



UÇAK BAKIMINDA FERROGRAFİK AŞINMA ANALİZ TEKNİKLERİ

A. Akile TANATMIŞ

Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu İki Eylül Kampüsü, Eskişehir, TÜRKİYE

ÖZET

Ferrografi, yağlama yağları, hidrolik yağlar ve greslerden aşınma parçacıklarını manyetik olarak ayıran koruyucu bir bakım tekniğidir. Bu teknik, 1970 yılında askeri jet motorlarının aşınma durumunu izlemek için geliştirilmiştir ve yağlama yağlarındaki manyetik parçacıkların analizi için kullanılmıştır. Günümüzde ferrografi aşınma parçacıklarının sadece boyutlarını, şeklini ve cinsini belirlemede kullanılmaz; aynı zamanda aşınmanın tipini belirlemede de kullanılır. Ferrografi bir makinenin veya motorun yağlanan elemanlarının durumu hakkında önemli bilgiler sağlayabilir. Aşınma parçacıklarının değerlendirilmesinde üç tip ferrografi tekniği kullanılır. Bunlar, direkt okumalı (DR) ferrografi, analitik ferrografi (AF) ve döner parçacık toplayıcı (RPD) ferrografisidir.

Bu çalışmada ferrografik analiz teknikleri ve ferrografinin aşınma parçacıklarının analizindeki rolü incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Aşınma analizi, Ferrografi, Yağ analizi, Koruyucu bakım.

FERROGRAPHIC WEAR ANALYSIS TECHNIQUES IN AIRCRAFT MAINTENANCE

ABSTRACT

Ferrography is a predictive technique to magnetically separate wear particles from lubricant oils, hydraulic oils and greases. This technique was developed for monitoring the wear condition of military jet engines in the 1970's and it was used for the analysis of the magnetic particles in lubricating oils. Today, ferrography is not only used to determine the size, shape, and type of wear particles, but also to determine the type of wear. Ferrography can provide important information about the condition of a machine's or engine's lubricated components. Three types of ferrographic techniques are used to evaluate the wear particles. These are the direct reading (DR) ferrography, the analytical ferrography (AF) and rotary particle depositor (RPD) ferrography.

In this study, ferrographic analysis techniques and the role of ferrography in wear particle analysis were investigated.

Keywords: Wear analysis, Ferrography, Oil analysis, Predictive maintenance.

1. GİRİŞ

Günümüzde yağlardaki aşınma parçacıklarının tespitinde kullanılan yağ analiz teknikleri, spektrometrik yağ analiz programları (SOAP), manyetik tapa/dedektörler, parçacık sayma (PI), mikroskopik parçacık tayini (MPE) ve ferrografidir [1].

Parçacık sayma ve sınıflandırma tekniklerinin anormal aşınma durumlarını tespit edememesi nedeni ile uçak bakımında yaygın olarak spektrometrik yağ analizleri kullanılmaktadır. Ancak, spektrometrelerin ölçebileceği parçacık boyutları sınırlı olduğundan, ani olarak gelişen arızalarda etkili değildir. Spektrometrik yağ analizleri ile belirlenemeyen aşınma durumlarının izlenmesinde ise ferrografik analiz tekniklerinden yararlanılmaktadır [1].

Ferrografi tekniği, 1970 yılının başlarında Amerika Birleşik Devletlerinde askeri jet motorlarında ani olarak gelişen hasarları önlemek amacı ile Vernon C. Westcott tarafından geliştirilmiştir [1-5]. Günümüzde ferrografi bir çok endüstriyel uygulamada da başarılı ve güvenilir bir şekilde uygulanabilen koruyucu bakım tekniklerinden birisidir [5-8].

Ferrografi, yağlama yağları, hidrolik yağlar ve greslerden aşınma parçacıklarını manyetik olarak ayıran bir analiz tekniğidir [7,9]. Bu teknik ile aşınma parçacıklarının sadece boyutları, şekli ve cinsi belirlenmez; aynı zamanda aşınmanın nedeni de (sürtünme aşınması vb.) belirlenebilir [1,9,10].

Ferrografik analizlerde yaygın olarak iki teknik kullanılır. Bunlar, direkt okumalı (DR) ferrografi (manyetik yoğunluk ölçümü) ve analitik ferrografi (AF) teknikleridir [11,12]. Bunların dışında alternatif olarak geliştirilen bir başka analiz tekniği de döner parçacık toplayıcı (RPD) ferrografisidir [13,14].

2. FERROGRAFİK ANALİZ TEKNİKLERİ

2.1. Direkt Okumalı (DR) Ferrografi

DR ferrografi, yağlama yağları veya hidrolik yağlardaki manyetik parçacıkların yoğunluğunu ölçmek için kullanılan bir tekniktir [1,5,6]. Şekil 1’de DR ferrografi cihazı görülmektedir. Bu cihaz greslerin analizinde kullanılmaz ve manyetik olmayan parçacıklarla ilgili aşınma problemlerini tespit edemez [9,15].

DR ferrografi tekniği veya manyetik yoğunluk ölçümleri büyük dişli kutularına ve aşınma mekanizmaları büyük miktarda manyetik parçacık üretme eğiliminde olan diğer sistemlere rutin olarak uygulanabilir [15]. Bu analizde kullanılan cihazlar taşınabilir ve teknik olmayan personel tarafından kolaylıkla kullanılabilir [5].

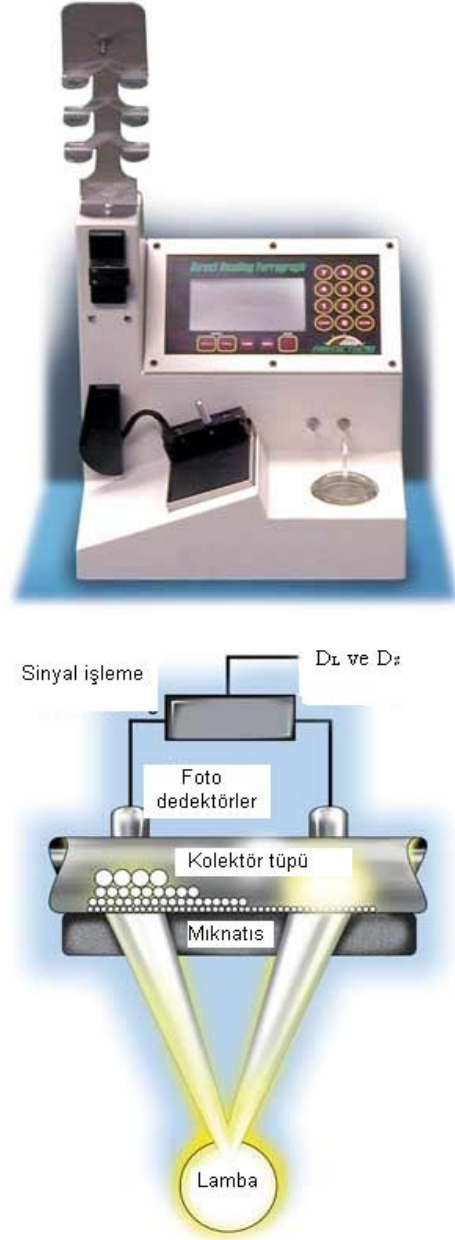
Analizlerde inceltirilmiş yağ numunesi bir miknatis üzerinde bulunan cam bir kolektör tüpünden akıtılarak parçacıkların ayırımı ve ölçümü yapılır. Yağdaki büyük parçacıklar miknatis tarafından kuvvetle çekilir ve tüpün girişinde birikirler. Küçük parçacıklar ise zayıf bir şekilde çekilirler ve tüp boyunca çökelmiş durumda birikirler. Cam tüp iki fiber optik kablodan gönderilen ışığa maruz bırakılır. Böylece iri ve küçük parçacıkların yoğunluğu belirlenir [5,8,12].

Boyutları 5 µm’ den daha büyük parçacıkların yoğunluğu D_L , 5 µm’ den küçük parçacıkların yoğunluğu ise D_S ile ifade edilir [8,9,12,15]. Boyutları 3 µm’ den küçük parçacıklar sistemde korozyonun varlığını göstermektedir [12]. Numune hacmi V olmak üzere, sistemin aşınma eğilimini parçacıkların konsantrasyonu (WPC) ile belirlemek mümkündür [5,8,15].

$$WPC = \frac{D_L + D_S}{V} \quad (1)$$

Büyüklüğü 10 µm’ den büyük parçacıkların varlığı ise genellikle anormal bir aşınma durumunu göstermektedir. Bu nedenle büyük parçacıkların yüzdesi de (PLP) hesaplanır [8,15].

$$PLP = \frac{D_L - D_S}{D_L + D_S} \quad (2)$$



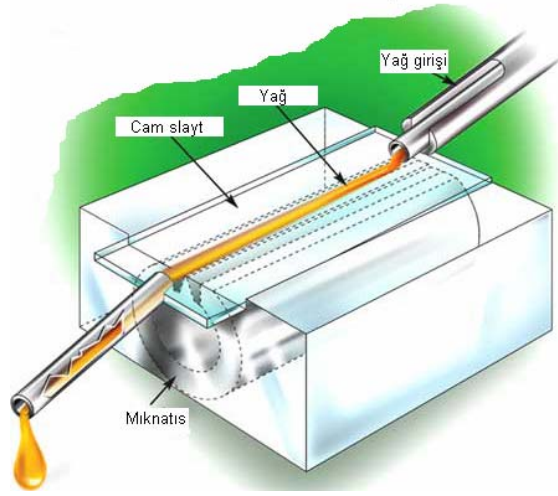
Şekil 1. DR ferrografi cihazı [15].

Analizlerin sonucunda anormal bir aşınma eğiliminin ortaya çıkması durumunda daha detaylı bir teknik olan analitik ferrografi tekniği uygulanır [5,6,12].

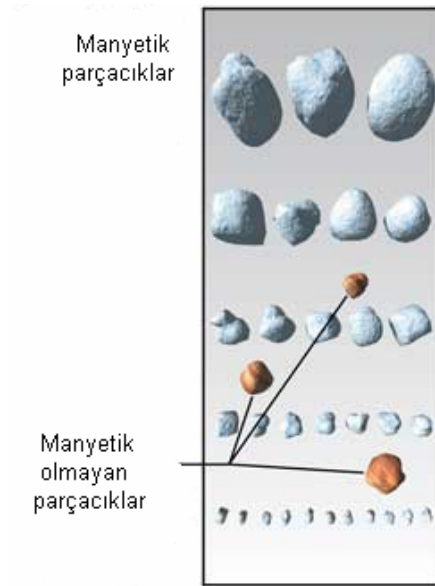
2.2. Analitik Ferrografi (AF)

Analitik ferrografi günümüzde aşınma parçacıklarının analizi için en güçlü ve en etkili teknikler arasındadır [16,17]. Şekil 2' de analitik ferrograf cihazı görülmektedir. Bu yöntem yağ numunesinde bulunan aşınma parçacıklarının görsel olarak izlenmesine imkan vermektedir [1,12]. Yağ numunesi inceltilerek cam bir slayt (ferrogram) üzerinden geçirilir. Slayt bir manyetik plaka (mıknatis) üzerindedir ve mıknatis yağ içindeki manyetik parçacıkları çeker [1,12,17].

Analitik ferrografi ile bakır gibi manyetik olmayan pek çok parçacık ferrogram boyunca rasgele yayıldıklarından kolaylıkla belirlenebilir [1,12,17,18]. Şekil 3' de bu parçacıklar görülmektedir.



Şekil 2. Analitik ferrografi cihazı [16].



Şekil 3. Bir ferrogramda manyetik olmayan parçacıklar [17].

Yağ numunesinin alındığı sistemdeki mevcut aşınma parçacıklarının adeta bir fotoğrafını oluşturan ferrogram, bir ferroskop altında incelenir. Ferroskop, bikromatik bir mikroskoptur [12,17]. Bu mikroskop biyolojik ve metalürjik mikroskopların özelliklerini taşımaktadır [5,17]. Yeşil, kırmızı ve polarize filtreler kullanılarak organik ve şeffaf parçacıklar da tespit edilebilmektedir. Yüksek oranda büyütülen parçacıklar kolaylıkla belirlenebilir ve morfolojik özelliklerine göre (boyut, biçim, renk, yüzey yapısı vb.) sınıflandırılırlar [1,9]. Tecrübeli bir analizci aşınmanın tipini de (sürtünme aşınması gibi) tespit edebilir.

Aşınma parçacıklarını farklı kategorilerde incelemek mümkündür [17]. Bunlar manyetik olmayan beyaz metaller (alüminyum, krom), bakır, yatak metalleri (kalay, kurşun), kirlenici maddeler (kum vb.), fiberler ve manyetik aşınma parçacıkları (yüksek alaşımlı çelikler, düşük alaşımlı çelikler, dökme demir, koyu metal oksitler, kırmızı oksitler) şeklindedir. Parçacıkların cinsinin belirlenebilmesi için slayda yaklaşık 316 °C sıcaklıkta iki dakika bekletilmek sureti ile ısı işlem uygulanır. Bu işlem sonucunda parçacıkların özellikleri şu şekilde değişmektedir [17]:

Beyaz metaller: Bu parçacıklar ısı işleminden önce ve sonra da parlak beyaz renktedirler.

Bakır: Isıl işleminden önce ve sonra da parlak sarı renkte görünürler.

Yatak metalleri: Isıl işlem öncesinde ve sonrasında gri renkte görünürler. Ancak, ısı işleminden sonra boyutları azalma eğilimindedir.

Kirlenici maddeler (kum gibi): Beyaz kristaller şeklindedirler ve ısı işlemle değişmezler.

Fiberler: Filtrelerden ya da sızdırmazlık elemanlarından kaynaklanan kirlenicilerdir. Uzun şeritler halinde ve çeşitli renklerde görünürler.

Yüksek alaşımlı çelikler: Isıl işlem öncesinde ve sonrasında gri-beyaz renkte görünürler. Slayt üzerinde düzenli bir şekilde zincir gibi yayıldıklarından beyaz metallere kolaylıkla ayırt edilebilirler.

Düşük alaşımlı çelikler: Isıl işlem öncesinde gri-beyaz görünümündedirler. Isıl işlem sonrasında ise genellikle mavi, bazen de pembe veya kırmızı bir renk alırlar.

Dökme demir: Isıl işlem öncesinde gri, sonrasında ise saman sarısı renktedirler.

Koyu metal oksitler: Isıl işleminden önce ve sonra da koyu gri renktedirler. Oksidasyon derecesi arttıkça renkleri siyahlaşır.

Kırmızı oksitler: Polarize ışık kolaylıkla tespit edilmelerini sağlar. Bol miktardaki küçük kırmızı oksitler korozyon aşınmasının bir göstergesidir ve kum gibi görünürler.

2.3. Döner Parçacık Toplayıcı (RPD) Ferrografisi

RPD ferrografisi, İngiltere'deki Swensea Üniversitesinin triboloji merkezinde geliştirilmiş bir tekniktir [13,14]. Bu yöntemde az miktardaki bir yağ numunesi döner bir slaytta toplanır ve parçacıklar manyetik alan tarafından ayırt edilir. Özellikle spektrometrik yağ analizi sonuçlarında yüksek oranda demir, krom, nikel ve manganez tespit edildiğinde uygulanan bu teknik ile yağlama yağları, hidrolik yağlar ve greslerin analizi mümkündür [13].

Analizlerde yağ numunesi bir pipetle alınır ve döner bir cam slaydın merkezine yavaşça akıtılır. Slaydın altında iki tane yuvarlak mıknatıs vardır. Yağ slayda akarken önce büyük, sonra küçük manyetik parçacıklar birikir. Slayt daha sonra bir çözücü ile yıkanır ve güçlü bir mikroskopla incelenir. RPD ferrografisinin diğer ticari ferrografi tekniklerine göre en önemli avantajları ise şunlardır [13]:

1. Daha ucuz ve hızlıdır.
2. Numune pompa ile alınmadığından iri parçacıkların parçalanma riski ortadan kalkar.
3. Aşınma parçacıklarının yağdan ayrılmasında daha etkilidir.

3. AŞINMA PARÇACIKLARININ ANALİZİNDE FERROGRAFİNİN ROLÜ

Yağlama yağındaki aşınmış metal parçacıklarının analizi, numunenin alındığı sistemdeki aşınma durumu hakkında önemli bilgiler içerir. Böylece aşınma seviyesi yükselen elemanların büyük bir arızaya neden olmadan tespit edilmesi etkili bir koruyucu bakım sağlamaktadır [1,19-21].

Aşınma durumunun izlenmesinde yaygın olarak kullanılan analiz teknikleri, spektrometrik yağ analiz programları (SOAP), parçacık sayma (PI), manyetik tapa ve dedektörler, mikroskopik parçacık tayini (MPE) ve ferrografidir [1]. Günümüzde uçaklar faaliyette iken aşınma durumlarını belirlemek ve ciddi arızalara neden olmadan uygun zamanda bakımlarının yapılmasını sağlamak için geliştirilen yöntemler arasında yağ analiz tekniklerinin önemli bir yeri vardır. Ancak, bu analizlerin her biri belirli bir boyut aralığındaki parçacıklar için duyarlıdır [1,4]. Tablo 1’ de bu tekniklerden bazılarının etkili olduğu boyut aralıkları verilmiştir.

Anormal aşınma durumlarının belirlenmesinde tüm parçacık sayma ve sınıflandırma tekniklerinden elde edilen veriler yetersiz kalmaktadır [1,22]. Bu durumda parçacıkların bileşimini veya metalürjisini de belirleyen analizler gerekmektedir. Bu analizler çok pahalı oldukları için ticari laboratuvarlarda nadiren tercih edilirler. Parçacık kirlenmesinin kaynağı hakkında bilgi elde edebilecekleri spektrometrik yağ analizlerini ise rutin olarak uygularlar [22]. Ancak, spektrometrik yağ analizleri tablo 1’den de görüldüğü gibi 10 μm ’ den büyük parçacıkları tespit edemez ve sistemde yağın az olması nedeni ile veya çok hızlı gelişen arızalarda etkili değildir [1,3,21].

Tablo 1. Aşınma parçacıklarının analizinde kullanılan farklı yöntemlerin etkinlikleri [1,4].

METOT	BS (μm)	MB	BDB	Mr
Spektrometrik yağ analizleri	<10	X	-	-
Partikül sayma	1-150	X	X	-
Manyetik tapa	100-1000	X	X	X
Ferrografi	1-100	X	X	X

BS: Boyut Sınırı MB: Miktar Belirleyebilme
BD: Boyut Dağılımı (iri/küçük) Belirleyebilme Mr: Morfoloji

Ferrografi tekniği, spektrometrik yağ analizleri ile belirlenemeyen aşınma durumlarının izlenmesinde başarı ile uygulanmakta olan bir tekniktir ve SOAP ile birlikte kullanıldığında bir sistemin aşınma durumunu açık bir şekilde ortaya koyar [1,12,13].

Aşağıda ferrografi ile belirlenebilecek aşınma mekanizmaları ve aşınma parçacıklarının karakteristikleri verilmiştir [5,7,16]:

a. Normal sürtünme aşınması

Aşınma mekanizması: Normal kayma aşınması, pullanma.

Parçacık şekli ve boyutları: Düzgün plakalar şeklinde, 0.5 μm ile 5 μm .

b. Anormal kayma aşınması

Aşınma mekanizması: Aşırı yüklenme ve hızlar, parçacıkların üzerinde paralel küçük çizgiler (şekil 4).

Parçacık şekli ve boyutları: İri plakalar şeklinde, 15 μm ile 100 μm .

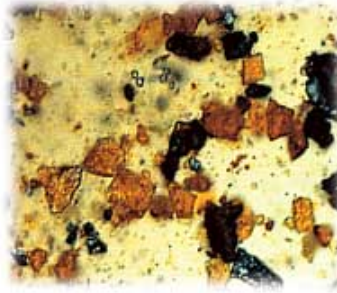


Şekil 4. Bir ferrogramda anormal kayma aşınması [16].

c. Anormal kayma aşınmasında oluşan kırmızı oksitler

Aşınma mekanizması: Nem, pullanma korozyonu (şekil 5).

Parçacık şekli ve boyutları: 5 μm ile 50μm.



Şekil 5. Kırmızı oksitler [15].

d. Anormal kayma aşınmasında oluşan siyah oksitler

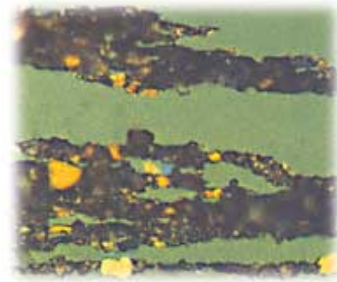
Aşınma mekanizması: Yüksek sıcaklık.

Parçacık şekli ve boyutları: Çakıl taşı gibi iri parçacıklar, 5 μm ile 50 μm.

e. Anormal kayma aşınmasında oluşan koyu metal oksitler

Aşınma mekanizması: Oksitlenmiş demir aşınması (şekil 6).

Parçacık şekli ve boyutları: Aşınmanın gelişimine göre farklı boyutlarda.



Şekil 6. Koyu metal oksitler [15].

f. Aşındırıcı aşınma (kesme aşınması)

Aşınma mekanizması: Çok sert parçacıklar (kum gibi) nedeni ile oluşan aşınma.

Parçacık şekli ve boyutları: Uzun şeritler, 2 μm -5 μm genişliğinde ve 25 μm -100 μm uzunluğunda (şekil 7).



Şekil 7. Kesme aşınması [15].

g. Aşındırıcı aşınma (kesme aşınması)

Aşınma mekanizması: Yumuşak yüzeyin sert yüzeye aşındırılması, kayma aşınması,

Parçacık şekli ve boyutları: Uzun şeritler, 0.25 μm -5 μm genişliğinde ve 5 μm -25 μm uzunluğunda.

h. Yorulma aşınması

Aşınma mekanizması: Çevrimsel yükleme, yüzey altında yorulma (şekil 8).

Parçacık şekli ve boyutları: Kıymık şeklinde, 10 μm -100 μm ; düzgün plakalar şeklinde, 20 μm -50 μm .



Şekil 8. Düzgün plaka şeklinde yorulma aşınması [16].

i. Yataklarda yorulma aşınması

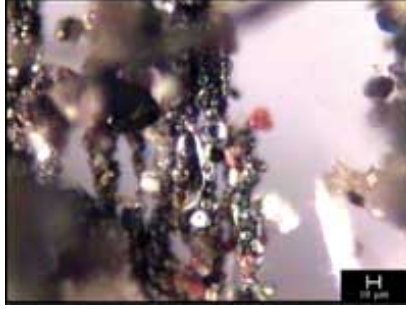
Aşınma mekanizması: Çevrimsel yükleme, yuvarlanma teması, yüzeyde veya yüzey altında yorulma.

Parçacık şekli ve boyutları: Küresel parçacıklar, 0.5 μm ile 5 μm .

i. Küresel parçacıklar (yorulma aşınması ile ilgisi olmayan)

Aşınma mekanizması: Kavitasyon erozyonu, elektrik deşarjı, kaynak.

Parçacık şekli ve boyutları: Küresel parçacıklar, 5 µm ile 15 µm (şekil 9).

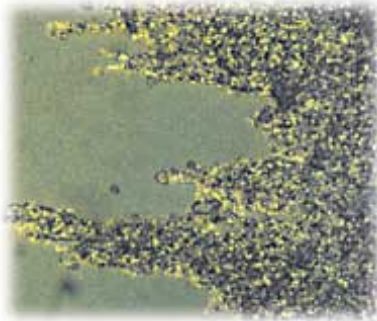


Şekil 9. Küresel parçacıklar [16].

j. Korozyon aşınması

Aşınma mekanizması: Oksidasyon, asidik ortamlar.

Parçacık şekli ve boyutları: Tortu, 0.1 µm ile 1 µm (şekil 10).



Şekil 10. Korozyon aşınması [15].

4. SONUÇ

Yağlardaki aşınma parçacıklarının tespitinde pek çok yöntem kullanılmaktadır. Bu teknikler ile uçaklarda yağ dolaşan sistemlerin aşınma durumlarının izlenmesi uçuş emniyetini arttırmakta; onarım ve revizyon maliyetlerini ise azaltmaktadır. Bu alanda özellikle en güvenilir ve en etkili koruyucu bakım tekniklerinden biri de ferrografidir.

Ferrografik analizler zaman ve maliyet açısından pahalı olduğundan nadiren uygulanırlar. Ancak, aşınma durumlarının izlenmesinde yaygın olarak kullanılan spektrometrik yağ analizlerinin ferrografi ile desteklenmesi, özellikle uçak bakımı açısından önemli ve doğru bilgilere ulaşılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Tanatmış, A. A., Uçak Bakımında Yağ Analiz Yöntemleri, Kayseri VI. Havacılık Sempozyumu, Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık Y. O., TOBB-ETÜ Mühendislik Fak., Kayseri, 577-581, 2006.
2. Hansen, T., A Tribute to Vernon C. Westcott, Inventor of the Ferrograph, Oil Analysis and Lubrication Learning Center, Noria Corporation, <http://www.noria.com>, 2006.
3. Yıldırım, A. A., Spektromerik Yağ Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, A. Ü. Fen Bil. Enstitüsü, Eskişehir, 77s., 1988.
4. Roylance, B. J., Ferrography-Then and Now, Tribology International 38, 857-862, 2005.
5. Lovicz, R. and Dalley, R., Wear Particle Analysis-A Predictive Maintenance Tool, The Predictive Maintenance Technology Conference 2005, Atlanta Georgia, <http://www.reliabilityweb.com>, 2006.
6. Dalley, R. J., An Overview of Ferrography and Its Use in Maintenance, Predictive Maintenance Seminar, 16p., 1991.
7. Ferrographic Analysis, Technical Information Bulletin, The Whitmore Manufacturing Company, 3p., 1997.
8. Morovek, L., Ferrography-Modern Maintenance Tool, Rock Products, 5p., 2001.
9. Aeronautical Equipment Wear Metal Analytical Methodology, Joint Oil Analysis Program Manuel Volume III, Section II, Naval Air Systems Command, 7p., 2004.
10. Kilbane, P., Look at Your Motors' Lubricant, EC&M Electrical Construction and Maintenance, 00134260, Vol. 97, Issue 9, 4p., 1998.
11. Oil Analysis Theory and Benefits, Joint Oil Analysis Program Manuel Volume I, Section II, Naval Air Systems Command, 8p., 2004.
12. Quesnel, B., Direct-Reading and Analytical Ferrography, WearCheck Canada, 2p., 1995.
13. Evans, J. S., What is RPD Ferrography?, WearCheck Africa-Technical Bulletin, Issue 11, 5p., 1997.
14. Evans, J. S., Debris Analysis, WearCheck Africa-Technical Bulletin, Issue 16, 6p., 2002.
15. Barnes, M. Wear Analysis, Oil Analysis and Lubrication Learning Center, Noria Corporation, <http://www.noria.com>, 2006.
16. Raadni, S., Low-cost Used Grease Analysis for rolling Elements Bearings, Oil Analysis and Lubrication Learning Center, Noria Corporation, <http://www.noria.com>, 2006.
17. Barrett, M. and McMahon, M., Analytical Ferrography-Make It Work For You, Oil Analysis and Lubrication Learning Center, Noria Corporation, <http://www.noria.com>, 2006.
18. Geach, A., Detecting Particles in Oil (Part I), WearCheck Africa-Technical Bulletin, Issue 24, 4p., 2002.
19. Lukas, M., Anderson, D. P., Machine and Lubricant Condition Monitoring for Extended Equipment Lifetimes and Predictive Maintenance at Power Plants, POWER-GEN'96 International Conference, 13p., 1996.
20. Dalkılıç, S., Tanatmış, A. A., Pistonlu Uçak Motorlarında Yağlama Sistemleri ve Yağ Analiz Programlarının Uygulanması, TMMOB Makine Müh. Odası Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, 159-174, Denizli, 2003.
21. Tanatmış, A. A., Uçak Bakım Onarımında Spektrometrik Yağ Analiz Programları, TMMOB Mak. Müh. Odası Eskişehir Şubesi Bülteni, Sayı: 25, 11-13, 1997.
22. Geach, A., Detecting Particles in Oil (Part II), WearCheck Africa-Technical Bulletin, Issue 25, 6p., 2002.