

## PROTOTİP BİR UÇAĞIN BAKIM VE İDAMESİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Necmi KARA\*

TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., ANKARA

### ÖZET

*Bu bildiriye, yeni geliştirilen özgün bir uçağın prototip sürecindeki servis ve bakım uygulamalarının önemine değinildikten sonra, dizayn çalışmaları ile birlikte konunun bu boyutunun da değerlendirilerek buna yönelik prosedürler oluşturma gerekliliğinden bahsedilmiş; hava aracı bakımını sınırlayan faktörler ve bakım gereksinimleri için geliştirilen yöntem anlatılmıştır. İki aşamalı olan bu çalışmanın ürün geliştirme sürecindeki faaliyetleri kapsayan ve ürünün kendisi (hava aracı), alt sistemleri ve ekipmanları için kullanılacak olan bakım gereksinimlerinin belirlendiği ilk kısmı ile bakım planı hazırlanıp kademeli olarak iyileştirildiği ikinci kısmı değerlendirilmiştir. Tesis, takım, cihaz, ekipman, dokümantasyon, malzeme ve yedek parça gibi bakım parametrelerine değinilmiş; bakım kartlarının hazırlanıp bakımın uygulandığı aşamalar ve bu uygulamaların sağladığı faydalar açıklanmıştır.*

---

\*Uçak Mühendisi, E-Posta: nkara@tai.com.tr

## GİRİŞ

Bakım, bir sistemin kullanım ömrü boyunca bozulabilecek karakteristiklerini daha önceden belirlenmiş nitelik veya nicelik seviyelerinde tutmak veya bu seviyeye getirmek, bir ürünü restore etmek veya çalışılabilir durumda tutmak için servis, tamir, modifikasyon, revizyon, kontrol ve durum tespiti yaparak gerçekleştirilen işlemlerin tümü olarak tanımlanmaktadır. Bakımın karakteristikleri emniyet, güvenilirlik, uçuşa hazır durumda bulunma şeklinde sıralanabilir.

Hiç bir bakım, hata olasılığını tamamen ortadan kaldırmaz. Önemli olan hatanın hangi sonuçlara yol açacağıdır.

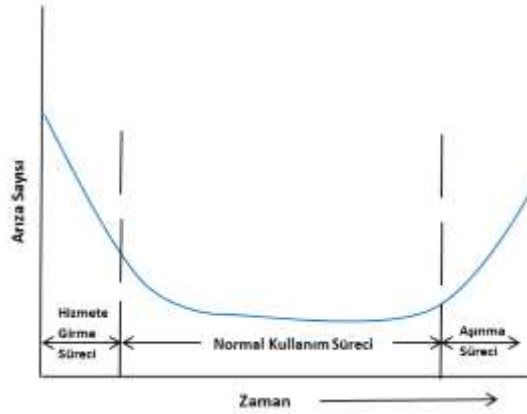
Bir hava aracının geliştirilmesi sürecinde, müşteri istek ve beklentileri de göz önüne alınarak bakım, ulaşılabilirlik ve idame edilebilirlik gereksinimlerinin belirlenmesi önemlidir. Kolay desteklenebilir bir sistemin tasarımının yapılabilmesi için fizibilite fazından itibaren belirlenen gereksinimlerin sürecin en erken fazlarında tasarıma optimum seviyede yansıtılması gerekmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Uçak Üretimi/Modernizasyonu Aşamalarındaki Bakım Statüsü

Bakım planlaması tipik olarak bakım tesislerinin kapasitesi, bakım personelinin yetkinliği, bakım kuralları, montaj / tadilat statüsü ve uçuş planları gibi bir çok sınırlamaya maruzdur [Steiner, Hosang, Barta, Wüst, Eigel, 2013]. Yeni geliştirilen veya modernize edilen hava araçlarının uçuş test kampanyasından teslimata kadar giden süreçteki planlı ve plansız bakımlarının yürütülmesi bu sınırlamaların ışığında iyi bir yapılanmayı gerektirmektedir [Mobley, 2004].

TeCrübe ile sabit olduğu üzere ürünün ömrünün başlangıcındaki yoğun planlı ve plansız bakım ihtiyacı bu yapılanmayı daha önemli kılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2:Yeni bir uçağın arızalanma ihtimalinin zamana göre değişimi

Birden fazla bakım faaliyetinin tek seferde yapılması bakım maliyetlerini düşürür. Oysa prototip hava aracıimalatı veya modernizasyonu sürecindeki bakım, üretime dönük bu aktivitelerle senkronize olarak sınırlı sayıda sisteme veya uçağa uygulanmaktadır. Bunun yanında başlangıçta ekipman veya komponent seviyesinde bakım yapılmaktadır. O nedenle de, bakımın maliyeti artmaktadır.

## **BAKIM GEREKSİNİMLERİNİ BELİRLEME ÇALIŞMALARI**

Uçağın bakım yapılabilme özelliği, tasarım aşamasında dikkate alınarak üzerinde çalışılması gereken önemli bir mühendislik

faliyetidir. Bakım giderlerinin yüksek oluşu nedeniyle bakım özelliği uçağın dizaynını önemli derecede etkilemektedir. Uçağın ömrü boyunca onun emniyetini sağlayabilecek ekonomik bir bakım oluşturma faaliyetleri, uçağın üretiminden çok öncesinde, daha geliştirme aşamalarında imalatçı firmanın ve kullanıcıların bakım mühendislikleri tarafından başlatılmaktadır [Kuşhan, 2003]. Bu kapsamda üç yaklaşımdan söz edilebilir:

- a) Uçuş emniyetini etkilemeyen pahalı parçalar için geçerli kılınan ve parçayı hasar oluşuncaya kadar kullanmayı esas alan bakım yaklaşımı.
- b) Bakım gereksinimlerini belirleme çalışmaları sonucunda ortaya konan ve bakım dokümanlarına işlenen sürelerle uygun olarak kontrol ve parça değişimi yapmayı esas alan standart bakım yaklaşımı.
- c) Bakım aralığının parçanın vaziyetine göre belirlenen dinamik bir yapıda olduğu durum esaslı bakım yaklaşımı. Parçada hasar ihtimali görülünce yapılan bu bakım tarzı çok az kullanılmaktadır [Gerdes, Scholz, 2010].

Günümüzdeki teknoloji sayesinde, elektronik cihazlar iç test özelliklerine (internal test features) sahip, ortalama hata arasındaki zaman (mean time between failures-MTBF) düşük, hat bakımında değiştirilebilen ünite (line replaceable unit -LRU) ve elektriksel kablo (electrical wiring) gereksinimi daha düşük duruma gelmiştir.

Bakım açısından önemli olan bu imkanlar da göz önünde bulundurularak tasarlanan ve konumuz olan eğitim uçağı için yapılan çalışmada sözleşme gereksinimlerine uygun olarak ilgili departmanlar bakım prosedürleri ve dokümantasyonu konusunda ve geliştirilme aşamalarına bağlı olarak uçağın kendisinin ve ekipmanlarının bakımı için şu hususları değerlendirmiştir:

- Uçağın desteklenebilirlik ve idame edilebilirlik çalışmaları,
- Önleyici ve düzeltici bakım prosedürü,
- Bakım görevleri için gereken iş gücü,
- Her bir bakım görevi için tanımlanacak zaman aralığı,
- Tesis gereksinimi,
- Yazılım, donanım gibi bilgisayar gereksinimleri,

- Bakım ve serviste kullanılacak takım, cihaz, test ve yer destek ekipmanları,
- Yetkin ve sertifikalı personel,
- Eğitim,
- Maliyet,
- Doküman
- Gerekli yedek parça ve malzeme (tamir edilebilir, genel sarf, zaman ömürlü vb)
- Kapasite analizi

Güvenilirlik, dizaynın belirlediği bir karakteristiktir. Bunu temin etmek için tasarım aşamasında, bakım maliyetleri ile güvenilirlik arasında optimum denge sağlayarak planlı bir bakım programının geliştirilmesine yönelik idame edilebilirlik yönlendirme grubu (maintenance steering group, MSG-3) analiz yöntemi kullanılarak Uçuş Test kampanyası için Planlı Bakım Görevleri (Scheduled Maintenance Tasks For Flight Test Campaign) adlı bir doküman oluşturulmuştur. Ayrıca sistem ve ekipmanların platform üzerine yerleşiminin; erişilebilirlik, sökölüp / takılabilirlik, görülebilirlik ve insan dayanımı kriterleri dikkate alınarak üç boyutlu sayısal model (digital mock up, DMU) verisi üzerinde insan modeli kullanılarak incelenmesine yönelik grafiksel destek analizi (graphical support analysis, GSA) yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3: Bakım personelinin, bir ekipmanın üzerindeki sigortaları herhangi bir çakışma yaşanmadan ayna ile kontrol etmesi.

Bu aşamada her bir sistem için bakım görev analizleri (Maintenance Task Analysis) yapılmıştır. Ekipman bakım seviyeleri ile kaynak, bakım, iyileştirilebilirlik (source, maintenance, recoverability SM&R)

kodları belirlenmiş; lojistik destek analizi (logistic support analyze, LDA), onarım seviyesi analizi (level of repair analysis, LORA) yapılmış ve bakım tahsis çizelgesi (maintenance allocation chart, MAC) hazırlanmıştır. Fonksiyon ve görevlerin belirli bakım seviyelerine tahsis edilmesi, tamir ya da değiştirme analizi yapılması, güvenilirlik merkezli bakım (reliability centered maintenance, RCM) analizi yapılması ve tasarımdan gelen önerilerin bakım zamanlarını optimize etmek üzere formüle edilmesi ile optimizasyon çalışmaları da bu seviyede başlamıştır.

Birlik seviyesi ("O" level) ve depo seviyesi ("D" level) olmak üzere iki seviyeli bakım konsepti belirlenmiş ve bu bakım konsepti kapsamında bakım tahsis tablosu hazırlanmıştır.

Birlik seviyesi bakım kapsamına cihaz içi test (built in test- BIT) yardımıyla arızalı cihazın tespiti, değiştirilmesi, kablo donanımının sınırlı tamiri, sınırlı yapısal tamir, sistem cihazlarına yazılım yüklenmesi gibi muayene, ikmal, temizlik, koruma, ayar, cihaz değişimi ile sınırlı fonksiyonlar dahil edilirken, depo seviyesi bakım ("D" level) kapsamına arızalı birim/sistemlerin (shop replacable unit, SRU) tamiri, büyük yapısal kontrol, onarımlar ve modifikasyonlar kalibrasyon, birlik seviyesinde onarımı yapılmayan tamiratlar, gövde kontrolü, motor, pervane, yağ, yakıt ve hidrolik sistem, gövde (İniş takımları, uçuş kumanda sistemi, aksesuarları), aviyonik, elektrik, pnömatik, göstergeler (borda aletleri) fonksiyonları dahil edilmiştir.

Planlı ve plansız bakım için yedek parça ihtiyacı, sistem (ATA chapter) bazında belirlenmiştir. Bakım için gerekli tüketilebilir (consumable) ve harcanabilir (expendable) malzemenin belirlenip temin edilmesi gerekmektedir. Uçak sayısının çok olmaması nedeniyle, yapılan bu düşük miktardaki alımların maliyet ve zaman etkin olması için geniş araştırma yapılması ve önemli bir efor sarfedilmesi gerekmektedir. Kullanılacak malzemelerin ihtiyaçları kurumsal kaynak planlaması sisteminde (enterprise source planning, ERP) oluşturularak satın alınması sağlanmıştır. Bu aşamada, imalat gereksinimi malzemelerle, bakım gereksinimi yedek parçaların ayrı karıştırılmadan ayrı ayrı yönetilmesi önem arz etmiştir. Özellikle temini uzun süren malzemeler (long lead material) için tahmini malzeme listesi (estimated material list) oluşturularak alım faaliyetleri erken başlatılmıştır.

Bakımda her sistem için gerekli araç, gereç ve cihazların önceden hazır edilmesi gerekmektedir. Yer destek ekipmanı (ground support equipment, GSE) ve takım, avadanlıklar (tool) olmak üzere iki gruba ayrılan ve kalibrasyonlarının düzenli bir biçimde yapılması sağlanan bu cihazlar aşağıdaki işlemlere yönelik olarak belirlenmiştir (Şekil 4):

- Taşıma ekipmanları
- Bakım ekipmanı, takım-avadanlık
- Ölçüm aletleri
- Yer Güç Birimi (GPU)



Şekil 4: Yer Destek Ekipmanı.

Projenin iş tanımı kapsamında yaratılacak veri paketi ve dokümantasyon, iki ana kategoride değerlendirilmektedir:

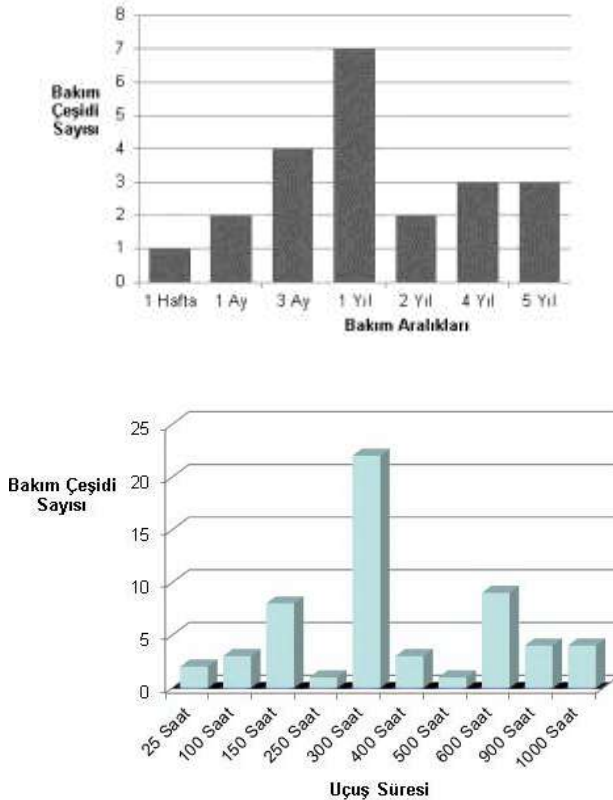
- Mühendislik ve üretim teknik veri paketi.
- Entegre lojistik destek (ELD) veri paketi (uçuş el kitabı, bakım el kitabı, yapısal tamir el kitabı).

Şirketin koşullarına uyarlanmış bir planlı bakım ve kontrol programının türetileceği bakım planlama datası (Maintenance

planning data, MPD) hazırlanmış olup, bu mühendislik dokümanları şu bilgileri içermektedir:

Genel bakım prosedürleri, destek ekipmanları bakım talimatları, şirkette üretilen parçaların imalat ve montaj talimatları, periyodik bakım talimatları, servis talimatları, yapısal bakım el kitapları (Structural repair manuals, SRM), parça katalogları (Illustrated parts catalog, IPC), sistem şematik el kitabı (System schematics manual, SSM), kablolama diyagram el kitapları (Wiring diagram manual, WDM) dokümanları.

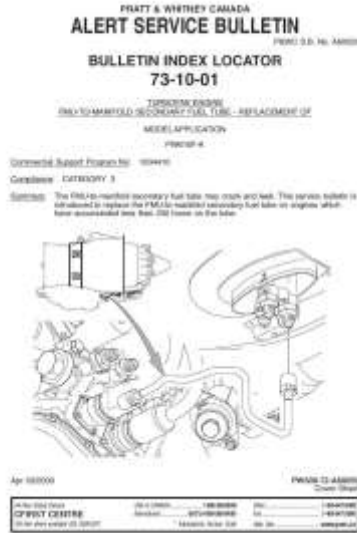
Bakım dokümanlarında zamana, uçuş saatine ya da bu iki parametreden erken devreye girenine bağlı olarak yapılması gereken kontrol ve bakımlar gösterilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5: Zaman ve Uçuş Saati Esaslı Bakım Aralıkları Örneği.



Bunların yanı sıra tadilat faaliyetlerinde uçuşa elverişlilik yönergesi (airworthiness directive, AD), servis bülteni (service bulletin, SB) ve servis mektubu (service letter, SL) gibi üretici firma, havacılık otoritesi gibi kuruluşlarca ilgili eleman üzerinde bazı tadilatların yapılabilmesi için bu dokümanlar bakım ve uçuş sürecinde önem arz ederler.



Şekil 6: Servis Bülteni.

## BAKIM KARTLARININ HAZIRLANMASI

İmalat mühendisliği, uçağın veya özel ekipmanların kaynak datasına uygun olarak her bir sistem için belirlenen bakım periyotlarının uygulanmasını sağlayacak biçimde hem bakıma yol göstermek, hem de yapılan işlemleri kayıt altına almak amaçlı bakım kartlarını hazırlamıştır. Bu kartlar şirket içerisinde geliştirilen görsel planlama sistemi (visual planning system-TVPS) yazılımı kullanılarak oluşturulmuş ve burada muhafaza edilip gerekirse güncellenmiştir(Şekil 7).



Şekil 7: TVPS Kullanıcı Arayüzü.

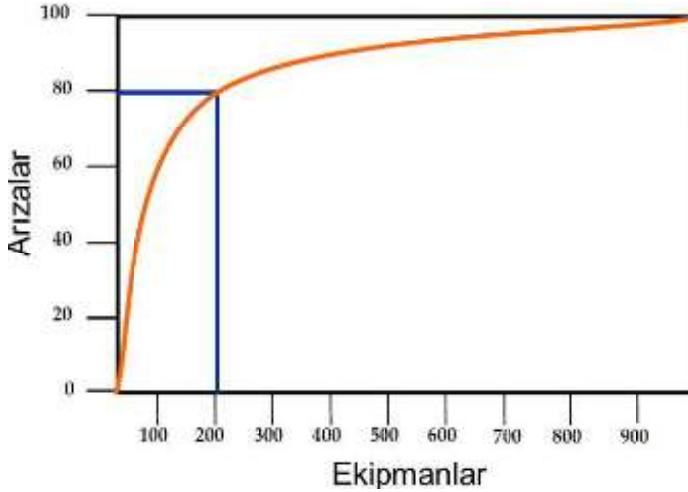
Uçağın yapısal ve sistemsel bakım kartlarını hazırlamak için şirket içerisinde hazırlanan mühendislik dokümanları kullanılırken; motor, pervane gibi komponentler için komponent bakım el kitapları (Component Maintenance Manuals, CMM) veya diğer mühendislik kaynakları kullanılmıştır. İmalat, montaj ve test aşamalarında kullanılan değişiklik uygulama metodu bakım prosesine de uyarlanmak suretiyle güncel bakım dokümanlarına uygun bakım yapılması temin edilmiştir.

Havacılıkta önemi husulardan birisi olan takip edilebilirlik, bakım konseptinde belirleyici unsurlardan birisi olmaktadır. Bu kapsamda hasara dayanıklılık (damage tolerant) ve ömür limitli parçalara (safe life item) ilişkin muayene ve değiştirme işlemlerinin belirtilen sıklıkta ve prosedürlerine uygun olarak yapıldığı, operasyon kartlarına yapılan kayıtlarla garanti altına alınmıştır. Yapısal parçalara ait özel muayene gerekliliğinin yerine getirilmesi de bu yolla temin edilmiştir.

Uçağın kampanya uçuşları (company flights) için yapılan kontrollerde kullanılmak üzere uçuş öncesi (Preflight), uçuş boyunca (Thruflight) ve uçuş sonrası (Postflight) kontrol kartları hazırlanmıştır.

Bakım amacıyla yapılan sökümlerin kayıt altında tutulması önemlidir. Bu işlem için 'kontrolün kırılma noktası kayıt defteri (break of inspection log) tutulmuş, sökülen parçalara etiket (identification tag) iliştilerilerek yeniden uçağa takılincaya kadar uygun koşullarda saklanması esas alınmıştır.

Ayrıca, beklenmeyen arızaları ve bakım sonrası testler (re-test) esnasında ortaya çıkan problemleri giderme amaçlı planlanmamış bakım / özel kontrol ve arıza bulma (troubleshooting) prosedürleri de geliştirilmiştir. Bu yolla kalite kontrol raporu hazırlanarak arıza giderme işlemi başlatılmakta ve yapılan işlemler adım adım kaydedilmiştir. Özellikle belirli ekipmanların daha yoğun problem çıkarmayı ihtimali olduğu için, bu sistemlere yoğunlaşılması gerekmektedir (Şekil 8).



Şekil 8: Pareto Kuralı.

## BAKIMIN UYGULANMA SÜRECİ

Bakım işlemlerinin, dış etkenlere karşı muhafazalı bir hangarda yapılması tercih edilmektedir. Uçak, motor çalıştırmadan önceki yer testlerine kadar geçen aşamada zaten kapalı bir hangarda tutulduğu için bu şartlar sağlanmaktadır. Uçuş hattına geçişle birlikte, bakım işlemleri için kullanılacak basınçlı hava, su, topraklama, elektrik, yer destek ekipmanları gibi atelye olanaklarına sahip ısıtılmalı, havalandırılmalı, nemden arındırılmış ve acil durumlarda uçağın hızla dışarı çıkarılmasına imkan sağlayan güvenli bir kapalı alan kullanılmıştır (Şekil 9)[9].



Şekil 9: Bakımın Yapıldığı Hangar.

Bunun dışında motor revizyonu, aviyonik, hidrolik, mekanik ünite bakımı ve parça imalat/tamir/boya işlemleri destek atelyelerinde gerçekleştirilmiştir.

Uçak bakımında özellikle kaliteli, emniyetli ve düşük maliyetli iş yapma açısından insan faktörünün önemi yadsınamayacağı için bakımın uygulanması İngilizce bilen, sistem bazında uçağa aşina yetkin teknisyenler ve kalite kontrol elemanları ile sağlanmıştır. Prototip aşamasındaki uçağın yapısal, mekanik, elektriksel ve aviyonik sistem karakteristiklerine tam hakim olunamadığı için tecrübe

ve uzmanlık bir kat daha önem kazanmıştır. Sonuçları açısından kritik olarak değerlendirilen yapısal uygulamalarda da uzman olan bu personelin görevlendirilmesi planlı bakımlar dışında arıza ve gizli hasarların (hidden damage) tespiti edilip giderilmesi konusunda da önemli bir avantaj sağlamıştır (Şekil 10).



Şekil 10: Uçuş hattında servis yapılmakta olan uçak.

## SONUÇ

Servisteki uçakların bakımından farklı dinamiklere sahip olan kampanya uçuşları sürecindeki prototip uçağın bakım konsepti, irdelenmesi ve gerek imalat, gerek bakım teknolojisine paralel olarak geliştirilmesi gereken bir konu olup, bu alanda eğitim, teçizat ve sistemlere yatırım yapılması önem arz etmektedir. Bu kapsamda şirketimizde yaptığımız uygulama sonunda şu kazanımlar elde edilmiştir:

- Bakım gereksinimleri kavramsal tasarım sürecinde şekillendiği için hazırlıklar komponentlerin tasarımının olgunlaşmasına paralel olarak hassas biçimde yürütülmüş ve ihtiyaç tarihlerinde bakıma başlanabilmiştir.

- Bakımın önemli girdilerinden olan malzeme/parça tedariki ihtiyaç sıralamasına göre erken aşamada başladığı için bakımda kullanılan parça ve genel sarf malzemeler ihtiyaç duyulan zamanda alanında bulundurulabilmiştir.
- Bakımın uygulanma sırasını ve birbirlerine bağımlılığını gösteren öncelik şemaları hazırlanıp, kritik hususlar belirlenmiş, buradaki riskler indirgenerek bakım operasyonlarının uygulanması için gerekli koşullar oluşturulmuştur.
- Bakımı destekleyen bir malzeme stoku oluşturulmasına imkan sağlamıştır.
- Operasyon, bakım ve gözlem sonucu oluşan tecrübe, bakım programında sürekli iyileştirme metodolojisi için imkan sağlamıştır.
- Bu yaklaşım sayesinde maliyet indirgenmiştir.
- Değişiklik yönetimi sayesinde doküman değişiklikleri aksatılmadan hızlı bir biçimde bakıma yansıtılmıştır.
- Emniyetli bir uçuş için gerekli şartlar oluşturulmuştur.

### **Kaynaklar**

Barta, J., Eigel, E., Hosang, J., Steiner, A., Wüst, U., October 2013, A Tool for Preventive Aircraft Maintenance Scheduling, Institute for Data Analysis and Process.

Gerdes, M., Scholz, D., 2010, Zustandsbasierte Flugzeugwartung, Ingenieurspiegel 1.

Kuşhan, M.C., II. Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı, 10 Mayıs 2003, Türkiye'de Bakım Mühendisliği Eğitiminin Gereği ve Uçak Bakım Mühendisliğinin Önemi.

R.Keith MOobley, Copyright # 2004, Maintenance Fundamentals, Elsevier Inc., Page 10.