motor yağının sıfır durumdaki özellikleri ortaya konmuş, benzin ve LPG ile 10.000 kilometrelik kullanım sonucunda elde edilen değerler yağın ilk halindeki değerlerle mukayese edilmiştir.

Çalışmadaki test ve ölçümler uluslararası standartları karşılayan cihazlarla Kütahya Seyitömer Termik Santrali Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir. Santralin işletilmesinde de faal olarak kullanılan bu cihazlar, yetkili personel eşliğinde kullanılmış ve sonuçlar kayda geçirilmiştir.

5.1. Viskozite

Bir akışkanın, yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsü olarak adlandırılan viskozite değerinin tespiti için, 40 °C ve 100 °C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta ölçüm yapılmıştır. Viskozite ölçümü, Şekil 5.1.’de görülen “Spectro Scientific” firmasının “SpectroVISC Q300 Yarı Otomatik Viskozimetre Cihazı” ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1. SpectroVISC Q300 yarı otomatik viskozimetre cihazı.

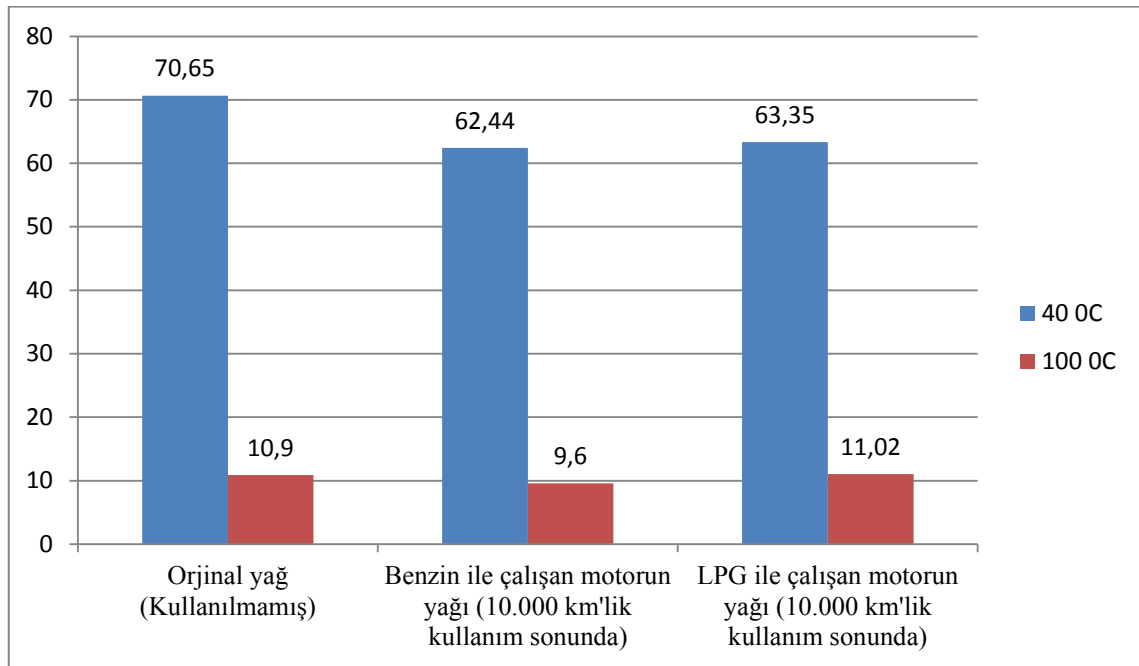
Q300 Yarı-Otomatik Viskozimetre; sıvıların kinematik viskozitelerinin ölçümü için optimize edilmiş, tezgâh üstü kullanımlı, yarı-otomatik viskozimetre sistemidir. Cihaz, ASTM D445, D7279, IP 71 ve ISO 3104 standart test metotlarında belirtilen şartlara uygun olarak analiz yapmaktadır.

Q300, ek cihaz veya aksam gerektirmeden dahili sirkülatörlü ısıtıcı ve kontrol kolonu içeren termostatik banyolu viskozimetre sistemidir. Banyo içerisinde ASTM D446 standardına uygun, 4 adet patentli viskozite tüp ve optik sensörler yer alır. Her bir tüp birbirinden bağımsız ölçüm yapabilmektedir. Kontrol birimi üzerindeki LCD ekrandan sistemin durumu ve LED

göstergelerden her ölçüm tüpünün anlık gerçek durumu izlenebilmektedir. Opsiyonel harici bilgisayar, yoğun veri aktarımı gerektiren ölçümlerde sistem kontrolü olarak kullanılabilir.

Q300 kolay kullanımlı otomatik viskozimetredir. Analiz için 1ml numune kullanılması yeterlidir. Numune kapilerden akmadan önce, banyo içerisinde bir süre tutularak istenilen banyo sıcaklık derecesine getirilir. Sonuçlar cihaz ekranı, bilgisayar arayüzü veya yazıcı çıktısı takip edilebilir. Analiz sonrası sistem otomatik yıkama işlemine başlar. Yıkama işleminin sayısı ve süresi kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir. En son aşamada tüpler kurutulur. Başlangıçtan sonuç ekranına kadar olan analiz süresi, ASTM D445 hassasiyetine göre tüp başına 200 ile 900 sn arasındadır (<http://www.biolab.com.tr/TR,23465/q300.html#icerik>).

Şekil 5.2.'de yapılan ölçümler sonucu elde edilen üç farklı yağ numunesinin 40 °C ve 100 °C'deki viskozite değerleri görülmektedir.



Şekil 5.2. Viskozite değerleri (mm²/sn).

Değerlere bakıldığında, 40 °C'de yapılan ölçümlerde benzin ve LPG kullanımının viskozitede yakın değerlerde düşüşe sebep olduğu, 100 °C'de yapılan ölçümlerde ise benzin kullanımının düşüşe, LPG kullanımının ise ufak da olsa bir artışa sebep olduğu görülmektedir.

5.2. Yoğunluk

Homojen bir yapıya sahip maddenin birim hacminin kütlesi olarak adlandırılan yoğunluk için yapılan ölçümler, Şekil 5.3.'de görülen “Anton Paar” firmasının “DMA 4500 M Yoğunluk Ölçüm Cihazı” ile gerçekleştirilmiştir.

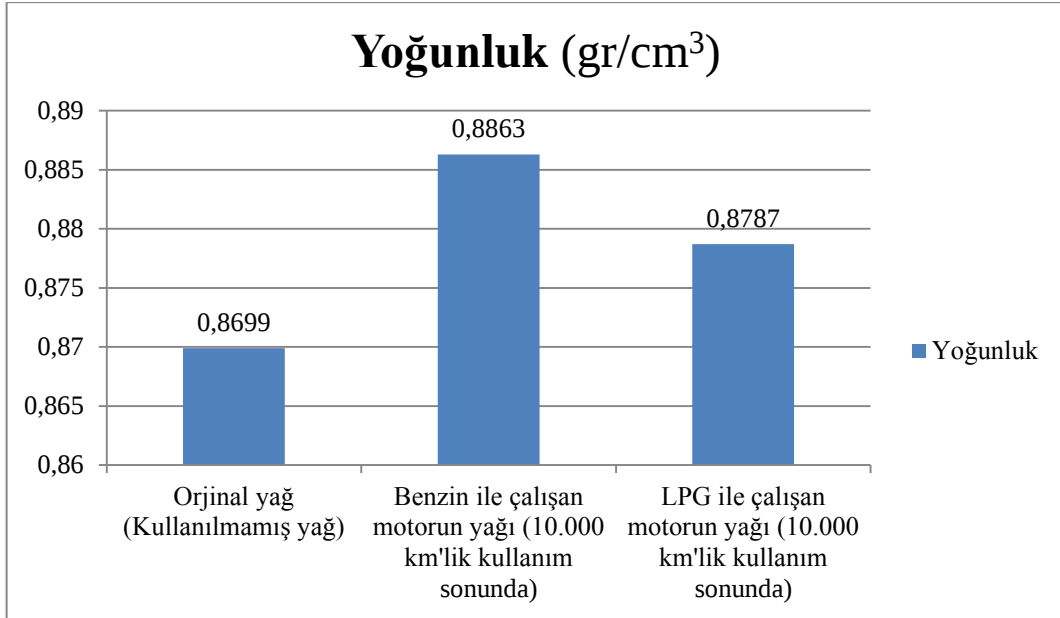


Şekil 5.3. DMA 4500 M yoğunluk ölçüm cihazı.

DMA 4500 M; salınımlı U-tüp teknolojisi, dahili referans osilatör, yüksek doğrulukta platin termometre ve tüm aralık için viskozite düzeltmesini birleştirerek en üst seviyede ölçüm performansı sağlar. Cihazın yoğunluk ölçüm doğruluğu: $0,00005 \text{ g/cm}^3$ 'tür

Yoğunluk ölçer şu şekilde çalışır; salınımlı U tüp sensörü 1 ml numune ile doldurulur. Cihaz U tüpünü elektronik şekilde uyararak eş zamanlı olarak temel rezonant frekansı ve harmoniklerinde salınır. Salınım karakteristikleri hızı sağlayan entegre referans osilatörü ile ölçülür. Referans osilatörü salınımlı U tüp ile kapalı termal temas pozisyonundadır. Bu pozisyonlandırma referans osilatörün U tüp sensörüne uygulanan sıcaklık stresinden kaynaklanan tüm kaymalara karşı kompanse eder. Bu ölçümler neticesinde yoğunluk en yüksek doğruluk ile belirlenir ve viskozite etkisi düzeltilir (<http://www.anton-paar.com/?eID=documentsDownload&document=55664&L=17>).

Yoğunluk değerlerinin ölçümünde Şekil 5.4.'te görülen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.4. Yoğunluk değerleri.

Değerlere bakıldığında, benzin ve LPG kullanımının her ikisinde de motor yağının yoğunluğunda bir artış olduğu görülmektedir. LPG ile kullanımda yoğunluk artışı daha azdır.

5.3. TAN

Yağın oksitlenme derecesini gösteren TAN değeri ölçümü için Şekil 5.5.'te görülen "Bruker" firmasının "Alpha FT-IR" spektrometresi kullanılmıştır.

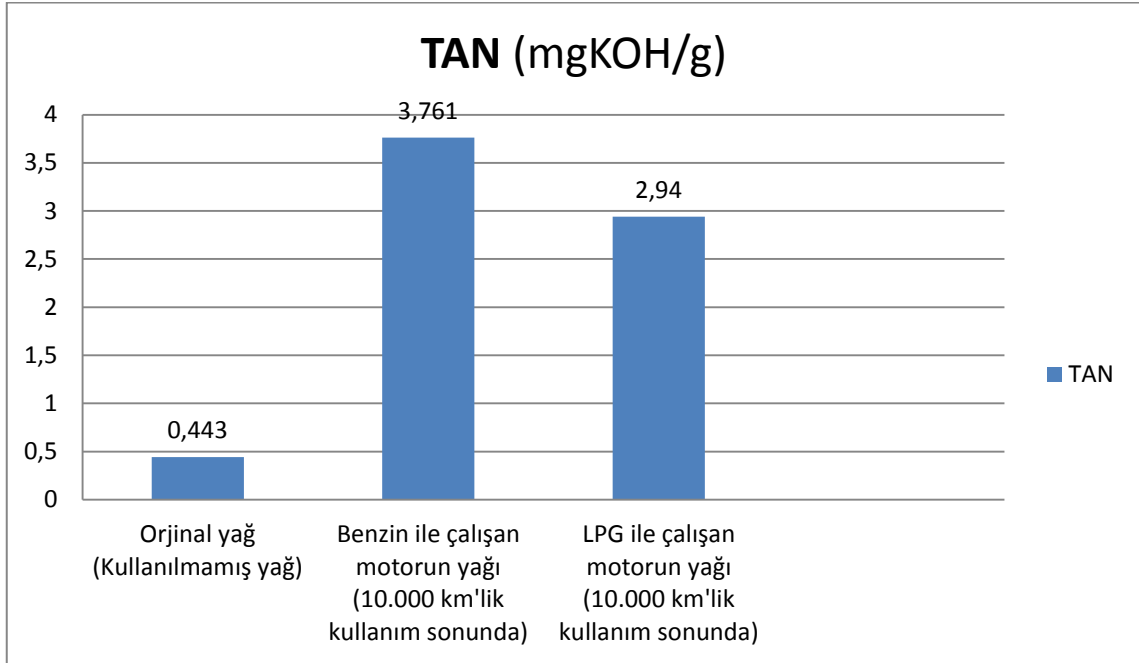


Şekil 5.5. Alpha FT-IR Spektrometresi.

Alpha FT-IR Q410 yağ analiz cihazı, kullanılmış yağlama yağlarındaki (lubrikantlar) bozulmayı ve kirlenmeyi moleküler olarak analiz edebilen özel tasarım FT-IR spektrometre cihazıdır. Alpha Q410 cihazı ile JOAP ve DIN standartlarına uygun olarak kullanılmış motor ve hidrolik yağların içine karışan yakıt (benzin ve motorin), su ve antifirizin yanı sıra, kullanım süresince yağın içinde oluşan kurum, sülfürlenme, nitratlanma, oksidasyon ve yağ katkılarındaki azalma değerlerini otomatik olarak hesaplamaktadır.

Alpha FT-IR Q410 cihazı, ASTM E2412 "FTIR Spektroskopi tekniği kullanılarak, eğilim analizleri ile kullanılmış yağlama yağlarında durum görüntüleme standart çalışma metodu" ile uyumludur.

TAN değeri, üç ayrı numune için Şekil 5.6.'daki gibi değişiklik göstermiştir.



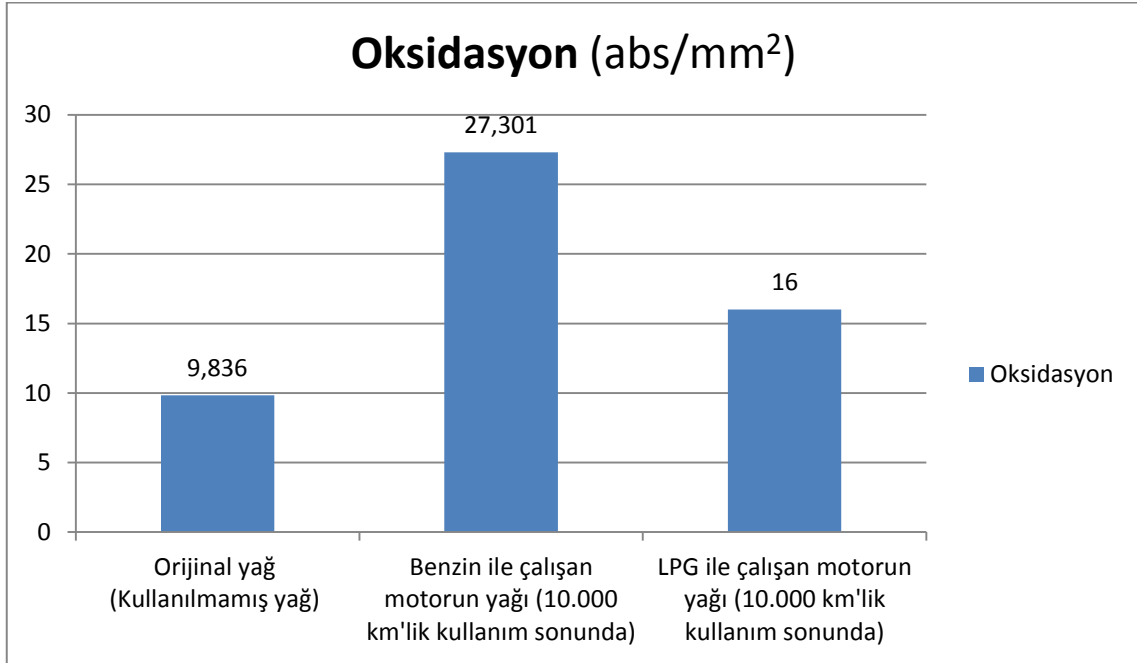
Şekil 5.6. TAN değerleri.

Grafığe bakıldığında, LPG ile kullanımda TAN değerinin daha düşük çıktığı dolayısıyla yağ içinde oluşan asit miktarının daha az olduğu görülmektedir. Yağın içinde oluşan asit miktarının düşüklüğü yağın ömrünü uzatan etkenlerden biridir.

5.4. Oksidasyon

Zaman içerisinde yağda oluşan doğal bir bozulma süreci olan oksidasyon değerinin ölçümü için de Şekil 5.5'te görülen "Bruker" firmasının "Alpha FT-IR" spektrometresi kullanılmıştır.

Üç ayrı numune için oksidasyon değerleri Şekil 5.7.'da görüldüğü gibi değişiklik göstermiştir.



Şekil 5.7. Oksidasyon değerleri.

Grafığe bakıldığında, LPG ile kullanımda yağ içinde oksidasyon oluşumunun daha düşük seviyede kaldığı görülmektedir. Bunun da motor yağının ömrünü arttırıcı bir etken olduğunu söyleyebiliriz.

5.5. Su Miktarı

Yağ içerisinde bulunan su miktarının ölçümü için Şekil 5.8.'te görülen “GR Scientific” firmasının “Aquamax KF Coulometric Titrator” cihazı kullanılmıştır.

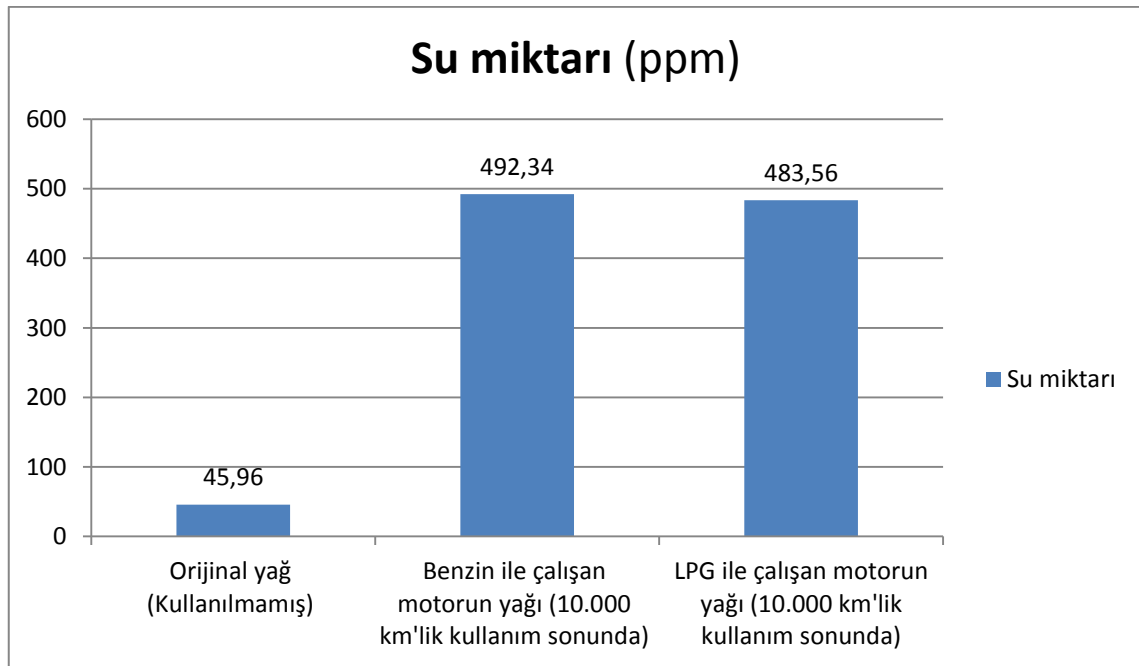


Şekil 5.8. Aquamax KF coulometric titrator cihazı.

Aquamax KF, özellikle yağ ve diğer kimyasalların içerdikleri su miktarını tespit etmek amacıyla üretilmiştir. Numunenin tepkime sıvısı ile girdiği reaksiyon sonucu açığa çıkan iyot miktarına bağlı olarak sistem içerisinde oluşan elektrik akımını ölçen Aquamax KF, bu sayede numunenin içerdiği su miktarını kesin ve hızlı bir şekilde, milyonda bir (1 ppm) seviyesine kadar tespit etmektedir. Bu yöntem ile Aquamax kesin sonuçlar elde etmekte ve tepkime sıvıları (reaktifler) herhangi bir kalibrasyona ihtiyaç duymamaktadır.

Aquamax KF cihazı ile kullanıcılar yalnızca tek tuş kullanarak belirledikleri metodlara göre, tekrar ayarlara vakit harcamadan analizlerini gerçekleştirmektedirler. Cihaz sahip olduğu özel bağlantı yapısı sayesinde herhangi bir yağlama ya da teflon manşona gerek duymamaktadır. Cihaz dahili yazıcısı sayesinde analiz ile aynı anda analiz sonuçlarını kağıda dökülmektedir ayrıca sonuçlar istenildiğinde “Results Manager” yazılımı ile bilgisayara aktarılabilmektedir (<http://www.biolab.com.tr/TR,1532/biolab-cou-lo-su-kf.html#icerik>).

Yapılan ölçümler sonucu üç ayrı numunede bulunan su miktarı değerleri Şekil 5.9.’da görülmektedir.



Şekil 5.9. Yağ içindeki su miktarı

Su miktarlarına bakıldığında, her iki yakıt için de elde edilen veriler benzerlik göstermiştir.

5.6. Elementel Analiz

Yağ içerisinde aşınmış halde bulunan metal parçalarının elementel analizi için “Spectro Scientific” firmasının Şekil 5.9.’da görülen “Spectroil M/C-W Yağ Analiz Spektrometre Cihazı” kullanılmıştır.



Şekil 5.10. Spectroil M/C-W yağ analiz spektrometre cihazı.

Spectroil M/C-W; yağ numunelerinin analizi için özel olarak tasarlanmıştır. Mineral veya sentetik petrol esaslı ürünlerde çözünmüş veya süspansiyon halinde mevcut olan aşınma metalleri, kontaminantlar ve yağ içerisindeki katkıları Rotasyonel Disk Elektrod (RDE) teknolojisi ile ölçmektedir.

Spectroil M/C-W, kullanılmış yağ numunesi içerisindeki bütün aşınma metallerini, kontaminantlarını ve katkılarını analiz eder.

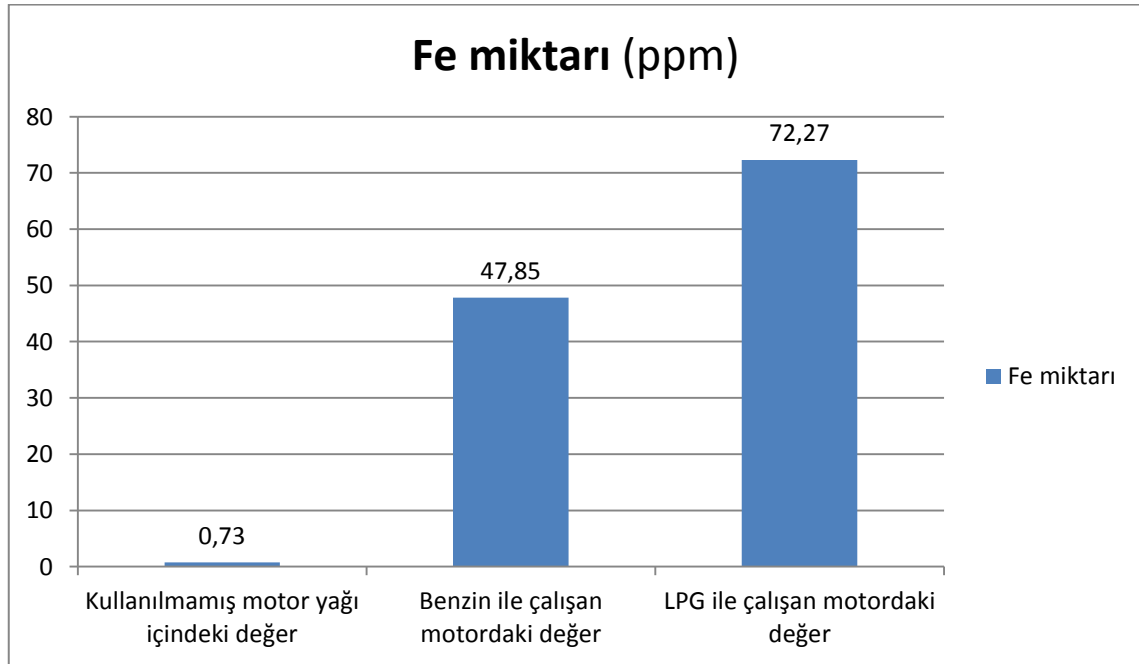
Spectroil M/C-W cihazı ile laboratuvar ortamında ölçüm yapılabildiği gibi taşınabilir olması sayesinde sahada ölçüm de yapılarak çok önemli sonuçlar derhal elde edilmektedir.

Spectroil M/C-W, makinanızın durumunu 30 saniye içerisinde, aynı anda tek bir analiz ile mineral veya sentetik petrol esaslı kullanılmış yağlarda veya hidrolik sıvılarında çözünmüş veya süspansiyon halinde mevcut olan aşınma metalleri, kontaminantlar ve yağ içerisindeki katkıları güvenilir, sağlam ve denenmiş, spektroskopik teknik Rotasyonel Disk Elektrod (RDE) teknolojisi ile ASTM D6595 standart test metoduna uygun olarak görüntüler. Bu nedenle yağ analiz laboratuvarlarında standart cihazdır.

Opsiyonel aksesuarları D2R2 (Double Disc Rapid Robot) otomasyon için robotik sistem ve A-RFS (Rotrode Filter Spectroscopy) büyük partiküllerin analiz sistemidir.

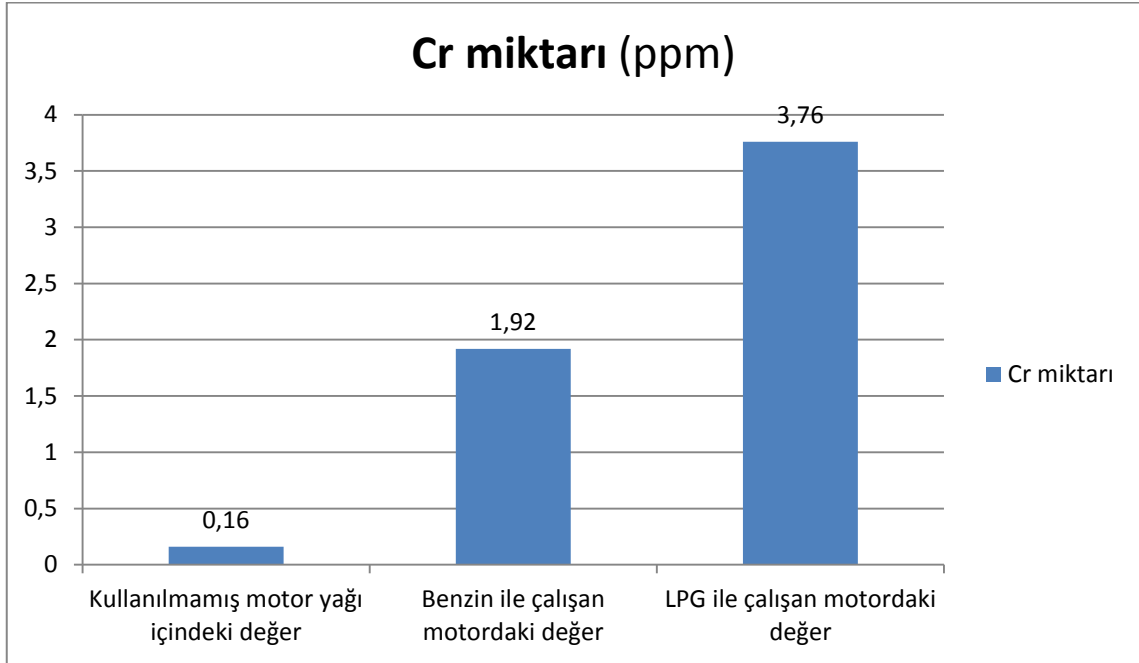
Opsiyonel olarak motor soğutma sıvıları ve yağlarda kükürt analizleri yapabilmektedir. Spectroil sisteminin diğer versiyonları Spectroil M/N-W askeri kullanıma uygun yağ analiz spektrometresi ve Spectroil M/F-W gaz türbinleri ve dizel yakıt analizleri içindir (<http://www.biolab.com.tr/TR,1392/genel-bakis.html#icerik>).

Yapılan ölçümler sonucu her üç numune için elementel analiz sonuçları şu şekildedir;



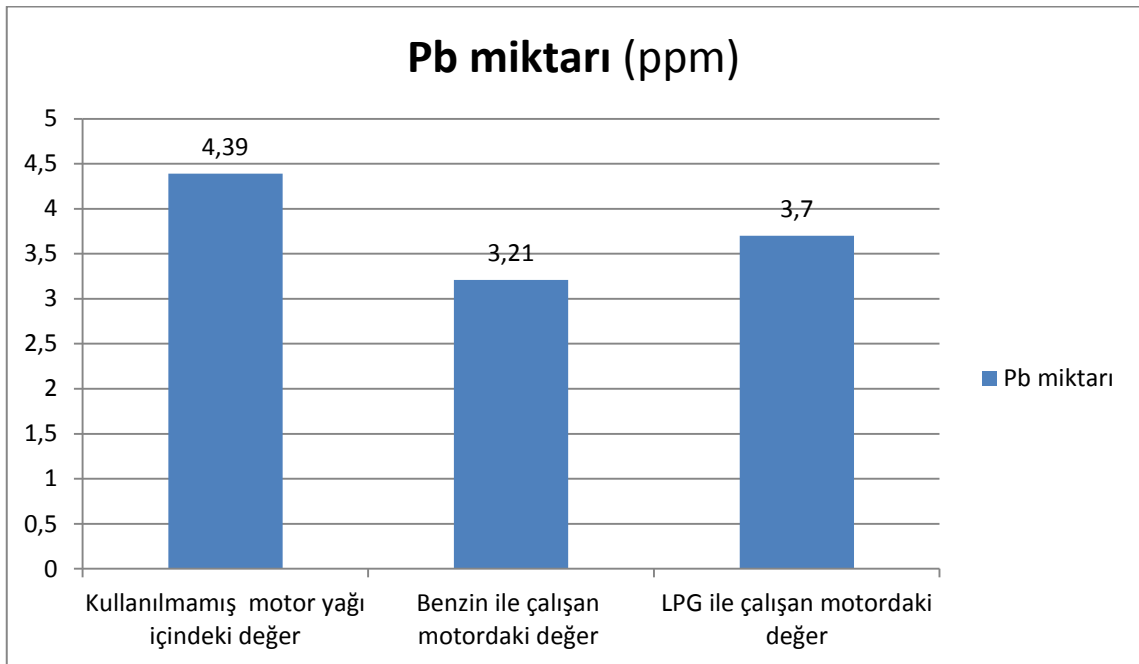
Şekil 5.11. Yağ içindeki demir (Fe) miktarı.

Demir miktarlarına bakıldığında, LPG ile kullanımda benzine göre yaklaşık %51'lik bir fazlalık görülmektedir. LPG ile kullanımda demir içerikli motor parçalarında aşınmanın daha fazla olduğunu söyleyebiliriz.



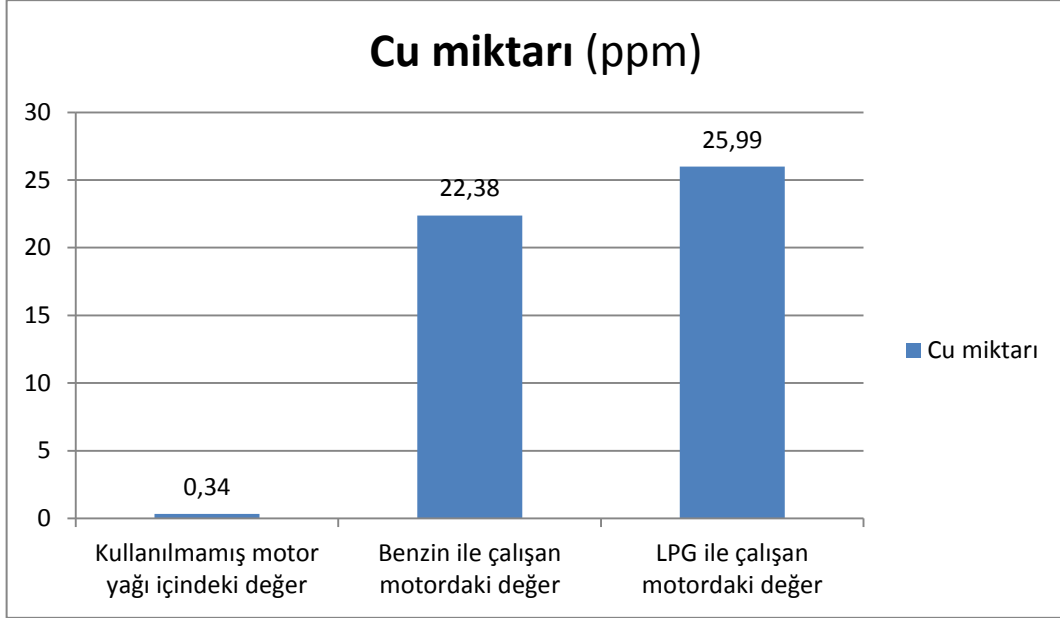
Şekil 5.12. Yağ içindeki krom (Cr) miktarı.

Krom miktarlarına bakıldığında, LPG ile kullanımda benzine göre yaklaşık %96'lık bir fazlalık görülmektedir. Segman, gömlek, itici ve eksantrik mili gibi krom içeren motor parçalarında oluşması muhtemel aşınmanın LPG kullanımı ile daha da arttığını söyleyebiliriz.



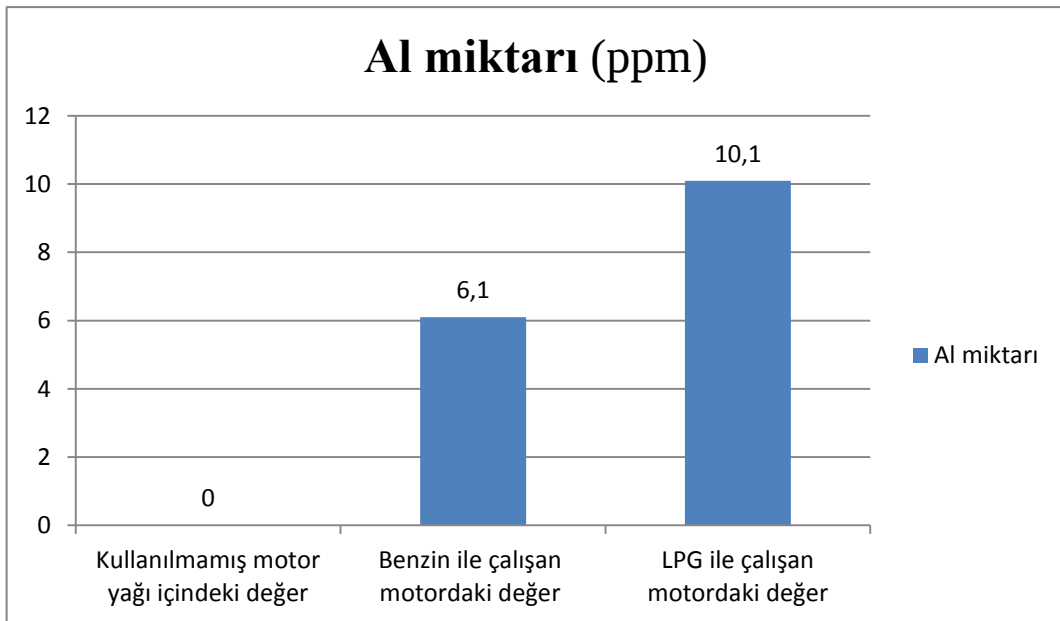
Şekil 5.13. Yağ içindeki kurşun (Pb) miktarı.

Kurşun miktarında benzin ve LPG ile kullanımda benzer değerler görülmektedir.



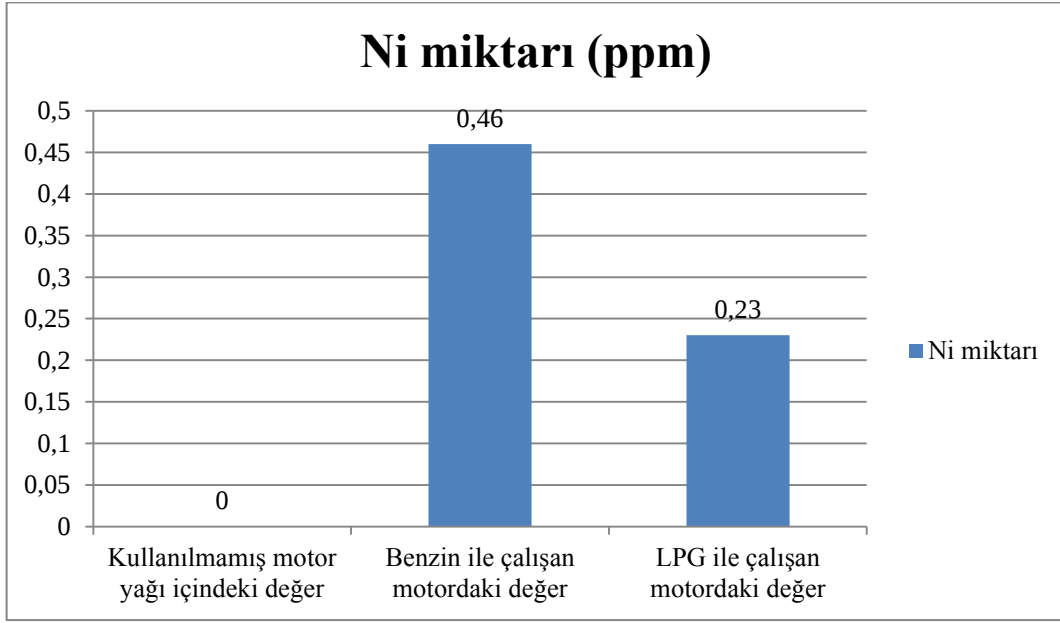
Şekil 5.14. Yağ içindeki bakır (Cu) miktarı.

Bakır miktarlarına bakıldığında, benzin ve LPG kullanımında benzer artışlar görülmektedir. Yatak ve burçlarda oluşması muhtemel bakır aşınmasına LPG kullanımının az da olsa arttırıcı etkisi olduğunu söyleyebiliriz.



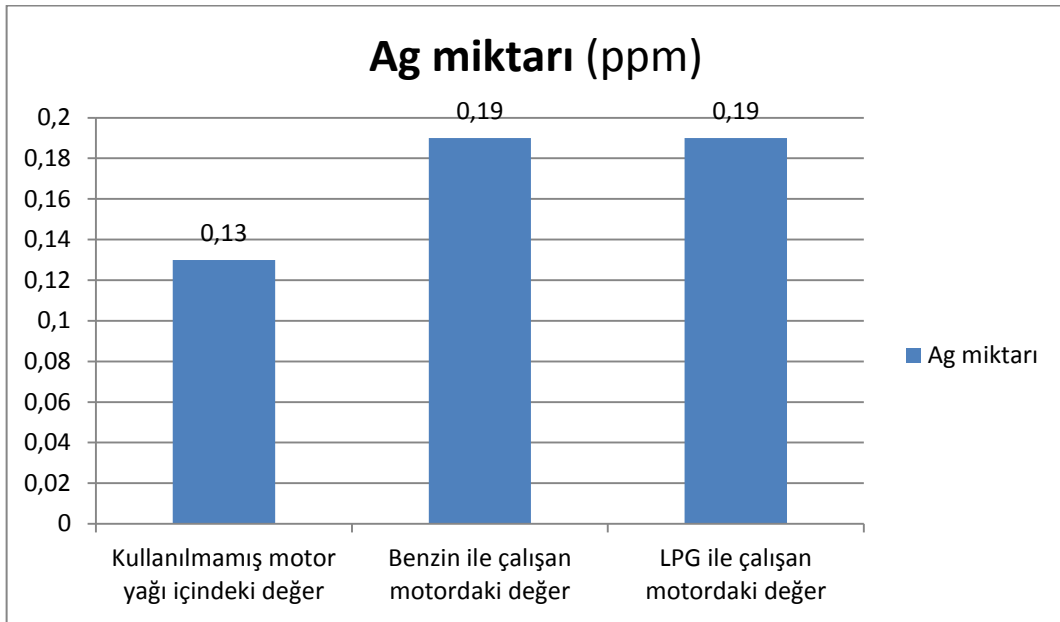
Şekil 5.15. Yağ içindeki alüminyum (Al) miktarı.

Alüminyum miktarında, LPG ile kullanımda benzine göre yaklaşık % 66'lık bir fazlalık görülmektedir. Piston, yatak, burç, yatak ve gömlek gibi alüminyum içeren motor parçalarında oluşması muhtemel aşınmanın LPG ile kullanımda daha fazla arttığını söyleyebiliriz.



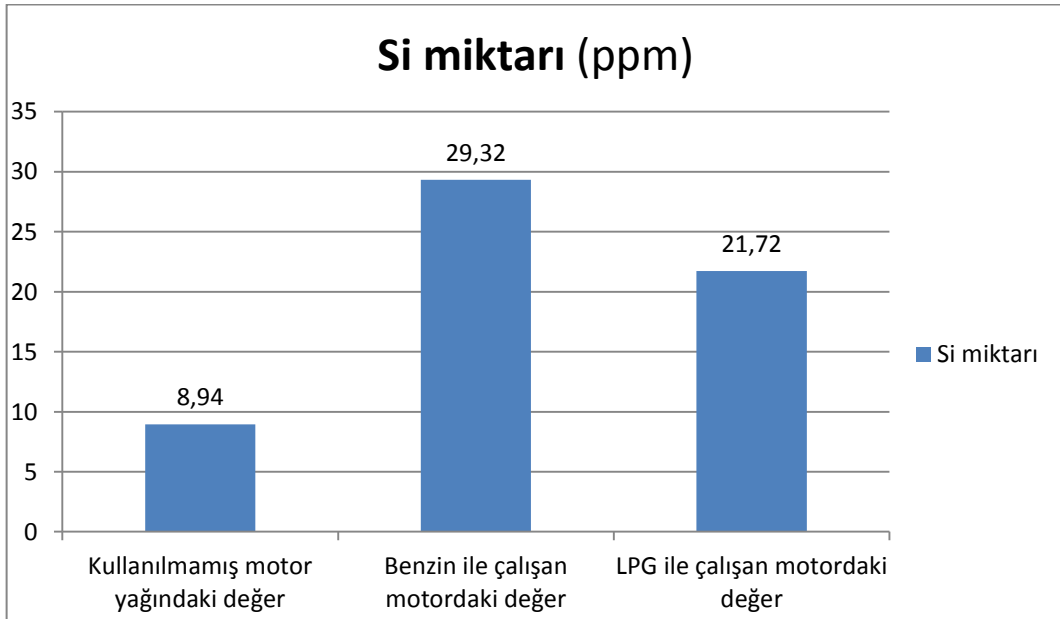
Şekil 5.16. Yağ içindeki nikel (Ni) miktarı.

Nikel miktarlarına bakıldığında, benzin ile kullanımda LPG'ye göre iki misli bir fazlalık görülmektedir. Eksantrik milinde oluşması muhtemel nikel aşınmasının LPG ile kullanımda azaldığını söyleyebiliriz.



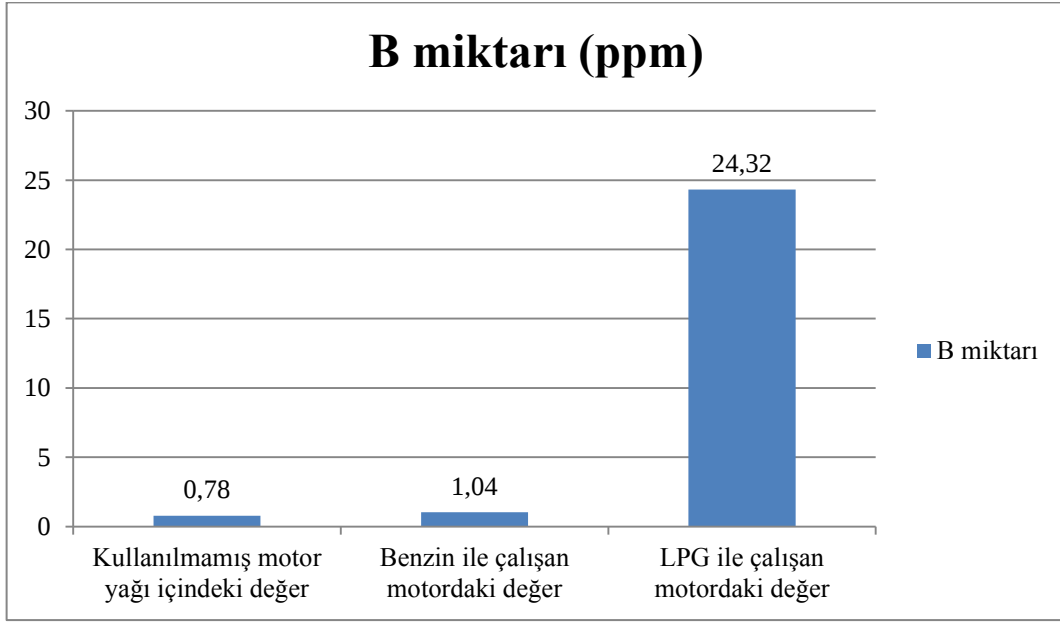
Şekil 5.17. Yağ içindeki (Gümüş) miktarı.

Gümüş miktarlarına bakıldığında, benzin ve LPG kullanımında aynı değerler görülmektedir. Yataklarda meydana geldiği düşünülen aşınma nedeniyle ortaya çıkan gümüş miktarı her iki yakıt için de değişmemiştir.



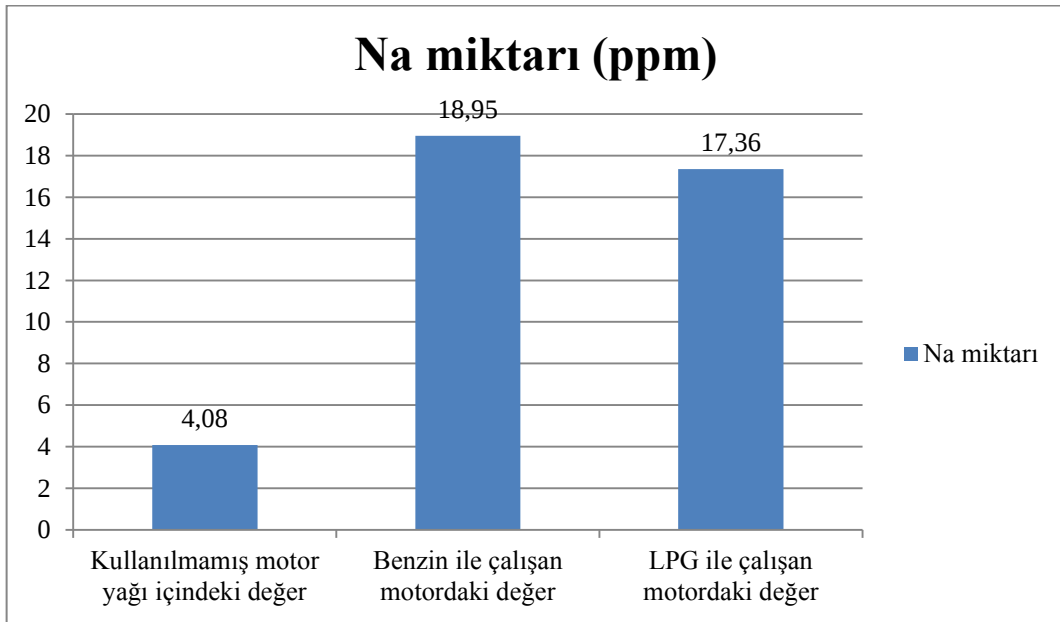
Şekil 5.18. Yağ içindeki silisyum (Si) miktarı.

Silisyum miktarlarına bakıldığında, benzin ile kullanımda LPG'ye göre yaklaşık %35'lik bir fazlalık görülmektedir. Ancak bu değer yanıltıcı olabilir, yağ içindeki silisyum miktarını, kullanılan yakıttan ziyade; kum, kir ve toz gibi kirleticiler etkilemektedir.



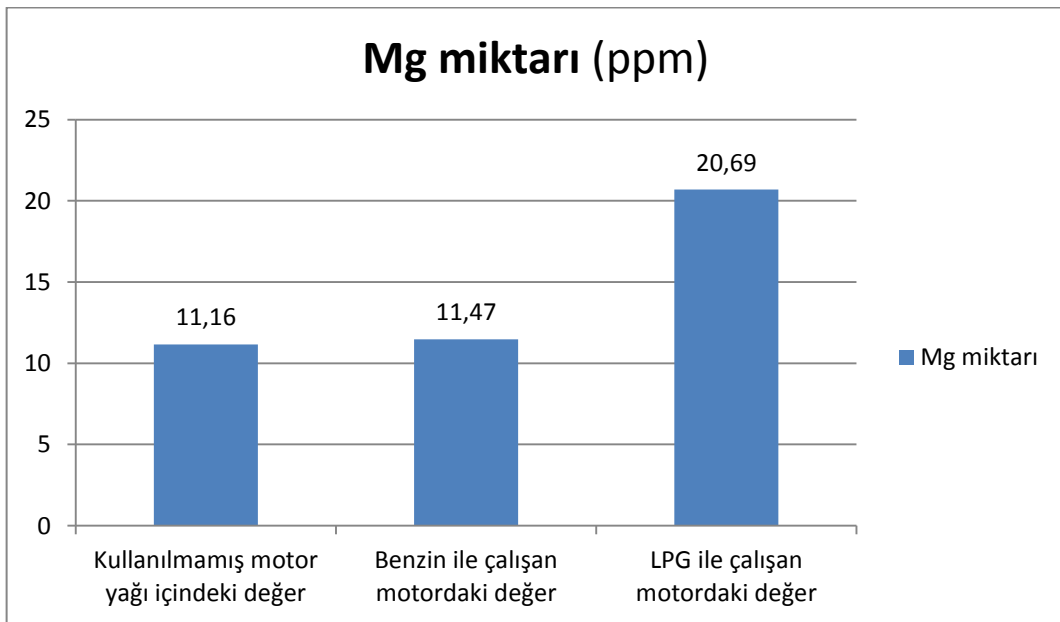
Şekil 5.19. Yağ içindeki bor (B) miktarı.

Bor miktarları incelendiğinde, LPG kullanan motorda çok yüksek bir değer görülmektedir. Bu yüksek değer, motor yağına soğutma suyunun karışmış olma ihtimalini düşündürmektedir.



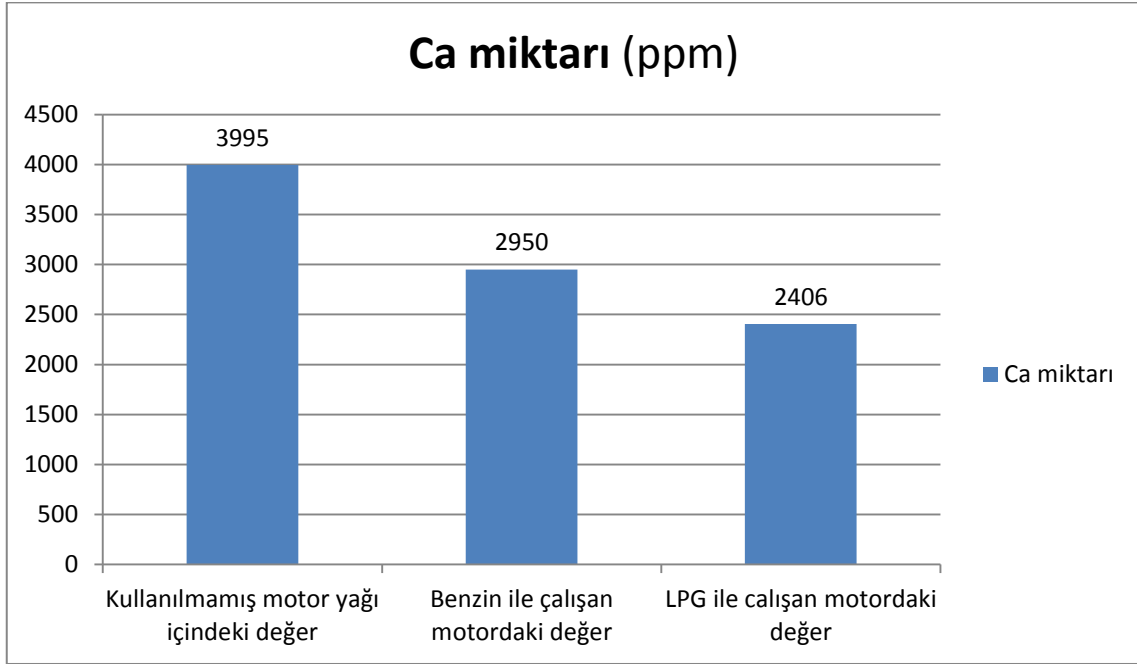
Şekil 5.20. Yağ içindeki sodyum (Na) miktarı.

Sodyum miktarlarına bakıldığında, benzin ve LPG kullanımında benzer artışlar görülmektedir. LPG kullanımının yağdaki sodyum miktarına etkisinin benzin ile benzer olduğunu söyleyebiliriz.



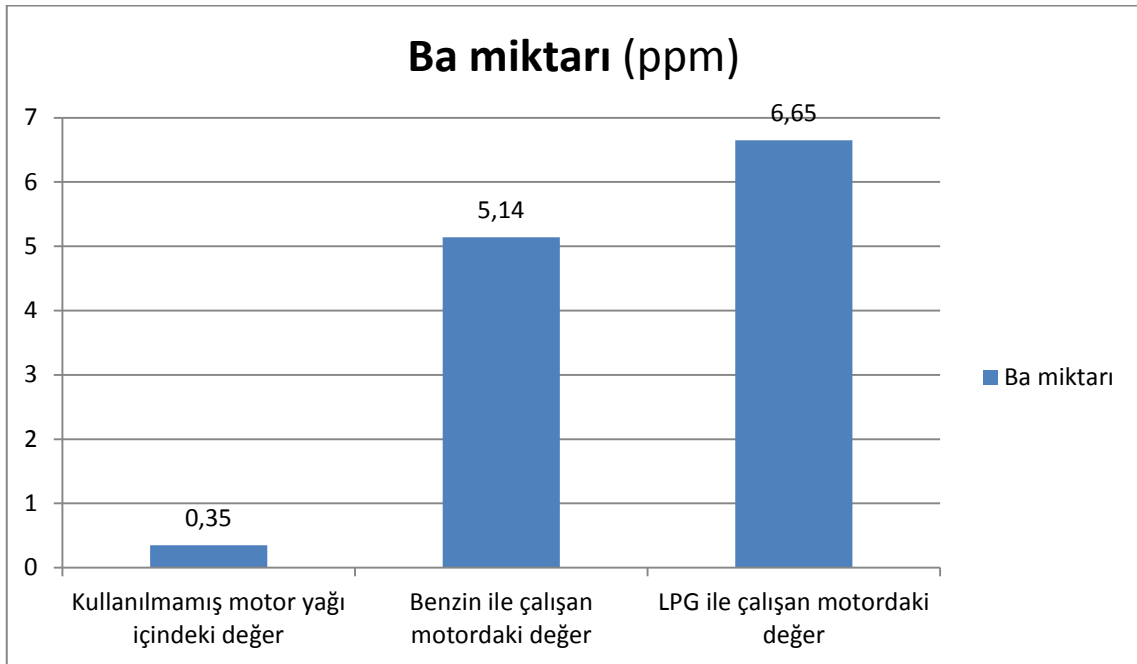
Şekil 5.21. Yağ içindeki magnezyum (Mg) miktarı.

Magnezyum miktarına bakıldığında, LPG ile kullanımda benzine göre yaklaşık %80’lik bir artış görülmektedir. Bunun sonucu olarak LPG ile kullanımda motorun magnezyum alaşımlı parçalarında daha fazla aşınma olduğunu söyleyebiliriz.



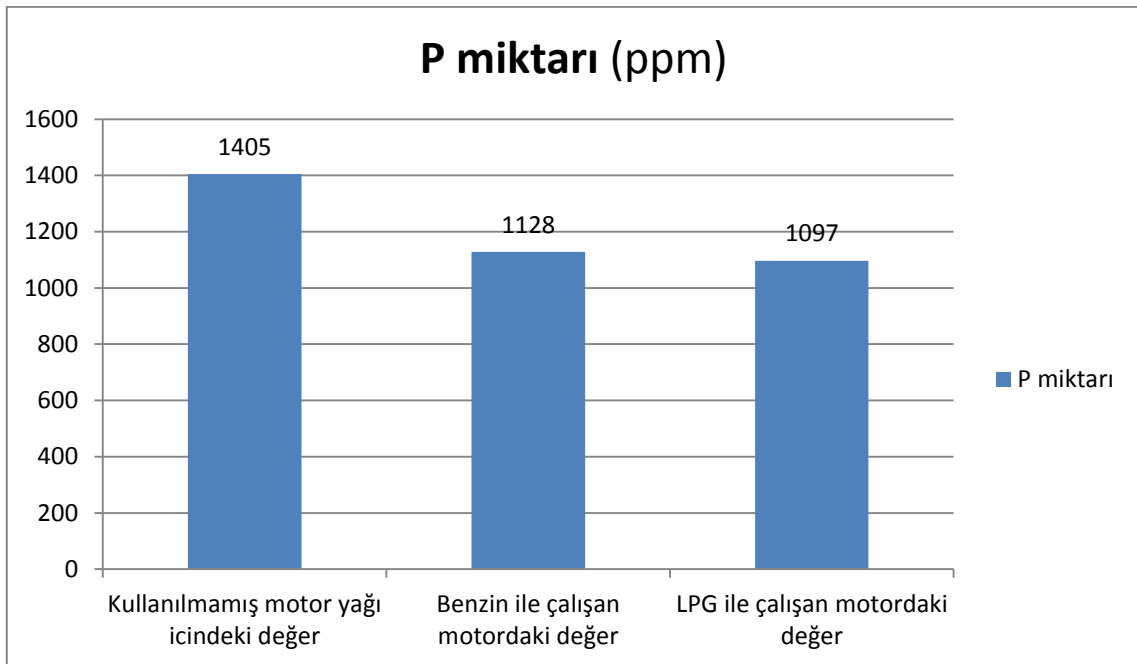
Şekil 5.22. Yağ içindeki kalsiyum (Ca) miktarı.

Kalsiyum miktarlarına bakıldığında, benzin ve LPG kullanımında benzer azalışlar görülmektedir. LPG ile kullanımda benzine göre daha fazla kalsiyum eksildiğini söyleyebiliriz.



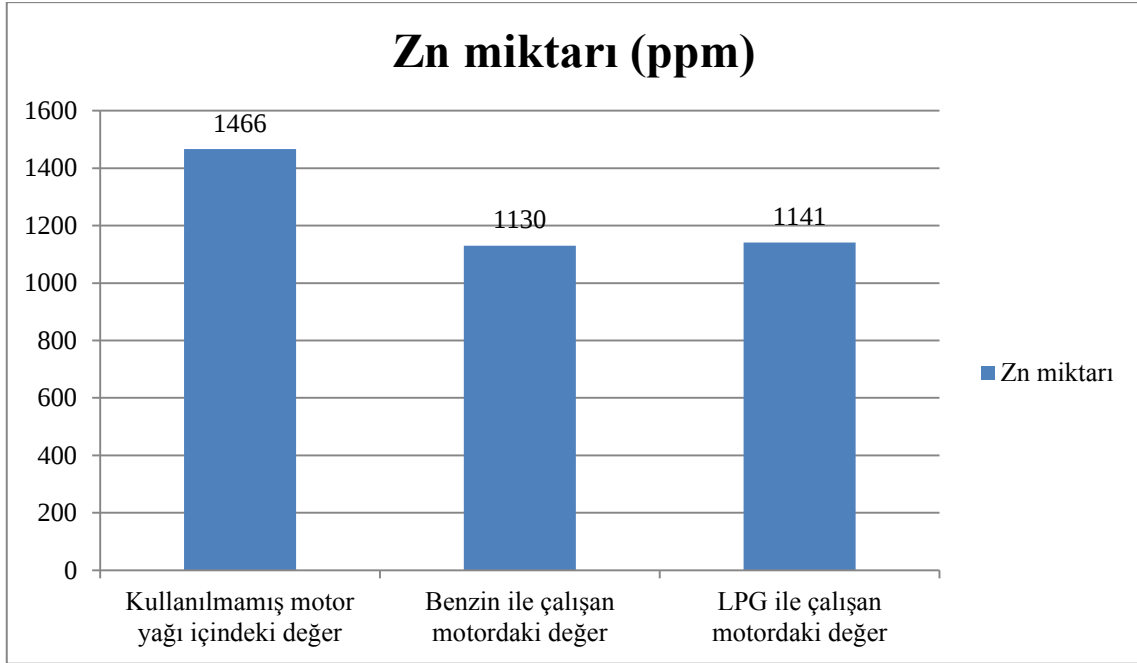
Şekil 5.23. Yağ içindeki baryum (Ba) miktarı.

Baryum miktarlarına bakıldığında, her iki yakıt kullanımında da artış görülmektedir. LPG ile kullanımda oluşan miktar benzine göre biraz daha yüksektir.



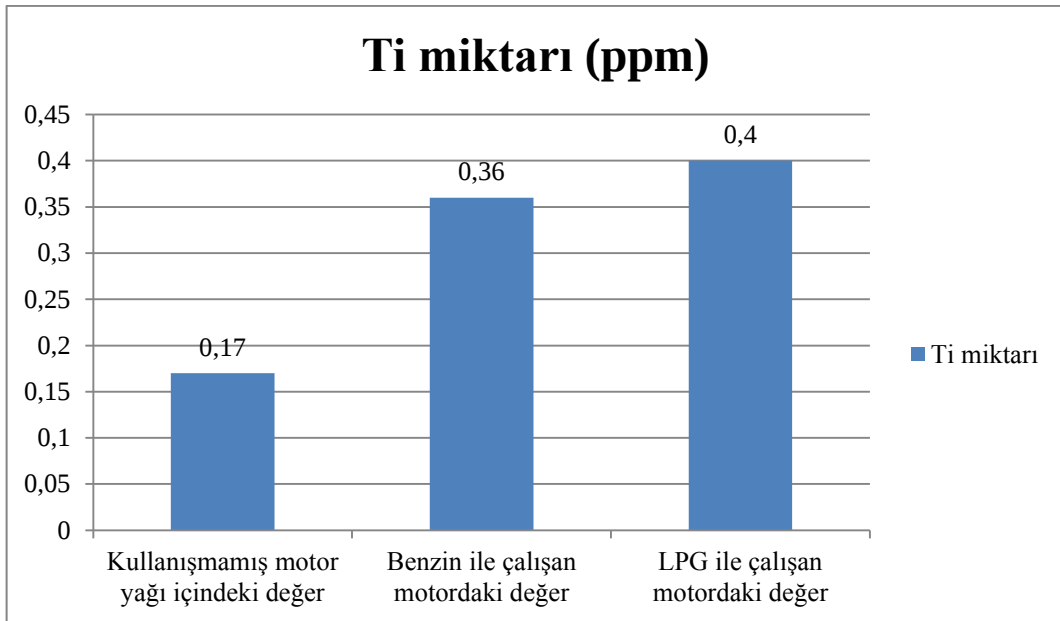
Şekil 5.24. Yağ içindeki fosfor (P) miktarı.

Fosfor miktarlarına bakıldığında, her iki yakıt için de benzer değerler görülmektedir.



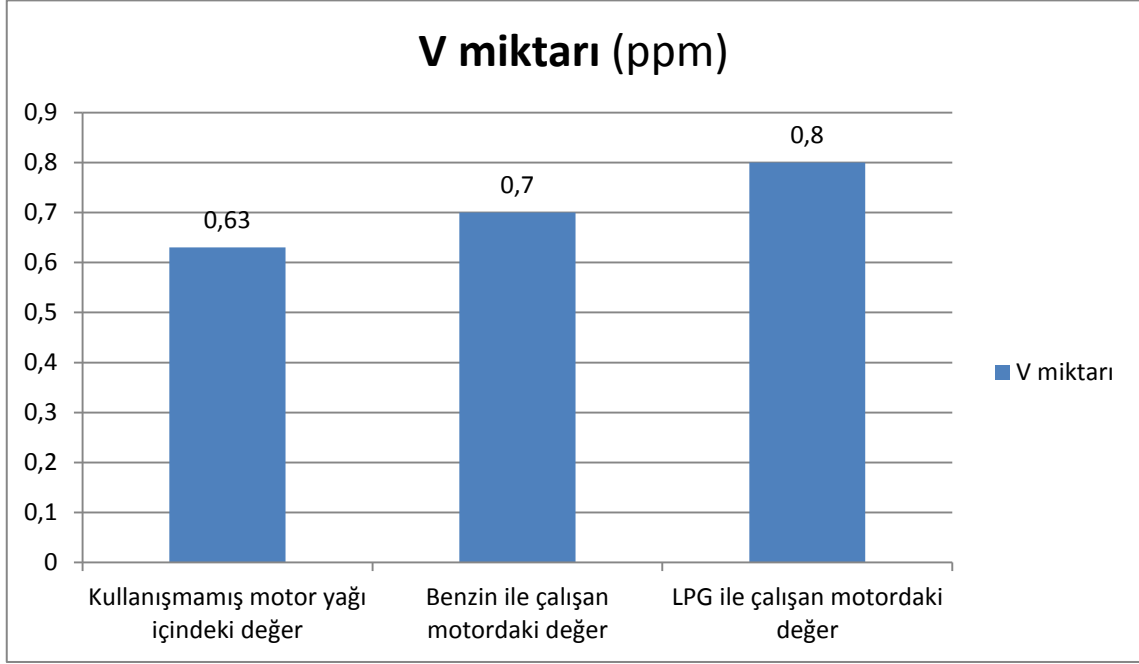
Şekil 5.25. Yağ içindeki çinko (Zn) miktarı.

Çinko miktarlarına bakıldığında, her iki yakıt için de benzer değerler görülmektedir.



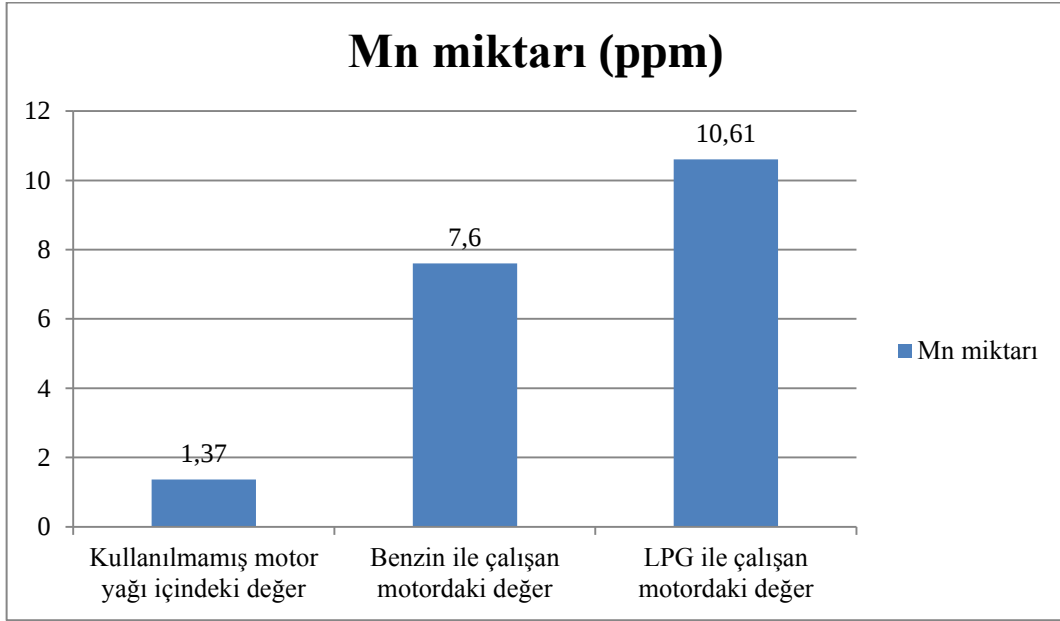
Şekil 5.26. Yağ içindeki Titanyum (Ti) miktarı.

Titanyum miktarlarına bakıldığında, her iki yakıt kullanımında da yükselme görülmektedir. LPG ile kullanımda titanyum alaşımlı motor parçalarında aşınmanın biraz daha fazla olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 5.27. Yağ içindeki vanadyum (V) miktarı.

Vanadyum miktarlarına bakıldığında, LPG ile kullanımda benzine göre daha fazla vanadyum aşınmasından bahsedebiliriz.

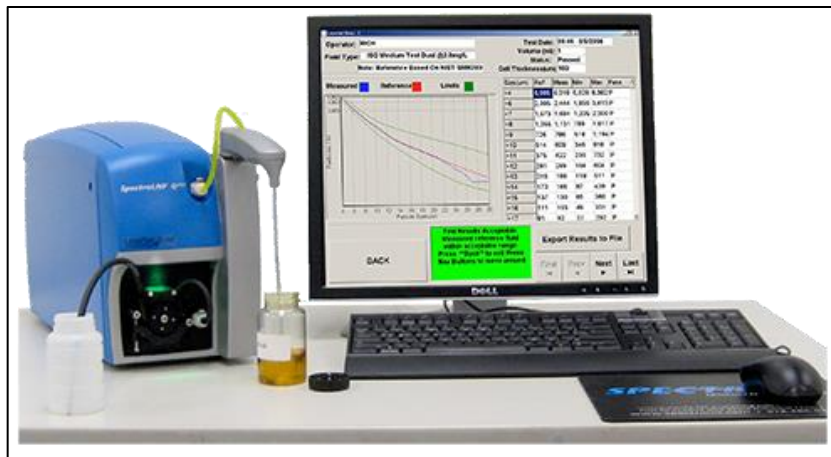


Şekil 5.28. Yağ içindeki mangan (Mn) miktarı.

Mangan miktarlarına bakıldığında, LPG ile kullanımda yaklaşık %40'lık bir artış görülmektedir. LPG kullanımının motordaki mangan içerikli parçalarda daha fazla aşınmaya sebep olduğunu söyleyebiliriz.

5.7. Partikül Sayımı Ve Sınıflandırılması

Partikül sayımı ve sınıflandırması Şekil 5.4.'te görülen "Spectro Scientific" firmasının "LNF Q200 Partikül Görüntüleme Cihazı" ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.29. LNF Q200 Partikül görüntüleme cihazı.

Cihaz sahip olduğu yüksek teknoloji ürünü lazer görüntüleme tekniği ve geniş kapsamlı analiz yazılımı ile hidrolik, motor, dişli ve yağlama yağlarında 4µm'den büyük partikülleri saymakta, şekillerini görüntülemekte ve otomatik olarak sınıflandırmaktadır.

Sistem, ISO 4406 (1999), NAS 1638, NAVAIR 01-1A-17, SAE AS 4059, HAL ve ASTM D6786 standartlarına uygun olarak partikül sayımı gerçekleştirmekte ve sonuçları bu standartlara uygun bir şekilde ekrana yansıtmaktadır.

Aynı zamanda ISO 15 - ISO 320 aralığındaki yağların 40°C'de dinamik viskozitesini ölçmekte ve yoğunluk hesabı ile kinematik viskozite değerini de göstermektedir. Cihaz ile boyutları 20 µm'den büyük bütün partiküller otomatik olarak kesme, sürtünme, yorulma, ametal, fiber ve serbest su olarak sınıflandırılmakta ve milyonda bir seviyesine kadar partiküllerin şekilleri görüntülenmektedir.

Yüksek teknoloji lazer sistemi ile çok kirli, yüksek isli, koyu ve opak numunelerin analizlerini, seyreltmeye gerek bırakmaksızın kolaylıkla gerçekleştirir. Cihaz, su damlacıklarının hesaplanmış hacminden yola çıkarak yağda bulunan serbest su yüzdesini, ayrıca kurum ve hava kabarcıklarının seviyesini de tespit etmektedir. Sistem 20µm'den büyük hava kabarcıklarını ve su damlacıklarını, partikül analiz sonuçlarından ayırmaktadır. Partiküllerin boyutları, tam otomatik bir şekilde sistem tarafından belirlenmekte ve ISO 4406 (>4µm, >6µm ve >14µm) veya NAS 1638 (5-15µm, 15-25µm, 25- 50µm, 50-100µm ve >100µm) kodlamasına göre kullanıcılara raporlamaktadır (<http://www.biolab.com.tr/TR,1436/partikul-sayici-otomatik-partikul-siniflandirici-ve-din-.html#icerik>).

Çalışmada ISO 4406 (1999), NAS 1638 ve NAVAIR 01-1A-17 standardı için üç numunede partikül sayımı gerçekleştirilmiş ve sınıflandırılmıştır. Çizelge 5.1, 5.2 ve 5.3'te partikül sayım sonuçları ve sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 5.1. ISO 4406 (1999) standardına göre partikül sayımı ve sınıflandırılması.

	Kullanılmamış motor yağı		Benzin ile kullanılmış aracın motor yağı (10 bin km'lik kullanım sonunda)		LPG ile kullanılmış aracın motor yağı (10 bin km'lik kullanım sonunda)	
Partikül boyutu	Sayı (part/1 ml)	Sınıf	Sayı (part/1 ml)	Sınıf	Sayı (part/1 ml)	Sınıf
> 4 µm	6.749,5	20	128.378,0	24	30.928,2	22
> 6 µm	1.216,3	17	3.914,3	19	2.738,7	19
>14 µm	75,5	13	3,6	9	15,4	11

Çizelge 5.1.'de "ISO 4406 (1999)" standardına göre partikül sayımı yapılmış ve sınıflandırılmıştır. Çizelgeye bakıldığında, 4 µm ve 6 µm'den büyük partikül sayımında LPG kullanımının motor yağında daha az kirliliğe sebebiyet verdiği, 14 µm ve üzeri büyüklükteki partikül sayımında ise benzin kullanımının daha az kirliliğe sebebiyet verdiği görülmektedir.

Çizelge 5.2. NAS 1638 standardına göre partikül sayımı ve sınıflandırılması.

	Kullanılmamış motor yağı		Benzin ile kullanılmış aracın motor yağı (10 bin km'lik kullanım sonunda)		LPG ile kullanılmış aracın motor yağı (10 bin km'lik kullanım sonunda)	
Partikül boyutu	Sayı (part/100 ml)	Sınıf	Sayı (part/100 ml)	Sınıf	Sayı (part/100 ml)	Sınıf
5-15 µm	114.076	9	391.072	11	272.330	11
15-25 µm	5.349	7	180	3	1.538	6
25-50 µm	1.730	8	180	5		00
50-100 µm	472	9		00		00
> 100 µm		00		00		00

Çizelge 5.2.'de "NAS 1638" standardına göre partikül sayımı yapılmış ve sınıflandırılmıştır. Çizelgeye bakıldığında, 5-15 µm arasında boyuta sahip partikül sayısı benzinli motorda daha yüksek olmasına rağmen sınıflandırmada benzin ve LPG kullanan motorların yağı kirlilik açısından aynı sınıfta yer almaktadır. 15-25 µm arasında büyüklüğe sahip partikül sayısı LPG'li motorda daha yüksektir. 25-50 µm arasında büyüklüğe sahip partikül sayısı LPG'li motorda hiç yokken benzinli motorda mevcuttur.

Çizelge 5.3. NAVAIR 01-1A-17 standardına göre partikül sayımı ve sınıflandırılması.

	Kullanılmamış motor yağı		Benzin ile kullanılmış aracın motorun yağı (10 bin km’lik kullanım sonunda)		LPG ile kullanılmış aracın motorun yağı (10 bin km’lik kullanım sonunda)	
Partikül boyutu	Sayı (part/100 ml)	Sınıf	Sayı (part/100 ml)	Sınıf	Sayı (part/100 ml)	Sınıf
5-10 µm	259.900	6	3.656.943	> 6	1.050.672	> 6
10-25 µm	24.069	6	5774	4	18.642	5
25-50 µm	1.101	5		0		0
50-100 µm	157	6		0		0
> 100 µm		0		0		0

Çizelge 5.3.’te “NAVAIR 01-1A-17” standardına göre partikül sayımı yapılmış ve sınıflandırılmıştır. Çizelgeye bakıldığında, 5-10 µm arasında boyuta sahip partikül sayısında benzin ile kullanımda daha yüksek değer görülürken, 10-25 µm arasında boyuta sahip partikül sayısında LPG ile kullanımda daha yüksek değer görülmektedir.

Çizelge 5.4.’te yağ içindeki partiküllerin aşınma çeşidine göre sayımı ve bunların çaplarına göre dağılımları görülmektedir. Sayımlar; kullanılmamış yağ, benzinle kullanılmış motorun yağı ve LPG ile kullanılmış motorun yağı olmak üzere üç numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılmış yağlar, 10.000 km’lik kullanım sonunda analiz edilmiştir.

Çizelge 5.4. Maksimum çap metodu ve aşınma türüne göre partikül sayımı.

Maksimum çap metodu		(part/ml)	max. (µm)	ort. (µm)	20-25 µm	25-50 µm	50-100 µm	> 100 µm
Kesme aşınması	Kullanılmamış motor yağı	11	34,8	25,6	4,7	6,3	0,0	0,0
	Benzin ile kullanılmış motor yağı	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	LPG ile kullanılmış motor yağı	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kayma aşınması	Kullanılmamış motor yağı	4,7	24,6	21,8	4,7	0,0	0,0	0,0
	Benzin ile kullanılmış motor yağı	3,6	22,5	21,5	3,6	0,0	0,0	0,0
	LPG ile kullanılmış motor yağı	7,7	22,7	21,1	7,7	0,0	0,0	0,0
Yorulma aşınması	Kullanılmamış motor yağı	12,6	36,2	27,1	4,7	0,0	0,0	0,0
	Benzin ile kullanılmış motor yağı	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	LPG ile kullanılmış motor yağı	3,1	23,5	22,0	3,1	0,0	0,0	0,0
Metal harici aşınma	Kullanılmamış motor yağı	26,7	73,6	36,0	9,4	12,6	4,7	0,0
	Benzin ile kullanılmış motor yağı	3,6	26,0	25,7	0,0	3,6	0,0	0,0
	LPG ile kullanılmış motor yağı	6,2	27,3	23,2	4,6	1,5	0,0	0,0
Sınıflandırılmamış aşınma	Kullanılmamış motor yağı	1,6	20,3	20,3	1,6	0,0	0,0	0,0
	Benzin ile kullanılmış motor yağı	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	LPG ile kullanılmış motor yağı	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Çizelgeye bakıldığında her üç numune içindeki partiküllerin aşınma çeşidi ve bunların çaplarına göre sınıflandırılması görülmektedir. Örnek olarak kayma aşınması ile oluşan partiküllere bakacak olursak; kullanılmamış motor yağımızda maksimum çapı 24,6 µm, ortalama çapları 21,8 olan partiküllerden mililitrede 4,7 adet bulunmaktadır. Benzin ile kullanılmış motorun yağında bu değerler; maksimum çap 22,5 µm, ortalama çap 21,5 µm ve mililitre içinde 3,6 adettir. LPG ile kullanılmış motorun yağında bu değerler; ortalama çap 22,7 µm, ortalama çap 21,1 µm ve mililitre içinde 7,7 adettir.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada; benzinli araçlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılan LPG'nin motor ömrüne pozitif veya negatif bir etkisinin olup olmadığı, kestirimci bakım yöntemlerinden olan “Yağ Analiz Tekniği” ile irdelenmiş ve elde edilen sayısal veriler grafik ve tablolar halinde ortaya konmuştur.

Çalışmada, birbiriyle aynı motora sahip, aynı marka ve model (Hyundai Accent Era) iki araçtan birisi ilk günden itibaren LPG ile diğeri orijinal yakıtı olan benzinle kullanılmıştır. Her iki araçta kullanılan motor yağı aynıdır. Bu araçların 10.000 km'lik kullanım sonunda motor yağ analizleri gerçekleştirilmiş ve kullanım öncesindeki verileri ile karşılaştırılmıştır.

Viskozite, yoğunluk, elementel analiz, yabancı partikül büyüklüğü, kirlilik sınıfı, TAN değeri, oksitleme değeri ve su miktarı gibi özellikler çalışmada dikkate alınan veriler olmuştur.

Ölçümler sonucunda;

Viskozite ve yoğunluk değerlerine bakıldığında, iki motor yağı arasında hissedilir bir değişim gözlenmemiştir. LPG kullanımının motor yağının viskozite ve yoğunluk değerlerine ekstra bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

TAN değerine bakıldığında, LPG ile çalışan motordaki değerin benzin ile çalışan motordaki değerden yaklaşık %22 daha düşük çıktığını görüyoruz. Bu da bize; LPG kullanımının, motor yağındaki oksitlenme değerine düşürücü bir etkisinin olduğunu ve dolayısıyla yağ içinde daha az asit oluşumuna sebebiyet vererek, motor yağının ömrüne pozitif bir katkı sağladığını söyleme imkanını sunar.

Oksidasyon değerlerine bakıldığında normal olarak TAN değerlerine benzer sonuçlar görülmüştür. LPG ile çalışan motordaki değerin benzin ile çalışan motordaki değerden yaklaşık %64 daha düşük çıktığı ve yağın bozulmasının bir nedeni olan oksidasyon oluşumunda LPG'nin benzine göre etkisinin daha az olduğunu söyleyebiliriz. Bu da motor yağı ve dolayısıyla motor ömrü için olumlu bir faktördür.

Su miktarlarına bakıldığında, motorda benzin veya LPG kullanımının, motor yağı içerisindeki su oluşumunda benzer özellik gösterdiği ve fark edilebilir bir değişiklik yaratmadığını görülmüştür.

Elementel analiz sonuçlarına bakıldığında; benzin ve LPG kullanımında, motor yağında bulunan kurşun, bakır, gümüş, silisyum, sodyum, kalsiyum, baryum, fosfor, çinko, titanyum ve vanadyum değerlerinde çok büyük farklılık gözlenmemiştir. Demir, krom, alüminyum, bor, magnezyum ve mangan değerlerinde ise; LPG kullanan motorun yağında motor üreticilerinin kabul ettiği sınır değerleri geçmemiş olsa bile bu elementlerin miktarlarında bariz bir yükseliş olduğu görülmüştür. Bu yükselme; benzin ile çalışan motora göre yaklaşık olarak demir için %51, krom için %96, alüminyum için %66, bor için %2238 (bu yüksek değerlerin sebebi motor yağına radyatör suyunun karışması olabilir), magnezyum için %80 ve mangan için %39'luk bir artışı ifade etmektedir. Analiz sonucunda kayda değer bir düşüş sadece nikel miktarında görülmüştür. Yağdaki nikel seviyelerine bakıldığında, LPG kullanan motorun yağında benzin kullanan motorun yağından %50 daha az nikel elementine rastlanmıştır. Elementel analiz sonuçlarındaki değişimler Çizelge 6.1.'de toplu halde görülmektedir.

Partikül analizi ve kirlilik sınıflarına baktığımızda, benzine göre LPG kullanımının motor yağında daha az bir kirlenmeye sebebiyet verdiği görülmüştür.

Sonuç olarak, otomobillerde LPG kullanımının motor yağlama yağı ve parçaları üzerine olumlu özelliklerinin olduğu gibi, özellikle elementel analiz sonuçlarına göre motor parçalarında az da olsa bir ilave aşınmaya sebebiyet verebileceği ancak bunun gene de kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını belirtmek gerekir.

Gelişen yağ teknolojisi ile beraber özellikle LPG ile çalışan motorlar için geliştirilen yağ ve katkı maddeleri sayesinde bu metal aşınmalarının da önüne geçilerek, LPG'nin benzinli motorlarda kullanımı daha güvenilir hale getirilebilir.

Çizelge 6.1. Elementel analiz sonuçlarındaki değişim.

Element	Kullanılmamış yağdaki miktarı (ppm)	Benzin ile 10.000 km kullanılmış motorun yağındaki miktar (ppm)	LPG ile 10.000 km kullanılmış motorun yağındaki miktar (ppm)	Benzinli kullanıma göre LPG ile kullanımdaki değişim (%)
Demir (Fe)	0,73	47,85	72,27	51 (+)
Krom (Cr)	0,16	1,92	3,76	95,8 (+)
Kurşun (Pb)	4,39	3,21	3,70	15,3 (+)
Bakır (Cu)	0,34	22,38	25,99	16,1 (+)
Alüminyum (Al)	0	6,10	10,10	65,6 (+)
Niker (Ni)	0	0,46	0,23	50 (-)
Gümüş (Ag)	0,13	0,19	0,19	0
Silisyum (Si)	8,94	29,32	21,72	25,9 (-)
Bor (B)	0,78	1,04	24,32	2238,5 (+)
Sodyum (Na)	4,08	18,95	17,36	8,4 (-)
Magnezyum (Mg)	11,16	11,47	20,69	80,4 (+)
Kalsiyum (Ca)	3995	2950	2406	18,4 (-)
Baryum (Ba)	0,35	5,14	6,65	29,4 (+)
Fosfor (P)	1405	1128	1097	2,7 (-)
Çinko (Zn)	1466	1130	1141	1 (+)
Titanyum (Ti)	0,17	0,36	0,40	11,1 (+)
Vanadyum (V)	0,63	0,70	0,80	14,3 (+)
Mangan (Mn)	1,37	7,60	10,61	39,6 (+)

6.2. Tartışma

Bu çalışma, literatürde otomotiv sektöründe LPG kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalara yeni bir boyut kazandırmış; daha evvel üzerinde yoğunlaşılan performans, tasarruf ve çevrecilik gibi konulardan farklı olarak motor yağı analizi ile yağ içinde oluşan değişiklikler irdelenmiş ve LPG kullanımının motor yağı içinde benzin kullanımına göre ne gibi değişikliklere sebebiyet verdiği araştırılmıştır.

Çalışmada otomobillerin kullanım şartlarındaki farklılık ve kullanıcı tercihleri gibi özellikler göz ardı edilmiştir. Aynı kullanım şartlarında ve aynı kullanıcı ile yapılacak olan çalışmada daha doğru sonuçlara ulaşılması mümkündür. Hatta çalışmanın laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi, en güvenilir sonuçlara ulaşmada tercih edilmesi gereken yöntem olarak gözükmektedir.

Çalışmamızda 10.000 km'lik kullanım sonunda alınan yağ örnekleri ile yağın ilk andaki değerleri mukayese edilmiştir. Daha sonraki kullanımlarda da ölçümler yapılması çalışmanın daha verimli bir hale gelmesini sağlayabilirdi. Ancak zaman vb. faktörler dolayısıyla 10.000 km'lik kullanım yeterli görülmüştür. Çalışmanın daha uzun kullanım sürelerince yapılması, LPG kullanımının benzine göre motor üzerindeki etkisini daha net olarak ortaya koyacaktır.

Her ne kadar yağ analiz yöntemi ile motorun durumu hakkında belirli bir bilgiye sahip olsak da özellikle yanma odasındaki değişimler ve subapların durumu hakkında bilgi edinmemiz mümkün olmamaktadır. Özellikle Euro 5 standardına uygun olarak üretilen motorlarla birlikte kullanımına başlanan hafif metal alaşımlı (magnezyum vb.) subapların, LPG kullanımında gösterdikleri davranış ayrı bir inceleme konusudur. Çelik subaplara göre daha düşük erime sıcaklığına sahip olan yeni nesil subapların LPG kullanımındaki dezavantajlarının giderilmesi konu ile alakalı yeni çalışma alanları oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Acar, G., (2014), Otomotiv sektöründe kullanılan kestirimci bakım yöntemleri ve uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran, s.5.

ASM Handbook Committee, Failure analysis and Prevention, Metals Handbook Eighth Edition, Volume 10.

Balki, M. K., (2005), Buji ateşlemeli motorda farklı sıkıştırma oranlarında LPG kullanımının performans ve emisyonlara etkisi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran, s.13.

Balki, M. K., (2005), Buji ateşlemeli motorda farklı sıkıştırma oranlarında LPG kullanımının performans ve emisyonlara etkisi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran.

Bayındır, H., İlkılıç, C. ve Sarsılmaz, C., (1997), Yerli otomobillerde LPG kullanımı. 1. Uluslararası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi, Adana, s.92-93.

Bayraktar, H. ve Durgun, O., (2004), Investigating the effects of LPG on spark ignition engine combustion and performance, Energy Conversion and Management, Cilt, 46, Sayı:13-14, s. 2317-2333.

Bielaczyc, P., Szczotka, A., Brodzinski, H., (2001), “Analysis of the exhaust emissions from vehicles fuelled with petrol or LPG and CNG alternatively”, Journal of Kones Combustion Engines, 1-2, 363-370.

Can, İ., (2009), LPG ile çalışan benzinli bir motora kademeli dolgu yapılmasının performans üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aralık.

Caton, J. A., McDermott, M., Chona, R., (1997), Development of a Dedicated LPG-Fueled Spark-Ignition Engine and Vehicle for the 1996 Propane Vehicle Challenge, SAE Technical Paper No. 972692.

CHEVRON Inc., (1996), Motor gasolines technical review (FTR-1), Chevron Products Company, Chevron USA Inc., USA.

Çalık, A. T., Arslan, H., Soruşbay, C., (1999), Benzin motorlu taşıtlarda LPG kullanımının egzoz gazları emisyonuna etkisi, LPG ve Uygulamaları Konferansı, İstanbul, 24 Eylül, s. 67-75.

Denli, H. B., (2007), Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 3-4, 17-20.

Dinler, N. ve Yücel, N., (2002), Benzin ve LPG kullanılarak iki farklı motorun egzoz emisyon davranışlarının deneysel incelenmesi, 7. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu, Ankara, s.242-243.

Durgun, O., (1988), Motorlarda petrol yerine kullanılabilecek yakıtlar, Mühendis ve Makina, 336, s. 24-26.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Ergeneman, M., Soruşbay, C., (1996), Benzin motorlu taşıtların LPG kullanımına dönüşümü, Mühendis ve Makina, 441, s. 25-30.

Girdhar, P. ve Scheffer, (2004), Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance, Queen's University Mechanical Engineer Course Notes, USA.

Gökalp, B., Saraç, H. İ., Çelik, C., (2007), Yağ analiz programı ile aşınmaya bağlı hasar analizi, 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, 7-9 Kasım 2007, İstanbul.

<http://www.anton-paar.com/?eID=documentsDownload&document=55664&L=17>,

<http://www.biolab.com.tr/TR,1392/genel-bakis.html#icerik>,

<http://www.biolab.com.tr/TR,1425/kullanilmis-yaglarda-molekuler-analiz---ft-ir-fourier-t-.html#icerik>,

<http://www.biolab.com.tr/TR,1436/partikul-sayici-otomatik-partikul-siniflandirici-ve-din-.html#icerik>,

<http://www.biolab.com.tr/TR,1532/biolab-cou-lo-su-kf.html#icerik>,

<http://www.biolab.com.tr/TR,23465/q300.html#icerik>,

<http://www.cot.com.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAAF6AA849816B2EF212362B84F7B7B76> ,

<http://www.docdatabase.net/more-international-particle-count-standards-nas-1638-national--959180.html>,

http://www.hydrotech-bg.com/common/d_images/src/file/PDF/MP-Filtri/200.059.pdf,

<http://www.ismakinalari.org.tr/tr/article.asp?id=182>,

<http://www.lubes-n-filters.com/synthetics/oil-analysis/oil-analysis3.html>,

http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/65c97e2bd1eecbc_ek.pdf,

http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/70f242d4bc85198_ek.pdf,

<http://www.navybmr.com/study%20material/NAVAIR%2001-1A-17.pdf>,

<http://www.parker.com/literature/Hydraulic%20Filter/ConMon/Guide%20to%20Contamination%20Standards.pdf>,

http://www.practicingoilanalysis.com/article_detail.asp?articleid=78.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

<http://www.precisionfiltration.com/products/iso-4406-cleanliness-code.asp>,

<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18765>,

http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/Bus%20Sch-op-maint_101.pdf.

Kadırgan, N., (1999), Sıvılaştırılmış petrol gazları üzerine temel bilgiler, LPG ve Uygulamaları Konferansı, İstanbul, 24 Eylül, s.9.

Kaleli, H., (2008), İçten yanmalı motorlarda aşınma, yağlama ve soğutma, Lisans Dersi Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Fakültesi s. 39-44.

Kalyoncu, M., (2006), Titreşim analizi ile makine elemanları arızalarının belirlenmesi, Mühendis ve Makina 47 (552), s. 28-35.

Karamangil, M.I., (2007), “Development of the auto gas and LPG-powered vehicle sector in Turkey: A statistical case study of the sector for Bursa”, Energy Policy, 35, 640-649

Kart, A., (2009), LPG ile çalışan bir benzin motorunda ekserji analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz.

Kirazlılar, B., (2007), Endüstriyel bakım, kestirimci ve önleyici bakımın temelleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, s. 137.

Kocagöz, S., (2009), Çift yakıtlı (LPG-Benzin) buji ateşlemeli bir motorda hacimsel verimin performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Köse, R. K., (2005), Kestirimci bakım, 2. Bakım Teknolojileri Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No E/2005/370, Ankara, s. 95-104.

Kurt, E., (2012), Kestirimci bakım yöntemi kullanılarak egsoz fanında arıza teşhisi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat 2012

Murillo, S., Míguez, J. L., Porteiro, J. López González, L. M., Granada, E. ve Morán, J. C., (2005), Pollutant emission and performance enhancement for spark-ignition four strokes outboard engines, Applied Thermal Engineering, Cilt:25, Sayı:13, s.1882-1893.

Orhan, A., (2009), Yağ analiz yöntemiyle yapılan kestirimci bakımda motor arızalarının tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 11-18.

Örücü, K., (1999), Araçlarda alternatif yakıt olarak LPG kullanımı, LPG ve Uygulamaları Konferansı, İstanbul, 24 Eylül, s. 14-22.

Price, P., Guo, S., Hirschmann, M., (2004), “Performance of an evaporator for an LPG powered vehicle”, Applied Thermal Engineering, 24, 1179–1194.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Safgönül, B., Ergenman, M., Arslan, H. E., Soruşbay, C., (1995), İçten yanmalı motorlar, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Sayın, C., (2004), Oktan sayısı ve LPG karışımının buji ateşlemeli bir motorun performans ve emisyonuna etkisinin deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2004, s.14

Sayın, C., Çanakçı, M., Kılıçaslan, İ., Özsezen, N., (2005), “Benzinli bir motorda benzin+LPG kullanımının performans ve emisyonlara etkisi”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21 1-2, 117-127.

Sierens, R., (1992), Experimental and theoretical study of liquid LPG injection, SAE Paper 922363, Warrendale PA, U.S.A.

SKF TÜRK 2010. İş ve Teknoloji Dergisi 35, s. 20-30.

Smith, W. J., Timoney, D. J., Lync, D. P., (1997), Emissions and efficiency comparison of gasoline and LPG fuels in a 1.4 litre passenger Car Engine, SAE Paper, 972970, 1-10.

Uğurlu, A., (2008), “Taşıt LPG dönüşüm regülatörlerindeki soğuk çalıştırma probleminin çözümünde faz değiştiren malzemelerin (PCM) uygulanması”, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 5-17.

Wu, D. Y., Matthews, R. D., (1996), Part 3-off Cycle Emissions of Light Duty Vehicles Operating on CNG, LPG, Texas Project, Federal Faz 1 Reformulated Gasolineand Low Certification Gasoline, SAE Paper, v.1208, Warrendale PA, U.S.A.

Yücel S. (2009), Otomotiv endüstrisinde kullanılan kestirimci bakım uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2009, s.5.