

UÇAK BAKIM PLANLAMASINDA HATA ANALİZİ*

Müge ARMATLI KAYRAK**
Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık
Yüksekokulu Eskişehir
mkayrak@anadolu.edu.tr

ÖZET

Uçak bakımının temel hedefi, emniyetin temin edilmesidir. Bu hedefin ekonomik olarak, teknolojik yeniliklerin de kullanılması ile yerine getirilmesi ise ikinci hedefidir. Emniyet, uçak yapısının doğru ve gerçeğe uygun bir ömür öngörüsü ile sağlanabilir. Günümüzde uluslararası havacılık otoritelerinin standartları tarafından uçak yapısının hata toleransları dikkate alınmıştır.

Uçak yapısında emniyeti etkileyecek olan yapısal hataların, süreksizliklerin öngörülmesi büyük önem taşır. Bu çalışmada, tam ölçekli testlerin ve uçak prototip testlerinin hataların analizi için önemi ele alınmıştır. Bakım programlarının belirlenmesi için hataların tahribatsız kontrol yöntemleri ile tespit edilmesi önemlidir. Çalışmada, modern bakım yönetim prosedürlerine göre (MSG3), bakım planlama şekilleri ve bakım faaliyetlerinin sınıflandırılması ele alınmıştır.

Sonuç bölümünde ise, yeni uçak yapısal malzemeleri için ömür izleme teknikleri ve bu yeni gelişmelerin bakım planlamasındaki avantajları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uçak bakımı, hata analizi, tahribatsız kontrol, bakım planlaması

Damage Analysis in The Aircraft Maintenance Planning

ABSTRACT

The basic target of aircraft maintenance is to obtain safety. To achieve this aim economically by using technologic innovations is second target of aircraft maintenance. Safety can be provided by correct and real life prediction of aircraft structure. Today damage tolerances of aircraft structure are regarded by the standart of aviation authorities.

Prediction of damages and discontinuities that affect structural safety has great importance. In this study the role of aircraft full scale tests and prototip tests for damage analysis is examined. To obtain maintenance program schedule, detection of damages by using effective NDI (Non Destructive Inspection) methods is importante. In this study, maintenance planning types and maintenance facilities classification are analised according to modern maintenance steering guide (MSG3).

In the conclusion, life monitoring technologies for new aircraft materials and advantages of these new technologies in maintenance planning are discussed

Keywords : Aircraft maintenance, damage analysis, non destructive inspection, maintenance plannin

** İletişim yazarı

* Bu makale, 22-25 Kasım 2007 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası'nca Denizli'de düzenlenen III Bakım Teknolojileri Kongresi'nde sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

GİRİŞ

Bakım faaliyetlerinin sınıflandırılması ve içeriklerinin belirlenmesi, üretici tarafından gerçekleştirilir. Üretici tüm bakım direktiflerini kullanıcılara, açık olarak ifade edilmiş ve resimli detaylarla donatılmış MRB (Maintenance Review Board) olarak adlandırılan dökümanlarla sunar [1]. Ayrıca, uzun hizmet ömrü içinde, teknolojik yeniliklerin ve değişikliklerin kullanıcılara iletilmesi amacıyla, üretici (servis bulletin, servis lettre) adı altında çeşitli bültenler ve belgeler yayımlar. Bunların tümünün hazırlanabilmesi için öngörücü bakım veya kestirimci bakım yaklaşımı gerekir. Arıza oluşmadan önce öngörülerek kaynağı bilinmeli ve önlemleri alınmalıdır. Yaşlanma etkileri gibi zamanla kaçınılmaz olarak beliren hatalar için izleme tekniklerinin ve ömür artırıcı çözümlerin, bakım faaliyetlerinde planlaması yapılır.

Uluslararası havacılık standartları ve konseptleri, hiç hata barındırmayan yapıların planlanmasını hedef alan emniyetli ömür (safe-life) yaklaşımından ayrılarak, hata emniyeti (fail-safe) yaklaşımına geçmişlerdir. Günümüzde sivil uçaklarda, az sayıdaki parça hata barındırmaz olarak dikkate alınır, iniş takım dikmeleri buna örnek verilebilir. JAR 25 (Joint Airworthiness Requirements) ve FAR 25 (Federal Aviation Regulations) ile askeri havacılık için, MIL A- 83444 hata toleranslarını listeleme direktifleridir [2].

Bakım planlama prosedürü olarak geliştirilmiş olan dökümanlar da yine hata öngörü yaklaşımları için benzer süreci izlemiştir. İlk olarak geliştirilmiş olan, 1968 ve öncesinde kullanılmış olan bakım yönlendirme kılavuzu MSG1 (Maintenance Steering Guide), hatasız parçaların kullanımını yaygın olarak planlamıştır. Daha sonra sırasıyla MSG2, 1980 ve sonrasında MSG3 geliştirilmiştir [3]. Modern planlama prosedürü MSG3, çok sayıdaki parçanın hata toleranslı olarak planlamasını yapar ve diğerlerinden daha az programsız bakım ihtiyacı hedefleyen, ekonomik bir prosedür olarak kullanılmaktadır.

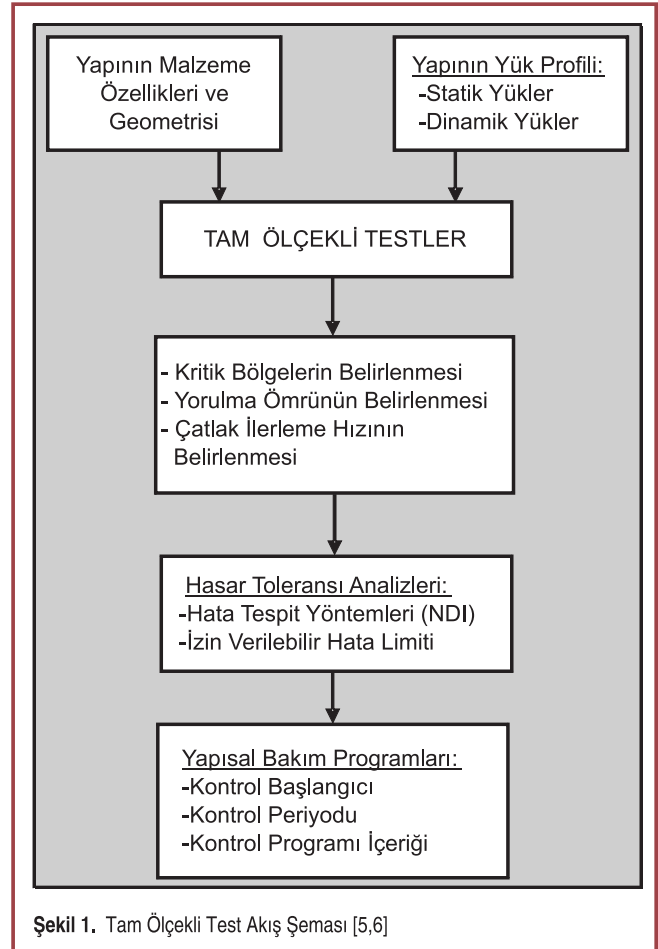
TAM ÖLÇEKLİ TESTLER

Hizmet ömrü boyunca uçak yapısında oluşabilecek tüm hataların, dizayn aşamasında öngörülmesi gerekmektedir. Bu öngörü için, yapıya etki edecek olumsuz koşulların modellenmesi önemlidir. Üretim öncesi, uçak yapısının emniyetli hizmet ömrünü belirleyerek, uygulanacak bakım faaliyetlerinin planlamasını da yapmak amacıyla, uçak elemanlarının ve tüm yapının performansı test edilmelidir. Malzeme özelliklerinin ölçülmesi, gerçek boyut ve şekillere sahip kanat, gövde, iniş takımları gibi uçak parçalarının testleri ve son olarak gerçek boyutlardaki bir uçağın yapısal testleri ile dizayn öngörülerinin kanıtlanması süreçleri önemlidir. Geliştirilmiş olan yeni bir uçak tip ve modeli için, bu aşamaların başarı ile tamamlanması durumunda

otoritelerce sertifikaya edilerek uçuş izni verilmektedir.

Yapısal testler için hataların doğru metodlarla tespit edilmesi ve hatta başlangıç anında belirlenerek hatalardaki gelişmelerin izlenmesi gereklidir. Bunun başarılabilmesi, yapıya etki edecek gerilme modellerinin de gerçeğe uygun olarak sağlanması ile mümkündür. Havacılık tarihi boyunca, yapısal eskime etkileri olarak yorulma koşullarının varlığı dikkate alınmıştır. Tam ölçekli testlerde yorulma analizleri odaklıdır.

Uzun hizmet ömrü süresince yapıya etki edecek gerçek gerilme profilinin çıkartılarak, bunların prototip yapıya uygulanması yine uzun zaman alan bir testtir. Gerçek boyutlardaki bir uçak prototipinin tam ölçekli yorulma testi bir takvim yılı gibi bir sürede ve yaklaşık 10,000 uçuş saat test süresi alabilmektedir [4]. Şekil 1'de tam ölçekli testlerin uygulanma akış şeması verilmektedir. Statik yükler için daima, hizmet ömrü boyunca yapıya etki edecek tüm değerleri öngörme gücü vardır. Maksimum yüklerin üretici tarafından belirlenmiş manevra zarfı ile tanımlanan sınır değerleri dikkate alınır. Ayrıca, flap yükleri, kuyruk yükleri, taksi manevra yükleri ve motor yorulma yükleri dikkate alınır.



Şekil 1. Tam Ölçekli Test Akış Şeması [5,6]

AKUSTİK EMİSYON TEKNİĞİ

Akustik emisyon, gerilme altındaki malzemede ani hareketler nedeniyle yaratılan ultrasonik dalgalardır. Plastik deformasyon ve çatlak ilerlemesi gibi hatalar akustik emisyon kaynaklarıdır. Piezoelektrik kristal içeren sensörler, gerilme etkisi ile yayınan ultrasonik dalgaları algılayarak kuvvetlendirir ve elektrik enerjisine dönüştürerek sinyal görüntülerini oluştururlar. Yöntem, serviste, yapının yorulma gibi testlerinde ve karmaşık yükleme programı altında etkilidir.

Akustik emisyon iki açıdan diğer NDI tekniklerinden farklıdır. Birincisi, sinyal malzemenin içinde kendiliğinden oluşur bir dış kaynaktan yaratılmamıştır. Diğerisi ise, akustik emisyon hareketi yeni hata oluşumunu ve ilerlemesini tespit eder, ancak diğer teknikler önceden oluşmuş hataları belirlerler [7]. Ayrıca, akustik emisyon yapıya 1-6 metre aralıklarla çok sayıda sensörün yerleştirilmesi ile yapının tümünü izleyebilir. Mekanik testler sırasında malzemedeki hataları izleme (diagnostik) alanında etkili bir metot olarak kullanılmaktadır [8].

Akustik emisyon, yapıdaki faz dönüşümlerini, darbe ve sürtünmeleri de kaydederek dolayısıyla kimyasal reaksiyonları da belirler. Korozyon tespitinde de etkili bir yöntem olması tam ölçekli testlerde önemli avantajlar sağlar. Gevrek kırılmada, kısa sürede sönmümlenen küçük sinyalleri bile algılayabilmesi bir diğer avantajıdır. Hata oluşumu esnasında yayınan ultrasonik enerjinin, parça cidarlarından yansımaları ile oluşan parazit sinyaller filtre edilerek hassasiyet artırılmıştır. Yöntem tüm metallerin yanı sıra metalik olmayan kompozit yapıların analizleri içinde uygulanmaktadır.

BAKIM PLANLAMASINDA EKONOMİ YAKLAŞIMI

Emniyet temini için, uçak elemanlarının hatasız yapılar olarak hizmet vermelerini planlamak, aşırı bakım faaliyeti uygulamak ve parçaları sürekli yenilemek, günümüzde tercih edilmeyen bir yaklaşım olarak kalmıştır. Havacılık tarihinde denenmiş bu eski yaklaşımlar, büyük ekonomik kayıplara yol açmalarına karşın tam bir emniyet de sağlayamamışlardır. Günümüzde, askeri ve sivil uçaklar için hatalı parçaların kalan hizmet ömrünü emniyetle tamamlayabildikleri, hasar toleransı olan yaklaşımlar dikkate alınmaktadır.

Hasar toleransı emniyet yaklaşımına göre, hata ilerleme hızının çok yüksek olmaması gerekmektedir. Hatanın, kontrol edileceği NDI yönteminin ölçüm kapasitesinin izin vereceği minimum boyutundan, kritik boyutuna ilerleme sürecinde, en az üç programlı bakım faaliyetinin planlanabilir olması önemlidir [9]. Bu noktada, tam ölçekli testlerden alınan, yapının ve malzemenin kırılma mekaniği öngörülerini dikkate alınarak planlama yapılır. Bakım periyotlarında NDI yöntemleri ile hata analizleri yapılır. Hata arama ve mevcut

hataların izlenmesi temeline dayalı bakımlarda, koruyucu bakım faaliyetleri de yer alır. Ancak, hatanın izin verilebilir maksimum boyuta ulaşmış olması durumunda, onarım veya yenileme içerikli yapısal bakım uygulamaları ile hatalar giderilir.

Ekonomi analizi olarak, parça yenilemenin veya onarımın maliyeti ile NDI uygulama maliyeti karşılaştırılmalıdır. Hata ilerleme hızının yüksek olması, kontrol aralıklarının verimsizce sıklaşması uygulama güçlüğü de getirecektir.

BAKIM PLANLAMASINDA ÖNEMLİ HATALAR

Bakım planlamasında “Hasar toleransı” yaklaşımının seçilmesi ile eski tarihlerdeki, sadece yorulma hasarlarını dikkate alan analizler revize edilmiştir. Sadece yorulma analizine dayalı yaklaşımlarda, parça ömürleri genişletilmiş bir yorulma ömrünü karşılayacak şekilde öngörülmüştü. Ancak, buna rağmen olumsuz çevresel koşulların, örneğin korozyon bozulmasının yorulma ömrünü kısaltıcı etkileri dikkate alınmamıştı. Emniyetli bir hizmet ömrü temin edebilmek amacıyla, ekonomik kayıpları göze alan bu eski analizlerdeki öngörü eksikleri nedeniyle, büyük havacılık felaketleri yaşanmıştır.

Tam ölçekli uçak yapısal testleri yeni üretilmiş parçalar ile gerçekleştirilir. Yorulma ömrünü ve çatlak ilerlemesi ile kırılma mekaniğini inceleyen bu analiz sonuçları üzerine, özellikle korozyon gibi hasarların hızlandırıcı etkilerinin ilavesi öngörülmelidir. Örneğin, Alüminyum alaşımı test numuneleri ile yapılan yorulma analizlerinde, korozyona uğratılan numunelerde malzemenin yorulma ömrünün % 60 azaldığı görülmüştür [10].

Modern bakım yaklaşımlarında, yorulma ve korozyon analizlerinin yanı sıra dikkate alınan iki hata grubu daha vardır. Bunlardan biri, yapıda çarpma etkisi ile oluşan darbe hasarlarıdır. Yine çevreden gelebilecek taş, kuş çarpmaları, şiddetli dolu yağışı gibi etkiler, bakım uygulamaları ve bagaj yüklemeleri sırasında sert cisimlerin darbe etkileri ve risk altındaki bölgeler öngörülür [11]. Diğerisi ise üretim hataları olarak ele alınır, bu grupta öngörü için üretici firmaların ve uçak tiplerinin arıza verilerinin bir istatistik analizi yapılarak genel sonuçlara ulaşılır.

Bakım planlaması için bir uçak elemanının yukarıda verilmiş olan temel hata türleri ele alınarak risk durumu belirlenir. Hata oran analizleri gerçekleştirilir, parça hatalardan biri veya tümü için eşit risk grubunda olabilir. Hasar toleransı yaklaşımında bu hususlar önemle dikkate alınmıştır.

BAKIM PERİYOT VE İÇERİKLERİNİN TESPİTİ

Programlı bakım faaliyetinin ilk olarak ne zaman uygulanacağı, takip eden periyotların ve bunların içeriklerinin

ne olacağı belirlenmelidir. Modern bakım planlama prosedürü MSG3'e göre, iki temel grup bakım vardır. Bunlar, "Hat bakım" ve "Yapısal bakım" olarak verilebilir. Hat bakım, detaylı kontrollerin yapılmadığı genel gözle kontrolü içerir. Yapısal bakım ise, parça ömürlerinin izlenmesinin ve hata analizlerinin kapsamlı olarak ele alındığı bir bakımdır, periyodu ve ilk uygulanma aralığı geniştir. Uçak parçalarına uygulanacak bakım seviyelerinin belirlenmesinde, elemanın görevi özellikle gerilme durumu, yorulma gerilmelerinin şiddeti ve süresi, hata türlerinin bir kesişiminin olup olmadığı dikkate alınır.

Bakım faaliyetlerinin periyotları ise uçuş saat, iniş kalkış sayısı ve uçağın yıl olarak yaşı dikkate alınarak belirlenir. MSG3'e göre bakım programları genellikle harflerle kodlanır. "A" veya "C" ve bunların katları (2A,3A,3C gibi) şeklinde ifade edilir. Ancak, emniyetle ilgili emirler, modifikasyon emirleri ve yapısal bakımlar için harf kodu uygulanmaz [1].

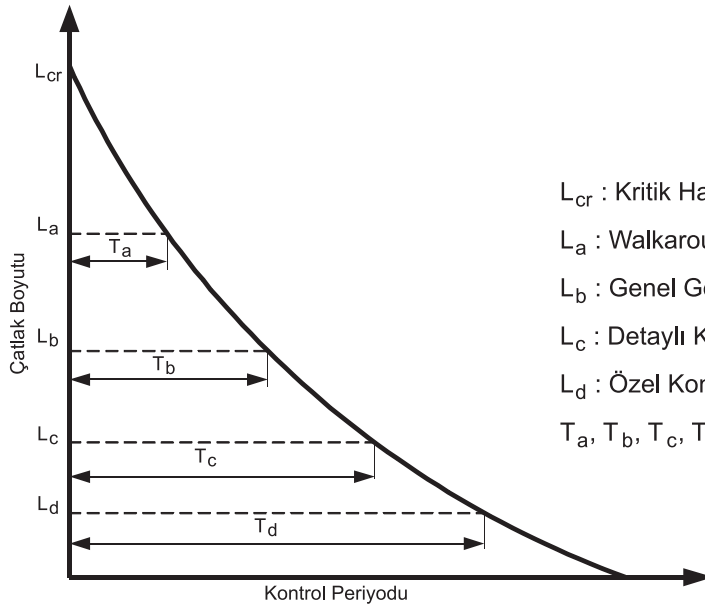
Bakım periyodu olarak, sadece toplam uçuş sayısının veya süresinin dikkate alınması yetersizdir, korozyon hasarının analizi için sadece zaman periyodu önemlidir, hangarda bekleme süresince ilerleyebilir. Burada kriter uçağın yaşı olmalıdır. Yapısal bakımların periyodu, hem uçuş saat hemde yaş olarak verilir. Hat bakım ise, genellikle takvim periyodu (günlük, haftalık gibi) ve her uçuş öncesi gibi aralıklarla uygulanır. Tablo 1'de MSG3'e göre planlama örnekleri verilmiştir. Yaşlanma etkileri, yorulma ve çevresel etkilerle bozulma zamanla oluşacağından, bunların kontrolleri için 18000 uçuş saat ve sekiz yıl üst sınır olarak alınır [3].

Tablo 1. Programlı Bakım Faaliyetlerinin Sınıflandırılması [3]

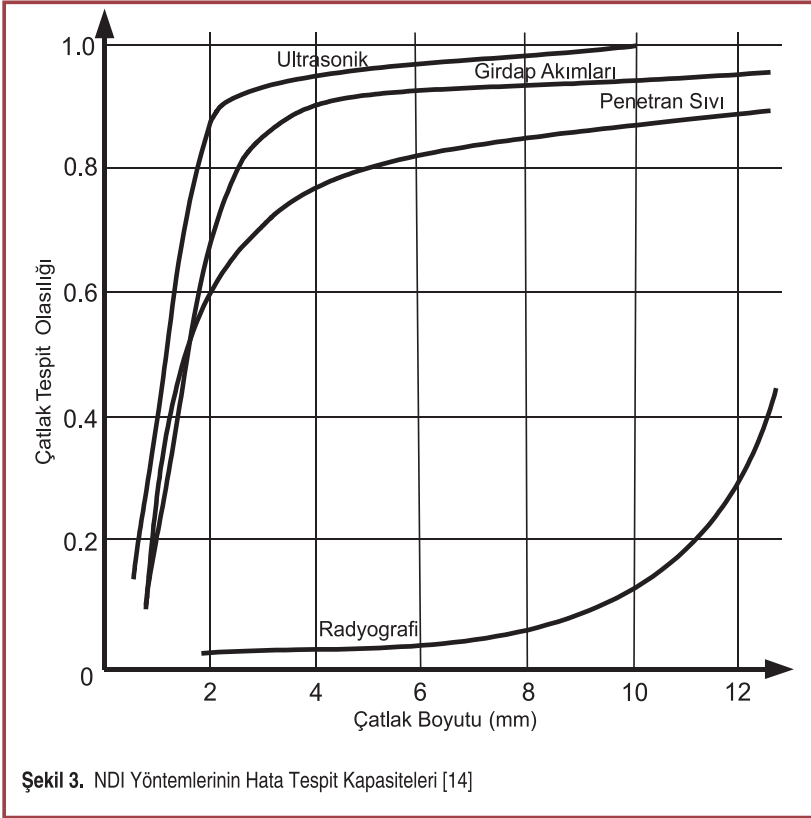
KONTROL	PERİYOT	İÇERİK
Uçuş Öncesi	Her Uçuştan Önce	Çevresel yol (Walkaround) Kontrolü ve Servis
Günlük	Her 24 Saatte	
Haftalık	7 Gün	
A ve A'nın Katları (Maksimum 4A)	250 Uçuş Saat	Çevresel yol (Walkaround) Kontrolü, Bazı Sistemlerin Kontrolü ve Servis
C ve C'nin Katları	Yıllık	Sistemlerin Kontrolü ve Yapının Genel Emniyet Kontrolü
Yapısal Bakım	18000 Uçuş Saat veya 8 Yıl (Maksimum)	Yorulma ve Korozyon Kontrolleri

HATA KONTROL TEKNİKLERİ

Bakım faaliyetleri, öngörülmüş olan hataların tespitinde kullanılacak etkili tahribatsız kontrol yöntemlerinin (NDI) uygulanmasını içermektedir. Bu yöntemler iki önemli gerçeği ortaya çıkarırlar. Birincisi, yapının hatasızlığının garantisini vermeleridir, emniyetli hizmet ömrü için bu büyük önem taşır. Diğeri ise, mevcut hataların kritik boyuta ulaşmış olmalarının izlenmesini sağlamalarıdır. Hata toleransı analizleri, bu kontrolleri temel aldığı için NDI uygulamaları olmaksızın yürütülemez. Şekil 2'de bir çatlağın kritik boyuta ulaşmaya kadar, kontrol edilebileceği bakım periyotları ve bunların içerikleri listelenmiştir. Küçük hataların tespiti için özel NDI metotları gerekirken, bu hataların kontrol periyodu



Şekil 2. Hata İlerlemesine Göre Kontrol Planlaması



Şekil 3. NDI Yöntemlerinin Hata Tespit Kapasiteleri [14]

geniş tutulur. Makro hatalar için genel gözle kontrol yeterlidir, kolay uygulanan, ekonomik olan ve kısa sürede uygulanabilen bu metodun periyodu ise oldukça kısadır.

Çevresel yol (walkaround) kontrolü, uçak çevresinin dolaşarak genel gözle kontrolünü içerir, belirlenebilen hata boyutu en az 2-3 cm civarındadır. Genel gözle kontrol için parçanın daha yakından, yerine göre kısmi söküm yapılarak yine gözle incelemesi yapılır, burada tespit edilebilir hata boyutu 1cm'e kadar inebilir. Daha küçük boyutlu ve yüzeye açık olmayan hatalar için gözle kontrol yetersizdir. Bu durumda, detaylı kontrol yöntemleri olarak, ultrasonik kontrol, radyografik kontrol, girdap akımları ile kontrol, penetran sıvı ile kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. Özel malzeme grupları ve hata konumları için ise termografi, nötron radyografisi gibi özel yöntemler, daha kısıtlı sayıda parçalar için kullanılmaktadır [12].

Uçak yapısal bakımında yaygın olarak kullanılan NDI yöntemlerinin hata belirleme kapasiteleri, Şekil 3'te verilmiştir. Hata boyutu bakımından, ultrasonik kontrolün en yüksek hassasiyete sahip yöntem olduğu görülmektedir.

Radyografik kontrol ise, çatlak tespitinde düşük hassasiyet gösterirken, boşluk benzeri iç yapı hatalarını başarı ile belirleyebilir. Yüzey hataları için tespit edilebilen en küçük hata boyutu, fuloresan penetran sıvı yönteminde 0.75 milimetredir, aynı özellikteki hatalar için girdap akımları

yöntemi ile ulaşılan değer 0.25 milimetre olmaktadır [13].

SONUÇ

Hem uçak bakım planlaması için üretim aşaması testlerinde, hemde hizmet ömrü boyunca bakım faaliyetlerinde, hataların mümkün olduğunca erken aşamalarda belirlenmesi gerekir. Akustik emisyon tekniği, hataları oluşum anında kayıt edebilen bir sistem olması nedeniyle uçuş sırasında bir yapısal kara kutu olarak, hata oluşumunu ve gelişimini anında belirlemede büyük önem kazanmıştır. Yöntemin, mikro ve mikro altı boyutlardaki hatalar için etkili olması ve tüm uçak yapısını izleme imkanı tanınması avantajları arasında sayılabilir. Ayrıca, yeni uçak yapısal malzemeleri için süperalaşmalar ve kompozit yapılar için de başarı ile uygulanabilmektedir. Metal-ametal tabakaların bileşimi olan Glare kompozitler, Airbus A380 gibi yeni nesil uçaklarda kullanılmıştır. Alüminyum alaşımı, cam-epoksi tabakaların bileşimi olan bu yapıların kontrolünde akustik emisyon ile fiber kırılmaları, tabaka ayrılmaları ve reçine çatlakları gibi hatalar belirlenebilir. Özellikle uçuş sırasında yapısal elemanlar, kanat ve gövde kirişleri (sparlar ve balkheadlar), bağlantı elemanı delik cidarları gibi emniyet açısından kritik bölgeler sürekli izlenerek hatalar tespit edilebilir.

Hasar toleransı yaklaşımı, bakımlar sırasında NDI uygulamalarına dayanır. Bu amaçla kullanılan NDI metodlarının güvenilirliği önemlidir. Bilgisayar donanımlı otomatik test sistemlerinin kullanılması, üç boyutlu iç yapı görüntüleme tekniklerinin varlığı ile güvenilirlik artırılır. Test süresinin kısaltılması ve işçilik sürelerinin azaltılması ise ekonomi kazancı sağlar. Yöntemlerin başarısı için, test malzemesinin cinsi, boyutları, kalınlığı ve kenar etkileri bilinmelidir. Ayrıca, parçanın yüzey kirlilik seviyesi ve yöntem için gerekli temizlik durumu bilinmelidir. Yüzeyin aydınlatma durumu, görülebilirlik ve ulaşılabilirlik bilgileri gereklidir. Aranılan hatanın boyutu, cinsi (boşluk, çatlak, yüzey pürüzlülüğü gibi) ve konumu hakkında ön bilgilerin varlığı, yöntem seçimini ve sonuçların doğruluğunu büyük ölçüde etkilemektedir. Uygulayıcı personelin bilgi seviyesi ve deneyimi de, genellikle yoruma dayalı olan ve referans verilerle karşılaştırmalı olarak elde edilen, sonuçların doğruluğunu büyük ölçüde etkilemektedir.

KAYNAKÇA

1. Thremaud, M. 1986. "Presentation Evolution et Mise en Ouvre D'Une Programme de Maintenance", Ecole

- Nationale Superieure D'Ingenieurs de Constructions Aeronautiques, Toulouse-France.
- Engerand, J.L.** 1985. "Fatigue et Viellissement des Structures", Ecole Nationale Superieure D'Ingenieurs de Constructions Aeronautiques, Toulouse-France.
 - Gaillardon, J.M.** 1985. "Etablissement D'Un Programme de Maintenance D'Un Structure Avion", Ecole Nationale Superieure D'Ingenieurs de Constructions Aeronautiques, Toulouse-France.
 - Geng, R.S.** Application of Acoustic Emission for Aviation Industry Problems and Approaches, <http://www.ndt.net/article/wcndt2004/pdf/aerospace/814-geng.pdf>.
 - Schurtz R.** 1978. NDI Methods on Full Scale Fatigue Tests and Their Service Usage, NDI Relationships to Aircraft Design and Materials, AGARD-CP-234, Technical Editing and Reproduction Ltd., p 11.1-22
 - Assler, H.** Telgkamp, J., Design of Aircraft Structures Under Special Consideration of NDT, <http://www.ndt.net/article/wcndt2004/pdf/aerospace/817-assier.pdf>.
 - Pollock, A.A.** 1989. Acoustic Emission Inspection, Nondestructive Evaluation and Quality Control, Metals Handbook, Volume 17, ASM International.
 - Filonenko, S., Babak, V.** 2003. Technical Diagnostics of Materials and Elements by the Method of Acoustic Emission, The World Congress, Aviation in the XXI Century, Ukraine National Aviation University, Kiev/Ukraine, p2.1-7
 - Bruce, D.A.** 1995. Nondestructive Detection of Corrosion for Life Management, Agard CP-565, Canada Communication group Inc., p9.1-8
 - Wosfold, M.** 1999. The Effect of Corrosion on the Structural Integrity of Commercial Aircraft Structure, Research and Technology Organization Meeting Proceedings, Canada Communication Group Inc., p3.1-7
 - Armatlı Kayrak, M.** 2003. Maintenance Program Policy for Aircraft Structure and MSG3 Procedure, The World Congress, Aviation in the XXI Century, Ukraine National Aviation University, Kiev/Ukraine, p3.1-4
 - Armatlı Kayrak, M.** 2001. "Uçak Bakımında Tahribatsız Kontrol Yöntemleri", Anadolu Üniversitesi Yayınları, No 1327, Eskişehir
 - Cowie W.D.** 1989. Fracture Control Philosophy, Nondestructive Evaluation and Quality Control, Metals Handbook, Volume 17, ASM International.
 - Raf H.M.** 1978. Unfulfilled Needs of Nondestructive Inspection of Military Aircraft, NDI Relationships to Aircraft Design and Materials, AGARD-CP-234, Technical Editing and Reproduction Ltd., p4.1-10

Daha Etkin Bir ODA için
Üyelik Aidatlarımızı
ÖDEYELİM