

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

**UÇAR PARÇA ÜRETİMİ VE BAKIM
OPERASYONLARI ARASINDAKİ İLGİLEŞİM
ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

Yüksek Lisans Tezi

Mehmet ATEŞ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Rıza Haluk KUL

İstanbul – 2023

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Mehmet ATEŞ

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : Uçar Parça Üretimi ve Bakım Operasyonları Arasındaki
İlgileşim Üzerine Bir Çalışma

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : Havacılık Yönetimi

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 16.01.2023

Sayfa Sayısı : 42

Tez : Dr. Öğr. Üyesi Rıza Haluk KUL

Danışmanları

Dizin Terimleri : Hava Aracı Bakımı, Aralıklar, Bakım Aşamaları, Hava Aracı
Yaşam Döngüsü, Hava Aracı.

Türkçe Özet : Havacılık, katma değeri yüksek ve iyi düzenlenmiş sektörlerden biridir. Tasarım ve üretim aşamasında, uçak imalat şirketleri, takip-destek aşamasına odaklanmaktadır. Ticari bir uçağın ömrü, çalışma koşullarına bağlı olarak yaklaşık 35 yıldır. Bir havayolu işletmesi bir uçak satın almak için 1 birim ödeme yaptığında, destek operasyonları ilk satın alma fiyatının yaklaşık üç katıdır. Diğer bir deyişle, havayolu şirketi tarafından yaşam döngüsü sonunda toplam 4 adet ödeme yapılacaktır. Bu çalışmada, imalat ve bakım aşaması arasındaki ilişki araştırılmıştır. Üretim aşamasında yapılan küçük bir farkın bile Yaşam Döngüsü Maliyeti (LCC) üzerinde hayati öneme sahip olduğu tespit edilmiştir.

Dağıtım Listesi : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

Mehmet ATEŞ



**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

**UÇAR PARÇA ÜRETİMİ VE BAKIM
OPERASYONLARI ARASINDAKİ İLGİLEŞİM
ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

Yüksek Lisans

Mehmet ATEŞ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Rıza Haluk KUL

İstanbul – 2023

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Mehmet Ateş

.../.../2023



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Mehmet ATEŞ'in, Uçar Parça Üretimi Ve Bakım Operasyonları Arasındaki İlgileşim Üzerine Bir Çalışma adlı tez çalışması, jürimiz tarafından Havacılık Yönetimi anabilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Rıza Haluk KUL

(Danışman)

Üye

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin KEKE

Üye

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Özlem İLDAY

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

... / ... / 20..

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Havacılıkta Bakım faaliyetleri önemli bir masraf kalemidir ve uygun yürütülmediğinde hem emniyet, güvenilirlik ve uçuşa emniyet konusunda büyük sıkıntılara yol açabilmektedir hem de uçuş operasyonlarının yapılabilirliğine engel olmaktadır.

Bakım faaliyetleri için hava aracında kullanılan uçar parçaların tasarımı, sınanması, onaylanması, üretimi, depolanması ve kullanılmasına yönelik süreçlerin doğru planlanması, tasarlanması ve uygulanması gereklidir. Uçar parçaların bu süreçlerdeki serüveni içinde farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Son dönemde eklemeli ürün teknolojisinin tezahürü ile oyunun kuralları değişmeye başlamıştır.

Bu çalışmada havacılıkta kullanılacak uçar parçaların üretim ve bakım ilişkisine yönelik nicel araçların kullanımını incelenmiş ve özellikle eklemeli üretimin getirdiği üstünlükler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava Aracı Bakımı, Aralıklar, Bakım Aşamaları, Hava Aracı Yaşam Döngüsü, Hava Aracı, Eklemeli Üretim

SUMMARY

Maintenance activities in aviation are considered as an important expense item and when not carried out appropriately, that can cause major problems in terms of safety, reliability and airworthiness, and also prevent the feasibility of flight operations. It is necessary to plan, design and implement the processes for the design, testing, approval, manufacturing, storage and use of the aviation grade parts used in the aircraft for maintenance activities.

Different approaches have been used in the adventure of aviation grade parts in these processes. The rules of the game have started to change with the manifestation of additive product technology recently.

In this study, the use of quantitative tools for the production and maintenance relationship of aviation grade parts to be used in aviation has been examined and especially the advantages of additive manufacturing have been examined.

Keywords: Aircraft Maintenance, Intervals, Maintenance Phases, Aircraft Life Cycle, Aircraft, Additive Manufacturing

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İKİNCİ BÖLÜM UÇAR PARÇA TANIMLAMASI

2.1. Uçar Parça Üretim Gereksinimleri	16
2.2. Part 21 J Tasarım Organizasyonu Yönetim Onayı	17
2.3. Part 21 G Üretim Organizasyonu Yönetim Onayı.....	17
2.4. Üretim Sonrası Test Süreçleri.....	17
2.4.1. Parça Bazında Test ve Kontrol Süreçleri.....	17
2.4.2. Asamble Bazında Test ve Kontrol Süreçleri	19
2.4.3. Hava Aracı Bazında Test ve Kontrol Süreçleri	20
2.5. Hava Aracı Bakım Gereksinimleri	22
2.6. Hava Aracı Bakım Süreçleri.....	23
2.6.1. ATA 05 Zaman Sınırları ve Periyodik Bakım Muayeneleri.....	23
2.6.2. ATA 12 İkmal (Servicing) Rutin Bakım İşlemleri.....	24
2.6.3. Planlı Bakımlar.....	25
2.7. Plansız Bakımlar.....	27
2.7.1. Modernizasyon Süreçleri.....	27
2.7.2. Modifikasyon Süreçleri	27

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HAVA ARACI ÖMÜR DEVRİ İÇERİSİNDE ÜRETİM VE BAKIM İLİŞKİSİ

3.1. Parça Ömür Hesaplama	29
3.1.1. İki Arıza Arasındaki Zaman (Mean Time Between Failure- MTBF)	29
3.1.2. İki Tamir Arasındaki Zaman (Mean Time Between Repair-MTBR).....	29
3.1.3. İki Bakım Arasındaki Zaman (Mean Time Between Maintenance-MTBM)	

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Uçar Parça Üretimi ve Bakım Operasyonları İlişkisinin Değerlendirilmesi	32
4.2. Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi	33
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	37
KAYNAKÇA	38
ÖZGEÇMİŞ.....	42



KISALTMALAR

AB	:	Avrupa Birliđi
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
AFM	:	Uçak Uçuş El Kitabı
AMM	:	Uçak Bakım Kılavuzu
AOG	:	Yerdeki Uçak Operasyonları
AR-GE	:	Araştırma ve Geliştirme
BOY	:	Bakım, Onarım ve Yenileme
CAD	:	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	:	Bilgisayar Destekli Üretim
CFRP	:	Karbon Elyaf Takviyeli Polimer
CMM	:	Bileşen Bakım Kılavuzu
CO2	:	Karbon Dioksit
CTOS	:	Ticari Kullanıma Hazır
DOC	:	Esas Operasyon Maliyeti
EASA	:	Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı
FC	:	Uçuş Döngüsü
FH	:	Uçuş Saati
GVT	:	Yer Titreşim Testi
IPC	:	Resimli Parça Kataloğu
LCC	:	Yaşam Döngüsü Maliyeti
MGKS	:	Manevra Karakteristikleri Geliştirme Sistemi
MRO	:	Maintenance, Repair & Overhaul
MTBF	:	İki Arıza Arasındaki Zaman
MTBM	:	İki Bakım Arasındaki Zaman
MTBR	:	İki Tamir Arasındaki Zaman
MTOW	:	Maksimum Kalkış Ağırlığı
NAP	:	National Academies Press
OSD	:	Operasyonel Uygunluk Verileri
PHM	:	Prognostik Sağlık İzleme
RAHAT	:	Rafta Hazır Teçhizat-Donanım ve Parçalar

SHM	:	Yapısal Sağlık İzleme
SHT	:	Sivil Havacılık Talimatı
SRM	:	Yapısal Onarım Kılavuzu
TİM	:	Türkiye İhracatçı Ülkeler Konseyi
TOO	:	Tasarım Organizasyon Onayı
USHO	:	Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu
ÜOO	:	Üretim Organizasyon Onayı



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Havacılıkta Kullanılan En Yaygın Malzemelerin Yoğunlukları.....	14
---	----



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Havacılık Faaliyetlerinde Temel Kaza Önleyici Kavramlar	1
Şekil 2. Üretim ve Bakım İlişkilendirmede Akış	3
Şekil 3. Bir Hava Platformunun Tedarik Maliyet ile Boy Süreci Arasındaki Bağntı	4
Şekil 4. BOY Dokümanları Üretim, Geliştirme ve Kullanım Aşamaları	7
Şekil 5. Lazer Metal Biriktirme Eklemeli Üretim Yöntemi.....	11
Şekil 6. Eklemeli Üretim Yönteminde Kullanılan Teknoloji Yöntemleri	13
Şekil 7. Uçar Parça Üretim Organizasyon Şeması.....	16
Şekil 8. Bir Hava Aracının Üretim Bileşenleri.....	18
Şekil 9. Bir Uçak Motor Test Bremzesi.....	20
Şekil 10. Bir Hava Aracının Üretim Bileşenleri.....	21
Şekil 11. Bakım Operasyonu Kategorileri.....	33

ÖNSÖZ

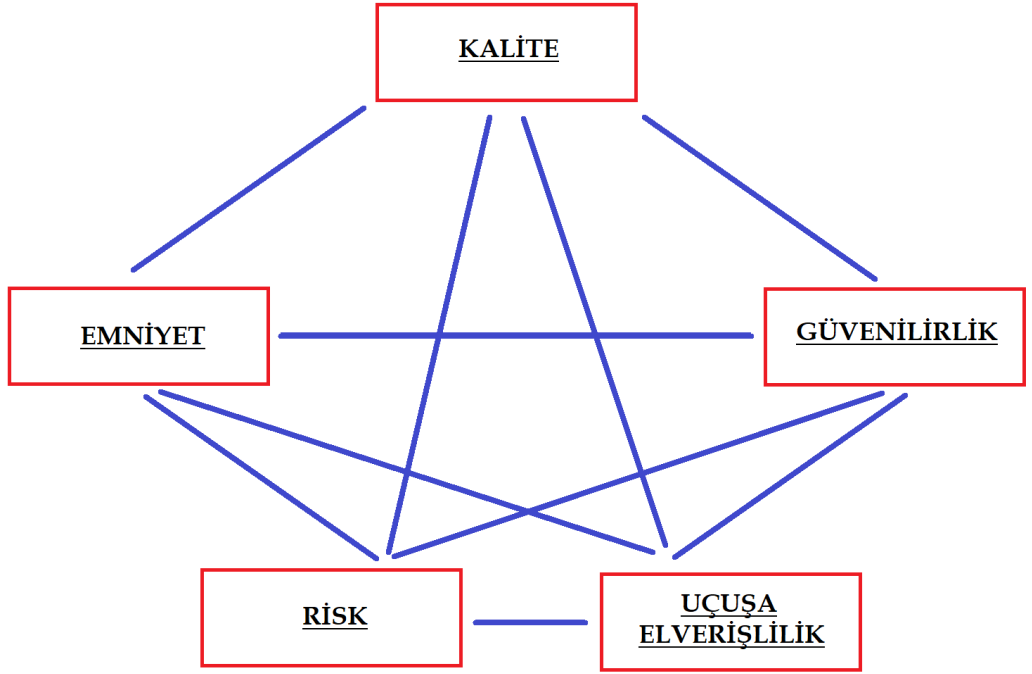
Bu tez çalışmasında uçar parça üretimi ve bakım operasyonları arasındaki ilgileşim üzerine bir metodolojik analiz yapılmıştır.

Öncelikle tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi R. Haluk Kul ve Dr. Öğr. Üyesi Tamer Saraçyakupoğlu'na, her daim yanımda olan eşime ve oğluma, çalışma arkadaşlarım Sayın Bölüm Başkanım Dr. Öğr. Üyesi Sinem Gürkan Aydın'a, Arş. Gör. Berces Kurt'a ve Arş. Gör. Ahmet Devlet Özçelik'e teşekkürlerimi sunarım.



GİRİŞ

Havacılık, katma değeri yüksek ve katı kurullarla çevrili sektörlerden biridir. Bunun dışında havacılık faaliyetlerinde diğer sektörlerle göre hataya çok daha az müsamaha gösterilebilecek süreçler işletilmektedir. Tasarım, onay, üretim, operasyon ve bakım aşamalarında bahsi geçen süreçlerde SIFIR HATA hedeflenerek işlemler gerçekleştirilmelidir. Bunu yapabilmek için de aşağıda Şekil 1’de gösterilen beş ana kavram kullanılarak faaliyetlere devam etmek gereklidir.



Şekil 1. Havacılık Faaliyetlerinde Temel Kaza Önleyici Kavramlar

Şekil 1’de sunulan ilişkinin çıkış noktası KALİTE ile ilişkilidir. Kalite için bir çok tanım yapılabilir. Bu çalışmada aşağıda sunulan üç ayrı tanım üzerinden değerlendirme yapılacaktır:

- Kalite şartnamelere uygunluktur.
- Kalite, kullanıma uygunluktur.
- Kalite, müşterinin beklenti ve ihtiyaçlarını karşılayabilmektir.

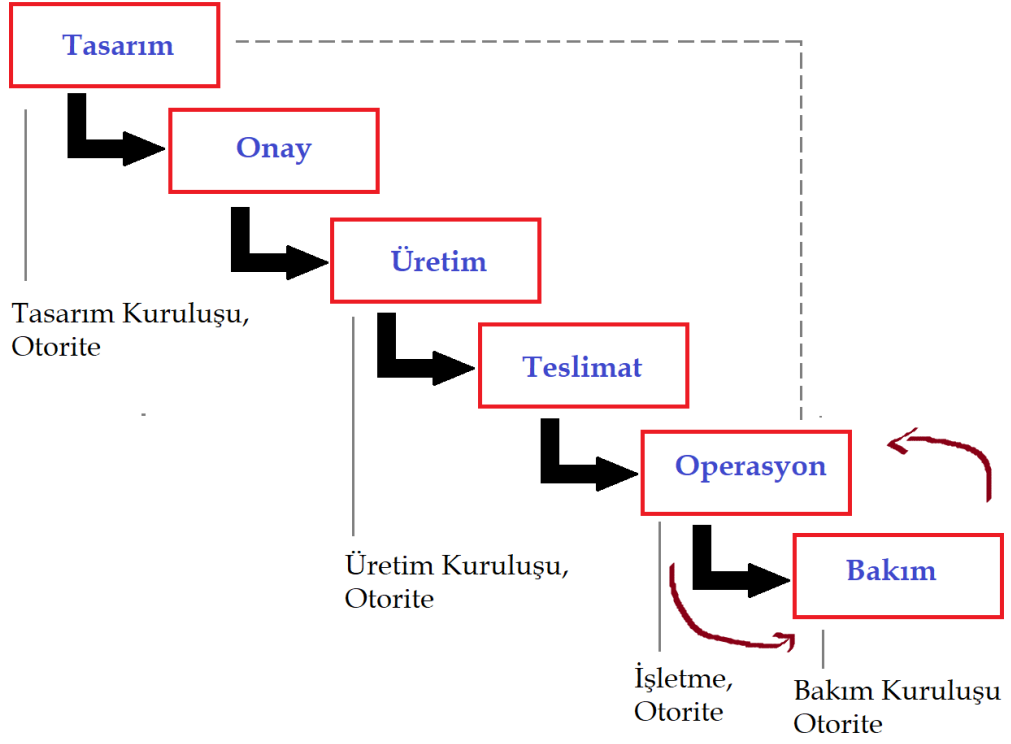
İlk tanım da kalite doğrudan doğruya otoritenin dayattığı kurallara göre iş yapmak ve ürün / hizmet üretmek şeklinde yorumlanabilir. Havacılıkta özellikle Uçuş İşletme – Mühendislik ve Bakım kuruluşları açısından bu tanım en doğru yaklaşımı göstermektedir.

İkinci tanım da kalite biraz daha çok işi rahat ve doğru yapabilmeye odaklanmaktadır. Yine de bu tanım da müşteri olarak para verip hizmet alan kişi veya kurum birincil öncelikte değildir.

Son tanıma baktığımızda ise müşteri terimi karşımıza çıkmaktadır. Alışlagelen yaklaşımda müşteri genelde parayı veren kişi / kuruluş olarak değerlendirilmektedir. Oysa bu tanım da müşteri sürecin çıktısını kullanandır. Bu nedenle, iç veya dış müşteri ve hatta paydaşlar bile değerlendirilmelidir.

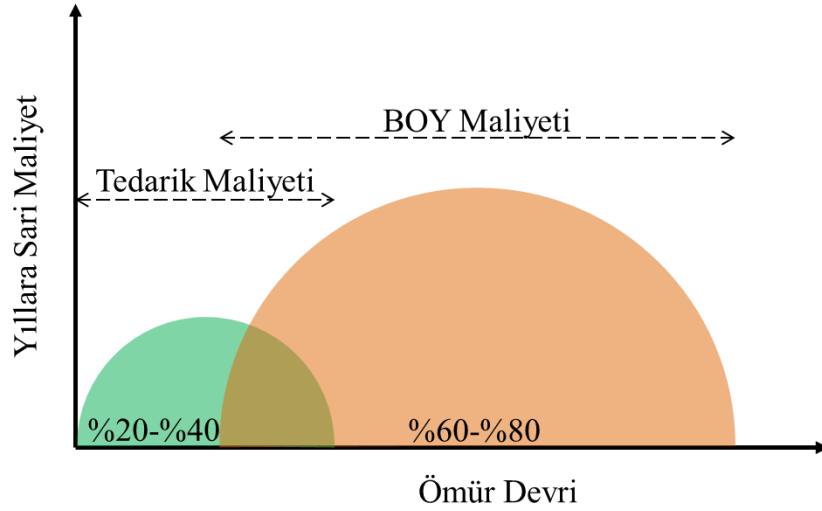
Sonuç olarak kalite yönetiminde kâr maksimizasyonu odaklı geleneksel yaklaşımın havacılıkta, özellikle teknik kısımlarda geçerli olmadığına altını çizmek gerektiği yeniden belirtilmelidir.

Burada üretim ve bakım arasındaki döngüsel ilişkinin çağlayan akışı modellen bir görsel ile betimi Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Üretim ve Bakım İlişkilendirmede Akış

Tasarım ve üretim aşamasında, uçak imalat şirketleri, “Bakım, Onarım ve Yenileme” (BOY, Maintenance, Repair & Overhaul-MRO) aşamasına odaklanmaktadır. Ticari bir uçağın ömrü, çalışma koşullarına bağlı olarak yaklaşık 35 yıl olarak verilmektedir (Saraçyakupoğlu & Ateş, 2020). Şekil 3’te görüldüğü üzere, bir hava platformunun tedarik maliyet ile BOY süreci arasında bir bağıntı söz konusudur.



Şekil 3. Bir Hava Platformunun Tedarik Maliyet ile Boy Süreci Arasındaki Bağntı (Saraçyakupoğlu, Bir Gaz Türbin Motoru Kompresör PalesininTi6Al4V Alaşımından Eklemeli Üretim Yöntemi ile İmalatı ve Boyutsal Doğrulaması, 2021)

Bakım Onarım Yenileme terimi içinde sektörel sözlü ve yazılı iletişimde Yenileme terimi yerine Revizyon teriminin kullanıldığı gözlenmektedir. Bakım - Onarım - Yenileme terimlerinin İngilizce karşılıkları sırasıyla Maintenance - Repair - Overhaul olmakta ve MRO kısaltması kullanılmaktadır.

Aşağıda bu üç terimin tanımı kısaca verilecek ve kendi içlerindeki bağlantılar değerlendirilecektir.

Bakım hakkında verilen bazı tanımlar aşağıda sunulmaktadır:

Havayollarının bakış açısına göre bakım, "ikmal, onarım, modifikasyon, revizyon, inceleme ve durumun belirlenmesi dahil olmak üzere, bir öğenin hizmet verilebilir bir durumda eski haline getirilmesi veya bakımı için gerekli eylemler" olarak tanımlanır. EASA'ya göre bakım "uçuş öncesi muayene hariç olmak üzere, hava aracının veya komponentin onarımı, tamiri, muayenesi, değiştirilmesi, modifikasyonu ve arızasının giderilmesi" olarak verilmektedir. Kinnison ve Siddique ise Bakım için "bir sistemin amaçlanan işlevini, tasarlanan güvenilirlik ve emniyet düzeyinde sürekli olarak yerine getirmesini sağlama süreci" tanımını kullanmaktadır (Kinnison & Siddique, 2013).

Bunun dışında genel geçer bir tanım olarak bakım "uçuş faaliyetlerinde emniyetin sağlanması, uçağın uçuşa hazır durumda bulunmasının sağlanması ve

emniyet faktöründen ödün vermeden maliyetlerin azaltılması amacıyla yapılan işler” olarak tanımlanmaktadır (Önder, 2003).

Aşağıda onarım hakkında verilen tanımlar sunulmaktadır.

Onarım arızalanan veya hasarlanan elemanın uçak üzerinde veya atölyede daha önceden belirlenen standartlara geri getirilmesidir (Önder, 2003).

Onarım "arızalanan veya hasarlanan hava aracı komponentinin veya parçasının uçak üzerinde veya atölyede teknik dokümanlarda daha önceden belirlenmiş olan standartlara geri getirilerek uçuşa elverişli hale getirilmesi" işlemidir. Sözlük anlamı olarak bakım; "Üretim veya tüketim sürecinde, yıpranan, aşınan ve bozulan herhangi bir üretim aracı veya malın yeniden kullanılabilmesi için yapılan her türlü işlem" veya "Araç, aygıt, makine vb. yıpranmış ya da bozulmuş bir bölümünün işler duruma getirilmesi" olarak tanımlanmaktadır (Onarım, 2008).

Yenileme - revizyon kavramı için de aşağıda sunulan tanımların incelenmesi doğru olacaktır.

Cambridge sözlüğüne göre revizyon, bir motoru, makineyi vs. her parçası olması gerektiği gibi çalışacak şekilde tamir etmektir. Aynı sözlükteki bir başka tanımda ise revizyon, bir sistemi daha etkili çalışacak şekilde tamamen değiştirmek olarak tanımlanmıştır (Overhaul, 1995). Bu noktada kavram karmaşasına neden olan "modernizasyon" terimi de incelenmelidir. Modernizasyon bir sistemin veya sistemin alt bileşenlerinin güncel gereksinimlere ve teknolojilere göre yeni kabiliyetler kazandırılması işlemidir ve yenileme-revizyon işlemlerini de içinde barındırır. Aynı şekilde modifikasyon terimi de incelenmelidir. Modifikasyon bir sistemi geliştirmek için değiştirilmesidir. Modifikasyon üretim ve operasyon sürecinde şekle bağlı bilgilerden dolayı oluşan kısıtlara uyum amacı ile de yapılabilir. Modifikasyonda temel amaç güvenilirliğin artırılmasıdır.

Bir havayolu işletmesi bir uçak satın almak için bir birim ödeme yaptığında, destek operasyonları ilk satın alma fiyatının yaklaşık üç katına tekabül etmektedir (Saraçyakupoğlu, Major Units and Systems in Aircraft, 2022). Diğer bir deyişle, havayolu şirketi tarafından yaşam döngüsü sonunda toplam 4 birim ödeme yapılacaktır. Bu çalışmada, imalat ve bakım aşaması arasındaki ilişki araştırılmıştır. Üretim aşamasında yapılan küçük bir farkın bile Yaşam Döngüsü Maliyeti (YDM,

Life-Cycle Cost-LCC) üzerinde büyük maliyetlerle ifade edilebilen bir öneme sahip olduğu gözlemlenmektedir.

Havacılık sektörü üretim ve bakım maliyetleri açısından oldukça büyük yekûn teşkil eden bir sektördür. Örneğin otomotive sektöründe kullanılan bir parçanın geometrik ve malzeme olarak aynısı uçak üzerinde kullanılırsa ortaya çıkan katma değer 1'e 60 oranında değişmektedir. Diğer bir anlamda, 60 kat daha fazla bir katma değer üretimi söz konusudur (Saraçyakupoğlu T. , 2020). Bu bakım operasyonları için de geçerli bir durumdur. Havacılık sektöründe çalışan personelin niteliğinin yüksek olması ve yaptığı faaliyetlerin ilgili havacılık otoritesi tarafından onaylanması gerekmektedir. Bir anlamda, havacılık sektöründe harcanan bir adam/saatin maliyeti diğer sektörlerdeki adam/saat'ten daha yüksektir. Dolayısıyla, "interval time" olarak isimlendirilen bakım operasyonlarının saatinin düşürülmesi bakım maliyetlerinin düşürülmesi anlamına gelmektedir. Bu ise bakım kolaylığı sağlayan parçalar sayesinde olacaktır. Risk analizi çerçevesinde de konu ele alınabilmektedir. Bu çerçevede, Boeing 737–Max uçakları için üretilen (MKGS, Maneuvering Characteristics Augmentation System-MCAS) sisteminin bir örnek olarak verilmesi mümkündür. Daha büyük ve daha verimli motor kullanılarak üretilen Boeing 737-Max uçakları, MCAS sisteminin tasarım ve üretim aşamalarında yeterince risk analizi yapılmaması sebebiyle, 29 Ekim 2018'de Endonezya'da ve 10 Mart 2019'da Etiyopya'da iki uçağın düşmesine sebebiyet vermiş, toplamda 346 kişi hayatını kaybetmiştir (Saraçyakupoğlu, 2020).

Uçar parça üretimi, kriterleri net olarak belirlenmiş ve regülasyonlarla çerçeveslendirilmiş bir faaliyettir. Genel olarak bu regülasyonlar Üretim Organizasyon Onayı (ÜOO, Product Organization Approval-POA / Part 21 – SHT 21) olarak isimlendirilmektedir. Üretim safhasında bir uçar parçanın kriterleri, söz konusu parçanın bakım periyodunda ne tür proselere maruz kalacağı belirlenmektedir. Diğer taraftan, üretimdeki girdilerin sadece bakım ile ilgili değil uçuş ve yer emniyeti ile ilgili hayati konuları barındırdığı da bilinmektedir. Bunun en canlı örneği, Boeing 737–Max uçakları için üretilen (MKGS, Maneuvering Characteristics Augmentation System-MCAS) sisteminin neden olduğu kazalardır (Saraçyakupoğlu, The adverse effects of implementation of the novel systems in the aviation industry in pursuit of maneuvering characteristics augmentation system (MCAS), 2020). Bu kapsamda

Şekil 4'te bir hava aracının ömür devri içerisindeki aşamalar ve bu aşamalar arasındaki ilişkiler sunulmaktadır.

KARAR GEÇİTLERİ (DECISION GATES)



Şekil 4. BOY Dokümanları Üretim, Geliştirme ve Kullanım Aşamaları (Szabo, Koblen, & Vajdová, 2017)

Yaşam döngüsü aşamaları arasında, aşamalara girişi ve aşamalardan çıkışı kontrol eden ve aşağıdakileri sağlayan karar kapıları ve bu karar kapılarına bağlı kontrol mekanizmaları mevcuttur. Havacılıkta dokümantasyon en önemli kriterdir. Bu nedenle ömür devri boyunca, her aşamada alınan kararlar belgelenmeli ve aşağıda yer alan hususlarla ilgili olduğu havacılık otoritesine onay için sunulmalıdır.

- Bir sonraki aşamanın uygulanması,
- Mevcut aşamanın devamı,
- İhtiyaca binaen önceki aşamaya geri dönüş,
- Projenin tamamlanması (yaşam döngüsü boyunca)
- Projedeki faaliyetin korunması (yaşam döngüsü boyunca) (Szabo, Koblen, & Vajdová, 2017)

Daha detaylı bir kırılım verilmesi gerektiğinde, yaşam döngüsü aşamaları aşağıdaki gibi ayrıştırılabilir:

- Tasarım ve Tanımlama Aşaması

- Üretim aşaması
 - ✓ Bu aşamada üretim kalitesini doğrulamak için testler yapılır (Aeroelastisite, Yer titreşim testleri (YTT, Ground Vibration Tests,GVT)
 - ✓ Prototip,
 - Prototip testi
 - Fabrika Kabul testleri (FKT, Factory Acceptance Test-FAT testleri yer testi,
 - Uçuş testi,
 - Sertifikasyon testleri ve
 - Müşteriye göre ileri testler gereksinimler
 - ✓ Bir hava aracı tipinin ve havacılık teknolojisinin onaylanması (Tip sertifikası verilmesi bir hava aracı ve bileşenleri ve ürünlerin sivil havacılıkta kullanılmasına izin verilmesi)
- Testler aşaması / sertifikasyon doğrulama
 - ✓ Uçağın uçuşa elverişliliğini doğrulayın (uçuşa elverişlilik sertifikası),
 - ✓ Saha Kabul Testleri (SKT, Site Acceptance Tests-SAT)
- Müşterinin gereksinimlerine ve özelliklerine göre daha fazla test
 - ✓ Hava Platformu Gelişim Aşaması
 - ✓ Kavramsal tasarımdan projeye kadar geliştirme aşamaları / adımları
 - ✓ Uçar parça üretim teknolojisi ile platform geliştirme
- Operasyon (kullanım) aşaması,
 - ✓ Hava aracını Uçuşa Elverişlilik Sertifikasına uygun olarak işletmek
- BOY aşaması,
- Modernizasyon (veya iyileştirme) aşaması,
- Hizmetten çıkarma aşaması,

- Gerekirse, teknik ömrün uzatılması aşaması (modernizasyon ile ilişkili olabilir)

İlave olarak, tasarım ve üretim aşamalarında, hava araçlarına implamantasyonu yapılan yeni sistemlerin risk analizleri çerçevesinde uçuş ve yer emniyetine etkileri de çalışılmıştır.

Havacılık sektörü, en yeni ve özgün teknolojilerle sınırlarını genişletmektedir. Bu hareketlilik talebi havacılık endüstrisini güçlendirmektedir ve bu durum havacılık endüstrinin, ekonomik-küresel durgunluklara karşı gelişen bir sektör olarak adlandırılmasının ana nedenidir. Aslında ekonomik olarak havacılık sektörü yatırımın geri dönüşü diğer sektörlerle göre çok daha hızlıdır. Daha önce bahsedildiği üzere, National Academy Press (NAP) raporlarına göre, ticari bir uçağın değeri, otomotiv endüstrisinden 60 kat daha büyüktür. Söz konusu rapora göre, otomotiv sektörünün ağırlık cinsinden pound (453 gram) fiyatı 5 dolar, ticari uçak imalat sanayinde ise 300 dolardır. Kilogram cinsinden ifade edilecek olursa otomotivde 1 kg'lık ürünün fiyatı 11 dolar, ticari uçak imalat sanayiinde ise 660 dolar mertebesinde olacaktır. Dolayısıyla havacılık endüstrisinde bir döngünün olduğu rahatlıkla iddia edilebilir; gelir, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerini, Ar-Ge ise satışları güçlendirir.

Her parçanın ve bileşenin farklı bir bakım aralığı olduğunun altı çizilmelidir. Bu aralıklar, sürdürülebilirlik kavramı içinde tanımlanmaktadır. Raymer ve diğerlerine (Raymer, 1992) göre, bakım yapılabilirlik, basitçe, uçağın tamir edilebilme kolaylığını tanımlar. Bileşenler ve uçağın Bakım, Onarım ve Revizyon (MRO) operasyonları, mümkün olduğunca kolay ve ucuz bir çerçeveye oturtulmalıdır. MRO aşaması sırasında uçaklar Yerdeki Uçak (AOG) operasyonları nedeniyle para tükettiği için MRO döneminin istenmeyen bir durum olduğu düşünülmelidir.

Bütün anlatılanlardan yola çıkılarak uçar parça üretimi sonucunda elde edilecek ürün için aşağıdaki isterlerin karşılanması öncelikli olduğu anlaşılmaktadır:

1. Üretilen malzemeler tasarlanırken malzemenin hava aracı üzerinde kullanılacağı yer ve uçağa etki eden kuvvetler göz önünde bulundurularak malzemenin doğasının doğru bilinmesi ve tespit edilmesi gereklidir. Aerodinamik kuvvetler, atalet kuvvetleri, yerçekimi kuvveti

ve itki kuvveti gibi oluşan kuvvetlerin hava aracına etkisini ve yapısal bütünlüğü koruyabilmesini sağlayacağına emin olunmalıdır.

2. Üretimi tamamlanan numune parçalar üzerinde yapılan laboratuvar testleri vasıtasıyla metalik ve nonmetalik malzemelerin çeşitli özellikleri değerlendirilmelidir.
3. Ses üstü (süpersonik) uçuşlar nedeniyle yüksek gerilimlere ve yüksek veya düşük sıcaklıklara ve sıcaklık değişikliklerine maruz kalması nedeniyle oluşan zorlamalara dayanabilecek malzemelerin geliştirilmesi gereklidir.
4. Prototip üretiminin ardından sınamalardan geçmiş hava aracında kullanılacak uçar parça malzemelerin korozyon direnci olmalıdır.
5. Üretimi tamamlanarak testlerden geçmiş hava aracında kullanılacak metalik olmayan malzemelerin sıcaklık değişikliklerine ve basınç yüklerine mukavemeti yüksek olmalıdır.

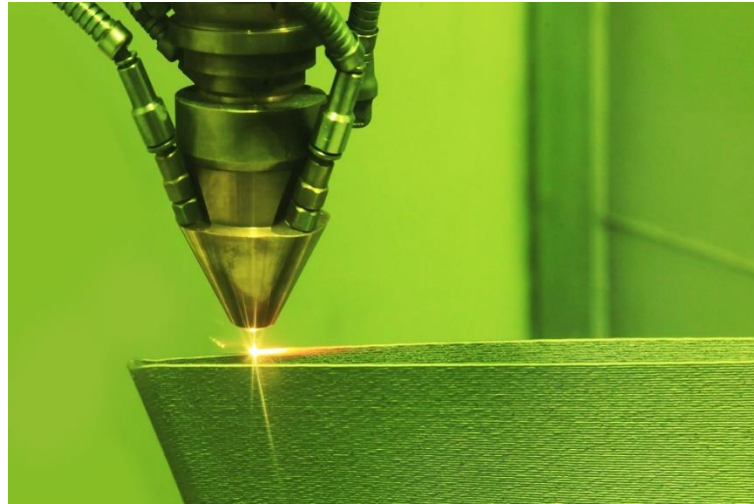
Son olarak yapılan çalışmada kullanılan verinin ve malumatın içinde Ticari, Mühendislik ve Askeri Gizlilik içerebilecek hususların bulunması nedeniyle bütüncül verinin tamamı sunulmamıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dijitalleşme, havacılık sektörü için önemli bir evrimdir. Yeni teknolojilerin uygulanması, bir şirketin genel maliyetlerini düşürmek ve gelirini artırmak gibi birçok faydaya sahiptir. Bu doğrultuda, "Dijital Dönüşüm Monitörü, Havacılıkta Endüstri 4.0: IoT Uygulamaları" raporu Avrupa Komisyonu tarafından Haziran 2017'de yayımlanmıştır. Söz konusu rapora göre, havacılık sektöründe dijitalleşmenin beklenen etkisi yıllık olarak maliyetlerde -%3,7 azalma ve gelirden +%2,7 artış olarak tespit edilmektedir (European Commission, 2017).

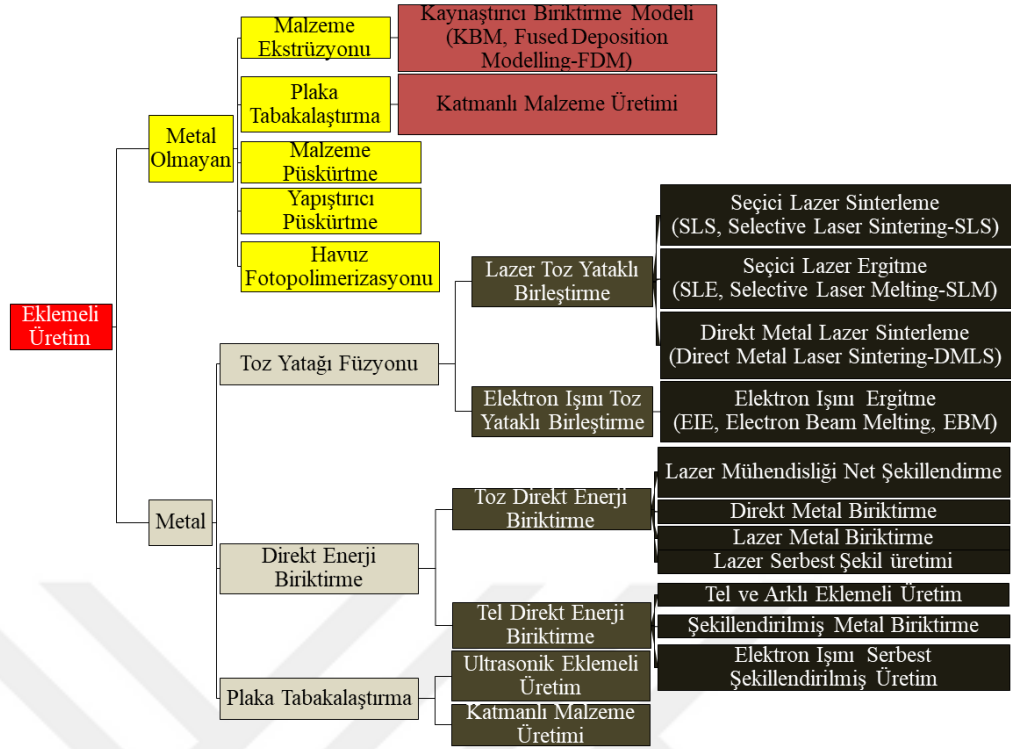
Havacılık bakım çalışmaları genellikle her tür uçuş platformunda, söz konusu uçuş platformlarına ait alt sistemlerde ve komponent adı verilen bileşenlerinde gerçekleştirilir. Parça maliyetinin yüksek olduğu hava platformlarında, eski parçaların yenileriyle değiştirilmesi yerine onarılması havayolu şirketlerinin tercih ettiği seçeneklerden biridir. Bileşen onarım döngüsü, aşınmış alanların incelenmesini, aşınmanın yeni malzemeler veya kaplamalarla doldurulmasını ve son şekli sağlamak için işlem sonrası süreçleri içerir. Bu yöntemlerden son yıllarda yeni malzeme dolgu adımlarında kaynak uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, Şekil 5'te görüldüğü üzere, eklemeli imalat teknolojisinin gelişimi her geçen gün kaynağın yerini almaktadır.



Şekil 5. Lazer Metal Biriktirme Eklemeli Üretim Yöntemi (SSPopov, 2020)

Bunun nedeni, eklemeli imalatın kaynağa göre daha esnek olması, malzemeye daha az ısı verilmesi ve dolgudan sonra malzemenin ve yüzeyin özelliklerinin iyileşmesidir. Poyraz ve Kuşhan çalışmalarında, eklemeli imalat teknolojisinin her geçen gün önemi artan bakım uygulamalarında kullanımı hakkında bilgi vermekte ve ülkemizdeki ilgili endüstriyel akademik kurum ve çalışanları bilinçlendirmeyi hedeflemektedir (Poyraz & Kuşhan, 2018).

Eklemeli imalat teknolojisi birçok avantajı nedeniyle tasarım ve imalatta tercih edilmekte ve bu konudaki araştırmalar her geçen gün artmaktadır. Eklemeli imalat işleminin sadece tasarım ve imalatta değil, aynı zamanda bakım ve onarımda da avantajları vardır. Bu avantajlardan en önemlisi, aşınan bölgede yeni eklenen malzemenin metalürjik ve mekanik özelliklerinin lamine kalıplama ile asıl parçanın malzemesine benzer olmasıdır. Bununla birlikte, uçak motoru bileşenleri için alaşımlar, eklemeli imalat ile üretilen malzemenin alanında da bulunabilir. Metal malzeme eklemeli imalat teknikleri arasında lazer istifleme işlemi toz yataklarda değil, çeşitli eksen hareketleri ve yüksek yapım hızları sayesinde karmaşık şekillerde kullanılabilmesi nedeniyle onarım sürecinde kendini kanıtlamıştır. Bu işlemin diğer faydaları arasında değiştirilebilir bir lazer taş kafasının işleme merkezine entegre edilmesi yer alır. Bu, katmanlı modelleme ve işlemin hibrit kullanımını sağlar. Bu özellik, parçaların sıralı kenetlenmesinden kaynaklanan hassasiyet riskini en aza indirir ve malzeme ekleme ve son işlemler aynı istasyonda yapıldığından zaman kaybını ortadan kaldırır (Poyraz & Kuşhan, 2018). Şekil 6'da eklemeli üretimin yönteminde kullanılan teknoloji yöntemleri sunulmaktadır.



Şekil 6. Eklemeli Üretim Yönteminde Kullanılan Teknoloji Yöntemleri (Saraçyakupoğlu, Bir Gaz Türbin Motoru Kompresör PalesininTi6Al4V Alaşımından Eklemeli Üretim Yöntemi ile İmalatı ve Boyutsal Doğrulaması, 2021)

1 kg uçuş maliyetinden tasarruf etmenin bile uçakları operasyonel açıdan değerlendirirken çok önemli olduğunu belirten Saraçyakupoğlu şu örnekle çalışmasına devam etmiştir: Boeing 737 800 sınıfı bir uçakta (maksimum kalkış ağırlığı 8090 ton) 1 kg tasarruf sağlanarak yılda 22.000 galon yakıt tasarrufu sağlanır. Bununla birlikte, örneğin, bir Airbus A 310 uçağının kanatçık kısmı daha önce 2076 parçadan yapılmıştı, ancak CFRP kullanımı sayesinde sadece 95 parçadan yapılmıştır. Bu sayede üretim adam-saat daha da azalmıştır ve üretim daha uygun maliyetli olmuştur. Ağırlık azaltmanın CO₂ emisyonları üzerindeki olumlu etkisi de iyi bilinmektedir. Sadece CO₂ değil diğer birçok atık gaz ve partikülün de azalması söz konusudur. Genel değerlendirme olarak Saraçyakupoğlu, Karbon Fiberle Desteklenmiş Polimer (KFDP, Carbon Fiber Rein-Forced Polymer-CFRP) gibi kompozit malzemelerin kullanımı ve havacılık endüstrisinde üretim ve bakım aşamalarında 3D yazıcıların yaygın kullanımı yoluyla yenilikçi teknolojilerin kullanımının yakın gelecekte genişlemeye devam edeceğini gösterdiğini ve bu çerçevede, yenilikçi malzemeler kullanılarak uçuşa elverişli havacılık parçalarının imalatının, uçak üreticilerinin araştırma ve geliştirmesinin merkezinde olmasının beklendiğini belirtmiştir (Saraçyakupoğlu,

Usage of Additive Manufacturing and Topology Optimization Process for Weight Reduction Studies in the Aviation Industry, 2021). Bu öngörünün altında en temelde Tablo 1.'de sunulduğu üzere çelik, alüminyum ve CFRP malzemelerinin yoğunluk farkı yer almaktadır.

Tablo 1. Havacılıkta Kullanılan En Yaygın Malzemelerin Yoğunlukları (Gorbatikh, Wardle, & Lomov, 2016)

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)
4130 Çelik	7,8
Alüminyum7075	2,7
Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)	1,6

Diğer taraftan, Demirel ve Tolun çalışmalarında; havayollarında, turbofan uçak motorları için mühendisin en büyük önceliği uçak motoru işletme maliyetleri, güvenilirlik, güvenlik ve operasyonel esneklik açısından motor performansını sağlamak olduğunu belirtmiştir. Motorun uçaktan çıkarılması ve motorda gerekli iyileştirmelerin yapılması gereken optimal bir zaman aralığı olduğu bilinmektedir. Optimum zaman aralığından önce sökme, onarılabilir parçaların çok hızlı bir şekilde onarılmasına, onarılabilir parçaların eklenmesine ve motorun ömrünün uzamasına neden olur. Optimum zaman aralıklarında demontaj yapıldığında, ek maliyetler, onarılacak parça sayısının artması ve onarımların zor ve maliyetli olmasıdır. Operatörün motorundan gelen veriler, her durumda en uygun uçuş ömrünü belirlemek için analitik ve istatistiksel olarak analiz edildi. Problem, gerçek problemin özelliklerini bozmayan bir yaklaşım kullanılarak matematiksel olarak modellenir. Bu sorun, bakım maliyeti, performans, güvenilirlik ve güvenlik hedeflerinin birlikte düşünülmesi gerektiğinden, çok amaçlı bir optimizasyon sorunu olarak çözülmüştür. Belirtilen çok amaçlı problem, havacılık mühendisliğinin önceliği göz önünde bulundurularak Demirel ve Tolun bunu bir dayanıklılık fonksiyonuna dönüştürmüş ve genetik algoritma yöntemi ile optimizasyon gerçekleştirmiştir. Optimizasyon sonunda elde edilen sonuçlar, söz konusu motor tipi için optimum uçuş ömrünü veya optimum demontaj aralığını bulmuştur.

Demirel ve Tolun çalışmalarındaki optimizasyon sonucunda elde edilmiş sonuçlara göre, ele alınan motor tipi için optimum uçuş ömrü, bir başka anlatım ile, optimum söküm aralığı tespit edilmiştir. Bu söküm aralığı, gerçekte olup biten söküm aralığının içinde olduğu için kullanılan yöntem ve matematik model ümit vaat ettiğini

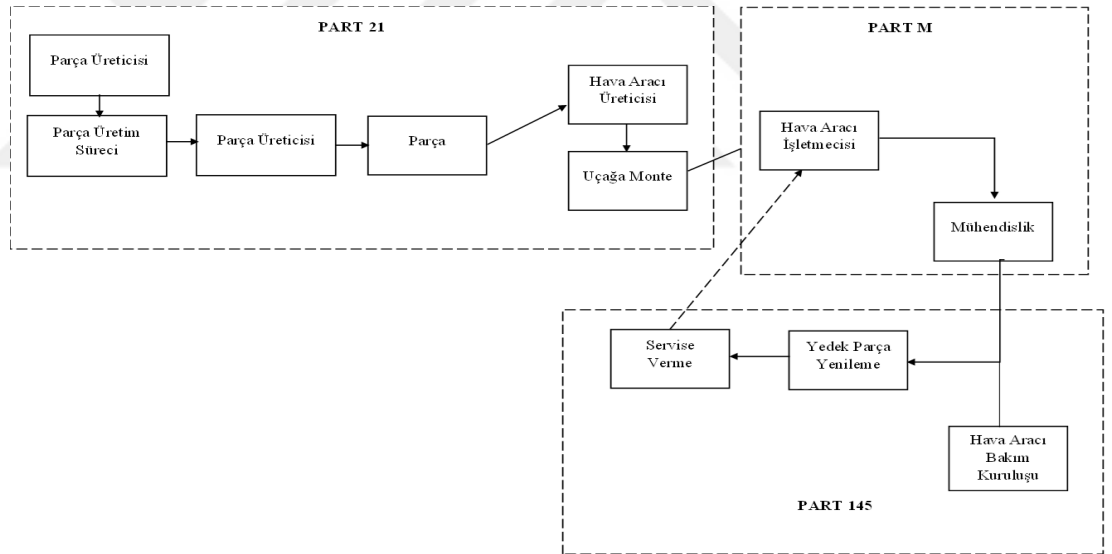
belirtmiştir. Bunlarla birlikte, tayyare motorlarının uçuş ömürlerini etkileyen kullanım faktörleri tartışarak, çözüm metodunun başka filo motorlarına yada başka motor tiplerine uygulanmasını sağlamak amacıyla genel bir matematiksel model oluşturmuştur (Demirel & Torun, 2008).



İKİNCİ BÖLÜM

UÇAR PARÇA TANIMLAMASI

Havacılık endüstrisinde hava araçlarında kullanılabilen parçalara "Uçar Parça" denir. "Uçar Parça" kalite seviyesinin üretimi aynı zamanda her ülkenin teknik seviyesinin seviyesini de gösterir (Noh, Benito, & Alonso, 2016), (Ma, Cao, Luo, & Qiu, 2016). Elbette zor ve karmaşık süreçlerde üretilen uçakların satışları ve buna bağlı katma değeri de yüksek. Bu anlamda havacılık sanayinde üretim, otomotiv sanayiinin 60 katını getiriyor. Japonya'da yapılan bir pazar araştırmasına göre, Türkiye'nin 2016 yılında ortalama ihracat değeri 1,37 ABD doları, havacılık ve savunma sektörünün ihracat değeri ise Türkiye İhracatçı Ülkeler Konseyi (TİM) değerlendirmesine göre 2016 yılında 24,78 ABD doları oldu. Yani havacılık ve savunma sektörünün katma değeri ortalama değerlerin 18 katıdır (İhracatın Gelişimi 2001-2016, t.y.). "Uçar Parça" organizasyon şeması Şekil 5'te yer almaktadır.



Şekil 7. Uçar Parça Üretim Organizasyon Şeması

2.1. Uçar Parça Üretim Gereksinimleri

Her uçar parça Part 21 sertifikası almıştır. Part 21, ürün ve parçaların sertifikalandırılması için düzenleyici çerçeve sağlayan sivil havacılık otoritesi düzenlemesidir. Buna mühendislik, uçuşa elverişlilik, üretim ve kalite sistemleri dahildir. Havacılık ve uzay endüstrisi, Part 21'e uyum etrafında dönmektedir (FAA Part 21 Certification Procedures for Products and Parts, t.y.).

2.2. Part 21 J Tasarım Organizasyonu Yönetim Onayı

Part 21 Alt Kısım J, bir havacılık otoritesi tarafından Tasarım Organizasyon Onayı'na (TOO) sahip olmak için bir tasarım organizasyonunun gerektirdiği unsurları detaylandırır. TOO, kuruluşa yeni ürünler, ürün değişiklikleri veya onarımlar tasarlaması için ayrıcalıklar verir ve bu tasarımlar için onay içerebilir (Part 21 J – Design Organisation Approval, t.y.).

2.3. Part 21 G Üretim Organizasyonu Yönetim Onayı

Part 21 Alt Kısım G kuruluşu, onaylanmış verilere uygun olarak hava taşıtı parçaları ve cihazları üretme onayına sahip bir kuruluştur. Üretim Organizasyonu Onayları (ÜOO'lar), 748/2012 Sayılı Düzenlemenin (EC) Alt Kısımı uyarınca EASA tarafından yönetilir. Kuruluş şunlardan sorumludur:

- AB dışı ülkelerden (veya o ülkenin talebi üzerine bir AB ülkesinden) üretim organizasyonu onayları (ÜOO) için yapılan tüm başvuruların yönetimi.
- İlgili sertifikaların düzenlenmesi ve bunların sürekli gözetimi (EASA Part 21 Subpart G Production Organisations Approvals, t.y.)

2.4. Üretim Sonrası Test Süreçleri

2.4.1. Parça Bazında Test ve Kontrol Süreçleri

Parça bazında test ve kontrol işlemleri her bir parçanın üretim süreci içerisinde yer almaktadır. Traveller adı verilen parça üretim basamaklarının yazılı olduğu ve kalite gereklerinin yerine getirildiğinin onaylandığı bir dokümandır.

Şekil 8'de sunulduğu üzere; en üst asamblenin hava aracı (uçak, helikopter ya da diğer hava platformları) olarak ele alındığı görülmektedir. Tüme varım yaklaşımı içerisinde ve bir akış süreci dâhilinde üretim piramidinin aşağıdan yukarı doğru diziliminde en üst asamblenin hemen altındaki bileşen olan “alt asamble” segmentini;

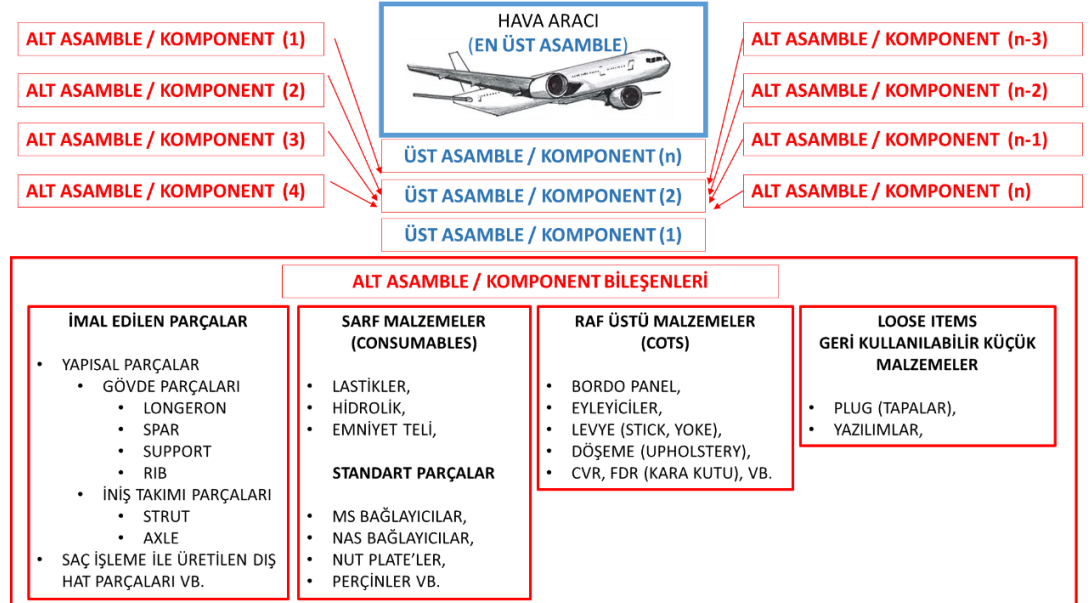
- İmal edilen parçalar,
- Sarf malzemeler,
- Standart parçalar,

- Rafta Hazır Teçhizat-Donanım ve Parçalar (RAHAT, Commercial Off The Shelf-COTS),
- Loose item parçalar gibi malzemeler oluşturmaktadır.

Yukarıda zikredilen Gevşek Malzeme (loose item) ve Raf Üstü Hazır Malzeme kavramları için tanım ve açıklamalar aşağıda sunulmaktadır:

Gevşek Malzeme (Loose Item), Uçaklarda bulunan küçük parçalar, açıkta görünen erişilebilir parçalar, gevşek parçalar, borular, hortumlar, konnektörler, pinler, soketler (Jug-Plug), kullanıcılar, teknisyenler tarafından önemsiz gibi algılanabilir. Ancak boyutu ne olursa olsun bütünleşik çalışan bir dizi aktörün bir parçası olduklarından potansiyel bir emniyet riskini ifade etmektedir. Bu nedendir ki belirtilen parçaların emniyete alınması gereklidir. Bu parçalarda kör tapa, tıkaç ve benzeri koruyucu malzemeler kullanılmaktadır. Bu tür malzemeler gevşek malzeme (Loose Item) olarak tanımlanmaktadır.

Raf üstü hazır malzeme ise yazılımla çalışan mekanik ve aviyonik sistemlere ait yazılımları ifade etmektedir. Örneğin hava aracı kumanda yüzeyleri için Uçuş kontrol yazılımı, Modüler aviyonik (IMA-Integrated Modular Avionics) sistem yazılımları gibi yazılımlar bu türe örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 8. Bir Hava Aracının Üretim Bileşenleri (Saraçyakupoğlu, 2020)

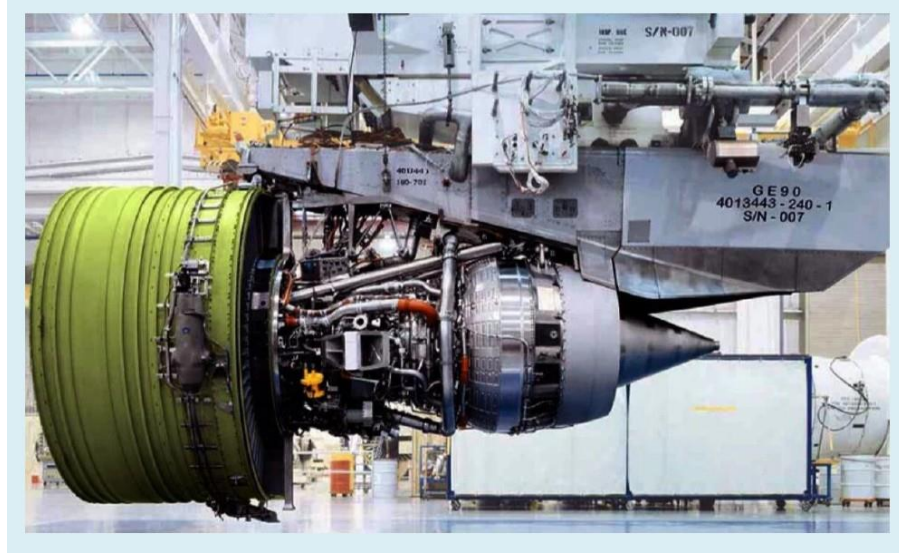
Havacılık standartında üretim için her bir parçanın kendinde özgü mekanik özellikler, malzeme spektrumu gibi hususlarda testleri gerçekleştirilmektedir. Söz

konusu testler çekme-uzama, basma, çentik darbe, burulma gibi özelliklere yönelik gerçekleştirilmektedir. Uçar-Parça (Aviation-Grade Part) olarak bir parçanın kalifikasyonun sağlanması ancak bu titizlikle tasarlanmış testlerden sonra ve ilgili havacılık otoritesinin onayı ile mümkün olabilmektedir (Saraçyakupoğlu, The Qualification of the Additively Manufactured Parts in The Aviation Industr, 2019). Üretim aşamasında sadece tezgâhlar ve üretim hangarları değil aynı zamanda personel vasıflandırması da son derece önemlidir. Bu bağlamda, havacılıkta üretim, bakım ve uçuş operasyonları icrasında personel kıymetlendirmesinin Birleşmiş Milletler'e bağlı Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (USHO, International Civil Aviation Organization-ICAO) tarafından hassasiyetle ortaya konan regülasyonlarla takip edildiğinin bilinmesi gerekmektedir (Saraçyakupoğlu, 2016).

2.4.2. Asamble Bazında Test ve Kontrol Süreçleri

Asamble kavramı için örnekleme üzerinde çalışmak uygun olacaktır. Uçakların iniş takımı bir asamble olup bu asamblede Şekil 1'de bahsi geçen tüm bileşenler yer almaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, her bir bileşenin ayrı ayrı birer üst asamble olduğudur. Burun iniş takımı içerisinde eyleyicileri harekete geçiren basınçlı akışkanın aktarıldığı boru sistemleri (Pipe ve hose) birer imal edilen parçadır. Şok emici (Shock Absorber) donanımı ise alt asamble olan iniş takımının alt-alt asamblesidir. Bu iniş takımı üzerindeki civata, somun gibi bağlayıcılar standart parçalar olarak karşımıza çıkmaktadır. İniş takımı depoda ya da bakım atölyesinde (Landing Gear Back Shop) muhafaza edilirken hidrolik hatların uç kısmındaki tıkaç (plug) vb. malzemeler loose item parçalardır. Burun iniş takımını harekete geçiren yazılım ise bir raf üstü ürün (Rahat) olarak tanımlanmaktadır.

Asamble bazında testler genellikle özel tasarlanan test tezgâhlarında gerçekleştirilmektedir. Test-bench ya da test-stand adı verilen özel donanımlar ilgili asambleye özgün olarak tasarlanmaktadır. Söz konusu donanımların kontrolleri hava aracının çalışma şartlarının benzeştirildiği ortamlarda gerçekleştirilmektedir. Örneğin Şekil 9'da sunulan, bremze adı verilen motor test birimleri asamble bazında gerçekleştirilen testler için bir örnek teşkil etmektedir.



Şekil 9. Bir Uçak Motor Test Bremzesi

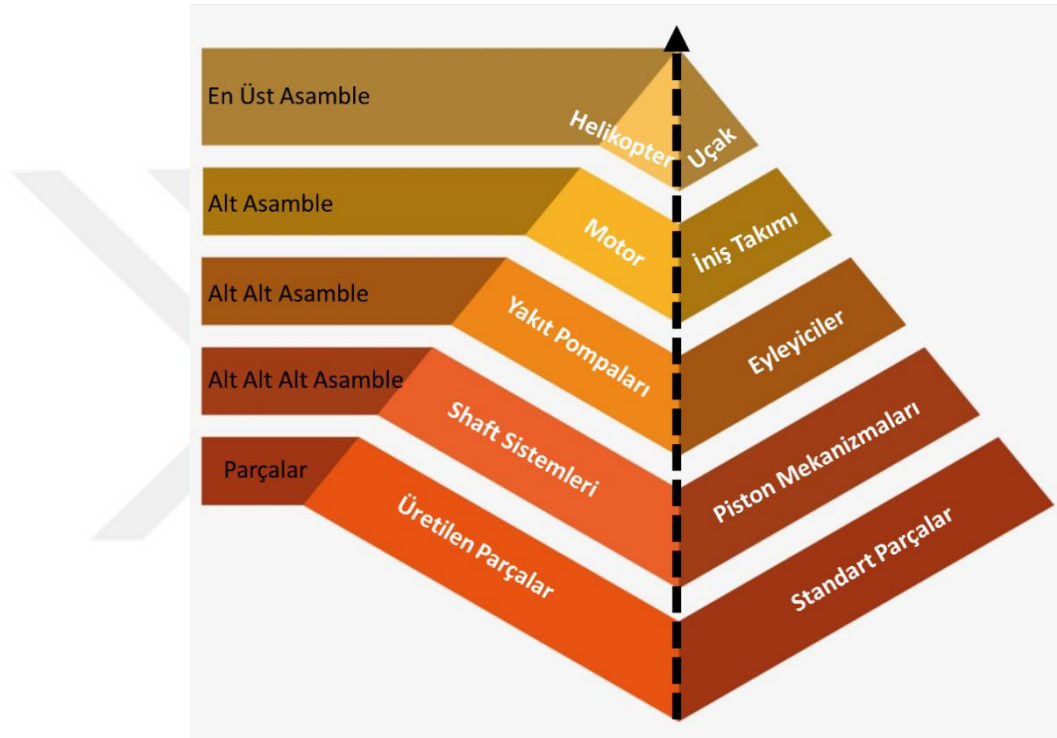
2.4.3. Hava Aracı Bazında Test ve Kontrol Süreçleri

Daha önce bahsedildiği ve Şekil 3’te sunulduğu üzere, bir hava aracının ömür devri boyunca ortaya çıkan maliyeti 100 birim ise bunun yaklaşık %20-40 arasının sahip olma (edinme maliyeti) ve %60-80 arasının ise bakım maliyeti olduğu bilinmektedir (Saraçyakupoğlu & Ateş, 2020). Bu bağlamda hava aracının üretimi aşamasında BOY süreci için girdilerde bulunmak zorlu havacılık rekabet ortamı için bir olmazsa-olmazdır.

Uçuş testlerinde yeni ilave edilen sistemlerin üzerine daha güçlü bir mercek konulması zaruridir. Bu husus doğrudan bir uçuş ve yer emniyet unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır. Havacılık küresel bir aktivite olması yapılan tüm çalışmaların üzerine güçlü bir mercek konmasını zorunlu kılmaktadır. Nitekim, 29 Ekim 2018 tarihinde ve 10 Mart 2019 tarihinde meydana gelen Boeing 737 – Max kazaları uçaklara yeni sistem uygulamalarından sonra yeterince test yapılmadığından dolayı yaşanan kazalar olduğuna dair şüpheli hadiseler olarak havacılık tarihinde yer almıştır (Saraçyakupoğlu & Ateş, 2020) (Saraçyakupoğlu, 2020). Uçaklar ABD menşeli Boeing tarafından üretilmiş ancak kazalar Endonezya ve Etiyopya’da toplam 346 insanın hayatını kaybetmesine sebebiyet vermiştir. Bu bağlamda literatürde üretim, bakım ve operasyonel safhalarda insan, makine ve çevre odaklı birçok ölümcül ve ölümcül olmayan kazaların olduğu malumdur (Saraçyakupoğlu, 2021) (Saraçyakupoğlu, 2020) (Saraçyakupoğlu, 2021).

Bu çerçevede, Şekil 10’da sunulduğu üzere en üst asamble hava aracının kendisi olduğu gerçeğinden yola çıkarak her bir parça, her bir asamble ve en üst asamble olan hava aracının ayrı ayrı testlerden geçirilmesi son derece önemlidir.

Şekil 10’daki üretim piramidinin en üst aşaması olan kısım üretim safhasının sonlandırıldığı ve hava aracının servise verilmeye hazır olduğu aşamadır. Burada hava aracı ağırlık kategorisi ve/veya üretim amacına yönelik özel yer ve uçuş testlerine tabi tutulmaktadır.



Şekil 10. Bir Hava Aracının Üretim Bileşenleri (Saraçyakupoğlu, 2020)

Üretim sonrası uçuş ve yer testleri bazı durumlarda yılları bulan faaliyetler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni üretilen hava aracının nihai olarak ilgili ülkenin havacılık otoritesi tarafından uçuşa elverişli olarak valide edilmesi zorunluluğudur. Aksi takdirde, bir ticari yolcu uçağının küresel ölçekte meskûn mahaller de dâhil olmak üzere uçuş yapıyor olması mümkün değildir.

2.4.3.1. Hava Aracının Yer Testleri

Yeni bir hava aracı tasarımı veya önemli yapısal değişikliklere uğramış bir hava aracı için yer testi zorunludur. Yer testi, uçuş yükleri simülasyonu, malzeme statığı ve

yorulma, yapısal dinamikler, modal analiz, havadan ve yapıdan kaynaklanan akustiği ve daha fazlasını kapsar (Aerospace Ground Testing, t.y.).

2.4.3.1.1. Yer Titreşim Testi-Ground Vibration Test

Yer titreşim testi (GVT), hava aracı sertifikasyon sürecinde önemli bir kilometre taşıdır. Testin temel amacı, yapısal dinamik modellerini doğrulayabilmek ve iyileştirebilmek için tüm uçak yapısı için deneysel titreşim verileri elde etmektir. Diğer şeylerin yanı sıra, bu modeller çarpıntı davranışını tahmin etmek ve güvenlik açısından kritik uçuş testlerini planlamak için kullanılır. GVT tipik olarak geliştirme döngüsünün sonlarında gerçekleştirilir ve uçağın sınırlı mevcudiyeti nedeniyle, test sonuçlarını mümkün olduğunca çabuk almayı sağlar (Ground Vibration Testing, t.y.).

2.4.3.1.2. Kuş Çarpma Testi- Bird Strike Test

Havacılık teknolojisi, hava araçlarının birçok fırtınadan ve diğer tehlikelerden kaçınmasına izin verse de, kuşların yutulması, hava araçları kazalarında ve hava araçları hasarlarında hala milyonlarca dolar masrafa sebep olmaktadır.. Kuş çarpması testi, insan hayatı ve ekipmanı için tehlike risklerini azaltmaya yardımcı olur.

Kuş çarpması test tesisi, havadaki bir kuş çarpmasının etkilerini ve bunun sonucunda havacılık ürünlerine ve bileşenlerine verilen hasarı simüle eder. Kuş çarpması testinde 8 pound ağırlığa ve 360 knot'a kadar hıza sahip kuşları fırlatabilen bir pnömomatik top kullanarak kuş çarpması darbeleri simüle edilir (Bird Strike Testing, t.y.).

2.5. Hava Aracı Bakım Gereksinimleri

Hava aracı bakım faaliyetinin temel amacı uçuş güvenliğini sağlamak olduğundan, öncelikle bu kavramı tanımlamak mantıklıdır. Havacılık emniyeti, tüm havacılık faaliyeti; gerçek koşullar altında, bilinen tüm risk faktörleri kabul edilebilir bir risk seviyesinde ortaya çıkarılmakta ve önlenmektedir. Bahsedilen riskler; doğrudan veya dolaylı olarak havacılık faaliyetleri kapsamındaki kişilere, uçaklara, ilgili ekipmana ve altyapıya olası kaza veya diğer hasarlar. "Güvenilirlik", hava aracı bakımını tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Güvenilirlik, bir sistemin veya bileşenlerinin belirli bir zaman diliminde beklenen işlevi yerine getirme olasılığıdır. Düşül güvenilirlik, söz konusu birimin başarısız olma olasılığının daha yüksek olduğu

anlamına gelir. Bu uçuş güvenliğini tehlikeye atabilir. Bu açıklamalardan sonra uçak bakımı. Uçuş emniyeti, bir hava aracının uçuş hazırlık ve bakım maliyetlerini mümkün olduğunca sabit tutmak için, bir uçağın güvenilirliğini ve onu oluşturan tüm sistemleri kontrol etmek için gerçekleştirilen tüm faaliyetler olarak tanımlanabilir. Hava aracı bakım faaliyetlerinin tanımı ve hedefleri ile ilişkilendirilmesi için tanımlanması gereken bir diğer kavram da hava aracı kullanılabilirliğidir. Başlangıç maliyeti yüksek olan uçak bakım işleri, verimlilik sorunları nedeniyle uçuşa hazır olmadığı için birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Bir hava aracının uçuşa hazır olma düzeyi, ilgili parçaların arızalanma sıklığına ve bunların doğru bir şekilde tespit edilip onarılması için geçen süreye, diğer bir deyişle bakım faaliyetlerinin etkinliğine bağlıdır (Gerede, 2007).

2.6. Hava Aracı Bakım Süreçleri

Genel olarak hava aracı bakım süreçleri planlı ve plansız bakımlar olmak üzere ikiye ayrılır: Planlı Bakımlar ve Plansız Bakımlar.

Aşağıda sunulan iki alt bölümde *ATA 05 Time Limits and Periodic Maintenance Inspections* ATA bölümü ile *ATA 12 Servicing Routine Maintenance* ATA bölümü incelenecektir.

ATA 05 için Zaman Sınırları ve Periyodik Bakım Muayeneleri çevirisi kullanılabilir. Bu bölümde Uçuş Saati (Flight Hour / FH), Uçuş Döngü Sayısı (Flight Cycle / FC) veya Takvim Günü (Calendar) esaslarına göre yapılması gereken bakım faaliyetlerinin temel esasları incelenmektedir.

ATA 12 için de İkmal (Servicing) Rutin Bakım İşlemleri değerlendirilmektedir. İkmal terimi hava aracında bulunan sıvı veya gaz akışkanların tam olma durumlarının incelenmesi, eksik var ise tamamlanması, sızıntı ve kaçak var ise onarımı ve kontrolü gibi işlemleri içermektedir.

2.6.1. ATA 05 Zaman Sınırları ve Periyodik Bakım Muayeneleri

Hava aracı üreticisinin ürettiği uçakla ilgili kullanıcıya tavsiye ettiği bakım zaman aralıklarını ve hem planlı bakım hem de plansız bakımlarla ilgili bakım kontrollerini ve yapılacak işlemleri açıklamaktadır.

Bakım işlemleri için alt kırılımları olup, bunlar;

- 05-00: Genel Bilgi,
- 05-10: Raf Ömürlü Malzemelerin Kontrolü,
- 05-20: Planlı Bakımlar,
- 05-30: Rezerve,
- 05-40: Olağandışı olaylar,

şeklinde sıralanmaktadır.

ATA 05-00, hava aracına yönelik zaman sınırlamalarının ve periyodik bakım muayenelerinin genel esaslarını içermekte ve açıklamaktadır.

ATA 05-10 alt kırılımında hava aracının, sistemlerinin, ünitelerinin ve raf ömürlü parçaların ömürlerinin kontrolünü, bakımını ve revizyonu için tanımlanmış süreleri açıklar. Bu bilgiler içinde; motorlar için uçuş döngü sayısı (flight cycle) olarak ömürleri tanımlanmış kritik önemi haiz parça ve komponentlerin bilgilerde bulunmaktadır

ATA 05-20 Yukarıda ATA 05-10'da belirtilen süre limitlerine göre uçağın, sistemlerinin ve ünitelerinin planlı bakım kontrollerini ve bakımlarını açıklar. Planlı bakım kontrollerinde bulunan işlem (task) kartlarda yapılacak işlemler ayrıntılı bir şekilde açıklamaktadır.

ATA 05-30 daha önceden belirtildiği üzere rezerve durumda olan ve gerektiğinde tanımlanacak bir alt bölümlemedir.

ATA 05-40 ise yukarıda ATA 05-10'da belirtilen bakım aralıkları ile ilgili olmayan, özel veya olağan dışı koşulların gerektirdiği, hava aracı, sistemleri ve üniteleri üzerinde yapılan bakım kontrollerini ve bakım işlemlerini açıklar. Örneğin Sert iniş, aşırı kilolu iniş, kuş çarpması, türbülanslı hava, yıldırım çarpması, sulu kar yağışı, radyoaktif kirlenme, gibi inceleme ve bakım kontrollerini içermektedir.

2.6.2. ATA 12 İkmal (Servicing) Rutin Bakım İşlemleri

Yağ ,Yakıt, Azot (*havacılıkta nitrojen terimi kullanılmaktadır*) , Oksijen vb akışkanların Planlı /Plansız bakımlarda hava araçlarına ikmal işlemlerini ve ikmal işlemleri yapılırken alınması gereken emniyet önlemlerini açıklamaktadır.

ATA 12 Bölümlemesinin alt kırılımları aşağıda listelenmektedir:

- ATA 12-00: Genel Bilgi
- ATA 12-10: Yenileme İşlemleri
- ATA 12-20: Planlı İkmal
- ATA 12-30: Plansız İkmal

ATA 12-10 İkmal işlemleri için burada açıklanan talimatlar hava araçlarına yağ, yakıt, su ve diğer sıvılar hidrolik sıvısı, hava, lastik basınçları ve benzeri konularda ikmal işlemlerini açıklamaktadır. İlgili komponent / sistem hangi standarda göre imal edildi ise o standarda ilişkin rezervuarlar için tank kapasiteleri de galon, libre ve benzeri ölçü birimleri ile belirtilmiştir.

ATA 12-20 Planlı ikmal işlemleri için burada belirtilen talimatlar, komponentlerin periyodik yağlama işlemlerini, hava aracının iç ve dış temizliğini, içme suyu için hijyen koşullarının sağlanmasını ve korunmasını açıklamaktadır.

ATA 12-30 Plansız ikmal işlemleri için burada belirtilen talimatlar planlanmamış ve park halindeki hava araçları için De-Icing (Buz giderme) talimatlarını açıklamaktadır.

2.6.3. Planlı Bakımlar

2.6.3.1. A Seviyesi Bakım

A kontrolü, uçak tipine bağlı olarak yaklaşık her 400-600 uçuş saatinde bir veya her 200-300 uçuşta bir gerçekleştirilir. Bu kontrol bakımı genellikle bir hangarda yapılır ve ihtiyaç duyulan hizmetlere bağlı olarak en az 10 çalışma saati sürebilir. Bazen bu bakım, havayollarının uyguladığı programı kesintiye uğratmamak için bir gecede yapılır. Bu kontrolün sıklığı, uçak tipine, uçuş döngüsü sayısına veya son kontrolden bu yana uçulan saat sayısına göre değişir.

A kontrolleri sırasındaki bakım çalışmaları, genellikle, hasar, deformasyon, korozyon, eksik parçalar için iç ve uçak gövdesinin genel muayenelerini kapsar. Ayrıca servis, motor ve fonksiyon kontrollerini de içerir.

Gerçekleştirilen diğer işler aşağıdakileri gerektirebilir:

- Acil durum ışıklarını kontrol etme

- Burun geri çekme dişlisi aktüatörü yağlama
- Park freni akümülatör basıncını kontrol etme (Types of Aviation Maintenance Checks, t.y.)

2.6.3.2. B-C Seviyesi Bakım

Havayolları ve operatörler B kontrollerini aşamalı olarak devre dışı bıraktığından, B kontrolleri genellikle A kontrol aşamasında tamamlanır. Havayollarının ve operatörlerin bir uçağa verimli bir şekilde bakım, onarım ve revizyon yapabilmeleri için, bazı B kontrol görevleri A kontrol aşamalarına dahil edilmiştir. Bu, uçağın arıza süresini azaltarak, bakım teknisyenlerinin uçakta çalışma süresini azaltarak, bakım planlamasını iyileştirerek ve hangarlar ve test ekipmanı gibi kaynakların daha iyi kullanımını uygulayarak yardımcı olur.

Havacılık bakım uzmanları, yaklaşık 6-8 ayda bir B bakım kontrollerini gerçekleştirir. Uçağa bağlı olarak yaklaşık 160-180 çalışma saati sürer ve bir havalimanı hangarında 1-3 gün içinde tamamlanabilir. B kontrolleri sırasında tamamlanan tipik işler, burun iniş takımı spot ışığının hizalanmasının ve torkunun kontrol edilmesi veya tekerlek kuyusu hidrolik boru sisteminin durum, korozyon ve sıvı sızıntısı açısından incelenmesi gibi görevlerdir.

C kontrolleri genellikle "ağır bakım" kapsamına girer ve B kontrolünden çok daha kapsamlıdır. C kontrolü, bir havacılık bakım teknisyeninin uçağın parçalarının çoğunluğunu derinlemesine incelemesini gerektirir. Ayrıca, C bakım kontrolü genellikle uçağı 1-2 hafta hizmet dışı bırakabilir. Bu tür bir kontrol genellikle bir uçağın gerekli alan/araçlar/bakım teknisyeni çalışma saatleri/malzemeler için bir bakım tesisinde kalmasını gerektirir. C kontrolleri için genellikle 6.000 saate kadar bakım gerekir. Havacılık bakım teknisyenleri, C kontrolleri sırasında aşağıdakiler gibi belirli görevleri gerçekleştirecektir:

- Yapıların (gövde ve kanatlardaki taşıyıcı bileşenler) ve korozyon ve hasar fonksiyonlarının incelenmesi
- DC bus bağlantı kontrol ünitesinin çalışmasının kontrol edilmesi
- Tüm bağlantı parçalarının ve kabloların derinlemesine yağlanması (Aircraft Modernization Market, t.y.)

2.6.3.3. D Seviyesi Bakım

Uçağa bağlı olarak her 6-10 yılda bir “ağır bakım ziyareti” gerçekleşir. D kontrolleri, tüm hava taşıtının kapsamlı teftiş ve onarımlarıdır ve hasar ve korozyon kontrolü için hava taşıtının parçalara ayrılması anlamına gelebilir. Süreç, dört ila altı haftalık bir süre boyunca 30.000 ila 50.000 çalışma saatini alabilir.

Tüm uçağın sökülmesi ve ekipmanın çıkarılmasıyla, havayolları genellikle D kontrolleri sırasında uçakların iç kısımlarını yenilemeye ve bunları tamamen yükseltmeye karar verir.

D kontrolünün doğası ve maliyeti nedeniyle, çoğu havayolu şirketi D çeklerini yıllar önceden planlar. Tüm sürecin maliyeti birkaç milyon dolardan fazlaya mal olabilir. Havayollarının, onarım maliyetinin uçağın gerçek maliyetinden daha fazla olduğunu anladığı bir nokta gelir. Bu genellikle iki veya üç D kontrolünden sonra olur (Changes or Modifications and Repairs to Aircraft, t.y.).

2.7. Plansız Bakımlar

2.7.1. Modernizasyon Süreçleri

Uçak modernizasyonu, uçağın verimliliğini ve üretkenliğini sağlamak için mevcut altyapının değiştirilmesi, yükseltilmesi ve ikame edilmesi ve en son teknolojilerin donatılmasından oluşur. Uçak modernizasyonu, modern ekipman ve otomasyon yardımıyla uçakların işlenebilirliğini geliştirmeye odaklanır. Artan hava yolculuğu, sık uçuşlar ve savunma harcamalarındaki artış, uçak modernizasyon pazarının büyümesine neden oluyor ve üreticiler için yeni fırsatlar yaratıyor. Küresel olarak, teknolojik, ekonomik ve politik faktörler, havacılık endüstrisi için bir ticari büyüme yolu sağlar. Ayrıca, uçak modernizasyonu, uçakların sürdürülebilirliğini daha uzun bir süre için artırmaktadır (Szabo, Koblen, & Vajdová, 2017).

2.7.2. Modifikasyon Süreçleri

Bir hava aracında, motorda veya pervanede yapılan değişiklikler (veya modifikasyonlar), onaylanmış tip tasarımındaki herhangi bir değişikliktir. Modifikasyonlar, yeni bir sistemin kurulması veya yeni bir parça numarasından biri için bir parçanın değiştirilmesi gibi fiziksel olabilir ya da Uçak Uçuş El Kitabı (AFM) veya Operasyonel Uygunluk Verileri (OSD) gibi belgelerde bir değişiklik olabilir.

Onarımlar, hasarın giderilmesi ve/veya uçağın/motorun/pervanesinin uçuşa elverişli bir duruma getirilmesine yönelik tasarım faaliyetlerinin sonucudur. Bu aynı zamanda, bu hasarın fiziksel olarak onarılmasına gerek kalmadan çalışmaya devam edebilmek için hasarın değerlendirilmesini de içerebilir.

Tüm değişiklik ve onarımların havacılık otoritesi tarafından onaylı olması gerekir. Onay araçları, değişiklik veya onarımın sınıflandırılmasına ve Tasarım Organizasyon Onayı (TOO) ayrıcalıklarının kullanılıp kullanılmayacağına bağlıdır. Değişiklikler ve Onarımlar büyük veya küçük olarak sınıflandırılır (Giurgiutiu, 2015).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HAVA ARACI ÖMÜR DEVRİ İÇERİSİNDE ÜRETİM VE BAKIM İLİŞKİSİ

3.1. Parça Ömür Hesaplama

Hava aracı bakım yönetimi açısından İki Arıza Arasındaki Zaman (Mean Time Between Failure / MTBF) ve İki Tamir Arasındaki Zaman (Mean Time between Repair / MTBR) kavramlarının tanımları, nasıl kullanıldıklarının anlaşılması ve hava aracı bakımındaki öneminin değerlendirilmesi gereklidir.

3.1.1. İki Arıza Arasındaki Zaman (Mean Time Between Failure- MTBF)

MTBF (iki arıza arasındaki ortalama süre), bir parça veya bileşen için arızalar arasındaki ortalama çalışma süresi olarak tanımlanan varlık güvenilirliğinin bir ölçüsüdür. Öncelikle onarılabilir varlıklar ve benzer türdeki öğeler için kullanılır. MTBF, onarılabilir bir varlığın veya bileşenin güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılır.

Güvenilirlik, genellikle, bir parçanın veya bileşenin, belirli bir süre boyunca belirli koşullar altında arızalanmadan amaçlanan işlevini yerine getirme olasılığı olarak ifade edilir.

MTBF matematiksel formülü, çalışma süresinin arıza sayısına bölünmesiyle elde edilir, dolayısıyla daha yüksek bir MTBF, daha iyi varlık güvenilirliğini gösterir.

$$MTBF = \frac{\text{Operasyon Süresi} - \text{Operasyonda Olmayan Süre}}{\text{Arıza Sayısı}}$$

3.1.2. İki Tamir Arasındaki Zaman (Mean Time Between Repair-MTBR)

MTBR (iki tamir arasındaki zaman), onarılabilir bir varlığın sürdürülebilirliğinin birincil ölçüsüdür. Arızalı bir bileşenin veya varlığın onarılmasına veya değiştirilmesine bakılmaksızın onarılması için gereken ortalama süreyi temsil eder.

MTBR, planların ve prosedürlerin etkinliği de dahil olmak üzere sürdürülebilirliği değerlendirmek için kullanılır.

MTBR matematiksel formülü, Toplam onarım veya değiştirme süresinin (saat), onarım/değiştirme olaylarının sayısına bölünmesiyle elde edilir.

$$MTBR = \frac{\text{Onarım Süresi}}{\text{Onarım Sayısı}}$$

Bir sistem veya bileşenin bakım yapılırken kaç saat hizmet dışı kalacağı tahmin edilmesi, güvenilirlik ve kullanılabilirlik çalışmalarında hayati önem taşımaktadır. Bu arada onarım süresi, güvenilirlik mühendislerinin onarım veya değiştirme, kiralama, bakım programlarını optimize etme, parçaları yerinde depolama veya parça stratejisini değiştirme gibi bilinçli kararlar vermesine yardımcı olabilecek birçok bilgi sağlar. Örneğin, sistem yaşlandıkça, sistemlerin onarılması daha uzun sürebilir. MTBR, onarıma karşı değiştirme kararına yol açan yukarı doğru bir eğilim gösterecektir.

3.1.3. İki Bakım Arasındaki Zaman (Mean Time Between Maintenance-MTBM)

MTBM (iki bakım arasındaki zaman), bir parça veya bileşen için bir bakım eylemi ile başka bir bakım eylemi arasındaki ortalama çalışma süresidir. Bu metrik, yalnızca işlev kesintisi gerektiren veya bununla sonuçlanan bakım faaliyetleri için geçerlidir.

MTBM, belirli bir süre boyunca harcanan toplam yaşam birimi sayısının, o öge üzerinde gerçekleştirilen toplam bakım olayı sayısına (planlanmış ve programlanmamış) bölünmesiyle elde edilen bakım politikasını dikkate alan güvenilirliğin bir ölçüsüdür.

MTBF, MTTR, MTBM gibi güvenilirlik yöntemleri, ürünler veya belirli bileşenler için geçerlidir. Bununla birlikte, MTBF, çoğu ürün için bir sistemin güvenilirliğinin temel bir ölçüsü olmaya devam etmektedir. Veri Merkezi bakımına odaklanan yakın tarihli bir Emerson araştırması, inceleme sıklığına ve önleyici bakım ziyaretlerine dayalı olarak varlıklarda iki arıza arasındaki ortalama zaman (MTBF) artışı araştırdı. Yılda bir denetimden yılda dört denetime çıkmak MTBF'yi 5 kattan fazla artıracaktır. Bu şekilde, Duruma Dayalı Bakım ve artan denetim sıklığı, bir şirketin kârlılığı üzerinde büyük bir olumlu etkiye sahip olabilir. Bununla birlikte, şirketler, yalnızca personelinin bunu yapması hem uygun hem de güvenliyse, artırılmış

denetim sıklığı uygulayacaktır. Normal yük altında enerji verilen sistemin durumunu gözlemleyerek kritik elektriksel varlıkların durumunu değerlendirebilmek sürekli ve güvenilir çalışma için zorunludur. Bakım mühendislerinin, hangi bakımın gerekli olduğunu belirlemelerine ve ekipman arızasının aciliyet düzeyini belirlemelerine yardımcı olarak kaynakları önceliklendirmelerine ve optimize etmelerine olanak tanır; böylece parça maliyetini, sistem arıza süresini ve genellikle gereksiz sabit programlı bakım için harcanan zamanı en aza indirir.



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Uçar Parça Üretimi ve Bakım Operasyonları İlişkisinin Değerlendirilmesi

Ticari bir yolcu uçağının yaşam döngüsü göz önüne alındığında, yolcu uçağının geçirdiği aşamalar Şekil 1'de verilmiştir. Bu hava aracının ömrü gösterildiği gibi altı aşamaya ayrılmıştır. MRO belgeleri, yaşam döngüsünün ilk üç adımını sırasında oluşturulur ve geliştirilir; son üç adımda kullanılır (Szabo, Koblen, & Vajdová, 2017).

Genel bir ticari yolcu uçağı, tipine göre değişen 3-4 milyon parçadan oluşur. Yük uçağının tam yolcu versiyonlarından önemli ölçüde daha az parçaya sahip olması dikkat çekicidir. Uçuşa elverişli parçalar, uçuşa elverişlilik otoritelerinin düzenlemelerine uygun olarak üretilir. Uçuşa elverişlilik yönetmelikleri, yerel veya uluslararası uçuşa elverişlilik otoriteleri tarafından yayınlandıkları takdirde bağımsız olarak takip edilmelidir. Sonuç olarak, Şekil 1'de gösterilen yaşam süresinin aşamaları boyunca tüm faaliyetlerin yetkililere uygun olması gerekmektedir. Mühendisler ve teknik ekipler, güncel dokümanları takip ederken, bakım maliyeti daha düşük ve mukavemeti daha yüksek olan parçaların imalatını da aramalıdır.

Parçaların değiştirildiğinin uçuş saati (FH) ve uçuş döngüsü (FC) parametrelerine bağlı olduğunun altı çizilmelidir.

Malzeme tipi aralıkları değiştirir. Kompozit yapılarda rijitlik ve yorulma hasarı değişimi arasındaki korelasyonlarla ilgili birçok çalışma, kompozit yapıların rijitliklerindeki değişimin yapısal durumları hakkında kritik bilgiler sağlamaya yardımcı olduğu sonucuna varmıştır (Munasinghe, Woods, Miles, & Paul, 2019). Bu kritik bilgi, yorulma çekirdeklenmesinin erken tespiti için kullanılabilir. PHM (Prognostik Sağlık Yönetimi) ve SHM'nin (Yapısal Sağlık İzleme) olası çatlaklara karşı erken uyarı için umutlar sunması dikkat çekicidir. Beklenmeyen arızaları azaltmak ve operasyonları kesintiye uğratmamaları ve bakım faaliyetlerini planlamak için performansı beklenen bir koşul altında değerlendirmek önemlidir (Munasinghe, Woods, Miles, & Paul, 2019).

Genel olarak hava aracı takip-destek operasyonları planlı, plansız ve modifikasyon/modernizasyon ve ömür uzatma programı operasyonları olarak üçe

ayrılmaktadır. Şekil 11'de gösterildiği gibi bahsedilen dört bölümün alt kategorileri vardır.



Şekil 11. Bakım Operasyonu Kategorileri

Havacılık endüstrisi, yenilikçi teknolojilerin entegrasyonu için "öncü özelliği" ile ünlüdür. Örneğin, endüstri tarihinde CAD-CAM ve kompozitler ilk olarak havacılık endüstrisi tarafından benimsenmiştir. Yapbozun tüm parçalarını ortaya koyduğumuzda havacılık sektörünün dijital dönüşüme diğer sektörlerden önce adapte olacağı rahatlıkla görülmektedir.

Eski uçak bakım yaklaşımında, AMM (Uçak Bakım Kılavuzu), CMM (Bileşen Bakım Kılavuzu), IPC (Resimli Parça Kataloğu) ve SRM (Yapısal Onarım Kılavuzu), bakım faaliyetlerini gerçekleştirmek için temel belgelerdir.

4.2. Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Hava Aracı Bakım Yönetimi için bir çok farklı doküman oluşturulmakta ve kullanılmaktadır. Bu dokümanlar farklı kurum veya kuruluşlar tarafından oluşturulmaktadır. Bu örgütlenmeler aşağıda sunulmaktadır:

- Sivil Havacılık Otoritesi
- Hava Aracı Üreticisi
- Komponent / Parça Üreticisi
- Hava Aracı İşleticisi
- Hava Aracı Bakım Kuruluşu

Bazı durumlarda Hava Aracı İşleticisi kendi bünyesi içinde özellikle hat bakım faaliyetleri için kendi bakım kuruluşunu kurup faal hale getirebilir. Yine de bu kuruluşun kendi başına bir hava aracı bakım kuruluşu olarak değerlendirilmesi gereklidir.

Sivil Havacılık Otoritesi belli bir hava aracı için güvenilirlik riskinin arttığı durumlarda riski bertaraf edebilmek amacı ile Uçuşa Elverişlilik Direktifi (Airworthiness Directive / AD) yayınlamak ve ilgili birimlere ulaştırmakla sorumludur.

Hava Aracı Üreticisi Hava Aracı Bakım El Kitabı (Aircraft Maintenance Manual, AMM), Bakım Planlama Dokümanı (Maintenance Planning Document / MPD), Temel Asgari Teçhizat Lisetsi (Master Minimum Equipment List / MMEL), Resimli Parça Kataloğu (Illustrated Part Catalog / IPC) gibi dokümanları üretmek, güncel tutmak ve ilgili birimlere ulaştırmakla sorumludur.

Bazı işletmeler kendi bünyesinde MP kısaltması yerine Özelleştirilmiş Bakım Planlama Dokümanı (Customized Maintenance Planning Document /CMPD) terimi kullanılmaktadır.

Komponent üreticileri öncelikle Komponent Bakım El Kitabını (Component Maintenance Manual / CMM) oluşturmalı, güncel tutmalı ve ilgili komponenti kullanan işletmecilere ulaştırmalıdır.

Hava Aracı İşleticisi kuruluşlar da üreticiden gelen MPD belgesini kullanarak kendi işlettiği hava araçlarına özel Bakım Programı (Maintenance Program / MP) oluşturmalı ve kendi devletinin Sivil Havacılık Otoritesine onaylatmalıdır.

Bunun dışında üreticinin MMEL dokümanını kullanarak işletmeci kendi hava araçlarına özel Asgari Teçhizat Listesi (Minimum Equipment List / MEL) belgesini oluşturmalı ve kendi devletinin Sivil Havacılık Otoritesine onaylatmalıdır.

Son olarak Hava Aracı Bakım Kuruluşları kendi kurumsal işleyişlerini anlatan Bakım Kuruluşu El Kitabını (Maintenance Organisation Exposition / MOE) hazırlayıp kendi devletinin Sivil Havacılık Otoritesine onaylatmalıdır.

Yukarıda bahsedilen dokümantasyon süreci temel işlemlerdir. Bunların dışında ek ana dokümanlar ve operasyonel düzeyde süreçlerin takibi için farklı türde birçok doküman geliştirilmeli, işlenmeli ve uygulanmalıdır.

Bakım sürecinin düzgün işleyebilmesinde başlangıç koşulunu oluşturan tasarım, test ve üretim süreçlerine ait dönütler ise Bakım Gözden Geçirme Kurulu

(Maintenance Review Board / MRB) faaliyetlerinde bağlantıyı sağlamaktadır. MRB faaliyetlerinin sonucunda MPD oluşturulmadan önce Hava Aracı İşletmecilerine Bakım Gözden Geçirme Kurulu Raporu (Maintenance Review Board Report/ MRBR) sunulmakta ve işletmecilerden gelen dönütlere göre MPD geliştirilmektedir. Bu aşamada MRBR'dan MPD'ye oradan da İşletme bazında MP'ye ya da CMPD'ye geçiş için Bakım Yürütme Kurulu (Maintenance Steering Group / MSG) oluşturulmaktadır. MSG'nin işleyişi açısından 1970'li yıllarda MSG-2 yaklaşımı kullanılırken günümüzde MSG-3 yaklaşımı ile bakım planlama çalışmaları yapılmaktadır (Kinnison & Siddique, 2013).

Yukarıda zikredilen açıklamalar bakım faaliyetlerinin sevk ve idaresi açısından yapılanları özetlemektedir. Bunun dışında mühendislik ve teknoloji açısından ele alınması gerekenler aşağıda sunulmaktadır:

AMM ve CMM gibi bakım belgeleri, Şekil 9'da gösterilen işlemler sırasında uygulanacak görevlerin tanımlanması için kullanılır.

Her bir bakım işlemi, her bir uçak tipi için benzersiz görevleri andırır. Diğer bir deyişle, ana başlıklar aynı olabilir ancak ayrıntılara geçildiğinde görevler ve alt görevler uçak tipi ile açıklanmalıdır. Hava Kargo taşımacılığının kullanımı ile doğrudan operasyonel maliyet (Düzgün, 2020) arasında doğrudan bir ilişki olduğundan, uçak maliyetlerinin düşürülmesi bir hedeftir.

Havacılık endüstrisinde, yolcu ve kargo miktarı, uçak şirketleri için bir taşıma operasyonunun gelir getirici oranına benzer. Yolcu ve kargoyu bir araya getiren faydalı yük, gelir getirici oranı yansıtırken, gövde, motor, yakıt, hidrolik yağ vb. farklı türdeki sıvıları taşımak, gelir tüketen bir unsurdur.

Bu açıdan ağırlık azaltma, yakıt tasarrufu için önemli bir çözümdür. Karbon Fiber Takviyeli Polimerler (CFRP) gibi “oyun değiştirici” malzemeler, ağırlık azaltma üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir.

Ayrıca, CFRP bazlı parçalar, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, korozyona karşı geliştirilmiş direnç, geliştirilmiş yorulma direnci ve düşük bakım maliyeti ve dolayısıyla DOC (Bird Strike Testing, t.y.) gibi çeşitli avantajlara sahiptir. Çeliğin yoğunluğu yaklaşık 7,7-8,0 gr/cm³ ve alüminyumun yoğunluğu 2,7 gr/cm³ iken, tipik

CFRP malzeme yoğunluğu yaklaşık 1,6 g/cm³'tür (Gorbatikh, Wardle, & Lomov, 2016).

Başka bir deyişle, malzemeyi çelikten CFRP'ye değiştirmek, üç kat daha az ağırlık sağlar. Aynı veya daha yüksek mukavemeti korurken çelik ve alüminyum ile karşılaştırıldığında bu daha düşük yoğunluk, CFRP'yi ağırlık azaltma çalışmaları için iyi bir çözüm haline getirir. CFRP kullanımını optimizasyon açısından, etkili bir çözümdür.

Airbus A380 merkezi kanat kutusu inşaatının 1,5 tona varan ağırlık tasarrufu ile tamamlandığı bildirildi.

Üst güverte döşeme kirişleri ve arka basınç perdesi, malzemelerin alüminyum alaşımlarından CFRP'ye dönüştürüldüğü diğer parçalardır (Düzgün, 2020).

CFRP, karbon ayak izini azaltmak için de iyi bir çözümdür. Örneğin Boeing 747-400 (MTOW 396.890 kg) için 1 kg ağırlık azalması ile karbon emisyonlarını 0,94 kg azaltmak mümkündür. Ayrıca Airbus A330-300 (MTOW 242.000 kg) için karbon emisyonlarını 0,475 kg azaltmak mümkündür. Ayrıca, 1 kg karbon emisyonunun azaltılması, 0,3 kg'a kadar havacılık yakıtı tasarrufu da sağlayabilir (Mansor, Nurfaizey, Tamaldin, & Nordin, 2019).

Bu çalışmalar hayati öneme sahiptir çünkü havacılık endüstrisi dünya çapında yaklaşık %2-3 oranındaki Karbon Dioksit (CO₂) emisyonlarından esas olarak sorumludur ve en güncel büyüme tahminlerine göre bu rakamın 2050 yılına kadar iki katına çıkması beklenmektedir (Tsai, Chang, Lin, Chen, & Chu, 2014).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Analiz kısmında elde edilenlerin ışığında aşağıdaki çıkarsamaların elde edilebileceği görülecektir:

Kompozit malzeme içeren ve bütüncül bir şekilde neredeyse yekpare olarak üretilen parçalardan müteşekkil komponentlerin bakım ihtiyaçları ve arıza çıkarma olasılıkları geleneksel komponentlere göre daha az olacaktır. Daha yüksek dayanımı olan ve daha hafif olan hava araçlarında daha az yük ve gerilme meydana gelecektir. Daha az yük ve gerilme de yapısal anlamda daha az yıpranmaya yol açacaktır. Bütün bunlar bakım ve onarım ihtiyacını ve maliyetini düşürecek ve hava aracının utilizasyonunu arttıracaktır.

Daha az arıza matematiksel anlamda MTBF değerinin de artmasına ve kârlılığın da yükselmesine yol açacaktır. Her ne kadar havacılıkta "ÖNCE EMNİYET" şiar edinilmiş olsa da Sivil Havacılık Kuruluşları kâr amacı güden örgütlenmelerdir ve yüksek kârlılık istenen bir husustur.

Üretimdeki doğru kararlar işletme ve bakım faaliyetlerindeki maliyetleri düşürecek ve havayolu işletmesinin daha verimli, etkin, prodüktif ve kârlı olmasını sağlayacaktır.

Sonuç olarak operasyonda, yakıtta ve bakım - onarımdaki maliyetler için minimizasyon rekabet avantajı açısından havayolu işletmesine üstünlük ve sürdürülebilirlik sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Aerospace Ground Testing.* (t.y.). PCP Piezotronics:
<https://www.pcb.com/applications/aerospace-defense/ground-testing>
adresinden alındı
- Aircraft Modernization Market.* (t.y.). Allied Market Research:
<https://www.alliedmarketresearch.com/aircraft-modernization-market-A10190#:~:text=Aircraft%20modernization%20consists%20of%20modification,of%20modern%20equipment%20and%20automation> adresinden alındı
- Bird Strike Testing.* (t.y.). Element: <https://www.element.com/product-qualification-testing-services/bird-strike-testing> adresinden alındı
- Changes or Modifications and Repairs to Aircraft.* (t.y.). Civil Aviation Authority:
<https://www.caa.co.uk/Commercial-industry/Aircraft/Airworthiness/Type-design-approvals/Changes-or-modifications-and-repairs-to-aircraft/>
adresinden alındı
- Demirel, L., & Torun, S. (2008). Ticari turbofan uçak motorlarının uçuş ömürlerinin optimizasyonu. *İTÜ Dergisi*, 7(6), 80-91.
- Düzgün, M. (2020). Methodological Study on the Effect of Aviation on Service Export and LPI Mainly Based on the Cargo Data of All International and Turkish National Airlines. *Paradoks Ekonomi Sosyoloji ve Politika Dergisi*, 16(1), 35-52.
- EASA Part 21 Subpart G Production Organisations Approvals.* (t.y.). Sofema Online:
<https://www.sofemaonline.com/blog/entry/easa-part-21-subpart-g-production-organisations-approvals#:~:text=An%20EASA%20Part%2021%20Subpart,EASA%20Form%201%20for%20components> adresinden alındı
- European Commission. (2017). *Digital Transformation Monitor*. Industry 4.0 in Aeronautics: IoT Applications.
- FAA Part 21 Certification Procedures for Products and Parts.* (t.y.). SAE:
<https://www.sae.org/learn/content/c1701/#:~:text=Part%2021%20is%20the%20FAA,airworthiness%2C%20production%20and%20quality%20systems>
adresinden alındı
- Gerede, E. (2007). Önleyici Bakım Programlarının Tasarlanması Aracı Olarak Bakım Yönlendirme Kılavuzları. *Mühendis ve Makina*, 48(566), 22-31.
- Giurgiutiu, V. (2015). *Structural Health Monitoring of Aerospace Composites*. Amsterdam: Elsevier.

Gorbatikh, L., Wardle, B. L., & Lomov, S. (2016). Hierarchical lightweight composite materials for structural applications. *MRS Bulletin*, 41(09), 672-677.

Ground Vibration Testing. (t.y.). Siemens: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simulation-test/ground-vibration-testing.html> adresinden alındı

İhracatın Gelişimi 2001-2016. (t.y.). tim.org.tr: https://tim.org.tr/files/downloads/Strateji_Raporlari/%C4%B0hracat%C4%B1n%20Geli%C5%9Fim%202001-2016.pdf adresinden alındı

Kinnison, H. A., & Siddique, T. (2013). *Aviation Maintenance Management*. New York: McGraw Hill.

Ma, F., Cao, W., Luo, Y., & Qiu, Y. (2016). The Review of Manufacturing Technology for Aircraft Structural Part. *Procedia CIRP*, 56, 594-598.

Mansor, M. R., Nurfaizey, A. H., Tamaldin, N., & Nordin, M. N. (2019). Natural fiber polymer composites: utilization in aerospace engineering. *Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy*, 203-224.

Munasinghe, N., Woods, M., Miles, L., & Paul, G. (2019). 3-D Printed Strain Sensor for Structural Health Monitoring. *IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, 1-6.

Noh, H. M., Benito, A., & Alonso, G. (2016). Study of the current incentive rules and mechanisms to promote biofuel use in the EU and their possible application to the civil aviation sector. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46, 298-316.

Onarım. (2008). Nedir Ne Demek: <https://www.nedirnedemek.com/onar%C4%B1m-ne-demek> adresinden alındı

Overhaul. (1995). Cambridge Dictionary: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/overhaul> adresinden alındı

Önder, L. (2003, 06 11). *Bakım*. Teknik Havacılık: <https://slonder.tripod.com/bakim.html> adresinden alındı

Part 21 J – Design Organisation Approval. (t.y.). CAA International: <https://caainternational.com/course/easa-part-21-j-design-organisation-approval/#:~:text=Part%2021%20Subpart%20J%20details,include%20approval%20for%20these%20designs> adresinden alındı

Poyraz, Ö., & Kuşhan, M. C. (2018). Havacılık Komponentlerinin Bakım Uygulamalarında Katmanlı İmalat Teknolojilerinin Kullanımı. *Mühendis ve Makina*, 59(691), 59-69.

Raymer, D. (1992). *Aircraft Design: A Conceptual Approach*. Ohio: American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA).

- Saraçyakupoğlu, T. (2016). Türkiye’de Havacılık Endüstrisinde Bakım Teknisyeni Yetiştirme Patikası. *Mühendis ve Makina*, 57(678), 60-64.
- Saraçyakupoğlu, T. (2019). The Qualification of the Additively Manufactured Parts in The Aviation Industr. *American Journal of Aerospace Engineering*, 6(1), 1-10.
- Saraçyakupoğlu, T. (2020). *Emniyet İrtifasından Bilgiler: Genel Havacılık, Üretim ve Bakım Süreçleri*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Saraçyakupoğlu, T. (2020). Havacılık Endüstrisinde 3 Boyutlu Üretim Uygulamalarının Uçuşa Elverişlilik Kural ve Düzenlemelerine Göre Değerlendirilmesi. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 4(1), 53-65.
- Saraçyakupoğlu, T. (2020). Havacılıkta Organizasyonel Kazalar: B-737 Max Uçak Kazalarının Mühendislik Perspektifinden İncelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 61(701), 241-261.
- Saraçyakupoğlu, T. (2020). The adverse effects of implementation of the novel systems in the aviation industry in pursuit of maneuvering characteristics augmentation system (MCAS). *Journal Of Critical Reviews*, 7(11), 2530-2538.
- Saraçyakupoğlu, T. (2020). The Fractographic Investigation of an Aeroengine Accessory Gearbox Quill Shaft. *Fatigue of Aircraft Structures*, 2020(12), 36-46.
- Saraçyakupoğlu, T. (2020). The Novel Manufacturing Techniques of the Airborne Parts. *Theory and Research in Engineering Volume 2* (s. 179-195). içinde Ankara: Gece Kitaplığı.
- Saraçyakupoğlu, T. (2021). Failure analysis of J85-CAN-15 turbojet engine compressor disc. *Engineering Failure Analysis*, 1-8.
- Saraçyakupoğlu, T. (2021). Fracture and failure analysis of the trainer aircraft rudder pedal hanger. *Engineering Failure Analysis*, 122, 105-254.
- Saraçyakupoğlu, T. (2021). Usage of Additive Manufacturing and Topology Optimization Process for Weight Reduction Studies in the Aviation Industry. *Technology and Engineering Systems Journal*, 6(2), 815-820.
- Saraçyakupoğlu, T. (2022). Major Units and Systems in Aircraft. *Materials, Structures and Manufacturing for Aircraft* (s. 239-257). içinde Berlin: Springer.
- Saraçyakupoğlu, T., & Ateş, M. (2020). A methodological research on the correlation between the airborne part manufacturing system and aircraft maintenance operations. *Journal of Green Engineering*, 20(12), 13734-13742.
- Saraçyakupoğlu, T. (2021). Bir Gaz Türbin Motoru Kompresör PalesininTi6Al4V Alaşımından Eklemeli Üretim Yöntemi ile İmalatı ve Boyutsal Doğrulaması. *Mühendis ve Makina*, 62(702), 151-179. doi:10.46399/muhendismakina.865357

SSPopov. (2020). *Laser sintering machine*. Shutterstock:
<https://www.shutterstock.com/image-photo/laser-sintering-machine-metal-sintered-under-1106224493> adresinden alındı

Szabo, S., Koblen, I., & Vajdová, I. (2017). Aviation Technology Life Cycle Stages. *ECONOMY & SOCIETY & ENVIRONMENT*.

Tsai, W.-H., Chang, Y.-C., Lin, S.-J., Chen, H.-C., & Chu, P.-Y. (2014). A green approach to the weight reduction of aircraft cabins. *Journal of Air Transport Management*, 40, 65-77.

Types of Aviation Maintenance Checks. (t.y.). National Aviation Academy:
<https://www.naa.edu/types-of-aviation-maintenance-checks> adresinden alındı



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Ateş, Mehmet
Uyruğu : T.C.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İstanbul Gelişim Üniversitesi Havacılık Yönetimi	
Lisans	Anadolu Üniversitesi İşletme	1997
Ön Lisans	Hava Teknik Okullar K.lığı Uçak Bakım	1985

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1985-2014	Türk Hava Kuvvetleri	Uçak Bakım

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Ulusal Hava Araçları Bakım Yönetimi Enstitüsü Kurulması Projesinin Kavramsal Tasarım Evresi Hakkında, 4th International Aviation Management Conference (4 th INTAVIC), Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ekim 2019

A Methodological Research on the Correlation between the Airborne Part Manufacturing System and Aircraft Maintenance Operations, Scopus-Journal of Green Engineering ,Alpha Publishers, 12-2020, Cilt 20