



## Uçak Bakım Tahsis Sürelerinin Belirlenmesine Yönelik Yeni Bir Method Geliştirilmesi

Davut YILMAZ<sup>1\*</sup>, İbrahim ÖZKOL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Istanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Maslak/İSTANBUL*

<sup>2</sup>*Istanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Maslak/İSTANBUL*

### Öz

Bir uçağın tasarımı aşamasında en önemli konulardan biri, komponentlerin bakım tahsis sürelerinin belirlenmesidir. Geleneksel bakım tahsis yöntemleri, genellikle tecrübi bilgiye dayalı olup, tasarım ofisinin kontrolü dışındadır. Bu çalışmada, uçak bakım tahsis sürelerinin belirlenmesi için bir yöntem geliştirilerek, tecrübi yönetime 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 1000'den fazla bakım uygulaması 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 ve komponentlerinin task süresinin tahmin edilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede bir uçağın ön tasarım sürecinde bakımları modelleyebilmek için literatüre yeni bir metot eklenmiştir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 20/02/2017

Düzeltilme: 27/07/2017

Kabul: 27/09/2017

### Anahtar Kelimeler

Uçak bakımı

YSA

Yapay zeka

### Keywords

Aircraft maintenance

Neural networks

Artificial Intelligence

### Development Of A New Method For Aircraft Maintainability Allocation

#### Abstract

One of the most important topics in aircraft design is to define aircraft maintainability allocation which is a process to identify the allowable maximum task time for each aircraft component or system. Traditional methods are mostly experimental and out of design office's control. In this study, an improved method has been developed to create an alternative method for experimental ones. For this purpose, as a first step an existing methodology developed for maintenance allocation has been improved by using a different technic. Improved method shows that newly established correlation between aircraft systems and task times has very high coefficient of determination compare to the existing method. At the second phase of the study several quantitative analysis have been performed by examining more than 1000 maintenance tasks which are accepted as standard maintenance actions by aviation industry, coming from Maintenance Steering Group methodology and six weight factors have been established for the new method. By using feed forward artificial neural networks for newly identified weight factors, maintenance task allocations has been established. Results shows that newly proposed method can be applicable for any maintenance process during early design stage.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir ürünün dizaynı aşamasında, ürünün özelliklerine ve tasarımcının/firmanın tecrübesine 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. Bu çalışmanın konusu olan, bakım yapılabilirlik açısından

\*İletişim yazarı, e-mail: yilmazda@itu.edu.tr

dizayn hususunda literatürde farklı çalışmaları görmek mümkündür. Desai[1], bakım açısından dizaynı ele aldığı çalışmasında literatür taraması yaparak temel konseptleri/kavramları ortaya koymuştur. Wahab[2], elektrikli kahve makinesi örneğinden yola çıkarak modüler dizayn ve bakım kolaylığı açısından bir dizayn metodolojisi önermiştir.

Coulibaly[3], semantik modelleme yöntemini kullanarak, dizaynın bakım ve emniyet açısından nasıl olması gerektiğine dair bir çözüm geliştirmiştir. Slavia[4] mikro motor, Zhong [5] ise sivil uçakların iniş takımları özelinde, fuzy logic kullanarak bakım yapılabilirlik modelleri geliştirmişlerdir. Chen[6], mekanik sistemlerin bakım yapılabilirliğini modellemek için vektör projeksiyon metodu ismini verdiği bir yöntem geliştirmiştir.

Chipchak[7], bakım tahsisine yönelik çalışması için pratik bir yöntem geliştirerek, Jenerik Modül Tipleri (Kj1), Hata Ayıklama Teknikleri(Kj2) ve Tasarım Karakteristiğindeki Farklar (Kj3) olmak üzere 3 farklı ağırlık faktörü belirlemiştir.

**Tablo 1. Kj1 Ağırlık Faktörü - Modüller [7]**

No	Modül	Puan
1	Işıklar	1
2	Dijital	1
3	Düşük seviye analog	1,5
4	Yüksek seviye analog	1,5
5	Dijital bilgisayarlar	2
6	Güç kaynakları	2
7	Elektromekanik ekipmanlar	3
8	Yüksek güç/yüksek frekanslı komponentler	4
9	Bağlantı Sistemleri	4
10	Havalandırma	4
11	Sıvı soğutma sistemleri	4
12	Mekanik yapılar	6
13	Dönen mekanizmalar/motorlar	10

**Tablo 2. Kj2 Ağırlık Faktörü –Hata Ayıklama Teknikleri [7]**

Hata Ayıklama Tekniği	Kj2
Otomatik	0
Yarı-otomatik	2
Manuel	4

**Tablo 3. Kj3 Ağırlık Faktörü - Modüler Dizayn Karakteristiği [7]**

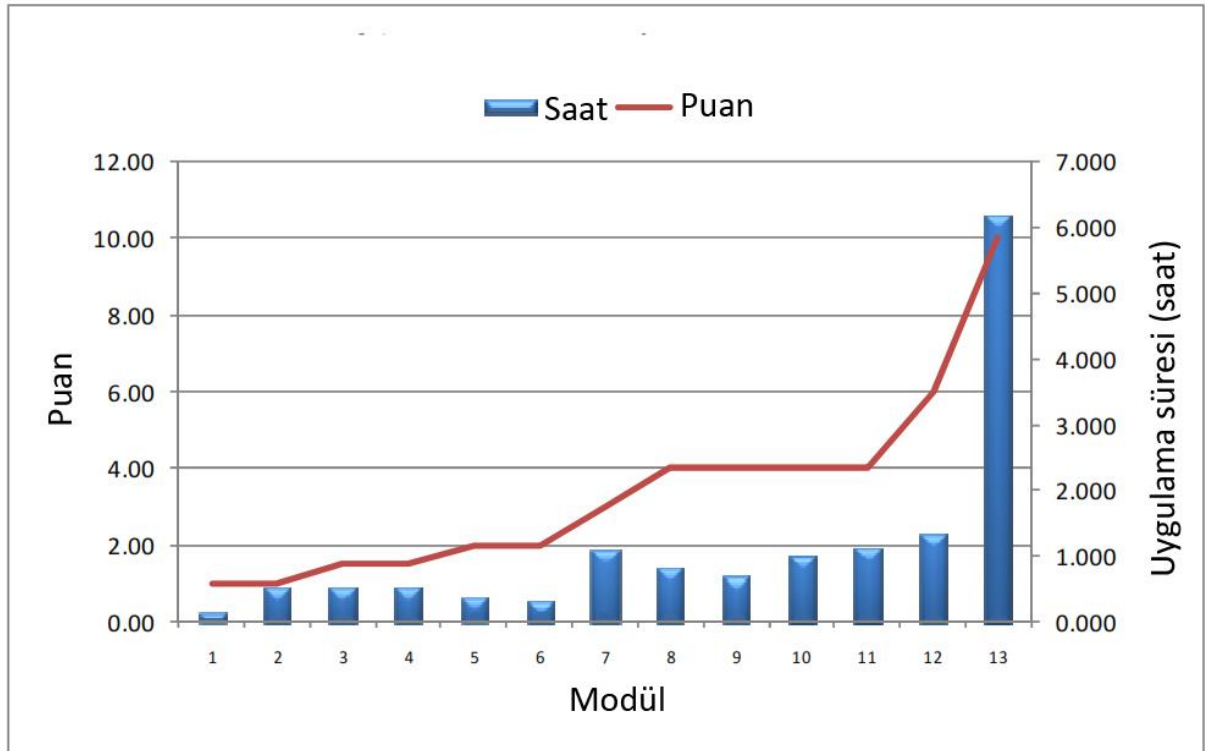
M Dizayn Karakteristiği	Kj3	Karakteristikler	
Erişim/Uygulama		Erişim	Uygulama
Basit	0	Doğrudan erişim kolaylığı	Tek-adamla kaldırma ve taşıma
Zor	2	Birden fazla kapağı açma/sistemi sökme	2 adamla kaldırma, zor taşıma
Çok Zor	4	Erişmek için ciddi efor gereksinimi	Makine yardımıyla kaldırma ve taşıma

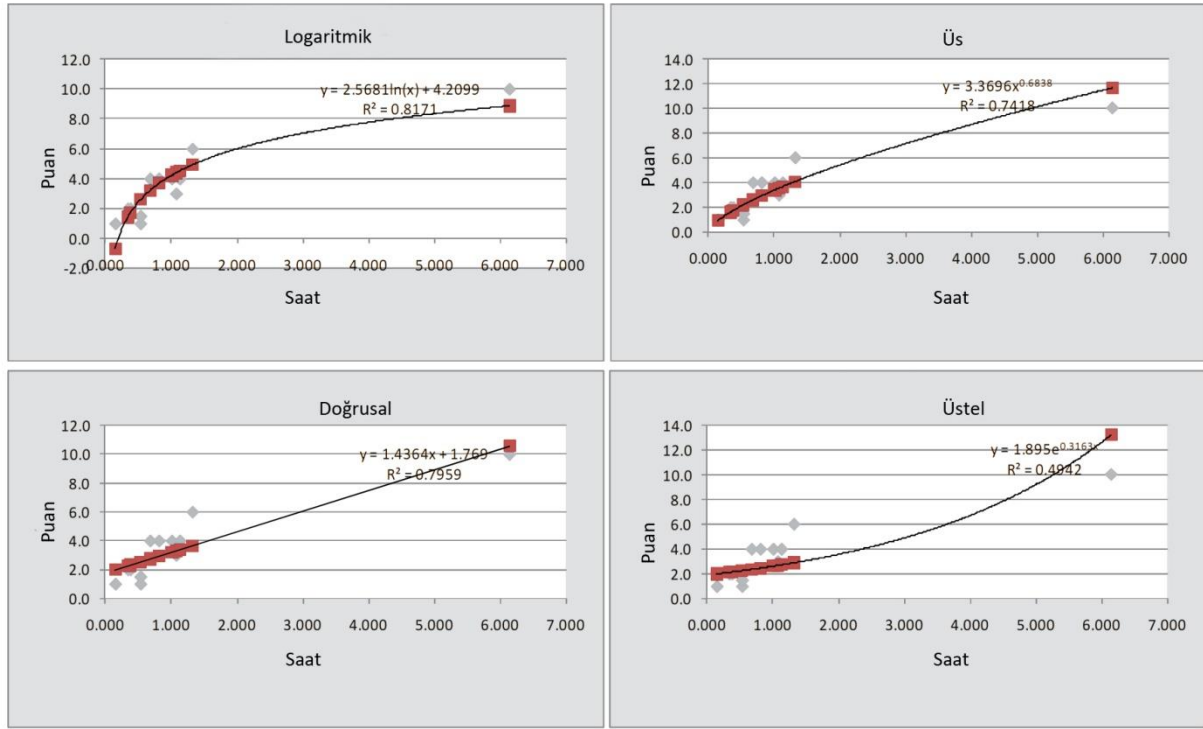
Wan Husain [8], Chipchak'ın ortaya koyduğu ağırlık faktörlerini referans alarak, Kj1'de verilen modüllerdeki puan değerleriyle, bu komponentlerin bakım süreleri arasındaki korelasyonu araştırmıştır. Bu amaçla MIL-HDBK-472 Prosedür III'u [9] temel almış ve bu modüllere uygulama süresi atayarak[10], bu sürelerle Chipchak'ın atadığı puan değerleri arasındaki korelasyonu incelemiştir.

**Tablo 4. Kjl Modül, Puan Ve Uygulama Zamanları [8]**

No	Modül	Dakika	Saat	Puan
1	Işıklar	8,86	0,15	1
2	Dijital	31,89	0,53	1
3	Düşük seviye analog	31,89	0,53	1,5
4	Yüksek seviye analog	31,89	0,53	1,5
5	Dijital bilgisayarlar	22,66	0,38	2
6	Güç kaynakları	20,18	0,34	2
7	Elektromekanik ekipmanlar	64,45	1,07	3
8	Yüksek güç/yüksek frekanslı komponentler	48,64	0,81	4
9	Bağlantı Sistemleri	40,61	0,68	4
10	Havalandırma	60,41	1,01	4
11	Sıvı soğutma sistemleri	67,82	1,13	4
12	Mekanik yapılar	79,20	1,32	6
13	Dönen mekanizmalar/motorlar	368,84	6,15	10

Bu ilişkinin varlığını doğruladıktan sonra (Şekil 1), trend analizleri yaparak uygulama süresinden puan değerini verecek en uygun formülü bulmayı hedeflemiş (Şekil 2) ve nihayetinde de R2 değeri en yüksek olan formülü (Tablo 5), yeni modüller ve bunlara karşılık gelen zamanları bulmak için kullanmıştır.

**Şekil 1. Puan ve uygulama zamanları arasındaki ilişki [8]**



Şekil 2 : Trend analizleri [8]

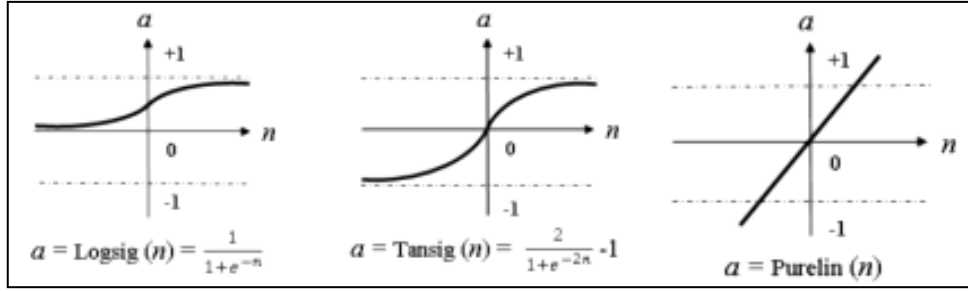
Tablo 5. R2 Değerleri [8]

Eğim Çizgisi	Formül	R <sup>2</sup>
Logaritmik	$y=2,5681\ln(x)+4,2099$	0,8171
Doğrusal	$y=1,4364x+1,769$	0,7959
Üs	$y=3,3696x^{0,6838}$	0,7418
Üstel	$y=1,895e^{0,3163x}$	0,4942

## 2. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) TABANLI GELİŞTİRİLMİŞ METOT (IMPROVED METHOD BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS)

Bu çalışmada ise, Chipchak'ın K<sub>j1</sub>'de belirlediği modüller ve bunlara karşı gelen puan değerleri ile Wan Husain'in MIL-HDBK-472 Prosedür III'e göre atadığı uygulama zamanları referans alınmış, ancak puan değerleriyle uygulama zamanı arasındaki korelasyonu belirlemek için Wan Husain'den farklı olarak trend analizi değil yapay sinir ağları kullanılmıştır. Elde edilen korelasyon yeni modüller eklemek için kullanılmış, devamında ise bu modüller kullanılarak uçak bakım tasklarının uygulama sürelerini tahmin etmek için yine yapay sinir ağları ile bir yöntem geliştirilmiştir.

Chipchak'ın önerdiği modüllerle bakım süreleri arasındaki korelasyonu araştırmak için öncelikle mevcut verilerin normalizasyonu yapılmıştır. Bu amaçla Log-sig, Tan-sig ve Pure-lin transfer fonksiyonları incelenmiş(Şekil 3), ancak analizde pozitif değerlerin kullanılması gerektiğinden Log-sig fonksiyonu seçilerek normalizasyon gerçekleştirilmiştir (Tablo 6).

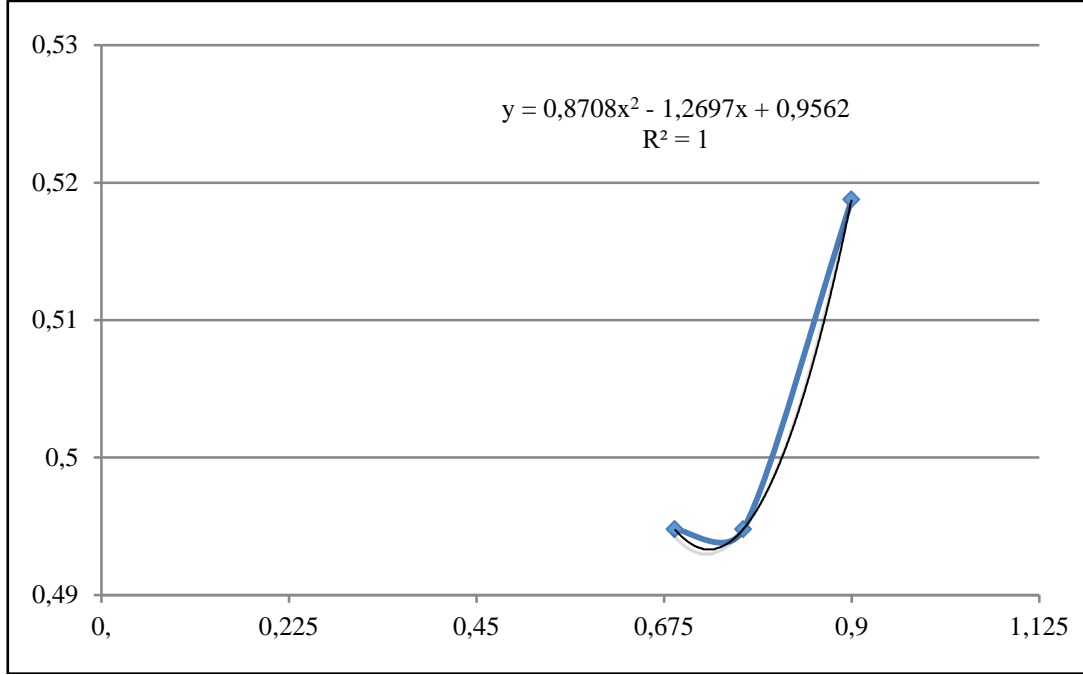


Şekil 3. Normalizasyon fonksiyonları

Tablo 6 : Puan 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

Normalize edilen değerlerden bir grup, test verisi olarak ayrılıp yapay sinir ağlarında eğitim amacıyla kullanılmıştır. Test verilerini eğitmek için 2 katmanlı, 8 nörondan oluşan “ileri beslemeli ağ” seçilmiştir. Ağın bulduğu değerler ile gerçek test değerlerinin ne kadar yakın olduğunu görmek ve seçilen algoritmanın doğruluğunu gözlemlemek amacıyla Şekil 4’de verilen karşılaştırma yapılmış ve yeni bir fonksiyon elde edilmiştir.



**Şekil 4.** YSA'nın eğitimi sonucu elde edilen değerle, gerçek verinin karşılaştırılması

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

$$y = 0.8708x^2 - 1.2698x + 0.9562 \quad (1)$$

ile belirlenmiştir. Hatırlanacağı üzere Wan Husain'in metodunda  $R^2=0,8171$  olarak elde edilmişti.

Çalışmanın ikinci aşamasında, ilk bölümde  $k_1$  ağırlık katsayıları şeklinde tanımlanan modüllerle, bu modüllere uygulanan farklı bakım taskları arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu amaçla, Maintenance Steering Group olarak adlandırılan ve uçak imalatçıları, otoriteler ve kullanıcılardan oluşan komitenin belirlediği ve tüm dünyada standart olarak kullanılan temel tasklar dikkate alınmıştır. Genel gözle kontrol(General Visual Inspection – GVI), detaylı gözle kontrol(Detailed Visual Inspection – DVI), fonksiyonel kontrol(Functional Check – FUC), operasyonel kontrol(Operational check - OPC), sökme takma(Removal And Installation –RAI), yağlama (Lubrication – LUB) ve servisten (Service – SRV) oluşan bu tasklar, yapılan kantitatif çalışmayla 3 aşamaya ayrılmış, zorluk derecesi ve uygulama için teknisyende olması gereken yetki veya lisans seviyesine göre bir ağırlık katsayısı ( $k_2$ ) belirlenmiştir. Ancak sökme takma (REM/INS) ve yağlama taskları(LUB), uygulandığı komponente göre değişik ağırlık katsayılarına sahip olması gerektiğinden kendi içinde 3 aşamalı olarak düşünülmüş ve yağlama için LUB1, LUB2, LUB3, sökme takma için RAI1, RAI2, RAI3 sınıflandırması yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında bir hava yoluna ait Boeing 737-800 uçağının gerçek bakım verileri kullanılmış olup, filonun C bakımındaki değerleri esas alınmıştır.

**Tablo 7. Temel tasklar ve gruplandırma**

Kısaltma	Task İsmi	Grup
SRV	Servis	1
LUB	Yağlama	
RAI1	Sökme&Takma	
SMP	Örnekleme	
DRN	Drenaj	
CLN	Temizlik	
RST	Yenileme için söküm	2
REP	Değiştirme	
LUB	Yağlama	
RAI2	Sökme&Takma	
DIS	Kal etme	
CGK	Kontrol	
GVI	Genel gözle inceleme	
OPC	Operasyonel kontrol	
ADJ	Ayarlama	3
CPC	Korozyon kontrolü	
LUB3	Yağlama	
RAI3	Sökme&Takma	
DVI	Detaylı gözle inceleme	
FUC	Fonksiyonel kontrol	

**Tablo 8. k2 Ağırlık katsayısı için gruplama**

Yetkili Teknisyen				
Grup(k2)	Kategori	Lisans	Tip	Task Eğitimi
1				✓
2	B1/B2	✓		✓
			✓	
3	B1/B2	✓	✓	
	B1/B2	✓		✓

Diğer ağırlık katsayısı olan  $k_3$  ise 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.

Taskı uygulamak için herhangi bir ekipman, cihaz vs.'nin gerekmesi durumu da çalışmada dikkate alınmış ve gereksinim durumu  $k_4$  ağırlık katsayısı ile tanımlanmıştır. Ekipman ya da cihazın şart olduğu durumda  $k_4=1$ , aksi halde  $k_4=0$  olarak tanımlanmıştır.

Özellikle iniş takımları ve flaplar gibi hidromekanik sistemlerle, güç sistemleri ve bazı yapısal sistemlere 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. Bu durumu dikkate alarak, bir taskın uygulanması için ön gereksinimi olup olmadığına dair durum çalışmaya katılmış ve  $k_5$  ile gösterilmiştir. Ön gereksinim olması durumunda  $k_5=1$ , aksi durumda ise  $k_5=0$  olacaktır.

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

*Tablo 9 : Ağırlık katsayıları*

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

Chipchak tarafından elde edilen ve Tablo 4 ile verilen modüllere, (1) eşitliği kullanılarak yeni modüller eklenmiş ve böylece uçağın ana komponentleri ya da sistemleri için  $k_1$  katsayıları belirlenmiştir. Bu komponent ya da sistemlere dair rastgele tasklar seçilmiş ve bu tasklarla ilgili kişi sayısı, ekipman gereksinimi, ön gereksinim ve A/S gibi değerler için bir havayolunun verileri kullanılmıştır (Tablo 10).



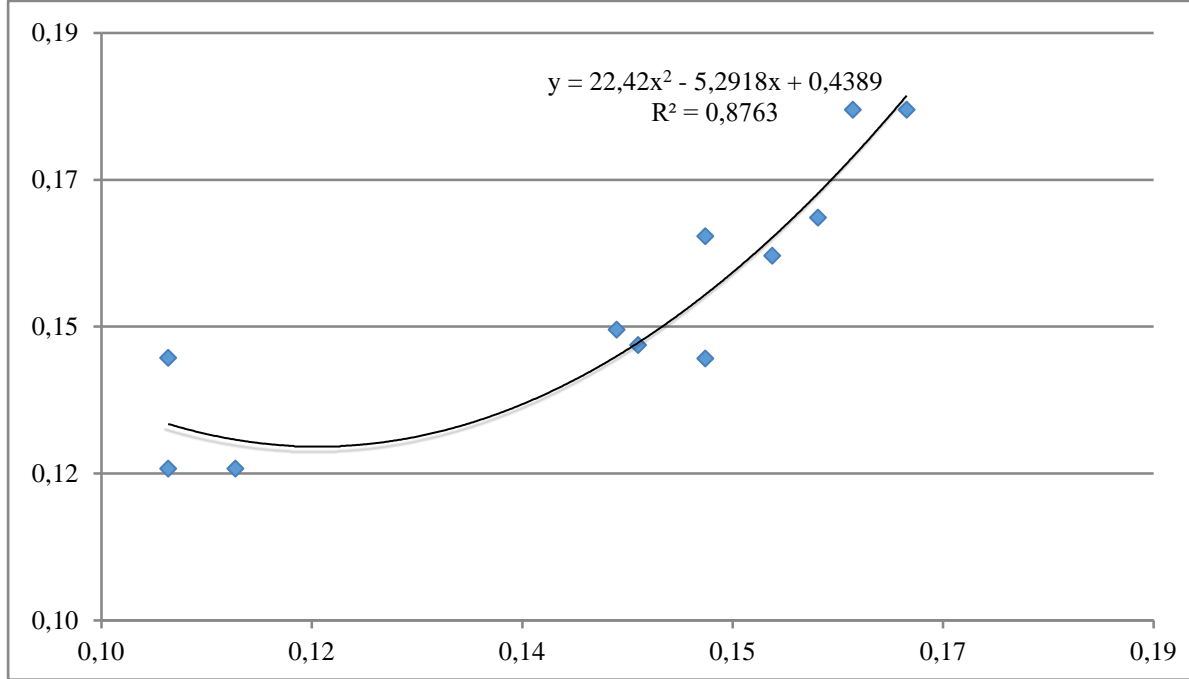
Tablo 10: Komponent ve sistemler için ağırlık katsayılarının dağılımı

	k1	Tasklar	k2	k3	k4	k5	k6
MOTOR	10	GVI	2	1	0	0	0,5
	10	OPC	2	2	0	0	3,67
	10	REM	3	5	1	1	20,25
	10	INS	3	5	1	1	36,33
	10	SRV	1	1	1	0	0,42
MLG (ANA İNİŞ TAKIMI)	8	LUB	1	2	1	0	1,5
	8	SRV	3	2	1	0	1
	8	DVI	2	1	1	0	0,58
	8	GVI	2	1	0	0	0,42
	8	FUC	3	5	1	1	6,75
NLG (BURUN İNİŞ TAKIMI)	8	LUB	1	2	1	0	1,17
	8	SRV	3	2	1	0	2,42
	8	DVI	3	1	1	0	0,33
	8	GVI	2	1	0	0	0,42
	8	FUC	3	5	1	1	6
KANATÇIK	8	LUB	1	2	1	0	0,58
	8	GVI	2	1	0	0	0,42
	8	OPC	3	3	1	0	0,67
	8	DVI	2	1	0	0	0,25
STABILIZER	8	LUB	1	1	1	0	0,3
	8	FUC	3	2	1	0	1,33
	8	DVI	3	1	1	0	0,58
	8	OPC	3	3	1	0	1,25
IŞIKLAR	1	OPC	2	1	0	0	0,25
	1	FUC	3	1	0	0	0,42
	1	GVI	1	1	0	0	0,67
	1	RAI3	3	1	0	0	2,17
PİTOT	2	FUC	3	2	1	0	1,33
	2	DVI	3	1	1	0	0,25
STATİK PORTLAR	2	FUC	3	2	1	0	1,33
	2	DVI	2	1	0	0	0,5
OKSİJEN SİSTEMLERİ	2	OPC	3	2	1	0	3
	2	GVI	3	1	0	0	3

Elde edilen değerlerin %80'i eğitim için, %20'si de test için ayrılmış ve analiz için yine yapay sinir ağı kullanılmıştır. İlk bölümde olduğu gibi önce değerler normalize edilmiş, sonra da ileri beslemeli bir ağ kullanılarak %80'lik veri seti eğitime tabi tutulmuştur. Sonuçların ne kadar gerçekçi olduğunu görmek için ayrılan %20'lik test seti ile sonuçlar karşılaştırıldığında  $R^2=0,8763$  olarak elde edilmiştir ki, bu da yaklaşımın oldukça doğru olduğunu ifade etmektedir. Bu sonucu veren formül ise

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

olarak elde edilmiştir (Şekil 5).



**Şekil 5 :** YSA'nın eğitimi sonucu elde edilen değerle, gerçek verinin karşılaştırılması

### 3. SONUÇ (CONCLUSION)

Tasarımın bakım kolaylığı üzerine temellendirildiği metodoloji için önceki yıllarda farklı yöntemler önerilmiştir. Ancak havacılık alanında bu konu özelindeki çalışmalar, havacılık firmalarının verilerini pek paylaşmama yönündeki yaklaşımları nedeniyle, genellikle tecrübi ya da istatistiki çalışmalar üzerine kurgulanmıştır. Temeli MIL-HDBK-472'a [9] dayanan bu çalışmalar, sürecin farklı yöntemlerle hızlandırılması üzerine şekillendirilmiş olup, bu anlamda yapılan son çalışmaların birinde[8], önerilen sistemin doğruluk oranı  $R^2=0,8171$  olarak elde edilmiştir. Bu makalede geçen çalışmada ise, yapay sinir ağları ile yeni bir yöntem geliştirilerek uçak tasarımcısına, tasarım aşamasında hızlı ve efektif bir yöntem sunulması hedeflenmiştir. Çalışmanın sonunda uçağın motor, yardımcı güç ünitesi, iniş takımları gibi ana komponentlerine uygulanması gereken temel taskların uygulama süresi,  $R^2=0,8763$  değeriyle doğru tahmin edilmiştir. Bu sayede, bir hava aracının ön tasarım safhasındaki süreçlerden biri olan bakım modellemesi için literatüre yeni bir yöntem eklenmiştir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen metot, sadece uçak sistemleri için uygulanmış olup, kompleks yapılarından dolayı uçak yapısal sistemleri dikkate alınmamıştır. Bununla birlikte, yapısal sistemler üzerinde yapılacak benzeri bir çalışma için bu metot kullanılabilir, ancak gerçek verilerin kullanılabilmesi yüksek güvenilirlik oranı elde etme açısından önemlidir.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Desai, A. ve Mital, A., "Design For Maintenance: Basic Concepts And Review Of Literature", International Journal of Product Development, Vol. 3, No. 1, 77-121, 2006
- [2] Wahab, D. A., Ching, K. E., Boay, T. A., Ramli, R. ve Hussain, A., "Product Redesign For Ease Of Maintenance: A Case Study", International Journal of Mechanical and Materials Engineering, vol. 3, no. 2, 153-159, 2008
- [3] Coulibaly, A., Houssin, R. and Mutel, B., "Maintainability And Safety Indicators At Design Stage For Mechanical Products", Computers in Industry, vol.59, no. 5, 438-449., 2008

- [4] Slavila, C. A., Decreuse, C. and Ferney, M., "Fuzzy Approach For Maintainability Evaluation In The Design Process", *Concurrent Engineering Research and Applications*, vol. 13, no. 4, 291-300., 2005
- [5] Zhong, L. and Youchao, S., "Research On Maintainability Evaluation Model Based On Fuzzy Theory", *Chin J Aeronaut*, vol. 20, no. 5, 402-407, 2007
- [6]. Chen, L. and Cai, J., "Using Vector Projection Method to evaluate maintainability of mechanical system in design review", *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 81, no. 2, 147-154., 2003
- [7] Chipchak, J.S., "A Practical Method Of Maintainability Allocation", *Aerospace and Electronic Systems*, *IEEE Transactions*, Volume AES-7, Issue:4, 1971
- [8] Wan H., Wan M.S., "Maintainability Prediction for Aircraft Mechanical Components Utilizing Aircraft Feedback Information", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 225, 528-533, 2012
- [9] MIL-HDBK-472, *Maintainability Prediction*, MIL-HDBK-472, Department of Defense, Washington, DC., 1966
- [10] DOD-HDBK-791, "Maintainability Design Techniques", DOD-HDBK-791, Department of Defense, USA., 1988