

HAVA ARACI BAKIMINDA İNSAN FAKTÖRÜ

Taner BAŞ¹

ÖZET

Havacılık sektörü, hata toleransının son derece düşük olduğu ve güvenliğin mutlak öncelik taşıdığı kritik bir alandır. Uçuş emniyetinin sağlanması, yalnızca hava aracı sistemlerinin teknik güvenilirliği ile değil, aynı zamanda bakım süreçlerinin planlı, sistematik ve yüksek doğrulukla yürütülmesiyle doğrudan ilişkilidir. Ancak, teknolojik ilerlemeler ve hava aracı sistemlerinde yaşanan gelişmeler, bakım süreçlerinde insan faktörünün etkisini tamamen ortadan kaldırmamaktadır. Aksine, insan faktörü bu süreçlerde belirleyici ve çoğu zaman risk artırıcı bir unsur olarak varlığını sürdürmektedir.

Hava aracı bakım faaliyetlerinde ortaya çıkan insan hatalarının etkilerinin anlaşılması ve bu hataların sistematik olarak yönetilebilmesi, uçuş emniyetinin sürdürülebilirliği açısından kritik bir gereklilik hâline gelmiştir. Literatürde yer alan çok sayıda çalışma, bakım süreçlerinde yapılan insan hatalarının hava aracı kazalarına ya da ciddi emniyet olaylarına yol açtığını ortaya koymaktadır. Bu durum, özellikle tasarım mühendislerinin insanın fiziksel, bilişsel ve organizasyonel özelliklerini dikkate alarak sistem tasarımına yön vermesini ve insan-makine etkileşimini derinlemesine analiz etmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, hava aracı bakım süreçlerinde insan faktörünün rolünü kapsamlı biçimde ortaya koymak, söz konusu faktörlerin uçuş emniyeti üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve insan hatalarının önlenmesine yönelik uygulamaları tartışmaktır.

Anahtar Kelimeler: İnsan Faktörü, Hata, Bakım, Hava Aracı, Havacılık

¹ Baş Teknik Mühendis, Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., ORCID: 0009-0006-7744-5552, tanerbas23@gmail.com

HUMAN FACTOR IN AIRCRAFT MAINTENANCE

ABSTRACT

The aviation industry is a critical field in which the margin for error must be minimized to the greatest extent possible. Ensuring flight safety depends not only on the technical reliability of aircraft systems but also on the proper planning and meticulous execution of maintenance procedures. However, regardless of technological advancements or the complexity of aircraft systems, the human factor remains a decisive and persistent variable in maintenance operations.

Understanding and managing the impact of human error in aircraft maintenance processes has become a fundamental requirement for enhancing flight safety. Numerous studies in the literature demonstrate that human errors occurring during maintenance activities have contributed to aviation accidents or serious safety incidents. This situation has compelled design engineers to thoroughly analyze human operational characteristics and their interactions with other system components during the design phase.

The primary aim of this study is to examine the role of human factors in aircraft maintenance processes, evaluate their impact on flight safety, and discuss preventative strategies to mitigate the risk of human error.

Keywords: Human Factor, Error, Maintenance, Aircraft, Aviation

GİRİŞ

İnsan faktörleri, insan davranışları, bilişsel süreçleri, fizyolojik sınırları, yetenekleri ve sınırlılıklarını inceleyen; elde edilen verileri sistem, ekipman, görev, ortam ve organizasyon tasarımına entegre etmeyi amaçlayan disiplinler arası bir bilim dalı olarak tanımlanmaktadır. Bu alan, insanın sistem içerisindeki performansını optimize etmeyi ve insan kaynaklı hataları en aza indirerek güvenliğini artırmayı hedeflemektedir. Özellikle yüksek riskli ve kompleks sistemlerin bulunduğu havacılık sektörü gibi alanlarda, insan faktörleri disiplini hayati bir rol oynamaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri Federal Havacılık İdaresi (Federal Aviation Administration–FAA), insan faktörlerini; insanın fizyolojik ve psikolojik kapasitelerine ilişkin bilgilerin sistematik biçimde toplanması ve bu bilginin donanım, sistem, altyapı, prosedür, görev dağılımı, eğitim programları ve insan kaynakları yönetimi gibi operasyonel alanlara uygulanması yoluyla güvenli, verimli ve sürdürülebilir insan performansını sağlamayı amaçlayan bir çalışma alanı olarak tanımlamaktadır. Bu yaklaşım, insanın sistem içerisindeki en zayıf halka değil, doğru tasarlanmış sistemlerle en güçlü halkalardan biri olabileceği görüşüne dayanmaktadır.

Avrupa Birliği Havacılık Emniyeti Ajansı (European Union Aviation Safety Agency–EASA) ise insan faktörlerini; hava aracı tasarımı, sertifikasyonu, bakımı ve havacılık personelinin eğitimi gibi süreçlerde insanın bilişsel, fiziksel ve algısal sınırlarının göz önünde bulundurulmasını sağlayan ilke ve standartlar bütünü olarak tanımlamaktadır. Bu tanım, insan faktörlerinin yalnızca operasyonel süreçlerde değil, aynı zamanda sistemin en baştan tasarlanma sürecinde de dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Günümüzde, havacılık güvenliği ile ilgili birçok ulusal ve uluslararası kuruluş, insan faktörleri bilgisini; risk yönetimi, emniyet kültürü oluşturma, eğitim programları geliştirme ve hataları sistemsal olarak analiz etme süreçlerinde temel bir çerçeve olarak kabul etmektedir. Bu çerçevede insan faktörlerinin, havacılıkta sadece bir hata kaynağı değil, aynı zamanda emniyetin temel belirleyicisi olduğu anlayışı giderek yaygınlık kazanmaktadır.

Havacılıkta doğrudan kazaya sebebiyet veren en önemli insan faktörleri konularından biri de hava aracı bakım faaliyetlerindeki insan faktörüdür. Hava aracı bakım faaliyetleri bakım, onarım, kontrol, uçuş hazırlığı döngüsünde yürütülür. Bu döngüde icra edilen her türlü faaliyet üst seviyede bilgi beceri ve dikkat gerektirir. Uçak bakımında insan faktörleri, bakım personelinin hava aracı sistemlerinin diğer tüm unsurlarıyla etkileşimini anlamaya ve optimize etmeye yönelik çok disiplinli bir yaklaşım gerektirir. Bu alandaki çalışmalar, insanın fiziksel, bilişsel ve davranışsal özelliklerine ilişkin bilgilerin sistem tasarımına entegrasyonu ile hata oranlarının azaltılması, emniyetin artırılması ve sistem güvenilirliğinin sağlanmasını hedeflemektedir. Başka bir ifadeyle, teknisyenlerin araçlar, görevler, prosedürler, çalışma ortamı ve diğer kişilerle olan etkileşimlerinin düzenlenmesi ve geliştirilmesi yoluyla, insan kaynaklı hataların uçuş güvenliğini tehlikeye atmasının önlenmesini amaçlamaktadır.

Son otuz yıl içerisinde, havacılık teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler sayesinde uçak sistemlerinin genel güvenilirliği önemli ölçüde artmıştır. Özellikle dijital aviyonik sistemler, kompozit malzemeler, uçuş veri izleme sistemleri ve bakım yazılımları gibi yenilikler, hava araçlarının arıza olasılıklarını azaltmış ve uçuş performansını iyileştirmiştir. Aynı zamanda, otomatikleştirilmiş uçuş kontrol sistemlerinin (örneğin otopilot, fly-by-wire sistemleri) yaygınlaşmasıyla birlikte, uçuş operasyonlarının emniyet seviyesi daha önce görülmemiş düzeylere ulaşmıştır. Bu teknolojik ilerlemeler, uçuş mürettebatının yükünü azaltarak insan hatasına bağlı kaza oranlarını düşürmüştür; ancak dikkatleri uçuş dışı faktörlere, özellikle de yer hizmetleri ve bakım faaliyetleri kaynaklı hatalara yönlendirmiştir. Günümüzde meydana gelen birçok hava kazasında, temel neden olarak hatalı bakım uygulamaları, prosedür eksiklikleri veya teknik personelin yaptığı ihmallere öne çıkmaktadır. Bu durum, uçuş emniyetinin yalnızca kokpit içi faktörlere değil, aynı zamanda yer destek sistemleri ve bakım süreçlerine entegre yaklaşımlarla ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, ‘Hava Aracı Bakım Hataları’ ve ‘İnsan Faktörü’ anahtar kelimeleri içeren tezler ve akademik makaleler analiz edilerek hazırlanmıştır. Çalışmada, havacılık sektöründe edinilen saha deneyimleri ile literatür bulguları harmanlanarak, insan hatalarının nedenleri ve önlenmesine yönelik kapsamlı bir değerlendirme sunulmuştur. Kaza raporları incelenerek insan faktörünün hava aracı güvenliği için önemini gösteren bulgular tespit edilmiştir. Bu çalışma ile hava aracı bakımında insan faktörlerinden kaynaklanan risklerin azaltılmasına ve uçuş emniyetinin sürekli iyileştirilmesine katkıda bulunması hedeflenmektedir.

1. HAVA ARACI BAKIMINDA İNSAN HATASI TÜRLERİ

Boeing tarafından 1993 yılında yapılan bir araştırma, 1989–1991 arasında meydana gelen 122 hava aracı olayının %56’sının ihmallerden, %30’unun ise hatalı kurulumlardan kaynaklandığını ortaya koymuştur. Boeing, gerçekleşen 746 hava aracı olayında en sık görülen nedenleri analiz ederek sebeplerini aşağıdaki gibi listelemiştir (Ertekin, 2007: 25, 49).

Tablo 1: Boeing Bakım Hataları Dağılımı

<i>Hata Sebebi</i>	<i>Olay Oranı</i>	<i>Açıklama</i>
Eksik Kurulum	%48	Sistemin tam olarak montajının tamamlanmaması.
Kurulum Sırasında Hasar	%14,5	Parçaların veya sistemlerin montaj esnasında fiziksel hasar görmesi.
Yanlış Kurulum	%11	Sistemlerin prosedürlere aykırı şekilde monte edilmesi.
Ekipman/Parça Eksikliği	%11	Gerekli ekipmanın montajının veya parçaların eksik olması.
Yabancı Cisim Hasarı (FOD)	%6,5	Bakım sonrası uçak içinde bırakılan yabancı cisimlerin oluşturduğu hasar.
Yanlış Sorun Giderme/Test	%5	Arıza tespit, muayene veya test süreçlerinde hatalı uygulama.
Aktif/Pasif Durum Hataları	%4	Sistemlerin/ekipmanların operasyonel durumlarının (aktif/pasif) yanlış bırakılması.

1982–1991 yılları arasında Birleşik Krallık ‘ta Sivil Havacılık Otoritesi’ne (CAA) bildirilen 1.270 zorunlu olay raporundan (Mandatory Occurrence Reports – MOR) 230’unun bakım hatası kaynaklı olduğu ve normal operasyonları kesintiye uğratan ya da kaza riski taşıyan hatalar olduğu belirtilmiştir. Sonraki yıllarda hata bildirimlerinde ciddi bir artış gözlemlenmiştir. 1992–1994 döneminde 230 MOR, 1995–1996 döneminde ise 534 MOR kaydedilmiştir (Xavier, 2005: 16). Birleşik Krallık Sivil Havacılık Otoritesi, 1992 yılında Zorunlu Olay Raporlarına dayalı sıkça tekrar eden bakım hataları listesini yayınladı. Belirlenen problemler yaygınlık sırasına göre aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Knezevic, 2021: 9).

Tablo 2: CAA Zorunlu Olay Raporu Analizi, 1992

<i>Olay Türü</i>	<i>Açıklama</i>
Sistemlerin Yanlış Kurulumu	Parçaların hatalı montajı, yanlış tork değerleriyle veya eksik bağlantı elemanlarıyla monte edilmesi.
Yanlış Parçaların Takılması	Onaylı olmayan, farklı model veya revizyona ait parçaların kullanılması.
Elektriksel Kablo Uyuşmazlıkları	Yanlış pin bağlantıları, çapraz bağlantılar veya hasarlı kablo kullanımı dâhil olmak üzere elektriksel sistemlerdeki hatalar.
Uçak İçerisinde Bırakılan Gevşek Nesneler (FOD)	Aletler, bağlantı elemanları veya diğer araçların kritik bölgelerde unutulması.
Yetersiz Yağlama	Hareketli parçaların yetersiz veya yanlış tipte yağlayıcı ile yağlanması sonucu aşınma ve arıza riskinin artması.
Kapamaların, Erişim Panellerinin ve Aerodinamik Kaportaların (Fairing) Uygun Şekilde Emniyete Alınmaması	Uçuş sırasında açılma veya kopma riski taşıyan bu elemanların bağlantılarının eksik veya hatalı yapılması.
İniş Takımı Emniyet Mekanizmalarının ve Yakıt İkmal Noktalarının Uygun Şekilde Sabitlenmemesi	İniş takımı pimlerinin takılı unutulması veya çıkarılmaması, yakıt ikmal kapaklarının düzgün kapatılmaması gibi durumlar

Hava aracı bakım süreçlerinde insan hatası, uçuş emniyetini ciddi şekilde tehlikeye atabilecek birincil risk unsurlarından biridir. İnsan hataları yalnızca bireysel dikkatsizlikten kaynaklanmamakta, aynı zamanda eğitim eksiklikleri, sistem tasarım hataları ve çevresel etkiler gibi birçok unsurun etkileşimiyle ortaya çıkmaktadır. Bu çerçevede, hava aracı bakımında insan hataları farklı türlerde sınıflandırılmaktadır. Hava aracı bakımındaki hatalar birden fazla insan hatasının birleşimi sonucu meydana gelmektedir. Bu nedenle, insan hatalarının doğru şekilde sınıflandırılması, anlaşılması ve önlenmesine yönelik sistematik yaklaşımlar geliştirilmesi, uçuş emniyeti açısından kritik öneme sahiptir. Literatürde gerçekleştirilen taramalar sonucunda, hava aracı bakım faaliyetlerinde en yaygın biçimde rastlanan insan hatalarının, yedi temel kategori altında toplandığı görülmektedir:

1.1. Hatalı Montaj: Parçaların yanlış sırayla, hatalı yönle veya eksik şekilde monte edilmesidir. Elektrik konektörlerin ya da hortumların çapraz bağlanması, tork değerlerinin hatalı uygulanması gibi hataları kapsamaktadır. Bu tür hatalar genellikle bakım yapılan bölgede aynı parçaların kullanılması veya bakım dokümanlarında hatayı önleyebilecek uyarıların olmaması nedeniyle meydana gelmektedir. Montaj hatalarını önlemek için tasarımın erken safhalarında hatalı montajı imkânsız hala getirecek yerleşim gereksinimlerine ihtiyaç vardır.

Bu gereksinimlerin karşılanamadığı durumda hava aracı ekipmanlarının üstünde hatalı montajı önleyecek işaretlerin eklenmesine ve bakım dokümanlarına uyarıların girilmesi gerekmektedir (Knezevic, 2021: 10).

1.2. Tasarım Hataları: Ekipman ya da sistem tasarımının, bakım personelinin hata yapmasına sebebiyet verecek şekilde olmasıdır. Kontrol panellerinin karışık olması ya da bakım noktalarına erişimin zor olması bu hata grubuna örnektir. Bakım işlemlerinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için bakım personelinin bakım noktalarına erişiminin kolay olması ve bakım işlemini görerek yapması gerekmektedir. Bu nedenle uçak yapısı üstünde yeterli büyüklükte erişim kapaklarına ihtiyaç vardır. Tasarımın erken safhalarında bakım gereksinimlerinin belirlenmesi ve hava aracı yapısının bu gereksinimlere göre tasarlanması, hava aracı montajı sırasında ve hava aracının sahada kullanılması aşamasında yaşanabilecek insan hatalarını önlemesi için önemli bir kriterdir (Knezevic, 2021: 11).

1.3. Bilgi Eksikliği: Mevcut bir sorunun tespit edilememesi veya yanlış değerlendirilmesidir. Bu tür hatalar genellikle yetersiz eğitim, yorgunluk veya dikkat eksikliği gibi etkenlerden kaynaklanır. Uçak tiplerine göre değişebilen teknoloji farklılıkları ya da bir hava aracındaki yeni geliştirilmiş teknoloji ve prosedürleri bilmiyor olmak emniyetli bir bakım için ciddi risk oluşturmaktadır. Bakım personelinin belirli dönemlerde yapılacak sınav ve kontrollerle bilgi, beceri düzeyi ölçülmeli yetersiz görülenlerin ehliyet seviyeleri yeniden düzenlenmelidir (Kabasakal, 2017: 49).

1.4. İletişim Hataları: Bakım personeli ile yöneticiler, pilotlar, parça tedarikçileri arasında gerçekleşmesi gereken etkili iletişim potansiyel yanlış anlama ve gözden kaçırmalar nedeniyle hatalara yol açmaktadır. İletişim sorunları özellikle birden fazla kişinin çalışmak zorunda olduğu bakım işlemlerinde çok sık yaşanmaktadır. Hava aracı bakım personeli genellikle vardiyalı olarak çalışmaktadır. Kısmen tamamlanmış bakım işlemleri bir sonraki vardiya personeline transfer edilirken bakım prosedüründeki pek çok adım atlanabilir. Genel olarak vardiya değişimleri yazılı kurallar çerçevesinde kayıt altına alınarak yapılmalıdır. İş devreden teknisyen işle ilgili her ayrıntıyı devrettiği kişiye ayrıntıları ile açıklamalıdır (Güneş, 2016: 52).

1.5. Kaynak Yetersizliği: Kaynak yetersizliği, bir bakım işleminin yapılması için gereken malzeme, teçhizat ve teknik dokümanların eksikliğini belirtir. Bunların yanı sıra bakım işlemlerinde kullanılan malzeme ve teçhizatın kalite yönüyle uygunsuzlukları ile test ekipmanlarının ölçümleme eksikliği de bu kavramın içine girer. Bakım işlemlerinin zamanında tamamlanması için eksik veya uygun olmayan malzemeleri kullanmak büyük kazalara sebep olabilir. Bunun önlenmesi için bakım işlemlerinde kullanılan tüm malzeme, teçhizat ve ekipmanlar bakım dokümanlarında ayrıntılı olarak belirtilmelidir. Zaman baskısı, iş yükü fazlalığı veya uygun olmayan ekipman kullanımı kaynaklı hatalar, bakım süreçlerinde ciddi riskler doğurabilir (Kabasakal, 2017: 51).

1.6. Yorgunluk ve Fiziksel Yetersizlik: Yetersiz dinlenme, uzun çalışma saatleri, gece vardiyaları veya fiziksel tükenmişlik gibi faktörler teknisyenlerin dikkat düzeylerini düşürerek hata yapma olasılıklarını artırmaktadır. Yorgunluk, özellikle küçük ama kritik ayrıntıların gözden kaçırılmasına yol açabilmektedir (Koral, 2006: 65).

1.7. Prosedür ve Talimatlara Uyumsuzluk: Bakım talimatlarının eksik uygulanması, yanlış yorumlanması veya kasıtlı olarak ihmal edilmesi sonucu ortaya çıkan hatalardır. Bakım prosedürlerin karmaşıklığı veya açık olmaması da bu tür hataların temel nedeni olabilir. Zaman baskısı nedeniyle bakım dokümanlarında belirtilen süreçlerin dışına çıkmak da bu hatanın nedenlerinden biridir. Hava aracı bakım personelinde bilgi ve tecrübe kazandıkça aşırı rahatlık hissi ve tehlikeli bir kendine güven duygusu oluşabilir. Özellikle sürekli tekrarlanan rutin işlemlerde bazı kontroller gözden kaçır, atlanır ya da dikkate alınmayabilir. Çünkü o işlem teknisyen tarafından defalarca tekrarlanmıştır. Teknisyenin yaşadığı bu problemin kendisi tarafından fark edilmesi oldukça güçtür. Bu sebeple denetim mekanizmalarının teknisyenleri bu açıdan gözlemlemeleri şarttır (Kabasakal, 2017: 56).

2. BAKIMDA İNSAN FAKTÖRÜNÜN ETKEN OLDUĞU KAZALAR

1959 ile 1983 yılları arasında meydana gelen 93 büyük hava aracı kazası incelenmiş ve Tablo 3’ te görüldüğü gibi kazaların %12’sinde bakım ve denetim eksikliklerinin etkili olduğu tesbit edilmiştir (Knezevic, 2021: 3).

Tablo 3: 1959-1983 Yılları Arasında Gerçekleşen 93 Kazanın Analizi

<i>Faktör</i>	<i>Bu faktörün etkili olduğu kazaların yüzdesi</i>
Pilotun standart prosedürlerden sapması	33
İkinci mürettebat üyesinin yetersiz kontrolü	26
Tasarım kusurları	13
Bakım ve denetim eksiklikleri	12
Yaklaşım rehberlik eksikliği	10
Kaptanın mürettebat girdilerini görmezden gelmesi	10
Hava trafik kontrolü hataları veya aksaklıklar	9
Normal olmayan koşullarda mürettebatın yanlış tepkisi	9
Yetersiz veya yanlış hava durumu bilgisi	8
Pisti tehdit eden unsurlar	7
Yanlış iniş kararı	6
Hava trafik kontrolü/mürettebat iletişim eksiklikleri	6

Hava aracı bakımında insan hatalarının ölümcül kazalara sebep olduğu örneklerle ortaya konmuştur. Aşağıda sunulan vakalar, bakım süreçlerinde yapılan hataların, prosedür dışı uygulamaların, yetersiz eğitim ve gözetimin, iletişim eksikliklerinin ve organizasyon sorunların uçuş emniyetini nasıl ciddi şekilde tehdit ettiğini göstermektedir.

2.1. American Airlines Uçuş 191 (McDonnell Douglas DC-10), 1979

25 Mayıs 1979 tarihinde Chicago O'Hare Uluslararası Havalimanı'ndan kalkış yapan American Airlines Uçuş 191 sefer sayılı McDonnell Douglas DC-10 tipi yolcu uçağı, kalkıştan kısa süre sonra sola yatıp burnunu aşağı vererek düşmüş ve 273 kişinin ölümüne neden olmuştur.

NTSB (National Transportation Safety Board) raporuna göre kazanın temel nedeni motor bakım dokümanına uyulmamasıdır. American Airlines, uçak motorunu kanat altından söküp tekrar takma işlemini, McDonnell Douglas tarafından önerilen yöntemin dışına çıkarak, bakım süresini kısaltmak amacıyla "forklift" kullanarak gerçekleştirmiştir. Bu yöntem, "pylon" adı verilen motor bağlantı noktalarında mikro çatlakların oluşmasına neden olmuş ve zamanla bu çatlaklar büyüyerek yapısal zayıflamaya yol açmıştır. Sonuç olarak, kalkış sırasında maruz kalınan yüksek titreşim ve yük etkisiyle bu zayıflamış bağlantılar kopmuş, motor ve "pylon" yapısı kanattan tamamen ayrılmıştır (NTSB Aircraft Accident Report, 1979: 68).

American Airlines Uçuş 191 kazasının nedeni, bakım prosedürlerinin uygun olmayan şekilde uygulanması ve bu uygulamanın sonucunda yapısal bütünlüğün bozulmasıdır. Bu olay, havacılık sektöründe bakım standartlarının ve denetim mekanizmalarının ne denli hayati olduğunu ortaya koymuştur.

2.2. Japan Airlines Uçuş 123 (Boeing 747SR), 1985

12 Ağustos 1985 tarihinde Tokyo Haneda Havalimanı'ndan sefer yapmakta olan Japan Airlines Uçuş 123 sefer sayılı uçak kontrol kaybı sonucu düşmüştür. Bu kaza, 520 kişinin yaşamını yitirmesiyle havacılık tarihinin en ölümcül kazalarından biri olarak kayıtlara geçmiştir.

JTSB (Japan Transport Safety Board) raporuna göre kazanın temel nedeni, uçağın arka basınç bölmesinde yapısal bütünlüğün bozulmasıdır. 1978 yılında aynı uçağın yaşadığı bir kuyruk çarpması olayının ardından Boeing tarafından gerçekleştirilen tamir işlemi, bakım prosedürlerine uygun şekilde yapılmamıştır. Arka basınç bölmesindeki çift sıra olarak uygulanması gereken perçinli bağlantı, tek sıra halinde uygulanmış ve yapısal mukavemet ciddi şekilde zayıflatılmıştır. Bu hatalı onarım, çatlaklarının zamanla gelişmesine ve metal yorgunluğuna sebep olmuştur. Havada maruz kalınan basınç değişimleri sebebiyle zayıflatılmış yapı yükü taşıyamaz hale gelmiş ve arka basınç bölmesi kalkıştan kısa süre sonra aniden parçalanmıştır. Uçağın kuyruk kısmı kısmen kopmuş ve bununla birlikte üç adet hidrolik sistemin tamamı işlevsiz hale gelmiştir. Uçuş kontrol yüzeylerinin tamamı hidrolik sistemlere bağlı olduğundan, pilotlar uçağın kontrolünü tamamen kaybetmiştir (JTSB Accident Investigation Report, 1985: 124).

Kaza, bakım talimatlarının eksik uygulanmasının hava aracı yapısal bütünlüğü ve uçuş emniyeti açısından ciddi bir risk olduğunu göstermiştir.

2.3. British Airways Uçuş 5390 (BAC One-Eleven), 1990

10 Haziran 1990 tarihinde Birmingham Havalimanı'ndan kalkış yapan British Airways Uçuş 5390 sefer sayılı BAC One-Eleven tipi yolcu uçağı, kalkıştan kısa süre sonra sol ön kokpit camının ani şekilde yerinden çıkması sonucu kabin basıncının hızla düşmesiyle acil durum yaşamıştır. Uçak ikinci pilot ve kabin ekibinin çabalarıyla güvenli bir şekilde Southampton Havalimanı'na indirilmiştir.

AAIB (Air Accidents Investigation Branch) tarafından yayımlanan kaza raporuna göre olayın temel nedeni, uçağın sol ön kokpit cam panelinin bakım sürecinde yanlış boyutta ve uygunsuz mukavemete sahip cıvatarlarla takılmış olmasıdır. Cıvatarların çapları üretici tarafından önerilen daha dar ve kısa seçilmiştir. Bu durum, cam panelin montaj yuvasına yeterli sıkılık ile bağlanmamasına neden olmuştur. Hatalı montaj, uçağın kabin basıncının hızla arttığı yüksek irtifa tırmanışı esnasında, camın yerinden ayrılarak dışarı fırlamasına sebep olmuştur. Camın aniden çıkması, kabin basıncının hızla düşmesine neden olmuştur. Bu ani basınç düşüşü sebebiyle pilot kabinin bir bölümü cam boşluğundan dışarı doğru savrulmuştur (AAIB Aircraft Accident Report, 1990: 52).

Bakım dokümanlarına uyulmaması, uygun olmayan malzeme kullanılması ve kalite güvence mekanizmalarının etkin çalıştırılmaması gibi kurumsal düzeydeki eksiklikler kazanın meydana gelmesine sebep olmuştur.

2.4. Air Midwest Uçuş 5481 (Beechcraft 1900D), 2003

8 Ocak 2003 tarihinde Charlotte Douglas Uluslararası Havalimanı'ndan kalkış yapan Air Midwest Uçuş 5481 sefer sayılı Beechcraft 1900D tipi yolcu uçağı, kalkıştan kısa süre sonra kontrolünü kaybederek düşmüştür. Kaza sonucunda uçakta bulunan 21 kişi hayatını kaybetmiştir.

NTSB (National Transportation Safety Board) raporuna göre kaza birden fazla teknik ve insan faktörünün birleşimiyle meydana gelmiştir. Bakım sırasında kontrol yüzeylerinin hareketini sağlayan kabloların gerginliği yanlış ayarlanmış, bu da uçağın kumanda yüzeyi hareket aralığını kısıtlamıştır. Bu nedenle pilotlar, uçağın burun açısını gerektiği şekilde kontrol edememiştir. Buna ek olarak, uçuş öncesinde yapılan ağırlık ve dengeleme hesaplamalarında hatalar yapılmıştır. Yolcu ağırlıkları gerçekte olduğundan daha düşük tahmin edilmiş, bu da uçağın maksimum kalkış ağırlığını aşmasına ve denge merkezinin izin verilen sınırların dışına çıkmasına sebep olmuştur. Bu durum uçağın hava dinamiklerini olumsuz etkileyerek kontrol zorluğu yaratmıştır (NTSB Aircraft Accident Report, 2003: 128).

Kaza, havacılıkta bakım prosedürlerinin titizlikle uygulanmasının ve doğru ağırlık-denge yönetiminin önemini ortaya koymuştur. Ayrıca, bakım personelinin eğitimi ve denetim mekanizmalarının etkinliği, uçuş güvenliğinin sağlanmasında ön plana çıkmıştır.

3. HAVA ARCI BAKIMINDA İNSAN HATASINI AZALTMAYA YÖNELİK UYGULAMALAR

Hava aracı bakımında insan hatasını önlemeye yönelik çalışmalar tasarım aşamasında idame edilebilirlik çalışmaları ile başlamalıdır. İdame edilebilirlik kapsamında yapılan ergonomi analizleri ile olası insan hatasına yol açabilecek olası bakım zorlukları tasarım aşamasında belirlenip gerekli tasarım değişiklikleri sağlanmalıdır.

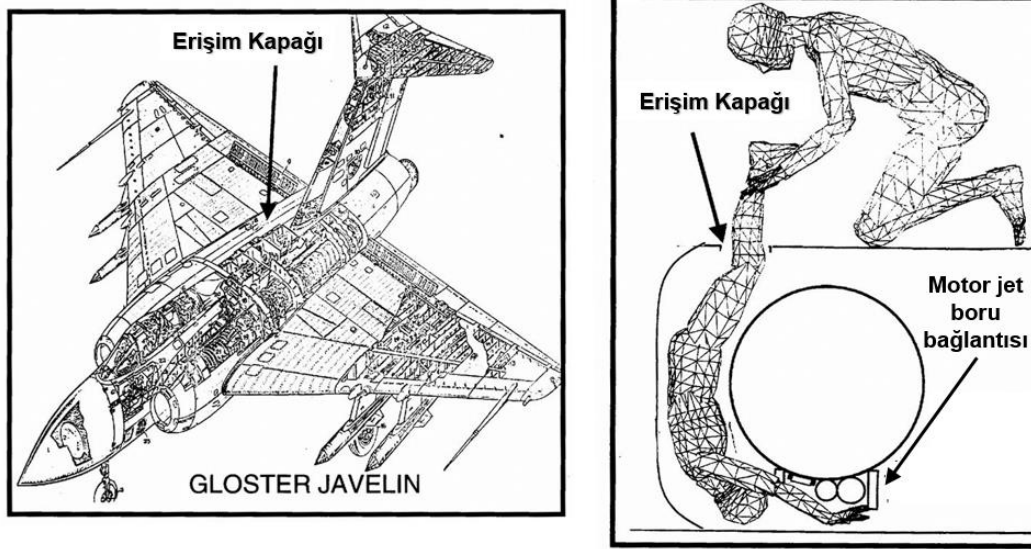
Hava aracının sahada kullanılmaya başlanması sonrası yaşanan insan kaynaklı kazalar için sistematik yaklaşımlar kullanılmalıdır. Bakım hatalarının nedenlerini incelemek ve gelecekte benzer hataları önlemek ve gerekli eğitimleri vermek için “Bakım Hataları Karar Yardımcısı (BHKY)” sistemi geliştirilmiştir.

3.1. İdame Edilebilirlik Çalışmaları

Hava aracında bir donanım arızalandığında, en kısa sürede onarılmalı, değiştirilmeli ve tekrar kullanıma hazır hale getirilmelidir. Tasarım sırasında idame edilebilirliğin dikkate alınmaması demek, yüksek bakım maliyetleri, hava aracının yerde kalma süresinin uzaması ve uzun süre servis dışı kalması ve bakım personelinin görevini yerine getirirken gereğinden fazla zorlanması, zaman kaybetmesi hatta olası yaralanma ve sakatlanmalara maruz kalması anlamına gelebilir. İdame edilebilirlik çalışmaları, bakım faaliyetlerinin etkinliğini artırmak, arıza giderme süresini kısaltmak ve insan kaynaklı hataları en aza indirmek üzere yapılandırılır. İdame edilebilirlik kapsamında yapılan çalışmaların hedefi, bakım personeli için ergonomik iyileştirmeleri hava aracı tasarımına yansıtmaktır. Örneğin, bakım noktalarına kolay erişim, parçaların standardizasyonu, hatalı montajı önleyecek tasarım önlemleri bakım faaliyetlerinin daha güvenli ve hatasız şekilde yürütülmesini sağlar. Bakım kolaylığı ve insan hatasını önlemek için aşağıda belirtilen temel idame edilebilirlik gereksinimleri hava aracı tasarımında dikkate alınmalıdır (MIL-HDBK-470A, 1997: 320).

1. Erişim açıklıkları, bakım teknisyeninin iki el ile erişimine imkân verecek ve bakım personelinin görerek görevini yapabileceği büyüklükte olmalıdır.
2. Herhangi bir donanım, yapısal parça, boru veya bağlantının yanlış montajı tasarım aşamasında imkânsız hale getirilmelidir. Yanlış montaj veya çapraz bağlantıyı önlemek için yeterli fiziksel düzenlemeler (parça boyutu/şekli, bağlantı elemanı türü/boyutu, farklı bağlantı türleri, asimetrik anahtar yolları, geometrik özellikler vb.) sağlanmalıdır.
3. Sistem yerleşimi, standart takımların (tornavida, İngiliz anahtarı vs.) ve sistem test araçlarının kullanılmasına imkân verecek şekilde monte edilmelidir.
4. Sık bakım ihtiyacı olan ekipmanlar kapak açılınca direkt olarak erişilebilir olmalıdır.
5. Bakım yaparken tehlike yaratabilecek bölgelere mutlaka uyarı işaretleri konulmalıdır.
6. Özel takım gerektiren bağlantılardan uzak durulmalıdır.

Şekil 1’ deki örnek, iki motorlu avcı uçaklarından biri olan Gloster Javelin uçağındaki bir erişilebilirlik sorununu göstermektedir. Motor jet borusunun montajı için bir teknisyenin küçük bir kapaktan erişim sağlaması ve borulara ulaşmak için baş aşağı asılı kalması gerekiyordu. Güvenlik nedeniyle, teknisyenin ayak bileklerinden tutulması gerekiyordu. İdame edilebilirlik gereksinimlerinin hava aracı tasarımına yansımaması bu örnekteki gibi bakım zorluklarına ve olası insan hatalarına sebep olacaktır (Augustine 2007: 3).



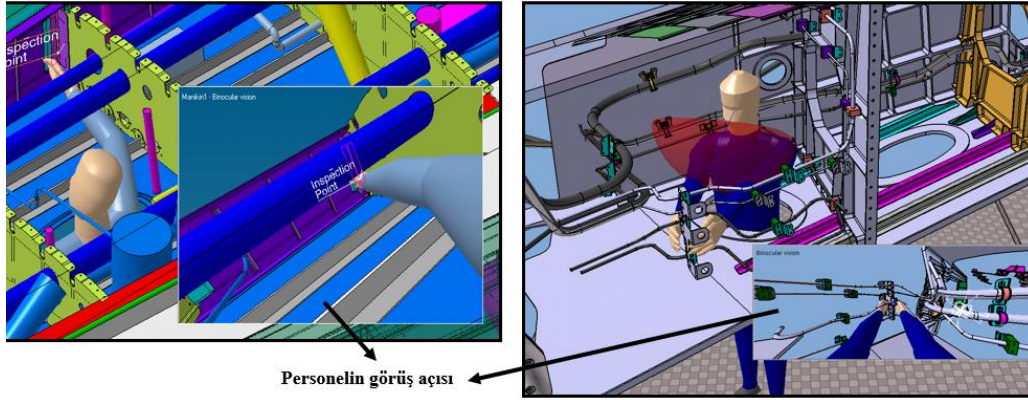
Şekil 1: İdame Edilebilirlik Sorunu

3.1.1. Ergonomi Analizleri

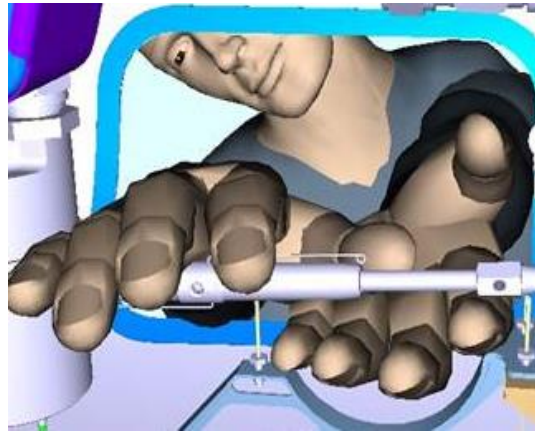
Ergonomi analizlerinin amacı 3D tasarım verileri üstünde insan mankenlerini kullanarak bakım yapılabilirlik açısından tasarımı analiz etmek ve idame edilebilirlik gereksinimlerinin tasarıma yansımalarını somut verilerle sağlamaktır. Ergonomi analizleri ile bakım personelinin hava aracı içerisinde yapılması istenen bakım görevlerinin simülasyonu yapılabilmektedir. Bu simülasyonlar sayesinde belirlenen bakım zorlukları hava aracı kullanıma sunulmadan tasarım aşamasında çözülmekte ve olası bakım hataları önlenmektedir. Yapılan simülasyonlarda dikkate alınması gereken konular şu şekildedir (Lockett, 2012: 6).

1. Bakım personeli el ile erişim imkânı var mıdır?
2. Bakım personeli görevini görerek yapabilir mi?
3. Erişim açıklığı bakım personelinin gerekirse vücudu ile hava aracı içine girmesi için yeterli midir?
4. Bakım personelinin bakım görevini yapmak için kullandığı alet ve takımlar için yeterli alan var mıdır?

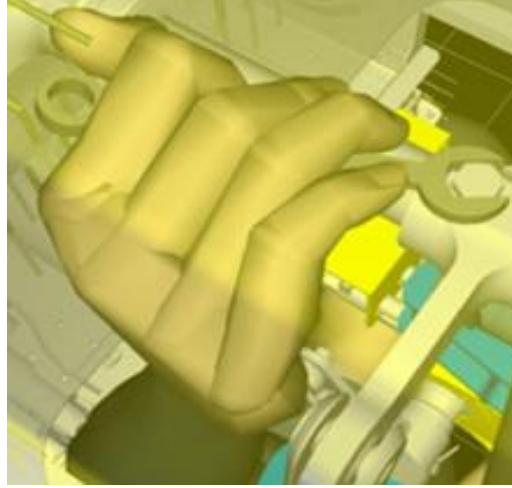
Hava aracı tasarımı aşamasında uygulanması gereken ergonomi analizleri aşağıda verilmiştir. Bu analizlerde erişim açıklığının bakım görevleri için yeterliliği ve bakım personelinin hatalı bir işlem yapmaması için görevini görerek ve standart takımlarla yapabilmesi incelenmiştir (Hanson, 2021: 8).



Şekil 2: Bakım Personelinin Görüş Açısı Simülasyonu



Şekil 3: Görerek İki El ile Erişim Simülasyonu



Şekil 4: Standart Takımlar ile Erişim Simülasyonu

3.2. Bakım Hataları Karar Yardımcısı (BHKY)

Bakım Hataları Karar Yardımcısı (BHKY), bakım teknisyenleri ve denetçileri tarafından yapılmış olan bakım hatalarını araştırmak için Boeing firması tarafından MEDA (Maintenance Error Decision Aid) adıyla tasarlanmış ve diğer hava aracı bakım kuruluşlarında yaygın olarak kullanılmakta bir süreç yapısıdır. Hava aracı bakım süreçlerinde insan kaynaklı hataların önlenmesi amacıyla geliştirilen BHKY, insan faktörüne dayalı hataların anlaşılmasını ve önlenmesini sağlamak üzere eğitim temelli bir yaklaşım sunmak için tasarlanmıştır. BHKY, bakım hatasına sebep olan etmenleri tanımlayarak bu hataların önüne geçmeyi amaçlar.

Geleneksel yöntemler, hataların bireysel ihmalkârlık veya yetersizlikten kaynaklandığını varsayar. Ancak BHKY, en dikkatli çalışanların bile hata yapabileceği varsayımından hareket ederek, farklı bir yaklaşıma odaklanır. Bu yaklaşım hatanın sebebi olan teknisyenlerin de sürece aktif katılımını sağlamaktadır. Teknisyenler, yetkinliklerinin sorgulanmadığını ve katkılarının disiplin cezası ya da diğer çalışanlara karşı kullanılmayacağını bildiklerinde, araştırmacılarla iş birliği yapmaya daha istekli olurlar. Böylece, hata oluşumuna katkıda bulunan faktörleri belirleme ve çözüm önerileri geliştirme süreçlerine etkin bir şekilde katılırlar. Günlük bakım görevlerini gerçekleştiren teknisyenler, genellikle hata oluşumuna katkıda bulunan faktörlere aşina olurlar. Bu faktörler arasında, çalışma kartları veya bakım kılavuzları gibi anlaşılması güç bilgiler, kaynak yetersizliği, çalışma vardiyaları arasında iletişim eksiklikleri ve erişim zorlukları gibi unsurlar yer alır. Teknisyenlerin, bu faktörlere çözüm üretmek için kendi stratejileri bile olabilir. BHKY incelemelerinin amacından biri, bu stratejileri keşfetmek ve tüm bakım operasyonu ile paylaşmaktır (Ertekin, 2007: 81)

Bakım Hataları Karar Yardımcısı sisteminin temel ilkesi, hataların oluşumuna sebep olan faktörlerin yönetilebilir olduğudur. Teknisyenlerin aktif katılımı, bu ilkenin uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır. Yönetilebilirlik, iş süreçlerinin yeniden düzenlenmesi, bakım prosedürlerinin iyileştirilmesi, tesislerin geliştirilmesi ve en iyi uygulamaların paylaşılması gibi somut adımlarla hayata geçirilmektedir. Hatalar genellikle bir dizi faktörün bir araya gelmesiyle ortaya çıktığından, yalnızca bir ya da iki faktörün ele alınması bile hatanın tekrarını önleyebilir ve etkili bir çözüm sağlayabilir (Ertekin, 2007: 83).

3.2.1. BHKY Süreci

Bakım hatalarını tespit etmek ve gelecekte benzer hataların önüne geçmek amacıyla sekiz aşamadan oluşan sistematik bir süreç uygulanmaktadır (Boeing MEDA Guide 2001, 8).

1. BHKY, olay temelli bir süreçtir. Bu bağlamda, BHKY incelemesi, bir olayın meydana gelmesinden sonra, olayın neden gerçekleştiğini belirlemek amacıyla yürütülmektedir. Ancak bu incelemenin başlatılabilmesi için, bakım teknisyeni ya da denetçisinin hatasının olayın nedeni ya da kısmi nedeni olduğunun önceden tespit edilmiş olması gerekmektedir.
2. Olay gerçekleştikten sonra, olayın oluşumuna katkı sağlayan bir hata olup olmadığını belirlemek amacıyla ön inceleme süreci başlatılmaktadır. Eğer herhangi bir bakım hatası saptanmazsa, olayın teknik nedenlerini belirlemek üzere mühendislik incelemesi başlatılmaktadır. Bu aşamada, örneğin metal yorgunluğu ya da elektronik bileşenlerin arızası gibi sistemsal nedenler araştırılmaktadır. Ancak bir bakım hatası tespit edilirse, BHKY süreci devreye alınmaktadır.
3. Sürecin üçüncü aşamasında, hatayı gerçekleştiren bakım teknisyeni ya da denetçinin kim olduğu belirlenmektedir.
4. Belirlenen kişiyle yapılan görüşmelerde iki temel soruya yanıt aranmaktadır: Hatanın oluşumuna katkıda bulunan faktörler nelerdir? Bu faktörlerin ortadan kaldırılması ve benzer hataların tekrarın önlenmesi için önerilen çözümler nelerdir?
5. Hata faktörlerini ya da çevresel koşulları daha iyi anlamak amacıyla, aynı ekipte görev yapan diğer bakım teknisyenleri, üretim planlamacıları ve yedek parça teknisyenleriyle de görüşmeler yapılmaktadır.
6. Tüm görüşmeler ve teknik incelemeler tamamlandıktan sonra, elde edilen bulgular veri tabanına kaydedilmektedir. Ardından, hatalarda veya katkı sağlayan faktörlerde zaman içerisinde ortaya çıkan eğilimler analiz edilmektedir.
7. İyileştirme aşamasına geçildiğinde, katkı sağlayan faktörlere yönelik alınacak kararlar genellikle yönetim tarafından verilmektedir. Bu durumun nedeni, önerilen bazı iyileştirmelerin ek maliyet ya da insan kaynağı gerektirmesidir. Kararlar çoğunlukla haftalık veya aylık yönetim güvenilirlik toplantıları gibi platformlarda değerlendirilmektedir.

8. Son aşamada, yapılan iyileştirmelere ilişkin olarak bakım teknisyenlerine ya da denetçilere geri bildirim sağlanması ve gerekli eğitimlerin verilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu uygulama, sürecin cezalandırıcı değil, geliştirici bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda bu yaklaşım, sürecin sürekli iyileştirme ve iş birliğine dayalı olduğunu hissettirerek, çalışanların sürece etkin katılımını teşvik etmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, hava aracı bakım süreçlerinde insan faktörlerinin kritik rolünü, bu faktörlerin uçuş emniyeti üzerindeki olumsuz etkilerini ve söz konusu etkileri en aza indirmeye yönelik önleyici uygulamaları kapsamlı bir biçimde ele almıştır. Yapılan literatür taraması ve vaka analizleri, hatalı montajdan iletişim eksikliklerine, yorgunluktan prosedür uyumsuzluklarına kadar geniş bir yelpazede insan hatası türlerinin, havacılık kazaları ve ciddi olaylarda önemli bir etken olduğunu net bir şekilde ortaya koymuştur.

Elde edilen bulgular, hava aracı tasarımında idame edilebilirlik ve ergonomi prensiplerinin erken aşamalardan itibaren dikkate alınmasının, bakım personelinin hata yapma olasılığını azaltmada temel bir strateji olduğunu göstermektedir. Erişim kolaylığı, hatalı montajı önleyici tasarımlar ve standart takım kullanımına uygunluk gibi faktörler, insan hatası riskini minimize etmede kilit rol oynamaktadır. Bununla birlikte, hatalar meydana geldikten sonra kök neden analizi yaparak gelecekteki benzer olayları önlemeyi hedefleyen Bakım Hataları Karar Yardımcısı gibi yaklaşımlar kullanılarak, bireyi suçlamak yerine sistemik iyileştirmelere odaklanan daha sürdürülebilir bir bakım kültürü oluşturulmalıdır. BHKY sürecinin, teknisyenlerin aktif katılımını teşvik ederek hata faktörlerinin belirlenmesi ve çözüm önerilerinin geliştirilmesinde etkili bir araç olduğu görülmüştür.

Netice itibarıyla, hava aracı bakımında insan faktörlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi, hata oranlarını düşürmek ve uçuş emniyetini artırmak için önemli bir gerekliliktir. Bu doğrultuda, gelecekteki çalışmalar için aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

1. Hava aracı ve ekipman tasarım süreçlerinde, idame edilebilirlik ve ergonomi prensipleri, tasarımın erken aşamalarından itibaren zorunlu bir kriter olarak ele alınmalıdır. Bu kapsamda insan mankenleri kullanılarak yapılan ergonomi analizleri ile bakım kolaylığı tasarım aşamasında sağlanmalıdır.
2. Bakım personeli için insan faktörleri, hata yönetimi, etkili iletişim, ekip çalışması ve BHKY prensiplerini içeren, periyodik olarak tekrarlanan, uygulamalı eğitim programları uygulanmalı ve sürekli güncellenmelidir.
3. Kurum içerisinde, cezalandırıcı olmayan ve öğrenmeye odaklı hata raporlama ve analiz sistemi (BHKY gibi) uygulanmalı ve teknisyenlerin bu süreçlere aktif katılımı teşvik edilmelidir.
4. Bakım dokümanları (iş kartları, bakım kılavuzları vb.) kullanıcı dostu, açık, anlaşılır, görsel materyallerle desteklenmiş olmalı ve karmaşık prosedürler basitleştirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Adrian J. Xavier. (2005). Managing Human Factors in Aircraft Maintenance Through a Performance Excellence Framework. Yüksek Lisans Tezi. Embry-Riddle Aeronautical University.
- Air Accidents Investigation Branch (1992). Aircraft Accident Report 1/1992: Report on the accident to BAC One-Eleven, on 10 June 1990. Department of Transport, United Kingdom. Alındığı yer https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5422faa7e5274a131400078d/1-1992_G-BJRT.pdf
- Aircraft Accident Investigation Commission (1987). Aircraft accident investigation report: Japan Air Lines Co., Ltd. Boeing 747 SR-100, JA8119, Gunma Prefecture, Japan, and August 12, 1985. Ministry of Transport, Japan. Alındığı yer https://jtsb.mlit.go.jp/eng-air_report/JA8119.pdf
- Augustine B.S.M, Ramesh Babu B.R, Narayanan.K. V, Kolanjiappan.S. (2007). Evaluation of Aircraft Maintainability and Aircraft Maintenance. Sathyabama University.
- Boeing (2001). Maintenance Error Decision Aid (MEDA) Users Guide
- Ertekin, A. (2007). Human Factors in Aircraft Maintenance. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Güneş, T. (2016). Hava Aracı Bakım Dokümanlarının Kullanımında Emniyet Etkinliğinin Arttırılmasına Yönelik Bir Yaklaşım. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- H. L. Lockett, J. Estefani, É. Reytérou. (2012). An Aircraft Design for Maintainability Methodology Integrated with Computer Aided Design. Department of Aerospace Engineering, Cranfield University.
- Hanson, L., Sperling, L., Gard, G., Ipsen, S., & Vergara, C. O. (2021). Integrating human factors early in the design process using digital human modelling and surrogate modelling. Applied Ergonomics, 93, 103353.
- Kabasakal, S. (2017). Hava Aracı Bakımlarında İnsan Faktörlü Hataların İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ufuk Üniversitesi.
- Knezevic, J. (2021). Design Impact on Human Error in Maintenance. The Marine Education Society of Australasia (MESA) Konferansı.
- Koral, S. (2006). Hava Aracı Bakımında İnsan Faktörü Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi.
- MIL-HDBK-470A (1997). Department of Defense Handbook, Designing and Developing Maintainable Products and Systems Volume I
- National Transportation Safety Board (1979). Aircraft accident report: United Airlines, Inc., McDonnell Douglas DC-10-10, N110AA, Chicago-O'Hare International Airport, Chicago, Illinois, May 25, 1979 (NTSB/AAR-79/17). Alındığı yer <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR7917.pdf>
- National Transportation Safety Board (2003). Loss of pitch control during takeoff: Air Midwest flight 5481, Beechcraft 1900D, N233YV, Charlotte, North Carolina, January 8, 2003 (NTSB/AAR-03/01). Alındığı yer <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR0401.pdf>