

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UÇAK BAKIM TAHSİS SÜRELERİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK  
YENİ BİR YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Davut YILMAZ**

**Uçak ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Uçak ve Uzay Mühendisliği Programı**

**MART 2018**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UÇAK BAKIM TAHSİS SÜRELERİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK  
YENİ BİR YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Davut YILMAZ  
(511052002)**

**Uçak ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı**

**Uçak ve Uzay Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim ÖZKOL**

**MART 2018**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511052002 numaralı Doktora Öğrencisi Davut YILMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "UÇAK BAKIM TAHSİS SÜRELERİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK YENİ BİR YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. İbrahim ÖZKOL**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Metin Orhan Kaya**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Erol Uzal**      .....

İstanbul Üniversitesi

**Doç.Dr.Ergüven Vatandaş**      .....

İstanbul Gelişim Üniversitesi

**Yrd.Doç.Dr. Hayri Acar**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi**      :      **2 Şubat 2018**

**Savunma Tarihi**      :      **9 Mart 2018**





*Anneme ve babama,*





## ÖNSÖZ

Uçak bakımı, bakımın optimize edilmesi ve böylece uçuş operasyonunun kesintisiz devam ettirilmesi, sadece havayolu firmalarının değil, uçak imalatçılarının da sürekli gündeminde olan bir konudur. İmalatçılar, daha uçağın dizaynı aşamasında bu konuyu ele almakta ve bakımı da “dizayn” etmektedirler. Arızaları önleyecek en uygun bakım tasklarını, bunların içeriğini, uygulama sürelerini ve intervallerini belirleme, bu sürecin en önemli konuları arasında yer almaktadır. Bu tez çalışmasında, uçağın dizaynı aşamasında belirlenen task sürelerinin tahsisi konusu ele alınmış ve genellikle tecrübi yöntemlerle şekillenen bu sürece akademik bir bakış açısı kazandırılmaya çalışılmıştır.

Bu tezi bitirmem konusunda sürekli beni destekleyen ve motive eden sayın hocam Prof. Dr. İbrahim ÖZKOL’a şükranlarımı sunmayı bir borç sayıyorum. Ayrıca tez izleme komitesinde olan ve desteklerini esirgemeyen hocalarım sayın Prof.Dr. Metin Orhan Kaya’ya ve sayın Prof.Dr. Erol Uzal’a içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım boyunca göstermiş olduğu her türlü özveriden dolayı aileme de ayrıca teşekkür ederim.

Şubat 2018

Davut YILMAZ  
(Uçak Yüksek Müh.)



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET .....	xix
SUMMARY .....	xxiv
<b>1.GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tez Çalışmasının Amacı .....	2
1.2 Literatür Taraması .....	5
1.3 Tez Organizasyonu .....	10
<b>2. UÇAK BAKIMININ TEMELLERİ.....</b>	<b>13</b>
2.1 Giriş .....	13
2.2 Hardtime .....	14
2.3 On-condition.....	14
2.4 Condition Monitoring.....	15
2.5 Maintenance Steering Group (MSG) .....	15
2.5.1 MSG-2 .....	16
2.5.2 MSG-3 .....	19
2.6 Güvenilirlik Merkezli Bakım Konsepti .....	27
2.7 Bakım Programı .....	35
2.7.1 Bakım intervalleri .....	37
<b>3. GELİŞTİRİLMİŞ METOT.....</b>	<b>43</b>
3.1 Chipchak Yöntemi.....	43
3.2 Wan Yöntemi .....	45
3.3. Yapay Sinir Ağları Tabanlı Geliştirilmiş Metot.....	49
3.3.1 Yapay sinir ağları.....	50
3.3.2 Yapay sinir ağlarının yapısı .....	51
3.3.3 Aktivasyon fonksiyonları.....	54
3.3.4 Öğrenme kuralları .....	56
3.3.5 Öğrenim algoritmaları.....	59
3.3.6 Performans Fonksiyonları.....	61
3.4 Normalizasyon.....	62
3.4.1 İstatiksel veya Z-skor normalizasyonu .....	62
3.4.2 Minimum-Maksimum normalizasyonu .....	63
3.4.3 Medyan normalizasyonu .....	63
3.4.4 Sigmoid normalizasyonu .....	64
3.4.5 D_Min_Max normalizasyonu .....	64
3.5 Yapay Sinir Ağının Uygulanması .....	65
<b>4. YENİ METODUN GELİŞTİRİLMESİ.....</b>	<b>71</b>
4.1 Giriş .....	71

4.2 Bakım Taskları .....	71
4.2.1 Task İntervallerinin Belirlenmesi .....	73
4.3 $k_2$ Faktörü .....	75
4.3.1 Kategori A.....	76
4.3.2 Kategori B1.....	76
4.3.3 Kategori B2.....	76
4.3.4 Kategori C.....	77
4.3.5 Task sınıflandırma .....	78
4.4 $k_3$ Ağırlık faktörü.....	85
4.5 $k_4$ Ağırlık faktörü.....	85
4.6 $k_5$ Ağırlık faktörü.....	85
4.7 $k_6$ Ağırlık faktörü.....	86
4.8 Yeni Modüllerin Eklenmesi .....	86
4.9 Yapay Sinir Ağı Metodunun Uygulanması .....	87
4.9.2 Ağ Mimarisi .....	90
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>95</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>97</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>103</b>

## **KISALTMALAR**

<b>A/S</b>	: Adam / Saat
<b>AC</b>	: Advisory Circular
<b>AD</b>	: Airworthiness Directive
<b>ADALINE</b>	: Adaptive Linear Neuron
<b>ADJ</b>	: Adjustment (Task)
<b>APU</b>	: Auxiliary Power Unit
<b>BCM</b>	: Business Centered Maintenance
<b>CMR</b>	: Certification Maintenance Requirements
<b>DfA</b>	: Design for Assembly
<b>DfD</b>	: Design for Disassembly
<b>DfM</b>	: Design for Manufacturing
<b>DfMa</b>	: Design for Maintainability
<b>DfQ</b>	: Design for Quality
<b>DfR</b>	: Design for Reliability
<b>DfX</b>	: Design for X
<b>DoD</b>	: Department of Defense
<b>DS</b>	: Discard (Task)
<b>DVI</b>	: Detailed Visual Inspection
<b>EASA</b>	: European Aviation Safety Agency
<b>FAA</b>	: Federal Aviation Administration
<b>FC</b>	: Flight Cycle
<b>FH</b>	: Flight Hour
<b>FUC</b>	: Functional Control (Task)
<b>GVI</b>	: General Visual Inspection
<b>ISC</b>	: Industry Steering Committee
<b>LM</b>	: Levenberg-Marquardt
<b>LRU</b>	: Line Replaceable Unit
<b>LUB</b>	: Lubriation
<b>MIL-HDBK</b>	: Military Handbook
<b>MLG</b>	: Main Landing Gear
<b>MPD</b>	: Maintenance Planning Document
<b>MRB</b>	: Maintenance Review Board
<b>MRBR</b>	: Maintenance Review Board Report
<b>MSE</b>	: Mean Square Error
<b>MSG</b>	: Maintenance Steering Group
<b>MTBF</b>	: Mean Time Between Failure
<b>MTBR</b>	: Mean Time Between Repair
<b>MTTR</b>	: Mean Time To Repair
<b>NLG</b>	: Nose Landing Gear
<b>OPC</b>	: Operational Control
<b>RAI</b>	: Removal and Installation
<b>RCM</b>	: Reliability Centered Maintenance

<b>REM</b>	: Removal
<b>RMS</b>	: Root Mean Square
<b>RS</b>	: Restoration
<b>RST</b>	: Remove for Restoration
<b>SHGM</b>	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
<b>SHY</b>	: Sivil Havacılık Yönetmeliği
<b>SMP</b>	: Sampling
<b>SRV</b>	: Servicing
<b>SSE</b>	: Sum Square Error
<b>TAT</b>	: Turn Around Time
<b>TPM</b>	: Total Productive Maintenance
<b>YSA</b>	: Yapay Sinir Ağı



## SEMBOLLER

<b>A</b>	: Kullanılabilirlik durumu
<b>d</b>	: Hücrenin istenen çıkışı
<b>E</b>	: Hata fonksiyonu
<b>I</b>	: Birim matris
<b>J</b>	: Jakobyen matris
<b>k<sub>j</sub></b>	: Ağırlık faktörleri
<b>R</b>	: Güvenilirlik fonksiyonu
<b>t</b>	: Zaman
<b>tp</b>	: Ünite tamiri için ayrılan zaman
<b>w<sub>i</sub></b>	: Ağırlık katsayısı
<b>λ</b>	: Arıza oranı
<b>ε</b>	: Öğrenme katsayısı
<b>Y</b>	: Hücrenin hesaplanan çıkışı
<b>x'</b>	: Normalize edilmiş veri
<b>η</b>	: Marquardt parametresi
<b>μ<sub>i</sub></b>	: Girdi setinin ortalaması
<b>σ<sub>i</sub></b>	: Girdi setinin standart sapması





## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : MSG-2 analiz adımları .....	18
Çizelge 2.2 : MSG-3'de task seçim kriterleri. ....	25
Çizelge 3.1 : $k_{j1}$ Ağırlık faktörü .....	44
Çizelge 3.2 : $R^2$ Değerleri .....	49
Çizelge 3.3 : Skor ve uygulama zamanı verilerinin normalleştirilmesi. ....	65
Çizelge 3.4 : YSA parametreleri.....	66
Çizelge 4.1 : Tasklar ve gruplandırma.....	80
Çizelge 4.2 : $k_2$ ağırlık katsayısı. ....	84
Çizelge 4.3 : $k_3$ ağırlık katsayısı. ....	85
Çizelge 4.4 : $k_4$ ağırlık katsayısı. ....	85
Çizelge 4.5 : $k_5$ ağırlık katsayısı. ....	86
Çizelge 4.7 : Yeni modüller.....	87
Çizelge 4.7 : Komponent ve sistemler için ağırlık katsayılarının dağılımı. ....	88
Çizelge 4.8 : Normalize edilmiş veriler.....	89
Çizelge 4.9 : YSA parametreleri.....	90



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Bakım programı oluşturma süreci.....	3
Şekil 1.2 : Tez çalışmasının özet süreci.....	4
Şekil 2.1 : MSG-1 süreci.....	16
Şekil 2.2 : MSG-2 konsepti.....	17
Şekil 2.3: Task tabanlı yaklaşım ve MSG-3.....	19
Şekil 2.4: MSG-2 ve MSG-3 farkı.....	20
Şekil 2.5 : MSG-3 Bakım Felsefesi.....	22
Şekil 2.6 : Açık arızalar için MSG-3 bakım taskı seçimi soruları (Kategori 5,6,7).....	23
Şekil 2.7 : Gizli arızalar için MSG-3 bakım taskı seçimi soruları (Kategori 8,9).....	24
Şekil 2.8 : Fazla ve eksik bakımın güvenilirliğe etkisi.....	28
Şekil 2.9 : Önleyici bakımın güvenilirliğe etkisi.....	29
Şekil 2.10 : Banyo küveti eğrisi.....	30
Şekil 2.11 : Uçaklar için banyo küveti eğrisi.....	31
Şekil 2.12 : Banyo küveti eğrisinde bakımın etkisi.....	33
Şekil 2.13 : Güvenilirlik eğrisi.....	34
Şekil 2.14 : MTBF, MTTF ve MTTR'ın şematik gösterimi.....	35
Şekil 2.15 : Endüstri çalışma grupları.....	36
Şekil 2.16 : Bakım programı oluşturma süreci.....	37
Şekil 2.17 : Blok bakım konsepti.....	39
Şekil 2.18 : Eşitlenmiş bakım konsepti.....	40
Şekil 2.19 : Blok bakım ve eşitlenmiş bakım konsepti seçme stratejisi.....	41
Şekil 3.1 : $k_j$ Ağırlık faktörü.....	44
Şekil 3.2 : $k_j$ Ağırlık faktörü.....	45
Şekil 3.3 : MIL-HDBK-473 Prosedür III Checklist A.....	46
Şekil 3.4 : MIL-HDBK-473 Prosedür III Checklist B.....	47
Şekil 3.5 : MIL-HDBK-473 Prosedür III Checklist C.....	47
Şekil 3.6 : Modül – süre tablosu.....	48
Şekil 3.7 : Modül – süre ilişkisi.....	48
Şekil 3.8 : Trend analizleri.....	49
Şekil 3.9 : Tipik yapay sinir ağ modelleri.....	51
Şekil 3.10 : İleri beslemeli yapay sinir ağı.....	52
Şekil 3.11 : Geri beslemeli YSA.....	53
Şekil 3.12 : Kullanım amacına göre YSA mimarisi.....	53
Şekil 3.13 : Aktivasyon fonksiyonları.....	56
Şekil 3.14 : YSA eğitim süreci.....	57
Şekil 3.15 : YSA modeli.....	66
Şekil 3.16 : nntool uygulama sonucu.....	67
Şekil 3.17 : Eğitim sonucu.....	68
Şekil 3.18 : Ortalama R değeri ve grafiği.....	68
Şekil 3.19 : Test ve eğitim verilerinin karşılaştırılması.....	69
Şekil 4.1 : Bir MPD sayfasında yer alan bilgiler.....	73
Şekil 4.2 : MIL-HDBK-472'ye ait prosedürlerin özet tablosu.....	74

<b>Şekil 4.3</b> : Tasklar için yapılan genel sınıflandırma. ....	78
<b>Şekil 4.4</b> : 1.Gruba giren taskların sınıflandırılması.....	81
<b>Şekil 4.5</b> : 2.Gruba giren taskların sınıflandırılması.....	82
<b>Şekil 4.6</b> : 3.Gruba giren taskların sınıflandırılması.....	83
<b>Şekil 4.7</b> : Gruplandırılan taskların dağılımı. ....	84
<b>Şekil 4.8</b> : Matlab nntool arayüzü.....	91
<b>Şekil 4.9</b> : Eğitim, test ve validasyon için R değerleri.....	92
<b>Şekil 4.10</b> : YSA'nın eğitimi sonucu elde edilen değerle, gerçek verinin karşılaştırılması. ....	93



## UÇAK BAKIM TAHSİS SÜRELERİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK YENİ BİR YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ

### ÖZET

Günümüzde bir sivil uçağın dizaynı aşamasında bakım programının oluşturulması, Bakım Yürütme Grubu denilen ve imalatçı, otorite ve havayolu firmalarından müteşşekil bir ekibin oluşturduğu bir metodoloji çerçevesinde ele alınmakla birlikte, bu konu dizayn süreciyle ilgili diğer konulara kıyasla daha fazla tecrübi bilgi gerektirmektedir. Pilot raporlarının, bakım kayıtlarının, arıza bildirimlerinin, imalatçıların tavsiye ve uyarılarının temel kaynaklar olarak ele alındığı bakım dizayn süreci, farklı alandaki uzmanlıklara sahip ekiplerin çalışmaları tarafından şekillendirilmektedir. Bu süreçte hangi sistemlere hangi taskların ne sıklıkta uygulanması gerektiği öncelikli konuların başında gelmektedir. Diğer yandan uygulanmasına ve intervaline karar verilen bakım aksiyonlarının, ne kadar saat süre gerektireceği bu sürecin önemli problemlerinden biridir. Çünkü komponentlerin ya da sistemlerin tamir veya bakım süresi, uçağın yerde kalış süresini, dolayısıyla uçağın kullanılabilirlik oranını ve havayolunun operasyonlarını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle bakımda uygulanacak taskların süresinin doğru olarak tahsis edilmesi son derece önem arz etmektedir. Ancak uygulanacak bakım task intervallerinin ve bununla dolaylı yoldan ilgili task sürelerinin belirlenmesi, sertifikasyon gereksinimleri ve otoritelerin yayınladığı uçuşaelverişlilik emirleri haricinde çok büyük oranda bakım çalışma grubunun tecrübesine bağlı olup, dizayn ofisinin kontrolü dışındadır. Bu çalışmada, uçak bakım tahsis sürelerinin belirlenmesi için bir yöntem geliştirilerek, tecrübi yöntemle bir alternatif oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla, iki aşamalı bir çalışma yapılmış olup, ilk aşamada var olan bir çalışma, farklı bir yöntemle ele alınarak geliştirilmiş ve uçak sistemleri ya da komponentleri ile bakım kartlarının süreleri arasında bir korelasyon oluşturulmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında, Bakım Yürütme Grubu'nun belirlediği ve günümüzde artık standart kabul edilen temel bakım tasklarının parametreleri detaylı olarak ele alınmış, bu amaçla 1157 adet task incelenerek, kantitatif analizler gerçekleştirilmiş ve toplamda 6 adet ağırlık katsayısı elde edilmiştir. Çalışmanın devamında ise ilk bölümde elde edilen fonksiyonla yeni modüller elde edilmiş ve uçaktaki tüm sistemler ya da komponentler için uygulanabilir bir seviyeye getirilmiştir. Son bölümde ise elde edilen ağırlık katsayıları arasındaki ilişki ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları ile analiz edilerek, uçak sistemlerinin ya da komponentlerinin task süresinin tahmin edilmesi gerçekleştirilmiştir.



## **DEVELOPMENT OF A NEW METHOD FOR AIRCRAFT MAINTAINABILITY ALLOCATION**

### **SUMMARY**

Dream of being able to fly is as old as the ability to think abstractly. For many centuries, humans have tried to fly just like the birds and have looked at birds, majestically spreading their wings and flying high over the world, and dreamed of ways to do what birds do. Through the efforts of people like Joseph and Jacques Montgolfier, Octave Chanute, Otto Lilienthal, Lagari Hasan Çelebi, Hezarfen Çelebi, Wright brothers we have earned our wings. Although many others over the next few years after 1903 would make great advances in aviation and improve performance and safety, it was the Wright Brothers' successful the first powered, sustained and controlled airplane flight, and their effort to design the whole system as a usable device, that made the airplane a viable and important invention for humankind. aviation as a new industry has gained momentum. In those very early stage of aviation industry, maintenance was not a critical parameter and performed as necessary. Airplanes or machines often required lots of maintenance hours for every hour of flying time. Major maintenance activities were replacement by new one or overhauled almost everything periodically and because of those philosophy, maintenance was very expensive and not effective.

Modern maintenance concept is very complex and based on different engineering disciplines, hands-on experiences and reliability. The aircraft are designed for safety, airworthiness and maintainability and maintainability is the key factor for aircraft maintenance program. Development of a civil aircraft maintenance program during early design stage has been carried out by Maintenance Steering Group, which is a team of manufacturer, authority and customers, according to a specified methodology which requires very high experience compare to other design steps.

The maintenance programs used by today's commercial avitiaon industry were developed by the two fundamental methods: the task oriented method and process oriented method. The differences in these two methods are twofold: the attitude toward maintenance action and the manner in which maintenance actions are determined and assigned to to components and systems. The process oriented method consists of three basic maintenance process to perform related maintenance actions. Those processes are called hard time, on-condition and condition monitoring. If a component has definite life limit, hard time process is used. In this case, related component can be replaced by new one or overhauled. On-condition process is used for detectable wear our periods. For example rubber components or some structural components can be addressed as on-condition. The third procoess, condition monitoring, is selected for components that cannot utilize either hard time process or on-condition process. Process oriended method are developed by Air Transport Association of America (ATA) by using decision logic procedures. This method to maintenance program development was called a bottom up method because it looked at the components as the most likely causes of equipment failure. This approach

developed by a group called as Maintenance Steering Group (MSG) was so successful on the Boeing 747 that it was modified slightly for use with other aircraft.

After Maintenance Steering Group method, a new method Maintenance Steering Group 2 was developed. It was slightly different for three maintenance areas studied: systems and components, structures and engines. MSG-2 approach is a bottom up process whereby each unit like system, appliance or component on the aircraft is analyzed and assigned to one of the maintenance process hard time, on condition or condition monitoring. MSG-2 is no longer used by the aviation industry but in some old aircraft this method can be performed.

Task-oriented maintenance approach is improved version of MSG 2 method and called MSG 3. MSG 3 approach is a top down method whereby malfunction analysis is performed at the highest manageable level of airplane systems instead of line replaceable item level as in MSG 2. Logic of MSG 3 is based on predetermined maintenance tasks to prevent failures and to maintain the inherent level of reliability of the system. MSG 3 method uses three categories of tasks: airframe system tasks, structural items and zonal tasks. There are eight main tasks in MSG 3: lubrication (an act of replenishing oil, grease or other substances), servicing (an act of attending to basic needs of components or systems), inspection (an examination of an item and comparison against a specific standard), functional check (a quantitative check to determine if each function of an item performs within specified limits), operational check (a task to determine if an item is fulfilling its intended purpose), visual check (an observation to determine if an item is fulfilling its intended aim), restoration (the work necessary to return the item to a specific standard), discard (the removal of any item from service). The result of MSG 3 analysis constitutes the original maintenance program for the new model aircraft and the program that is to be used by a new operator of that model. The tasks selected in MSG 3 process are published by aircraft manufacturer in an aviation authority like FAA, EASA approved document called the Maintenance Review Board Report. In addition to Maintenance Review Board Report, aircraft manufacturer publishes its own document for maintenance planning. This document, called as Maintenance Planning Document, contains all the maintenance task information from Maintenance Review Board and additional tasks recommended by aircraft manufacturer.

Main sources of maintenance design process are based on pilot reports, maintenance records, failure alerts and manufacturers' recommendations and requirements. During this process, one of the most important topics is task related items such as task types, intervals and durations. Maintenance task durations or repair time are very important for airline companies because availability of an aircraft directly related with this parameter. For the best operations in aviation, Mean Time To Failure (MTTF) must be maximum and Mean Time To Repair (MTTR) must be minimum. Aircraft maintainability allocation which is a process to identify the allowable maximum task time for each aircraft component or system is based on mostly experience and out of design office's control.

In this study, a new method with two steps has been developed to create an alternative technique for experimental ones. At the first step an existing methodology developed for maintenance allocation has been improved by using a different technique. For this purpose, correlation between maintenance task times and generic modules which is derived from component failure rates has been investigated by feed forward neural networks in compare to existing method using several regression analysis. Results show that neural network is very effective in this problem and  $R^2$



value is found as 1 which means perfect score. Previous methodology was found correlation using logarithmic trendline with  $R^2$  value as 0,871. Improved method shows that newly established correlation between aircraft systems and task times has very high coefficient of determination compare to the existing method. In addition to this, a new polynom for

At the second phase of the study several quantitative analysis have been performed by examining total 1175 maintenance tasks. For this purpose, in addition to existing one from existing method, 5 new weighting factors are described by examining an airline'

$k_1$  coefficient is defined as aircraft modules and barrowed from the existing methodology however new  $k_1$  modules have been added by a developed equation at the first stage.

$k_2$  is established by examining labor skills and required certifications to perform maintenance actions by conducting a quantitative analysis. For example if only a task training is required to accomplish a certain task,  $k_2$  value is assigned as 1. When aircraft type training and maintenance license are mandatory for some complex tasks,  $k_2$  value will be 3.

Similarly,  $k_3$  factor is described as number of person for related task. For example if number of person for related task is 2,  $k_3$  will be 2.

$k_4$  shows requirement for tools or equipments for a related task. If any tool or equipment is required to perform a maintenance task,  $k_4$  will be,1 otherwise  $k_4$  will be 0.

To apply some complex tasks, other relevant tasks or some preparation can be required. For example to perform some tasks for engines, slats must be closed. This condition is characterized as  $k_5$ . If a task requires some special prepatation  $k_5$  value will be 1, otherwise it will be 0.

Finally,  $k_6$  describes total man/hour to accomplish a task.

By using feed forward back propogation artificial neural networks for newly identified six weight factors, a maintenance task allocation method has been established. In neural network model, trainlm and Levenberg-Marquardt algorithms with 10 neurons and 2 hidden layers have been used. 80% of data is allocated for training and remaing 20% is used for test. Mean Square Error is used for performance measurement. Training results indicate that model has very high R value with 0,95 and this means and training process is very successful and next step can be applicable.

Neural network model results show that newly proposed method can be applicable for maintenance process during early design stage with  $R^2=0,8763$ .

Since this study focused on system and component tasks in Maintenance Steering Group, a different perspective is required for structural and zonal tasks allocations. Therefore the method in this study is limited to airframe systems. The proposed approach could be more useful if actual data is available for the purpose of validation. The approach in this research is starting point for further investigation and future works in aircraft maintenance field.



## 1.GİRİŞ

İnsanoğlunun uçma konusundaki hayali ve bu hayali gerçeğe dönüştürme çabaları çok uzun yıllar öncesine dayanmaktadır. Montgofier, Lilienthal, Lagari, Hezarfen, Wright Kardeşler gibi kendini bu hayale adayanlar, havacılık ve uzay teknolojisinin bugünlere gelmesinde öncü rol oynadılar. Bahsi geçen isimlerden Wright Kardeşler'in ilk uçuşta kat ettiği mesafe, günümüzün modern jet uçaklarından Boeing 747'nin kargo bölmesinden daha uzun değildi. Havacılığın henüz gelişim aşamasında olduğu bu yıllarda, bakım kavramı ön planı değildi ve bir uçağın bakımı "gereklikçe" yapılıyordu. Yıllar ilerledikçe, yeni uçakların yapılması ve buna bağlı olarak uçuş sayılarının artması, bakımın önemini biraz artırdı. Ancak o zamanlardaki bakım anlayışı, neredeyse her parçayı uçaktan söküp, saatler süren bakım(overhaul) sürecine tabi tutmaktı. Güvenilirlik, uçuş emniyeti ya da ekonomiklik gibi günümüz uçaklarının vazgeçilmezleri arasında yer alan unsurlar, bu dönemde henüz ön planda değildi. Diğer yandan, 20.yüzyılın ilk yarısındaki savaşlar, özellikle 1. ve 2.Dünya Savaşı, havacılığın sivil yönden ziyade, askeri yönden ön planda olmasını sağlamış, bu da havacılıkta çok önemli bir yeri olan sivil havacılık otoritelerinin kurulmasını geciktirmişti. Otoritelerin ve buna bağlı olarak dizaynda, bakımda, işletmede ve operasyonlarda uyulması gereken mecburi kuralların olmayışı, uçağı tasarlayan kişilerin ya da firmaların tecrübesinin referans alınmasını ve buna göre uygulamaların yapılmasını sağlamıştı.

Jet motorlarının geliştirilmesi ve bunların sivil uçaklarda kullanıldığı 1950'li yıllar, havacılık açısından 2.bir dönüm noktası olarak kabul edilebilir. Boeing 707, DC-8 ve De Havilland 106 Comet gibi uçakların ticari uçuşlara başlaması; bugünkü modern uçak dizaynı ve uçak bakım konseptine öncülük etmiştir. Daha önce genellikle tecrübi bilgilere göre gerek duyuldukça yapılan bakımlar, artık "bakım programları"na dönüştürülmüş ve uçağın dizayn aşamasında ele alınması gereken konulardan biri haline gelmiştir.

Günümüzde bir uçağın yapımında ve operasyonunda kritik olan parametreler, 4 ana başlıkta sınıflandırılmaktadır:

- Dizayn
- Sertifikasyon
- İmalat
- Operasyon

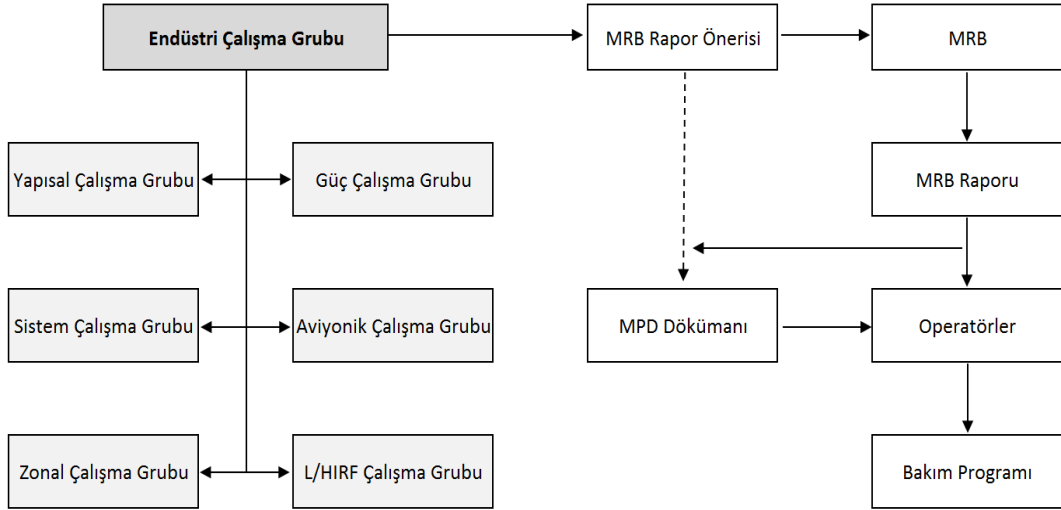
Uçak dizayn standartları, otoriteler tarafından sıkı kurallara bağlanmış olup, sertifikasyonla ilgili bazı gereksinimler, FAA'in Advisory Circular 25.1309'da olduğu gibi doğrudan, bazıları ise dolaylı yoldan bakımla ilgilidir. Ayrıca sivil havacılık sertifikasyon sürecinin zorunlu bir parçası, ilk operatör için bakım programının oluşturulmasını gerektirir.

Günümüzde bir sivil uçağın dizaynı aşamasında bakım programının oluşturulması, ileride detaylı olarak anlatılacak olan Maintenance Steering Group adı verilen lojik çerçevesinde ele alınmakla birlikte, bu durum dizayn süreciyle ilgili diğer konulara kıyasla daha fazla tecrübi bilgi gerektirmektedir. Pilot raporlarının, bakım kayıtlarının, arıza bildirimlerinin, imalatçıların tavsiye ve uyarılarının temel kaynaklar olarak ele alındığı bakım dizayn süreci, otorite, imalatçı ve kullanıcıların oluşturduğu bakım çalışma grubu tarafından şekillendirilmektedir. Bu süreçte hangi sistemlere hangi taskların ne sıklıkta uygulanması gerektiği öncelikli konuların başında gelmektedir. Diğer yandan uygulanmasına ve intervaline karar verilen bakım aksiyonlarının, ne kadar saat işçilik gerektireceği bu sürecin önemli problemlerinden biridir. Çünkü komponentlerin ya da sistemlerin tamir veya bakım süresi, uçağın yerde kalış süresini, dolayısıyla müşterinin gelir gider hesaplarını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle bakımda uygulanacak taskların süresinin doğru olarak tahsis edilmesi son derece önemlidir. Ancak uygulanacak bakım tasklarının sürelerinin belirlenmesi, sertifikasyon gereksinimleri ve otoritelerin yayınladığı uçuşaelverişlilik emirleri haricinde çok büyük oranda bakım çalışma grubunun tecrübesine bağlı olup, dizayn ofisinin kontrolü dışındadır.

### **1.1 Tez Çalışmasının Amacı**

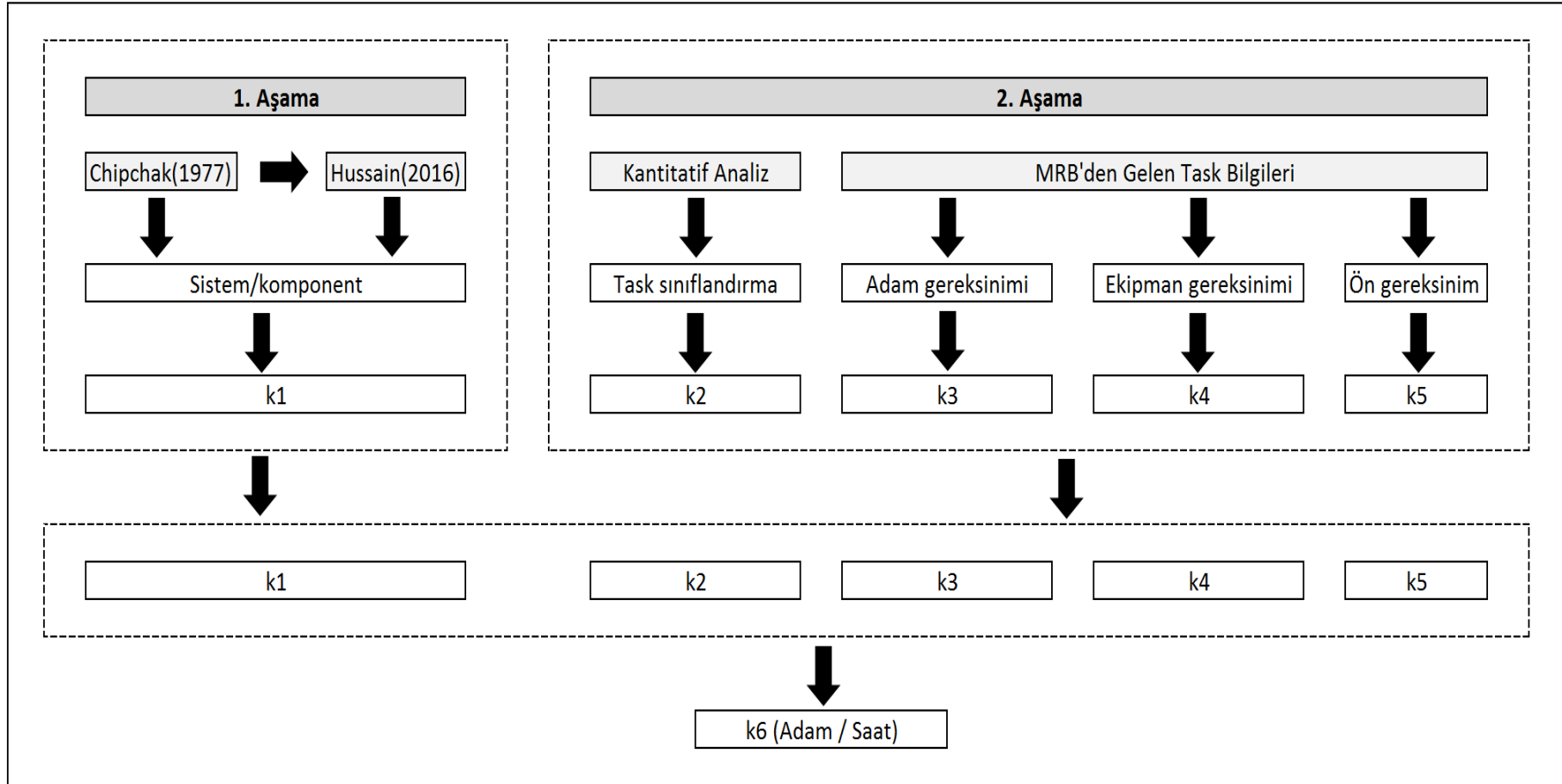
Bu çalışmada, uçak bakım tahsis sürelerinin dizayn aşamasında belirlenmesi için yeni bir yöntem geliştirilerek, tecrübi yöntemle bir alternatif oluşturulması hedeflenmiştir. Bir bakım programının oluşturulması, farklı alanlarda çalışan endüstri çalışma grubunun bir araya gelmesiyle başlamaktadır. Çalışma gruplarının

oluşturduğu rapor, Bakım Gözden Geçirme Kurulu'na (Maintenance Review Board) öneri olarak sunulmakta, raporun kurulda onayını müteakiben, Bakım Planma Dökümanı (Maintenance Planning Document) olarak yayınlanmaktadır (Şekil 1.1). Tezin amacı, endüstri çalışma grubunun yürüttüğü çalışmalarda kullandığı politikalar ve prosedürler isimli el kitaplarına, task süresinin tahsisi anlamında akademik bir yöntem eklemektir.



**Şekil 1.1 : Bakım programı oluşturma süreci.**

Bu amaçla, iki aşamalı bir çalışma yapılmış olup, ilk aşamada var olan bir çalışma, farklı bir yöntemle ele alınarak geliştirilmiş ve uçak sistemleri ya da komponentleri ile bakım kartlarının süreleri arasında bir korelasyon oluşturulmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında, Maintenance Steering Group'un belirlediği ve günümüzde artık standart kabul edilen temel bakım tasklarının parametreleri detaylı olarak ele alınmış ve devamında kantitatif analizler gerçekleştirilerek toplamda 6 adet ağırlık katsayısı elde edilmiştir. Çalışmanın devamında ise ilk bölümde elde edilen fonksiyonla, yeni modüller elde edilmiş ve uçaktaki tüm sistemler ya da komponentler için uygulanabilir bir seviyeye getirilmiştir. Son bölümde ise elde edilen ağırlık katsayıları arasındaki ilişkileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları ile analiz edilerek, uçak sistemlerinin ya da komponentlerinin task süresinin tahmin edilmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.2'de blok diyagram şeklinde özetlenen sürecin sonucu oldukça tatminkar olup, elde edilen sonuçlar son bölümde ele alınmıştır.



Şekil 1.2 : Tez çalışmasının özet süreci.

## 1.2 Literatür Taraması

Uçak dizaynı da dahil olmak üzere, bir ürünün dizaynı aşamasında, ürünün özelliklerine, tasarımcının/firmanın tecrübesine ya da müşterinin isteklerine göre farklı dizayn metodolojileri kullanılabilir. Bunlardan bazıları, imalat için dizayn (Design for Manufacturing - DfM), montaj için dizayn (Design for Assembly - DfA), kalite için dizayn (Design for Quality - DfQ), güvenilirlik için dizayn (Design for Reliability - DfR), demontaj için dizayn (Design for Disassembly - DfD), herhangi bir şey için dizayn (Design for X – DfX), bakım yapılabilirlik için dizayn (Design for Maintainability - DfMa) olarak sayılabilir. Teknik ve ticari şartlara göre, bu metodolojilerden sadece biri tek başına kullanılabilirdiği gibi, birden fazlası aynı süreçte kullanılabilir. Bu tez çalışmasının dolaylı yoldan konusu olan, bakım yapılabilirlik açısından dizayn hususunda literatürde farklı çalışmaları görmek mümkün olmakla birlikte, çoğunluğu uçak gibi kompleks bir üründen ziyade, nispeten daha basit ya da günlük hayatta kullanılan ürünler ya da sistemler üzerine yoğunlaşmıştır.

Diğer yandan bakım sürelerinin ya da bakım tasklarının tahmini ile ilgili yapılan çalışmalar, daha çok ürünün yaşam çevrimi içindeki sürecini referans alarak gerçekleştirilmiştir. Dizayn aşamasında bakım ya da task sürelerinin tahsisine yönelik akademik çalışmalar, gerek ilgili verilerin genellikle havacılıktaki paydaşlar haricinde dışarıyla fazla paylaşılmaması, gerekse ilgili çalışmayı yürüten ekibin kurullarla belirlenmiş olan bir gruptan (imalatçı, otorite ve havayolu firmaları) oluşması dolayısıyla, nispeten daha azdır.

Bakım yapılabilirliğin niçin dizayn aşamasında kurgulanması gerektiğini yaptığı çalışmada anlatan Wohl (1961), kompleks sistem değişkenleri arasında bakım yapılabilirliğin de bir parametre olarak eklenmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca güvenilirlik ile bakım yapılabilirlik arasında bir denge gözeterek, dizayn aşamasında güvenilirlik, kullanılabilirlik ve bakım yapılabilirlik parametrelerinin bir sınır şartı olarak konulabileceğini önermiştir.

Bu tezin ilk aşamasında referans alınan Chipchak (1971)'in dizayn aşamasında komponentlerin ya da sistemlerin bakım sürelerinin tahsisine yönelik çalışması, bugün başta NASA'nın sistemleri olmak üzere pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. Chipchak (1971) bakım sürelerinin daha konsept dizayn

aşamasında belirlenebilmesini sağlamak için pratik bir yöntem geliştirerek; Jenerik Modül Tipleri, Hata Ayıklama Teknikleri ve Tasarım Karakteristiğindeki Farklar olmak üzere 3 farklı ağırlık faktörü önermiştir. İstatistiksel yöntemler ya da kantitatif analizlerle hesaplanabilen bu katsayılar, bakım sürelerinin tahsisinde anahtar rol oynamaktadır.

Lipa (1981), dizayn aşamasında kullanılabilirlik; üründen, sistemden ve bakım tipinden bağımsız, bakım yapılabilirlik tahmini için bir yöntem önermiştir. 2 Aşamalı prosedürden oluşan metot, mevcut bakım prosedürlerini kullanarak daha çok veriyle daha isabetli tahminler yapmayı amaçlamaktadır. Lipa'nın (1981) yaptığı bu çalışma, çok efektif sonuçlar verdiği için MIL-HDBK 472'nin "Maintainability Prediction" kısmına eklenmiştir.

Wani ve Gandhi (1999), yönlü grafları ve matrisleri kullanarak mekanik sistemlerin bakım yapılabilirlik indekslerini geliştirebilmek bir metot önermişlerdir. Mekanik sistemlerin bakım yapılabilirliğinin, bakım özellik yönlü grafi olarak modellendiği çalışmada, bir sistemin bakım yapılabilirlik indeksi, yönlü graflardan elde edilen fonksiyonlarla elde edilmiştir. Bir sistemin bakım yapılabilirlik seviyesinin ölçüsü olarak çalışmada tanımlanan bu indeks, ne kadar yüksekse bakım yapılabilirlik de o kadar yüksektir. İndisin nasıl elde edileceğinin adım adım anlatıldığı bu çalışma, dizayn aşamasında tasarımcılara bakım dizaynı açısından süreç optimizasyonu gibi ek kolaylıklar getirmeyi amaçlamaktadır.

Waeyenbergh ve Pintelon (2002), müşterinin ihtiyaçları ve ürünün türüne göre özelleştirebilecek yeni bakım konsepti önermiştir. Şu anda var olan güvenilirlik merkezli bakım (Reliability Centered Maintenance – RCM), iş merkezli bakım (Business Centered Maintenance – BCM) ve toplam üretkenlik temelli bakım (Total Productive Maintenance – TPM) gibi bakım konseptlerini referans alan yazarlar, 5 modülden oluşan yeni bakım konsepti önermişlerdir. İlk modül amaçların tanımlanmasını ve kaynakların tahsis edilmesini, ikinci modül, en önemli ve en kritik sistemlerin tanımlanmasını, üçüncü modül bakım politikalarının tanımlanmasını, dördüncü modül performans ölçümlerini, son modül ise ilk 3 modül üzerinde yapılacak sürekli iyileştirme aksiyonlarını tanımlamaktadır.

Chen ve Cai (2003), mekanik sistemlerin bakım yapılabilirliğini dizayn açısından modelleyebilmek için Vektör Projeksiyon Metodu ismini verdikleri bir yöntem geliştirmiştir. Bakım için dizayn konusunda rehber olmak üzere rehber niteliğinde bir



dizi önerilerde bulunan yazarlar, önerdikleri genel dizayn metodolojisi için valf tahrikli bir sistemin dizaynını incelemişlerdir.

Dizaynın başlangıç aşamasındaki belirsizliklerin ve bundan etkilenen bakım dizaynının ürünün yaşam çevrimini doğrudan etkilediğini belirten Slavia ve diğ. (2005) mikro motor örneğinden yola çıkarak bulanık mantık yöntemi ile bakımın nasıl tasarlanabileceğini araştırmıştır. Çalışmanın sonunda ürünler için elde edilen indeks değerlerinin, tasarımcıya dizayn aşamasında yardımcı olması, böylece daha doğru bakım kurgusu yapması hedeflenmiştir.

Kuraš ve Sušanj (2005), gemilerin elektronik sistemlerin bakım kolaylığı açısından nasıl dizayn edilmesi gerektiğini ana hatlarıyla anlattıkları çalışmalarında, bakım sürelerinin tahsisi, güvenilirlik ve bakım destekleri gibi parametreler açısından bir tür rehber niteliği taşıyan çalışma yürütmüşler ve insan-makine etkileşimine dikkat çekmişlerdir.

Desai ve Mital (2006), bakım açısından dizaynı ele aldığı çalışmada literatür taraması yaparak temel konseptleri/kavramları ortaya koymuş ve ürünün ömrü boyunca bakım maliyetlerini ve servis gereksinimlerini azaltmak için dizayn esnasında uygulanabileceğini belirttiği bir metodoloji önermiştir.

Zhong ve Youchao (2007) ise Slavia ve diğ. (2005) gibi ürünün bakım sürecini optimize edebilmek için dizayn aşamasında bulanık mantık yaklaşımını kullanmışlardır. Bu amaçla bir sivil uçağın iniş takımlarını inceleyen yazarlar, bakım tasklarının her bir değiştirilebilir ürünlerine sanal ortamda bu yaklaşımı uygulayarak, süreci simüle etmişlerdir.

Wahab ve diğ. (2008) elektrikli kahve makinesi örneğinden yola çıkarak modüler dizayn ve bakım kolaylığı açısından bir dizayn metodolojisi önermiştir. Piyasada var olan bir ürünün dizaynından yola çıkan çalışma, bakım için dizayn konseptini referans alarak güvenilirliği ve bakım süreçlerini kolaylaştırdığını belirttiği bir dizi dizayn tavsiyesiyle bir tür rehber sunmuştur.

Coulibaly ve diğ. (2008), ürünün dizaynı aşamasında bakım yapılabirlik ve emniyet indikatörlerini inceleyebilmek amacıyla 3 boyutlu CAD modelini ve davranışsal semantik veriyi kullanmışlardır. Semantik analizler sonucunda elde edilen indikatörlerin, ürünün ömrünü uzatmaya yardımcı olabileceğini öne süren yazarlar, ayrıca dizayn aşamasında farklı alternatifleri değerlendirme konusunda yardımcı

olabileceğini belirtmişlerdir. Ancak yapılan çalışmada güvenilirlik gibi önemli bir parametre dikkate alınmamıştır.

Yang ve diğ. (2009), bakım yapılabilirliğin nasıl tasarlanması gerektiğini anlattıkları makalede, bir gemi örneğini üzerinden duyarlılık analizi ve yapay sinir ağları yöntemlerini uygulayarak bakım yapılabilirlik parametrelerinin bakım dizaynına etkisini incelemiş ve dizayn aşamasında dizayn ekibine yardımcı olabileceğini belirttiği bir yöntem ortaya koymuştur.

Elektronik endüstrisinde güvenilirlik ve bakım yapılabilirlik açısından dizaynın nasıl yapılması gerektiğini, yaptığı çalışmada anlatan Musson (2009), bu amaçla tasarımcılar için bir çerçeve rehber önermiştir. Bu rehberin otomatik olarak nasıl uygulanabileceği konusunda ise bilgisayar destekli bir metodoloji geliştirmiştir.

Zua (2010), arıza oranı ve bakım fiyatını temel kriterler olarak dikkate aldığı çalışmada, MATLAB ortamında ayırık olay simülasyonu ve genetik algoritmaları kullanarak bir matematik model geliştirmiştir. Modelin sonuçlarını deneysel sonuçlarla karşılaştıran yazar, geliştirdiği modelin ürünün yaşam çevrim sürecine olumlu yönde katkı yaptığını belirtmiştir.

Jia ve diğ. (2012), ordudaki silah mühimmatları için bakım konusunu ele almış ve bakım task tahsisinin nasıl olması gerektiğine dair bir mimari önermiştir. Bilgisayar ardından karar destek sistemleriyle beslenen bir model geliştirilmiştir.

Lv ve diğ. (2013), dizayn aşamasındaki bakım kurgusunu optimize edebilmek için TRIZ yöntemini kullanmıştır. Bakım dizaynı aşamasındaki iş akışını TRIZ ile korele eden yazar, daha sonra çatışma matriksini kullanarak TRIZ yöntemlerini uygulamış ve dizayn sürecindeki bakım konseptini iyileştiren bir öneri sunmuştur.

NASA'nın yer terminal sistemleri için güvenilirlik ve bakım yapılabilirlik parametrelerinin tahsisi için bir metot öneren Gillespie ve Monaghan (2013), bu tez kapsamında da referans alınan Chipchak'in (1971) metodunu kullanarak 3 ağırlık katsayısı tanımlamışlardır. Sistem tipi, hatı ayıklama tipi ve erişilebilirlik ya da bakım yapılabilirlik tipi olarak belirlenen bu 3 ağırlık katsayısı, her bir sistem için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve nihayetinde iki tamir arasındaki ortalama süre olarak da tanımlanabilen MTTR (Mean Time To Repair) için toplam ağırlık katsayıları üzerinden bir formülasyon geliştirilmiştir.

Wen ve diğ. (2014), bir uçağın dizaynı aşamasında bakım yapılabilirlik ve bakım task tahsisi açısından önemli bir parametre olan, arızalar arasındaki ortalama süreye (Mean Time Between Failure – MTBF) alternatif olarak önerilen “bakımsız işletme periyodu(Maintenance Free Operation Period – MFOP) üzerinde yoğunlaşmışlardır. Çalışmalarında MFOP’yi etkileyen faktörleri ele alan yazarlar, her bir faktör için matematiksel model geliştirmişler ve devamında da task tahsisinin nasıl yapılması gerektiğini bu model üzerinden paylaşmışlardır. Uçaktan LRU (Line Replaceable Unit) ekipmanlara doğru MFOP’nin uygulanabileceğinin belirtildiği çalışmada, önerilen konseptin savaş uçaklarında ve sivil uçaklara kullanılabileceği ve MTBF’in ön planda olduğu klasik dizayn yaklaşımına karşı iyi bir alternatif olabileceği belirtilmiştir.

Güvenilirlik ve bakım yapılabilirlik açısından maden ocaklarında kullanılan ekipmanlar üzerinde çalışma yapan Peng ve Vayenas (2014), genetik algoritmaları kullanarak arıza oranlarını iyileştirmeye çalışan bir yazılım vasıtasıyla bakım sürelerini farklı sistemler için tahmin etmeye çalışmıştır. Çalışmanın sonuçlarını, 3 farklı ekipmanın sistemleri üzerinde gözlemleyerek, daha çok yazılımın eksik ya da zayıf yanlarının bu anlamda geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Tezdeki referans alınan bir diğer çalışma olan ve Chipchak’in (1971) metodu üzerinde şekillenen Wan’ın (2014) çalışmasında, Chipchak’in (1971) geliştirdiği pratik yöntem için kullandığı ağırlık katsayılarından, jenerik modül tipi ele alınarak, bir ürünü ya da komponenti temsil eden bu faktör ile bakım tasklarının süreleri arasında ilişki olup olmadığı incelenmiştir. Bu amaçla, komponentlere karşılık gelen bakım tasklarının sürelerini belirleyebilmek için MIL-HDBK-473 Procedure III’ü referans alarak 3 Bölümden oluşan kontrol listelerini kantitatif analizlerle tamamlamış ve task sürelerini tecrübi olarak elde etmiştir.

Vaneker ve Diepen (2015), Lv ve diğ. (2013) yaptığı çalışmaya benzer olarak TRIZ metodunu kullanarak dizaynın bakım açısından nasıl olması gerektiğine dair bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla ilk etapta var olan bakım için dizayn manuelleri, TRIZ metodu ile ilişkilendirilmiş, ikinci aşamada bunlar belli bir lojik içinde gruptandırıldıktan sonra son aşamada TRIZ araçlarıyla geliştirilmiş bir yol haritası ortaya çıkartılmıştır.

Barabadi ve diğ. (2015), bir sistemin ömrünü uzatmak ve performansını artırmak için geçmiş verileri kullanarak dizayn aşamasında bakımın nasıl tasarlanması gerektiğini

istatistiksel yöntemlerle anlatmışlardır. Bir kireçtaşı madenindeki kırma mekanizmasını örnek olarak ele alan yazarlar tatminkar sonuçlar elde etmiş olmalarına rağmen, çalışmalarının uygulaması büyük oranda gerçek verilerin varlığına ve her bir sistemin ayrı ayrı modellenmesine bağlı olduğunda, pratikte uygulaması zor görünmektedir.

Günümüzde robotların sayısının hızla artması ve buna bağlı olarak robotların idamesinin ciddi bir konu haline gelmesi, robotların da bakım açısından nasıl tasarlanması gerektiğini bir problem olarak ortaya koymuştur. Tsarouhas ve Fourlas (2015), bu probleme çözüm aramak için robotlar üzerinde 34 ay boyunca topladıkları çalışmalarla, bakım tahsis zamanları, süreleri, problemin kaynakları gibi konular için güvenilirlik analizleri gerçekleştirmiş ve ortaya çıkan sonuçların, bundan sonraki robotların dizayn sürecinde, bakım yapılabilirliğin nasıl olması gerektiğine dair yol göstereceğini vurgulamışlardır.

Bir ürünün yaşam çevrim konseptini, bakım yapılabilirlik yaklaşımında kullanan Jian ve diğ. (2016), bulanık mantık temelli analitik hiyerarşi prosesiyle geliştirdikleri bakım indekslerini geliştirmişlerdi. Ürün çevrim sürecindeki dizayn, imalat, kullanım ve bakım süreçlerinin her birinin detaylı parametreler cinsinden ele alındığı çalışma, bakımın optimize edilmesi anlamında olumlu sonuçlar vermesine rağmen, sürecin büyük oranda manuel girişlere bağlı olması, yöntemin pratikte kullanımını zor hale getirmiştir.

### **1.3 Tez Organizasyonu**

Tez, bu bölümde dahil olmak üzere 5 ana bölümde ele alınmış ve belli bir akış çerçevesinde kurgulanmıştır.

İlk bölüm olan bu kısım, kendi içinde 4 bölümden oluşmaktadır. Genel giriş kısmından sonra, tezin ana problemi şemalarla anlatılmış, daha sonra da tez konusuyla ilgili literatür araştırmaları paylaşılmış ve bu doğrultuda benzer ya da farklı yöntemler kullanan yazarların araştırmasına yer verilmiştir. Son bölüm olan bu kısımda ise tez organizasyonu anlatılmıştır.

Tezin 2.bölümünde, tezin ana konusu sayılabilecek uçak bakımına dair genel yaklaşımlar anlatılmıştır. Uçak bakımındaki temel konseptler tarihsel süreci içinde ele alınmış ve günümüze kadar geçen süreç içinde modern ticari uçakların

bakımlarının nasıl şekillendiği anlatılmıştır. Bu kapsamda özellikle “hardtime”, “on-condition” ve “contion-monitoring” olarak adlandırılan bakım prosesleri üzerinde durulmuş ve bu proseslerin çıktılarından edinilen tecrübelerle oluşturulan ve Maintenance Steering Group (MSG) adı verilen modern metodolojinin nasıl oluştuğu anlatılmıştır. Bu kapsamda MSG-1, MSG-2 ve MSG-3 yaklaşımları ele alınmış ve bunların genel prensipleri ve metodolojileri paylaşılmıştır. Bu programların temelini oluşturan güvenilirlik mekanizması ve bu mekanizmanın bakımda nasıl kullanıldığı, genel felsefesi yine ana hatlarıyla bu kısımda ele alınmıştır. Yine bu kapsamda, tez çalışmasının konusunu oluşturan MSG-3’deki taskların nasıl seçildiği, sürelerin nasıl belirlendiği de kısaca ele alınmıştır. Bölümün sonunda ise modern bir bakım programının hangi süreçlerden geçerek, nasıl oluştuğu konusunda özet bilgi paylaşılmıştır.

3.Bölüm, tezin nihai amacı olan uçak sistem ya da komponentlerine uygulanacak taskların süresini dizayn aşamasında belirlemek için oluşturulması gereken temel çalışmaya ayrılmıştır ve 2 aşamalı tez çalışmasının ilk basamağı gibi görülebilir. Bu kısımda, ana problemi kurgulamak için referans alınan önceki çalışmalardan bahsedilmiş ve yöntemleri anlatılmıştır. Tez çalışmasının ilk adımında, bu çalışmaların kullandığı yöntemlere alternatif olarak ortaya koyulan model yapay sinir ağları ile yeniden incelendiğinden, bölümün ilerleyen kısmında genel hatlarıyla yapay sinir ağları ve bu yöntemin genel unsurları anlatılmıştır. Sonraki kısımda, normalizasyon süreci ve ileri beslemeli yapay sinir ağının, modele nasıl uygulandığı, ilgili parametreler de anlatılarak detaylı olarak paylaşılmış ve devamında da sonuçlar sunulmuştur.

4.Bölüm, tezin ana problemi için önerilen yeni yaklaşımı anlatmaktadır. Bu kapsamda, MSG-3’den gelen temel bakım tasklarına yapılan kantitatif analizler detaylı olarak anlatılmış ve toplam altı adet olan ağırlık katsayılarının nasıl elde edildiği paylaşılmıştır. Kantitatif analizlerin daha iyi anlaşılması için, bu bölümde kısaca bakım tasklarının genel yapısına değinilmiş ve örnekler paylaşılmıştır. Bölümün devamında ise, önceki bölümde elde edilen fonksiyon ve korelasyon kullanılarak, yeni modüllerin (sistemlerin/komponentlerin) nasıl elde edildiği gösterilmiştir. Bölümün son kısımda ise kantitatif analiz ve yapay sinir ağları ile oluşturulan modelin nihai mimarisi oluşturulmuş ve buna göre çözüme gidilerek, sonuçlar paylaşılmıştır.

Son bölüm olan 5.bölümde ise bu çalışmanın sonuçları irdelenmiş ve devamında tez kapsamında olmayan ya da yapılması gereken çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.



## 2. UÇAK BAKIMININ TEMELLERİ

### 2.1 Giriş

Uçağın parça, komponent, sistem veya bütünü onarıp eski haline getirmek, tamamıyla yenilemek veya çalışabilir durumda tutabilmek için yapılan; servis, tamir, modifikasyon, revizyon, muayene ve durum tespiti yapmak gibi işlerden oluşan faaliyetler bütününe verilen genel isim olarak tanımlanan bakım, havacılığın ilk yıllarında neredeyse hiç gelişmemişti ve “gereklikçe” yapılıyordu. Genellikle mekaniklerin tecrübi bilgisine göre gerçekleştirilen bakım faaliyetleri analitik bir temele dayanmadığı gibi, uçuş emniyeti, güvenilirlik ve önleyici bakım gibi yaklaşımlar henüz gelişmemişti. Bakım faaliyetlerinin temelinde uçaklardan parçaları söküp, onları doğrudan değiştirmek gibi hem pahalı, hem de ileride anlatılacağı üzere emniyet açısından hiç de gerekli olmayan bir yaklaşım vardı. O yıllarda sivil uçaklardan ziyade askeri uçakların ön planda olması, sivil havacılık şirketlerin yok denecek kadar az olması ve bunlara bağlı olarak havacılık otoritelerinin henüz teşkil etmiş olmaması, bu anlayışın gelişmemesinin başlıca nedenleri arasında sayılabilir.

1950’li yıllarda jet motorların geliştirilmesi ve buna bağlı olarak De Havilland 106 Comet, Boeing 707, DC-8 gibi ticari uçakların pazara sunulması, hem sivil havacılığı, hem de uçak bakım anlayışını temelinden değiştirdi. O zamana kadar, uçak mekaniklerinin tecrübesine ve inisiyatifine göre amatörce tasarlanan bakımlar, uçağı imal eden şirketlerin kurumsal yaklaşımlarına göre yeniden dizayn edilerek “bakım programları” oluşturuldu ve bakım programları, güvenilirlik esas alınarak proses temelli bir kurguya göre şekillendirildi. Bu kurguda göre temel olarak 3 proses esas alındı:

- Hardtime
- On-condition
- Contion Monitoring

## 2.2 Hardtime

Emniyet ve güvenilirlik konularının önem kazandığı bu ilk dönem bakım programlarında, ne kadar çok parça ya da komponent değiştirilirse, uçağın o kadar emniyetli olacağı fikrinin yansımaları vardı. “Hardtime” olarak da adlandırılan bu yaklaşıma göre, bir parça için önceden belirlenen ömür sona erdiğinde, o parçanın ya değiştirilmesi ya da overhaul edilmesi gerekmektedir. Ömür olarak belirlenen süre, takvim zamanı (X gün gibi), uçuş sayısı, uçuş saati ya da başka bir prosesten gelen limitasyonlar gibi farklı intervaller olabilir. Bir komponentin, belirli bir ömür sonunda sökülmesi ve overhaul edilmesinden sonra, emniyet açısından belli bir eşğin üzerinde olması beklenmektedir. Hardtime proses yaklaşımı, genellikle belirli bir süreden sonra arıza çıkarıcı ya da bozulan ve uçuş emniyetini doğrudan etkileyen komponentler için idealdir. İniş takımları, motordaki ömürlü parçalar, hidrolik ve elektrik motorlar, pompalar, jeneratörler vb. gibi komponentler hardtime kategorisine dahil edilmiştir. Diğer yandan, aşınma ölçümlerinin yapılmasının mümkün olmadığı ancak uçuş emniyeti üzerinde olumsuz etkisi olabilecek kauçuklar gibi bir takım parçalar da hardtime olarak nitelendirilmektedir.

## 2.3 On-condition

Ticari havacılığın gelişme dönemlerinde, fazla bakım yapmanın uçuş emniyetini artırmadığı, hatta bazı arızaların oluşmasını hiç engelleyemediği tespit edildi. Üstelik aşırı bakım yapmak, maliyetleri de ciddi oranda artırıyordu. Bu durum, havacılık endüstrisini yeni bir bakım konsepti arayışına itti: “On-Condition”. Bu konsept, “hardtime”dan farklı olarak parçaların belirli bir ömür sonunda doğrudan sökülmesini engellemeyi amaçlıyor ve bunun için de ilgili parçaların belirli periyotlarda testlere ya da bir takım ölçümlere tabi tutularak, belli fiziksel limitler içinde olup olmadığının kontrolünü sağlıyordu. Bu kontroller sonucunda, eğer parçalar önceden belirlenen toleranslar ya da limitler içerisinde ise ve bir dahaki bakım aralığına kadar uçuşa elverişlilik açısından sorun çıkarmayacak görünüyorsa, parçanın durumu “on-condition” olarak tanımlandı. Her parça için uygun olmayan bu yaklaşım, genellikle fiziksel aşınmaya maruz, dolayısıyla ölçüm yapılabilecek, mesela fren aşınma pinleri, lastikler, motor yağları ya da kontrol kabloları gibi parçalarda tercih edilmektedir.



## 2.4 Condition Monitoring

Bir parça ya da komponent, hardtime ya da on-condition olarak sınıflandırılmıyorsa, 3.kategori olan condition monitoring olarak ele alınır. Bu sınıfa giren parçaların ya da komponentlerin belirli bir ömrü ya da fiziksel aşınma limitleri bulunmamaktadır. Bu nedenle, condition monitoring, diğer 2 prosten farklı olarak arıza önlemi prosesi olarak değerlendirilemez. Condition monitoring prosesi çerçevesinde değerlendirilen parça ya da komponentlerin arıza yapmaması ya da arızanın önceden tespit edilmesine dair bakım taskları bulunmadığından, bunların arıza yapması ya da bozulması beklenir. Bu sebeple, bu kategoride değerlendirilecek parça ya da komponentlerin uçuş güvenliği üzerine doğrudan etkisinin olmaması, uçuş ekibi tarafından gözlemlenemeyecek “gizli arızalara” meydan vermemesi ya da ömür veya aşınma limitlerine sahip olmaması gerekmektedir. Genellikle condition monitoring olarak değerlendirilen sistemler, arızanın öngörülemediği ya da ömür bilgisinin olmadığı kompleks aviyonik komponentler veya elektronik sistemlerdir. Ayrıca kahve makinesi, uçuş eğlence sistemi, lavabolar gibi uçuş emniyeti üzerinde doğrudan etkisi olmayan komponentler de yine condition monitoring prosesinde değerlendirilir.

Proses temelli bakım yaklaşımı olarak da adlandırılan bu 3 konsept, Maintenance Steering Group olarak da bilinen yürütme grubuna bakım programı oluşturmak için referans oluşturmuştur.

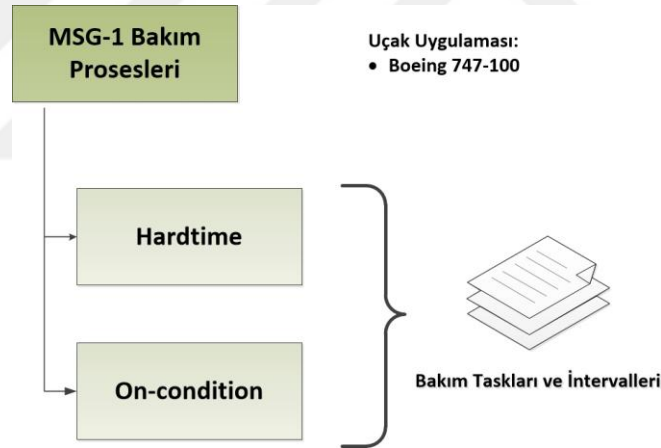
## 2.5 Maintenance Steering Group (MSG)

Boeing firmasının 1960’lı yılların sonuna doğru geliştirdiği dev yolcu uçağı 747, havacılık için devrim niteliğinde bir üründü ve pek çok anlamda ilkti. Bu ilklerden bir tanesi de, hiç şüphesiz modern bir bakım programına sahip olmasıydı. Boeing, 747’nin bakım programını oluşturabilmek için Boeing’deki tasarımcılardan ve bakımcılardan oluşan bir ekip kurmuş, bu ekibe uçağı satın alabilecek havayolu firmalarını ve Amerikan sivil havacılık otoritesi FAA’i de davet etmişti. Toplamda 6 çalışma grubundan oluşan ve Bakım Yürütme Grubu (Maintenance Steering Group – MSG) adlandırılan ekip, şu alanlara ayrılmıştı:

- Yapısal,
- Mekanik sistemler,

- Motor ve yardımcı güç ünitesi,
- Elektrik ve aviyonik sistemler,
- Uçuş kontrolü ve hidrolik,
- Zonal

Her bir çalışma grubu, kendisiyle ilgili alandaki parça ya da komponentler için sistem bilgisi, hata modları, yapısal ya da mekanik limitler gibi bilgileri kullanarak, belli bir lojik çerçevesinde ilk bakım programının temellerini oluşturdu. Bu ilk modern bakım programında, “aşağıdan yukarıya” denilen bir yaklaşım kullanılıyordu, çünkü arızanın temel nedeninin komponentler olduğu düşünülüyordu. Komponentlerin analizleri için de yukarıda anlatılan hardtime ve on-condition yaklaşımları kullanılarak, hangi komponentin hangi proses çerçevesinde değerlendirilmesi gerektiği ve buna göre tamir, değiştirme ya da servise verme işleminin gerekli olup olmadığı incelenmişti (Şekil 2.1).

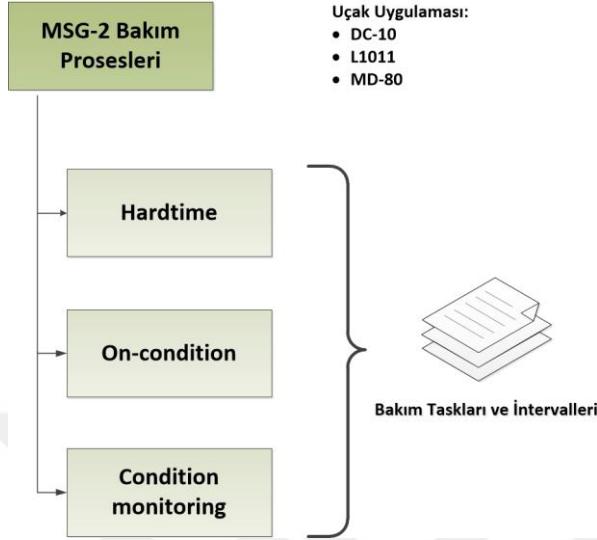


**Şekil 2.1 : MSG-1 süreci.**

### 2.5.1 MSG-2

MSG'nin yaptığı çalışma ve sonunda ortaya çıkan ve “Bakım Değerlendirme ve Program Geliştirme” ya da MSG-1 El Kitabı'nda gerçekleştirilen bakım programı o kadar başarılı oldu ki, sadece 2 sene sonra bu programın yalnızca Boeing 747'de değil, diğer sivil uçaklarda da kullanılması kararlaştırıldı. Bu amaçla bakım programında Boeing 747'ye verilen referanslar silinerek, uygulama alanı genişletildi ve ismi değiştirilerek MSG-2 yapıldı (Şekil 2.2). Bu metodolojinin başarısı, Amerika

dışında da yankı buldu ve Boeing'in rakibi Airbus da MSG'yi kendine uyarladı. Metodolojinin Avrupa'daki uyarlaması EMSG olarak duyuruldu.



Şekil 2.2 : MSG-2 konsepti.

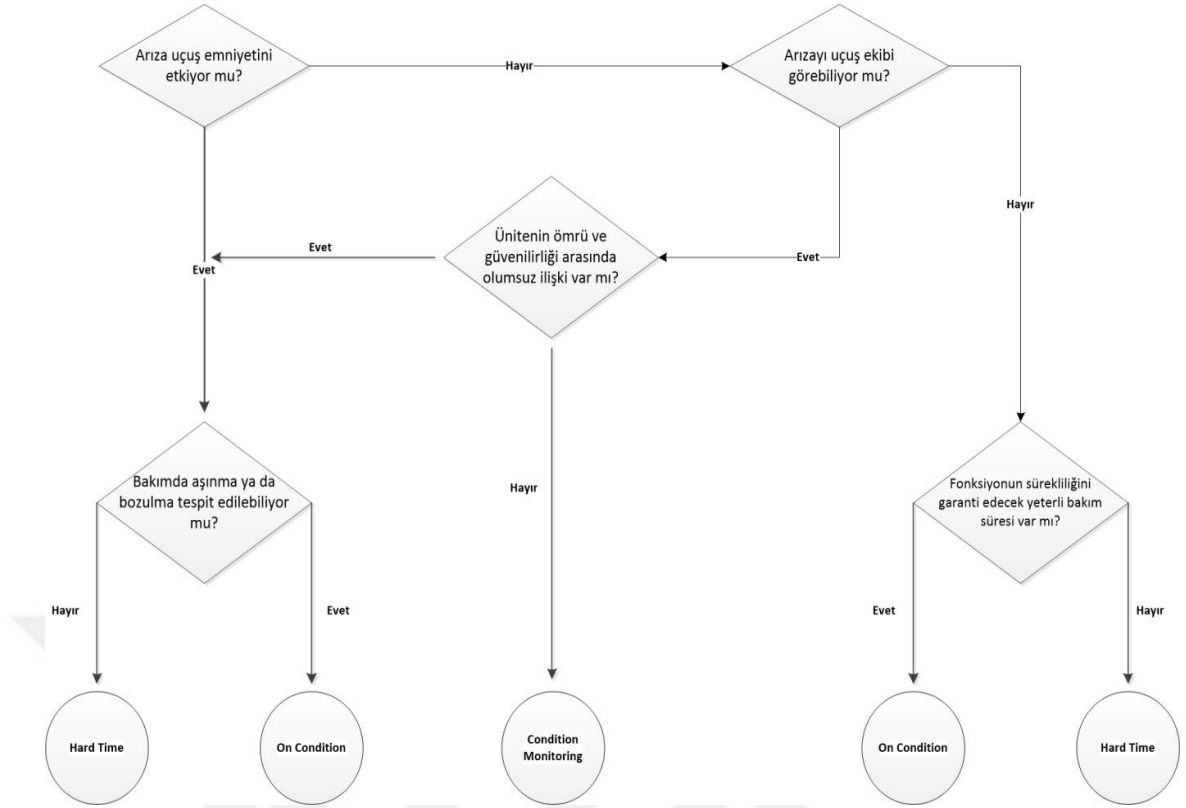
MSG-2 prosesi, değişen efektif uçak tipine ek olarak, çalışılan 3 alan olan yapısal, motor ve sistem/komponentlerin değerlendirilmesi açısından MSG-1'den az da olsa farklı olup, her bir alan için gerekli adımlar Çizelge 2.1'de özetlenmiştir. Sürecin ilk adımı, analiz için gerekli sistem, yapı ya da motor tipinin seçimi olup, 2.aşamada ilgili item ile ilgili fonksiyonların ve bunların arıza modlarının belirlenmesi yer almaktadır. Sürecin 3.aşaması, önceki modlara efektif olabilecek bakım tasklarının belirlenmesi adımıdır. Devamındaki adım ise bu taskların uygulanabilirliğinin incelenmesi ile ilgilidir. Prosesin son aşaması yapısal ile ilgili olup, uygulama için ilk eşik değer belirlenmesini içerir.

**Çizelge 2.1 : MSG-2 analiz adımları (Kinnison, 2004).**

Step number for			Analysis activity
System/comp	Structure	Engine	
1		1	Identify the systems and their significant items
	1		Identify significant structural items
2			Identify their functions, failure modes, and failure reliability
	2		Identify failure modes and failure effects
		2	Identify their functions, failure modes, and failure effects
3		3	Define scheduled maintenance tasks having potential effectiveness relative to the control of operational reliability
	3		Assess the potential effectiveness of scheduled inspection of structure
4		4	Assess the desirability of scheduling those tasks having potential effectiveness
	4		Assess the desirability of those inspections of structures which do not have potential effectiveness
	5		Determine that initial sampling threshold were appropriate

Oldukça karmaşık olan ve artık kullanılmayan MSG-2 prosesinin özet süreci, Şekil 2.3'de verilmiştir. Süreç çok kompleks olduğundan burada ayrıca anlatılmayacaktır ancak bakım tasklarına ilgili proseslerin nasıl atandığı ve sürecin nasıl işlediği önemlidir.

Sürecin temelinde arızanın uçuş emniyetini ilgilendirip ilgilendirmemesine ve buna bağlı olarak en yakın bakımda tespit edilip edilememesine göre taskların hardtime, on-condition ya da condition-monitoring kategorilerinden birine dahil edilmesi vardır. Bir örnek vermek gerekirse, eğer uçuş emniyetini etkileyen bir arıza var ve bu arızayla ilgili durum, en yakın bakımda aşınma değerleri, test ve ölçüm değerleri gibi bir takım unsurlarla tespit edilebiliyorsa, bu durumda on-condition olarak sınıflandırılır, aksi halde hardtime kategori olarak değerlendirilir.



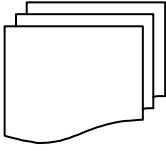
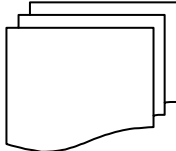


Şekil 2.3: Task tabanlı yaklaşım ve MSG-3.

### 2.5.2 MSG-3

MSG-2, yukarıda da anlatıldığı üzere proses tabanlı bir yaklaşım olup, hardtime, on-condition ve condition monitoring üzerine kurulmuş olup, aşağıdan yukarıya doğru giden bir inceleme sürecine haizdir. Bu çerçevede bütün komponentler tek tek seçilip, karşılıklarına hardtime, on-condition, ya da condition monitoring gibi bakım prosesleri yazılıyor ve buna göre yapılacak işler belirleniyordu. Aşağıdan yukarıya doğru analiz yapıldığı için LRU(Line Replacement Unit) seviyesinde bile bakım taskları vardı ve bu da bakımın etkinliğini zorlaştırıyordu.

MSG-3'ün üzerine kurgulandığı task tabanlı yaklaşım, MSG-2'nin aksine yukarıdan aşağıya doğru inceleme yapan ve proseslerden ziyade arıza temelli aksiyonlara önem veren bir konsepttir. Bu konseptte komponentlerden başlayarak LRU'lara kadar arızaların incelenmekte olup, her aşamadaki potansiyel arızaların neden-sonuç ilişkisi araştırılmakta ve kök nedeni ortadan kaldırmak için nasıl bir task uygulanması gerektiği belirlenmektedir. Hangi sistemin, alt sistemin ya da komponentin arıza yaptığı değil, oluşacak herhangi bir arızanın uçuş operasyonunu nasıl etkilediği önemlidir. Yapılan analizler sonucunda arıza, etkisine göre emniyet ve ekonomik olmak üzere 2 kategoride sınıflandırılır.

MSG-2	MSG-3
Her biri için ayrı analiz: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemler</li> <li>• Yapısal</li> </ul>	Her biri için ayrı analiz: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemler</li> <li>• Yapısal</li> <li>• Zonal</li> </ul>
Proses temelli	Task temelli
Aşağıdan yukarıya doğru yaklaşım Uçak Sistem Komponent Ünite 	Yukarıdan aşağıya doğru yaklaşım Uçak Sistem Komponent Ünite 
<b>Bakım prosesleri:</b> Hardtime, on-condition, condition-monitoring 	<b>Bakım taskları:</b> LUB, SRV, OPC, FUC, VIS, DIS, RES, INS 

**Şekil 2.4:** MSG-2 ve MSG-3 farkı.

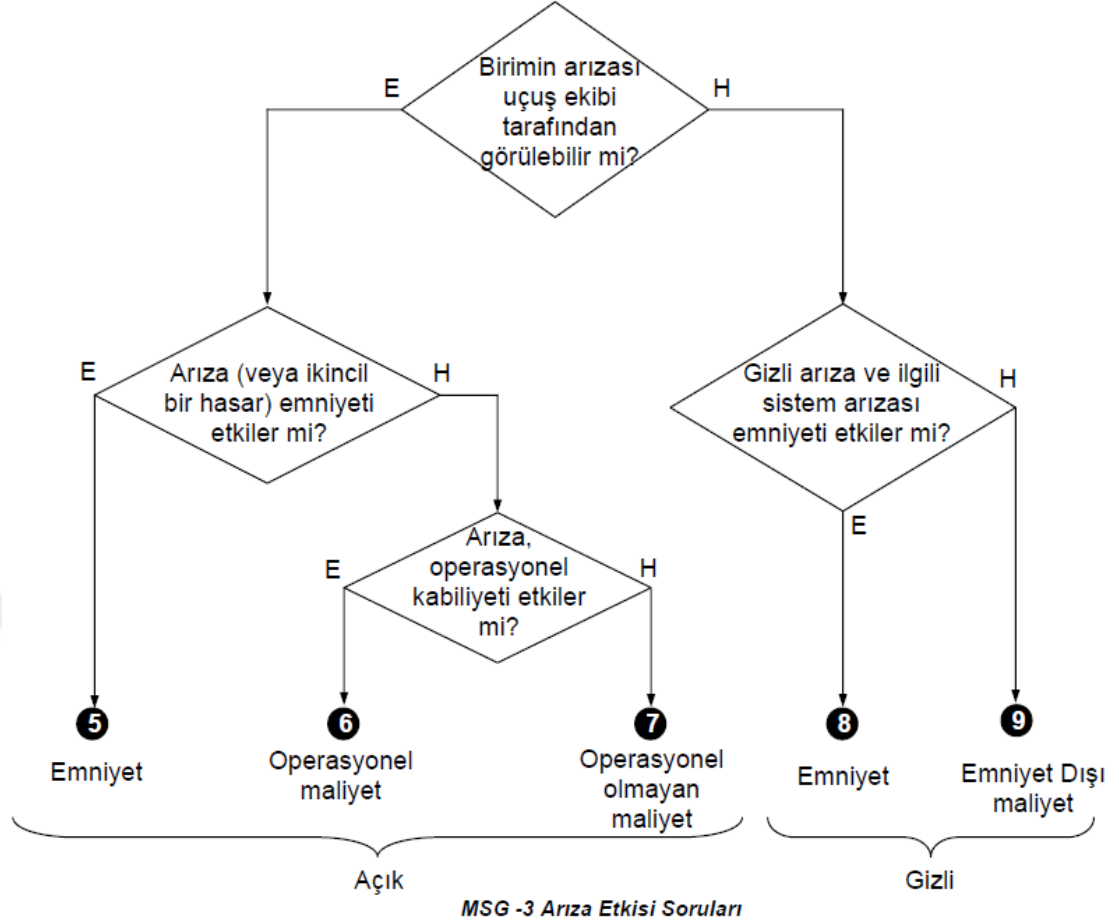
MSG-3'deki arızaya ilgili task sayısı, MSG-2'ye göre daha az olmakla birlikte, MSG-3'de arızaların tespitine ve önlenmesine odaklanıldığından içerik anlamında MSG-2'ye göre daha geniştir. MSG-3'de uçak sistemleri için temel olarak belirlenmiş olan tasklar mevcut olup, arızanın durumuna göre (gizli/açık, emniyet/operasyonel) bir ya da birden fazla task üniteye uygulanabilir. Bu tasklar şu şekildedir:

- **Yağlama ve Servis (Lubrication&Servicing, LUB/SRV):** Yağlayıcı madde uygulaması ya da ilgili akışkanların kontrol edilerek, gerekirse tekrar doldurulmasıdır

- **Gözle Kontrol (Visual Check, VC):** Bir ünitenin amacını yerine getirip getirmediğini saptamak için yapılan gözle kontroldür. Gözle kontrol, arıza bulma bakımındır ve sayısal tolerans gerektirmemektedir.
- **Muayene (Inspection, IN):** Bir ünitenin belirli bir standarda göre kontrol edilmesidir. Kontrol, taskın içeriğine göre gözle yapılabileceği gibi yardımcı araç gereçler de yapılabilir
- **Çalışma Kontrolü (Operational Check, OPC):** Bir ünitenin amacını yerine getirip getirmediğini anlamak için yapılan işlemdir. Bu kontrol, arıza bulma bakımındır ve sayısal tolerans gerektirmemektedir.
- **İşlevsel Kontrol (Functional Check, FUC):** Herhangi bir ünitenin bir veya daha fazla işlevinin belirtilen sınırlar içinde olduğunu saptamak için yapılan nicel kontroldür.
- **Restorasyon (Restoration, RS):** Herhangi bir ünitenin belirli standartlara gelmesi için yapılan işlemdir. Restorasyon, bir parçanın temizleme veya yer değişiminden, komple yenilemesine kadar olan işlemleri içerebilir.
- **Atma (Discard, DS):** Ömrü dolan ya da artık tamir edilemeyecek olan parçanın servisten atılmasıdır.

MSG-3 metodolojisinde analizler, Level 1 olarak da adlandırılan ve Şekil 2.5’de gösterilen akış şeması ile başlar. Arızanın uçuş ekibi tarafından fark edilip edilemeyeceği akış diyagramının ilk adımıdır. Ekibin fark edebileceği türden arızalar açık arızalar olarak tanımlanır ve kendi içinde emniyete ve operasyona etkisi dikkate alınarak emniyet, operasyonel maliyet ve operasyonel olmayan maliyet olmak üzere 3 kategoriye ayrılır. Uçuş ekibi tarafından fark edilebilen bir arıza, doğrudan uçuş emniyetini etkileyen bir duruma sahipse, emniyet kategorisinde değerlendirilir. Emniyeti etkilemiyor, ancak operasyonel süreçlere olumsuz olarak yansiyorsa, bu durumda operasyonel maliyet olarak sınıflandırılır.

Eğer uçakta meydana gelen arıza, uçuş ekibi tarafından fark edilemeyecek seviyede ise yani gizli olarak değerlendiriliyorsa, uçuş emniyetine etkisine göre emniyet ya da emniyet dışı maliyet olarak sınıflandırılır.

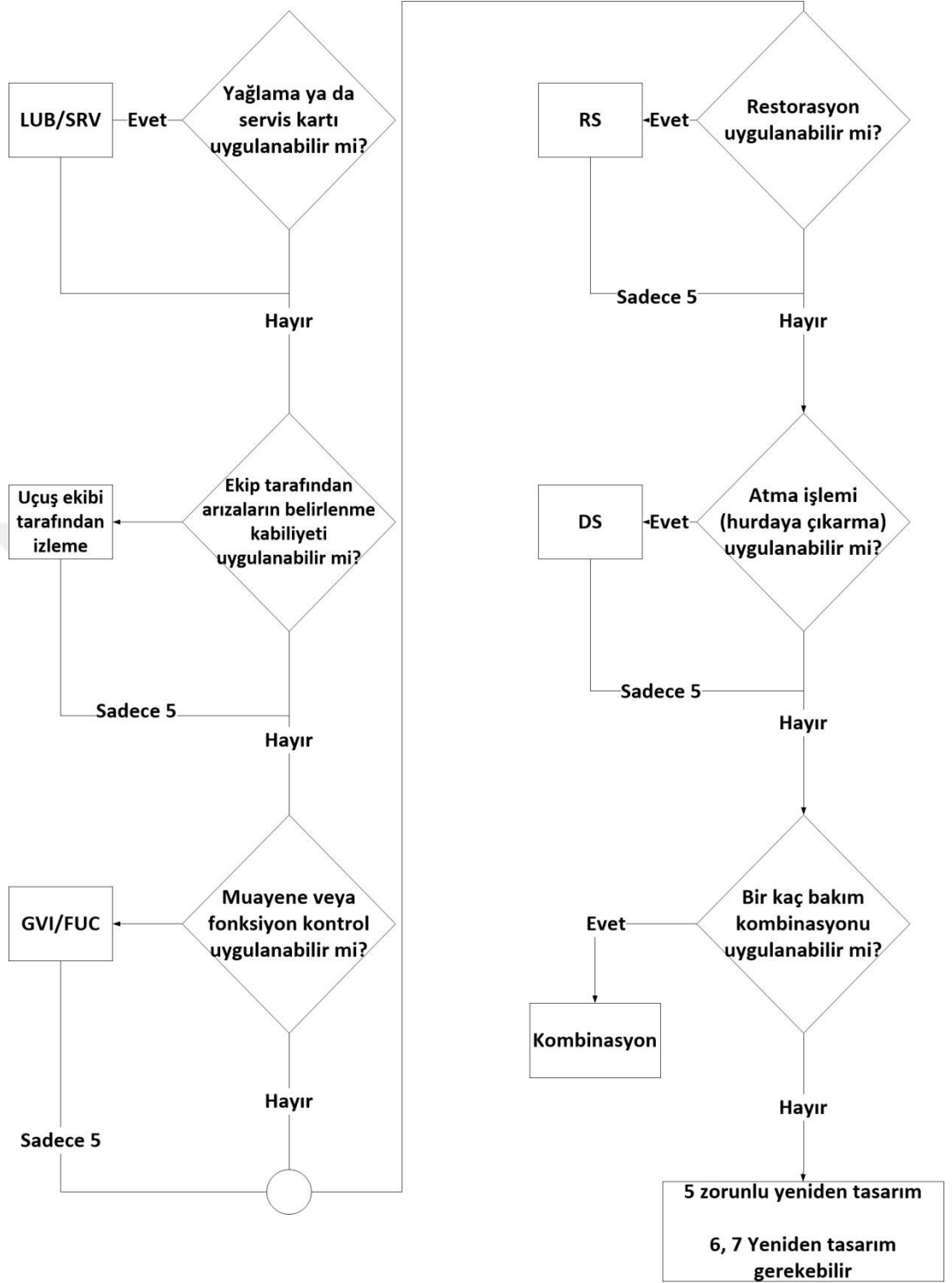


**Şekil 2.5 : MSG-3 Bakım Felsefesi.**

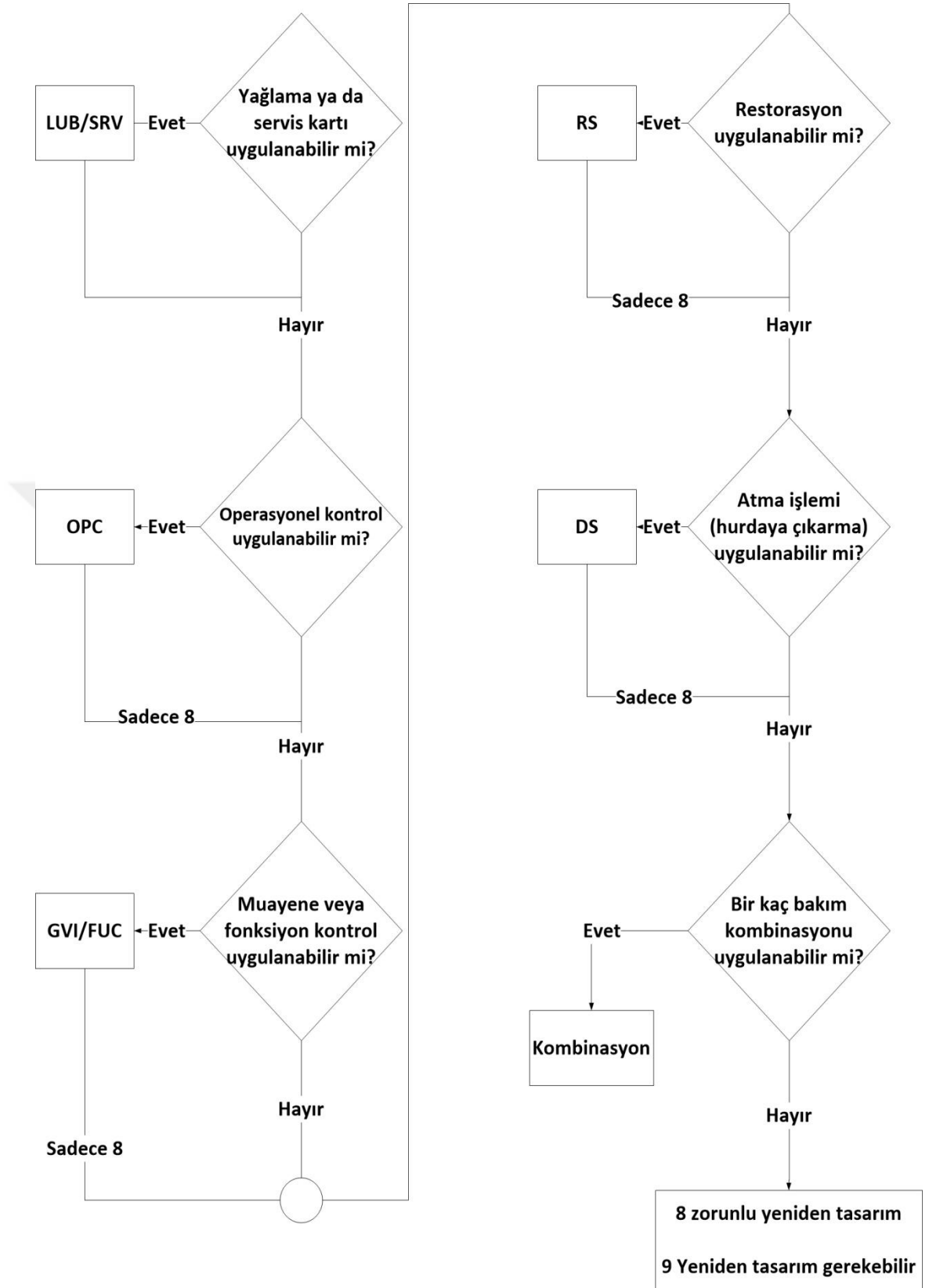
Şekil 2.5'teki akış şemasında açık (5,6,7) ya da gizli (8,9) olarak belirlenen arızalara hangi taskların uygulanması gerektiği, Level 2 olarak adlandırılan akış şemasındaki analizlerle belirlenir. Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'den de görüleceği üzere her kategorideki akış, yağlamanın ya da servisin uygulanabilir olup olmadığı sorusu ile başlar, ancak cevabın evet ya da hayır olmasına bakılmaksızın diğer aşamaya geçilir. Şekil 2.6'da Kategori 6 ve 7 için, Şekil 2.7'de Kategori 9 için Evet cevabı alınıncaya kadar akış devam ettirilir, cevap alındığında süreç sonlandırılır. Ancak Kategori 5 ve 8 (Emniyet) ile ilgili süreçte, cevabın Evet ya da Hayır olmasına bakılmaksızın, tüm soruların cevaplandırılması gerekmektedir.

Eğer yapılan analizler sonucunda, ilgili arıza için 8 temel tasktan biri ya da bir kaç tanesi uygulanamıyorsa, bu durumda arızaya neden olan parça, komponent ya da sistemin yeniden tasarımı gerekli olabilir ya da zorunlu olarak yeniden tasarım yapılması istenebilir.





Şekil 2.6 : Açık arızalar için MSG-3 bakım taskı seçimi soruları (Kategori 5,6,7).



Şekil 2.7 : Gizli arızalar İçin MSG-3 bakım taskı seçimi soruları (Kategori 8,9).

### 2.5.2.1 Task seçim kriterleri

Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de gösterilen akış süreçlerinde, task seçimleri için ek kriterler de vardır. Bu kriterler Çizelge 2.2’de özet şekilde verilmiştir.

Çizelge 2.2 : MSG-3’de task seçim kriterleri.

TASK	UYGULAMA KRİTERİ	EFEKTİVİTE KRİTERLERİ		
		EMNİYET	OPERASYONEL	EKONOMİK
YAĞLAMA YA DA SERVİS	Sarf malzemelerin yenilenmesi, işlevsel aşınmayı azaltmalıdır	Task, arıza riskini azaltmalıdır	Task, arıza riskini kabul edilebilir bir seviyede azaltmalıdır	Task ekonomik olmalıdır
OPERASYONEL YADA GÖZLE KONTROL	Arızanın tanımlanması mümkün olmalıdır	Task, çoklu arıza riskini azaltmak için gizli arızaları çıkarabilecek durumda olmalıdır	Uygulanabilir değil	Task ekonomik olmalı ve çoklu arıza riskinin ekonomik etkilerinden kaçınabilmek için gizli arızaları çıkarabilecek durumda olmalıdır
MUAYENE YA DA İŞLEVSEL KONTROL	Arızalara karşı azalan direnç tespit edilebilmelidir	Task, emniyetli operasyonu sağlayabilmek için arıza riskini azaltmalıdır	Task, emniyetli operasyonu sağlayabilmek için arıza riskini kabul edilebilir bir seviyede azaltmalıdır	Task ekonomik olmalıdır
RESTORASYON	Ünite, tanımlanmış bir ömre kadar fonksiyonel aşınma göstermeli ve taskın uygulaması, belli oranda direnci tekrar sağlamalıdır	Task, emniyetli operasyonu sağlayabilmek için arıza riskini azaltmalıdır	Task, emniyetli operasyonu sağlayabilmek için arıza riskini kabul edilebilir bir seviyede azaltmalıdır	Task ekonomik olmalıdır
ATMA	Ünite, tanımlanmış bir ömre kadar fonksiyonel aşınma göstermeli ve ünitenin büyük kısmı o ömür değerine kadar sağlam olmalıdır	Task, emniyetli operasyonu sağlayabilmek için arıza riskini azaltmalıdır	Task, emniyetli operasyonu sağlayabilmek için arıza riskini kabul edilebilir bir seviyede azaltmalıdır	Ekonomik ömür limiti, maliyet anlamında avantajlı olmalı, yanı taskın uygulanma maliyeti, arızayı önleme maliyetinden az olmalıdır

MSG-3'de sistemlerle ilgili taskların haricinde zonal tasklar ve yapısal ile ilgili tasklar da mevcuttur. Uçağın yapısal kontrollerini yapabilmek için ihtiyaç duyulan tasklar için yapısal hasara ya da bozulmaya yol açan 3 neden dikkate alınmaktadır:

- Çevresel etkenlerden kaynaklı aşınmalar
- Kaza nedeniyle oluşan hasarlar
- Yorulma nedeniyle oluşan hasarlar

Yapısal tasklar, yukarıdaki hasar nedenlerine bağılı olarak temel olarak yine 3 kategoride sınıflandırılmıştır:

- Genel Gözle Kontrol (General Visual Inspection)
- Detaylı Kontrol (Detailed Inspection)
- Özel Detaylı Kontrol (Special Detailed Inspection)

Bu tez çalışması kapsamında sistem kartları dikkate alınmış olup, yapısal kartlar ayrı bir çalışmanın konusudur.

### **2.5.2.2 Task intervalleri**

Bir bakımın ne zaman ve nasıl uygulanacağı, hem uçuş emniyeti hem de havayolunun ticari operasyonu açısından son derece önemlidir. İlerleyen bölümlerde anlatılacağı üzere, bakım paketleri birbirine yakın intervallere sahip bakım tasklarının bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu nedenle A, C, D gibi bakımların intervalini belirleyen şey, gerçekte bu bakım paketinde yer alan taskların intervalleridir.

Bir uçağın ticari olarak uçuşlarına başlamasından önce bakım programının hazırlanmış ve ilgili otorite tarafından onaylanmış olması gerekmektedir. Bakım programını oluşturmak amacıyla bakım yürütme kurulunun yapmış olduğu MSG-3 analizleri sonunda, uygulanmasına karar verilen taskların hangi sıklıkta (saat, gün, ay ya da uçuş sayısı cinsinden) uygulanacağı, bakım programının temel parametrelerinden biri olup, bu tez çalışmasının da dolaylı yoldan konusudur. Task intervallerinin belirlenmesi konusunda, bakım yürütme kurulunun referans aldığı 5 temel kaynak vardır. Bunlar şu şekildedir:

- Otoritelerin yayınladığı direktifler

- Tip sertifikasyonundan gelen zorunluluklar
- Önceki komponentlerin veya sistemlerin benzerliği
- İmalatçıdan gelen bilgiler
- Bakım Çalışma Grubu'nun çalışması

## 2.6 Güvenilirlik Merkezli Bakım Konsepti

Havacılıkta temel amaçlardan biri, uçakların kullanılabilirlik seviyesini maksimum yapmaktır. Bir uçağın kullanılabilirliği, ne kadar sıklıkla arıza yaptığına ve oluşan arızaların giderilmesi için geçen zamanın miktarına bağlıdır. Bunun için güvenilirlik ve bakım yapılabilirliğin mümkün olduğu kadar yüksek olması gerekir.

MSG-1 ile başlayan modern bakım programı uygulaması ile güvenilirlik de ön plana çıkmış ve MSG-3 ile birlikte modern güvenilirlik programları uygulanmaya başlamıştır. Güvenilirlik, herhangi bir ürünün (uçak, sistem, komponent, parça, vs.) belirli şartlar altında, istenilen emniyet seviyesinde, belirlenen süreye kadar fonksiyonunu arızasız olarak yerine getirebilme ihtimali olup, bir sistemin güvenilirliği şu faktörlere bağlıdır:

- Tasarım
- Kalite
- Üretim
- Bakım
- Çalışma Şartları

Güvenilirliğin amacı, en ekonomik bakımla uçak yapı, motor, sistem ve komponentlerinin emniyet ve güvenilirliğini sağlamak için gerekli analizleri yaparak, düzeltici tedbirler alınmasını sağlamak ve yapılan düzeltici işlemlerin etkinliğini takip etmektir. Düzeltici işlemler aşağıdaki amaçlar doğrultusunda alınır:

- Uçak, sistem veya komponentlerin emniyetini korumak
- Uçağın dispeç/operasyon güvenilirliğini artırmak
- Uçak, sistem veya komponentlerin temel güvenilirliğini artırmak
- Uçak bakım ve/veya işletme maliyetini düşürmek

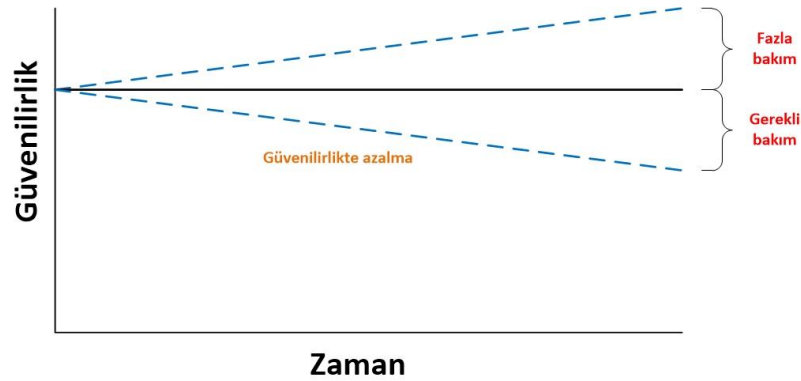
Uçakların yüksek bir operasyon güvenilirliğine sahip olması, uçak seçimindeki temel kriterlerden biridir. Uçakların ticari uçuş için en üst kullanılabilirlik seviyesine (operasyon potansiyeli) sahip olması için;

- Teknik nedenle tehir, iptal, uçak değişikliği, pistten dönme, kalkıştan vazgeçme, havadan dönme veya sapma olaylarının olmaması
- Planlı ve plansız bakımlar için uçakların yerde kalma sürelerinin minimum olması
- Uçuşlar arasındaki yerde kalma süresinin (Turn around time - TAT) mümkün olduğunca kısa olması

hava yolunun uçakların operasyonel güvenilirliğinden beklentileridir. Bu zor şartların sağlanabilmesi için de uçaklar;

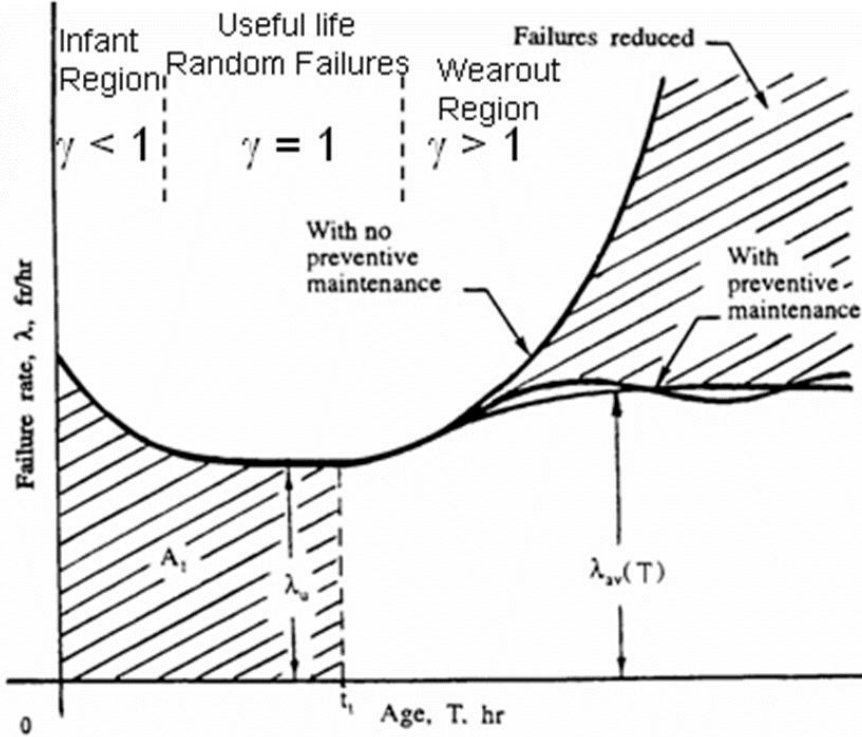
- Yüksek güvenilirlik
- Yüksek emniyet
- İyi bakım yapılabilirlik
- Ekonomiklik

özelliklerine sahip olacak şekilde dizayn edilmektedir. Yüksek güvenilirlik için fazla ya da eksik bakım yapmaktan ziyade, doğru zamanlama ile bakım yapmak çok önemlidir, çünkü güvenilirliğin bağlı olduğu en önemli değişken zaman parametresi olup, ikinci parametre de zamanla değişen arıza oranlarıdır. Fazladan, gereksiz yere yapılan bakımın, sanılanın aksine güvenilirliğe hiçbir etkisi yoktur(Şekil 2.8). Eksik yapılan bakımlar da, zamanla güvenilirliğin azalmasına dolayısıyla uçuş emniyetinin riske girmesine neden olmaktadır.



Şekil 2.8 : Fazla ve eksik bakımın güvenilirliğe etkisi.

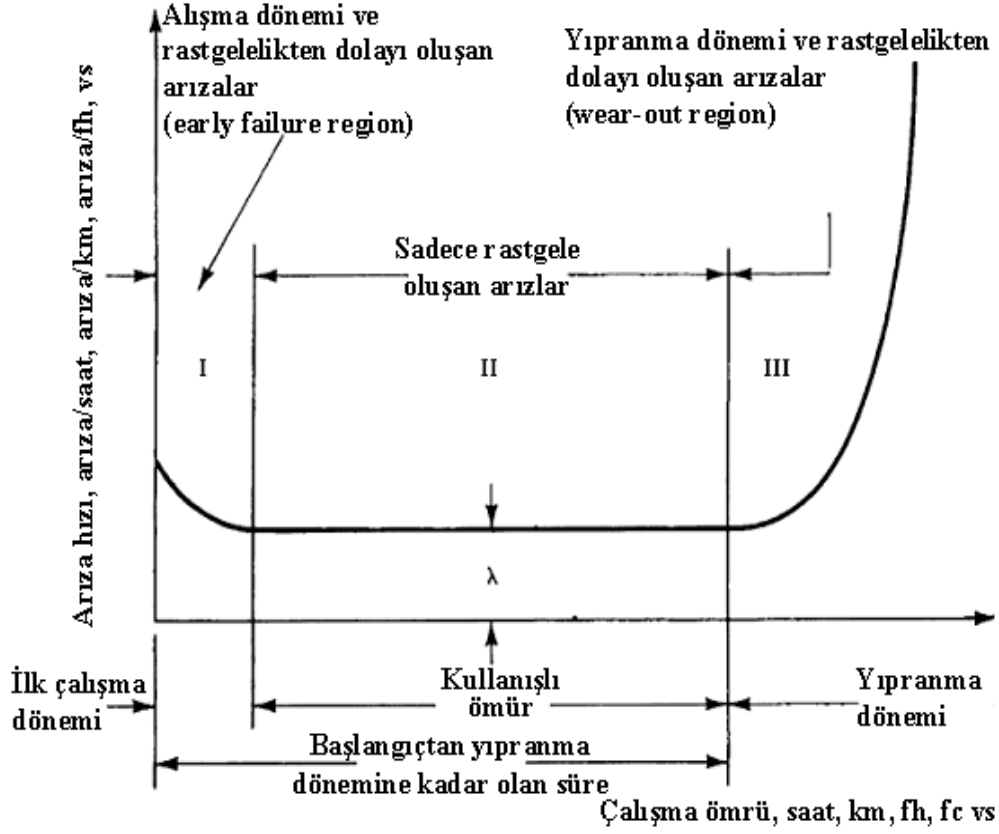
Bununla birlikte, önleyici bakım zamanında ve doğru bir şekilde uygulandığında, güvenilirliği artırmaktadır. Şekil 2.9'dan da görüleceği üzere zaman içinde artan arıza oranları, önleyici bakımlar uygulandığında önemli bir oranda azalmakta ve arıza oluş trendleri tahmin edilebilir seviyelere gelmektedir.



Şekil 2.9 : Önleyici bakımın güvenilirliğe etkisi (Keçecioglu, 1991).

Tipik bir sistemde arıza hızının zamanla değişimi eğriye banyo küveti eğrisi (bathtub curve) gibidir (Şekil 2.10). Bu eğri, x ekseninde ürünün ömrü, y ekseninde arıza hızı olacak şekilde idealleştirilerek çizilmiştir. Ömür dakika, saat, yıl, devir (cycle), uçuş saati veya zamanla ölçülebilir herhangi bir birim olabilir. Arıza hızı ise, belirtilen bu zaman birimlerindeki birim zamanda oluşan arıza sayısıdır. Çoğu ürünlerin (canlılar da dâhil) ömürleri bu eğriye göre karakterize edilebilir. Örneğin, insanların çocuk yaşta ölüm oranları yüksektir. Genç ve orta yaşta bu oran daha düşük iken yaş ilerledikçe tekrar artmaktadır. Çoğu ürünler, ömürlerine yüksek bir arıza hızıyla başlarlar (imalat hataları, zayıf işçilik, düşük kalite kontrol vs. gibi sebeplerden dolayı) ve azalan bir arıza hızıyla alışma dönemi dediğimiz bu ilk bölgeyi geçerler. Daha sonra arıza hızı kullanışlı bölge kısmında, genellikle sabit bir duruma gelerek kararlı bir hal alır. Bu kısımda oluşan arızalar, rasgelelikten oluşan arızalardır. Daha sonra arızaların zamanla hızlı bir şekilde arttığı yıpranma dönemi başlar. Banyo küveti eğrisine bakarak, bu durumda bir ürünü, kullanışlı ömür başlangıcında satın

almak, üretim hattında derhal satın almaktan daha kazançlıdır. Böylece, ilk bölgede oluşan arızalar elimine edilmiş olur. Pratikte bu olay elektronik komponentler için sıkça kullanılmaktadır.



Şekil 2.10 : Banyo küveti eğrisi.

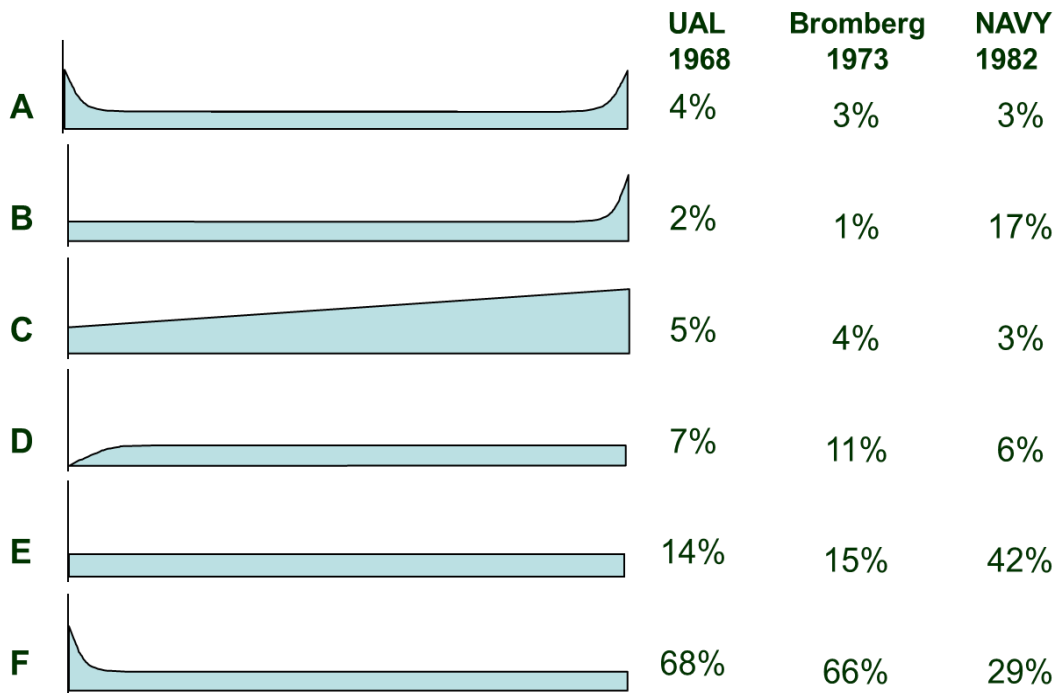
Benzer durum uçak komponentleri ya da sistemleri için de geçerlidir. Uçaklardaki çok farklı tip ve sayıdaki komponentlerin aşınma değerleri, arıza oranları, ömürleri vs. tamamen farklıdır. Bununla birlikte çoğu komponent, banyo küveti eğrisine ya da bu eğrinin farklı varyantlarına uyum gösteren bir arıza karakteristiği sergiler. Buna göre, komponentlerin ömrü, ilk çalışma dönemi, kullanışlı ömür dönemi ve yıpranma dönemi olmak üzere 3 kısma ayrılabilir. Grafikten de görüleceği üzere ömürlerinin ilk aşamalarında komponentler sık ama azalan bir oranda arızalar sergilerler. Bu dönemdeki arızalar, alışma sürecinden ya da tamamen rasgelelikten kaynaklı olabilir.

Komponent ömrünün ikinci aşaması başladığında, arızaların sabit bir oranda seyrettiği görülür. Komponentler için kullanışlı ömür süresi olarak da bilinen bu zaman boyunca, rasgele oluşan arızalar haricinde farklı bir arıza beklenmez. Rasgele arıza, ünitelerin doğasında olup, ne zaman ve nerede ortaya çıkacağı bilinmeyen ancak toplanan veriler sonucunda sabit bir oranda gerçekleştiği bilinen arızalardır.



Komponentlerin ömürleri sona yaklaştığında, yani 3. döneme geçildiğinde, eğriden de görüleceği üzere arıza oranları hızla artarak yıpranma dönemleri başlar ve nihayetinde komponent artık kullanılamaz hale gelmiş olur.

Uçaklardaki komponentlerin arıza karakteristiklerine dair ilk denilebilecek çalışmayı, bir Amerikan havayolu firması gerçekleştirdi. United Airlines firması, 1968 yılında yapısal olmayan parça ve komponentler için filosundaki uçakların durumunu görmek amacıyla filosundaki uçaklardan yıllar boyunca topladığı komponent verilerini kullanarak, arıza analiz oranlarına dair bir çalışma yaptı. Havayolunun temel amacı arızaların nerelerde yoğunlaştığını bulmak ve buna göre kendi bakım programını güncelleyerek, optimize etmektir. United Airlines, yaptığı analizlerin sonucunda, arızaların Şekil 2.11'den de görüldüğü gibi banyo küveti eğrisine benzeyen 6 arıza paternine uyduğunu belirledi. Sonuçları itibariyle oldukça tartışılan ve uçak bakımındaki konseptlerin ve stratejilerin gözden geçirilmesine neden olan bu çalışma, bir müddet sonra farklı kişi ve kurumlar tarafından yapılan çalışmalarla da doğrulandı. Şekil 2.11'deki karşılaştırmadan da görüleceği üzere 5 yıl sonra İsviçre'de yapılan çalışma, United Airlines ile hemen hemen aynı sonuçlara ulaşırken, 14 yıl sonra Amerika Deniz Kuvvetleri tarafından aynı amaç için yapılan bir diğer çalışma, United Airlines'ın yaptığı analiz sonuçlarına oldukça benzer sonuçlar verdi.



Şekil 2.11 : Uçaklar için banyo küveti eğrisi (Kinnison, 2004).

Şekil 2.11’de A ile verilen grafik, yüksek arıza oranı ile ömrüne başladığı için mühendislikte “cenin ölümü” olarak da isimlendirilmektedir. Bir ürünün yüksek arıza oranı ile ömrüne başlaması kötü dizayn, imalat kusuru, uygun olmayan parça kusuru, yanlış kullanım gibi pek çok neden bağlı olabilir. A’daki grafiğe göre yüksek arıza oranına sahip olan ürün, arızalara neden olan şeyler giderildikten belli bir süre sonra stabil olarak hayata devam etmekte, sonra da tekrar yüksek arıza oranlarına erişerek, ömrünü tamamlamaktadır. Sondaki bu artış, fiziksel şartlara bağlı olarak ürünün aşınması nedeniyledir.

B’deki grafikte cenin ölümü yoktur, arızalar sabit bir oranda seyretmekte olup, belirli bir aşınma bölgesi bulunmaktadır. Parça ya da komponent ömrünün sonuna geldiğinde, arıza oranları hızlı bir şekilde artmakta ve nihayetinde ömür sona ermektedir. Hava araçlarındaki piston motorlarının arıza kayıtları, genellikle bu grafiğe göre gerçekleşmektedir.

C’deki grafikte de B’deki grafikte olduğu gibi cenin ölümü olmamakla birlikte, artan oranda bir arıza söz konusudur. Bu artış, lineer olarak devam etmekte ve sonunda yine bu artış oranındaki pik noktada nihayete ermekte olup, belirli bir aşınma bölgesi yoktur. Uçaklardaki türbin motorların arıza karakteristikleri, genellikle bu grafiğe göre gerçekleşmektedir.

D’de belirli bir aşınma bölgesi olmayıp, parça/komponent ilk defa hizmete girdiğinde arızalar artmakta, sonra stabil olarak devam etmektedir.

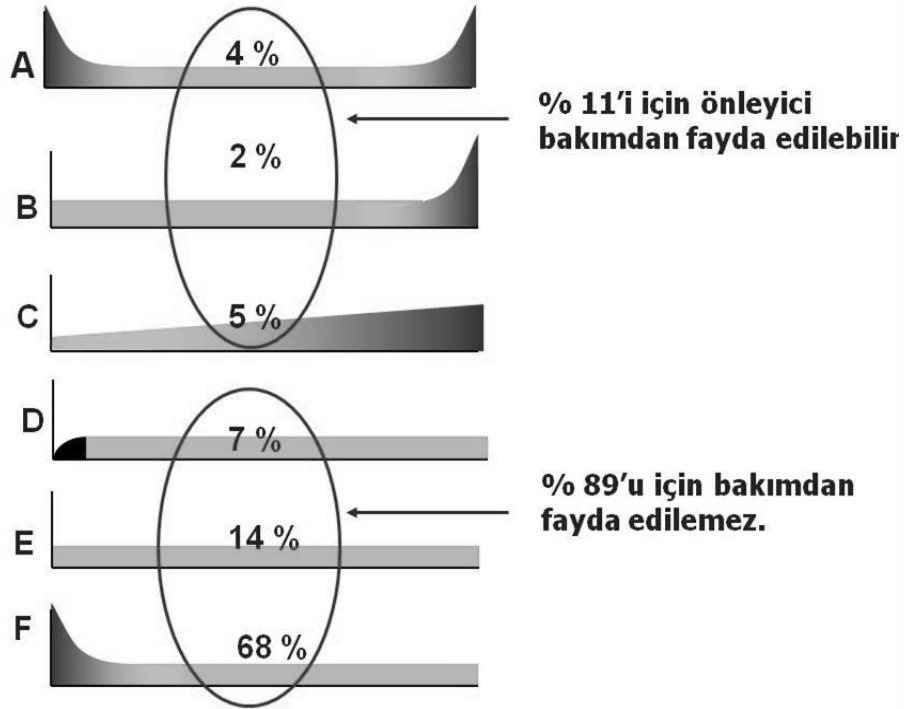
E’deki grafikte arıza oranı sürekli sabit olup, arızalar için belirli bir aşınma bölgesi bulunmamaktadır.

F’deki grafik ise A’daki grafikte olduğu gibi yüksek arıza oranı nedeniyle cenin ömrü ile başlamaktadır. Sonraki süreçte arızalar sabit bir oranda seyrederek, stabil bir şekilde devam etmektedir. Elektronik ekipmanların arıza karakteristiği, genellikle bu eğriye uymaktadır.

Arıza paternleri eğrilerinde ilginç olan şey, Şekil 2.12’den de görüleceği üzere, operasyonel limitler koyma ya da aşınma durumları için tekrarlı kontroller uygulama, sadece %11’lik kısımda (A, B ve C eğrileri) fayda göstermekte, geri kalan %89’luk kısımda fayda etmemektedir. Bu nedenle arıza zamanının ya da aşınma seviyesinin tahmin edilebilmesi, sadece %11’lik kısımda gerçekleşebilmektedir. %89’luk kısımda bu tahmin geçerli olmadığından, başka yaklaşımlar kullanılmalıdır. Dolayısıyla

belirli ömrü olan ya da tanımlanabilen aşınma değerlerine sahip olan komponentler için, yani %11'lik kısım için planlı bakım uygulanabilirken, %89'luk paya sahip olan komponentler için bu bilgiler ve dolayısıyla tahminler olmadığından, daha çok plansız bakımlar yapılabilmektedir. Bu da hem maliyet, hem de emniyet anlamında sorunlar yaşanmasına neden olabilmektedir.

Arıza grafiklerinin ortaya çıkardığı ve kimsenin beklemediği bu ilginç durum, başta bu tespiti yapan United Airlines olmak üzere ilgili herkesi şaşırtmıştır. Ancak yapılan bu tespitler, plansız bakımların sayısını ve hem emniyete hem de operasyona etkisini azaltmak için bakımların sistematik olarak yapılması gerektiğini ortaya koymuş ve uçak imalatçıları ile otoritelerin bu durumu dikkate alarak, yeni yaklaşımlar ve tedbirler almasına neden olmuştur.



Şekil 2.12 : Banyo küveti eğrisinde bakımın etkisi.

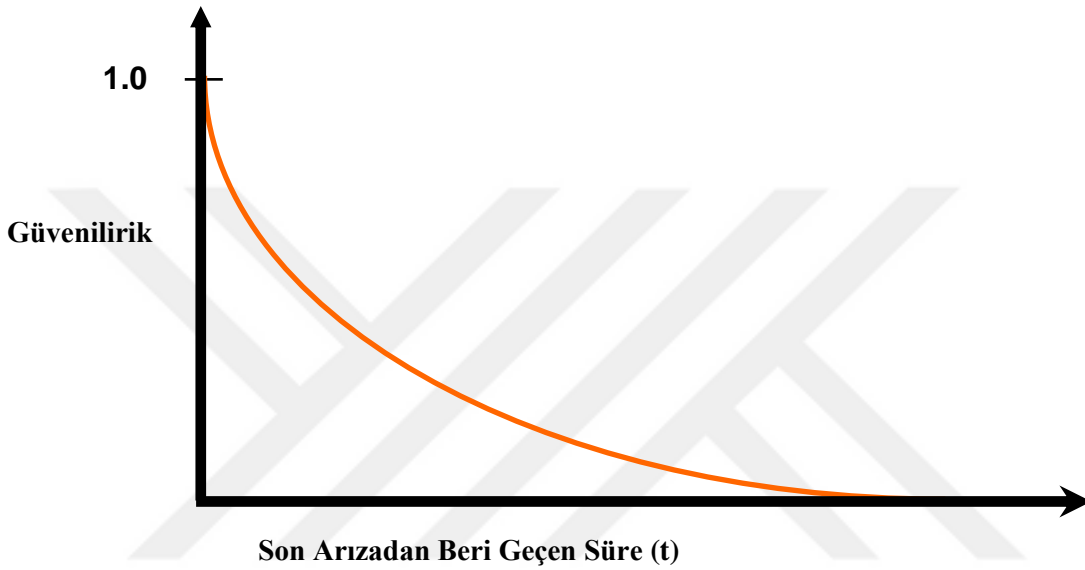
Banyo küveti eğrilerinden de görüleceği üzere, güvenilirlik doğrudan zamana ve arıza orana bağlıdır.  $\lambda$  bir sistemdeki arıza oranını göstermek üzere, herhangi bir t anındaki güvenilirlik fonksiyonu  $R(t)$  şu şekilde tanımlanabilir:

$$R(t) = \exp \left[ \int_0^t -\lambda(t) dt \right] \quad (2.1)$$

Güvenilirlik, 0-1 arasında değişen bir değere sahip olduğundan bir bileşenin veya ürünün  $t(0)$  anında düzgün çalıştığı ve hiç bir bileşenin sonsuza kadar arıza vermeden çalışmayacağı kabul edilir (Şekil 2.13). Yani;

$$R(0)=1 \quad (2.2)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0 \quad (2.3)$$



Şekil 2.13 : Güvenilirlik eğrisi.

Güvenilirliğin etki ettiği önemli parametrelerden biri de kullanılabilirliktir. Kullanılabilirlik, herhangi bir sistem veya parça kullanılmak istendiğinde çalışır durumda olma olasılığı olup, bir bakıma sistem veya parçanın çalışır olma durumunu gösterir. Bir uçağın kullanılabilirliği, arızanın ne kadar sık olduğuna (Mean Time Between Failure - MTBF) ve arızayı düzeltmek için ne kadar zaman gerektiğine (Mean Time To Repair - MTTR) yani bakım yapılabilirlik konularının ikisine bağlıdır.  $R(t)$  güvenilirlik fonksiyonunu göstermek üzere, 2 arıza arasındaki ortalama süre olarak tanımlanan MTBF şu şekilde verilmektedir.

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.4)$$

Kullanılabilirlik durumu A olmak üzere, bir sistemin kullanılabilirliği;

$$A = \frac{\text{Çalışır Durumdaki Zaman}}{\text{Çalışır Durumdaki Zaman} + \text{Aksama Zamanı}} \times 100 \quad (2.5)$$

şeklinde tanımlanır. Aksama zamanı (Mean Time To Repair – MTTR), arıza tespiti, malzeme bekleme ve arıza giderme sürelerine bağlıdır. Çalışır durumdaki zamanı MTTF (Mean Time To Failure),  $\lambda$  arıza sayısını göstermek üzere, A şöyle yazılabilir;

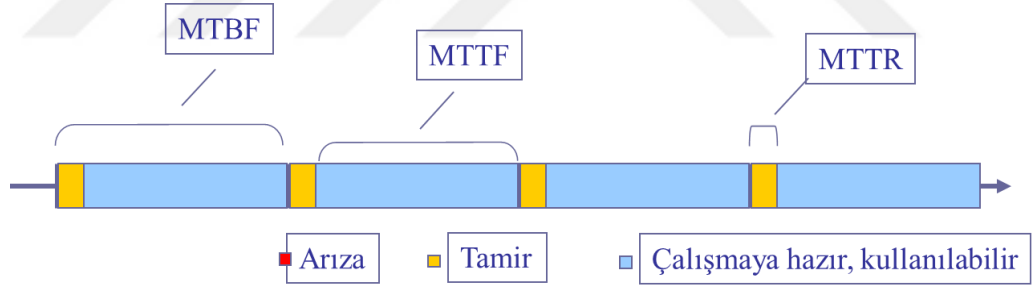
$$A = \frac{\lambda MTTF}{\lambda MTTF + \lambda MTTR} \times 100 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \times 100 \quad (2.6)$$

MTBF, çalışır durumdaki zaman ile aksama zamanının toplamı olduğundan;

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (2.7)$$

Kullanılabilirlik durumu olan A şöyle yazılabilir:

$$A = \frac{MTTF}{MTBF} \times 100 \quad (2.8)$$



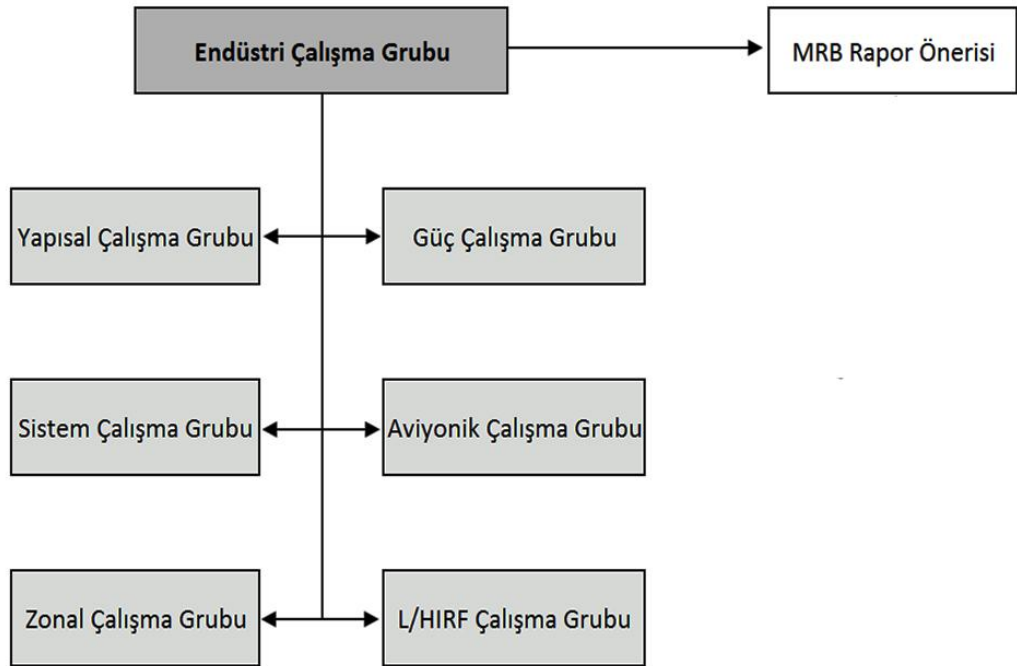
Şekil 2.14 : MTBF, MTTF ve MTTR'in şematik gösterimi.

## 2.7 Bakım Programı

Havayolu firmaları, otoritelerin koyduğu kurallar gereğince işlettikleri uçaklar için bir bakım programı hazırlamak, bunu ilgili otoriteye onaylatmak ve uçak bakımlarını bu programa göre yapmak zorundadırlar. Bakım programları, bu bölümün başında anlatılan MSG-3 analizlerinin sonunda, Maintenance Planning Document ya da kısa ismiyle MPD şeklinde yayınlanmakta ve firmalar, bu MPD'yi kendi operasyonel ihtiyaçları doğrultusunda, otoriteler tarafından izin verilen oranda değiştirebilmektedirler. Bakım gözden geçirme kurulu tarafından yayınlanan MPD, havayolu firmaları için uygulanması zorunlu bir program olmayıp, yukarıda da ifade

edildiği gibi taslak bir döküman olarak görülebilir. Firmalar, uçuş işletmeden gelen pilot raporları, tehirlere, iptaller, teknik arızalar ya da bakım raporları gibi verileri analiz ederek, otoritelerden aldıkları izinler oranında MPD'deki bazı taskları değiştirebilir, ekleyebilir ya da silebilir. Ancak önceki bölümlerde anlatıldığı gibi otoritelerden gelen uçuş elverişlilik emirleri doğrultusunda eklenen tasklar ya da imalatçının sertifikasyon sınırları içinde kalmayı sağlamak adına yapılmasını mecbur kıldığı tasklar, bu kapsamın dışındadır.

Bir uçağın bakım programının oluşturulması, imalatçı, havayolu firmaları ve otoritelerden oluşan ve Endüstri Yürütme Kurulu (Industry Steering Committee – ISC) adı verilen bir ekibin, içinde bakım metodolojilerinin, analiz yöntemlerinin, ekiplerin görev ve sorumluluklarının belirtildiği Politikalar ve Prosedürler El Kitabı'nı incelemesiyle başlar. Endüstri Yürütme Kurulu, bakım prosedürlerini doğru olarak analiz edebilmek ve nihayetinde bakım programı önerisini oluşturabilmek için, uzmanlık alanlarına göre farklı çalışma grubunda faaliyet göstermektedir. Bu çalışma grupları Şekil 2.15'de verildiği gibi temel 6 alana yoğunlaşmıştır.

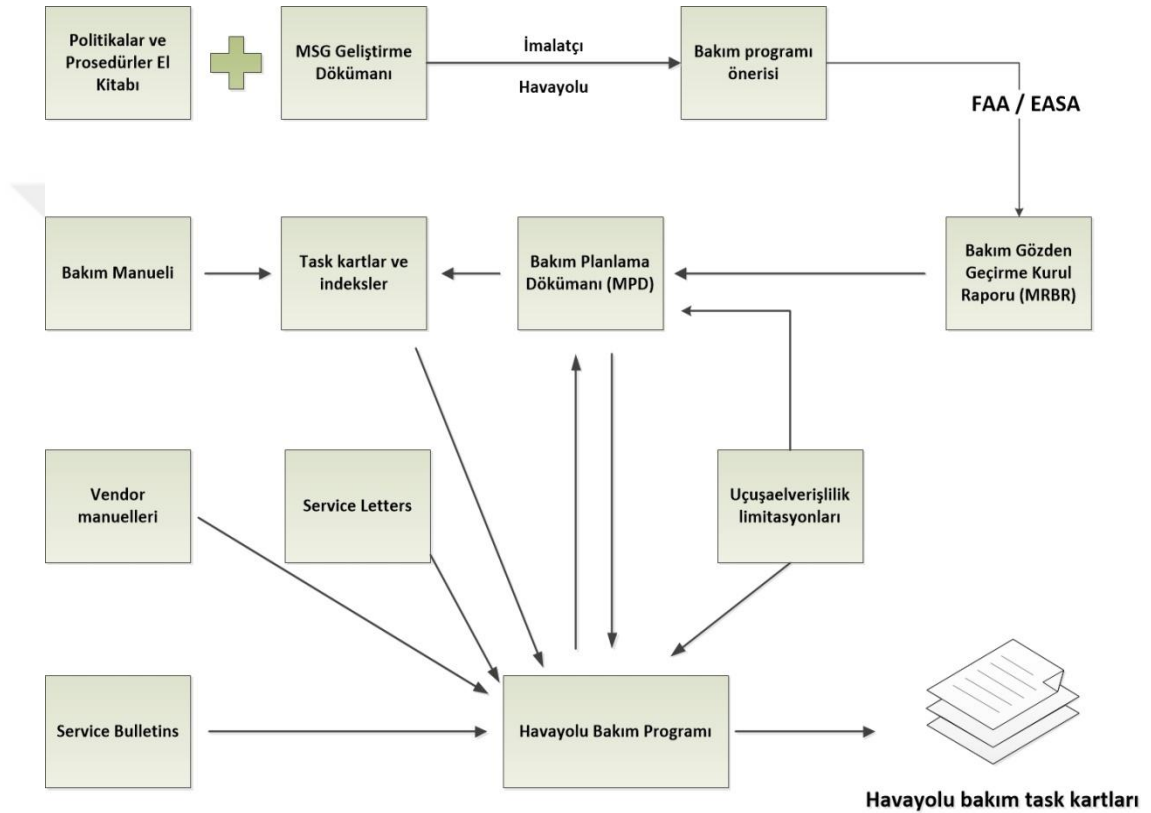


**Şekil 2.15 :** Endüstri çalışma grupları.

Çalışma gruplarının hazırladığı dökümanlar, Endüstri Yürütme Kurulu tarafından birleştirilerek, Bakım Gözden Geçirme Kurulu'na (Maintenance Review Board - MRB) bir öneri şeklinde sunulmaktadır. MRB Ekibinin ilgili raporu onaylaması ile

Bakım Planlama Dökümanı (Maintenance Planning Document – MPD) adı verilen ana bakım dökümanı oluşturulmaktadır (Şekil 2.16).

Bir havayolunun bakım programı, MPD'ye ilave olarak imalatçılardan yayınladığı servis bültenler, otoritelerin yayınladığı uçuş elverişlilik emirleri (Airworthiness Directives – AD) ve kendi tecrübesine göre oluşturduğu task kartlardan oluşmaktadır.



Şekil 2.16 : Bakım programı oluşturma süreci.

### 2.7.1 Bakım intervalleri

MSG-3 prosesinde belli başlı bakım intervalleri tanımlanmış olup, günümüzde artık bu tanımlamalar standart olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte bir havayolu, farklı isimde başka bir bakım tanımı kullanabilir, ancak bakım programının otoriteler tarafından onaylanmış orijinal programla uyumlu olması gerekmektedir. Standart olarak tanımlanan intervaller şu şekildedir:

### **2.7.1.1 Transit bakım**

Uçağın inişiyle kalkışı arasında, yani uçak havalimanında transit durumdayken yapılan bakımdır. Ayrıca, bir uçağın ilk uçuşundan önce de transit bakım gerçekleştirilir. Kısa süreli bakım olduğundan genelde yağ seviyelerinin kontrolü ve dolumu, uçağın etrafında dolanarak herhangi bir yapısal hasar, kaçak yağ ya da sıvı, kayıp kapaklar gibi gözle görülebilecek unsurların kontrolüne yöneliktir. Bu bakımı ya da kontrolü teknisyenler yapabileceği gibi, havayolu firmasının ilgili meydana teknisyeni olmaması durumunda, uçuş ekibi de yapabilir.

### **2.7.1.2 Harf bakımları**

Benzer intervallere sahip taskların bir araya getirilmesiyle oluşturulan ve A, C, D, S gibi alfabedeki harflerle tanımlanan bakım tipleridir. En düşük intervale ve en basit içeriğe sahip olan bakım tipi A olup, alfabede ilerledikçe bakımın intervali artmakta, yapılan işlemin niteliği zorlaşmaktadır. MSG-3 metodolojisini kullanan hemen hemen tüm uçaklar, planlı bakımlar için bu harf kodlarını kullanırken, MSG-3'ün revize halini kullanan Boeing 777 ile birlikte, harfleri kullanmaya gerek kalmamıştır. Transit kontrolde olmayan tüm tasklar, bu yeni revizyonla uçuş saati ya da sayısı cinsinden tanımlanmış ve harf gruplarına toplama ihtiyacı ortadan kaldırılmıştır. Bununla birlikte günümüzde havayolu firmaları genellikle iki yaklaşımı birleştirerek, uçuş saati ya da sayısı bakımından benzer olan taskların bakımlarını, harf kodları altında tanımlamaktadır.

#### **A Bakımı**

İntervali 1 hafta ile 3 ay arasında değişebilen A bakımı, genellikle uçağın içinin ve dışının gözle kontrolüne dayalıdır. Uygulanan tasklar çoğunlukla yağlama, filtre değişimleri, servis, operasyonel kontrol gibi çok zaman ve emek gerektirmeyen tasklardır.

#### **C Bakımı**

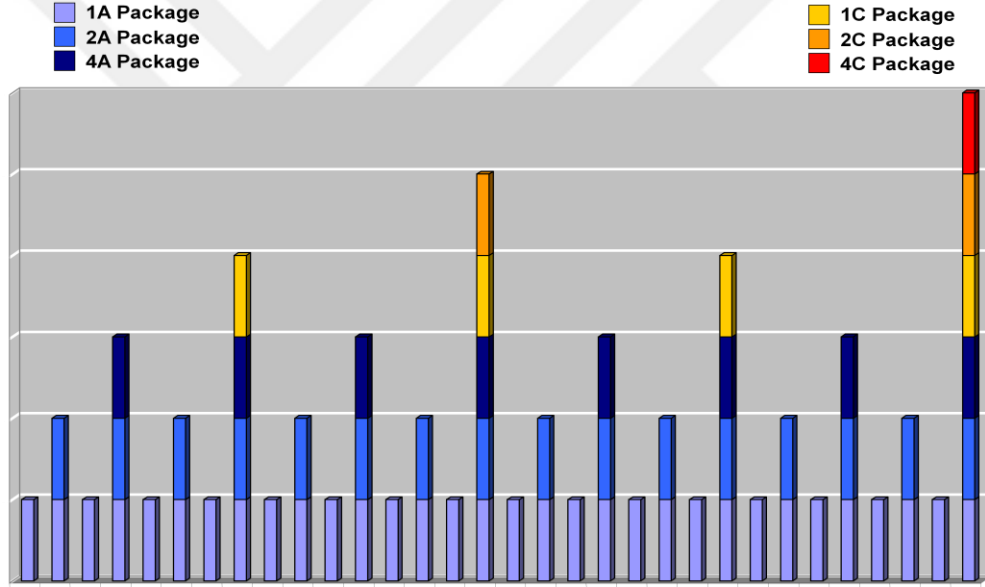
12 ile 20 ay arasında değişebilen bir intervalde gerçekleştirilen C bakımında, operatörün bakım programının içeriğine göre her tip taskı uygulamak mümkündür. C bakımı, iş yükü anlamında orta seviye bakım olarak da bilinir.



## D Bakımı

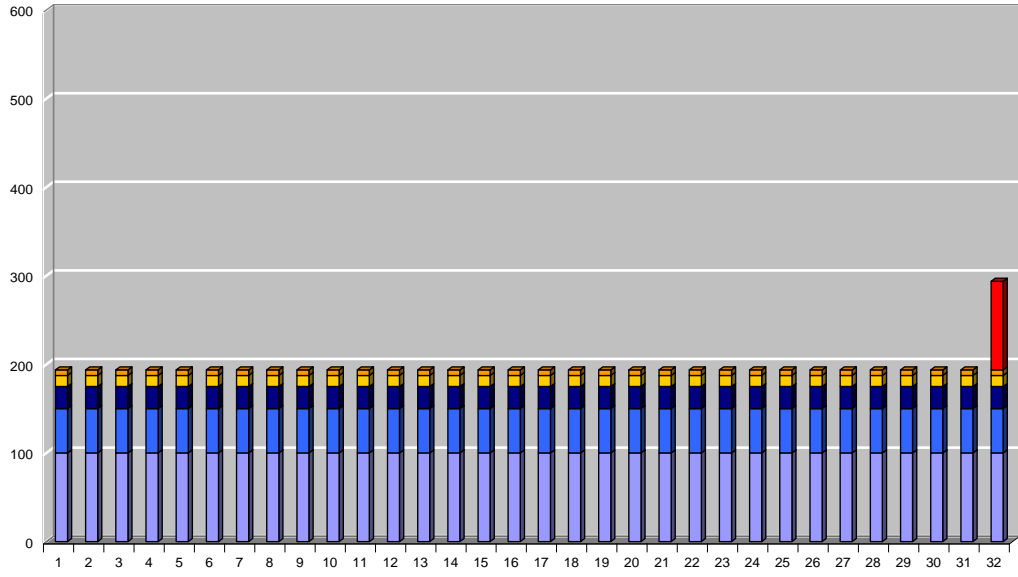
Genellikle ağır bakım olarak da bilinen D bakımları, 6 ile 12 yıl arasındaki bir intervale sahip olabilir. Uçağın yerde kalış süresi uzun olduğundan, diğer bakımlarda yapılmayan bakım taskları ya da büyük yapısal tamirler/modifikasyonlar D bakımında gerçekleştirilir.

İlgili taskların bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş bakım paketleri, operatörün ihtiyacına ya da ticari stratejisine göre blok halinde uygulanabileceği gibi, eşitlenmiş paketler şeklinde de olabilir. Blok bakım halinde olması durumunda, daha az bakım istasyonuna ihtiyaç duyulmakta ve bazı arızaları ya da hasarları gidermek için daha çok vakit ayrılabilir. Bununla birlikte, iş gücünü dengeli bir şekilde kullanmak daha zordur.



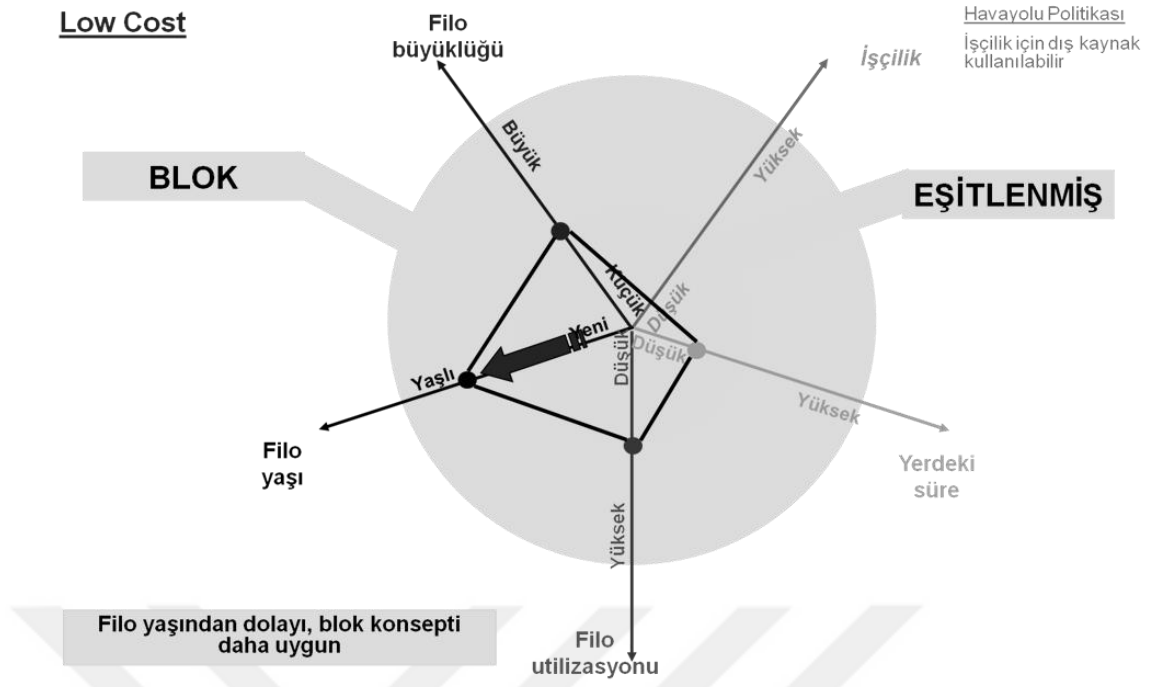
Şekil 2.17 : Blok bakım konsepti.

Eşitlenmiş paketler şeklindeki uygulama, bakım istasyonları ve orada gerekli bakım araçları anlamında daha fazla yatırım gerektirmekle birlikte, operasyonel esneklik ve uçağın kullanılabilirlik durumu için avantaj sağlamaktadır.



Şekil 2.18 : Eşitlenmiş bakım konsepti.

Her iki yaklaşımın da kendi açısından avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte bakım paketlerinin nasıl olması gerektiğini doğrudan etkileyen filo büyüklüğü, filo sayısı, havayolunun ticari modeli (charter, jet, low cost vs), havayolunun bakım için gerekli personel ve tesis durumu gibi önemli parametreler vardır. Mesela bir filonun yaşı büyümesi, özellikle yapısal ile ilgili sorunları ve buna bağlı olarak planlı ya da plansız bakımları etkileyecektir. Ayrıca, yaşlı bir uçaktaki yapısal sorun, havayolunun uçak kullanılabilirliğine doğrudan etki etmektedir. Böyle bir durumda, eşitlenmiş paket yerine blok paket havayolu için daha uygun olacaktır. Bu sebeplerle, paket seçimini etkileyen ilgili tüm parametrelerin hep birlikte incelenmesiyle, havayolu için ideal bakım paketi yaklaşımı seçilebilir.



**Şekil 2.19** : Blok bakım ve eşitlenmiş bakım konsepti seçme stratejisi.



### 3. GELİŞTİRİLMİŞ METOT

Bakım yapılabilirlik, bir ürünün ömür devrindeki en önemli parametrelerden biri olup, dizayn sürecinin bir parçasıdır. Bu nedenle konsept dizayn aşamasında bakımın hangi metodolojiye göre kurgulanacağı ve buna göre ilgili metodolojinin nasıl uygulanacağı belirlenmektedir. Bu tez kapsamında ele alınan konu olan uçak sistemlerinin ya da komponentlerinin bakımı için güvenilirlik temelli bakım yaklaşımı olan MSG-3'ün uygulandığı önceki bölümde belirtilmişti. MSG-3 Metodolojisinin adımlarından biri olan bakım tasklarının intervallerinin ve buna dolaylı yoldan bağlı olan task sürelerinin dizayn aşamasında tahsisi konusu, yine önceki bölümde izah edildiği üzere, otoritelerden gelen direktifler ve imalatçılardan gelen sertikasyon gereksinimleri haricinde büyük oranda tecrübi bilgiye dayanmaktadır. Bu tezin ana konusu olan, uçak bakım tasklarına dizayn aşamasında süre tahsisine akademik bir yöntem önerme hususu, 2 aşamada ele alınmıştır. Bu bölüm, çalışmanın ilk basamağını oluşturmakta olup, önceki çalışmaları referans olarak yeni bir yaklaşım sunmaktadır.

#### 3.1 Chipchak Yöntemi

Chipchak'ın (1971), komponentlerin ya da sistemlerin dizayn aşamasında bakım sürelerinin tahsisine yönelik çalışması, bugün başta NASA'nın sistemleri olmak üzere pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. Chipchak (1971) bakım sürelerinin daha konsept dizayn aşamasında belirlenebilmesini sağlamak için pratik bir yöntem geliştirerek; Jenerik Modül Tipleri (Çizelge 3.1), Hata Ayıklama Teknikleri (Şekil 3.1) ve Tasarım Karakteristiğindeki Farklar (Şekil 3.2) olmak üzere  $k_{j1}$ ,  $k_{j2}$  ve  $k_{j3}$  olarak tanımlanan 3 farklı ağırlık faktörü önermiştir. İstatistiksel yöntemler ya da kantitatif analizlerle hesaplanabilen bu katsayılar, bakım sürelerinin tahsisinde anahtar rol oynamaktadır

Çizelge 3.1'den de görüleceği üzere  $k_1$  olarak tanımlanan katsayı, ışıklar, güç sistemleri, havalandırma sistemleri ya da motorlar gibi jenerik ünitelere ya da modüllere aittir. Bu modüllere karşılık gelen skor değerleri, bir savunma ve havacılık

firmasının komponentler için yıllar boyunca topladığı verilerden arıza oranlarının kantitatif analizleri sonucunda elde edilmiştir.

**Çizelge 3.1 :** k<sub>1</sub> Ağırlık faktörü (Chipchak, 1971).

No	Module	Score
1	Lights	1
2	Digital	1
3	Low-level analogue	1.5
4	High-level analogue	1.5
5	Digital computers	2
6	Power Supplies	2
7	Electromechanical equipment	3
8	High-power/high-frequency components	4
9	Interconnections	4
10	Air conditioners	4
11	Liquid coolant systems	4
12	Mechanical structures	6
13	Rotating mechanism/engines	10

k<sub>2</sub> Ağırlık faktörü, arızanın nasıl tespit edildiği ile alakalı olup, otomatik, yarı-otomatik ve manuel tespite göre 0, 2 ya da 4 değerinden birini almaktadır.

Fault Isolation Technique	K <sub>2</sub>	Considerations
<b>Automatic</b>	0	computer or bit circuitry providing automatic fault isolation to replaceable item
<b>Semiautomatic</b>	2	bit circuitry controlled manually (includes test point selector switch/meter combination)
<b>Manual</b>	4	manually making measurements using portable test equipment at circuit test points

**Şekil 3.1 :** k<sub>2</sub> Ağırlık faktörü (Chipchak, 1971).

k<sub>3</sub> ağırlık faktörü, ilgili ünitenin dizayn karakteristikleri ile ilgili olup, bu çerçevede erişim kolaylığı ana parametre olarak ele alınmıştır. Erişimin kolay, zor ya da çok zor olmasına göre k<sub>3</sub> değeri 0, 2 ya da 4 değerinden birini alabilmektedir.

M Design Characteristic	Kj3	Characteristic	
		Accessibility	Handling
Accessibility/Handling			
Simple	0	affords direct access, rack mounted	one-man lift and carry
Difficult	2	involves removal of more than one cover	two-man lift, awkward carry
Very Difficult	4	requires considerable disassembly to reach	hoist lift, needs dolly for movement subject item

Şekil 3.2 :  $k_{j3}$  Ağırlık faktörü (Chipchak, 1971).

Bu yöntemle göre bir sistemin toplam ağırlık katsayısı  $k_j$  şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$k_{j1} = k_{j1} + k_{j2} + k_{j3} \quad (3.1)$$

$t_{pj}$ , j ünitesinin tamiri için ayrılan tamir zamanını,  $\lambda_j$  ise j ünitesi için arıza oranını göstermek üzere, tamir için ortalama süre (Mean Time To Repair – MTTR) şöyle hesaplanabilir:

$$MTTR = \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j t_{pj}}{\lambda} \quad (3.2)$$

### 3.2 Wan Yöntemi

Wan (2014), Chipchak'ın (1971) geliştirdiği pratik yöntemi referans alarak, bakım sürelerinin tahsisi ve tahmini üzerine bir çalışma yürütmüştür. Bu amaçla öncelikle uçak komponentlerinin arıza oranları ile FAA'in veritabanında bulunan ve havayollarının raporladığı olaylar arasındaki ilişkiyi araştırmış, ancak bu 2 parametre arasında herhangi bir korelasyon olmadığını tespit etmiştir.

Çalışmanın devamında, Chipchak'ın (1971) belirlediği  $k_1$  ağırlık katsayısını dikkate alarak modül – ağırlık katsayısını ilişkisini, modül – bakım task süresi anlamında araştırmıştır. Bu amaçla, komponentlere karşılık gelen bakım tasklarının sürelerini belirleyebilmek için MIL-HDBK-473 Procedure III'ü referans alarak 3 Bölümden oluşan Checklist'leri (Şekil 3.3) kantitatif analizlerle tamamlayarak, task sürelerini tecrübi olarak kendisi belirlemiştir.

Checklist A, Şekil 3.3'den de görüldüğü gibi ünitenin fiziksel karakteristikleri ile ilgili olup, erişim kolaylığı, görsel ekranlar, etiketler, koruyucu cihazlar, emniyet tedbirleri gibi farklı başlıklar altında maddelere sahip olup, uygulanacak taşkın bu başlıklar çerçevesindeki durumunu belirlemeyi amaçlamaktadır.

Number	Scoring Physical Design Factors	Scores	Value
<b>CHECKLIST A - PHYSICAL DESIGN FACTORS</b>			
1	Access (External)	Access adequate both for visual and manipulative tasks (electrical and mechanical)	4
		Access adequate for visual, but no manipulative	2
		Access adequate for manipulative, but not visual	2
		Access not adequate for visual or manipulative	0
2	Latches and Fasteners (External)	External latches and/or fasteners are captive, need no special tools, and require only a fraction of a turn for release	4
		External latches and/or fasteners meet two of the above three criteria	2
		External latches and/or fasteners meet one or none of the above three criteria	0
3	Latches and Fasteners (Internal)	Internal latches and/or fasteners are captive, need no special tools, and require only a fraction of a turn for release	4
		Internal latches and/or fasteners meet two of the above three criteria	2
		Internal latches and/or fasteners meet one or none of the above three criteria	0
4	Access (Internal)	Access adequate both for visual and manipulative tasks (electrical and mechanical)	4
		Access adequate for visual, but no manipulative	2
		Access adequate for manipulative, but not visual	2
		Access not adequate for visual or manipulative	0
5	Packaging	Internal access to components and parts can be made with no mechanical disassembly	4
		Little disassembly required (less than 3 min)	2
		Considerable disassembly is required (more than 3 min)	0
6	Units - Parts (Failed)	Units or parts of plug-in nature	4
		Units or parts of plug-in nature and mechanically held	2
		Units of solder-in nature	2
7	Visual Displays	Sufficient visual information on the equipment is given within one display area	4
		Two display areas must be consulted to obtain sufficient visual information	2
		More than two areas must be consulted to obtain sufficient visual information	0
8	Fault and Operation Indicators (Built-In Test Equipment)	Fault or malfunction information is provided clearly and for rapid action	4
		Fault or malfunction information clearly presented but requires operator interpretation	2
		Fault or malfunction information requires no operator interpretation, but is not clearly presented	2
		Fault or malfunction information not clearly presented and requires operator interpretation	0
9	Test Points (Availability)	Task did not require use of test points	4
		Test points available for all needed tests	3
		Test points available for most needed tests	2
		Test points not available for most needed tests	0
10	Test Points (Identification)	All test points are identified with required readings given	4
		Some are suitably marked	2
		Points are not marked and test data are not given	0
11	Labelling	All parts labelled with full identifying information and all identifying information clearly visible	4
		All parts labelled with full identifying information, but some information hidden	2
		All information visible, but some parts not fully identified	2
12	Adjustments	Some information hidden and some parts not fully identified	0
		No adjustment or realignment is necessary to place equipment back in operation	4
		A few adjustments, but no major realignments are required	2
13	Testing (In Circuit)	Many adjustments or major realignment must be made	0
		Defective part or component can be determined without removal from the circuit	4
		Testing requires removal	0
14	Protective Devices	Equipment was automatically kept from operating after malfunction occurred to prevent further damage. (This refers to malfunction of such area as bias supplies, keep-alive voltage, etc.)	4
		Indicators warned that malfunction has occurred	2
		No provisions have been made	0
15	Safety (Personnel)	Task did not require work to be performed in close proximity to hazardous conditions (high voltage, radiation, moving parts and/or high temperature parts)	4
		Some delay encountered because of precautions taken	2
		Considerable time consumed because of hazardous conditions	0

**Şekil 3.3 : MIL-HDBK-473 Prosedür III Checklist A (Wan, 2014).**

El kitabının 2.kontrol listesi (Şekil 3.4), tesis, ekipman ve personel nlamındaki imkan ve ihtiyaçlarla ilgili olup, ilgili taskların bu tür gereksinimlere ihtiyaç duyup duymadığını sorgulamaktadır.



CHECKLIST B - FACILITIES			
1	External Test Equipment	Task accomplishment does not require the use of external test equipment	4
		One piece of test equipment is needed	2
		Several pieces (2 or 3) of test equipment are needed	1
		Four or more items are required	0
2	Connectors	Connectors to test equipment require no special tools fittings or adapters	4
		Connectors to test equipment require some special tools fittings or adapters (less than two)	2
		Connectors to test equipment require no special tools fittings or adapters (more than two)	0
3	Jigs or Fixtures	No supplementary materials are needed to perform task	4
		No more than one piece of supplementary materials is needed to perform task	2
		Two or more pieces of supplementary materials are needed	0
4	Visual Contact	The activities of each member are always visible to the other member	4
		On at least one occasion one member can see the second, but the reverse is not the case	2
		The activities of one member are hidden from the view of the other on more than one occasion	0
5	Assistant (Operations Personnel)	Task did not require consultation with operation personnel	4
		Some contact was required	2
		Considerable coordination required	0
6	Assistant (Technical Personnel)	Task required only one technician for completion	4
		Two technicians were required	2
		Over two were used	0
7	Assistant (Supervisors or Contractor Personnel)	Task did not require consultation with supervisor or contractor personnel	4
		Some help needed	2
		Considerable assistance required	0

Şekil 3.4 : MIL-HDBK-473 Prosedür III Checklist B (Wan, 2014).

Checklist C olarak adlandırılan son kontrol listesi (Şekil 3.5) ise insan faktörleri ile alakalı olup, gerekli olan insan gücü azdan çoğa doğru 5 sınıfa ayrılmıştır. Wan (2014), ilgili taskların test ya da bakım yapma anlamında ne kadarlık bir efor gerektirdiğini, yine tecrübi olarak belirlemiştir.

Questions	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SCORE	DESCRIPTION
Distribution	5	17.0	3	3	3	3	3	3	3	3	4	Minimum efforts
	25	35.0	6	6	6	6	6	6	6	6	3	Below average efforts
	50	51.0	9	9	9	9	9	9	9	9	2	Average efforts
	75	86.0	12	12	12	12	12	12	12	12	1	Above average efforts
	100	150.0	15	15	15	15	15	15	15	15	0	Maximum efforts

% of strength
Weight (lbs)
No of Steps
No of Steps
No of Steps
No of Steps
Number of Resources (Qty)
No of Steps
No of Steps
No of Steps

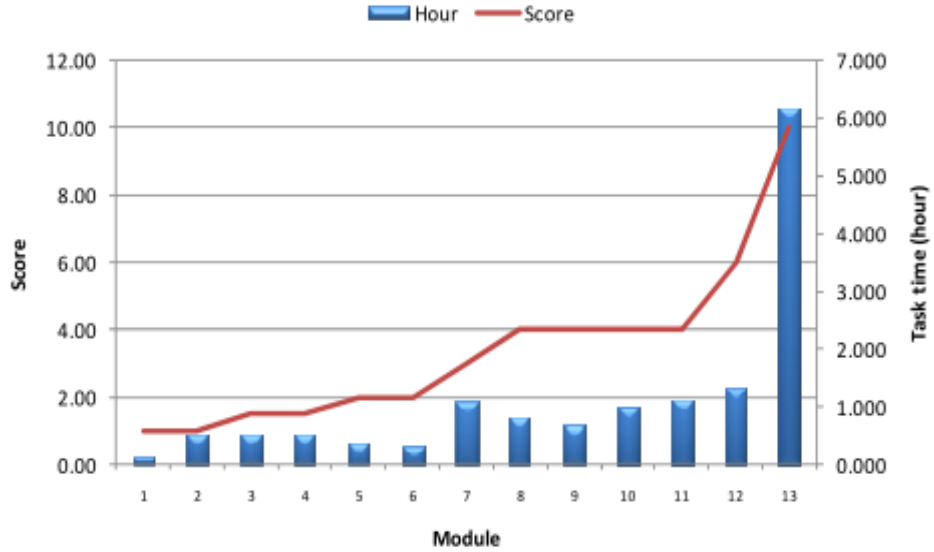
Şekil 3.5 : MIL-HDBK-473 Prosedür III Checklist C (Wan, 2014).

Wan (2014), çalışmasının devamında, elde ettiği task sürelerini, Chipchak (1971) modüllerine karşılık gelen  $k_{j1}$  modülleriyle eşleştirmiş ve modül ile task süresi arasındaki korelasyonu araştırmıştır.

No	Module <sup>14</sup>	Minutes	Hour	Score <sup>14</sup>
1	Lights	8.86	0.15	1
2	Digital	31.89	0.53	1
3	Low-level analogue	31.89	0.53	1.5
4	High-level analogue	31.89	0.53	1.5
5	Digital Computers	22.66	0.38	2
6	Power Supplies	20.18	0.34	2
7	Electromechanical equipment	64.45	1.07	3
8	High-power/high-frequency components	48.64	0.81	4
9	Interconnections	40.61	0.68	4
10	Air conditioners	60.41	1.01	4
11	Liquid coolant systems	67.82	1.13	4
12	Mechanical Structures	79.20	1.32	6
13	Rotating mechanism/engines	368.84	6.15	10

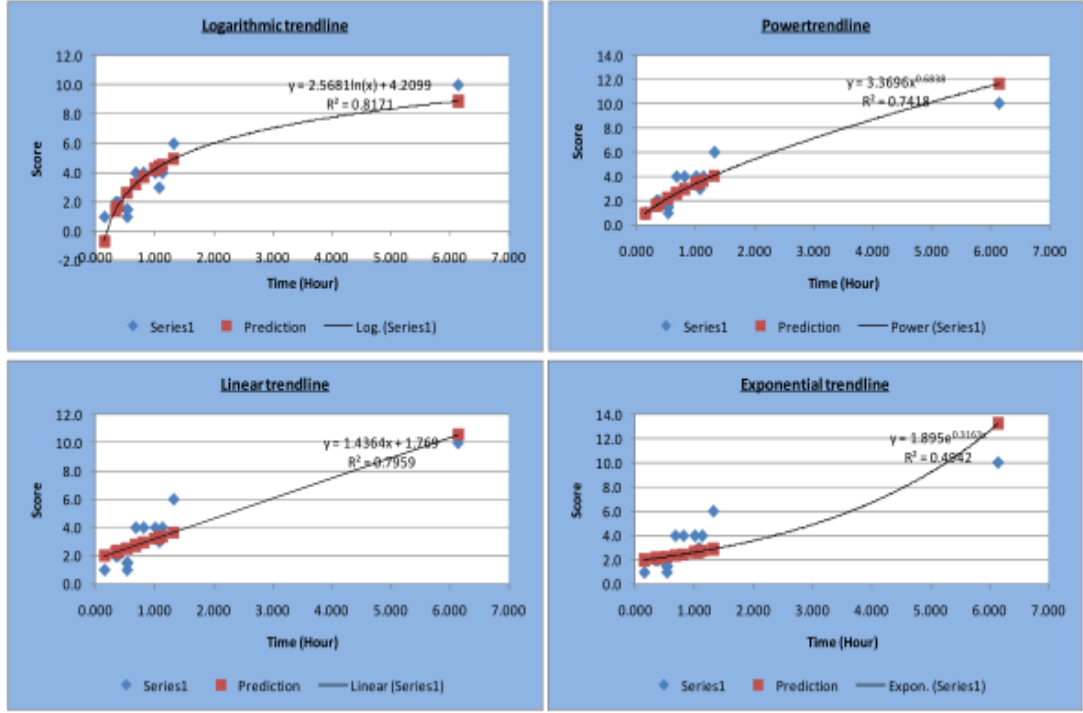
Şekil 3.6 : Modül – süre tablosu (Wan, 2014).

Şekil 3.7’den de görüleceği üzere skor değeri ile saat arasındaki korelasyonun varlığını doğrulamış, sonraki adım olarak da Excel’de trend analizleri yaparak uygulama süresinden skor değerini verecek en uygun formülü bulmayı hedeflemiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.7 : Modül – süre ilişkisi (Wan, 2014).

Trend analizleri için logaritmik, lineer, üs ve üstel trend eğrilerini denemiş ve en iyi dağılımı ve  $R^2$  sonucunu veren grafiği araştırmıştır.



Şekil 3.8 : Trend analizleri (Wan, 2014).

Çizelge 3.2’den de görüleceği üzere, en iyi  $R^2$  sonucunu veren fonksiyon olarak logaritmik fonksiyon seçilmiş ve bu fonksiyona karşılık gelen  $R^2$  değeri ise 0,8171 olarak elde edilmiştir. Yazar, bu fonksiyonu çalışmasının ilerleyen safhasında yeni modüller eklemek için kullanmıştır ancak bundan sonraki kısım, tezin içeriğinde referans alınmamıştır.

Çizelge 3.2 :  $R^2$  Değerleri (Wan, 2014).

Trendline	Formul	R2
Log	$y=2.5681\ln(x)+4.2099$	0.8171
Linear	$y=1.4364x+1.769$	0.7959
Power	$y=3.3696x^{0.6838}$	0.7418
Exponential	$y=1.895e^{0.3163x}$	0.4942

### 3.3. Yapay Sinir Ağları Tabanlı Geliştirilmiş Metot

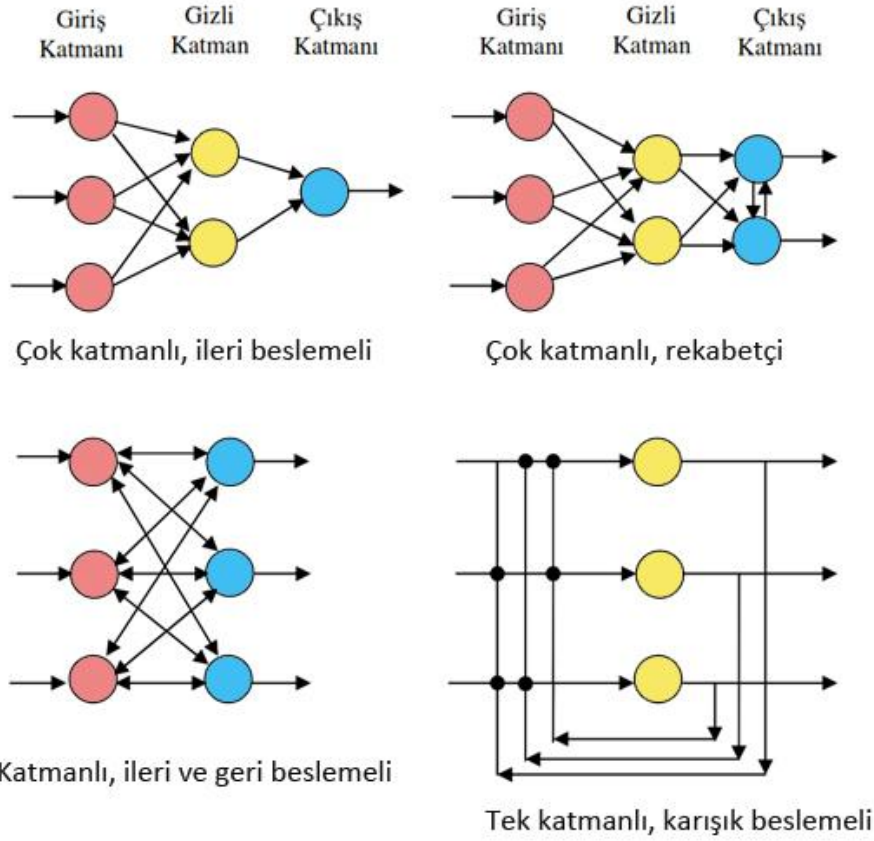
Bu tez çalışmasının ilk aşamasında, Chipchak’ın (1971)  $k_{j1}$ ’de belirlediği modüller ve bunlara karşı gelen skor değerleri Wan’ın (2014) MIL-HDBK-472 Procedure III’e göre atadığı uygulama zamanları referans alınmış, ancak skor değerleriyle uygulama zamanı arasındaki korelasyonu belirlemek için Wan’dan (2014) farklı olarak trend

analizi değil yapay sinir ağı kullanılmıştır. Wan'ın (2014) yöntemine göre oldukça iyi sonuçlar ortaya koyan yeni korelasyon fonksiyonu, modele yeni modüller eklemek için kullanılmıştır. Çalışmanın devamında ise eski ve yeni elde edilen modüller kullanılarak, tezin ikinci aşamasında (3.bölümde) yine yapay sinir ağı temelli bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışmanın 1. ve 2. aşamasında yapay sinir ağı kullanıldığından, çok detaya inilmeden bu yöntemden bahsedilecek ve tez kapsamında hangi algoritmaların ya da fonksiyonların tercih edildiği, ilgili yerde anlatılacaktır.

### **3.3.1 Yapay sinir ağı**

İnsan beyninin çalışma şeklini simüle etmek üzere kurgulanan yapay sinir ağı; birbirine bağlı proses elemanları vasıtasıyla, örnekler üzerinden öğrenme işlemini gerçekleştiren yapay zeka mekanizmalarıdır. Pek çok mühendislik probleminde rahatlıkla kullanılabilen, belirsiz şartlara ya da eksik bilgiye rağmen adaptif yapısı ve hatalara karşı olan toleransı sayesinde etkin çözümler sunabilen yapay sinir ağı sınıflandırma, tahmin, örüntü tanıma, optimizasyon ya da veri madenciliği gibi alanlarda sıkça tercih edilmektedir.

Şekil 3.9'dan da görüleceği üzere yapay sinir ağı tek katmanlı ya da çok katmanlı olabilir. Tipik bir ağı modelinde, giriş verilerinin aktarıldığı giriş katmanı, verilerin işlendiği gizli katman ve sonuçların üretildiği çıkış katmanı vardır. Gizli katmanın sayısı, modele göre bir ya da birden fazla olabilir. Ağı türünden bağımsız olmak üzere, çalışma prensipleri 2 temel faz üzerine kurgulanmıştır: Eğitim fazı ve test fazı. Eğitim aşamasında, tercih edilen öğrenme algoritmasına göre ağırlıklar hesaplanır ve bu değerlere göre bir çıktı üretilir. Test kısmında ise ağı işlemediği veriler üzerinden karşılaştırma yapılarak, sonuçların doğruluğu ölçülür. Bir yapay sinir ağı başarısı, ağı yapısı, öğrenme algoritması, aktivasyon fonksiyonu, normalizasyon yaklaşımı, performans faktörü vb. gibi pek çok parametrenin doğru olarak seçilmesine bağlıdır.



Şekil 3.9 : Tipik yapay sinir ağ modelleri.

### 3.3.2 Yapay sinir ağlarının yapısı

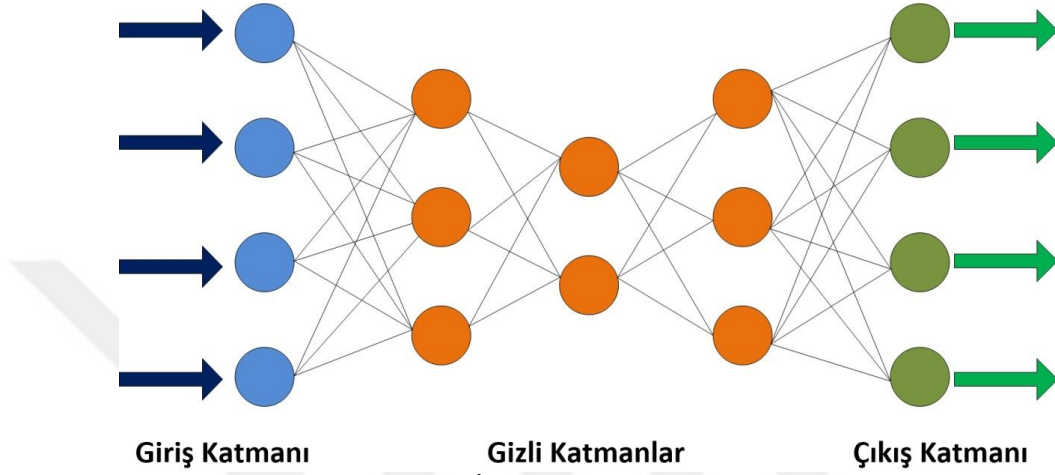
Yapay sinir ağları, farklı kriterler dikkate alınarak farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bu kriterlerden bazıları öğrenme şekli, bağlantı tipi, katman sayısı, yapısı vb. olarak sayılabilir. Bu bölümde, tez kapsamında kullanılan ileri beslemeli yapay sinir ağının kategorize edildiği sınıf olan bağlantı şekline göre sınıflandırma kısaca anlatılacak olup, geri kalan sınıflandırmalardan bahsedilmeyecektir.

Yapay sinir ağları, nöronlar arasındaki bağlantıya göre ileri beslemeli ağlar ve geri beslemeli ağlar iki ayrı grupta incelenmektedir. Nöronların birbirleriyle kurduğu iletişimin şekli, aynı zamanda ağın yapısını da şekillendirmektedir. Diğer yandan öğrenme algoritmaları da iletişimin ya da bağın nasıl olacağı konusunda etkin rol oynamaktadır.

#### 3.3.3.1 İleri beslemeli yapay sinir ağları

1950'li yıllarda Rosenblatt tarafından tek tabakalı algılayıcı olarak ortaya konulan ancak daha sonra duyulan ihtiyaç üzerine çok katmanlı bir ağ yapısı şeklinde

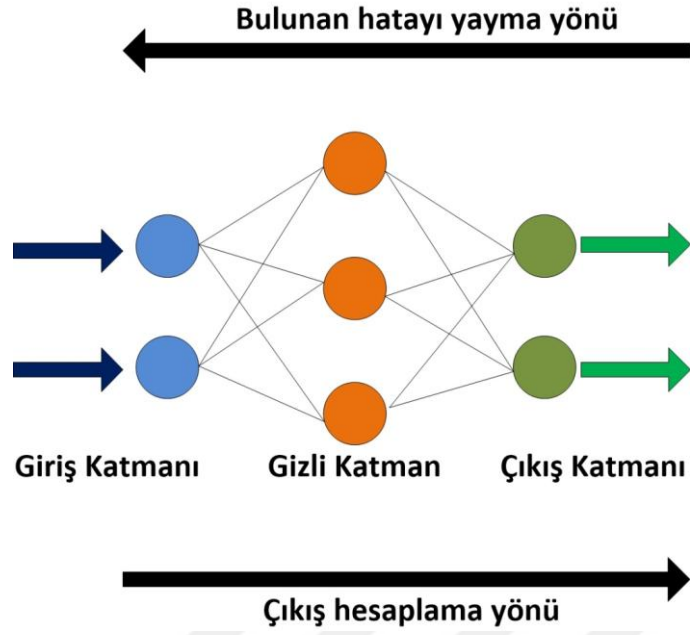
geliştirilen ileri beslemeli yapay sinir ağı, temel olarak 3 katmandan oluşmaktadır: Giriş katmanı, gizli katman(lar) ve çıkış katmanı. Her bir katmandaki nöronlar, bir önceki katmanların nöronlarından bilgiyi alır ve önündeki katmanın nöronlarına iletir (Şekil 3.10). Bir katmanın kendi içindeki nöronlarla ya da gerideki katmanın nöronlarıyla bilgi alışverişi yapılmaz. Bu nedenle, bu ağ yapısında, bilgi akışı daima ileriye doğrudur.



Şekil 3.10 : İleri beslemeli yapay sinir ağı.

### 3.3.3.2 Geri beslemeli yapay sinir ağı

Danışmansız öğrenme kurallarının uygulandığı geri beslemeli yapay sinir ağlarında, ileri beslemeli olanların aksine bir hücrenin çıktısı sadece kendinden sonra gelen hücrenin katmanına girdi olarak verilmez. Kendinden önceki katmanda veya kendi katmanında bulunan herhangi bir hücreye de girdi olarak bağlanabilir, yani adından da anlaşılacağı üzere bir tür geri besleme işlemi vardır. Bu yapı ile geri beslemeli yapay sinir ağı doğrusal olmayan dinamik bir davranış göstermektedir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış sekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli yapay sinir ağı yapıları elde edilebilir. Özellikle önceden tahmin uygulamaları için uygun olan geri beslemeli ağlara Hopfield, Elman, Jordan ağları örnek olarak gösterilebilir. Geri beslemeli bir yapıya sahip bir Hopfield ağı Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11 : Geri beslemeli YSA (Kabalıcı, 2015).

Hangi problem için hangi yapay sinir ağı mimarisinin kullanılması gerektiği konusunda keskin kurallar olmasa da, uygulamada öne çıkan ve tavsiye edilen uygulama şekilleri bulunmaktadır. Mesela ileriye dönük bir tahmin için genellikle çok katmanlı bir mimari önerilirken, Hopfield'ın veri ilişkilendirme konusunda daha efektif olduğu ve bu tür problemlerin altyapısının oluşturulmasında ön plana çıktığı bilinmektedir. Mimari seçimine dair özet durum Şekil 312'de sunulmuştur.

Kullanım Amacı	Ağın Mimari Yapısı	Ağın Kullanımı
Öngörü	Çok katmanlı ağlar, radyal temelli genelleştirilmiş regresyon ağları	Girdi değerleri kullanılarak çıktı değeri için öngöründe bulunulması, örneğin finansal varlıklara ait zaman serileri kullanılarak ileriye dönük fiyat tahmininde bulunulması
Sınıflandırma	Doğrusal vektör parçalama modeli, ART, radyal temelli olasılık sinir ağları	Girdilerin hangi sınıfa ait olduklarının belirlenmesi
Veri ilişkilendirme	Hopfield, Boltzmann makinesi	Girdilerin içindeki hatalı veya eksik bilgilerin tamamlanması

Şekil 3.12 : Kullanım amacına göre YSA mimarisi (Öztemel, 2003).

### 3.3.3 Aktivasyon fonksiyonları

Yapay sinir ağlarında giriş ve çıkış arasındaki haritalama, işlemcinin matematik fonksiyonu ile sağlanmaktadır. Bu yüzden en uygun tasvirin yapılabilmesi için aktivasyon fonksiyonunun doğru seçimi son derece önemlidir. Çok katmanlı yapay sinir ağlarında, gizli katman hücrelerinde kullanılacak bir kaç aktivasyon fonksiyonu bulunabilir ancak pratikte bunların seçimi ile ilgili bazı sorunları başlangıçta yok etmek için aksi gerekmedikçe hep aynı işlemciler tercih edilir (Şen, 2004). Bu tez kapsamında kullanılacak transfer fonksiyonunu belirleyebilmek amacıyla aşağıda belirtilen fonksiyonlar ele alınmıştır.

#### 3.3.3.1 Lineer fonksiyon

Daha çok ADALINE (Adaptive Linear Nöron) tek yönlü doğrusal algoritmada kullanılan ve Denklem (3.1) ile verilen doğrusal fonksiyon,  $\alpha$  bir skaler sayı olmak üzere herhangi bir giriş değerine karşılık

$$f(x)=\alpha x \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilebilecek bir tasvir gerçekleştirir. Eğer  $\alpha=1$  ise gizli katman hücrelerine gelen bilgiler hiç bir değişikliğe uğratılmadan işlemci çıkışında olduğu gibi kalırlar. Bu durumda, bir eğrisellik işlemi yapılmadığından yapay sinir ağı çoklu yinelemeli doğrusal sinir ağına döner.  $\alpha \neq 1$  olması durumunda ise hücreye gelen girdiler sadece ölçek değiştirerek ancak yine doğrusal olarak çıkarlar (Şen, 2004).

Lineer fonksiyon, çoğu problem için uygun değildir, çünkü fonksiyonu doğrusal olması, ağı eğitilmesi sırasında her verinin aynı oranda sisteme dâhil olmasını ve bu nedenle sistemin yeni çıktı üretimi konusunda zayıf kalmasına neden olmaktadır (Nelson, 1990).

#### 3.3.3.2 Basamak fonksiyonu

Daha çok tek katmanlı ağlarda kullanılan basamak fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmakta olup, tek veya çift kutuplu fonksiyon olabilir.

$$f(x)=\begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (3.4)$$



### 3.3.3.3 Sigmoid fonksiyonu

Rampa fonksiyonunun sürekli hali olarak bilinen sigmoid fonksiyonu, fonksiyon S şeklinde olduğundan çoğu zaman S fonksiyonu olarak da adlandırılır (Şen, 2004). Çok katmanlı ağlarda kullanımı uygun olan ve geri yayılım tekniği eğitilen ağlarda avantaj sağlayan sigmoid fonksiyonu [0,1] aralığında bir değere sahiptir. Sigmoid işlemcisi sürekli bir fonksiyon gösterdiğinden dolayı özellikle doğrusal olmayan tasvirlerde sıkça tercih edilir.

$$f(x) = \frac{1}{1+e^x} \quad (3.5)$$

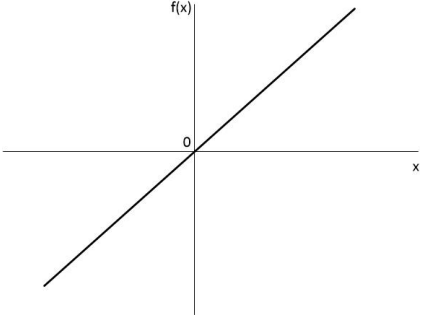
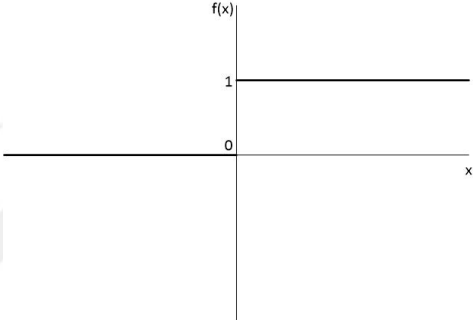
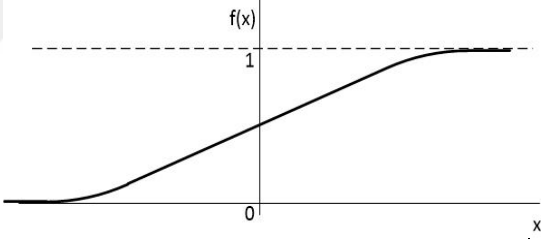
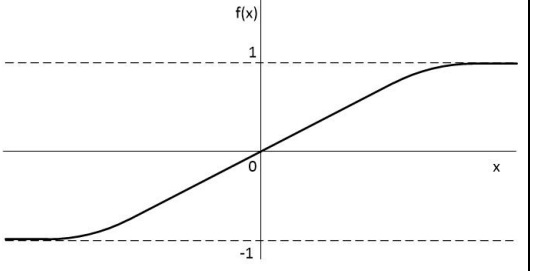
Sigmoid fonksiyonunun yapay sinir ağlarına en önemli katkısı, çok büyük pozitif veya negatif değerler alan verileri dahi işleyerek 0 ile 1 aralığına taşımaktır (Smith ve Gupta, 2002). Öğrenmenin ortalamaya yakınsama durumuna denk geldiği problemlerde sigmoid fonksiyonu en iyi sonucu vermektedir (Klimasauskas, 1993).

### 3.3.3.4 Hiperbolik tanjant fonksiyonu

Burada çıktılar, +1 ile -1 arasında çıkış değerler alır. Bu nedenle hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu çiftkutuplu (bipolar) özellik taşımaktadır. Diğer yandan hiç parametresi bulunmadığından dolayı, sigmoid işlemcisi kadar esnek değildir. Çıktısının [-1,1] aralığında olması istenen uygulamalarda avantajlı olan hiperbolik tanjant fonksiyonu şu şekilde verilmektedir:

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (3.6)$$

Hiperbolik tanjant fonksiyonu öğrenmenin ortalamadan sapma üzerine kurulu olduğu sistemlerde ise en iyi çözümü üretmektedir (Klimasauskas, 1993).

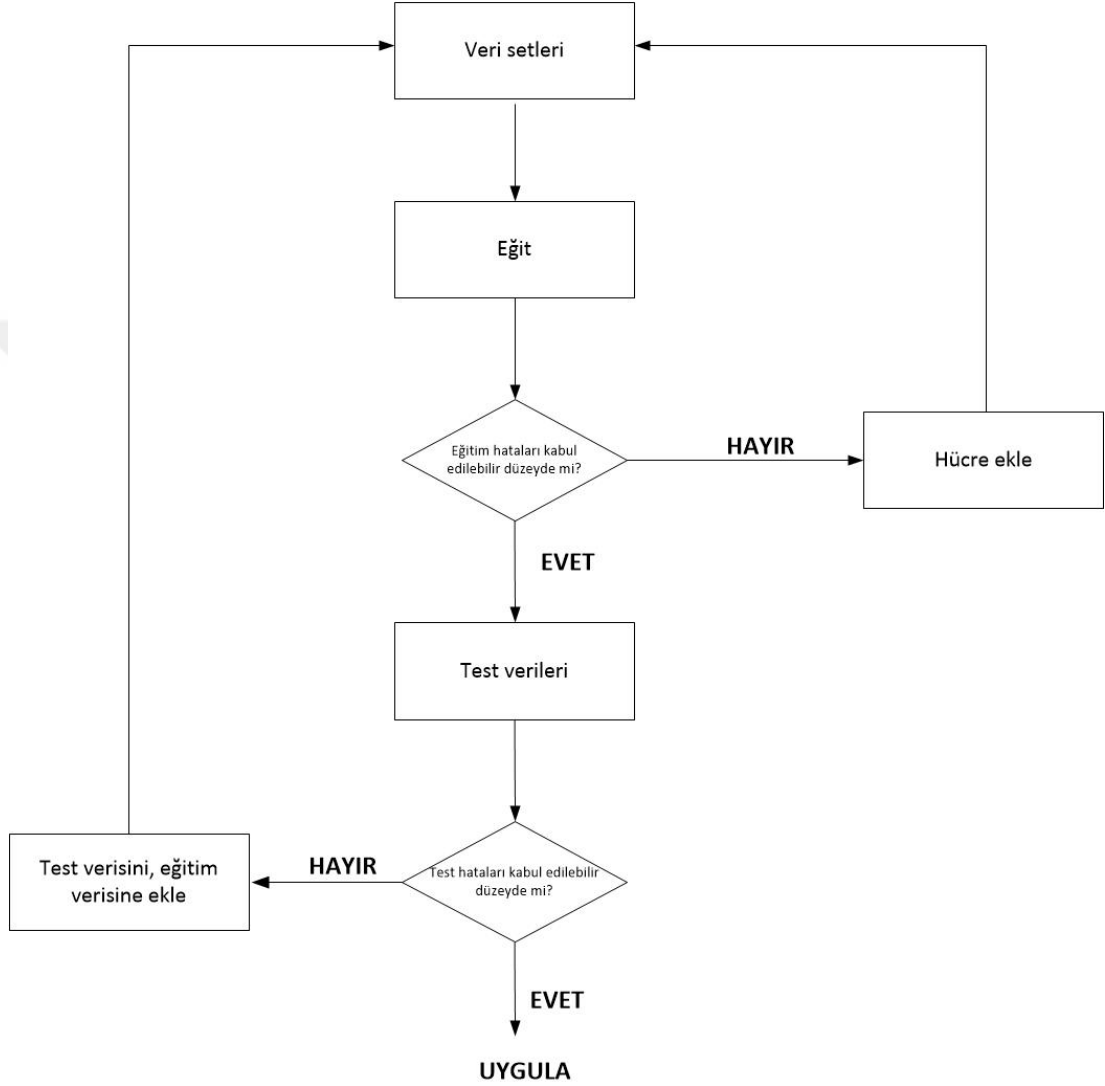
Fonksiyon	Fonksiyon	Grafik
Lineer	$f(x)=\alpha x$	
Basamak	$f(x)=\begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}$	
Sigmoid	$f(x) = \frac{1}{1 + e^x}$	
Hiperbolik tanjant	$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$	

Şekil 3.13 : Aktivasyon fonksiyonları.

### 3.3.4 Öğrenme kuralları

Yapay sinir ağları, programlamanın yerine, öğrenme algoritmalarının kullanıldığı sistemler olup, bu yönüyle ayırt edici bir özelliğe sahip olan dinamik ve uyumlu sistemlerdir. Öğrenme prosesi, elde bulunan veri, vektör ya da desen gibi örnekler

arasındaki yapının iyi bir davranış göstermesini sağlayacak olan bağlantı ağırlıklarının hesaplanmasıdır. Şekil 3.14'teki basitleştirilmiş yapay sinir ağının eğitim sürecinden de görüleceği üzere ağırlıkların hesaplanması sırasında ardışık olarak ileri geri besleme işlemlerinin tümü olarak görülebilecek eğitimlerin, hatanın minimize edilmesi ile son bulması beklenir (Şen, 2004).



Şekil 3.14 : YSA eğitim süreci (Karaali, 2006).

Yapay sinir ağlarında öğrenme işlemi, çok parametrelî, karmaşık ve matematiksel olarak ifade edilmesi zor bir işlemdir. Bugün kullanılan öğrenme kuralları, bu işlemin basitleştirilmiş veya farklı formatta ifade edilmiş biçimleridir (Sağiroğlu ve diğ., 2003). Bu algoritmalardan dört tanesi temel olup diğerleri bunlardan türetilmiştir. Bunlar; Hebb, Hopfield, Delta ve Kohonen öğrenme kurallarıdır.

### 3.3.4.1 Hebb öğrenme kuralı

İlk ve en çok tanınan öğrenme kuralı olan ve diğer öğrenme kurallarının temelini oluşturan Hebb Kuralı, 1949'da Donald Hebb tarafından geliştirilmiştir. Kural, Hebb'in yazmış olduğu, "The Organization of Behaviour" adlı kitabında anlatılmakta olup, önceden tespit edilen sabit bir büyüklük ile bağlantı değerlerinin matematiksel olarak işaret (+ veya -) değiştirilmesi esasına dayanır (Şen, 2004).

$w_i = [w_1 w_2 \dots w_m]$  vektörü ağıdaki  $i$ . hücreye gelen  $n$  tane girişin ağırlık katsayılarını,  $x = [x_1 x_2 \dots x_m]$  vektörü ağa gelen  $m$  tane girişi,  $\varepsilon$  öğrenme katsayısını ya da öğrenme oranını,  $y_i$  ise  $i$ . hücrenin hesaplanan çıkışını temsil etmek üzere;

$$w_i(t + 1) = w_i(t) + \varepsilon \cdot f(w_i(t) \cdot x(t)) \cdot x(t) \quad (3.7)$$

ya da

$$w_i(t + 1) = w_i(t) + \varepsilon \cdot \gamma_i(t) \cdot x(t) \quad (3.8)$$

şeklinde ifade edilir.

### 3.3.4.2 Hopfield öğrenme kuralı

Hopfield kuralı, özü itibariyle Hebb kuralına benzer, ilave olarak bağ kuvvetlerindeki değişimlerin nasıl olacağını da hesaba katar. Bu kurala göre; sinir ağı elemanlarının bağlantılarının ne kadar kuvvetlendirilmesi veya zayıflatılması gerektiği belirlenir. Eğer beklenen çıkış ve girişlerin her ikisi de aktif veya pasif ise öğrenme katsayısı kadar ağırlık değerleri kuvvetlendirilir ya da zayıflatılır (Öztemel, 2003). Yani ağırlıkların kuvvetlendirilmesi veya zayıflatılması öğrenme katsayısı yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Hopfield Kuralı'nda öğrenme oranı genellikle 0 ile 1 arasında ve sıklıkla 0,2 ile 0,4 arasında değişen bir büyüklüğe sahiptir (Şen, 2004). Hebb Kuralı'nda bu oran 1'e eşittir.

### 3.3.4.3 Delta öğrenme kuralı

Günümüzde en yaygın kullanılan öğrenme kullarından birisi olan ve Widrow ile Hoff tarafından geliştirilen Delta kuralı, Hebb kuralının gelişmiş versiyonu olarak da değerlendirilebilir. Kuralın temeli, yapay sinir hücresinin gerçek çıktısı ile beklenen çıktısı arasındaki farklılığı azaltmak için işlemci elemanları arasındaki bağlantı ağırlık değerlerinin sürekli değiştirilmesi ilkesine dayanır. Başka bir deyişle, beklenen çıkış ile gerçekleşen çıkış arasındaki farkı azaltmak için, sinir ağı işlemci

elemanlarının ağırlık değerleri, hata kareleri ortalaması en aza indirilene kadar sürekli olarak değiştirilir.

$E(t)$  hata fonksiyonunu,  $d_i$  ise  $i$ . hücrenin istenen çıkışını temsil etmek üzere,

$$w_i(t + 1) = w_i(t) - \varepsilon \cdot \frac{\partial E(t)}{\partial w(t)} \quad (3.9)$$

$$E(t) = \frac{1}{2} (d_i(t) - y_i(t))^2 \quad (3.10)$$

$$E(t) = \frac{1}{2} [d_i(t) - f(w_i(t)x(t))]^2 \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial E(t)}{\partial w(t)} = -[d_i(t) - f(w_i(t)x(t))] \frac{\partial f(w_i(t)x(t))}{\partial (w_i(t)x(t))} \cdot x(t) \quad (3.12)$$

şeklinde tanımlanır.

#### 3.3.4.4 Kohonen öğrenme kuralı

Kohonen tarafından ortaya atılan bu öğrenme kuralı, biyolojik sistemlerdeki öğrenmeden esinlenerek geliştirilmiştir. Bu kuralda hücreler, ağırlıklarını değiştirmek, elverişli durum veya ölçülerini güncellemek için birbirleri ile yarışır (Öztemel, 2003). Kohonen Kuralı, “kazanan tamamını alır” olarak da bilinir. En büyük çıkışa sahip işlemci nöron kazanır, bu nöron komşularını uyarma ve yasaklama kapasitesine sahiptir (Sağiroğlu ve diğ., 2003). Hedef çıkışa gereksinim göstermediği için, Kohonen Kuralı bir danışmansız öğrenme yöntemidir.

$$w(t + 1) = w(t) + \varepsilon (x(t) - w_m(t)) \quad (3.13)$$

Burada  $w_m$  kazanan nöronun bağlantı ağırlık katsayısı olup,  $i$  1’den  $N$ ’e kadar olmak üzere;

$$w_m x = \max (w_i x) \quad (3.14)$$

şeklinde tanımlanır.

#### 3.3.5 Öğrenim algoritmaları

Yapay sinir ağlarının öğrenme sürecinde kullanılan farklı öğrenme algoritmaları mevcuttur. Bu öğrenme algoritmalarından bazıları şunlardır:

- Geri yayılım algoritması
- Esnek yayılım algoritması

- Delta Bar Delta algoritması
- Geliştirilmiş Delta Bar Delta algoritması
- Hızlı yayılım algoritması
- Levenberg – Marquardt metodu
- Eşleştirmeli eğitim algoritmaları

Bu algoritmalarından bir kısmı, öğrenme için deneme yanılma tekniklerini kullanırken, bir kısmı da standart sayısal teknikleri kullanır. Bu tez çalışması kapsamında Gauss-Newton ve Steepest Descent algoritmalarını referans alarak geliştirilen Levenberg Marquardt metodu kullanıldığından, kısaca bu metot hakkında bilgi verilecektir.

### 3.3.5.1 Levenberg-Marquardt metodu

Levenberg-Marquard öğrenme algoritması, yapay sinir ağlarının eğitiminde sağlamış olduğu hız ve kararlılık nedeniyle, en sık kullanılan algoritmalarından biri olup, maksimum yakınlık konsepti üzerine kurulmuş bir en az kareler hesaplama yöntemidir (Levenberg, 1944; Marquardt, 1965). Bu algoritma, Gauss-Newton ve Steepest-Descent algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşur ve bu iki metodun kısıtlamalarını ortadan kaldırır. Gauss-Newton algoritmasının hızını, Steepest-Descent yönteminin kararlılığını birleştiren Levenberg-Marquard algoritması, ağ eğitiminde etkin olarak kullanılmaktadır.

Her bir iterasyon adımında hata yüzeyine parabolik yaklaşımlar ile yaklaşılır. Her bir adımın çözümü parabolün minimumudur. Newton metodu yardımı ile yapılacak hesaplamada  $dE^2$  Hessian matris ve  $dE$  eğim katsayıları elde edilir. Ve bu değerler kullanılarak hata sıfıra eşitlenmeye çalışılır. n iterasyon sayısını, J jakobyen matrisi temsil etmek üzere

$$E = \frac{1}{2} \sum_n e^n = \frac{1}{2} \sum_n (y^n - w^T x^n)^2 = \|e^n\|^2 \quad (3.15)$$

$$J_i = \frac{\partial e}{\partial w_i} \quad (3.16)$$

$$e(w(n+1)) = e(w(n)) + J(w(n+1)) - w(n) \quad (3.17)$$

$$E = \|e(w(n)) + J(w(n+1)) - w(n)\|^2 \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial J}{\partial w} = [e(w(n)) + J(w(n+1)) - w(n)]^T J = 0 \quad (3.19)$$

$$[e(w(n)) + (w(n+1) - w(n))]^T J = J^T [e(w(n)) + J(w(n+1) - w(n))] = 0 \quad (3.20)$$

Nöronlar arasındaki bağlantı ağırlığı ya da yeni vektör  $w_{n+1}$ ,  $I$  birim matris,  $\eta$  ise Marquardt parametresini göstermek üzere şöyle hesaplanır:

$$w_{n+1} = w_n [J^T J + \eta I]^{-1} J^T e \quad (3.21)$$

Marquardt parametresi skaler bir değer olup, bu parametre sıfır olduğunda Levenberg-Marquardt yöntemi Newton algoritması adını alır.

### 3.3.6 Performans Fonksiyonları

Bir yapay sinir ağında, öğrenme performansını etkileyen önemli hususlardan birisi de performans fonksiyonlarıdır. Doğru değişkenlerin seçilmemesi, değişkenler arasında yanlış ilişkiler kurulması, hatalı eğilimler belirlenmesi, gibi nedenler, hataya süreklilik kazandıran faktörlerdir. Diğer taraftan, kullanılan tahmin modeli tarafından açıklanmayan rasgele hatalar, tesadüfi olarak kabul edilir ve bunların doğası önceden kestirilemediği için ancak belli bir veri seti içinde gerçekleşme ihtimali öngörülebilir.

#### 3.3.6.1 Karesel ortalama hata

İleri beslemeli yapay sinir ağlarında kullanılan tipik performans fonksiyonu, karesel ortalama hata (Mean Square Error – MSE) ya da hata kareleri ortalaması olarak bilinir ve şu şekilde tanımlanır:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (3.22)$$

#### 3.3.6.2 Toplam karesel hata

Yapay sinir ağlarında sıkça kullanılan performans fonksiyonlarından biri de toplam karesel hatadır (Sum Square Error – SSE).

$$SSE = \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (3.23)$$

#### 3.3.6.3 Karesel ortalama hata karekökü

Karesel ortalama hata karekökü (Root Mean Square – RMS) yapay sinir ağlarında performans ölçümü amacıyla kullanılan bir diğer fonksiyon olup, şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2} \quad (3.24)$$

### 3.3.6.4 Belirlilik Katsayısı

Belirlilik katsayısı ya da  $R^2$  sifira yakın ise ağın ıktıları ile beklenen ıkışlar arasında ilişkinin zayıf ve yanlış sonuçlar elde edilmiş olduğu değerlendirilir. 1'e yakın bir belirlilik katsayısı ise ıkışlar arasındaki ilişkinin byklğn istatistiksel olarak göstermekte ve ağın güvenirliğini ifade etmektedir. Bu bağlamda ölüm kriteri olarak  $R^2$  nin, 1'e yakın olması beklenmektedir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2}{\sum_{i=1}^N td_i^2} \quad (3.25)$$

### 3.4 Normalizasyon

Normalizasyon yapay zekâ performansının arttırılması adına oldukça popüler bir ön işleme haline gelmiştir. Normalizasyon  $m \times n$  veri boyutuna sahip bir veri setini bir uzaydan başka bir uzaya taşır. Bu taşımada yeni maksimum ve minimum noktalar oluşur ancak veri setinin  $m \times n$  olan boyutu değişmez. Bu taşıma sonunda beklenen yapay zekânın daha performanslı bir zm sunmasıdır(Akdemir, 2009).

Yapay sinir ağlarının eğitimi, ham veri setine normalizasyon yöntemi uygulamadan çok yavaş olabilir, nk normalizasyon, giriş verilerinin transfer edilirken fonksiyonun aktif olan bölgesinden aktarılmasını sağlar. Uygulamalarda genellikle  $[0, 1]$  veya  $[-1, +1]$  aralıklarında ölçeklendirmek tavsiye edilen normalizasyon işlemlerinde amaca ve probleme göre farklı teknikler kullanılabilir. Literatürde gravitasyon, satır tabanlı gen normalizasyonu gibi pek çok veri normalizasyon çeşidi olmakla birlikte, bu çalışma kapsamında 5 tanesinden kısaca bahsedilecektir. Bunlar; Minimum-Maksimum, Medyan, Sigmoid, D\_min\_max ve Z-skor

#### 3.4.1 İstatiksel veya Z-skor normalizasyonu

İstatiksel veya Z-skor normalizasyonu, literatürde özellikle istatistiksel analizlerde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Değerlerin normalize edilebilmesi için öncelikle standart sapma ve ortalama değerlerin hesaplanması gerekir. Z-skor, verilerin ortalama değerleri ile bu değerlerin ortalamadan olan uzaklıklarına dair yeni değerler üretir (Jayalakshmi ve Santhakumaran, 2011).

$$x' = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i} \quad (3.26)$$



Bu eşitlikte;

$x'$  normalize edilmiş veriyi,

$x_i$  girdi değerini,

$\mu_i$  girdi setinin ortalamasını

$\sigma_i$  girdi setinin standart sapmasını

ifade etmektedir.

### 3.4.2 Minimum-Maksimum normalizasyonu

Özellikle literatürdeki mühendislik problemlerinde kullanılan en yaygın metot olan minimum-maksimum yöntemi, veri setinin doğrusal bir transformasyonunu sağlar (Jayalakshmi ve Santhakumaran, 2011). Bir veri setini bu yöntem ile normalize etmek için şu formülasyon kullanılır:

$$x' = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} (x_{1max} - x_{1min}) + x_{1min} \quad (3.27)$$

Eğer değerlerin 0 ile 1 aralığına indirgenmesi isteniyorsa, bu durumda şu eşitlik kullanılır.

$$x' = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3.28)$$

Bu ifadede;

$x'$  normalize edilmiş veriyi,

$x_i$  girdi değerini,

$x_{max}$  veri seti içindeki en büyük sayıyı,

$x_{1max}$  en büyük yeni sayıyı,

$x_{min}$  veri seti içindeki en küçük sayıyı,

$x_{1min}$  en küçük yeni sayıyı,

göstermektedir.

### 3.4.3 Medyan normalizasyonu

Bu yöntem her girdinin medyan değerini alarak, her örneklem için medyan normalize yöntemini kullanılır. Medyan aşırı sapmalardan etkilenmez (Jayalakshmi ve Santhakumaran, 2011).

$$x' = \frac{x_i}{\text{Medyan}(a_i)} \quad (3.29)$$

Bu eşitlikte;

$x'$  normalize edilmiş veriyi,

$x_i$  girdi değerini,

$a_i$  girdi setinin medyanını

göstermektedir.

#### 3.4.4 Sigmoid normalizasyonu

Sigmoid normalizasyonu fonksiyonu verileri 0 ile 1 veya -1 ile 1 arasında sınıflandırır. Bir kaç tane doğrusal olmayan sigmoid fonksiyon çeşidi vardır. Tanjant sigmoid fonksiyonu Süreçleri hızlandırmada iyi bir seçim olabilir (Jayalakshmi ve Santhakumaran, 2011).

$$x' = \frac{e^{xi} - e^{-xi}}{e^{xi} + e^{-xi}} \quad (3.30)$$

Bu eşitlikte;

$x'$  normalize edilmiş veriyi,

$x_i$  girdi değerini

e doğal logaritma değerini,

ifade etmektedir.

#### 3.4.5 D\_Min\_Max normalizasyonu

Bu yöntem özellikle değerlerin 0,1 ile 0,9 arasında istenmesi durumunda tercih edilmektedir.

$$x' = 0,8 * \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} + 0,1 \quad (3.31)$$

Burada;

$x'$  normalize edilen veriyi,

$x_i$  giriş değeri

$x_{min}$  veri seti içindeki en küçük sayısı

$x_{max}$  veri seti içindeki en büyük sayıyı

göstermektedir.

Bu tez çalışması kapsamında normalizasyon süreci için D\_Min\_Max fonksiyonu tercih edilmiş ve tüm veriler Çizelge 3.3’de gösterildiği gibi 0,1 ile 0,9 arasında normalize edilmiştir.

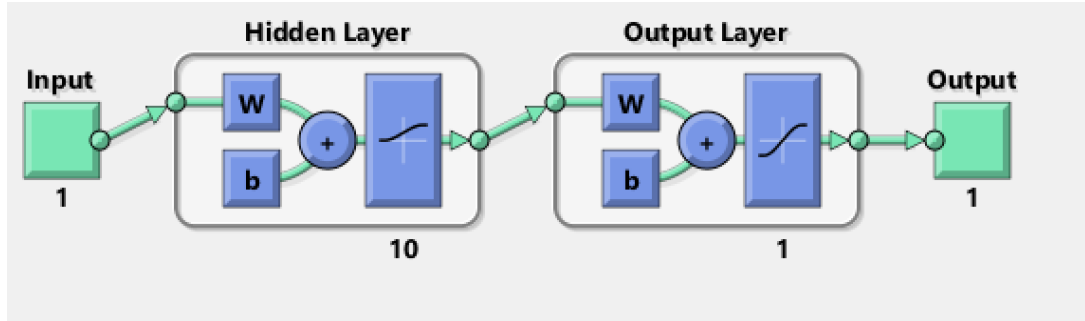
**Çizelge 3.3 :** Skor ve uygulama zamanı verilerinin normalleştirilmesi.

Gerçek Veriler			Normalleştirilmiş Veriler	
1	0.15		0.1	0.1
1	0.53		0.1	0.35982906
1.5	0.53		0.18	0.35982906
1.5	0.53		0.18	0.35982906
2	0.38		0.26	0.257264957
2	0.34		0.26	0.22991453
3	1.07		0.42	0.729059829
4	0.81		0.58	0.551282051
4	0.68		0.58	0.462393162
4	1.01		0.58	0.688034188
4	1.13		0.58	0.77008547
6	1.32		0.9	0.9

### 3.5 Yapay Sinir Ağının Uygulanması

Yapay sinir ağlarını uygulayabilmek amacıyla, yukarıda bahsedilen ve normalize edilen değerler, eğitim seti ve test seti olarak 2 ana gruba ayrılmıştır. Eğitim seti, ağın öğrenmesi ve geliştirilmesi, test seti ise modelin doğruluğunun ölçülmesi amacıyla kullanılmıştır. Eğitim ve test setlerinin hangi oranda ayrılması konusunda kesin kurallar olmasa da, literatürde genellikle tavsiye edilen 3 oran olup, bunlar

eğitim seti %90 test seti %10, eğitim seti %80 test seti %20 ve eğitim seti %70 test seti %10 Őeklinededir (Zhang ve diğ, 1998) Bu alıŐma kapsamında, verilerin %80'i eğitim için, kalan %20'si ise test için ayrılmıştır. Modelin kendisi de 2 katmanlı, 10 nörondan oluşan ‘‘ileri beslemeli geri yayılımlı ağ’’ olarak kurgulanmıştır.



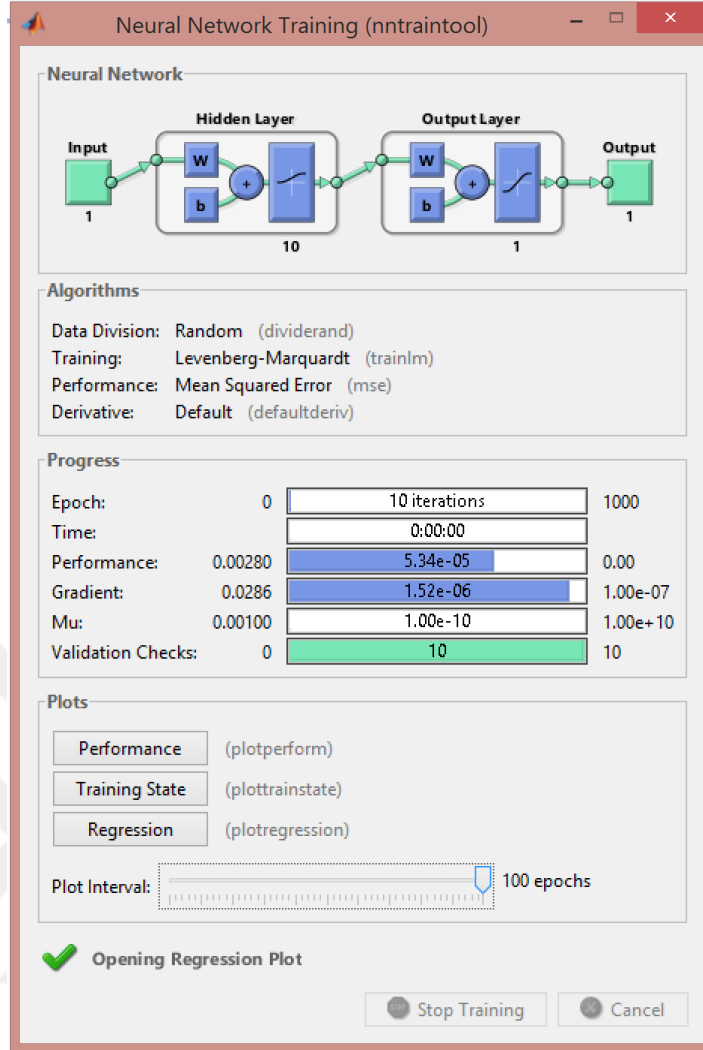
Şekil 3.15 : YSA modeli.

nceki bölümlerde anlatılan ve seçimi yapılan parametreler ile fonksiyonlar, aŐađdaki izelge 3.4'de zeti verilenlerle birlikte MATLAB'deki model için hazırlanmıştır.

Çizelge 3.4 : YSA parametreleri.

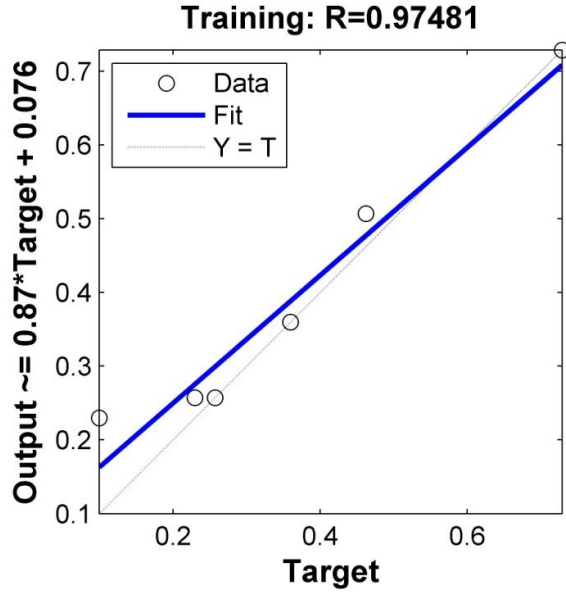
Ağ Tipi	İleri Beslemeli Geri Yayılımlı
Eğitim Fonksiyonu	Trainlm
ğrenme Fonksiyonu	Learngdm
Performans Fonksiyonu	MSE, SSE
Katman Sayısı	2
Nöron Sayısı	10
Aktivasyon Fonksiyonu	logsig

MATLAB'deki nntool kullanılarak yapılan çalışmada, Şekil 3.16'da gösterilen ayarlarla model çalıştırılmıştır.

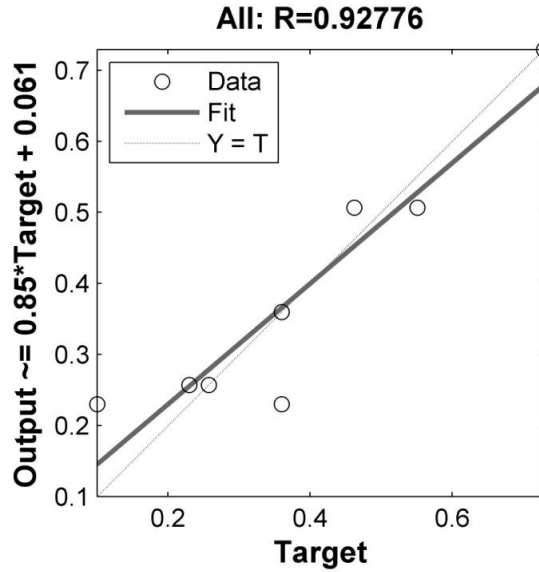


Şekil 3.16 : nntool uygulama sonucu.

Verilerin eğitimi neticesinde elde edilen R değeri Şekil 3.17’de görüldüğü gibi eğitim için 0,97481, genel ortalama için ise 0,92776 olarak elde edilmiştir ki, bu da verilerin oldukça başarılı bir şekilde eğitildiğini göstermektedir.

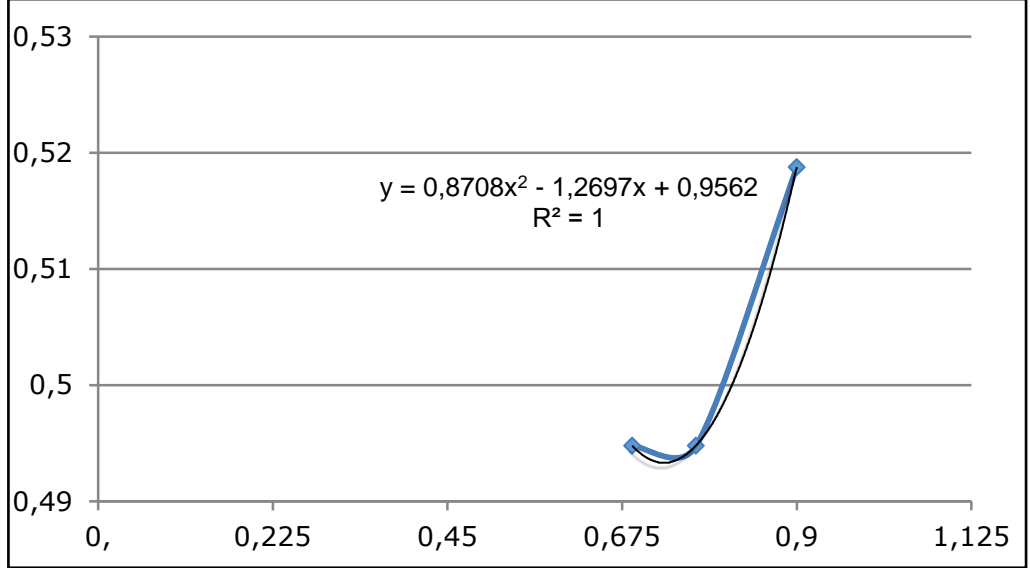


Şekil 3.17 : Ağın eğitim sonucu.



Şekil 3.18 : Ortalama R değeri ve grafiği.

Eğitim aşaması tamamlandıktan sonra, sonuçların gerçeğe yakınlığını daha iyi görebilmek adına test verileri ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu amaçla yine nntool toolbox'ı kullanılarak test verileri bu uygulamaya için simüle edilmiş ve elde edilen değerler için Şekil 3.19'da görüldüğü üzere karşılaştırılma yapılmıştır.



**Şekil 3.19** : Test ve eğitim verilerinin karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikten de görüleceği üzere  $R^2=1$  sonucu elde edilmiş, yani mükemmel bir sonuca ulaşılmıştır. Bu sonucu veren denklem ise

$$y = 0.8708x^2 - 1.2698x + 0.9562 \quad (3.32)$$

şeklinde belirlenmiştir. Bu denklemi kullanarak, bundan sonraki aşamalarda yeni modüller yani  $k_1$  katsayıları elde etmek mümkün olacaktır. Hatırlanacağı üzere Wan'ın (2014) metodunda  $R^2=0,8171$  olarak bulunmuş idi. Dolayısıyla yapay sinir ağları ile geliştirilen metot, önceki metoda göre oldukça iyi bir sonuç vermiştir.





## 4. YENİ METODUN GELİŞTİRİLMESİ

### 4.1 Giriş

Tez çalışmasının ilk aşaması olan önceki bölümde, Chipchak (1971) ve Wan (2014) tarafından geliştirilen metot, yapay sinir ağlarıyla yeniden ele alınmış ve elde edilen sonuçların bahsi geçen yazarların elde ettiği sonuçlara göre oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Geliştirilmiş bu yöntemle, uçak sistemlerinin ya da komponentlerinin skor değerlerine karşılık gelen  $k_1$ 'in hesaplanması için yeni bir formülasyon geliştirilmiş, böylece Chipchak (1971)'in geliştirdiği yöntemde olmayan yeni modüllerin daha doğru bir şekilde eklenmesi mümkün hale gelmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasını oluşturan bu bölümde,  $k_1$ 'i temsil eden uçak sistemlerine ya da komponentlerine, dizayn aşamasında task sürelerinin atanabilmesi için geliştirilecek yeni metot anlatılacaktır. Bu amaçla ilk etapta, önceki bölümde bahsedilen Maintenance Steering Group-3 metodolojisinin belirlediği temel bakım taskları için kantitatif analizler yapılarak ağırlık analizleri oluşturulacak, sonraki kısımda da oluşturulan ağırlık katsayıları ile yapay sinir ağları temelli bir metot geliştirilecektir.

### 4.2 Bakım Taskları

Tez çalışmasının ikinci bölümünde de anlatıldığı üzere, şu anda hemen hemen tüm uçak imalatçıları ve havayolları tarafından kullanılan bakım konsepti olan Maintenance Steering Group 3'e göre, bir uçağın sistemlerine, komponentlerine ya da parçalarına uygulanabilecek, temel bakım taskları bulunmaktadır. Bunlar şu şekildedir:

- **Genel Gözle Kontrol (General Visual Inspection - GVI):** Bir ünitenin amacını yerine getirip getirmediğini saptamak için yapılan gözle kontroldür. Gözle kontrol, arıza bulma bakımındır ve sayısal tolerans gerektirmemektedir.
- **Muayene (Detailed Visual Inspection - DVI):** Bir ünitenin belirli bir standarda göre kontrol edilmesidir.

- **Yağlama (Lubrication – LUB)):** Yağlayıcı madde uygulaması
- **Servis (Servicing – SRV) –** İlgili üniteye belirlenen servislerin yapılması.
- **Çalışma Kontrolü (Operational Check, OPC):** Bir ünitenin amacını yerine getirip getirmediğini anlamak için yapılan işlemdir. Bu kontrol, arıza bulma bakımındır ve sayısal tolerans gerektirmemektedir.
- **İşlevsel Kontrol (Functional Check, FUC):** Herhangi bir ünitenin bir veya daha fazla işlevinin belirtilen sınırlar içinde olduğunu saptamak için yapılan nicel kontroldür.
- **Sökme ve Takma (Removal & Installation - RAI):** Herhangi bir ünitenin belirli standartlara gelmesi için yapılan işlemdir. Ayrı ayrı tanımlanabileceği gibi, tek bir task olarak da verilebilir.
- **Atma (Discard, DS):** Ömrü dolan parçanın servisten atılmasıdır.

MSG-3 çalışmasının ardından üretilen, Bakım Gözden Geçirme Kurul Raporu (Maintenance Review Board Report - MRBR) olarak da bilinen ve Şekil 4.1’de bir örneği gösterilen Bakım Planlama Dokümanında (Maintenance Planning Document - MPD) , bir bakım taskı ile ilgili şu bilgiler bulunmaktadır:

- Task numarası
- Uygulanacağı bölge
- İşin tanımı
- Hangi sıklıkta taşkın uygulanacağı
- Taskın cinsi (servis, muayene, kontrol vb. gibi)
- Taskın referansı
- Kaç adam ile yapılacağı
- Kaç adam/saat harcanacağı



3. **Önceki Parçaların/Komponentlerin Benzerliği:** Eğer dizayn edilen uçak veya sistemler, imalatçının önceden tasarladıklarına benziyor ve bunlara uygulanan bakım taskları ile intervalleri emniyet, işletme ve ekonomik açıdan efektif bulunuyorsa, yeni uygulamam için referans olarak alınabilir.
4. **Üreticiden ya da İmalatçıdan Gelen Bilgiler:** İmalatçılar bazen test ve analiz sonuçlarından, bazense kendi tecrübesinden hareketle bakım intervallerini kendisi belirleyebilir.
5. **Bakım Çalışma Grubu:** Eğer ilgili tasklarla ilgili otorilerden gelen bir direktif yoksa ya da önceki sistemlerle benzerlik kurulamıyor veya önceki sistemlerdeki tasklardan verim alınamıyorsa, imalatçı, otorite ve havayolu şirketlerinden oluşan bakım çalışma grubu intervalleri belirleyebilir. Bu grubun çalışmaları büyük oranda tecrübi bilgiye ya da ilgili sistemlere dair ellerinde olan geçmişte toplanan pilot raporları, güvenilirlik raporları, bakım kayıtları vs. gibi verilere dayalı olabilir.

Task intervallerinin ve buna dolaylı olarak bağlı olan task sürelerinin belirlenmesi, eğer otoritelerden ya da imalatçılardan gelen zorunlu bir şey yoksa, yukarıdaki 5 nolu maddede belirtildiği üzere daha çok tecrübi bilgiye dayalıdır ve bu kapsamda çeşitli faktörler dikkate alınmaktadır. Amerika Savunma Bakanlığı tarafından yayınlanan el kitaplarından MIL-HDBK-472, bakım yapılabilirliğin dizayn aşamasında nasıl kurgulanması gerektiğine dair, tahmin yöntemlerini de içeren 4 farklı prosedür sunmakta olup, bu çalışmada dizayn aşamasında skor temelli tahmin yaklaşımı olan Procedure III referans alınmıştır.

Procedure	Study	Discipline	Goal	Methodology	Analysis Methods
I	Prediction of flight-line maintenance of airborne electronic and electro-mechanical systems	"...to predict system downtime of airborne electronic and electro-mechanical systems involving modular replacement at the flight-line."	To determine the prediction of flight-line maintenance of airborne after the design concept has been established provided fundamental data are available	Data analyses and prediction	The distribution of System Downtime
II	Prediction of the corrective maintenance time and active maintenance time	"...describes the method and techniques which are used to predict Corrective, Preventive, and Active Maintenance parameters."	Method is suitable for shipboard and shore electronic systems/equipment, mechanical equipment or systems if the functional levels can be established, however <b>ONLY</b> applicable during the final design stage	Data analyses and prediction – the table was produced based on 300 observations of maintenance activity in the US fleet and divided into nine categories including Localisation, Isolation, Disassembly, Interchange, Reassembly, Alignment, and Checkout	Equipment Repair Time (ERT) $ERT = \frac{\sum(\lambda R_p)}{\lambda} = MTTR$ Corrective Maintenance (Mc) $Mc = \frac{\sum(\lambda Mc)}{\lambda}$ Preventive Maintenance (Mp) $Mp = \frac{\sum(f Mp)}{f}$ Active Maintenance (M) $M = \frac{(\sum\lambda)Mct + (\sum f)Mpt}{\sum\lambda + \sum f}$ Maintainability Index (MI) $MI = \frac{(\sum\lambda)Mct + (\sum f)Mpt}{t}$
III	Prediction of the mean and maximum corrective maintenance downtime for ground electronic systems/equipments."	"...describes a method of performing a maintainability prediction of ground electronic systems and equipment by utilising the basic principle of random sampling."	Repair by replacement	Data analyses and prediction by using score values for three checklists, including design, facilities, and human factors and substitution of these score values into a regression equation, and the result is an estimate of downtime	$Mct = antilog(3.54651 - 0.02512A - 0.03055B - 0.01093C)$
IV	Prediction of the mean and/or total corrective and preventive maintenance downtime systems/equipments	"... based on the use of historical experience, subjective evaluation, expert judgement, and selective measurement for predicting the downtime of systems/equipment."	Task time estimation combined to predict overall system/equipment	Data analyses and prediction – the input of data is based on historical experience and expert judgement	Mean Corrective Downtime – MCDT; Mean Preventive Downtime – MPDT; Total Mean Downtime – TMDT

Şekil 4.2 : MIL-HDBK-472'ye ait prosedürlerin özet tablosu (Wan, 2014).

Procedure III'ye göre dizayn aşamasında, aşağıda verilen başlıklarda kullanılması gereken üç farklı kontrol listesi vardır:

- Dizayn Kontrol Listesi
- Tesis ve Ekipmanlar Kontrol Listesi
- İnsan Faktörleri Kontrol Listesi

Dizayn kontrol listesi, bir ürünün ya da sistemin ilk dizaynı aşamasında bakım kolaylığı açısından olması gereken özelliklerin durumunu sorgularken, tesis ve ekipmanlara dair kontrol listesi task için gerekli tesis, araç ve gereksinimler açısından bir liste sunmaktadır. İnsan faktörlerine dair kontrol listesi ise ilgili bakım uygulamasını yapabilmek için hangi seviyede insan gücüne gerek olduğunu sormaktadır.

Bu çalışma kapsamında, bir komponent ya da sisteme dizayn aşamasında tahsis edilecek taskın süresini belirleyebilmek amacıyla şu faktörler dikkate alınmıştır:

- Taskın uygulama zorluğu
- Task için gerekli adam sayısı
- Taskın uygulaması için gereken süre
- Taskı uygulamak için araç ya da ekipman ihtiyacı olup olmadığı
- Taskı uygulamak için başka taskların uygulanması ya da bir takım sistemlerin hazırlanması gibi ön hazırlığa gerek olup olmadığı

Yapay sinir ağlarını yukarıda sayılan parametreler çerçevesinde ele alabilmek için her bir parametre ayrı bir ağırlık faktörü olarak ele alınmıştır.

### **4.3 k2 Faktörü**

Bir sisteme ya da komponente uygulanacak taskın zorluk derecesi, k2 ağırlık faktörü olarak ele alınmıştır. Taskları zorluk seviyesine göre sınıflandırabilmek için teknisyenlerin yetki seviyesi referans alınarak kantitatif bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bilindiği üzere uçak üzerinde fiili olarak çalışan personelin, otoriteler tarafından belirlenmiş ve zorunlu kılınmış kurallara göre belirli sertifikalara ya da yetkilere

sahip olması gerekmektedir. Bir teknisyen için bu yetkiler A, B1, B2 ve C Kategori olarak sınıflandırılmaktadır.

#### **4.3.1 Kategori A**

Kategori A lisansı, hava aracı bakım lisansı, sahibine yetkilendirme belgesinde belirtilen sınırlamalar dâhilinde kalmak kaydıyla, sahibinin bizzat yaptığı plânlı küçük hat bakım ve basit arıza giderme işlemleri sonrasında bakım çıkış sertifikası düzenleyebilme yetkisi verir (SHY 66, 2013). Kategori A kapsamındaki basit planlı hat bakımı; hava aracının A/B/C/D bakım programları veya eşdeğer kapsamda olan bakımlar dışındaki, sistemin faal olduğunun kontrolü için gerekli olan ve kokpit personeli tarafından da yapılabilen fonksiyonel testleri içeren, haftalık veya eşdeğer bakımlar dahil olmak üzere yapılan basit kontrollerdir.

#### **4.3.2 Kategori B1**

Kategori B1 lisansı, sahibine; hava aracının yapısı, güç ünitesi, mekanik ve elektrik sistemleri üzerinde yapılmış bakım faaliyetlerinin sonrasında bakım çıkış sertifikası düzenleyebilme yetkisi verir. Faal olup olmadığının tespit edilmesi için basit testler gerektiren uçak üzerinden sökülüp takılabilen aviyonik ünitelerin değiştirilmesi de yetkisi dâhilindedir. Kategori B1 yetkisine sahip onaylayıcı personel; aviyonik sistemlerle ilgili, sistemin faal olduğunun kontrolü, hava aracı üzerindeki sistemin donanımının testi dışında basit bir test veya taşınabilir basit bir test ünitesi ile gerçekleştirilebilen işler için de bakım çıkış belgesi düzenleyebilme yetkisine sahiptir. Ancak, aviyonik sistem arızası, bir test ünitesinin kullanımı sırasında basit bir "hizmete verilebilir veya verilemez" değerlendirmesinin dışında bir karar verme durumunu gerektirecek boyutta ise, Kategori B1 yetkisine sahip onaylayıcı personelin onaylama yetkisi yoktur. SHY-66 Kategori B1 lisansı, sahibine, doğrudan A kategorisinin imtiyazlarını kullanma yetkisi verir (SHY 66, 2013).

#### **4.3.3 Kategori B2**

Kategori B2 hava aracı bakım lisansı, sahibine aşağıda belirtilen konularda bakım çıkış sertifikası düzenleyebilme ve B2 destek personeli olarak;

a) Aviyonik ve elektrik sistemleri üzerinde bakım yapma,

b) Güç sistemleri ve mekanik sistemler üzerinde, faal olup olmadıklarının tespit edilmesi amacıyla sadece basit testler gerektiren elektrik ve aviyonik işlemleri yapma, yetkisi verir. B2 lisansı, sahibine SHY-145 Yönetmeliği kapsamında düzenlenmiş yetkilendirme belgesinde belirtilen sınırlamalar dâhilinde kalmak kaydıyla, plânlı küçük hat bakım ve basit arıza giderme işlemleri sonrasında bakım çıkış sertifikası düzenleyebilme yetkisi verir. Lisans sahibinin yetkileri, yetkilendirme belgesini tanzim eden bakım kuruluşunda gerçekleştirdiği işler ve B2 lisansında bulunan hava aracı tipleri kapsamında sınırlandırılmalıdır. Kategori B2 lisansı hiçbir A alt kategorisini içermez (SHY 66, 2013).

#### 4.3.4 Kategori C

Kategori C lisansı, sahibine, hava aracının üs bakım faaliyetlerinin sonrasında bakım çıkış sertifikası düzenleyebilme yetkisi verir. Söz konusu yetki bir SHY-145 onaylı bakım kuruluşunda hava aracının bütün sistemlerini kapsar. Kategori C yetkisi, hava aracının üs bakımlarında ilgili bütün bakım işlemlerinin tamamlanmasından sonra, tek bir bakım çıkış sertifikası düzenleyerek hava aracının bakımının onaylanmasına yetki verir. a) SHY-66 Kategori C lisanslı hava aracı bakım personelinin esas görevi, gerekli bütün bakım işlemlerinin tamamlanmış olduğunu ve "bakım çıkış sertifikası" düzenlenmeden önce B1 ve B2 kategorisinde lisanslı hava aracı bakım personelinin onaylarının olup olmadığını kontrol etmektir. b) SHY-66 hava aracı bakım lisansında ve yetkilendirme belgesinde kategori C ile beraber kategori B1 veya B2 yetkileri de var ise, üs bakım sırasında, hava aracı bakım personeli bu yetkilerini de kullanabilir (SHY 66, 2013).

A kategori küçük bakımlar için, C kategori de bakım çıkış sertifikasyonu için kullanıldığından, bu çalışmada kullanılacak  $k_2$  faktörü için B1 ve B2 kategori lisansları dikkate alınmıştır. Bu duruma göre, teknisyenin bir taskı uygulayabilmesi için B1 ya da B2 tipinde lisans sertifikası ve ilgili uçak tipinde eğitim almış olması gerekmektedir. Ancak ilgili havayoluyla gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, teknisyen yetkileri referans alınarak zorluk seviyelerine göre bakım taskları şu şekilde sınıflandırılmıştır

- Lisans ve tip eğitimi gerektirenler
- Lisans ve task eğitimi gerektirenler

- Tip eğitiminin başka uçak için alınmış olması durumunda lisans ve task eğitimi gerektirenler
- Sadece tip eğitimi gerektirenler
- Sadece task eğitimi gerektirenler

#### 4.3.5 Task sınıflandırma

MSG-3'ün belirlediği bakım tasklarının bir bölümü uygulama anlamında diğerlerine göre oldukça kolay olup; servis, temizlik, drenaj, örnek alma ve bazı yağlama ile söküm/takım taskları bu kategoriden sayılabilir. Bu amaçla yapılan sınıflandırma Şekil 4.3'de verilmiştir.

<b>A - GENEL BAKIM PRATİKLERİ</b>
Emniyet tedbirleri Uçak bakımlarında kullanılan dokümanlar ve kullanımları Uçaklarda kullanılan malzemelerin tespit edilmesi Statik elektrik ve ESD'nin tanıtımı Emniyet yapma(lockwire) Uçak kontrol kablolarının genel tanıtımı ve kontrol işlemleri Uçaklarda kullanılan sealler, söküm ve takım işlemleri Hidrolik boru ve komponentlerinin tanımlanması, sökümü, takımı Bondingler
<b>B- ULAŞIM KAPAKLARI</b>
Zone ve ulaşım kapaklarının yerinin tespit edilmesi Ulaşım kapaklarını açma ve kapama prosedürleri Yakıt tankı ulaşım kapakları açma ve kapama prosedürleri Motor cowling'lerini açma ve kapama prosedürleri
<b>C- SERVİS İŞLEMLERİ</b>
Yağlama işlemleri Kabloların yağlanması işlemleri Hidrolik sistem, yağ, motor, APU, starter ve MLG/NLG servisleri Filtre değişimleri
<b>D- KABİN İŞLEMLERİ</b>
Kabin panellerini açma ve kapatma prosedürleri Başüstü panellerini açma ve kapatma prosedürleri Uçak mutfaklarının sökümü ve takımı Koltukların sökümü ve takımı Halıların sökümü ve takımı
<b>E- TEMİZLİK İŞLEMLERİ</b>
Su tankı sistem temizliği ve dezenfektasyon Atık su temizliği Kokpit ve kabin iç temizliği

Şekil 4.3 : Tasklar için yapılan genel sınıflandırma.



Operasyonel kontrol, gözle kontrol, değiştirme, atma ve bir takım söküm/takım taskları ile yağlama taskları, uygulayıcının niteliği anlamında daha fazla kalifikasyon gerektirmekte olup, diğer kategoriden ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir.

İçeriği en kompleks olan tasklar detaylı gözle kontrol, fonksiyonel kontrol, ayarlama ve kritik komponentlerin ya da sistemlerin söküm/takım ya da yağlamasına dair olanlardır.

Bu duruma göre uygulanması en kolay tasklar 1.grup, daha zor olanlar 2.grup, en zor olanlar ise 3.grup olacak şekilde sınıflandırılacaktır.

1.Gruba giren tasklar, uygulama anlamında kolay olduğu için bu taskları uygulamak için task eğitiminin yeterli olacağı kabulü yapılmıştır.

2.Gruba giren taskları uygulamak, ilk gruba göre daha zor olduğundan, bu gruba giren taskları uygulayabilmesi için teknisyenin ya tip eğitimine ya da hem lisans, hem de task eğitimine sahip olması gerektiği değerlendirilmiştir.

Uygulaması en zor tasklar 3.grup ise teknisyenlerin lisans ve tip eğitimine sahip olması gerekliliği düşünölmüştür. Eğer teknisyen ilgili uçak tipinde değil de, başka uçak tipinde eğitim almışsa, bu durumda lisans ve task eğitiminin yeterli olacağı kabulü yapılmıştır.

Sökme/takma taskları ile yağlama taskları, uygulandıkları komponente ya da sisteme göre farklı seviyede zorluk derecesine sahip olması gerektiğinden, bu tasklar da kendi içinde 3 gruba ayrılmıştır. Zorluk derecesi olan yağlama taskları en kolaydan zora doğru olmak üzere LUB1, LUB2 ve LUB3 olarak; benzer şekilde sökme/takma taskları da RAI1, RAI2 ve RAI3 olarak sınıflandırılmıştır.

Bu nihai duruma göre taskların temel olarak 3 kategoride gruplandırılması Çizelge 4.1'de olduğu gibi gerçekleştirilmiştir.

**Çizelge 4.1 : Tasklar ve gruplandırma.**

<b>Kısaltma</b>	<b>Task İsmi</b>	<b>Grup</b>
SRV	Servicing	1
LUB	Lubrication	
RAI1	Removal&Installation	
SMP	Sampling	
DRN	Draining	
CLN	Cleaning	
RST	Remove for Restoration	2
REP	Replacement	
LUB	Lubrication	
RAI2	Removal&Installation	
DIS	Discard	
CGK	Check	
GVI	General Visual Inspection	
OPC	Operational Check	
ADJ	Adjustment	3
LUB3	Lubrication	
RAI3	Removal&Installation	
DVI	Detailed Visual Inspection	
FUC	Functional Check	

Taskların zorluk derecelerine göre gruplandırma sürecinden sonra, bir ticari havayolunun Boeing filosuna efektif olan tasklar bu tez kapsamında detaylı olarak incelenmiş ve task bazında Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6’da olduğu gibi gruplara ayrılmıştır. Task numaraları ilgili havayolunun özel bilgilerini koruyacak şekilde kodlanmış olup, havayoluyla ilgili spesifik bilgiler içeren kısımlar çıkartılmıştır.

SISTEM/KOMPONENT	TASK NO	TANIM	GRUP
MLG/NLG LUB.	XY536	LEFT MAIN LANDING GEAR FWD TRUNNION PIN LUBRICATIO	1
MLG/NLG LUB.	XY537	RGHT MAIN LANDING GEAR FWD TRUNNION PIN LUBRICATIO	1
MLG CLEANING AND CORR. INSP.	XY544	LEFT MAIN GEAR SHOCK STRUT CLEANING	1
MLG CLEANING AND CORR. INSP.	XY545	RIGHT MAIN GEAR SHOCK STRUT CLEANING	1
MLG CLEANING AND CORR. INSP.	XY546	CLEAN NOSE GEAR SHOCK STRUT	1
MLG/NLG LUB.	XY547	LH MLG FORWARD TRUNNION PIN LUBRICATION	1
MLG/NLG LUB.	XY548	RH MLG FORWARD TRUNNION PIN LUBRICATION	1
MLG/NLG LUB.	XY553	L MLG AFT FWD TRNNION PIN ASSY BEARING LUBRICATION	1
MLG/NLG LUB.	XY554	R MLG AFT FWD TRUNNION PIN ASSY BEARING LUBRICATION	1
CABIN INTERIOR(CLEANING)	XY563	REPLACEMENT OF THE PHOTOLUMINESCENT INSERT	1
CABIN INTERIOR(CLEANING)	XY568	VIS.CHK CLEANING OF PHOTOLUMIN.FLOOR PATH MARKING	1
WASTE SYSTEM INSP.&OPC.	XY607	SERVICE TOILET WASTE LINES	1
WASTE SYSTEM INSP.&OPC.	XY608	CLEAN OR REPLACE VACUUM BLOWER FILTER	1
WASTE SYSTEM INSP.&OPC.	XY609	WASTE TANK WATER SEPERATOR-REPLACE	1
WASTE SYSTEM INSP.&OPC.	XY610	FWD LAVATORY POTABLE WATER DRAIN VALVE-OPER CHECK	1
WASTE SYSTEM INSP.&OPC.	XY611	FWD LAVATORY POTABLE WATER DRAIN VALVE-OPER CHECK	1
WASTE SYSTEM INSP.&OPC.	XY612	TOILET WASTE LINES - SERVICING	1
WASTE SYSTEM INSP.&OPC.	XY613	TOILET WASTE LINES - SERVICING	1
WASTE SYSTEM INSP.&OPC.	XY614	WASTE TANK QUANTITY INDICATING SYSTEM-OPER CHECK	1
WASTE SYSTEM INSP.&OPC.	XY615	BLEED AIR IN-LINE FILTER-REPLACE	1
WATER SYSTEM FILTER REPL.	XY616	POTABLE WATER SYSTEM DISINFECTION	1
WASTE SYSTEM INSP.&OPC.	XY620	REMOVE AND CLEAN THE TOILET WASTE TANK RINSE FILTR	1
CABIN DOOR LUB.	XY649	FORWARD ENTRY DOOR-LUBRICATION	1
CABIN DOOR LUB.	XY650	FORWARD SERVICE DOOR-LUBRICATION	1
CABIN DOOR LUB.	XY651	AFT ENTRY DOOR-LUBRICATION	1
CABIN DOOR LUB.	XY652	AFT SERVICE DOOR-LUBRICATION	1

Şekil 4.4 : 1.Gruba giren taskların sınıflandırılması.

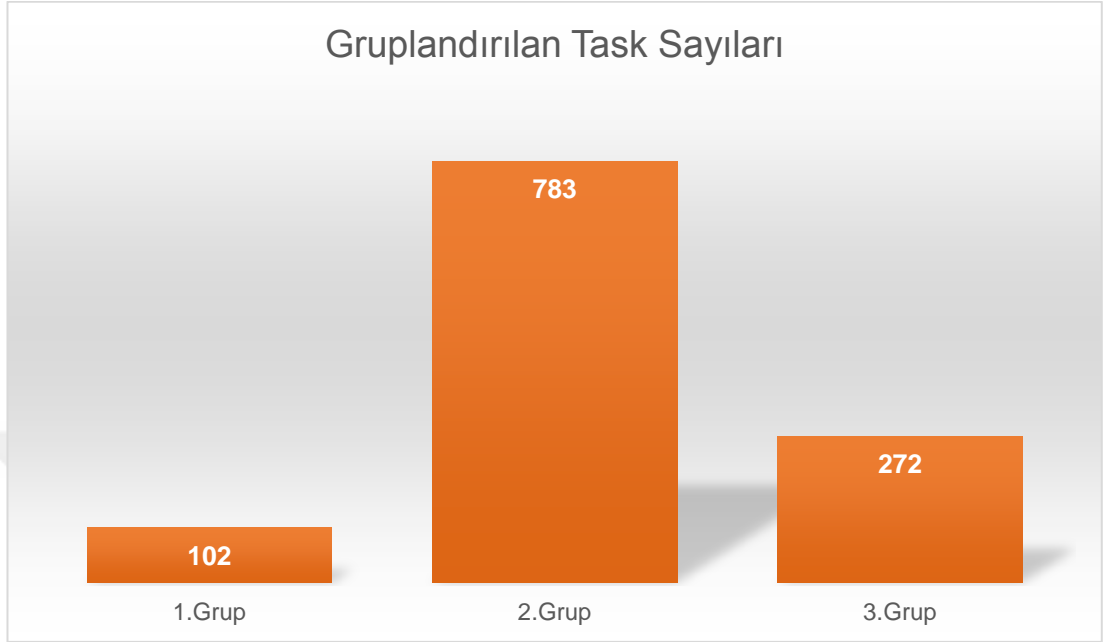
SİSTEM/KOMPONENT	TASK NO	TANIM	GRUP
AVIONIC(ENGINE)	XY1	ENGINE HARNESS - GENERAL VIS. INSPECTION	2
AVIONIC(ENGINE)	XY2	ENGINE HARNESS - GENERAL VIS. INSPECTION	2
PYLON #1 INSP.	XY3	BONDING STRAPS-LEFT ENGINE-GENERAL VIS	2
PYLON #2 INSP.	XY4	BONDING STRAPS-RIGHT ENGINE-GENERAL VIS	2
AVIONIC(HIRF)	XY5	DVI OF HIRF/L SENSITIVE CONN.OUTSIDE THE PRES-	2
AVIONIC(HIRF)	XY6	DVI OF HIRF/L SENS.CON.OUTSIDE THE PRESS-RIGHT	2
AVIONIC(HIRF)	XY7	GVI-HIRF/L SENSITIVE WIRE RUNS OUTSIDE PRES.-	2
AVIONIC(HIRF)	XY8	GVI-HIRF/L SENSITIVE WIRE RUNS OUTSIDE PRESS-	2
AVIONIC(HIRF)	XY9	FUNC.-H/L SENS. CONNECTORS OUTSIDE THE PRESS.-	2
AVIONIC(HIRF)	XY10	FUNC.-H/L SENS. CONNECTORS OUTSIDE THE PRES.-	2
AVIONIC(HIRF)	XY11	DVI-HIRF/L SENS. PIG TAILS OUTSIDE THE PRESS.-	2
AVIONIC(HIRF)	XY12	DVI-HIRF/L SENS. PIG TAILS OUTSIDE THE PRES.-	2
BONDING INSP.	XY13	GVI OF HIRF/L SENSITIVE BONDING STRAPS	2
AVIONIC(ENGINE)	XY14	CONNECTOR TIGHTNESS- ENGINE-EXT. DET. VIS INSP	2
AVIONIC(ENGINE)	XY15	CONNECTOR TIGHTNESS- ENGINE-EXT. DET. VIS INSP	2
AVIONIC(HIRF)	XY16	DVI OF HIRF/L SENS.CONNECTORS INSIDE PRES.	2
AVIONIC(WIRE DVI)	XY17	FLIGHT DECK SECURITY DOOR WIRING	2
AVIONIC(HIRF)	XY18	GVI OF HIRF/L SENS.WIRE RUNSINSIDE PRESS.VSSL-	2
AVIONIC(HIRF)	XY19	FUC OF H/L SENS.CONN.INSIDEPRESSURE VESSEL-	2
AVIONIC(HIRF)	XY20	DVI OF HIRF/L SENS.PIG TAILS INSIDE PRESS.VSSL-E/E	2
AVIONIC(HIRF)	XY21	FUNC.HIRF/L SENS. CONNECTORS INSIDE THE	2
AVIONIC(CLEAN)	XY22	CLEANING OF ABOVE&OUTBOARD OF NOSE WHEEL	2
AVIONIC(CLEAN)	XY23	CLEAN AREA ABOVE CEILING&SIDEWALL FWD PASS	2
AVIONIC(WIRE DVI)	XY24	DVI OF THE EXPOSED EWIS IN THE FLIGHT	2
AVIONIC(CLEAN)	XY25	CLEAN ABOVE CEILING,SIDEWALLS,RETURN AIR GRILL	2
AVIONIC(CLEAN)	XY26	CLEANING OF BEHIND THE E/E RACK IN AIRSTAIR	2

Şekil 4.5 : 2.Gruba giren taskların sınıflandırılması.

SİSTEM/KOMPONENT	TASK NO	TANIM	GRUP
PRIOR CARDS	XY505	CLEAN NOSE GEAR SHOCK STRUT	3
MLG/NLG SERVICING	XY509	LEFT MAIN LANDING GEAR - SERVICING	3
MLG/NLG SERVICING	XY510	RIGHT MAIN LANDING GEAR - SERVICING	3
MLG/NLG SERVICING	XY511	NOSE GEAR SHOCK STRUT-SERVICING	3
PRIOR CARDS	XY513	NOSE LANDING GEAR-DETAIL VISUAL INSPECTION	3
CHP.32 OPC.	XY516	LANDING GEAR TRANSFER VALVE-OPERATIONAL	3
PRIOR CARDS OPC	XY520	PARKING BRAKE BLEED DOWN-FUNCTIONAL CHECK	3
PRIOR CARDS	XY521	NOSE WHEEL STEERING CONTROL PATH-DET VIS INSP	3
PRIOR CARDS	XY522	STEERING ACTUATOR ROD ENDS-DETAIL VIS	3
PRIOR CARDS	XY523	EXCESSIVE WEAR INSPECTION OF NLG STEERING	3
MLG/NLG REM. AND SEND TO	XY524	RESTORE THE LEFT MLG ASSY	3
MLG/NLG REM. AND SEND TO	XY525	RESTORE THE RIGHT MLG ASSY	3
MLG/NLG REM. AND SEND TO	XY526	RESTORE THE NOSE LANDING GEAR ASSY	3
PRIOR CARDS OPC	XY527	OPERATIONALLY CHECK THE BRAKE ACC.ISOLATION	3
AVIONIC(HYD. TEST)	XY538	PSEU OPERATIONAL CHECK	3
CHP.32 OPC.	XY539	PERFORM AN OPER.CHECK OF THE ALTERNATE BRAKE	3
PRIOR CARDS	XY543	DETAILED INS. OF NOSE LANDING GEAR AXLE	3
AVIONIC(PRIOR)	XY557	EMERGENCY LIGHTING - BATTERY PACK RESTRATION	3
AVIONIC(PRIOR)	XY558	EMERGENCY LIGHTING - BATTERY PACK RESTRATION	3
AVIONIC(TESTS)	XY559	FUC-EMERGENCY BAT.PACK CAPACITY	3
AVIONIC(TESTS)	XY560	FUC-EMERGENCY BAT.PACK CAPACITY	3
AVIONIC(PRIOR)	XY565	FUC OF PHOTOLUMINESCENT FLOOR PROXIMITY	3
AVIONIC(ADR TESTS)	XY569	FUNCTIONAL LEAK CHECK OF CAPTAIN'S PITOT	3
AVIONIC(ADR TESTS)	XY570	FUNCTIONAL LEAK CHECK OF CAPTAIN'S PITOT	3
AVIONIC(PRIOR)	XY571	PITOT PROBES-DETAIL VISUAL INSPECTION	3
AVIONIC(PRIOR)	XY573	PITOT SYSTEMS-DETAIL VIS INSP FOR MOISTURE	3

Şekil 4.6 : 3.Gruba giren taskların sınıflandırılması.

Çalışma kapsamında toplamda 1157 adet task incelenmiş olup, Şekil 4.7’de görüldüğü gibi taskların yaklaşık %68’i (783 adet) 2.grup olarak sınıflandırılmış, geri kalanlar da 1. ve 3.gruba dâhil edilmiştir.



Şekil 4.7 : Gruplandırılan taskların dağılımı.

Yapılan kantitatif analizlerin sonucunda  $k_2$  katsayısı için özet durum Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Buna göre; taskı uygulamak için task eğitimi yeterliyse  $k_2=1$ , lisans ve task eğitimi gerekiyorsa ya da tip eğitimi yeterliyse  $k_2=2$ , lisans ve tip eğitimi gerekiyorsa ya da başka uçakta tip eğitimi olduğu için lisans ve task eğitimi gerekiyorsa,  $k_2=3$  değerini olacaktır.

Çizelge 4.2 :  $k_2$  ağırlık katsayısı.

Yetkili Teknisyen				
$k_2$	Kategori	Lisans	Tip	Task Eğitimi
1				✓
2	B1/B2	✓		✓
			✓	
3	B1/B2	✓	✓	
	B1/B2	✓		✓

#### 4.4 k3 Ağırlık faktörü

k3 ağırlık faktörü, taskı uygulayacak personel sayısı olarak değerlendirilmiştir. İlgili taskı sadece 1 personelin uygulaması durumunda  $k_3=1$ , 2 personelin uygulaması durumunda, benzer şekilde  $k_3=2$  değerini alacaktır.

Çizelge 4.3 :  $k_3$  ağırlık katsayısı.

Personel sayısı	$k_3$
1	1
2	2
i	i

#### 4.5 k4 Ağırlık faktörü

Bir taskı uygulamak için herhangi bir ekipman, araç cihaz vs.'nin gerekmesi durumu  $k_4$  ağırlık katsayısı ile tanımlanmıştır. Ekipman ya da cihazın şart olduğu durumda  $k_4=1$ , aksi halde  $k_4=0$  olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4.4 :  $k_4$  ağırlık katsayısı.

Ekipman/Cihaz Gerekliliği	$k_4$
Var	1
Yok	0

#### 4.6 k5 Ağırlık faktörü

Özellikle iniş takımları ve flaplar gibi hidromekanik sistemlerle, güç sistemleri ve bazı kompleks sistemlere ya da komponentlere ait taskların uygulanabilmesi için bir takım ön gereksinimler mevcuttur. Mesela iniş takımlarının fonksiyonel kontrollerini yapabilmek için uçağın jack'e (özel bir aparata) alınması gerekir ki, bu da bakım

süresini uzatan bir faktördür. Benzer şekilde kanatta bir takım bakım faaliyetlerini yürütebilmek için flapların ya da slatların kapatılması istenebilir, bu da doğrudan adam/saati artıran, dolayısıyla task süresini uzatan bir durumdur. Dolayısıyla, bu durumu dikkate alarak, bir taskın uygulanması için ön gereksinimi olup olmadığına dair durum çalışmaya katılmış ve  $k_5$  ile gösterilmiştir (Çizelge 4.5). Ön gereksinim olması durumunda  $k_5=1$ , aksi durumda ise  $k_5=0$  olacaktır.

**Çizelge 4.5 :  $k_5$  ağırlık katsayısı.**

Task İçin Öngereksinim	$K_5$
Evet	1
Hayır	0

#### 4.7 $k_6$ Ağırlık faktörü

Çalışmanın nihai amacı olan  $k_6$  ise, o taskı uygulamak için gerekli olan adam/saati ifade etmektedir.

Tüm ağırlık faktörlerinin özet durumu Çizelge 4.6'da şu şekilde verilmektedir:

**Çizelge 4.6 : Tüm ağırlık katsayıları.**

Katsayı	Açıklaması
$k_1$	Uçak komponentleri/sistemleri
$k_2$	Tasklar
$k_3$	Kişi sayısı
$k_4$	Ekipman gereksinimi
$k_5$	Ön gereksinim
$k_6$	Adam/Saat

#### 4.8 Yeni Modüllerin Eklenmesi

$k_1$  ağırlık katsayısının temsil ettiği jenerik modüller ya da uçak komponentleri veya sistemleri için 3.bölümde bir (3.1) formülasyonu geliştirilmiş, bu sayede yeni modülleri eklemenin mümkün olacağı belirtilmişti. Chipchak'in (1971) modül listesinde olmayan, ancak bu çalışma kapsamında ihtiyaç duyulan yeni modüller ve bunlara karşılık gelen skor değerleri, task süresinin bilinmesi durumunda oldukça



kolaydır. (3.1) formülasyonu, Wan'ın (2014) MIL-HDBK-4722yi kullanarak geliştirdiği yöntem üzerine kurulu olduğundan, bu aşamada task süreleri için Wan'ın (2014) yaklaşımı referans alınacaktır. Modüllerin skor değerleri için tam sayı kullanılması gerektiğinden, ondalık sayılar en yakın tam sayıya yuvarlatılacaktır. Çizelge 4.7'de bu doğrultuda geliştirilen bazı modüller ve bunların skor değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.7 : Yeni modüller.**

Modül	Adam/Saat	Eşitlik	Değer	Skor
İniş Takımları	3,63	$y = 0.8708x^2 - 1.2698x + 0.9562$	7,8	8
Hidromekanik sistemler	3,58	$y = 0.8708x^2 - 1.2698x + 0.9562$	7,56	8
Pitot	1,88	$y = 0.8708x^2 - 1.2698x + 0.9562$	1,64	2
Statik portlar	2,0	$y = 0.8708x^2 - 1.2698x + 0.9562$	1,89	2

#### 4.9 Yapay Sinir Ağı Metodunun Uygulanması

Yapay sinir ağları yöntemini uygulayabilmek için öncelikle veri setlerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu amaçla, havayolu filosunun C bakımında uygulanan bazı tasklar ve bunlarla ilgili önceki bölümde bahsedilen katsayılardan oluşan bir tablo oluşturulmuş ve Şekil 4.8'deki gibi hazırlanmıştır.

Normalizasyon için önceki bölümde olduğu gibi yine şu eşitlik kullanılmıştır:

$$x' = 0,8 * \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} + 0,1 \quad (4.1)$$

**Çizelge 4.7 :** Komponent ve sistemler için ağırlık katsayılarının dağılımı.

	k1	k2	k3	k4	k5	k6
MOTOR	10	2	1	0	0	0,5
	10	2	2	0	0	3,67
	10	3	5	1	1	20,25
	10	3	5	1	1	36,33
	10	1	1	1	0	0,42
MLG	8	1	2	1	0	1,5
	8	3	2	1	0	1
	8	2	1	1	0	0,58
	8	2	1	0	0	0,42
	8	3	5	1	1	6,75
NLG	8	1	2	1	0	1,17
	8	3	2	1	0	2,42
	8	3	1	1	0	0,33
	8	2	1	0	0	0,42
	8	3	5	1	1	6
AILERON	8	1	2	1	0	0,58
	8	2	1	0	0	0,42
	8	3	3	1	0	0,67
	8	2	1	0	0	0,25
STABILİZER	8	1	1	1	0	0,3
	8	3	2	1	0	1,33
	8	3	1	1	0	0,58
	8	3	3	1	0	1,25
IŞIKLAR	1	2	1	0	0	0,25
	1	3	1	0	0	0,42
	1	1	1	0	0	0,67
	1	3	1	0	0	2,17
PİTOT	2	3	2	1	0	1,33
	2	3	1	1	0	0,25
STATİK PORTLAR	2	3	2	1	0	1,33
	2	2	1	0	0	0,5
OKSİJEN SİSTEMİ	2	3	2	1	0	3
	2	3	1	0	0	3
YOLCU EMNİYET KEMERLERİ	4	2	4	0	0	3,5
	4	2	4	0	0	3,3
HABERLEŞME SİSTEMİ	2	3	1	1	0	1
	2	3	1	1	0	0,75
PNÖMATİK VALF	3	3	2	1	0	2,42
	3	3	2	0	0	2,5
ATIK SİSTEMLERİ	3	1	1	1	0	2,75
	3	1	2	1	0	3,17
	3	1	2	0	0	3
NİTROJEN SİSTEMLERİ	4	2	1	0	0	0,75
	4	3	2	0	0	2,75
APU	10	3	1	1	0	0,58
	10	3	1	0	0	1,08
	10	2	1	1	0	0,75
	10	2	1	0	0	0,42

Çizelge 4.8 : Normalize edilmiş veriler.

k1	k2	k3	k4	k5	k6
0,9	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1
0,9	0,5	0,3	0,1	0,1	0,170779
0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,540971
0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
0,9	0,1	0,1	0,9	0,1	0,098214
0,72222222	0,1	0,3	0,9	0,1	0,122328
0,72222222	0,9	0,3	0,9	0,1	0,111164
0,72222222	0,5	0,1	0,9	0,1	0,101786
0,72222222	0,5	0,1	0,1	0,1	0,098214
0,72222222	0,9	0,9	0,9	0,9	0,239548
0,72222222	0,1	0,3	0,9	0,1	0,11496
0,72222222	0,9	0,3	0,9	0,1	0,142869
0,72222222	0,9	0,1	0,9	0,1	0,096204
0,72222222	0,5	0,1	0,1	0,1	0,098214
0,72222222	0,9	0,9	0,9	0,9	0,222802
0,72222222	0,1	0,3	0,9	0,1	0,101786
0,72222222	0,5	0,1	0,1	0,1	0,098214
0,72222222	0,9	0,5	0,9	0,1	0,103796
0,72222222	0,5	0,1	0,1	0,1	0,094418
0,72222222	0,1	0,1	0,9	0,1	0,095534
0,72222222	0,9	0,3	0,9	0,1	0,118532
0,72222222	0,9	0,1	0,9	0,1	0,101786
0,72222222	0,9	0,5	0,9	0,1	0,116746
0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,094418
0,1	0,9	0,1	0,1	0,1	0,098214
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,103796
0,1	0,9	0,1	0,1	0,1	0,137287
0,18888889	0,9	0,3	0,9	0,1	0,118532
0,18888889	0,9	0,1	0,9	0,1	0,094418
0,18888889	0,9	0,3	0,9	0,1	0,118532
0,18888889	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1
0,18888889	0,9	0,3	0,9	0,1	0,155819
0,18888889	0,9	0,1	0,1	0,1	0,155819
0,36666667	0,5	0,7	0,1	0,1	0,166983
0,36666667	0,5	0,7	0,1	0,1	0,162517
0,18888889	0,9	0,1	0,9	0,1	0,111164
0,18888889	0,9	0,1	0,9	0,1	0,105582
0,27777778	0,9	0,3	0,9	0,1	0,142869
0,27777778	0,9	0,3	0,1	0,1	0,144655
0,27777778	0,1	0,1	0,9	0,1	0,150237
0,27777778	0,1	0,3	0,9	0,1	0,159615
0,27777778	0,1	0,3	0,1	0,1	0,155819
0,36666667	0,5	0,1	0,1	0,1	0,105582
0,36666667	0,9	0,3	0,1	0,1	0,150237
0,9	0,9	0,1	0,9	0,1	0,101786
0,9	0,9	0,1	0,1	0,1	0,11295
0,9	0,5	0,1	0,9	0,1	0,105582
0,9	0,5	0,1	0,1	0,1	0,098214

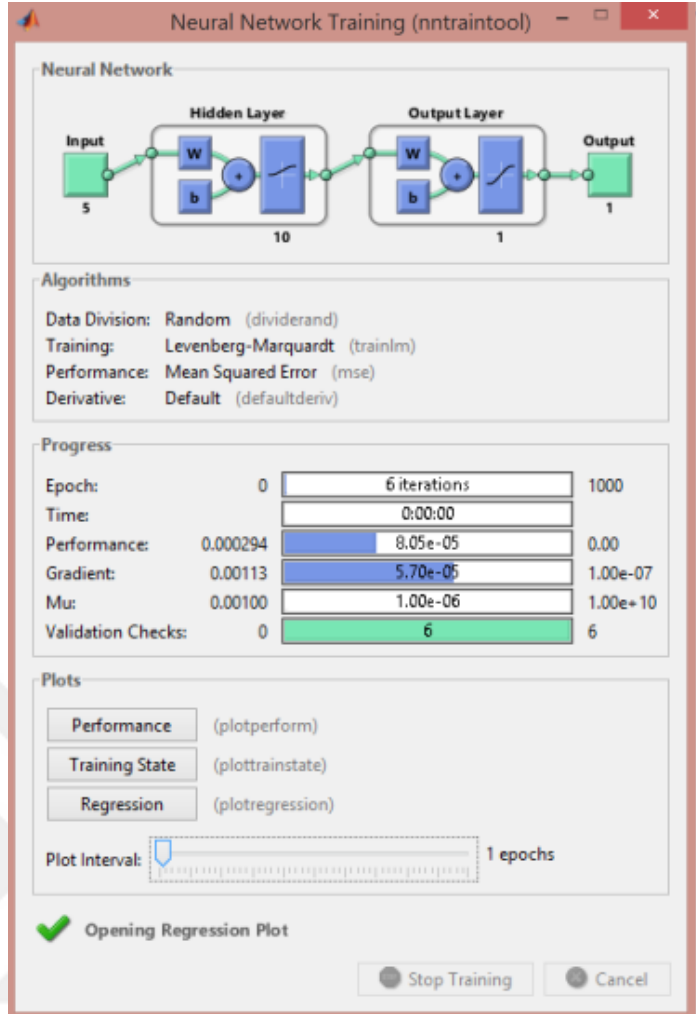
#### 4.9.2 Ağ Mimarisi

Yapay sinir ağı için önceki bölümde olduğu gibi ileri beslemeli geri yayımlı bir mimari tercih edilmiştir. Eğitim fonksiyonu olarak Levenberg-Marquardt metodu, aktivasyon fonksiyonu olarak ise yine önceki kısımda olduğu gibi logsig fonksiyonu seçilmiştir. Performans kriteri olarak da ortalama kareler hatası (MSE) tercih edilmiştir.

**Çizelge 4.9 : YSA parametreleri.**

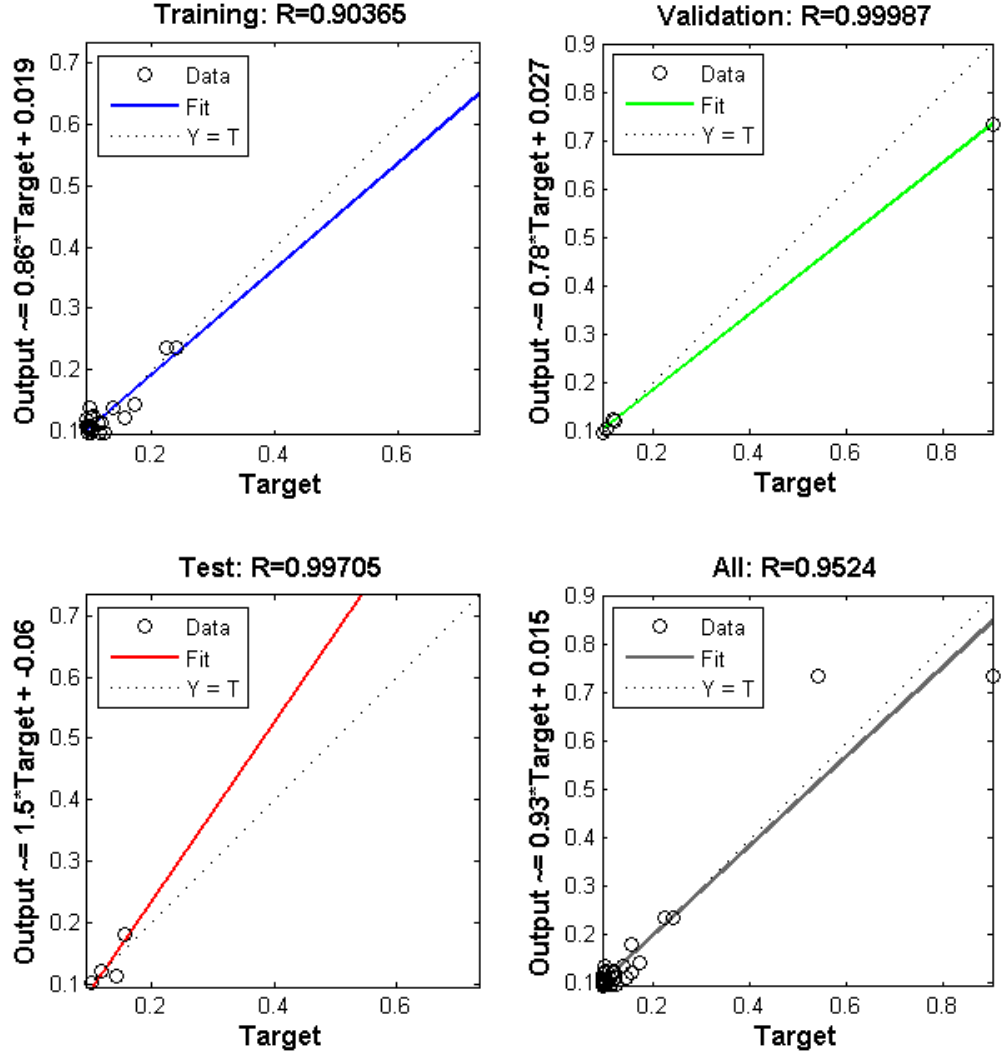
<b>Ağ Tipi</b>	<b>İleri Beslemeli Geri Yayımlı</b>
Eğitim Fonksiyonu	Trainlm
Öğrenme Fonksiyonu	Learngdm
Performans Fonksiyonu	MSE
Katman Sayısı	2
Nöron Sayısı	10
Aktivasyon Fonksiyonu	Logsig

Yukarıda verilen parametreler, uygulama için seçilen ve Şekil 4.10’da gösterilen diğer parametrelerle birlikte MATLAB’deki yapay sinir ağı “nntool” uygulaması kullanılarak çalıştırılmıştır. Buradan da görüleceği üzere 6 iterasyonda işlem tamamlanmış ve bu iterasyonlar sonunda performans 0,000294 olarak elde edilmiştir ki, bu da verilen limitler içinde yer almaktadır.



Şekil 4.8 : Matlab nntool arayüzü.

Şekil 4.11’de verilen yapay sinir ağlarının eğitim çıktularından görüleceği gibi R değerlerinin hepsi de 1’e oldukça yakın çıkmıştır. Eğitim için 0,90365 iken, validasyon ve test süreçlerinde bu oran 0,99’a kadar çıkmıştır. 0,9524 olarak elde edilen tüm sürecin ortalaması, verilerin başarılı bir şekilde eğitime tabi tutulduğunu göstermektedir.

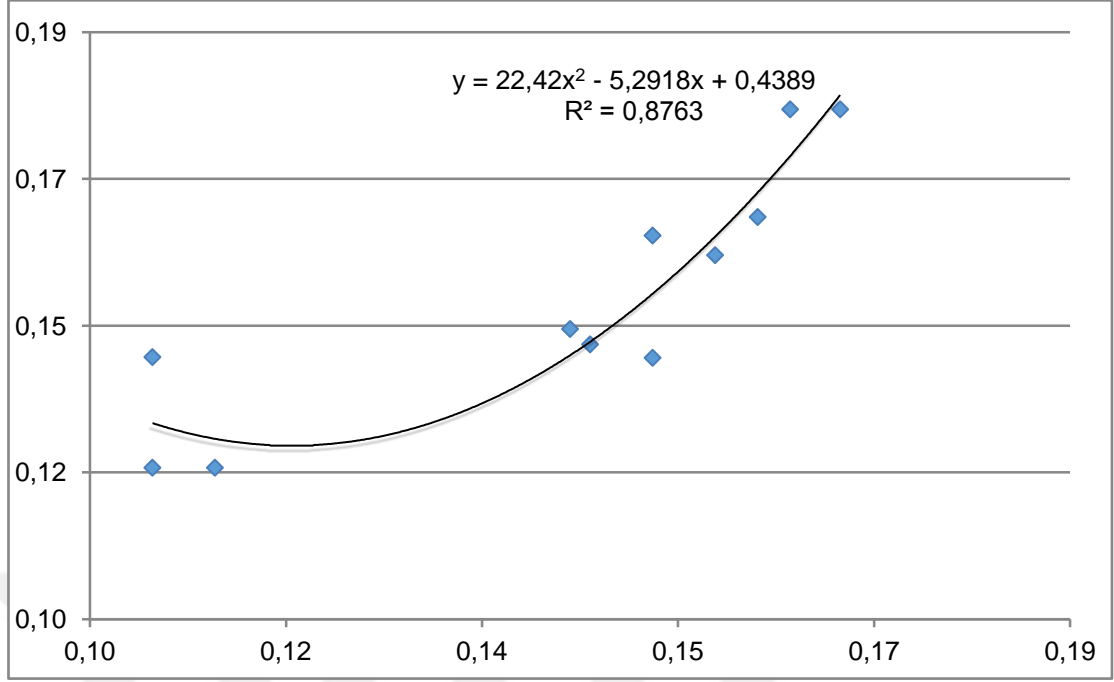


Şekil 4.9 : Eğitim, test ve validasyon için R değerleri.

Sonuçların ne kadar gerçekçi olduğunu görmek için ayrılan %20'lik test seti ile sonuçlar karşılaştırıldığında, Şekil 4.12'den de görüleceği üzere  $R^2=0,8763$  olarak elde edilmiştir ki, bu da yaklaşımın oldukça doğru olduğunu ifade etmektedir. Bu sonucu veren polinomsal fonksiyon ise

$$y = 22,42x^2 - 5,2918x + 0,4389 \quad (4.2)$$

olarak elde edilmiştir.



**Şekil 4.10 :** YSA'nın eğitimi sonucu elde edilen değerle, gerçek verinin karşılaştırılması.





## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir uçağın dizaynı aşamasında en önemli konulardan biri olan komponentlerin bakım tahsis sürelerinin belirlenmesi problemi ele alınmıştır. Bu amaçla kullanılan yöntemler, genellikle tecrübi bilgiye dayalı olup, dizayn ofisinin kontrolü dışında olduğundan, ilgili problemin çözümüne akademik bir yöntemin eklenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla yapılan 2 aşamalı çalışmanın ilk basamağında, var olan bir çalışma, farklı bir yöntemle ele alınarak geliştirilmiş ve uçak sistemleri ya da komponentleri ile bakım kartlarının süreleri arasında bir korelasyon oluşturulmuştur. Referans alınan çalışmada elde edilen fonksiyon için  $R^2$  değeri 0,8171 olarak hesaplanmış iken, bu çalışmanın ilk fazı kapsamında hesaplanan  $R^2$  değeri 1 olarak elde edilmiştir, yani mükemmel bir sonuç elde edilmiştir. Bu değeri veren polinomsal fonksiyon ise şu şekildedir:

$$y = 0.8708x^2 - 1.2698x + 0.9562 \quad (5.1)$$

Dolayısıyla, bu çalışma kapsamında, bir uçaktaki sistem ya da komponentlerin ağırlık katsayılarını belirlemek için literatüre (5.1) eşitliği kazandırılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, tezin ana amacı olan dizayn aşamasında bakım tahsis sürelerinin belirlenebilmesi amacıyla, toplamda 1157 bakım taskı üzerinde kantitatif analizler yapılmış ve nihayetinde 6 ağırlık katsayısı belirlenmiştir. Çalışmanın devamında, ilk bölümde elde edilen fonksiyon da kullanılarak, ileri beslemeli yapay sinir ağları vasıtasıyla uçak komponentlerine veya sistemlerine uygulanabilecek taskların süresi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Önceki bölümde elde edilen Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'dan da görüleceği üzere, uygulanan modelin doğruluk oranı  $R^2=0,8763$

gibi oldukça yüksek bir değere sahiptir. Bu değeri veren grafik ise şu şekilde elde edilmiştir:

$$y = 22,42x^2 - 5,2918x + 0,4389 \quad (5.2)$$

Dolayısıyla mevcut bir model üzerine geliştirilen bu yeni yöntemin, bakım task tahsisinde yüksek güvenilirlikle kullanılabileceği aşikardır. Ancak bu çalışma MSG-3'deki sistem ve komponent taskları için yapılmıştır, yapısal ve zonal tasklar dikkate alınmamıştır. Bu nedenle geliştirilen metot, sistem ve komponent taskları için kullanılabilir.

Diğer yandan, tez çalışması kapsamında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri, havacılıktaki akademik çalışmalarda sıkça karşılaşılan kısıtlı verilerdir. Havayolu şirketlerinin güvenlik, emniyet ya da ticari sebeplerle kendilerindeki teknik verileri çok az oranda dışarıyla paylaşması, havacılık alanındaki akademik çalışmaları da etkilemektedir. Her ne kadar yazar, bir filo tipi için belli sayıda taskın verilerine havayolunun izni dahilinde erişebilmiş olsa da, metodun diğer filo tiplerindeki verilerle desteklenmesi elzemdir.

## KAYNAKLAR

- Akdemir B.**, (2009). *Tahmin Uygulamalarında Performans Geliştirmek İçin Kullanılan Normalizasyon Metotlarına Yeni Bir Yaklaşım* (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Alrabghi, A., Tiwari, A.** (2015). State of the art in simulation-based optimisation for maintenance systems, *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 82, 167-182.
- Anderson, D, McNeill, G.** (1992). *Artificial Neural Networks Technology*. Kaman Sciences Corporation, New York, Amerika.
- Aubin, B.R.** ((2004). *Aircraft Maintenance – The Art and Science of Keeping Aircraft Safe*. SAE International, Warrendale PA, Amerika.
- Barabadi, A., Garmabaki, A.H.S., Yuan, F., Lu, J.** (2015). Maintainability analysis of equipment using point process models, *Industrial Engineering and Engineering Management*. Singapur, Singapur: 6-9 Aralık.
- Bazargan, M., McGrath, R.N.** (2003). Discrete event simulation to improve aircraft availability and maintainability, *Reliability and Maintainability Symposium*, Tampa, FL, Amerika: 27-30 Ocak.
- Beranek, M.W.** (2006). Military Digital Avionics Fiber-Optic network design for maintainability and supportability, *IEEE A&E Systems Magazine*, Eylül.
- Bi, C. & Wei, F.** (2011). Civil aircraft maintenance target cost allocation based upon value engineering, *International Conference on Communication Software and Networks*, Xi'an, Çin: 27-29 Mayıs.
- Boeing (2014).** *B737-600/700/800/900 Airframe & Engine Type Course Document*, Seattle, Amerika
- Borro, D., Savall, J., Amundarain A.** (2004). A large haptic device for aircraft engine maintainability, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.24, Issue 6.
- Buckroyd, A.** (1994). Design for testability, reliability & maintainability, *IEE Colloquium on Issues of Co-Operative Working in Concurrent Engineering*, 4/1-4/5.
- Cassady, C.R.** (2010). The Role of reliability and maintainability in design for sustainability, *Reliability and Maintainability Symposium*, San Jose, CA, Amerika: 25-28 Ocak.
- Chang, L., Du, E.X., Zhang, C.L.** (2012). Reliability and maintainability analysis of vehicle anti-tank missile, *International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*, Chengdu, Çin: 15-18 Haziran.

- Chen, L. & Cai, J.** (2003). Using Vector Projection Method to evaluate maintainability of mechanical system in design review, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 81, no. 2, 147-154.
- Chipchak, J.S.**, (1971). A Practical method of maintainability allocation, *Aerospace and Electronic Systems*, IEEE Transactions, Volume AES-7, Issue:4.
- Coulibaly, A., Houssin, R. and Mutel, B.** (2008). Maintainability and safety indicators at design stage for mechanical products, *Computers in Industry*, Vol.59, no. 5, 438-449.
- Desai, A. & Mital, A.** (2006). Design for maintenance: basic concepts and review of literature, *International Journal of Product Development*, Vol. 3, No. 1, 77–121.
- Deveci, M. & Yavuz, S.** (2012). İstatistiksel normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağı performansına etkisi, *Erciyes Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 40, 167-187.
- DOD-HDBK-791** (1988). *Maintainability Design Techniques*, Department of Defense, Amerika.
- Elmas, Ç.** (2003). *Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Gillespie, A.M, Monaghan, M.** (2013). Allocating reliability & maintainability goals to NASA Ground Systems, *Reliability and Maintainability Symposium*, Orlando, FL, Amerika: 28-31 Ocak.
- Guo, L.** (2015). The Research of equipment maintainability forecasts methods based on support vector machine, *Chinese Automation Congress*, Wuhan, Çin: 27-29 Kasım.
- Hayes, J.H., Zhao, L.** (2005). Maintainability prediction: a regression analysis of measures of evolving systems, *Proceedings of the 21st IEEE International Conference on Software Maintenance*, Budapeşte, Macaristan: 26-29 Eylül.
- Haykin, S.** (1994). *Neural Networks: A comprehensive Foundation*, Macmillian College, New York.
- Jayalakshmi, T. & Santhakumaran, D.** (2011) Statistical normalization and back propagation for classification, *International Journal of Computer Theory and Engineering*, Vol. 3, No 1.
- Honggen, C.** (2010). The Dynamic allocation model of equipment maintenance task based on comprehensive balance, *3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, 26-28 Kasım.
- Jia, Y., Sun, L., Wang, Y.** (2012). Research on maintenance task allocation and support resource requirement analysis for ordnance equipment, *International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*, Chengdu, Çin: 15-18 Haziran.
- Jian, X., Cai, S., Chen, Q.** (2016). A Study on The Evaluation of product maintainability based on the life cycle theory, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 141, 481-491.

- Karaali, F. Ç.** (2006). *Use Of Artificial Neural Networks And Cognitive Mapping Methodology in Predicting Unemployment Rates And Employment Index Level*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kartalopoulos, S.V.** (1996). *Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic. Basic Concepts and Applications*, IEEE Press.
- Kaur, A., Grover, P.S., Dixit, A.** (2015). Quantitative evaluation of proposed maintainability model using AHP method, *International Conference on Computing for Sustainable Global Development*, New Delhi, India: 11-13 Mart.
- Kececiğlu, D.** (1991), *Reliability Engineering Handbook*, 1 edition, Prentice Hall
- Kinnison, H.A.** (2004). *Aviation Maintenance Management*, The McGraw-Hill Press, New York, Amerika.
- Klimasauskas, C.** (1993). *Neural networks in finance & investing, Applying Neural Networks*, Probus Publishing Company, Cambridge, İngiltere, 47–72
- Kraš, A., Susanj, J.** (2005). Maintainability design of ship electronic system, *47th International Symposium ELMAR*, Zadar, Hırvatistan: 8-10 Haziran.
- Krause, G.S. & Jager, R.** (1988). CAD Techniques for improved maintainability design, *Reliability and Maintainability Symposium*, Los Angeles, CA, Amerika, 26-28 Ocak.
- Kuo, T.C., Huang, S., Zhang, H.** (2001). Design for manufacture and design for “X”: concepts, applications, and perspectives, *Computers & Industrial Engineering*, Vol.41, Issue 3, 241-260.
- Lange, J., Weigert, G., Klemmt, A.** (2013). Scheduling maintenance tasks with time-dependent synchronization constraints by a cp modeling Approach, *Winter Simulations Conference*, Washington, DC, Amerika: 8-11 Aralık.
- Lehtonen, M.** (2006). On the optimal strategies of condition monitoring and maintenance allocation in distribution systems, *9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, Stockholm, İsveç: 11-15 Haziran.
- Levenberg, K.** (1944). A method for the solution of certain non-linear problems in least squares, *Quarterly of Applied Mathematics*, Vol.2, 164–168.
- Li, J., Reger, B., Miller, S.** (2015). Leveraging big data to improve reliability & maintainability, *Reliability and Maintainability Symposium*, Tampa, FL, Amerika: 26-29 Ocak.
- Li, Y., Lv, C.** (2012). An application of time classification in the system maintenance allocation, *Prognostics & System Health Management Conference*, Beijing, China: 23-25 Mayıs.

- Li, Y., Shi, J., Yang, J.** (2015). A method based on maintainability analysis to select and optimize the orbital replacement unit, *The First International Conference on Reliability Systems Engineering*, Beijing, Çin: 21-23 Ekim.
- Lipa, J. F.** (1981). A modern maintainability prediction technique, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 30, no. 3, 218-221.
- Lu, Z., Sun, Y.** (2009). Maintainability virtual evaluation method based on fuzzy multiple attribute decision making theory for civil aircraft system, *Reliability, Maintainability and Safety*, Chengdu, Çin.
- Lv, C., Zhang, M., Wang, M.** (2013). Application research of TRIZ in maintainability design, *International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*, Chengdu, Çin: 15-18 Temmuz.
- Majoros, A.E., Chen, H.** (1992). Techniques in the design of aircraft for maintainability, *Control and Dynamic Systems*, Vol. 52, Academic Press.
- Marquardt, D.** (1963). An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters, *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 11 (2): 431–441.
- MIL-HDBK-472** (1966). *Maintainability Prediction*, Department of Defense, Washington, DC, Amerika.
- Musson, T.A.** (2009). Design rules for reliability & maintainability in electronics, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-36, Issue 5, 485-488.
- Nelson, W.B.** (1990). *Accelerated Life Testing, Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis*, John Wiley & Sons, New York.
- Newton, J., Bennett, K.** (1993). Designing systems for future maintainability: a case study, *Conference on Software Maintenance*, Montreal, Quebec, Kanada: 27-30 Eylül.
- Peng, S., Vayenas, N.** (2014), Maintainability Analysis of Underground Mining Equipment Using Genetic Algorithms: Case Studies with an LHD Vehicle, *Journal of Mining*, Vol. 2014
- Pistikopoulos, E.N., Vassiliadis C.G., Papageorgiou, L.G.** (2000). process design for maintainability: an optimization approach, *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 24, Issue 2-7, 203-208.
- Rausand, M., Vatn, J.** (1998). Reliability centered maintenance, *Complex System Maintenance Handbook*, 79-108.
- Reinhart, H., Pecht, M.** (1990). Automated design for maintainability, *Aerospace and Electronics Conference*, Dayton, OH, Amerika.
- Sağiroğlu, Ş, Beşdok, E., Erler, M.** (2003). *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları*, Ufuk yayıncılık, Kayseri.
- Shaw, B.S., Monteith, D.** (1979). Design of switching power supplies for improved reliability and maintainability, *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, San Diego, CA, Amerika.

- SHY 66 (2013).** *Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü HAva Aracı Bakım Personeli Lisans Yönetmeliği*
- Sgouros, P., Calabro, S.R.** (1967). Maintainability prediction in department of defense development programs, *IEEE Transactions On Reliability*, Vol. R-16, No. 1, 21-25.
- Slavila, C. A., Decreuse, C. & Ferney, M.** (2005). Fuzzy approach for maintainability evaluation in the design process, *Concurrent Engineering Research and Applications*, Vol. 13, no. 4, 291-300.
- Smith K, Gupta J.** (2002). *Neural networks in business: techniques and applications*, Hershey, PA: Idea Group Publishing
- Şen, Z.** (2004). *Yapay Sinir Ağları İlkeleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul
- Tian, G., Shao, X., Liu, G.** (2012). Reliability and maintainability analysis and design on a type of gun fire control system, *International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*, Chengdu, Çin: 15-18 Haziran.
- Tsarouhas, P.H., Furlas, G.K.** (2015). Maintainability analysis of mobile robot, *Computational Intelligence and Informatics*, Budapeşte, Macaristan: 19-21 Kasım.
- Öztemel, E.** (2003). *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Vaneker, T. & Diepen, T.** (2015). Design support for maintenance tasks using TRIZ, *Procedia CIRP*, Vol. 39, 67-72.
- Waeyenbergh, G., & Pintelon L.** (2002). A framework for maintenance concept development, *International Journal Of Production Economics*, Vol. 77 299–313.
- Wahab, D. A., Ching, K. E., Boay, T. A., Ramli, R. & Hussain, A.** (2008). Product redesign for ease of maintenance: A case study, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, .Vol. 3, no. 2, 153-159.
- Wan, H.** (2014). The Future of Aircraft Feedback Information: Maintainability Allocation Methodology, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 629, 225-230
- Wani, M.F. & Gandhi, O.P.** (1999). Development of maintainability index for mechanical systems, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 65, Issue 3, 259-270.
- Wani, M.F. & Gandhi, O.P.** (2002). Maintainability design and evaluation of mechanical systems based on tribology, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 77, Issue 2, 181-188.
- Wen, X., Zeng, S., Guo, J.** (2014). An aircraft maintenance free operating period allocation approach, *Reliability and Maintainability Symposium*, Colorado Springs, CO, Amerika: 27-30 Ocak.
- Wohl, J.G.** (1961). Why design for maintainability?, *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, Vol. HFE-2, Issue 2, 87-92.

- Yang, J., Xia, Z., Yang, B.** (2009). Parametric sensitivity analysis of maintainability design, *Reliability, Maintainability and Safety*, Chengdu, Çin.
- Yu, D., Lv, C., Wang, Y.** (2016). Study on the maintainability layout design about complicated equipment, *Prognostics and System Health Management Conference*, Chengdu, Çin: 19-21 Ekim.
- Zhong, L. & Youchao, S.** (2007). Research on maintainability evaluation model based on fuzzy theory, *Chinese Journal of Aeronautics*, Vol. 20, no 5, 402-407.
- Zuo, Y.** (2010), *Reliability and Maintainability Optimization Using Discrete-event Simulation and Genetic Algorithms* (Doktora Tezi). University of New York, Department of Systems Science and Industrial Engineering.





## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Davut Yılmaz  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 03.12.1976 Sivas  
**E-posta** : davutyilmaz@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1998, İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Müh.
- **Yükseklisans** : 2004, YTÜ, Makina Fakültesi, Konstrüksiyon

### DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Özkol, İ., **Yılmaz, D.** (2017). Development of a New Maintainability Allocation Method for Aerospace Vehicles, *8th International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, Istanbul, Türkiye
- Özkol, İ., **Yılmaz, D.** (2017). Uçak Bakım Tahsis Sürelerinin Belirlenmesine Yönelik Yeni Bir Method Geliştirilmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, Cilt 5 - Sayı 4
- Özkol, İ., **Yılmaz, D.** (2018). A New Method for Aircraft Maintainability Allocation, *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, Vol.7, No:1, 93-99.

