

## HAVACILIK TARİHİ İÇERİSİNDE BAKIM GÜVENİLİRLİĞİ

Murat MUŞTU<sup>1</sup> Erhan BÜTÜN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı [muratmustu78@hotmail.com](mailto:muratmustu78@hotmail.com)

<sup>2</sup>Serbest Araştırıcı [erhanbutun@yahoo.com](mailto:erhanbutun@yahoo.com)

DOI: [10.23890/SUHAD.2018.0209](https://doi.org/10.23890/SUHAD.2018.0209)

### ÖZET

Bir sistemin güvenilirliği, onun üretim sahasındaki tasarım ve imalat güvenilirlikleri ile kullanım sahasındaki bakım güvenilirliğinin toplamına eşittir. Havacılıkta bakım güvenilirliği, maliyet-etkin bir hava aracı bakım yönetiminde temel standart olarak elde edilmesi gereken esas hedeftir. Çünkü, bakım güvenilirliğini sağlayamayan herhangi bir havayolunda sadece mal değil, aynı zamanda can, para, zaman ve itibar kayıpları da yaşanabilmektedir. Havacılık tarihine baktığımızda, kökeni Güvenilirlik Merkezli Bakım kavramına dayanan bakım güvenilirliği kavramının öneminin 1970 sonrasında anlaşıldığı görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, havacılık tarihi içerisinde hava aracı bakım güvenilirliği kavramının gelişimini incelemektir. Çünkü, havacılık bakım teşkilatlarını yönetmede önemli bir araç haline gelmiş olan bakım güvenilirliği kavramının öneminin ülkemizde de anlaşılabilmesi için, öncelikle bu kavramın tarihsel gelişiminin bilinmesinin çok faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Çalışmada, havacılık tarihi içerisinde bakım güvenilirliği kavramının nasıl ortaya çıktığı ve nasıl geliştiği, ayrıca günümüzde hava araçlarının son derece emniyetli bir sistem haline gelmesine nasıl katkı sağladığı ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bakım Güvenilirliği, Hava Aracı Bakımı, Havacılık Bakım Güvenilirliği Tarihi, Havacılık Emniyeti.

### MAINTENANCE RELIABILITY WITHIN THE AVIATION HISTORY

### ABSTRACT

Reliability of a system is equal to total amount of its design and manufacture reliability in production field and maintenance reliability in operation field. In aviation, maintenance reliability is the main goal which should be reached as the basic standard of a cost-effective aircraft maintenance management. Because, in any airways which can not obtain the maintenance reliability, there may be losses of not only properties, but also life, money, time and prestige. When we look at the aviation history, the importance of the maintenance reliability term, based on the Reliability Centered Maintenance concept, is understood after 1970. The aim of this work is studying the development of maintenance reliability term within the aviation history. As for the importance of the maintenance reliability term which has become a critical tool for managing the aviation maintenance organizations can also be understood in our country, it is evaluated that knowing primarily the historical development of the maintenance reliability is very useful. In this article, it is revealed that how the maintenance reliability term was firstly come to light and developed in the aviation history, and besides how it contributes to aircrafts' becoming a highly safe system in today.

**Keywords:** Maintenance Reliability, Aircraft Maintenance, Aviation Maintenance Reliability History, Aviation Safety.

## 1. GİRİŞ

Havacılıkta bakım güvenilirliği, maliyet-etkin bir hava aracı bakım yönetiminde ön plana çıkan en önemli kavramdır. Çünkü, hava aracı uçuş ve görev faaliyetlerinin başarısı, uçuş emniyetini temel alt kriter olarak sağlayan sürekli uçuşa elverişlilik yönetimi olarak da adlandırabileceğimiz etkin bir bakım yönetimini zorunlu kılmakta, bakım güvenilirliği kavramı ise bir havayolunda bakım etkinliğini sağlamada temel standart olarak elde edilmesi gereken esas hedef olarak karşımıza çıkmaktadır. Bakım güvenilirliği kısaca “Bakıma ne kadar güvenebilirim?”, “Bakım işlemleri kusursuz mu/etkin mi/mükemmel mi?” sorularına aranan cevaptır. Güvenilirlik ve bakım kavramlarından yola çıkılarak yapılan tanımlamaya göre bakım güvenilirliği, bakım faaliyetlerini bir sistem haline getirdiğimizde, bakım faaliyetlerinin kalitesi/sağlamlığı veya bakım aksaklığı yaşanmaması ihtimalidir. Havacılıkta bakım faaliyetlerinin bir sistem haline getirilmiş şekli bakım programı olduğuna göre, bakım güvenilirliği aslında havacılık bakım teşkilatınca uygulanan söz konusu bakım programının güvenilirliği olacaktır (Muştu ve Bütün, 2017).

Bu çalışmada, havacılık tarihi içerisinde bakım güvenilirliği kavramının ortaya çıkışı ve tarihsel gelişiminin incelenerek açıklanmasında yarar görülmüştür. Çünkü, enstrümantasyon ve bilgi sistemlerinin daha ucuz ve daha güvenilir hale geldiği günümüzde, bir havayolunu işletmede veya bir havacılık bakım teşkilatını yönetmede önemli bir araç haline gelmiş olan bakım güvenilirliği kavramının öneminin ülkemizde de anlaşılması için, öncelikle bu kavramın tarihsel gelişiminin bilinmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Çalışma, “belge tarama” temeline dayanmakta ve amaç açısından değerlendirildiğinde çalışmanın yöntemi “açıklayıcı ve betimleyici” olarak karşımıza çıkmaktadır.

## 2. HAVACILIKTA BAKIM GÜVENİLİRLİĞİ KAVRAMI

### 2.1. Bakım Güvenilirliğinin Ortaya Çıkışı (1903-1970 Dönemi)

Wilbur ve Orville Wright kardeşlerin 17 Aralık 1903 tarihinde ilk motorlu uçak uçuşunu gerçekleştirmesiyle başlayan havacılık endüstrisinde güvenilirliğin Birinci Dünya Savaşı sonrasında ilgi alanı olmaya başladığı söylenebilir (Ouedghiri and Baskcomb, 2015). 1940 öncesi dönemde havacılıkta güvenilirliğin gelişimine yönelik girişimlerin çoğu, deneme ve hata bulmayı esas alıyordu. Bir sistem arıza yaptığında yerine, teknolojik gelişmeler ve sistemin arıza incelemesinden kazanılan tecrübeler ışığında yenisi tasarlanıp üretiliyor ve hatalı sistem yenisiyle değiştiriliyordu (Ouedghiri and Baskcomb, 2015). 20’nci yüzyılın başlarından itibaren, standart mekanik parçaların toplu üretimine geçilmesiyle, hatalı parçalar, imalat işlemi süresince kontrol

“inspection” ve test yöntemleriyle kolaylıkla tanımlanabilmiş ve kalite kontrol prosedürleri vasıtasıyla imalat güvenilirliği kontrol edilebilmiştir (Smith, 2011).

İkinci Dünya Savaşı sürerken Almanlar tarafından uzaktan kumandalı keşif uçaklarından sonra geliştirilen uzun menzilli seyir (V1) ve güdümlü balistik (V2) füzeleri, güvenilirliklerinin iyileştirilmesi maksadıyla güvenilirlik konsepti uygulamasının yapıldığı örnek hava araçları olarak sayılabilir (Dhillon, 2006). Yine bu dönemde, Amerikan ve İngiliz Silahlı Kuvvetleri, elindeki güvenilirliği ve sürdürülebilirliği düşük olan askeri ekipmanlar yüzünden, kaynaklarının çoğunu operasyondan çok bakıma ayırdıklarını fark etmişler, güvenilirlik ve sürdürülebilirliği yüksek askeri teçhizat tasarımına (tasarım güvenilirliği) önem vermişlerdir (Ouedghiri and Baskcomb, 2015).

Güvenilirlik kavramının modern anlamda ilk kullanımı 1940’larda ABD ordusu tarafından bir ürünün beklendiği kadar çalışması tanımıyla olmuştur (McInn, 2010). Elektronik çağın gelişine bağlı olarak İkinci Dünya Savaşı sonrası dönemde, elektronik komponentlerin toplu üretimi gibi üretim işlemlerinin kalite kontrolü için istatistiksel metotlar geliştirmiş olan diğer endüstrilerin başarılı uygulamaları, havacılık endüstrisine de ışık tutmuş ve gelecekte havacılıkta oluşturulacak güvenilirlik programlarının temelini oluşturmuştur (Marusic, Alfirevic and Pita, 200).

1940 ve 1950 yılları arasında askeri ekipmanın kullanım sahası güvenilirliğinin düşük olarak tecrübe edilmesi, güvenilirlik mühendisliğinin daha resmi metotlarına duyulan ihtiyaç üzerinde dikkatleri toplamıştır. Bu ihtiyaç, ekipmanın, hem kullanım sahasından hem de test verisi yorumundan arıza bilgisi toplanmasında artışa yol açmıştır (Smith, 2011). 1950 yılında ABD Savunma Bakanlığı tarafından askeri alanda güvenilirlik üzerine geçici bir komite kurulmuş ve bu komite 1952 yılında AGREE (Advisory Committee on Reliability of Electronic Equipment “Elektronik Ekipman Güvenilirliği Tavsiye Komitesi”) isimli daimi bir gruba dönüştürülmüştür (Dhillon, 2006). Bu grup, komponent güvenilirliğinin artırılmasını, tedarikçiler için kalite ve güvenilirlik gereksinimlerinin tanımlanmasını, saha verilerinin toplanarak arızaların temel nedenlerinin bulunması (kök analizi)’ni çalışma usulü olarak tavsiye etmiştir. AGREE komitesi ilk raporunu 1957’de yayımlamıştır. Bu dönemde ayrıca, 1945 yılında ilk olarak ATA (Air Transport Association “Amerikan Hava Taşımacılığı Birliği”) adıyla IATA (International Air Transport Association “Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği”), 1947

yılında Birleşmiş Milletlere bağlı olarak ICAO (International Civil Aviation Organization “Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu”) kurulmuştur.

1950’lerde önleyici bakım kavramı ortaya çıkmış, 1957’de bakım mühendisliği konusunda bir el kitabı yayımlanmıştır (Dhillon, 2006). Bu dönemde, hava aracı bakım faaliyetleri sadece zaman sınırlı (Hard Time) bakım yöntemine dayandırılmıştır (Gerede, 2007). Bu yöntemde, her bir parçanın düzenli bir “overhaul” zamanına sahip olduğu fikrinden hareketle, parçalara bir “overhaul” zamanı (kullanım ömrü) biçilmiş ve güvenilirliğin sağlanması için “overhaul” zamanlarında parçaların değişimi veya revizyonu öngörülmüştür.

1957’de SSCB’nin ilk yapay dünya uydusu Sputnik-1 uzay aracının dünya yörüngesine fırlatılmasıyla uzay çağı başlamıştır. 1958’de hem NASA (National Aeronautics and Space Administration “Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi”), hem de havacılık emniyetini denetleyecek FAA (Federal Aviation Administration “Amerikan Federal Havacılık İdaresi”) kurulmuştur.

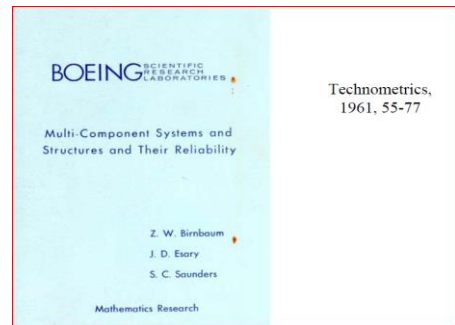
ABD’de hava aracı bakımının federal düzenlemeleri 1958 tarihli Federal Havacılık Yasasıyla belirlenmiştir (FAA, 1978). Yine 1958’de, havacılıkta güvenilirlik kavramının temeli olan istatistiksel çalışmalar yapmak üzere Boeing Bilimsel Araştırma Laboratuvarı kurulmuştur. Ayrıca, dünyanın ilk ticari jet uçağı DH 106 Commet’lerin metal yorgunluğu nedeniyle kaza kırma uğradığı bu dönemde, tasarım aşamasını geçen Boeing 707 havacılık tarihinde ilk başarılı jet yolcu uçağı olarak hizmete girmiştir.

1950’lerin sonunda havacılık endüstrisindeki önleyici bakım işlemlerinin maliyeti, bakım etkinliğinin özel olarak soruşturulmasını gerektirecek kadar yüksek hale gelmiştir (Nowlan and Heap 1978) (Rose, 2002). Mesela, FAA MRB’si tarafından 1959 yılında Douglas DC-8 uçağı için hazırlanmasına izin verilen ilk planlı bakım programı, uçak ve motorunun planlı “overhaul”lerine ilave olarak 339 malzemeye yönelik “Hard Time Overhaul”ünü de içermesi nedeniyle yüksek bakım maliyetine sahipti. (Nowlan and Heap, 1978) Aynı dönemde FAA ve havayolları, Wright R-3350 motorlarının yüksek arıza oranını gidermek amacıyla bakım politikasındaki “Hard Time Overhaul” limitlerinin ayarlanması vasıtasıyla motor çalıştırma güvenilirliğini kontrol etmeye çalışmışlar, ancak bahse konu değişikliklerin motorun güvenilirliğinde önemli bir iyileştirmeye yol açmadığı gerçeğini görmüşlerdir (Nowlan and Heap, 1978).

Bu kapsamda, ilk defa 1960 yılında uçak motorlarının çalıştırma güvenilirliği ve “overhaul” politikası arasındaki ilişkinin daha iyi kavranmasını sağlamak, o zamanki en büyük ticari uçak olan Boeing 747’ye yönelik mevcut önleyici bakım görevlerinin etkinliğini araştırmak ve maksimum

emniyet ve güvenilirliği minimum maliyetle sağlayabilen bakım görevlerinin geliştirilmesinde kullanılabilecek mantıklı ve uygulanabilir bir yaklaşımı belirlemek amacıyla, FAA tarafından ATA aracılığı ile Boeing firmasına MSG (Maintenance Steering Group “Bakım Yönlendirme Grubu-BYG”) kurdurulmuştur (Kinnison, 2004) (Gerede, 2007). Bahse konu BYG içerisinde, uçağı satın almakla ilgilenen havayollarının ve tedarikçi firmaların temsilcileri ile birlikte Boeing firmasının tasarım ve bakım programı temsilcileri ve düzenleyici gerekliliklerin programa düzgün ve doğru bir şekilde yansımaları sağlamak için FAA temsilcileri yer almıştır (Kinnison, 2004). Bu grubun çalışmaları sonucunda,

- Kasım 1961 ayında FAA/Endüstri Güvenilirlik Programı ortaya çıkmıştır. Bu program, bir malzemenin “overhaul” aralıklarının uzunluğunun onun arıza oranında önemli bir faktör olmadığını ve belirlenen periyotlarda uygulanan önleyici bakımların bir çok durumda etkin olmadığını ortaya çıkarmıştır (Nowlan and Heap 1978). Böylece önleyici bakım gerekliliklerini belirlemede Hard Time bakım yönteminden daha iyi bir metoda açıkça ihtiyaç duyulmaya başlanmış ve bu kapsamda, 1950’lerin sonunda “overhaul” zamanları ve güvenilirlik arasındaki esas ilişkiyi tanımlamak için bir çok çalışma yapılmıştır (Nowlan and Heap, 1978).
- Komponent ve sistem seviyesinde güvenilirlik testleri yapılması önem kazanarak güvenilirlik teorileri geliştirilmeye çalışılmış, Boeing Bilimsel Araştırma Laboratuvarı çalışanlarından Z.W.Birnbaum, J.D.Esary ve S.C.Saunders’in Şekil-1’de kapak resmi gösterilen “Çok Komponentli Sistemler ve Yapılar ile Güvenilirlikleri” (Scholz n.d.) adlı eserinin 1961 yılında yayımlanmasıyla Güvenilirlik Teorisi ayrı bir kavram olarak ele alınmaya başlamıştır (Barlow, Fussell and Singpurwalla, 1975).



Şekil.1: “Çok Komponentli Sistemler ve Yapılar ile Güvenilirlikleri” konulu eserin kapağı

- 1960’larda ayrıca, hava aracı sistem ve komponentlerinin güvenilirlik tahmininde aşağıdan yukarı analitik bir yaklaşımı esas alan tasarım güvenilirliğine yönelik uluslararası kabul görmüş arıza oranı veri bankalarından faydalanan standartlar geliştirilmiştir. Ünlü 781 Nu.lı Askeri Standart bunlardan biridir. Yine, MIL-HDBK-217F “Elektronik Ekipmanın Güvenilirlik Tahmini El Kitabı”, kompleks yapıdaki askeri elektronik komponentlere yönelik güvenilirlik veri bankası olarak ABD Savunma Bakanlığınca geliştirilen ve
- daha sonra sivil uygulamalarda yaygın şekilde kullanılan bir standarttır. Bu el kitabında güvenilirlik tahmini verisi olarak
- yer alan değerler, elektronik parçaların gerçek kullanım sahası arızalarının istatistiksel analizinden ortaya çıkarılıp komponentlerin arıza oranlarının hesaplanmasında kullanılan verilerdir (Ouedghiri and Baskcomb, 2015). Hava aracı gibi kompleks/entegre sistemlerin üreticilerince tasarım güvenilirliğinin sağlanmasında, bu komponent güvenilirlik verileri kullanılmaya başlanmıştır.
- 31 Aralık 1964 tarihinde, güvenilirlik kontrol metotlarını kullanarak hava aracı bakım kontrol programlarının tasarımı ve geliştirilmesinde kullanılacak bilgiyi ve rehberliği sağlamak amacıyla, FAA tarafından Tavsiye Genelgesi olarak AC 120-17 sayılı el kitabı yayımlanmıştır (FAA, 1978). Bahse konu el kitabı, havacılıkta güvenilirlik kontrol metotlarıyla bakım etkinliğinin sağlanmasına yönelik ilk prosedürleri içeren rehber doküman olması nedeniyle, bakım güvenilirliği kavramının ortaya çıkmasındaki temel doküman olarak düşünülebilir.
- 1965 yılında United Havayollarında, hava aracı önleyici bakım programlarının tasarımında uygulanabilir genel bir yaklaşımın tanımlanmaya çalışılması sonucunda, ilkel bir karar diyagram tekniği tasarlanmış ve bu teknik sonraki yıllarda geliştirilmiştir (Nowlan and Heap, 1978).

Uçak sistemlerinin çalışması, bakım kritik malzemeleri ve ilişkili fonksiyonları, arıza modları, arıza etkileri ve arıza sebepleri hakkında bilgiyle donanmış olan BYG çalışma grubu, bakım gerekliliklerini belirlemede, United Havayolları tarafından 1965’te geliştirilen bahse konu karar diyagramı tekniğinden faydalanmış (Nowlan and Heap, 1978) ve kavram olarak 1978 yılında ortaya çıkacak olan RCM (Reliability-Centered Maintenance, “Güvenilirlik Merkezli Bakım”) (Rose, 2002) konsepti esaslarını kullanarak, her malzemeyi analiz etmiştir.

BYG vasıtasıyla, havayolları ve uçak üreticileri tarafından gelecekte kendi hava araçlarının önleyici bakım programlarının oluşturulmasında kullanılmak üzere geliştirilmeye başlanan rehber dokümanlar serisinin (Rose, 2002) ilki, 1968 yılında, Boeing 747’ye yönelik ATA tarafından yayımlanan “Bakım Değerlendirme ve Program Geliştirme” isimli ve BYK-1 (Bakım Yönlendirme Kılavuzu-1) (Gerede, 2007) olarak da adlandırılacak MSG-1 dokümanıdır. BYK-1, RCM konseptinin uygulandığı ilk önleyici bakım programı (Nowlan and Heap 1978) olan Boeing 747 Bakım Programının geliştirilmesinde mantıksal karar süreçlerinden oluşan bir karar destek sistemi olarak kullanılmıştır (Gerede,2007). Şekil-2’de gösterildiği üzere, Boeing 747, 1970 yılında ticari hizmete başlamıştır.



Şekil.2: Boeing 747’nin Ticari Hizmet Başlaması

Aslında RCM kavramı, hava aracı ve ekipmanlarının tasarımındaki dahili güvenilirlik imkanlarını anlamak üzere bir planlı (önleyici) bakım programının oluşturulmasını amaçlamaktadır (Nowlan and Heap, 1978). BYK-1 dokümanında, bakım gerekliliklerini belirlemede bir dayanak olarak kullanılan RCM analizlerinin ilk defa kullanılmaya başlanması birlikte bakım güvenilirliği kavramının da 1968’de ortaya çıktığı söylenebilir. MSG süreci, hava aracı üzerindeki her parçanın (sistem/komponentin) analiz edilerek belirlenen 3 temel bakım yöntemi (zaman sınırlı “Hard Time”, Duruma Göre “On Condition” ve Durum Takibi “Condition Monitoring”)’nden birine tahsis edildiği aşağıdan yukarıya bir yaklaşım olmuştur (Kinnison, 2004).

Yine, Güvenilirlik programları da ilk olarak bu dönemde geliştirilmiş ve 1970’lerde FAA tarafından tavsiye edilmiştir (Marusic, 2009). Ayrıca, masaüstü bilgisayar olanaklarının artması ve düşük maliyeti, güçlü ve çok yönlü yazılım paketleriyle birlikte, olay verilerini daha az çalışma saati harcıyarak listelemeyi ve kullanmayı sağlamıştır. Verinin hızlı ve otomatik olarak sınıflandırılması, arıza analizinin arıza modları şeklinde yapılmasını daha çok teşvik etmiştir (Smith, 2011). Böylece güvenilirlikte FMEA (Failures Modes and Effects

Analysis “Arıza Modları ve Etkileri Analizi”) kavramı ön plana çıkmıştır.

## 2.2. Bakım Güvenilirliğinin Gelişimi (1970 Sonrası)

Bakım güvenilirliğine yönelik 1968 yılında ABD’de yayımlanan BYK-1, 1970’te ticari hizmete başlayan B747 üzerinde o kadar başarılı olmuştur ki, diğer hava araçlarında da kullanılmak üzere B747’ye yönelik spesifik ifadeler kaldırılarak genelleştirilmiş (Kinnison, 2004) ve 1970 yılında ortaya MSG-2 Havayolu/Üretici Bakım Programı Planlama Dokümanı isimli BYK-2 dokümanı çıkmıştır (Nowlan and Heap, 1978) (Gerede, 2007). BYK-2, Lockheed üretimi L-1011 ve McDonnell-Douglas üretimi DC-10 uçaklarının bakım programlarının geliştirilmesinde kullanılmıştır (Rose, 2002) (Kinnison, 2004).

McDonnell F4J ve Lockheed P-3 askeri uçaklarına da uygulanan BYK-2 üzerinde (Nowlan and Heap, 1978), 1972 yılında Avrupalı uçak üreticilerince bazı küçük modifikasyonlar yapılmasıyla oluşan ve Avrupa’da Airbus A300 ve Concorde uçaklarına yönelik kullanılmaya başlanan kılavuzun adı EMSG (European Maintenance Steering Group “Avrupa Bakım Yönlendirme Grubu”) dokümanı olmuştur (Gerede, 2007).

BYK-1, BYK-2 ve EMSG dokümanlarının ortak amacı, üretici tarafından kullanıcı havayoluna teslim edilen ilk jenerik hava aracı bakım programının oluşturulmasında BYG tarafından hava aracı sistem ve komponentlerinin fonksiyonlarının, arıza modlarının ve güvenilirliklerinin tanımlanması (Nowlan and Heap, 1978) suretiyle, sadece etkin bakım görevlerini belirleyerek bakım maliyetlerini düşürmektir. Bahse konu dokümanlarda yer alan bakım yaklaşımından elde edilen ekonomik kazançlar örnek olarak, standart bakım teknikleri kullanılarak bakımı yapılan bir DC-8 uçağının bakım gereksinimleri, BYK-2 kullanılarak bakımı yapılan bir DC-10 uçağıninkilerle karşılaştırılmıştır. DC-8 uçağı bir overhol gerektiren 339 adet bakım işlemine sahipken, DC-10 uçağının toplam bakım işleminin sadece 7 adet olduğu görülmüştür. Başka bir örnek olarak, orijinal Boeing 747, 20 bin uçuş saatindeki büyük bir ağır bakım öncesi temel yapısal kontrol “inspection”ler için 66 bin adam-saat işçilik gerektirirken, o zamanın standart bakım programını kullanan daha küçük ve daha az kompleks yapıdaki bir DC-8 uçağının, 20 bin uçuş saatine ulaşmadan önce adam-saat işçiliğinin 4 milyonun üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Nowlan and Heap, 1978) (Rose, 2002). Dolayısıyla, BYK-2 vasıtasıyla RCM konseptine dayalı geliştirilen yeni bakım programlarında, bakım işlemlerini sayısı ile işçilik sürelerinde önemli miktarda azalma sağlanarak bakım maliyetlerinin düştüğü görülmüştür. RCM, doğru uygulanırsa rutin bakım iş yükü miktarını %40-%70 arası düşürebilmektedir (Moubroy, 1999). RCM’nin faydaları genellikle riskin düşürülmesi ve

maliyet tasarrufu şeklinde iki geniş kategoride izlenebilmektedir (Niu, Yang, and Pecht 2010). 1972 yılında, United Havayolları tarafından işletilen tüm yaşlı uçak filolarına yönelik güvenilirlik programlarının geliştirilmesinde, temel bir yaklaşım olarak RCM konseptlerini içeren BYK-2 kılavuzu kullanılmıştır (Nowlan and Heap, 1978).

1974 yılında ABD Savunma Bakanlığı, hava aracı bakım programlarının geliştirilmesine yönelik sivil havacılık endüstrisinde kullanılan süreçler hakkında United Havayolları firmasını bir rapor yazmakla görevlendirmiştir. ABD ordusu tarafından kendi ekipmanlarının ilk bakım programlarını geliştirmek amacıyla kullanılmak üzere, sivil havacılık tarafından kullanılan MSG yaklaşımlarına benzer şekilde geliştirilen bu sürecin adı RCM olmuştur (Kinnison, 2004) (Moubroy, 1997). Stan Nowlan ve Howard Heap tarafından hazırlanan ve 1978 yılında yayımlanan bu rapor, müteakip tüm RCM yaklaşımları için rehber doküman olmuştur (Rose, 2002). Ayrıca, arıza karakteristikleri detaylı olarak ilk defa bu raporda açıklanmıştır (NASA, 2008). Bu raporda anlatılan RCM süreci, tıpkı MSG yaklaşımı gibi esas olarak planlı bakımlara yönelik olmuş ve “Halihazır ilgi alanımız, ekipmanın emniyetli ve güvenilir çalışmasını sağlamak için gerekli planlı bakım görevlerinin programı olan önleyici bakımdır. (Nowlan and Heap, 1978)” şeklinde sadece önleyici bakımı tanımlamıştır (Kinnison, 2004). RCM, 1978’den itibaren ABD Deniz Kuvvetleri tarafından yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Moubroy, 1997) (NASA, 2008).

Ayrıca, 27 Mart 1978 tarihinde FAA tarafından yayımlanan AC 120-17A sayılı ve “Güvenilirlik Metotları Vasıtasıyla Bakım Kontrolü” konulu tavsiye genelgesi, Nowlan ve Heap’in RCM raporu doğrultusunda hava aracı bakım yöntemleri arasında Durum Takibi (Condition Monitoring) sürecini de dahil ederek 1964 tarihli AC 120-17 dokümanının yerine geçmiştir (FAA, 1978). Durum Takibi sürecinde, hava aracı ve komponentlerine ait mevcut çevrimiçi veya çevrimdışı performans verisi beklenen/olması gereken değerlerle karşılaştırılarak analiz edilmekte ve gerektiğinde önceden belirlenmiş operasyonel limitlere bağlı olarak alarmlar üretilmektedir (Niu, Yang, and Pecht, 2011). Hava aracı bakımında daha sonraki bakım gerekliliklerini belirlemek için önceden işaret veren durum takibine dayalı bakımın kullanılmasının, havayollarında uçuşların teknik iptali ve/veya ertelenmesi gibi operasyon aksaklıklarının azaltılmasına katkı sağlayarak dispatch güvenilirliğini ve bakımın etkinliğini artıran bir yol olduğu görülmüştür (Demirci and Hacıyev, 2010). 1979 yılına kadar RCM raporu vasıtasıyla kazanılan deneyimler BYK-2’nin bazı olumsuz yanları olduğunu göstermiş ve güncellenmesi gerektiğini

ortaya çıkarmıştır (Gerede, 2007). Bu kapsamda, bakım güvenilirliğine yönelik geliştirilen MSG yaklaşımlarının sonuncusu 1980 yılında yayımlanan BYK-3 dokümanı olmuştur. FAA, İngiltere sivil havacılık otoritesi CAA (Civil Aviation Authority), ABD ve Avrupalı uçak ve motor üreticileri, bazı havayolu işletmeleri ve ABD Deniz Kuvvetleri BYK-3'ün geliştirilmesinde aktif rol oynamıştır (Gerede, 2007). BYK-3'te esas alınan MSG-3 yaklaşımı, arızaları önlemek ve sistemin öz güvenilirlik seviyesini sürdürmek için uygun planlı bakım görevlerini tanımlamak üzere arızaların emniyet veya ekonomi kategorisine tahsis edildiği bir "Yukarıdan Aşağıya" veya "Arızanın Sonucu" yaklaşımı olmuştur (Kinnison, 2004). 1978 tarihli RCM Raporunu esas alarak hazırlanan BYK-3 kılavuzunun amacı, sadece maliyet-etkin bakım görevlerini belirlemek vasıtasıyla, hava aracı tasarımındaki emniyet ve güvenilirlik seviyelerini minimum bakım maliyetiyle sürdürmek olmuştur. Günümüzde tüm hava aracı türlerinin bakım programlarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde halen MSG-3 yaklaşımı kullanılmaktadır (Moubray, 1997). Başka bir deyişle, günümüzde bir hava aracının planlı bakımları, BYK-3 vasıtasıyla geliştirilen periyodik kontrol "inspection" ve parça değişimi gibi yüzlerce bakım görevinden oluşmaktadır. İlk yayımlandığı tarihten itibaren bir çok revizyon görmüş olan BYK-3 Havayolu/Üretici Planlı Bakım Geliştirme Dokümanının en güncel hali 2007 yılında yayımlanmış olan ATA MSG-3 Revizyon 2007.1 dokümanıdır (Bris, 2016). MSG-3 yaklaşımıyla sistemsel düşünme ön plana çıkmıştır. Bu dönemde, birçok endüstri önleyici bakım çabalarını neredeyse diğer tüm ürünlere yayarken, Nowlan ve Heap'in yolundan giden havacılık endüstrisi farklı bir yaklaşım göstererek, sistem fonksiyonlarını, arıza etkilerini ve arıza modlarını esas alan MSG-3 bakım yaklaşımını geliştirmiştir. Bu yaklaşım ile birlikte, geleneksel önleyici bakım programına alternatif olarak Durum-Esaslı Bakım kavramı gelişmiştir. Havacılık endüstrisinin çalışmaları RCM yaklaşımının daha da gelişmesine yol açmıştır (NASA, 2008).

1980'ler boyunca, önemli yazılım elemanlarını içeren sistemlerin bütünlüğünü değerlendirme ihtiyacı da mühim seviyede artarak yazılım güvenilirliği kavramı gelişmiştir. Ayrıca, bir sistemi çalışır durumda tutmak için uçuş esnasında onarım veya çabuk onarım kavramları ön plana çıkmıştır. Kam Wong, 1981 yılında banyo küveti eğrisini inceleyen bir makale yayımlamıştır (Mclinn, 2010). Bilgisayar gücü, güvenilirlik ölçüm ve kontrollerinde ilk defa arıza ihtimallerini belirtmek suretiyle periyot-esaslı bakımları desteklerken, 1990'lardan itibaren ortaya çıkan teknolojik ilerlemeler havacılık bakım uygulamalarına hala katkı sağlamaya devam etmektedir (NASA, 2008). Örnek olarak, FMEA, güvenilirlik tahmini, blok diyagramlar ve Weibull analizi gibi güvenilirlik

değerlendirme işlemleri, bilgisayar paket programları vasıtasıyla kolayca yapılabilir hale gelmiştir. WEB-tabanlı bilgi sistemlerinin yaygınlaşmasıyla, güvenilirlik bilgisinin gerçek zamanlı çevrim içi paylaşılma imkânı sağlanmıştır (Mclinn, 2010). 1980 yılından günümüze kadar, bakımdan beklentiler; daha yüksek ürün hazır olabilirliği ve güvenilirlik, daha çok emniyet, daha iyi ürün kalitesi, çevre dostu olma, daha uzun ekipman ömrü ve daha çok maliyet-etkinlik olarak sıralanırken (Moubray, 1997), bu beklentileri karşılamak üzere kullanılan bakım teknikleri olarak; Durum Takibi yaklaşımı, güvenilirlik ve sürdürülebilirlik tasarımı, tehlike/risk incelemeleri, FMEA analizi, akıllı sistemler, çok yeteneklilik ve takım çalışması gibi kavramlar ön plana çıkmıştır (Moubray, 1997).

1990'lara gelindiğinde bir çok komponentin arıza oranı düşmüş, sistemlerin güvenilirliğinde yazılım kritik öneme sahip olmuştur. Komponentlerin arıza oranları düşmeye devam ederken sistem seviyesi olayların daha çok öne çıkması, sistemsel düşünmeyi daha önemli hale getirmiştir. Son 30 yılda, güvenilirlikte sistem modellemesinin, FMEA analizi ve hata ağacı analizi metotları vasıtasıyla daha çok tasarım güvenilirliğine yönelik olarak geliştirilmiş olduğu söylenebilir. Kullanım sahasında ise esas olarak emniyet ve kaza önleme sistemi geliştirilmesi üzerinde durulmuştur. Havacılık endüstrisinde de, uçuş emniyeti ve bakım emniyetine yönelik olarak, uçak kaza-kırım önleme programı veya SMS (Safety Management System "Emniyet Yönetim Sistemi") modellemesi (Gerede, 2014), bakım güvenilirliğine yönelik olarak da havayolu bakım güvenilirlik programları oluşturulmuştur (Marusic, Alfrevic, and Pita, 2009) (Kinnison, 2004).

Bu son dönemde hava araçları, son derece emniyetli bir sistem (yani milyon üretim çevriminde bir yıkıcı emniyet arızası yaşayan bir sistem) haline gelmiştir. Bunun temelinde, günlük operasyon verilerinin güvenilirlik kavramında olduğu gibi rutin olarak toplanması ve analiz edilmesine dayanan, güvenilirlik ve emniyet yönetimine iş benzeri yaklaşımın kabul edilmesi yatmaktadır. İşletme verilerinin rutin olarak toplanması ve analizi ile birlikte, iş yönetimi uygulamalarının havacılıktaki emniyet ve güvenilirliğe uygulanmasıyla emniyet alanı daha da gelişmiştir (SHGM, 2011). Bugün bu yaklaşımı benimseyen ABD Deniz Hava Komutanlığı, havacılık bakım yönetiminde uygulamak üzere, bakım kaynaklarının verimli kullanımı yoluyla havacılık materyal hazırlık durumunun ve emniyetinin sürekli olarak gelişmesini amaçlayan Deniz Havacılık Bakım Programını (NAVAIR, 2017) kurmuştur. Bu yaklaşım yardımıyla, bakım programı yönetiminin tüm bakım yetki seviyelerini desteklemede kullanılacak verileri toplaması, analiz etmesi ve kullanması sağlanarak bakım güvenilirliğinin sürekli iyileştirildiği söylenebilir.

### 3. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Havacılık tarihine baktığımızda,

- Havacılıkta bakım güvenilirliği kavramı ortaya çıkmadan önce, güvenilirlik kavramı istatistiksel metotlarla birlikte daha çok sistemi oluşturan komponentlerin dizayn ve imalat güvenilirliği şeklinde gelişmiş,
- Askeri havacılık ve sivil havacılığın sürekli birbirinden etkilenecek bakım güvenilirliğinin tarihsel gelişimine katkı sağladığı söylenebilir.
- Zamanla teknolojik gelişime bağlı olarak bakımdan beklentilerin ve bu beklentileri karşılamak üzere kullanılan bakım tekniklerinin değişmesiyle birlikte bakım güvenilirliği kavramının da geliştiği, bakım faaliyetleri ise sadece onarım ve "Hard Time" bakım yöntemine dayandırılmıştır.
- Kökeni RCM kavramına dayanan bakım güvenilirliği kavramının maliyet-etkinlik üzerindeki önemi ise havacılık düzenlemeleri ve havacılık otoriteleri ortaya çıktıktan sonra anlaşılmıştır.
- Havacılık otoriteleri aynı zamanda uçakların güvenilirlik ve emniyetini denetleyen kurumlar haline gelmiştir.

Havacılıkta bakım güvenilirliğinin tarihsel gelişimi hakkında ise,

Günümüzde gerek güvenilirlikte sistem modellemesi ve iş yönetimi yaklaşımlarının uygulanmasının benimsenmesi, gerekse enstrümantasyon ve bilgi sistemlerinin daha ucuz ve daha güvenilir hale gelmesi sonucunda, bir havayolunu işletmede veya bir havacılık bakım teşkilatını maliyet-etkin olarak yönetmede bakım güvenilirliği kavramı önemli bir araç haline gelmiştir. İstatistiklere göre 2017 yılı, havacılık açısından tarihin en emniyetli dönemi olmuştur. Bu emniyet rekorunun önemli bir parçası havacılık bakım alanında bakım güvenilirliğini sürekli sağlamak üzere tanımlanan emniyet gerekliliklerini benimseyen ve bu doğrultuda çalışan makinist, teknisyen, mühendis ve yöneticilerin çabalarına atfedilebilir.

#### KAYNAKÇA

- Barlow, Richard E., Jerry B. Fussell and Nozer D. Singpurwalla, ed. 1975. Reliability and Fault Tree Analysis, Washington, D.C.: The George Washington University.
- Bris, Amaury. 2016. Scheduled Maintenance Development, Training Part N.1.2. Germany: Philotech Academy.
- Demirci, Şeref, and Cingiz Hacıyev. 2010. "Durum İzlemeye Dayalı Bakımın Uçak Motor Güvenilirliğine ve Bakım Etkinliğine Etkisi." İTÜ Dergisi/d Mühendislik, 9(5): 95-106.

- Dhillon, Balbir S. 2006. Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. Boca Raton-FL: Taylor&Francis Group.
- FAA. 1978. Advisory Circular, AC-120-17A Maintenance Control by Reliability Methods. FAA Department of Transportation.
- Gerede, Ender. 2007. "Önleyici Bakım Programlarının Tasarlanması Aracı Olarak Bakım Yönlendirme Kılavuzları." Mühendislik ve Makine 48(566): 22-31.
- Gerede, Ender. 2014. "A Study of Challenges to the Success of the Safety Management System in Aircraft Maintenance Organizations in Turkey." Safety Science 73: 106-116.
- Kinnison, Harry A. 2004. Aviation Maintenance Management. New York: McGraw Hill Professional.
- Marusic, Zeljko, Izidor ALFIREVIC, and Omer PITA. 2009. "Maintenance Reliability Program As Essential Prerequisite of Flight Safety." Transport Engineering 21(4):269-277.
- Mclinn, James. 2010. "A Short History of Reliability." Rel-Tech Group, April 28, 2010. [http://ksccddms.ksc.nasa.gov/Reliability/Documents/History\\_of\\_Reliability.pdf](http://ksccddms.ksc.nasa.gov/Reliability/Documents/History_of_Reliability.pdf).
- Muştu, Murat ve Erhan Bütün. 2017. "Maliyet-Etkin Bir Havacılık Bakım Yönetiminin Temel Standardı: Bakım Güvenilirliği." 4.Ulusal Havacılık Teknolojisi ve Uygulamaları Kongresi Bildiri Kitabı, editörler Şamil Temel ve Alperen Doğru, 206-215. Izmir, Türkiye: UHAT Sekreteryası.
- Moubray, John. 1997. Reliability-Centered Maintenance. London: Butterworth-Heinemann Ltd.
- NASA. 2008. Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. Washington D.C.
- NAVAIR. 2017. "COMNAVAIRFORINST 4790.2C, Chapter 3." The Naval Aviation Maintenance Program (NAMP). Last modified January 15, 2017. <http://www.navair.navy.mil/logistics/4790/>.
- Niu, Gang, Bo-Suk Yang and Michael Pecht. 2010. "Development of an Optimized Condition-Based Maintenance System by Data Fusion and Reliability-Centered Maintenance." Reliability Engineering and System Safety 95: 786-796.
- Nowlan, F. Stanley, and Howard F. Heap. 1978. Reliability-Centered Maintenance. Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce National Technical Information Service.
- Ouedghiri, Driss and Stuart Baskcomb. 2015. "Design for Reliability in Aviation (A must to improve Life Cycle Cost, Safety and Availability)." In Space Safety is No Accident, edited by Tommaso Sgobba and

- Isabelle Rongier, 333-341. London: Springer Cham
- Rose, Al. 2002. "Reliability Centered Maintenance." Cadick Corporation TB014, August 1, 2002. [http://www.cadickcorp.com/download/TB014-Reliability\\_Centered\\_Maintenance\\_White\\_Paper.pdf](http://www.cadickcorp.com/download/TB014-Reliability_Centered_Maintenance_White_Paper.pdf).
- Scholz, Fritz. n.d. "Statistics in Aviation Celebrating 100 Years of Flight." The Boeing Math Group, Accessed March 21, 2017. <http://www.stat.washington.edu/fritz/Reports/Daytonnew0.pdf>.
- SHGM. 2011. Emniyet Yönetimi El Kitabı. Ankara: Pegem Akademi Yayıncılık.
- Smith, David J. 2011. Reliability, Maintainability and Risk. UK: Butterworth-Heinemann.