

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVACILIK BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**UÇAK MOTORLARININ UÇUŞA ELVERİŞLİLİĞİNİN TAKİBİ  
İÇİN YENİ BİR YÖNTEM ÖNERİSİ**

**MUSTAFA BUCAN ÇOLAK**

**KOCAELİ 2016**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

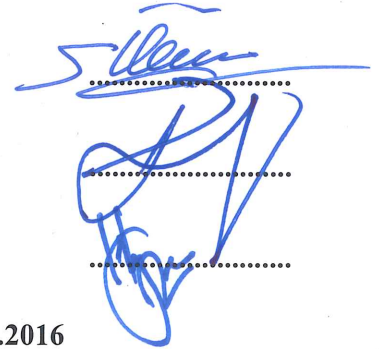
**HAVACILIK BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**UÇAK MOTORLARININ UÇUŞA ELVERİŞLİLİĞİNİN**  
**TAKİBİ İÇİN YENİ BİR YÖNTEM ÖNERİSİ**

**MUSTAFA BUCAN ÇOLAK**

**Doç. Dr. Satılmış ÜRGÜN**  
**Danışman, Kocaeli üniversitesi**  
**Prof. Dr. Erhan BÜTÜN**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**  
**Yard. Doç. Dr. Hayri ACAR**  
**Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi**



**Tezin Savunulduğu Tarih: 22.02.2016**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Ülkemizde yürütülen ticari yolcu ve kargo taşımacılığında, son yıllarda en çok talep gören uçaklarından birisi Airbus A330 modelidir. A330 uçakları, hem uzun mesafeli uçuşlarda kullanılabilmesi, hem de iki motorlu olmasından mütevellit düşük maliyetli olması sebebiyle popüler hale geliyor.

A330 uçaklarının sahip olduğu bu avantajın temelinde, yüksek performanslı motorların kullanılıyor olması yatmaktadır. Uçağın verimliliğinin doğrudan motoruna bağlı olduğu uzun menzilli operasyonlarda motorların sürekli olarak takip edilmesi ve performans yönetiminin doğru uygulanması kritik bir operasyondur.

Havacılık kuralları gereği bakım işlemlerinin sorumluluğunun farklı, bakım yapma sorumluluğunun farklı şirketlere bölünmüş olması motor bakım ve performans yönetimini çok parçalı hale getirmiştir. Bu kopukluk, kaynak olarak bütünlüklü bir motor uçuşa elverişlilik sisteminin oluşturulması konusunda kılığa neden olmuştur.

Bu çalışmada, turba-fan bir motorun performans takibi, planlı bakımlarının yönetimi, ve bu uygulamanın somut modellemesini kullanarak, mevcut sistemlerdeki sorunları tespit edeceğiz. Ortaya çıkan problemlerin nasıl giderileceği konusundaki önerilerimizi aktaracağız.

Bana motor bakım ve takip sürecinin merkezileştirilmesine yardımcı olacak bu tezi hazırlama imkânı verdiği için değerli hocalarım Haluk DEMİRTAŞ ve Doç Dr. Satılmış ÜRGÜN'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımda önemli destekçilerimin başında gelen eşim Gülden ÇOLAK ve Oğlum Hüseyin Berke TÖKMEL'e ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Şubat – 2016

Mustafa Bucan ÇOLAK

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VI
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT .....	ix
GİRİŞ.....	1
1. GENEL BİLGİLER.....	5
1.1. Operasyonel Limitler .....	9
1.1.1. Sıcaklık limitleri:.....	9
1.1.2. Maksimum müsaade edilen rotor hızları: .....	9
1.1.3. Basınç limitleri.....	10
1.2. Yerde Motor Çalıştırma, Havada Çalıştırma ve Operasyon .....	10
1.3. Motor Parametreleri ve İndikasyonları.....	10
1.4. Airbus A330 Uçaklarında Motor Bakım İşlemleri.....	14
1.5. Türkiye’de Uçak Motor Yönetimi Sistemi .....	17
1.6. Havayollarında Motorlar için Uçuşa Elverişlilik Faaliyetleri.....	18
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	20
2.1. ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System - Uçak İletişim Adresleme ve Raporlama Sistemi) Sistemi ve Primary Parametrelerin Takibi .....	20
2.1.1. N1.....	22
2.1.2. N2.....	24
2.1.3. Egzos gaz harareti .....	25
2.1.4. EGT takibi .....	27
2.1.5. Fuel flow, ecu ve fadec.....	30
2.2. İkincil Parametrelerin Takibi .....	32
2.2.1. Fused (fuel used).....	32
2.2.2. Oil qt, psi & °C.....	32
2.2.3. Vib N1 & N2 .....	34
2.2.4. Nac (nacelle air temperature).....	35
2.3. CF6-80E1 Motorlarında Uygulanan Planlı Bakım İşlemleri .....	36
2.3.1. THY tarafından uygulanan CF6-80E1 bakımları .....	38
2.3.2. THY filosundaki CF6-80E1 motor bakım işlemlerinin planlı bakım paketlerine göre uygulanması ve optimizasyonu.....	41
2.3.3. CF6-80E1 motorlarında bulunan ömürlü parçalar - llp) ve ömürlü parçaların takibi.....	46
2.3.3.1. Ömürlü parçaların tanımlanması .....	46
2.3.3.2. CF6-80E1 motorlarındaki llp değerleri .....	46
3. YENİ BİR MOTOR BAKIM SİSTEMİ .....	49
3.1. Motor Bakım Sisteminin Yönetimi Ülkemizde Nasıl Uygulanıyor? Mevcut Sistemin Eksiklikleri Nelerdir? .....	49

3.1.1. Motor parametreleri ve arıza yönetimi .....	49
3.1.2. Yedek motor planlaması.....	50
3.1.3. Günümüzde bakım yönetim sisteminde aşırı iletişim .....	51
3.1.4. THY AO motor bakım yönetim modelinin örnekleme yoluyla incelenmesi .....	55
3.2. Motor Bakımında Doğrudan Yetkin İletişim Modeli.....	57
3.2.1. Overhaul planlaması.....	59
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	62
KAYNAKLAR.....	65
EKLER.....	67
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	74



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Cf6-80e1 motorunun ana modülleri.....	7
Şekil 1.2.	Motor parametrelerinden N1, N2, Egt Ve Ff bilgilerinin kokpitteki göstergesi.....	12
Şekil 1.3.	Fused, Oil Qt, Oil Psi, O °C, Vib N1&N2 ve Nac parametrelerinin kokpitteki göstergesi.....	13
Şekil 2.1.	Acars sisteminin iletişimini gösteren figür şematığı .....	20
Şekil 2.2.	Acars sisteminden gelen bilgileri toplayan anten.....	21
Şekil 2.3.	N1 göstergesi ve n1 için takip edilen muhtelif değerlerin gösterimi.....	23
Şekil 2.4.	N1 sistemi ve hız sensör yolu.....	24
Şekil 2.5.	N2 sistemi ve hız sensör yolu.....	25
Şekil 2.6.	Egt göstergesi .....	26
Şekil 2.7.	Fuel flow ecam görüntüsü.....	31
Şekil 2.8.	Engine control unit komponentinin yeri, fan case'de saat 15 pozisyonunda.....	31
Şekil 2.9.	Fuel used göstergesinin ecam'daki şekli.....	32
Şekil 2.10.	Yağ sisteminin miktarı, basıncı ve sıcaklığının normal sınırlar içerisindeki gösterimi.....	33
Şekil 2.11.	Yağ sisteminde meydana gelebilecek arızaların gösterimi; a) tehlikeli seviyede düşük yağ basıncı, b) tehlikeli olabilecek seviyeye yakın düşük yağ basıncı c) yüksek yağ sıcaklığı, d) yağ sistem filtresi tıkanmış.....	34
Şekil 2.12.	N1 ve n2 sistemlerinin titreşim seviyelerinin birim olarak gösterimi.....	35
Şekil 2.13.	Nac değerinin ecam'da gösterilmesi.....	36
Şekil 2.14.	Planlı bakım işlemleri karar süreci .....	37
Şekil 2.15.	Cf6-80e1 için planlı bakım programının oluşumu .....	37
Şekil 3.1.	Operatör, bakım yönetimi ve bakım kuruluşunun aynı çatı altında olduğu model .....	53
Şekil 3.2.	Günümüzde motor bakım yönetimi dâhilinde muhtemel iletişim modeli .....	53
Şekil 3.3.	THY Cf6-80e1 bakım yönetimi ilişkileri ağı .....	55
Şekil 3.4.	Önerilen motor arıza yönetim mesajlaşma akışı .....	58
Şekil 3.5.	Planlı motor bakımlarının iletişim şeması .....	61

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Cf6-80e1 motorunun fiziksel özellikleri.....	5
Tablo 1.2. Cf6-80e1 motor varyantlarının performans özellikleri ve kullanılmakta olan motor sayısı .....	6
Tablo 1.3. Cf6-80e1 motorlarında irtifa ve motorda kullanılan hava basınç değerleri.....	6
Tablo 1.4. Cf6-80e1 motorlarında irtifa ve motor hava sıcaklık değerleri.....	7
Tablo 1.5. SHT-M / 13, bakım kuruluşu yetkilendirme sınırlandırmaları .....	18
Tablo 2.1. THY AO filosunda kullanılan cf6-80e1 motorlarının söküm nedenleri ve yüzde oranları .....	26
Tablo 2.2. Cf6-80e1 motorunun tip sertifikası içindeki egt limitleri tablosu .....	27
Tablo 2.3. Örnek motor egt takibi ve azalma takip tablosu.....	28
Tablo 2.4. Cf6-80e1 motorlu bir a330 uçağının 3 günlük thy uçuş programı .....	29
Tablo 2.5. Günlük ortalama egt marjının 35 °C olduğu bir takip tablosu .....	30
Tablo 2.6. Haftalık ortalama egt marjının 35 °C olduğu bir takip tablosu .....	30
Tablo 2.7. THY AO bakım programında yer alan planlı bakım işlemleri.....	39
Tablo 2.8. Airbus A330 ve Boeing B787 bakım paketleri intervalleri karşılaştırması.....	40
Tablo 2.9. Tc-Jom haftalık uçuş planı .....	42
Tablo 2.10. Tc-Jom için planlı bakım intervalleri çevrimi tablosu .....	44
Tablo 2.12. Cf6-80e1 motorlarındaki llp'ler.....	47

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: A bakım işlemleri (Saat)
d	: Bakımın uygulanma süresi (Saat)
D	: Uçuş gün sayısı
H	: Haftalık uçuş sayısı
I	: A bakım intervali (FH)
I <sub>2</sub>	: İşlem intervali (FH – FC)
L	: Hat işlemleri (saat)
Lr	: AD kontrolü için harcanan emek
Mh	: Mühendislik çalışanı adam saat ücreti
nAD	: Bakım paketine atanan AD sayısı
nSB	: Bakım paketine atanan SB sayısı
P	: Basınç (milibar – hPa)
t	: A bakım “adam x saati”
T	: Sıcaklık (°C veya °F)
V	: Hacim (m <sup>3</sup> )
x	: Parça ömür limiti
Σ	: Toplam

## Kısaltmalar

ACARS	: Aircraft Communications Addressing And Reporting System (Uçak İletişim Belirleme ve Raporlama Sistemi)
AD	: Airworthiness Directive (Uçuşa Elverişlilik Direktifi)
AMM	: Aircraft Maintenance Manual (Uçak Bakım El Kitabı)
ATA	: Air Transport Association (Hava Taşımacılığı Birliği)
CAMO	: Continuing Airworthiness Management Organisation (Sürekli Uçuşa Elverişlilik Yönetimi Kuruluşu)
CLOG	: Tıkanma Uyarısı
CMC	: Central Maintenance Computer (Merkezi Bakım Bilgisayarı)
DI	: Detailed Inspection (Detaylı Kontrol)
EASA	: European Aviation Safety Agency (Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı)
ECAM	: Electronic Centralized Aircraft Monitor (Elektronik Merkezi Uçak Monitörü)
ECU	: Engine Control Unit (Motor Kontrol Ünitesi)
EGT	: Engine Gas Temperature (Motor Gaz Harareti)
EIVMU	: Engine Interface And Vibration Monitoring Unit (Motor Arayüz Ve Titreşim Görüntüleme Ünitesi)
EM	: Engine Maintenance Manual (Motor Bakım El Kitabı)
EPR	: Engine Pressure Ratio (Motor Sıkıştırma Oranı)
ETOPS	: Extended Twin Engine Operation Performance Standards (Çift Motorlu Operasyon performans Standartları)



FADEC	: Full Authority Digital Engine Control (Tam Otoriteli Dijital Motor Kontrol Sisitemi)
FC	: Flight Cycle (Uçuşa Sayısı)
FF	: Fuel Flow (Dakikadaki Yakıt Akış Miktarı)
FH	: Flight Hour (Uçuş Saati)
FOD	: Foreign Object Damage (Yabancı Madde Hasarı)
FUSED	: Fuel Used (Harcanmış Yakıt)
GVI	: General Visual Inspection (Genel Göz Kontrolü)
HMU	: Hydromechanical Unit (Hidromekanik Ünite)
HPC	: High Pressure Compressor (Yüksek Basınç Kompresörü)
HPT	: High Pressure Turbine (Yüksek Basınç Türbini)
HPTAAC	: High Pressure Turbine Active Clearance Control (Yüksek Basınç Türbini Aktif Boşluk Kontrolü)
IDG	: Integrated Drive Generator (Adapte Edilmiş Sürülen Jeneratör)
JAR	: Joint Aviation Requirements (Birleşik Havacılık Otoritesi Kuralları)
LLP	: Life Limited Parts (Ömürlü Parçalar)
LPT	: Low Pressure Turbine (Alçak Basınç Türbini)
Mhz	: Mega Hertz (Yüksek Frekans)
MPD	: Maintenance Planning Data (Bakım Planlama Bilgisi)
MRB	: Maintenance Review Board (Bakım Gözden Geçirme Kurulu)
MRO	: Maintenance Repair And Overhaul (Bakım Onarım ve Revizyon Şirketleri)
NAC	: Nacelle (Motor Kaportası Sıcaklığı)
N1	: Motor Düşük Basınç Döner Sistemi
N2	: Motor Yüksek Basınç Döner Sistemi
OPS	: Operations (Uçuş Operasyonu)
PMA	: Permanent Magnet Alternator (Kalıcı Manyetik Alternatör)
PSI	: Pound Per Square Inch (İnç Kareye Pound Cinsinden Düşen Basınç)
Rpm	: Rotation Per Minute (Dakikadaki Dönüş Sayısı)
SB	: Service Bulletin (Servis Bülteni)
SHT	: Sivil Havacılık Talimatı
SHY	: Sivil Havacılık Yönetmeliği
THY	: Türk Hava Yolları A.O.
VHF	: Very High Frequency (Çok Yüksek Frekanslı Radyo Dalgası)
VI	: Visual Inspection (Gözle Kontrol)
VIB	: Vibration (Titreşim)
VBV	: Variable Bleed Vanes (Hareketli Bleed Paleleri)
VSV	: Variable Stator Vanes (Hareketli Stator Paleleri)

## UÇAK MOTORLARININ UÇUŞA EŞVERİŞLİLİĞİNİN TAKİBİ İÇİN YENİ BİR YÖNTEM ÖNERİSİ

### ÖZET

Airbus A330 ailesi uçakları ülkemizdeki hemen hemen tüm havayolu şirketleri uçurmaktadır. Başta Türk Hava Yolları olmak üzere Atlasjet ve Onur Air de A330 tipi uçaklardan istifade eden şirketlerdendir. A330 ailesi dünyanın en çok üretilen uçak modellerinden birisidir. A330 uçaklarında 3 farklı motor tipi bulunmaktadır; General Electric CF6-80E1, Pratt & Whitney PW4000 ve Rolls Royce TRENT 700. En çok tercih edilen motor tipi olan CF6-80E1 motorlarının rakiplerine göre tercih edilebilmesini sağlayan faktörler kullanım ömürleri ve performanslarıdır. Motorların maliyet yönünden avantajlı hale getirmek için motorların performanslarının takip edilmesi ve havacılık kanunlarından dolayı uçuşa elverişli tutulması özel bir mühendislik ve bakım programını zorunlu tutmaktadır. Uçak motorlarının performansları farklı kriterlere bağlı olarak takip edilir. Bunların başlıcaları EPR (Engine Pressure Ratio), N1, N2, EGT (Exhaust Gas Temperature) ve motorun çalışırken yarattığı titreşim miktarı gibi verilerdir. Bunun yanı sıra motorlar üzerinden uygulanacak bakım işlemlerinin yönetilmesi gerekmektedir. Bunlara planlı / plansız bakımlar AD (Airworthiness Directives) ve SB (Service Bulletins) dâhildir. Yasal olarak bölünmüş bu faaliyetin tek elde toplanabilmesi için EASA yasal değişikliklere yönelmiştir. Part-145 onaylı şirketlerin bakım planlaması yapabilmesi için yasal hazırlıklar devam etmektedir. Bu çalışmada bakım yönetim sisteminin yasal boşluklarını kullanan operatörlerin (havayolları ve hava kargo şirketleri) bu sorumluluğu delege ederken ortaya çıkan hem verimsiz hem de güvensiz durumu ortadan kaldırmaya yönelik önerileri değerlendirilecektir. Merkezi motor bakım yönetimi ve uygulamasının nasıl olacağını ele alarak bu konuda rehber bir çalışma yapılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** A330, Bakım, CF6, General Electric, Uçak Motoru.

## **A NEW SYSTEM PROPOSAL FOR MONITORING AIRCRAFT ENGINES AIRWORTHINESS**

### **ABSTRACT**

Airbus A330 family aircrafts have been operated by almost all airlines in our country. Turkish Airlines, Atlasjet and Onur Air are the companies that involves A330 in their fleet. According to Airbus as of August 2015 the total orders for A330 worldwide is 1548 and 1215 of those orders were delivered to its customer. A330 family is one of the most produced aircraft models. There are 3 engine options for A330; General Electric CF6-80E1, Pratt & Whittney PW4000 and Rolls Royce TRENT 700. The most chosen model is CF6-80E1s. Their advantage to be chosen is the high performance and technical life than competitors. It is necessary to form maintenance programme of and health of engines and also keeping them airworthy all the time in order to achieve the highest performance and cost effectivity. The performance of aircraft engines is monitored through various technical criteria. They are mainly EPR, N1, N2, EGT and the vibration ratio of the component. Besides it is mandatory to rule the maintenance tasks that will be carried out on engines. Those are planned works non-routine tasks ADs and SBs. EASA started to a new rulemaking activities to entegrate this splitted maintenance issue. The works are going on to allow Part-145 organisations to perform maintenance planning. In the work, we will consider the recommendations in order to prevent the unfruitful and unsafe situation deriving from the delegation tendency of operators (airlines and air freight companies) for aircraft engine maintenance management activities to other organisations.

**Keywords:** A330, Maintenance, CF6, General Electric, Aircraft Engine.

## **GİRİŞ**

Uçak motorlarının çok hassas yapı ve sistem olduğu herkes tarafından bilinir. Özellikle yabancı maddelerin motora girmesi sonucunda büyük maddi hasarlar meydana gelmektedir.

Uçak motorlarının bakımları da oldukça maliyetli ve uzun süren işlemlerdir. İdeal bir hava taşımacılığı için bakımların asgari sürede tamamlanması ve uçağın yeniden operasyona dönmesi önem arz eder. Günümüzde havayolu şirketleri ve taşımacılık yapan firmalar, bakım kuruluşlarından planlanan bakımı en kısa sürede tamamlamasını istemektedirler. Bu talebe binaen oluşturulan gelişmiş bakım programı sistemlerine hem üreticiler hem de bakım firmaları çok çaba harcamaktadır. Motor bakımları, uzun süren işlemler olduğu için, genellikle operasyona verilen uzun araların yaratacağı sakıncalar nedeniyle, özellikle gece yapılması uygun görülen işlemlerdendir.

Motor bakımlarını diğer sistemlerden farklı kılan, özel uçuş operasyonları olan ETOPS (Extended Twin Engine Operation Performance Standards) vb. özelliklerdir. Motorlara yüklenen daha özel koşullar doğal olarak motorlara uygulanan bakım işlemlerine de yansımaktadır. Motor bakımlarını icra eden teknisyenlerin yetkilendirilmesi bazı ayrıcalıklı şartları ortaya çıkarmıştır.

Motor performansı, hem taşınan yolcu ve kargonun miktarını belirler hem de uçağın harcayacağı yakıt miktarını derinden etkiler. Bu iki önemli faktör doğrudan maliyeti etkilediği için motor performansı havacılıkta dikkate çok şayan bir önemdedir. Motorun performansının süreklilik arz etmesi için motorların her uçuşta gösterdikleri davranışların takip edilmesi ve ortaya çıkan aksaklıkların üretici firma talimatları doğrultusunda giderilmesi gerekmektedir.

Bir turbo-fan tipi motorda itme kuvveti birbirine dolaylı olarak bağlı iki (bazılarında üç) shaft sistemi sayesinde oluşturulur. N1 ve N2 olarak adlandırılan sistemlerden N1 itme için motora girecek gerekli havayı emerek itmenin kaynağını sağlar. N2 ise yanma miktarını ayarlamak suretiyle N1 sisteminin dönüş hızını ve dolaylı olarak

itme kuvvetinin miktarını idare eder. Bu motor hızı ve itme yönetimi sırasında birçok karmaşık sistemin bir arada olması nedeniyle motor sistem arızaları doğrudan uçuş güvenliğini en üst seviyede tehdit eden arızalar grubundadır. Motor arızalarında genellikle arıza giderilmeksizin uçuş yapılmasına müsaade edilmez.

Arızaların riskli olması nedeniyle genellikle hava aracının sorumlusu olan şirketler arıza öncesi tedbirler almak suretiyle motorlarını kontrol altında tutarlar. Operatörlerin bakım programları ve güvenilirlik programları motorların hem performanslarının üste seviyede sabit kalmasını hem de operasyonu aksatmayacak şekilde arızasız çalışmasını sağlamayı da amaçlar.

Günümüze kadar havacılık kanunları gereği motorların takip edilmesi ve motorlara uygulanacak bakım işlemlerini uçağı uçuran şirketlere bırakmıştır. Bu şirketler genellikle motor bakımlarını harici firmalardan hizmet olarak satın almışlardır. Farklı şirketlerin sorumluluğuna bölünmüş bu süreç sonunda iletişim eksikliği veya farklı kaynak eksikliklerinin bilinmemesinden dolayı bakım süresinin uzaması veya hatalı işlem yapılması gibi olumsuzluklar gün yüzüne çıkmıştır.

Gelen olumsuz bildirimler ışığında havacılık konusunda yasama yetkisine sahip kurum ve kuruluşlar yasal düzenlemelerle süreci tek merkeze alma imkanı sunmaya çalışmaktadırlar. Böylelikle bağımsız yürütülen süreçlerin tamamı ortak bünyeye alınarak risk seviyesinin güvenli sınırlara çekilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmada, Airbus A330 uçaklarında kullanılan, General Electric firması tarafından üretilen CF6-80E1 motorlarının hem takip işlemlerini incelenecektir hemde bu takip sırasında oluşan taleplerle motorlara uygulanan bakımlar arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarılacaktır. Bunun yanı sıra geçmişte yaşanmış olumsuzlukların da kök neden analizlerini yaparak optimum motor bakım yönetimi uygulamasının nasıl olması gerektiği gösterilecektir.

Bu sonuca ulaşmak için uçak motor takip standartlarının içeriğini oluşturan öğeleri incelenecek. Bu öğeler ve sınırları hakkında teknik bilgiler sunulacaktır.

Motor bakımlarının optimizasyonu ve bakım aralıklarının belirlenmesi konusunda ülkemizde yapılmış bazı çalışmalar incelendiğinde ortaya çıkan bulgular daima bir

matematiksel modelleme yoluyla teorik bakım sıklığının belirlenmesi olarak gerçekleştirilmiştir.

Geçmiş dönemde yapılan çalışmalara baktığımızda özellikle farklı akademik branşlardan mühendislik odaklı çalışmalara rastlamaktayız. Bu çalışmalarda genellikle faaliyetin modellenmesinin detaylarına girilmiş fiiliyatta yapılan bir uygulama örneği ele alınmamıştır.

Bu çalışmada bu diğer soyutlanmış ve sadece modellenmiş çalışmalardan farklı olarak hali hazırda yürütülen sistemleri ele alacak, bu sistemler üzerinde modelleme yapılacak ve mevcut sistemle modelleme arasındaki farklar ortaya çıkarılacaktır. Geçmiş çalışmalarda bu yöntem kullanılmamış sadece optimum şartlara odaklanılmış ve o şartlardan bahsedilmiştir.

Literatürde ulaştığımız çalışmalar çoğunlukla mevcut yasal çerçeve dahilinde modelleme yolunu seçmişlerdir.

Mevcutta var olmayan hayali durumlar üzerinden uçak motor bakımı modellemelerinde mutlaka bir yanılma payı bırakılmaktadır. Bu toleransın gerçek durumlarla mukayese edilmesi pek mümkün olmamaktadır. Çalışmanın yöntemi doğrudan yürütülen bir operasyona odaklanıp varsayımsal değerleri değil gerçek değerleri ele alacaktır.

Örneğin mevcut çalışmalarda yedek motor stok seviyesi hakkında hiçbir bilgi bulunmamaktadır. Zira mühendislik modellemesinde olağanüstü durumların oranı sabit bir rakam olarak alınmış ve bir formüle bağlanmıştır. Bu hesaplamanın doğruluk payı olmakla birlikte gerçekte motorların filo bazında yönetilmesi sırasında olağanüstü hallerde matematiksel modellemenin oldukça ciddi bir operasyon engellemesine neden olacağı açıktır. Bu sorunu çalışmanın yedek motor stok yönetimi konusunda işlenecektir.

Dolayısıyla özetle geçmişte yapılan çalışmaların hiçbiri sivil havacılık kurallarına dayanmayan ve gerçek durumları referans almayan çalışmalardır. Tezde bu eksikliği giderecek bir çalışma ortaya konacaktır.

Bu çalışmalardan belli noktalarda istifade edilmiştir fakat bakımın planlanmasıyla ilgili süreçler daima bir planlama faaliyetine indirgenecek durumda tutulmuştur. Bu

sınırlayıcı yaklaşım genel olarak uçak motor bakım politikalarını olumsuz etkilemektedir. Üretim – Bakım Planlama – Bakım uygulama – Ürün Geliştirme faaliyetlerini yürüten şirketlerin dağınıklığı bakımların uygulanmasını daha maliyetli ve hataya açık konuma sokmuştur. Çalışma bakımın yönetiminin mümkün olan en az aktörle gerçekleştirilmesini sağlamak için motor bakım politikasının merkezileştirilmesi konusunu ele almaktadır.

Çalışma, diğer önermelerde olmayan bir boyutu ele alarak gerçek veriler ışığında mevcut hesaplanan optimizasyonların bir üst bakış açısıyla ele alıp geliştirmeyi hedeflemektedir. Henüz yasal altyapısı oluşturulmadığı için ticari faaliyetlerde kullanılmayacak olsa da yapılacak öneri ve model, önümüzdeki yıllarda tamamlanacak yasal çalışmalarla birlikte asıl optimizasyon modelini oluşturacak bir şirketlerarası, başta turbofan tipi motor bakım yönetiminin planlama teklifidir.

## 1. GENEL BİLGİLER

Airbus A330-200/300 tipi uçaklarda kullanılan CF6-80E1 motoru, (yüksek by-pass yani motorun sıcak kısmına giren hava miktarının motorun dışından geçen hava miktarından az olan) bir turbo fan motorudur. Üreticisi, General Electric şirkettir. Fiziki özellikleri Tablo 1.1’de gösterilmektedir[1].

Tablo 1.1. CF6-80E1 motorunun fiziksel özellikleri

Fan / Kompresör Kademe Sayısı	1 / 4 / 14
Low-Pressure Turbine Kademe Sayısı / High-Pressure Turbine Kademe Sayısı	5 / 2
Azami Çap (Inch Cinsinden)	106 – 114
Boy (Inch Cinsinden)	168

Motorun tasarım ve üretim sürecinde önemli aşamaları;

- İlk motorun testi 1990 Aralık
- İlk uçuş testi 1992 Şubat
- Motor sertifikasyonu 1993 Mayıs
- Uçak sertifikasyonu 1993 Ekim
- Hizmete girişi 1994 Ocak
- 120 Dk. ETOPS Onayı 1994 Nisan
- CF6-80E1A3 sertifikasyonu 2001 Aralık
- 240 Dk. ETOPS sertifikasyonu 2009 Ekim

Tablo 1.2’de ise CF6-80E1 motor varyantlarının performans özellikleri ve kullanılmakta olan motor sayısı belirtilmektedir. Motorların sahip oldukları özelliklerin değer bandında gösterilmesi bazı modifikasyonlarla özelliklerin geliştirilebilmesini ve motor performansının artırılmasını mümkün kılmaktadır.



Tablo 1.2. CF6-80E1 motor varyantlarının performans özellikleri ve kullanılmakta olan motor sayısı [2]

MOTOR TİPİ	İTME GÜCÜ (lbs)	MOTOR SAYISI	UÇAK TİPİ
CF6-80E1A2	68,000	42	A330-300
CF6-80E1A3	72,000	62	A330-300/200
CF6-80E1A4	70,000	48	A330-300/200
CF6-80E1A4B	70,000	4	A330-300/200

CF6-80E1 yüksek by-pass özellikli bir motor olduğu için motorun sıcak kısmına giren hava miktarının motorun dışından geçen hava oranına göre düşük olduğu bir sistemle çalışmaktadır. Motorun by-pass oranı 5,3 iken, basınç oranı 32,6'dır. Basınç oranı motorun kompresör kısmından yanma odasına geçmekte olan havanın basıncı ile motorun emdiği atmosferdeki havanın basıncının oranıdır. Bu bilgi ışığında motorun kompresöründen çıkan havanın özellikleri tablo 1.3'deki gibi hesaplanabilir.

Tablo 1.3. CF6-80E1 motorlarında irtifa ve motorda kullanılan hava basınç değerleri

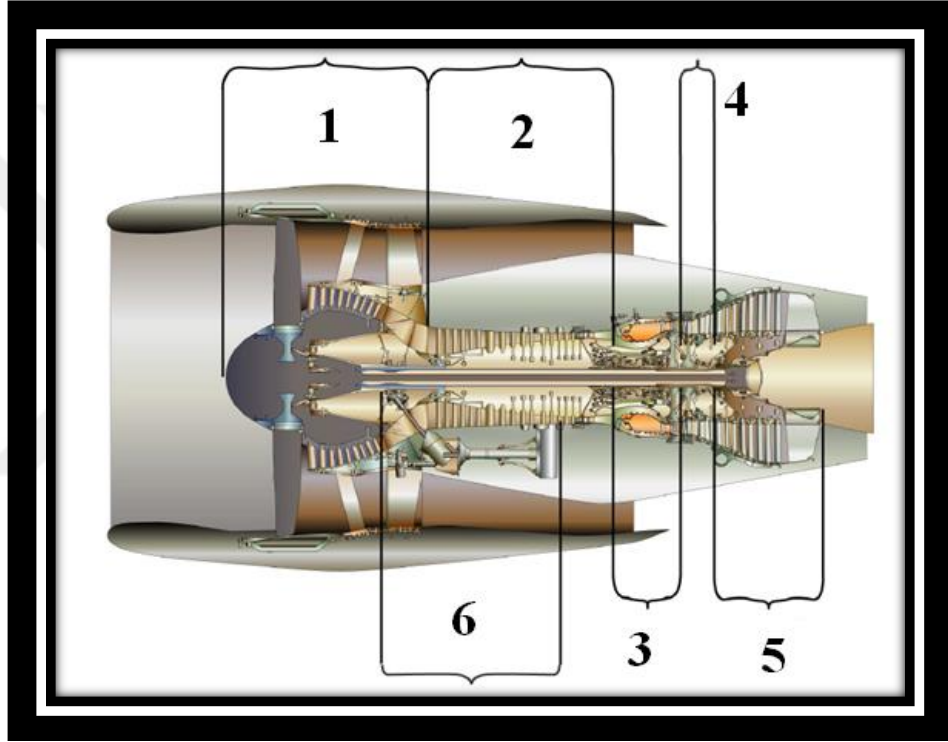
İRTİFA (feet)	HAVA BASINCI (milibar - hPa)	MOTOR KOMP. ÇIKIŞ BASINCI (milibar - hPa)
25000	375,9	12254,3
29000	314,8	10262,5
30000	300,9	9809,3
35000	238,4	7771,8
36089	226,3	7377,4
40000	187,5	6112,5
42000	170,4	5555,0

Aynı bilgiler kullanılarak motorun kompresör kısmından çıkan havanın sıcaklığı Gay-Lussac teoremi ile hesaplanacak olursa, kullanılacak yöntemle çıkan sonuçlar Tablo 1.4'deki gibi olacaktır.

$$(P1 \times P2) \div T1 = (P2 \times V2) \div T2 \quad (1.1)$$

Tablo 1.4. CF6-80E1 motorlarında irtifa ve motor hava sıcaklık değerleri

İRTİFA (feet)	HAVA SICAKLIĞI (°C)	MOTOR KOMP. ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°F)
25000	-34,5	1200
29000	-42,4	1183
30000	-44,4	1159
35000	-54,3	1133
36089	-56,5	1114
40000	-56,5	1109
42000	-56,5	1097



Şekil 1.1. CF6-80E1 motorunun ana modülleri

Bir CF6-80E1 motoru şekil 1.1 de görüldüğü gibi, 6 ana kısımdan oluşmaktadır[2];

- Fan ve Alçak Basınç Kompresörü
- Yüksek Basınç Kompresörü
- Yanma Odası
- Yüksek Basınç Türbini
- Alçak Basınç Türbini
- Dişli Kutusu

Fan ve Alçak Basınç Kompresörü: Motorun en ön kısmını oluşturan bu yapı atmosfer havasını motora emilmesini sağlayan kısımdır. Fan kesitinden görüleceği üzere havanın küçük bir kısmı motor içine çekilirken büyük miktarda hava motorun dışından akmaktadır. Fanın arkasında yer alan alçak basınç kompresörü de havanın motor içine girerken doğrultusunu ve basıncını ayarlamak için kullanılır.

Yüksek Basınç Kompresörü: Alçak basınç kompresöründen gelen hava bu bölümde sıkıştırılır. Bu sayede havanın hızı düşürülür, sıcaklığı ve basıncı artırılır. Yüksek basınç kompresöründen çıkan hava artık yanma işlemi için şartlandırılmış havadır.

Yanma Odası: Kompresörden gelen hava, yakıt ile bu kısımda karıştırılır ve gerektiğinde bujiler vasıtasıyla patlatılır. Annular tip yanma odası olan motor, odacıklardan mütevellit bir yanma odası yapısına sahiptir.

Yüksek Basınç Türbini: Bu kısım yüksek basınç kompresörüyle beraber N2 sistemini oluşturur. Yüksek basınç türbini yanma odasından gelen değişken yönlü havanın yönünü düzenler ve havayı alçak basınç türbinine yönlendirir.

Alçak Basınç Türbini: Artık motoru terk etmek üzere olan havanın motordan çıkarken belli doğrultuda çıkması ve herhangi bir akış bozukluğuna sebep olmaması için kullanılır. Fan, alçak basınç kompresörü ile birlikte N1 sistemini oluşturan kısımdır.

Dişli kutusu: Transfer ve Aksesuar olarak iki kısımdır. Bu bölüm ise farklı sistemleri besleyen motorun bu sistemlere takat vermesini sağlayan pompalar ve muhtelif güç aktarım elemanlarını üzerinde taşıyan kısımdır. Motordan aldığı hareket ve gücü uçağı yönetmek için kullanılır. Üzerinde HydroMechanical Unit (HMU), yakıt pompası, hidrolik yağ pompası, Motor sürülü jeneratör, tam yetkili dijital motor kontrol birimi ve sürekli manyetik değişgen gibi komponentler takılıdır.

Bu parçalar sayesinde motordan alınan güç, basınç ve takat ile uçakta bulunan çeşitli kontrol sistemleri beslenmektedir.

Bahsi geçen sistemlerden bazıları kabin ve kokpit içindeki hava basıncını düzenleyen sistemler de yer almaktadır.

## 1.1. Operasyonel Limitler

CF6-80E1 motorlarının sertifikalandırılması akabinde yayımlanan tip sertifikasında motora ait limitler belirlenmiştir. İlgili tip sertifikasında geçen limitler şöyledir.

### 1.1.1. Sıcaklık limitleri

- Egzoz Gaz Harareti (EGT), °C (°F):

Take-off (5 Dakika) 975 (1787)

Maximum Continuous 940 (1724)

Starting Maximum Transient (40 s) 870 (1598)

Starting (ground) Max (no time limit) 138 (1382)

- Yağ Harareti, °C (°F):

Sürekli Operasyon Esnasında 160 (320)

Geçici (15 Dakika Maksimum) 175 (347)

- Yakıt Harareti

Başlangıç harareti limiti, yakıt viskozitesinin  $0.000012 \text{ m}^2/\text{s}$ 'den fazla olmadığı durumlarda maksimum  $55^\circ\text{C}$  ( $131^\circ\text{F}$ ).

Operasyon Harareti Limiti (başlangıç harareti dışında) en düşük sıcaklık yakıtın donma derecesinden  $3^\circ\text{C}$  ( $5,4^\circ\text{F}$ ) daha sıcak olmak zorundadır. Her durumda asgari sıcaklık  $-54^\circ\text{C}$  ( $-65,2^\circ\text{F}$ ) den aşağı olamaz. Maksimum sıcaklık limiti ise,  $55^\circ\text{C}$  ( $131^\circ\text{F}$ ) dir.

### 1.1.2. Maksimum müsaade edilen rotor hızları

Düşük Basınç Rotorları (N1) rpm (%) 3835 (115,5)

Yüksek Basınç Rotorları (N2) rpm (%) 11105 (113,0)

### 1.1.3. Basınç limitleri

- i. Motor yakıt pompasının girişindeki yakıt basınç limitleri
- ii. Yağ Basıncı Limitleri

### 1.2. Yerde Motor Çalıştırma, Havada Çalıştırma ve Operasyon

Minimum yakıt basıncı 34,5 kPa (5,0 psi) a eşit veya daha yüksek olmak zorundadır. Mutlak yakıt buhar basıncı da 468 kPa gauge (68 psig) üzerinde olmak zorundadır (bu koşul atmosfere bağlı olarak değişebilir).

Düşük Basınç (diferansiyel)	69 kPa (10 psi) en az
	103,4 kPa (15,0 psi) 55% N2'da
	241,5 kPa (35,0 psi) 110% N2'da

69 kPa den düşük diferansiyel basınç altında 30 saniye motorun çalışma müsaadesi vardır. Bunu için “negatif g” şartlarının oluşması gerekmektedir.

### 1.3. Motor Parametreleri ve İndikasyonları

Uçuş operasyonunda özellikle yakıt sarfiyatının yönetimi açısından motorun çalışma performansının kontrol altında tutulması önem arz etmektedir. Ayrıca bu sınırların aşılması durumunda motorun ihtiyaç duyacağı bakımın masrafı da öngörülenin üzerinde olabilir. Bahsedilen motor parametrelerinin takibi konusunda motor üreticileri farklı takip program sistemleri geliştirmişlerdir. Bu sistemlerden General Electric firmasının sistemi hakkında bilgileri çalışmamızın ilerisindeki kısımlarında aktarılacaktır.

Bir turbo fan motorunda takip edilebilecek genel parametrelere bakılırsa, bunların bazılarının CF6-80E1 serisi motorlarda kullanılmadığı görülebilir.

N1: Motorun alçak basınç döner sistemlerinin dönme hızıdır ve “%” olarak gösterilir. Dakikadaki dönüş hızı cinsinden bir gösterim yapılmaz. CF6-80E1 serisi motorlarda müsaade edilen en yüksek N1 hızı 3835 rpm (%115,5)'dir.

N2: Motorun yüksek basınç döner sistemlerinin dönme hızıdır ve “%” olarak gösterilir. Dakikadaki dönüş hızı cinsinden bir gösterim yapılmaz. CF6-80E1 serisi motorlarda müsaade edilen en yüksek N2 hızı 11105 rpm (%113,0)’dir.

EGT: (Exhaust Gas Temperature) Egzoz gaz harareti motoru terk eden havanın sıcaklığını gösterir ve “C” olarak gösterilir. Motorun en önemli parametrelerinden biridir. CF6-80E1 serisi motorların en kritik parametresidir. Birçok motorun bakım planlaması bu parametreye göre uygulanır. Zira diğer parametre limitlerine göre eşik değerini en erken aşan parametre EGT’dir. Çalışmamızda en detaylı parametre olarak EGT yönetimi açıklanacaktır.

EPR: (Engine Pressure Ratio) CF6-80E1 serisi motorlarda kullanılmayan bir parametredir. Motoru terk eden gazın basıncı ile motora giren havanın basıncının oranı anlamına gelir.

FF: (Fuel Flow) bir saatte her bir motorun harcayacağı yakıt miktarını gösteren parametredir. LBS/H cinsinden gösterilir.

Üstte belirttiğimiz parametreler öncelikli (primary) motor parametreleri olarak gruplandırılır. Şekil 1.2’de primary parametrelerin gösterimi ve değer sınırları görülmektedir[3].



Şekil 1.2. Motor parametrelerinden n1, n2, egt ve ff bilgilerinin kokpitteki göstergesi

Aşağıda bahsedilen parametreler ise ikincil (secondary) motor parametreleri olarak geçer.

FUSED: Motorun çalışmaya başladığı andan itibaren o uçuşta ne kadar yakıt tükettiğini gösteren parametredir. Libre cinsinden gösterilir.

OIL: Her motorun hidrolik sisteminde dolaşmakta olan yağ miktarını gösteren parametredir. Quart cinsinden gösterilir.

PSI: Aynı sistemlerde bulunan hidrolik yağın basıncını gösteren parametredir. PSI cinsinden gösterilir.

°C: Motorların hidrolik sisteminde kullanılan yağın sıcaklığını gösteren parametredir. Bu sıcaklık değeri, sistemde kullanılmış olup yağ deposuna girmekte olan yağın sıcaklığını gösterir.

VIB N1: Alçak basınç sistemlerinin oluşturmakta olduğu titreşim miktarını gösterir. Rakamsal olarak görüntülenir.

VIB N2: Yüksek basınç sistemlerinin dönüş hareketleri sırasında yarattıkları titreşim miktarını gösteren parametredir. Rakamsal olarak gösterilir.

NAC: Motorun kaportasıyla sıcak kısımları arasındaki havanın motoru terk ederken sahip olduğu sıcaklığı gösteren parametredir. “°C” cinsinden gösterilir.

Motor parametreleri kokpitte ECAM (electronic centralized aircraft monitor) denen sistem üzerinden görüntülenir. Birincil parametreler sürekli olarak ECAM ekranında görünürler. Fakat secondary parametreler pilotların motor durumuyla ilgili taleplerinin sisteme girmeleri sonucunda ECAM ekranına gelir.

ECAM sistemi Airbus tarafından geliştirilmiş sistemdir. Boeing ve Embraer uçaklarında aynı görevi üstlenen sisteme EICAS (Engine Indicating and Crew Alerting System) adı verilir. Her iki sistemde de primary parametreler sürekli görülürken secondary parametreler şekil 1.3’deki gibi görünerek istendiğinde ekrana gelir[4].



Şekil 1.3. Fused, oil qt, oil psi, o °c, vib n1&n2 ve nac parametrelerinin kokpitteki göstergesi

Bu parametrelerin ECAM menüsünden ENGINE sekmesinin seçilmesi gerekmektedir.



#### **1.4. Airbus A330 Uçaklarında Motor Bakım İşlemleri**

Bütün hava araçlarının bakım işlemleri bir sisteme bağlı olarak icra edilmektedir. Modern yolcu uçaklarında bakım işlemlerinin gruplandırılması ATA 100 Chapter sistemine göre hazırlanmıştır. ATA 100 chapter sistemi, Air Transport Association tarafından oluşturulmuştur. Uçağın sistemlerinin de sınıflandırıldığı ATA 100 chapter'lar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

EK-A da verilen tabloda uçaklara uygulanacak bakım işlemlerinin ATA-100 sistemindeki kısımlar ve başlıklar görülebilir.

ATA chapter'ların 70 ila 80 arasında geçen kısımları motor sistemlerinin ve onlara uygulanacak bakım işlemlerini içerir.

Bakımlar, Airbus A330 uçaklarının da tabii olduğu ATA 100 sistemine uygun olarak hazırlanmış AMM (Aircraft Maintenance Manual) yardımıyla yapılır. AMM bölümleri 6 rakamlı bir sıralamaya göre hazırlanır. İlk iki rakam ATA 100 chapter'daki sistemi belirtmektedir. Diğer iki haneli iki sayı ise alt sistemleri ve parçaları ifade eder.

Motor sistemleri ve onlara ait alt sistemlere yapılacak bakımların AMM kodlaması alttaki gibidir.

Power Plant - Motor

Chapter 70

- 70-00-00 Motor Standart Bakım Uygulamaları

Chapter 71

- 71-00-00 Motor

- 71-10-00 Kaportalar

- 71-20-00 Motor Bağlantıları

- 71-30-00 Yangın Yalıtım Malzemeleri

- 71-40-00 Bağlantı Mentşeleri

- 71-50-00 Elektriki Kablo Bağlantıları

- 71-60-00 Hava Emiř
- 71-70-00 Motor Bořaltım

#### Chapter 72

- 72-00-00 Türbin Motor / Turboprop
- 72-10-00 Azaltıcı Dişli ve Milleri
- 72-20-00 Hava Emiř Kısım
- 72-30-00 Kompresör Kısım
- 72-40-00 Yanma Kısım
- 72-50-00 Türbin Kısım
- 72-60-00 Aksesuarlar
- 72-70-00 By-Pass Kısım
- 72-80-00 İtici Kısım (Arka Bağlantı)

#### Chapter 73

- 73-00-00 Motor Yakıt & Kontrol
- 73-10-00 Dağıtım
- 73-15-00 Akış Blcs
- 73-20-00 Kontrol
- 73-25-00 Yakıt Birim Kontrolü
- 73-30-00 Gösterge

#### Chapter 74

- 74-00-00 Buji Sistemi
- 74-10-00 Elektriki Güç Kaynağı
- 74-20-00 Dağıtım
- 74-30-00 Butonlama Sistemi

#### Chapter 75

- 75-00-00 Hava
- 75-10-00 Motor Buza Mani Sistem
- 75-20-00 Motor Soğutma

- 75-30-00 Kompresör Kontrol
- 75-40-00 Gösterge

#### Chapter 76

- 76-00-00 Motor Kontrol
- 76-10-00 Güç Kontrol
- 76-20-00 Acil Durumda Motor Kapatma

#### Chapter 77

- 77-00-00 Motor Gösterge
- 77-10-00 Güç Kontrol
- 77-20-00 Sıcaklık
- 77-30-00 Analizci
- 77-40-00 Girift Motor Enstrüman Sistemi

#### Chapter 78

- 78-00-00 Egzoz
- 78-10-00 Toplayıcı / Nozzle
- 78-20-00 Gürültü Azaltıcı
- 78-30-00 Motor Freni (Thrust Reverser)
- 78-40-00 Tamamlayıcı Hava

#### Chapter 79

- 79-00-00 Yağ
- 79-10-00 Depolama
- 79-20-00 Dağıtım
- 79-30-00 Gösterge

#### Chapter 80

- 80-00-00 Motor Çalıştırma
- 80-10-00 Motoru Boş Döndürme

## 1.5. Türkiye’de Uçak Motor Yönetimi Sistemi

Ülkemizde uçak motor bakım yönetimi konusunda yürütülen faaliyetleri düzenleyen 2 adet kural vardır. Bu kurallar motorların sadece performansları değil ayrıca uçuş güvenliğini tehdit edecek bir durumun var olmasını engellemek üzere hazırlanmıştır. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan SHY-M (sürekli uçuşa elverişlilik ve bakım sorumluluğu yönetmeliği) ve SHT-M (sürekli uçuşa elverişlilik ve bakım sorumluluğu talimatı) motoru kullanan operatörlere, motor bakım yönetimi konusunda sorumluluklar yüklemiştir. EK-B’de motor takibi hakkında yayımlanmış kanun ve yönetmelikler verilmiştir.

Yukarıda belirtilen koşullara ek olarak, motor bakımlarının yetkili bakım şirketlerine yaptırılması önemli bir koşuldur. Motor bakımında ülkemizin ve aynı zamanda Avrupa Havacılık Emniyeti ajansı (European Aviation Safety Agency – EASA) tarafından kabul edilen bakım şirketleri yetkilendirilmesi kapsamında iki yöntem esas alınmıştır;

İlk durum, motor hava aracına takılıyken gerçekleştirilen bakımlardır. Bu işlemler motorun sağlıklı çalışmasını destekleyecek kontrol, ikmal ve muhtelif işlemlerin yapılması, ayrıca motor arızalarının giderilmesi için motoru sökmeden üzerinde parça değişimi ve tamirlerin yapılması durumudur. Bu durumda motorun takılı olduğu uçağa bakım yetkisine sahip bir bakım şirketi motoruna da müdahale edebilir. Bu müdahalenin sınırı AMM 70 – 80 chapter arasında belirtilmiştir. Bu dökümanın dışında bakım gerektiren bir işlem uygulanacaksa, daha kapsamlı bir yetki gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Eğer meydana gelen arıza veya teknik durum motorun uçaktan sökülmesini gerektiriyorsa, sadece uçak bakım yetkili bir organizasyonun bu işlemi yapmaya yetkisi yoktur. Bu durumda motor bakım yetkisi olan bir şirketin müdahale etmesi gerekir. Bu bakım yetkisi motorun modüllerine ayrılmasından başlayıp komple revizyonunu yapmaya kadar genişletilebilir. İlgili işlemler için kullanılacak dokümana motor bakım elkitabı adı verilir.

Bakım şirketlerinin yetkilendirilme şekli tablo 1.5’deki [5] gibidir. Bu sistem hem ülkemizde hem Avrupa’da aynı biçimde uygulanmaktadır.

Tablo 1.5. bakım kuruluşu yetkilendirme sınırlandırmaları

Sınıf	Yetki	Sınırlamalar	Üs	Hat
A1	5700 kg üzerindeki Uçaklar	[Ek II (Annex II) (Part-145) doğrultusunda onaylanmış Bakım Kuruluşlarına ayrılmış yetki] [Uçak imalatçısını veya grubunu veya serisini veya tipini ve/veya bakım görevlerini belirtecektir]	[EVET/ HAYIR]*	[EVET/ HAYIR]*
A2	5700 kg ve altındaki Uçaklar	[Uçak imalatçısını veya grubunu veya serisini veya tipini ve/veya bakım görevlerini belirtecektir] Örneğin: DHC-6 Twin Otter Serisi	[EVET/ HAYIR]*	[EVET/ HAYIR]*
A3	Helikopterler	[Helikopter imalatçısını veya grubunu veya serisini veya tipini ve/veya bakım görevini (görevlerini) belirtecektir] Örneğin: Robinson R44	[EVET/ HAYIR]*	[EVET/ HAYIR]*
A4	A1, A2 ve A3 haricindeki hava aracı.	[Hava aracı serisini veya tipini ve/veya bakım görevini (görevlerini) belirtecektir]	[EVET/ HAYIR]*	[EVET/ HAYIR]*
B1	Türbin	[Motor serisini veya tipini ve/veya bakım görevini (görevlerini) belirtecektir]		
B2	Piston	[Motor imalatçısını veya grubunu veya serisini veya tipini ve/veya bakım görevini (görevlerini) belirtecektir]		
B3	APU	[Motor imalatçısını veya serisini veya tipini ve/veya bakım görevini (görevlerini) belirtecektir]		

### 1.6. Havayollarında Motorlar için Uçuşa Elverişlilik Faaliyetleri

Çalışmanın konusu olan motorların uçuşa elverişli tutulması faaliyeti büyük oranda motor parametre takibi sayesinde yürütülür. Sadece bundan ibaret olmayan motor

yönetimi farklı işlemleri de barındırır. Ana faaliyetler olarak motorlarda uçuşa elverişlilikte şu işlemler yürütülür;

- Motor parametrelerinin takibi ve gerektiği zaman motora müdahale edilmesi,
- Planlı bakımların oluşturulması ve bakım programına eklenmesi,
- Motor üzerinde yer alan komponentlerin bakım veya revizyona sokulması amacıyla ömürlerinin takip edilmesi,
- Motor üzerinde ömürlü parça denilen ve ömrünü doldurduktan sonra tekrar kullanılamayan parçaların ömür bilgilerin takibi,
- Motorların yapısını değiştiren ve uçuş güvenliğini tehlikeye sokan bir durumun giderilmesi amacıyla yayımlanmış olan SB ve AD lerin süresi dolmadan uygulattırılması,
- Motorun performansı veya özellikleri ticari amaçlar için değiştirmek istendiğinde gerekli modifikasyon işlemlerinin sağlanması,
- Motor bakımlarının uygun yetkili şirketlerde yaptırılmasıyla ilgili anlaşmalar yapılması,

Bu çalışmada yukarıdaki faaliyetler hakkında bir araştırma yapılacaktır. Model bir şirketin bu işlem için kurduğu sistem incelenecektir. Sistemde eksik olan noktalar tespit edilerek daha verimli bir uçak motor takip ve uçuşa elverişlilik sisteminin oluşturulmasıyla ilgili öneri sunulacaktır.

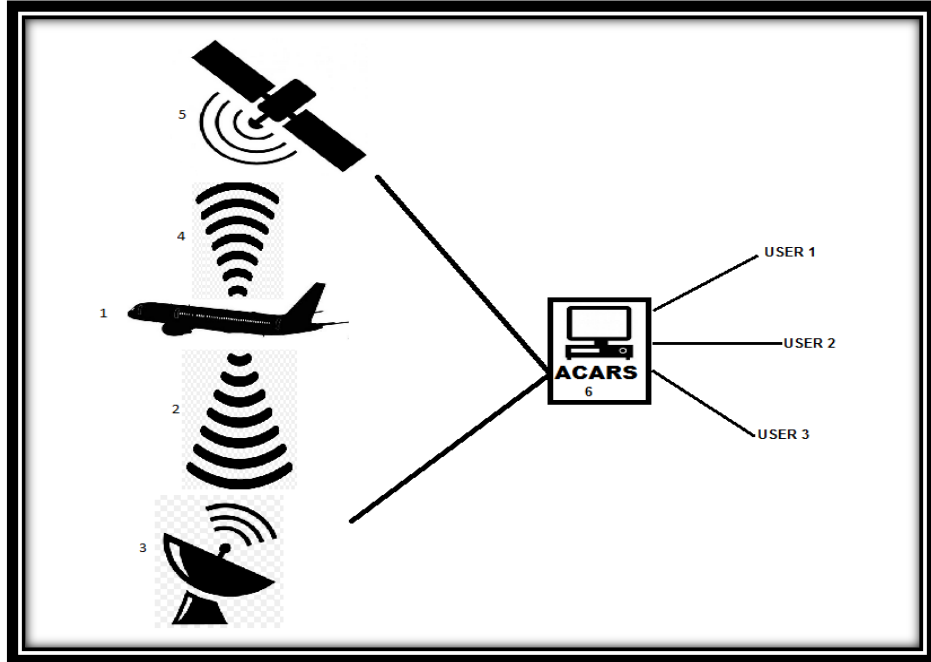
Daha önce ülkemizde bu konuda yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Zira ilgili kanunların yürürlüğe giriş tarihi 2013 yılıdır. Bu süre zarfında akademik olarak ülkemizde motor bakım yönetimine dair bir çalışma göze çarpmamıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System - Uçak İletişim Adresleme ve Raporlama Sistemi) Sistemi ve Primary Parametrelerin Takibi

Çalışmamızın başında belirttiğimizi gibi ECAM'da sürekli görünen 4 motor parametresi birincil parametrelerdir. Motor için en hayati ve çok kısa sürede ciddi arızalara ve/veya kazalara sebep olabilecek parametrelerdir. Bu parametrelerde meydana gelen olağandışı tüm durumlar, ACARS sistemi üzerinden anında gerekli bölümlere iletilir. İletim yapılan noktalar şekil 2.1'de de görüldüğü gibi şunlardır;

- Motor üreticisinin merkezi bilgisayar database'i
- Operatörün Operasyonel Merkezi (Operational Control Center)
- Operatörün Bakım Kontrol Merkezi (Maintenance Control Center)



Şekil 2.1. Acars sisteminin iletişimini gösteren figür şematığı

ACARS sistemi motor analizi ve takibinde büyük önem taşır zira motorun anlık değerlerindeki değişimleri takip edebilmenin tek kaynağı, merkezi ACARS sistemidir. Sistemin çalışması hakkında bilgi vermek için şekil üzerindeki numaraları kullanılacaktır.

1) Uçağın ACARS sistemine gerekli bilgileri gönderen bilgisayarın ismi de sistemle aynı adı taşımaktadır ACARS bilgisayarı uçağın VHF antenlerini kullanarak yerde bulunan radyo istasyonlarına belli bilgileri ulaştırır bu bilgiler;

- Mürettebat tanımlaması
- OOOI zamanları (Out, Off, On, In)
- Motor performansı
- Uçuş durumu
- Bakım parçaları gibi

2) Uçaktan çıkan sinyaller için VHF airband (hava bandı) denen bir frekans aralığını kullanılır. Bu frekans aralığı, 108 ila 137 MHz arasındadır.

3) Şekil 2.2 de görülen ve ACARS sisteminden gelen bilgileri toplayan antenler tüm bilgileri toplayarak ACARS merkezi bilgisayar database'ine yönlendirir.



Şekil 2.2. ACARS sisteminden gelen bilgileri toplayan anten

4) ACARS sistemi için olmasa da uçağın konum ve hız bilgilerinin GPS üzerinden uyduya gönderdiği bilinmektedir. Bu sayede ACARS döküm saatleriyle uçağın irtifa hız ve konum bilgilerini mukayese edebilecek bir raporlamaya zemin hazırlar.



- 5) Uçaktan aldığı konum, hız ve irtifa gibi coğrafi bilgileri uydu dünya üzerindeki merkezi sistemlere gönderir.
- 6) Merkezi ACARS bilgisayar sistemi, uydudan ve topladığı bilgileri anında uçak üreticisi, motor üreticisi ve operatörlerle paylaşır. Dolayısıyla bir arıza veya anormallikte anında birçok şirket ve destek birimi uyarılmış olur.

### **2.1.1. N1**

N1, sistemi motorun gücünü ortaya çıkaran fan kısmının da bağlı olduğu alçak basınç sistemleri olarak adlandırılır.

N1 göstergesindeki değerler arasındaki durum ilişkisi şöyledir;

Asıl (Actual) N1: Asıl N1 değeri, dönüş hızını ölçen sensör tarafından gönderilen bilgilerin ECU (Engine Control Unit) tarafından hesaplanması sonucu ortaya çıkan değerdir. Asıl N1, hem ibreli hem de dijital olarak göstergelerde gösterilir. Bu değer uçak hem oto pilot hem de manuel uçuş modundayken gösterilir.

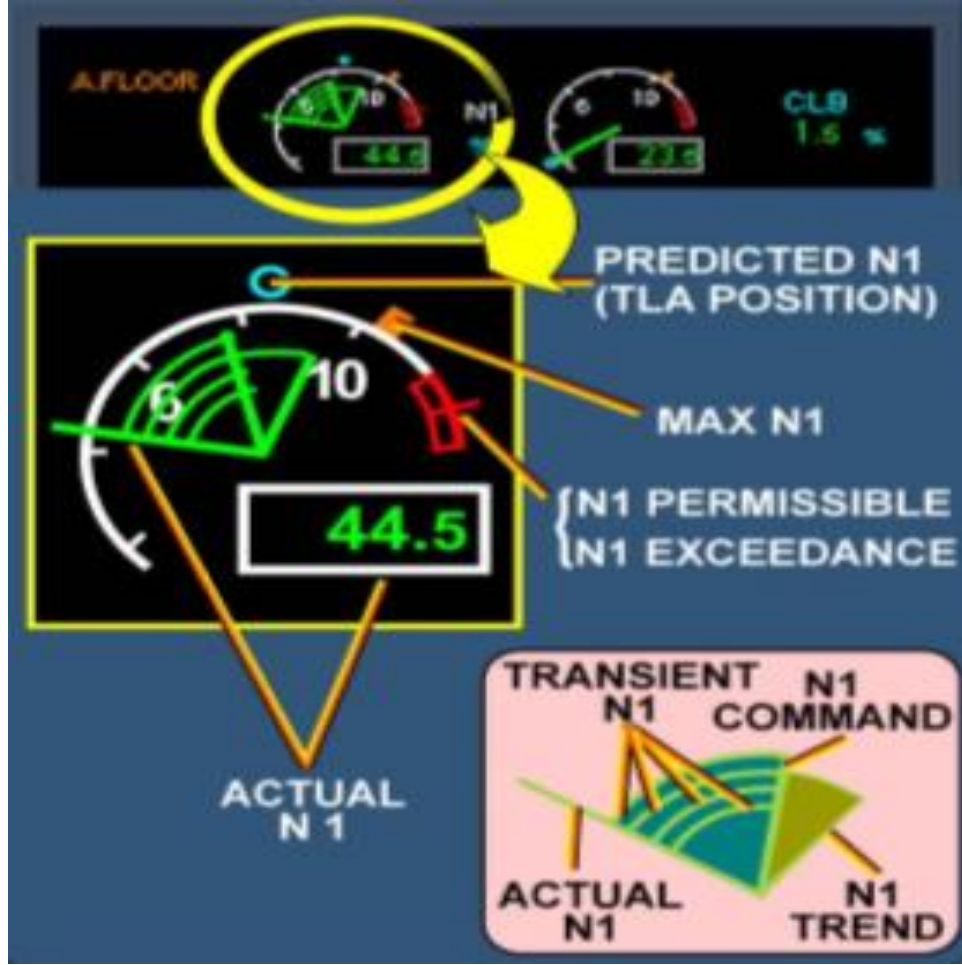
N1 Kumanda ve N1 Trend: Yeşil iğne ECU tarafından istenen N1 kumandasını gösterir. N1 kumanda ibresinin yanında bir ibre de N1 şaftının trendini gösterir. Bu semboller oto pilot sistemi devredeyken ortaya çıkar.

Geçici N1: Geçici N1 ise asıl N1 ile N1 kumanda arasındaki değer farkı anlamına gelmektedir. Sadece oto pilot aktif haldeyken belirir.

Öngörülen (Predicted) N1: Gaz kollarının açısına göre bulunması gereken N1 devir hızını gösterir. Bu N1 ibre içerisinde mavi bir daire olarak gösterilir.

Azami N1 (Max): Azami N1 gaz kollarının en ileri pozisyona alındıkları anda N1 için konan limit değeri simgelemektedir.

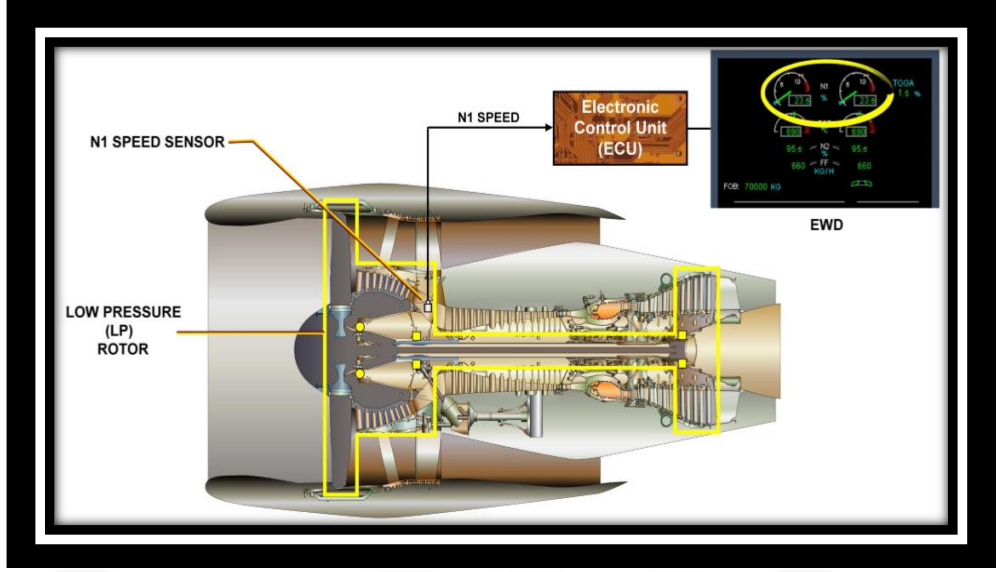
Müsaade Edilen Azami (Max Permissible) N1: N1 kırmızı çizgilerle gösterilen bölümdür. Bu bölüm %115 değeriyle başlar. Eğer N1 %115 dönü hızını geçerse azami dönüş değeri geçildiği ikazı uyarı olarak ekranda görülür. N1 gösterge görüntüsü şekil 2.3 de görüldüğü üzere primary ECAM da yer alır[6].



Şekil 2.3. N1 göstergesi ve n1 için takip edilen muhtelif değerlerin gösterimi

N1 dönüş değeri her zaman motorlar için önemli bir parametre olmuştur. Uçuş esnasında herhangi bir sebeple N1 değerinin aşırı dönüş hızına çıkması (override) söz konusu olursa motorun havada kapatılması gerekir. Böyle bir sorun yaşandıktan sonra motorun mutlaka detaylı bir kontrol ve testten geçirilmesi istenebilir.

Şekil 2.4'de motor içinde N1 Devrinin kontrol etmek için kullanılan sensörlerin yerleri ve bağlı oldukları sistemlerin neler olduğu gösterilmiştir[7].



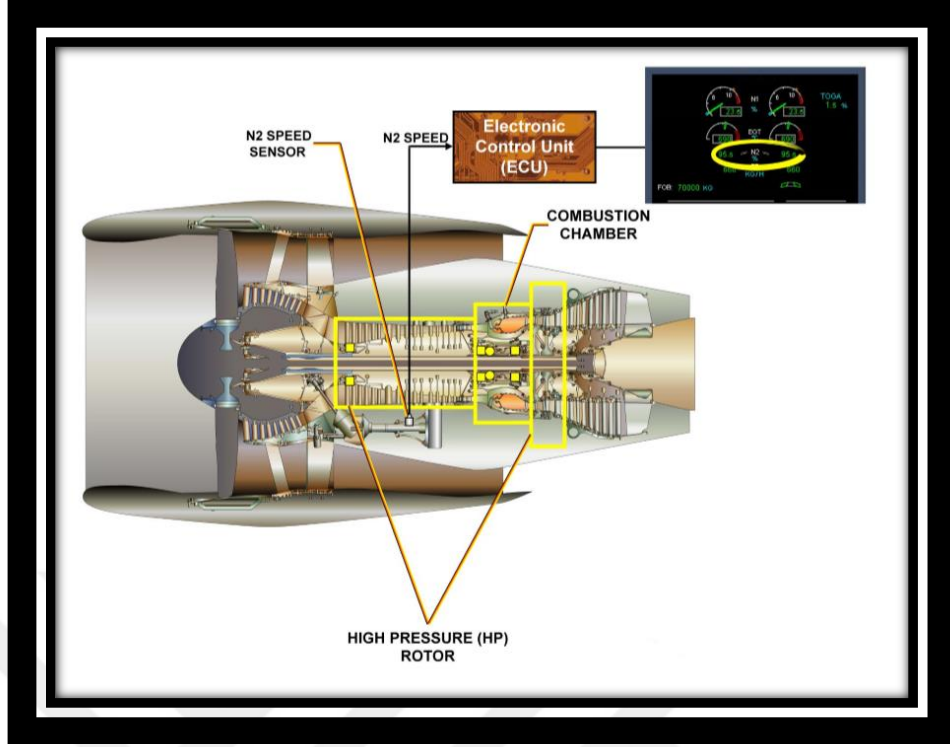
Şekil 2.4. N1 sistemi ve hız sensör yolu

### 2.1.2. N2

N2 sistemi yüksek basınçlı bölgede dönen parçalar ve bölümlerin dönüş hızının göstergesidir. HPC (High Pressure Compressor) ve HPT (High Pressure Turbine) kısımlarından oluşan sistemde motorun içine alınan havayı kullanarak yakıt miktarını değiştiren bir sistem elemanı gibi hareket eder. Zira yanma odasından çıkan gazların basıncı HPT rotorunu ne kadar hızlı döndürürse HPT kısmıyla ilişkili olan LPT (Low Pressure Turbine) dönüş hızı değişecektir. LPT ile aynı şafta takılı olan fan da LPT hızında dönmek suretiyle motorun içine emilecek hava miktarı ve buna bağlı olarak itme gücünü artırıp azaltabilecektir. Bu sistemdeki görevinden ötürü N2 sistemi motorun governoru gibi tasavvur edilebilir.

N2 dönüş hızı takibinde N1 gibi doğrudan motorun gücünü etkileyen bir faktör olmadığı için detaylara inilmeye gerek görülmemiştir. N2 indikasyonu sadece dijital ve rakamsal olarak gösterilir.

Şekil 2.5.'te hem N2 elemanlarını hem de hız sensöründen başlayıp göstergeye kadar geçen sinyal iletimi görülmektedir[8].



Şekil 2.5. N2 sistemi ve hız sensör yolu

N2 sisteminin de override durumuna düşmesi ihtimali ve engellenmesiyle ilgili bir koruyucu tedbiri vardır.

N2 overspeed governor parçası, N2 hızını sürekli ölçerek ECU ya gönderir ve hız %113 rpm'i geçtiği anda governor motoru kapatması için ECU ya sinyal gönderir. Dolayısıyla motorun N2 devir hızı asla istenen limitlerin dışına çıkarılmaz.

Tıpkı N1 de olduğu gibi N2 değerinin de aşırı noktalara yükselmesi durumunda yapılması gereken bakım ve test işlemleri vardır.

### 2.1.3. Egzos gaz harareti

EGT, motorun egzoz kısmından çıkmakta olan gazın hararetini gösteren parametredir. CF6-80E1 motorlarında olağanüstü durumlar haricinde motorların bakım planlaması EGT değerlerine göre yapılmaktadır. THY Teknik A.Ş Mühendislik Başkanlığı'nın verdiği bilgileri bir tablo haline getirdiğimizde THY AO filosunda kullanılmakta olan A330 serisi uçaklardan CF6-80E1 motorlu olanların 2014 yılında motor söküm nedenleri ve oranlarını tablo 2.1'de topladığımızda EGT'nin ne denli önemli olduğu ortaya çıkıyor[9].

Tablo 2.1. THY ao filosunda kullanılan cf6-80e1 motorlarının söküm nedenleri ve yüzde oranları

A330 - CF6 Motor Söküm Rakamları		
Söküm Sebebi	Olay Sayısı	Yüzde Oranı
EGT	16	62
N1 - N2 Ovrđ	2	8
LLP	1	4
SB – AD	6	23
MOD	1	4

\* THY Teknik A.Ş Güç Sistemleri Müh. Müd. Yıllık Motor Performans Analizi Raporu

EGT kokpit gösterimi ECAM'da derece cinsinden gösterilmektedir. Şekil 2.6.'da EGT göstergesi görülmektedir[10].



Şekil 2.6. EGT göstergesi

EASA tarafından yayımlanan tip sertifikasında EGT limitleriyle ilgili bir tablo yayımlanmıştır. Bu tabloda farklı motor seviyelerinde ve güç yüklemelerinde çıkılabilecek azami EGT derecelerinin limitlerini belirlemiştir. Zira motorun farklı uçuş noktalarında ve zorlamalarında farklı miktardaki yakıt tüketimine bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığı değiştiği için farklı anlarda farklı limitler konmuştur.

Tablo 2.2. deki limitler bu konuda müsaade edilen operasyonu göstermektedir[11]. Tablo içerisinde motorların farklı uçuş seviyeleri ve anlarındaki performansları da gösterilmektedir.

Tablo 2.2. CF6-80E1 motorunun tip sertifikası içindeki egt limitleri tablosu

Model	Take-Off EGT Correction (Shunt)	Take-Off EGT Redline Values °C (°F)		Maximum Continuous EGT Redline Values °C (°F)	
		Indicated	Actual	Indicated	Actual
CF6-80E1A1 CF6-80E1A2	60	975 (1787)	1035(1895)	940 (1724)	998 (1828)
CF6-80E1A2 with SB 72-0186, 73-0042 and 73-0043	75	975 (1787)	1050 (1922)	940 (1724)	998 (1828)
CF6-80E1A4	70	975 (1787)	1045 (1913)	940 (1724)	998 (1828)
CF6-80E1A4 with SB 73-0042 and 73-0043	75	975 (1787)	1050 (1922)	940 (1724)	998 (1828)
CF6-80E1A4 with Sb 73-0073	85	975 (1787)	1060 (1940)	940 (1724)	1013 (1855)
CF6-80E1A3	85	975 (1787)	1060 (1940)	940 (1724)	1013 (1855)
CF6-80E1A4/B	85	975 (1787)	1060 (1940)	940 (1724)	1013 (1855)

\* Tablo içindeki başlıklar ve anlamları şöyledir;

- Model: Motorun farklı modelleri ve farklı özelliklerine göre sınıfları
- Takeoff EGT Correction: Kalkış anındaki EGT'nin düzeltme miktarı. Bu düzeltme kalkış anında göstergede görülen değer ile asıl değer arasındaki farkı ifade etmektedir
- Takeoff EGT Redline Values: Kalkış anındaki EGT'nin kırmızı çizgileri ve limitleri
- Maximum Continuous EGT Redline Values: Düz uçuş (cruise) süresinde EGT değerinin ulaşabileceği müsaade edilen kırmızı çizgileri değerleri

#### 2.1.4. EGT takibi

EGT değerlerinin takibi sırasında dikkat edilecek husus ve kritik nokta şudur;

Tip sertifikasında belirtilen EGT değerlerini geçmeden motorun sökölüp revizyon bakımına alınması gerekmektedir.

Örneğin; kullanılmakta olan motorun modeli CF6-80E1A4 olduğu varsayılırsa, bu modelin cruise süresince müsaade edilen en yüksek EGT derecesi 940°C dir. Operatör, olarak bu müsaade seviyesini daha aşağı çekebiliriz. Yani THY azami

EGT derecesini 935 °C olarak belirleyebilir. Havacılığın genel yasal zorunlulukları gereği hiçbir operatör tip sertifikası değerlerinin üzerinde operasyon yapma hakkına sahip olmadığı için THY, EGT değerini asla 941 °C olarak belirleyemez..

Motoru 1 Ocak 2012 tarihinde ticari havacılıkta kullanmaya başladığımızı kabul edersek ve üçer aylık zaman dilimleriyle EGT takibinin yapıldığı düşünülürse. 3,5 yıl içerisinde de motorun EGT marjı tablo 2.3'e göre olur.

Tablo 2.3. Örnek motor egt takibi ve azalma takip tablosu

AY - YIL	DERECE
Ocak - 2012	35
Nisan - 2012	31
Temmuz - 2012	25
Ekim - 2012	22
Ocak - 2013	19
Nisan - 2013	17
Temmuz - 2013	14
Ekim - 2013	12
Ocak - 2014	10
Nisan - 2014	8
Temmuz - 2014	5
Ekim - 2014	3
Ocak - 2015	2
Nisan - 2015	1
Temmuz - 2015	0

Yukardaki bilgilere göre Ocak – Nisan 2012 süresince ortalama EGT derecesi 900°C olmuştur. Şirket olarak EGT limitimiz 935°C olduğu için, aradaki fark 35°C olduğu görülür. Bu üç aylık ortalama değer, her uçuşta ACARS sisteminden gelen bilgilerin ortalamasıdır. Yasal olarak EGT derecesi 935°C'nin üzerine çıkamayacağı için o dereceye yaklaştığında motorun sökülmesinin planlanması gerekmektedir.

Üstteki tabloda görüldüğü üzere Nisan – Temmuz 2015 aralığında motorun indirilmesi gerekmektedir.

Bu genel tablonun oluşturulması esnasında gereken bilgilerin toplanmasıyla ilgili faaliyetlere göz atılacak olursa, takip işleminin kesintisiz yapıldığı görülür.

EGT her uçuşta her anda kontrol edilen bir parametre olduğu için 3 aylık tablolara ek olarak günlük, haftalık ve aylık dökümler de raporlanmaktadır. Alttaki tablolarda bu tip bir grafik rapor örneği verilebilir.

Tablolara girmeden önce belirtilmesi gereken bir hususu vardır; A330 serisi uçaklar genellikle uzun menzilli uçuşlarda kullanılır. Yani bir A330 uçağının uçuş programı tablo 2.4'de belirtildiği gibi olabilir.

Tablo 2.4. CF6-80E1 motorlu bir a330 uçağının 3 günlük thy uçuş programı

THY AO Uçuş Harekât Kontrol Merkezi Airbus A330 TC-JOB Uçağının 3 Günlük Uçuş Programı					
Kalkış Tarihi	Sefer No	Kalkış Limanı	Variş Limanı	ATD	ATA
19.9.2015	TK 0717	DEL	IST	06:27	10:32
19.9.2015	TK 0092	IST	JED	12:24	16:20
19.9.2015	TK 0093	JED	IST	17:19	21:25
19.9.2015	TK 0040	IST	JNB	01:27	10:10
20.9.2015	TK 0040	JNB	CPT	11:17	13:29
20.9.2015	TK 0041	CPT	JNB	15:30	17:31
20.9.2015	TK 0041	JNB	IST	18:42	04:57
21.9.2015	TK 1951	IST	AMS	08:41	11:08
21.9.2015	TK 1952	AMS	IST	12:30	16:56
21.9.2015	TK 2438	IST	AYT	19:20	20:41
21.9.2015	TK 2439	AYT	IST	21:43	23:49
21.9.2015	TK 0068	IST	BKK	01:25	14:31
22.9.2015	TK 0068	BKK	SGN	15:21	16:58
22.9.2015	TK 0069	SGN	BKK	00:00	00:00
22.9.2015	TK 0069	BKK	IST	00:00	00:00

Yukarda görüldüğü gibi bir A330 uçağı günde 2-3 ortalama uçuş saykılıyla kullanılmaktadır. Bu rakam A320 tipi kısa menzilli uçaklar için 6-7 uçuş/gün saykılıla kullanılır. Günlük EGT değerlerinin sefer başına gösterilmesi örneği alttaki tablo 2.5'de görüldüğü gibi olur. Haftalık takip işlemi ise tablo 2.6'daki gibi gerçekleşir.



Tablo 2.5. Günlük ortalama egt marjının 35 °c olduğu bir takip tablosu

GÜN	Uçuş No	EGT(°C)	MARJ
15.9.2015	TK 1111	900	35
15.9.2015	TK 1112	901	34
15.9.2015	TK 1113	900	35
15.9.2015	TK 1114	899	36

Tablo 2.6. Haftalık ortalama egt marjının 35 °C olduğu bir takip tablosu

GÜN	DERECE
15.09.2015	35
16.09.2015	34
17.09.2015	35
18.09.2015	36
19.09.2015	35
20.09.2015	34
21.09.2015	35
22.09.2015	36

Bu haftalık tabloların ortalama değerleri aylık tablolara dönüştürülür. Aylar 4 adet haftalık dilimlere bölünerek ay içerisindeki EGT değişimleri de gözlemlenir. Olağanüstü değişimler olursa nedeninin araştırılması istenir. Olağanüstü değişim olması için uçuşlar arasındaki EGT marjının 5°C ve üzeri değerde değişmesi gerekir. Yani aynı gün yapılan bir uçuşta marj 25 dereceyken bir sonraki uçuşta 20°C oluyorsa bu durum sebebi tespit edilmesi gereken bir aksaklığı işaret ediyor demektir.

Üstte belirttiğimiz sistemsel EGT izleme faaliyetinin nasıl yapıldığı ve nasıl yapılması gerektiği ile ilgili önerimizi çalışmanın sonuçlar ve öneriler bölümünde sunulacaktır.

#### **2.1.5. Fuel flow, ecu ve fadec**

Bahsedeceğimiz son primary parametre olan fuel flow motorun o andaki yakıt tüketimi aynı şekilde bir saat devam ederse motorun o bir saat içinde tüketeceği yakıt miktarını gösterir.

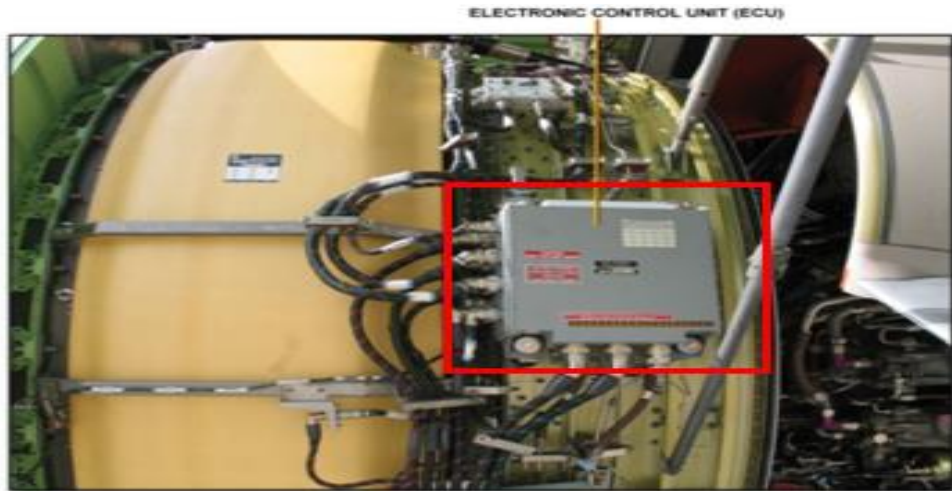
Genel olarak temel yaklaşım eğer motorun Fuel Flow miktarı artıyorsa EGT derecesi de yükselir bu da ortalama EGT marjını aşağı çeker. Dolayısıyla EGT marjı sadece motorun çalışma sağlığını değil aynı zamanda o motorun uçuşlarda tükettiği yakıt miktarının da bir göstergesidir. EGT yükseldikçe motorun yakıt sarfiyatı da yükseliyor denebilir.

Fuel flow göstergesi ECAM'da Şekil 2.7'deki gibi görülmektedir[12].



Şekil 2.7. Fuel flow ecam görüntüsü

Ayrıca motorların aynı anda tükettikleri yakıt miktarında da ciddi bir ihtilaf söz konusu olursa pilota uyarı veren bir sistem de mevcuttur. Bu sisteme, EIVMU Engine Interface and Vibration Monitoring Unit adı verilir. Her motora özel bir EIVMU bilgisayarı bulunur ve bu bilgisayarlardan gelen veriler hem uçak sistemlerine hem de CMC (Central Maintenance Computer)'a iletilir. Motorun parametrelerinin değerlendirilmesi ve yönetilmesi sistemine FADEC (Full Authority Digital Engine Control) adı verilen sistem, temel olarak ECU (Engine Control Unit) adı verilen ve motor üstünde bulunan bir merkezi bilgisayar tarafından oluşturulur. ECU ve EIVMU'nun bir arada çalışması sonucunda FADEC sistemi oluşur. Şekil 2.8.'de ECU'nun sağ motordaki yeri gösterilmiştir[13].



Şekil 2.8. Engine control unit komponentinin yeri, fan kasasında saat 15 pozisyonunda

## 2.2. İkincil Parametrelerin Takibi

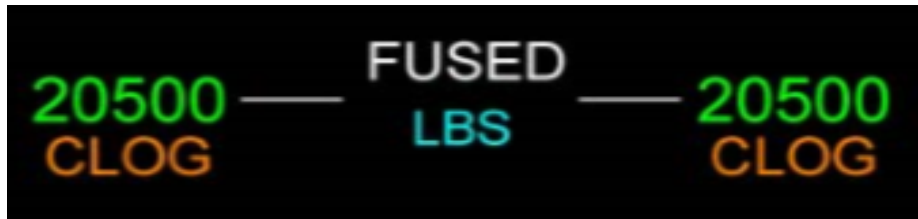
Secondary parametreler motorun performansı ile ilgili bilgiler içermemekle beraber, takip edilmedikleri takdirde uçakta ciddi arızalara neden olabilecek parametrelerdir. Bu parametrelerden bazıları motorun kendisiyle ilgili olmasına rağmen bazıları da farklı uçak sistemlerini destekleyen kriterlerdir.

### 2.2.1. Fused (fuel used)

FUSED parametresi, motorun N2 devrinin %20'ye ulaştığı andan itibaren ölçülü yakıtı motorun yanma odasına yakıt göndermeye başlayan HMU (Hydro Mechanical Unit) üzerinden giden yakıtın miktarını gösterir.

Hacimsel bir gösterge olduğu için Libre cinsinden gösterilir. Motorun yakıt tüketimini Fuel Flow'la beraber gösteren parametredir. Motorların yakıt tüketiminin dengesiz olup olmadığını tespit etmek amacıyla kullanılır. Ayrıca toplam yakıt miktarından FUSED miktarını çıkararak kalan yakıt miktarını da hesaplamak mümkün olmaktadır.

Şekil 2.9.'da FUSED göstergesi şekli bulunmaktadır. Altta yer alan amber renkli CLOG uyarısı, yakıtın motorlara ulaşması için yakıtta basınç sağlayan ve yakıt deposunda yer alan Booster pompalar ile motor arasında bir tıkanma olduğunda yanar[14].



Şekil 2.9. Fuel used göstergesinin ecam'daki şekli

### 2.2.2. Oil qt, psi & °c

Oil Qt göstergesi, motordaki hidrolik sistem deposunun içinde bulunan yağ miktarını gösteren parametredir. Hidrolik sistemde yağ seviyesinin azalması, hem hidrolik sistemle beslenen uçuş kumanda yüzeylerinin kullanılması, hem de diğer girift sistemlerin idaresi konusunda sorun yaşanmasına neden olabilir.

Motor yataklarının yağlanması, VSV (Variable Stator Vanes), VBV (Variable Bleed Vanes) ve Thrust Reverser sisteminin çalışması da hidrolik basınca bağlıdır. Dolayısıyla yağ seviyesinin düşmesi uçağın genel çalışmasını da etkiler.

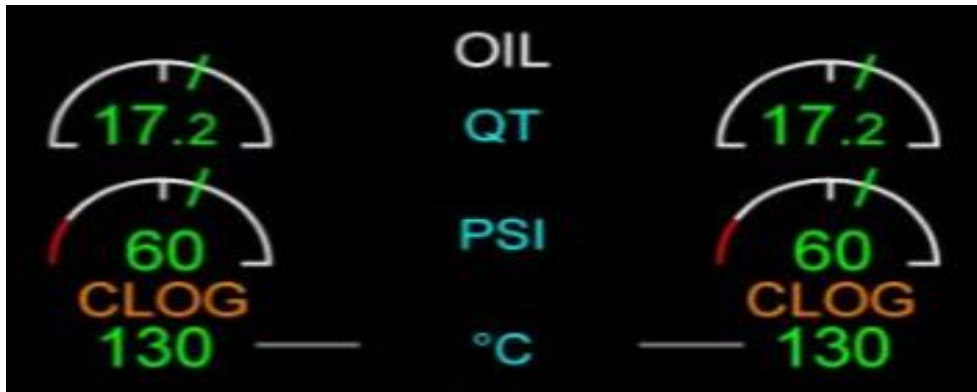
OIL PSI göstergesi, hidrolik sistemdeki yağın basıncını gösteren parametredir. PSI (Pound Per Square Inch) cinsinden bir gösterimi mevcuttur. Hidrolik basıncın sağlanması için her motorda 2 farklı hidrolik pompa bulunmaktadır. Her pompa farklı bir hidrolik sistemini basınçlandırmaktadır.

Yağ basıncının 10 PSI altına düştüğü durumlarda, uçak pilota düşük yağ basıncı uyarısı vermeye başlar.

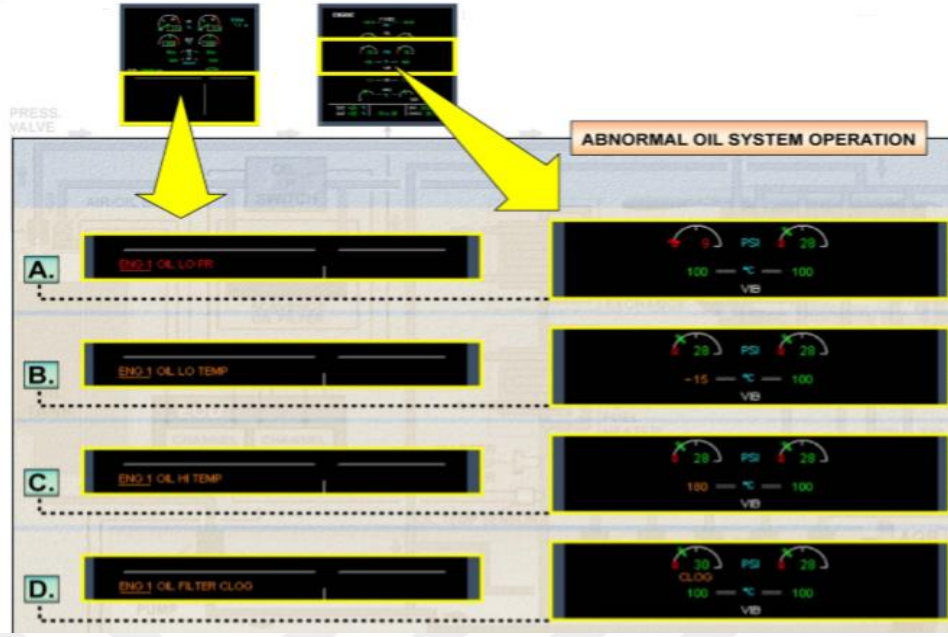
OIL °C göstergesi yukarıda bahsedilen sistemdeki yağın sıcaklığını gösteren göstergedir. Yağ sıcaklığını ölçen sensör, deponun dönüş hattının depoya kavuştuğu noktadadır.

Motor yerde çalışırken yağ sıcaklığı -10°C'nin altına düştüğü durumlarda amber renkli "ENG 1(2) OIL LO TEMP." uyarısı yanar.

Yağ sisteminin göstergeleri Şekil 2.10.'da normal şekilde gösterilmektedir. Herhangi bir anormalite durumunda ise Şekil 2.11.'de gösterilen şekilde renk değiştirir[15].



Şekil 2.10. Yağ sisteminin miktarı, basıncı ve sıcaklığının normal sınırlar içerisindeki gösterimi



Şekil 2.11. Yağ sisteminde meydana gelebilecek arızaların gösterimi  
a) tehlikeli seviyede düşük yağ basıncı b) tehlikeli olabilecek seviyeye yakın düşük yağ basıncı c) yüksek yağ sıcaklığı d) yağ sistem filtresi tıkanmış

### 2.2.3. Vib n1 & n2

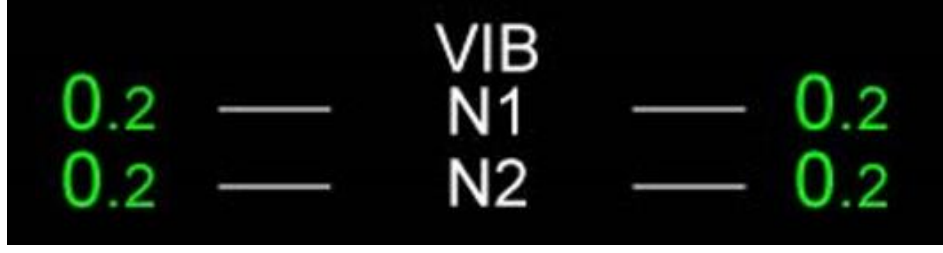
N1 ve N2 sistemlerinin titreşim seviyeleri motorun çalışma veriminin ne kadar sağlıklı olduğunu gösterir. Titreşim bilgisi EIVMU tarafından her saniyede bir sisteme gösterge olarak gönderilir. Titreşim miktarının ölçüsü 0 ila 10 arasında değişir. Eğer titreşim normal operasyon limitleri dâhilindeyse yeşil renkli göstergeler yanar.

Titreşim seviyeleri rakamsal olarak gösterilmektedir ama ilgili titreşim limitleri içinde kaldıkça değer yeşil rengini korur.

Eğer N1 şaft sisteminin titreşimi 5,7 birimin üzerine çıktıysa veya N2 sistemi için 5,6 biriminin üstüne çıktıysa ECAM ekranına titreşimin uyarı simgesi belirir.

Motor sökümü gerektiren titreşim seviyesi; N1 sistemi için 6 mili inch (MILS), bütün N2 sistemleri için 1,7 IPS (Inch Per Second) bandıdır.

Şekil 2.12.'de N1 ve N2 sistemlerinin titreşim seviyelerinin ECAM'da nasıl gösterildiği gösterilmektedir[16].



Şekil 2.12. N1 ve n2 sistemlerinin titreşim seviyelerinin birim olarak gösterimi

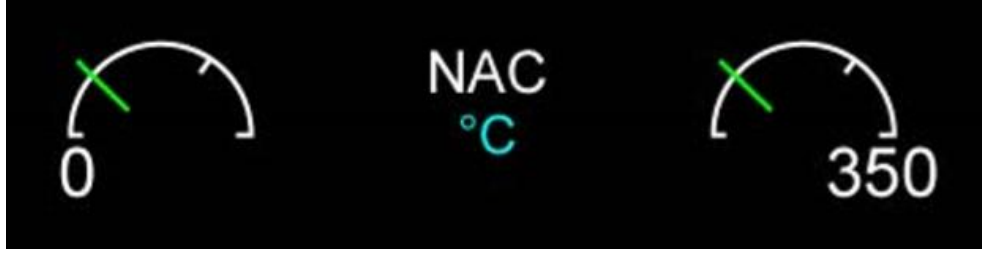
#### 2.2.4. Nac (nacelle hava sıcaklığı)

NAC göstergesi motorun secondary parametrelerinden sonuncusudur. Bu değeri ölçen sensör, HPTACC (High Pressure Turbine Active Clearance Control) borusu boyunca yerleştirilmiş platinyum direnç esaslı bir sensördür. Yerleşimi gereği şerit gibi uzamış bir sensördür. NAC göstergesi motorun sıcak kısmıyla kaportaları arasından geçen ve motoru soğutmak için de kullanılan basınçlı havanın sıcaklığıdır. NAC değerinin iki kullanım amacı vardır;

Birincisi, acil bir durumun varlığına işaretler. Herhangi bir motorda yangın çıktıysa, alevler motorun dışındaki havanın sıcaklığını çok artıracığı için NAC derecesi de yükselir. NAC ölçümü, 260°C'nin üzerine çıktıysa göstergede NAC ifadesi yanıp sönmeye başlar. Aynı zamanda motordaki diğer ikazlarla bu gösterge yorumlandığında pilot tarafından motorun hem kapatılması hem de motorun yangın tüpünün patlatılması hamlesini yapılabilir. NAC derecesi bu anlamda acil bir durumun pilota bildirilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Diğer kullanım amacı ise, motorun iç kısmından emilen sıcak havanın uçağın air-condition veya ısıtma/soğutma sistemlerine kullanıldığı boru bağlantıları bulunmaktadır. Bu bağlantılara monte edilen borularda zaman zaman çatlak, yırtılma ve muhtelif sebeplerden dolayı hava kaçağı olabilir. Motorun havasında kaçaklar olması hem motorun performansını düşürür hem yakıt tüketimini artırır hem de daha ciddi arızalara sebep olabilir. İşte bu tip sıcak hava kaçaklarının tespit edilmesi sayesinde motorun sağlığını korumak için NAC sensörü kullanılır. Zira sıcak hava kaçakları da NAC değerini yükseltir.

NAC göstergesinin biçimi Şekil 2.13'de gösterilmektedir[17].



Şekil 2.13. NAC değerinin gösterilmesi

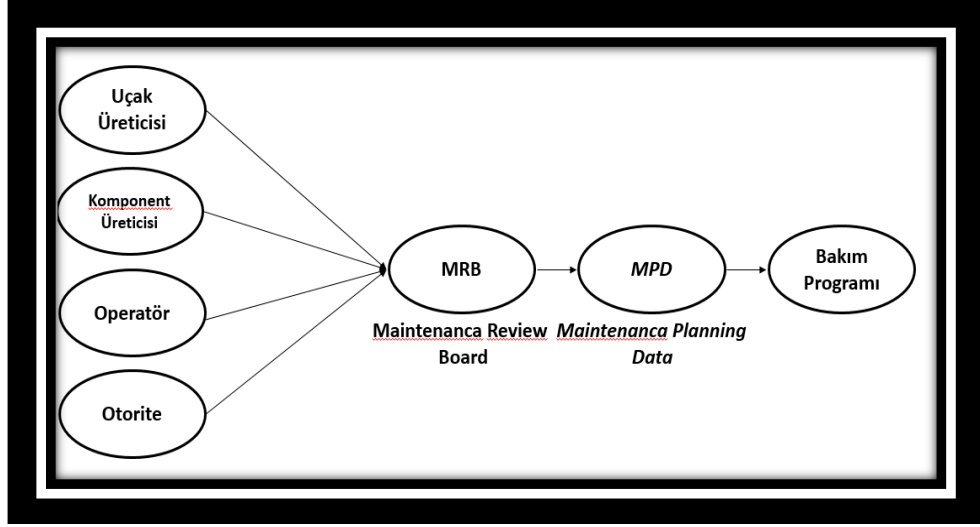
Geçmişte oluşturulan matematik model kullanılarak yapılan hesaplamalar neticesinde, optimum koşullar altında çalışan bir CF6-80E1 motoru için optimum uçuş ömrünün 3350-3650 iniş arasında olması gerektiği sonucu bulunmuştur. Bir başka ifade ile motorlar uçağa takılıştan itibaren 3350-3650 iniş arasında planlanarak sökülmelidir.

### 2.3. CF6-80E1 Motorlarında Uygulanan Planlı Bakım İşlemleri

CF&6-80E1 motorlarının planlı bakım işlemleri motorun üreticisi olan General Electric tarafından belirlenen ve uçak üreticisi Airbus (Fransa) tarafından kabul edilen şekle Bakım Planlama Bilgisi'ne uygun hazırlanır.

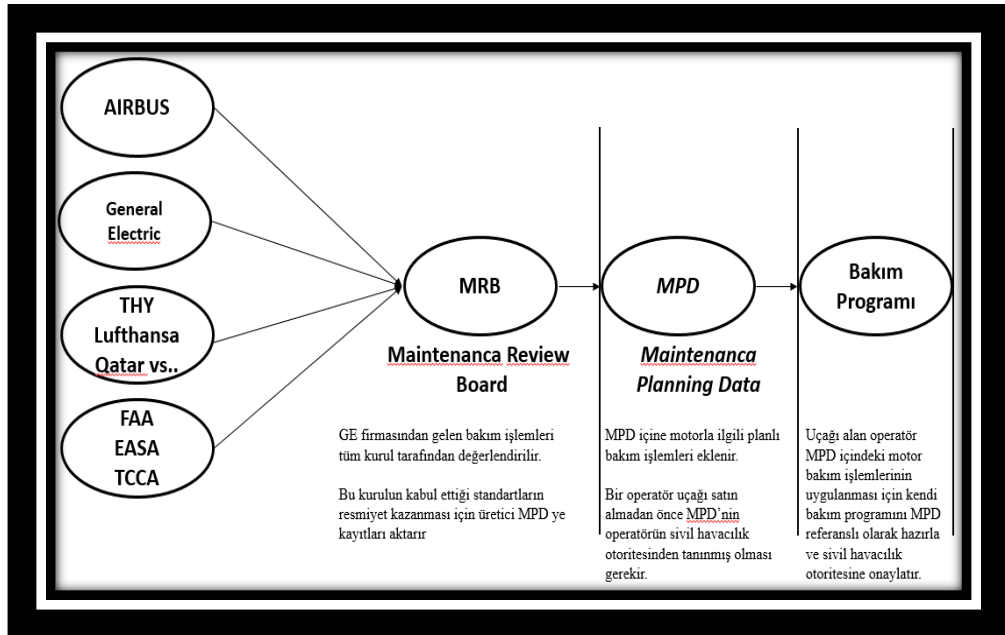
Şekil 2.14E görüleceği üzere, planlı bakım işlemlerinin belirlenmesi süresinde görev alan en önemli kurul Maintenance Review Board – MRB'dir. Bu kurul, uçak üreticisi firmanın öncülüğünde uçağın tasarlanmış bölümlerinin ihtiyaç duyacağı bakımları belirlemek amacıyla toplanır. Kurulun içinde uçak üreticisi firma temsilcileri, uçağın potansiyel alıcısı olan operatörlerin temsilcileri, dünyanın önde gelen havacılık otoritelerinin temsilcileri yer alır. Uçağa takılacak komponentler söz konusu olduğunda süreç ilgili komponenti üreten firmanın belirlediği işlemlerin değerlendirilmesi olarak işler.

Bakım planlanması süreci şekil 2.14'de gösterilmektedir. Canlı uygulama olarak THY motorları için belirtilen süreç ise şekil 2.15'de tanımlıdır.



Şekil 2.14. Planlı bakım işlemleri karar süreci

Üstteki şekilde görüldüğü üzere sürecin işleyişi birden fazla farklı kurumun yetkililerinin dâhil olması sonucunda yürütülür. Şekil 2.14.'ü motorlara uyarladığımızda şekil 2.15 içinde motorlar için bakım parogramında yer alan tüzel firmalar olarak sürecin içindeki kurumları daha net görebiliriz.



Şekil 2.15. CF6-80E1 için planlı bakım programının oluşumu

Aşamaları açıklamak gerekirse;

MRB: GE firmasından gelen bakım işlemleri tüm kurul tarafından değerlendirilir. Bu kurulun kabul ettiği standartların resmîyet kazanması için Airbus Şirketi MPD'ye kayıtları aktarır. GE bu bakım işlemlerini en geniş haliyle hazırlamak zorundadır.



Zira motorlarda bulunan opsiyonel özellikler her operatör tarafından satın alınmayabilir. GE bu özelliklerin tamamını kapsayan bir bakım işlemleri içeriği sunmakla mükelleftir.

MPD: Airbus şirketi, MPD içine motorla ilgili planlı bakım işlemlerini ekler. Bir operatör uçağı satın almadan önce MPD'nin operatörün sivil havacılık otoritesi tarafından tanınmış olması gerekir

Bakım Programı: Uçağı alan operatör MPD içindeki motor bakım işlemlerinin uygulanması için kendi bakım programını MPD referanslı olarak hazırlar ve sivil havacılık otoritesine onaylatır. Dolayısıyla Türkiye'de faaliyet gösteren havayolu şirketleri veya kargo şirketleri Airbus A330 operasyonu yapmadan önce kullanacakları uçağın motorlarında bulunan farklı sistemler mevcutsa o sistemleri de kapsayan bir bakım programı oluşturur. Hazırladıkları programın MPD standartlarına uygun olup olmadığının kontrolünün ardından alınan onay akabinde operasyonla ilgili bakım engellerinden biri kalkmış sayılır.

### **2.3.1. Türk hava yolları tarafından uygulanan cf6-80e1 bakımları**

Yukarıda belirtilen sürecin ardından Türk Hava Yolları'nın onaylı bakım programında CF6-80E1 motorlarının planlı bakım işlemleri tanımlanmıştır.

Bakım işlemlerinin süreleri 3 farklı kritere dayandırılmıştır. Bunlar; normal takvim günü, uçuş sayısı (flight cycle) ve uçuş saat (flight hour) cinsinden belirtilmiştir.

Tablo 2.7.'ye göre planlanan motor bakım işlemleri tablosuna göre, motor hiç uçmasa bile, her 540 günde bir defa motorun fan bölgesinin ve sıcak kısmının genel olarak gözle kontrol edilmesi gerekmektedir. Aynı biçimde motor hiç kullanılmasa bile 730 günde bir defa ön kısımda yer alan akustik liner bağlantı parçalarının kontrolü yapılmalıdır. Bu bakım işlemleri grubundaki işler takvim günü esaslı olduğu için operasyon şartlarından bağımsız ele alınır.

Tablo 2.7. THY AO bakım programında yer alan planlı bakım işlemleri

EO NUMARASI	UÇUŞ SAA Tİ	UÇUŞ SAYISI	GÜN	İŞİN TANIMI
A330-06-038	0	0	540	GVI OF FAN & ACCESSORY GEARBOX
A330-06-039	0	0	540	GVI OF HOT SECTION
A330-29-013	0	0	540	VI-THE HYD TUBES & CLAMPS OF THE G, B & Y HYD SYS
A330-36-002	4000	0	0	DI - ENGINE BLEED AIR SUPPLY
A330-71-011-AD	3080 0	4000	0	DI OF CF6-80E1 FORWARD ENGINE MOUNT
A330-71-025-AD	6830 0	6600	0	SPECIAL DETAILED INSPECTION OF FORWARD ENGINE MOUN
A330-71-030	0	8000	0	DVI OF AFT ENGINE MOUNT LOWER BEAM
A330-71-032	1600	0	0	VISUAL INSPECTION OF THE ELECTRICAL HARNESS
A330-72-001	4500	0	0	DETAILED INSPECTION OF FAN BLADES AND SPINNER
A330-72-003	2000	500	0	HIGH PRESSURE TURBINE ROTOR ASSY
A330-72-005	0	200	0	FAN BLADE MIDSPAN SHROUD LUBRICATION
A330-72-007	0	1000	0	FAN BLADE DOVETAIL LUBRICATION
A330-72-009	2400	0	0	ENGINE WATER WASH
A330-72-011	2000	500	0	COMBUSTOR BORESCOPE INSPECTION
A330-72-023	0	0	730	GVI OF THE FWD ACOUSTIC LINER ATTACHING PARTS(CF6)
A330-73-001	6000	0	0	DISCARD FUEL FILTER
A330-73-003	1000	0	0	FADEC SYSTEM
A330-73-008	0	0	540	DETAILED INSPECTION OF THE ELECTRICAL HARNESS
A330-74-001	0	500	0	IGNITER PLUG REPLACEMENT
A330-75-001	4500	0	0	INS OF THE VARIABLE STATOR VANE ACTUATOR & LVDT
A330-75-002	0	0	365	INSPECTION OF VSV ACTUATOR ROD END
A330-79-001	1000	0	0	CHECK THE MASTER CHIP DETECTOR FOR PARTICLES
A330-79-003	1000 0	0	0	DISCARD OIL SCAVENGE FILTER ELEMENT

Uçuş saatine göre belirlenmiş işlemlere örnek olarak motor bleed sisteminin ki bu sistem yolcular ve kabin için kullanılacak solunum havasının air condition sistemi içinde ısıtılması amacıyla kullanılır, kontrol işlemi 4000 uçuş saatinde bir defa uygulanmak zorundadır.

Son olarak, uçuş sayısı bazlı bakım işlemlerinden birine bakacak olursak, her 500 uçuşta bir defa igniter plug (buji) değiştirilmesi gerekmektedir. Burada bahsedilen uçuş sayısı aslında motorun her çalışması ve durdurulması olarak düşünülmelidir. Uçuş anlamında 1 saat süren bir yurtiçi uçuşu ile 10 saat süren kıtalararası uçuş aynı kabul edilir. Bununla beraber herhangi bir sebeple motorla çalıştırılmış ama arıza nedeniyle uçuş yapılmamış olsa bile motor kapatıldığında 1 uçuş sayısı artış yapılarak kontroller yapılır. Dolayısıyla operasyonel aksaklıklar da göz önüne alınarak düzenleme yapılması gerekmektedir..

Motor bakım optimizasyonu için gerekli olan yaklaşım ise uçağın mümkün olan en kısa süre yerde tutulması için bakımı destekler nitelikte olmalıdır.

Uçaklara uygulanan bakımlar bir araya getirilmiş bakım işlemlerinden oluşur ve bakım paketi olarak adlandırılırlar. Bu bakım paketleri A Bakım, B Bakım, C Bakım, D Bakım ve S Bakım olarak adlandırılır. Bu bakımların içeriği ve uygulanma sıklığı değişkenlik göstermektedir. Motor bakımları da firmalar tarafından bu bakım paketleri içine gömülerek uygulanmaktadır.

Paketli bakımların Airbus A330 uçaklarında ortalama uygulama süreleri Tablo 2.8.'de bir mukayese tablosu şeklinde sunulmuştur.

Tablo 2.8. Airbus A330 ve Boeing B787 bakım paketleri aralıklarının karşılaştırması

	A330	B787
A Bakım:	800 FH	1000 FH
C / BM Bakım:	24 Ay / 10000 FH	24 Ay / 12000 FH
Yapısal Bakım:	6 / 12 Yıl	6 / 12 Yıl

Tablodan anlaşıldığı üzere A bakımların uygulanma sıklığı 800 uçuş saatidir. C bakımlar ise 10000 uçuş saati veya 24 ay, hangisi erken dolarsa o zaman uygulanacak şekilde belirlenmiştir. Yapısal bakımları olan S bakımlar 6/12 yıl

arasında belirlenmiştir. Motor bakımları bu üç bakım paketi içine serpiştirilerek uygulanır.

### **2.3.2. THY filosundaki cf6-80e1 motor bakım işlemlerinin planlı bakım paketlerine göre uygulanması ve optimizasyonu**

Eğer bir operatör uçakların motor bakımlarından dolayı yerde zaman geçirmemesini istiyorsa, motor bakım ve uçak bakım intervallerinin örtüştürülmesi gerekir. Bu işlemi için uygulanması gereken yolu belirlemeden önce uçakların haftalık ortalama uçuş süreleri ve uçuş sayıları bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır;

THY Filosunda modelleme yapacağımız uçak TC-JOM uçağıdır. TC-JOM uçağının bir haftalık uçuş programını inceleyerek gerçek değerlere göre uçağın motor bakımlarının planlaması yapılacaktır.

Türk Hava Yolları Uçuş Harekât Kontrol Merkezi'nden alınan rapora göre, TC-JOM uçağının 28 Eylül 2015 – 04 Ekim 2015 arasındaki uçuş programı bilgileri Tablo 2.9.'da aktarılmıştır.

Tablo 2.9. TC-JOM haftalık uçuş planı

Tarih	Nerden	Nereye	Uçuş Süresi
4.10.2015	Londra (LHR)	İstanbul (IST)	4 SAAT
4.10.2015	İstanbul (IST)	Londra (LHR)	4 SAAT
4.10.2015	Dubai (DXB)	İstanbul (IST)	3,5 SAAT
4.10.2015	İstanbul (IST)	Dubai (DXB)	3,5 SAAT
3.10.2015	Casablanca (CMN)	İstanbul (IST)	4,5 SAAT
3.10.2015	İstanbul (IST)	Casablanca (CMN)	4,5 SAAT
2.10.2015	Londra (LHR)	İstanbul (IST)	4 SAAT
2.10.2015	İstanbul (IST)	Londra (LHR)	4 SAAT
2.10.2015	Dubai (DXB)	İstanbul (IST)	3,5 AAT
2.10.2015	İstanbul (IST)	Dubai (DXB)	3,5 AAT
1.10.2015	Dusseldorf (DUS)	İstanbul (IST)	3,5 SAAT
1.10.2015	İstanbul (IST)	Dusseldorf (DUS)	3,5 SAAT
1.10.2015	Dubai (DXB)	İstanbul (IST)	3,5 SAAT
1.10.2015	İstanbul (IST)	Dubai (DXB)	3,5 SAAT
30.9.2015	Barcelona (BCN)	İstanbul (IST)	4 SAAT
30.9.2015	İstanbul (IST)	Barcelona (BCN)	4 SAAT
30.9.2015	Dubai (DXB)	İstanbul (IST)	3,5 SAAT
30.9.2015	İstanbul (IST)	Dubai (DXB)	3,5 SAAT
29.9.2015	Londra (LHR)	İstanbul (IST)	4 SAAT
29.9.2015	İstanbul (IST)	Londra (LHR)	4 SAAT
29.9.2015	Dubai (DXB)	İstanbul (IST)	3,5 SAAT
29.9.2015	İstanbul (IST)	Dubai (DXB)	3,5 SAAT
28.9.2015	Londra (LHR)	İstanbul (IST)	4 SAAT
28.9.2015	İstanbul (IST)	Londra (LHR)	4 SAAT
28.9.2015	Dubai (DXB)	İstanbul (IST)	3,5 SAAT
28.9.2015	İstanbul (IST)	Dubai (DXB)	3,5 SAAT

Tablo 2.9'u referans alarak hesapladığımızda uçağımızın kullanım bilgileri şöyle ortaya çıkmaktadır:

Haftalık uçuş günü ve takvim günü (D) :7/7

Haftalık uçuş sayısı (C) : 26 Saykıl

Haftalık uçuş saat(H) : 100 saat

A bakım intervali (I) : 800 Saat

$$n \times I \leq n \times D, \quad (2.1)$$

$$n \times I \leq n \times C, \quad (2.2)$$

$$n \times I \leq n \times H \quad (2.3)$$

önergelerini göz önüne aldığımızda JOM uçağının A bakımı 8 haftada bir defa uygulanacaktır.

TC-JOM için 28 Ocak 2015 tarihini başlangıç günü olarak kabul edilirse, motor bakım işlemlerini de yaptığımız operasyonel değerlere göre yeniden oluşturursak alttaki tablodaki mühendislik ve MPD değeri açık renkli kalmak şartıyla uyarlama rakamları ilgili bakım intervaline eklenebilir. Eklemeler yapıldığında tablonun son hali Tablo 2.10 halini alır[10].

Tablo 2.10. TC-JOM için planlı bakım intervalleri çevrimi tablosu

EO NUMARASI	UÇUŞ SAATI	UÇUŞ SAYISI	GÜN	İŞİN TANIMI
A330-06-038	7700	1962	540	GVI OF FAN & ACCESSORY GEARBOX
A330-06-039	7700	1962	540	GVI OF HOT SECTION
A330-29-013	7700	1962	540	VI-THE HYD TUBES & CLAMPS OF THE G, B & Y HYD SYS
A330-36-002	4000	1240	280	DI - ENGINE BLEED AIR SUPPLY
A330-71-011-AD	30800	4000	308	DI OF CF6-80E1 FORWARD ENGINE MOUNT
A330-71-025-AD	68300	6600	683	SPECIAL DETAILED INSPECTION OF FORWARD ENGINE MOUN
A330-71-030	4300	8000	307	DVI OF AFT ENGINE MOUNT LOWER BEAM
A330-71-032	1600	416	102	VISUAL INSPECTION OF THE ELECTRICAL HARNESS
A330-72-001	4500	1170	315	DETAILED INSPECTION OF FAN BLADES AND SPINNER
A330-72-003	2000	500	140	HIGH PRESSURE TURBINE ROTOR ASSY
A330-72-005	770	200	50	FAN BLADE MIDSPAN SHROUD LUBRICATION
A330-72-007	4000	1000	280	FAN BLADE DOVETAIL LUBRICATION
A330-72-009	2400	624	168	ENGINE WATER WASH
A330-72-011	2000	500	140	COMBUSTOR BORESCOPE INSPECTION
A330-72-023	10400	2711	730	GVI OF THE FWD ACOUSTIC LINER ATTACHING PARTS(CF6)
A330-73-001	6000	1560	420	DISCARD FUEL FILTER
A330-73-003	1000	260	70	FADEC SYSTEM
A330-73-008	7700	1962	540	DETAILED INSPECTION OF THE ELECTRICAL HARNESS
A330-74-001	2000	500	140	IGNITER PLUG REPLACEMENT
A330-75-001	4500	1170	315	INS OF THE VARIABLE STATOR VANE ACTUATOR & LVDT
A330-75-002	5200	1352	365	INSPECTION OF VSV ACTUATOR ROD END
A330-79-001	1000	260	70	CHECK THE MASTER CHIP DETECTOR FOR PARTICLES
A330-79-003	10000	2600	700	DISCARD OIL SCAVENGE FILTER ELEMENT

Tablo 2.10 ve A bakım için gerekli bilgiler bir araya getirildiğinde bakım paketlerine atanması gereken motor bakım işlemleri şöyle oluşmaktadır: Bu optimizasyon programında benzer zaman sınırları olan kartlar seçilecektir. Dolayısıyla her bakım işleminin paket ataması yapılmayacak olup. Seçilen kartlar örnek olarak kabul edilecektir.

Genel interval tablosu, Tablo 2.11’de belirtilmiş ve genel süreler verilmiştir[10].

Tablo 2.11. CF8-80E1 genel bakım intervalleri tablosu

EO NUMARASI	Gün	A Bkm Arl.	FH	C Bk Arl.
A330-06-038	540	67,5	7700	0,8
A330-06-039	540	67,5	7700	0,8
A330-29-013	540	67,5	7700	0,8
A330-36-002	280	35,0	4000	0,4
A330-71-011-AD	308	38,5	30800	3,1
A330-71-025-AD	683	85,4	68300	6,8
A330-71-030	307	38,4	4300	0,4
A330-71-032	102	12,8	1600	0,2
A330-72-001	315	39,4	4500	0,5
A330-72-003	140	17,5	2000	0,2
A330-72-005	50	6,3	770	0,1
A330-72-007	280	35,0	4000	0,4
A330-72-009	168	21,0	2400	0,2
A330-72-011	140	17,5	2000	0,2
A330-72-023	730	91,3	10400	1,0
A330-73-001	420	52,5	6000	0,6
A330-73-003	70	8,8	1000	0,1
A330-73-008	540	67,5	7700	0,8
A330-74-001	140	17,5	2000	0,2
A330-75-001	315	39,4	4500	0,5
A330-75-002	365	45,6	5200	0,5
A330-79-001	70	8,8	1000	0,1
A330-79-003	700	87,5	10000	1,0

Tablo 2.11'e göre A330-06-038 işlemi uçuş saati süresi takvim gününden evvel dolacağı için o kritere göre bakıma alınıp A-40 bakım paketine atanabilir. Tabiki işgücü planlamasına baağlı olarak A-39 veya A-38 bakım paketlerine de eklenebilir.

Diğer bakım işlemlerinden farklı olarak 10000FH intervalli A330-79-003 bakım işlemi doğrudan C1 bakım paketine alınabilir. Burada A bakım paketinin içeriğine göre hareket edilebilir. Eğer A51 paketinde yeterli personel kaynağı mevcutsa, işlem A-51 paketi içine atılıp C bakım paketinin içeriğinden çekilebilir.

C1 bakım paketine alınabilecek bir diğer işlem de A330-72-023'dür. Zira interval bakımından 10000Fh üzerindeki işlemlerden haricinde hiçbirini evvela A bakım paketine almadan gerekli uçuşa elverişliliği sağlanamayacaktır.



A bakım intervalli işlemleri de Tablo 2.8'in 3. Satırında yer alana A Bakım intervalleri sırasındaki sayılara denk gelen A Bakım paketlerine alınması gerekir. Kesinlikle küsuratlı sonuçlar yukarı yuvarlanmamalıdır mesela A bakım intervali 8,8 olan bir bakım kartı 8,0'a yuvarlanmalı ve o bakım işlemi A8 bakım paketine konmalıdır.

### **2.3.3. CF6-80E1 motorlarında bulunan ömürlü parçalar - llp) ve ömürlü parçaların takibi**

#### **2.3.3.1. Ömürlü parçaların tanımlanması**

Her uçak motorunda olduğu gibi CF6-80E1 motorlarında da bazı parçaların kullanım ömürleri sınırlandırılmıştır. Bu tip ömürlü parçalara LLP adı verilir. Bu parçaların üretici tarafından belirlenen ömürleri operasyon sınırlarını da belirlemektedir.

Belirtilen ömür süresi tamamlanmış parça artık kullanılamaz ve tekrar kullanımına müsaade verilmeyecek biçimde hasarlanarak hurdaya atılmak zorundadır.

Havacılık kanunları gereği LLP programında ömür bilgisini 3 farklı biçimde tanımlayabilirsiniz;

- Takvim zaman dilimi
- Gün (DY)
- Hafta (WE)
- Ay (MO)
- Yıl (YR)
- Uçuş sayısı (Flight Cycle – FC) ve
- Uçuş Saati (Flight Hour – FH)

Her operatör bu şekilde uçakta LLP olarak tanımlanmış tüm komponentleri ve parçaları sistemli biçimde takip etmek zorundadır. Bu mecburiyetin ticari bir koşulu daha vardır; o da bu LLP parçalar herhangi bir başka firmaya satıldığında kalan ömür bilgisinin doğru biçimde aktarılması havacılık kanunlarının bir maddesidir.

#### **2.3.3.2. CF6-80E1 motorlarındaki llp değerleri**

Motorun üreticisi tarafından belirtilen bilgilere göre CF6-80E1 motorlarında bulunan ömürlü parçalar listesi; Tablo 2.12'deki gibidir[15].

Tablo 2.12. CF6-80E1 motorlarındaki llp'ler

	Üretici Parça Numarası	Parçanın Tanımı	Ömür (FC)
FAN	1669M75P08	DISK FAN RTR STG 1	20000
	1855M52G01	SHAFT ASSY FAN FWD	20000
	1782M10G02	SPOOL FAN RTR STG 2-5	20000
	1304M26P05	BOLT SHOULDER	22400
	1304M26P05	BOLT SHOULDER	22400
	1304M26P05	BOLT SHOULDER	22400
HPC	1644M21P04	DISK-STG.1	20000
	9380M27P08	DISK-STG.2	20000
	1856M15G02	SPOOL-STG.3-9,HPCR	17400
	1703M49G04	SPOOL SHAFT, STG.10-14	17700
	1669M73P02	SEAL ROTATING CDP	17100
HPT	1863M36G06	DISK STG 1 HPTR	14100
	1778M72P05	DISK STG 2 HPTR	15000
	1778M69P05	SEAL ROTATING HPTR	9000
	1778M70P03	SEAL FWD OUTER HPTR	15000
LPT	1778M39P08	SHAFT LPT	15000
	1639M11P03	DISK STG 1 LPTR	20000
	1639M12P03	DISK STG 2 LPTR	20000
	1639M13P03	DISK STG 3 LPTR	20000
	1639M14P02	DISK STG 4 LPTR	20000
	1639M15P03	DISK STG 5 LPTR	20000
	1639M20P08	CONE LPTR TORQUE	20000

Tablo 2.12’de görüldüğü üzere, en düşük ömre sahip parça HPT Rotor Rotating Seal parçasıdır.

CF6-80E1 motorlarında görüldüğü üzere, bütün parçalar uçuş sayısına göre ömürlendirilmiştir. Dolayısıyla ortaya çıkan durum LLP programı açısından şöyle tanımlanabilir; en erken ömrünü dolduracak parça günde 2-3 uçuş yapan bir uçak için takribi 3000 ila 4500 gün yani 8,5 ila 12,5 yıl sonra sökülmelidir. Çalışmamızın önceki sayfalarında bir CF6-80E1 için iki overhaul arasında geçen zamanın takribi 3400 FC olduğunu yazmıştık. Dolayısıyla en kısa ömre sahip parçanın bile 2 adet overhaul geçirdikten sonra kontrol edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla motorların takibi sırasında LLP önemli bir kriter olarak ele alınmamaktadır. LLP için dikkat edilen tek husus şudur; bir overhaul işlemi sırasında LLP’lerde kalan ömürleri kontrol edilerek eğer ömrü bir sonraki overhaul’a yetişmeyebilecek bir parça varsa onu yenisi ile değiştirmek olacaktır. Örnek vermek gerekirse,

LPT şaftının LLP si 15.000 uçuş saatidir. Motor overhaul için gönderildiğinde LPT şaftın ömrü 1200 FC kaldıysa, motorun overhaul işlemi sırasında eski şaftı söktürüp tekrar takılmaması talep edilebilir. Yeni bir şaftın veya ömrü 4000 FC den fazla olan ikinci el bir şaft takılması sağlanabilir. Böylece motorun bir sonraki sökümü için gerekli olan ömür süresini 3400FC civarında tutulabilir. Zira bir motorun overhaul işlemine girmesi 5 milyon dolar civarındadır. Şaftın değeri ise 400.000 dolardır. Dolayısıyla motoru indirmektense şaftın kalan ömrünü feda etmek daha ekonomik ve fizibil bir durumdur.

Özetlemek gerekirse; LLP programı CF6-80E1 motorlarında hassasiyet gerektiren bir işlem değildir. Sadece motor sökümü sırasında motorun üzerinde bulunan LLP'lerdeki kalan ömür bilgisinin takip edilmesi ve yaklaşık 3400 FC'den düşük olan parçaların değiştirilmesinden oluşmakta olan bir işlem biçimi denilebilir.



### **3. YENİ BİR MOTOR BAKIM SİSTEMİ**

#### **3.1. Motor Bakım Sisteminin Yönetimi Ülkemizde Nasıl Uygulanıyor? Mevcut Sistemin Eksiklikleri Nelerdir?**

##### **3.1.1. Motor parametreleri ve arıza yönetimi**

Primary parametreler olan;

- N1
- N2
- EGT
- Fuel Flow

Öncelikle sürekli her uçuşta kontrol edilmelidir. Uçağın ACARS sisteminden primary parametreler konusunda bir uyarı gelirse kontrol işlemlerinin ilk inişte uygulanması gerekir.

Secondary parametreler olan;

- Fuel Used
- Oil Quantity
- Oil Pressure
- Oil Temperature
- Vibration (N1 & N2)
- Nacelle Temperature

Kriterleri uçuşlarda kontrol edilmelidir. Bu sistemlerde ACARS arıza uyarısı alındığında mümkünse ilk iniş olmasa bile ana bakım üssüne varıldığında gerekli bakım, tamir, modifikasyon ve kontrolleri yerine getirmeli ve tamamlamalıdır.

### 3.1.2. Yedek motor planlaması

Motorların uçaktan sökülüp atölyede farklı seviyede bakımlara tabi tutulması konusunda bir optimizasyon yapılması için operatörün planlama sürecine müdahil olmasının sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü LLP durumu konusunda operatör dışında kimse bilgi sahibi olamaz. Mevcut yasalarda ise şu anda motor uçuş bilgileri ve parametrelerinin bakım kuruluşuyla paylaşılması gerektiği hususunda bir mecburiyet bulunmamaktadır.

Bir motor iki nedenle sökülüp atölyede bakıma sokulur;

- Motorun artık revizyon bakımına alınması gerekmektedir
- Motorun iç kısmının sökümünü gerektiren bir bakım işlemi uygulanmak zorundadır.

Özellikle dönen sistemlerde üretimden veya tasarımdan gelen aksaklıklar varsa motor overhaul öncesinde de atölye seviyesi bakıma tabi tutulabilir. Aynı şekilde FOD veya kuş çarpması işlemlerinde de çok büyük çaplı bir iç hasar oluştuysa motorun sökülüp atölyede bakıma girmesi gerekebilir.

İkinci ihtimal dâhilinde olan olağanüstü bakım mecburiyetini öngörme şansımız yoktur. Hangi motorun arıza yapacağı veya hangi motorun FOD sebebiyle çalışmaz duruma geleceği tahmin edilemez. Yedek motor hesabını yapılırca filoda aktif uçan motor sayısının %10 seviyesinde yedek motor bulundurmanın yeterli olduğunu öngörülmektedir. Bu yedek motor sayısının %5 oranının altına indirmemek uygun görülmektedir. Rakam olarak %5 oranı 1'e veya daha altına tekabül ediyorsa da en az 2 motor yedekte bulundurmak gerekmektedir.

Bu olağanüstü durumların yönetimi açısından motorların bakım anlaşmalarında teslim sürelerinin mutlaka anlaşma içine yazılması ve anlaşma süresinin aşılmasını sağlamak gerekmektedir. Birçok motor yurtdışında ağır bakıma alındığından dolayı gümrük ve teslim işlemleri ekstra zaman almaktadır. Motorun bakım için şirketten çıkış ve geri geliş arasında geçen zamanın 10 günlük kısmı bu gümrük ve prosedür işlemleri için ayrılacak şekilde programlama yapılmalıdır ki motorsuz kalınmasın.

Özetle olayı modelleyecek olursak  $\Delta t$  anında bir operatörün sahip olması gereken yedek motor sayısı formülü;

$$N \geq \%10 A \text{ ve } \%10A \leq 1 \text{ ise } N = 2 \text{ şeklindedir.} \quad (3.1)$$

Bu formülde

N: Yedek Motor Sayısı

A: Filoda Kullanılan Aktif Motor Sayısı anlamına gelmektedir.

### **3.1.3. Günümüzde motor bakım yönetim sisteminde aşırı iletişim**

Günümüz havacılığında teknolojik gelişmeler motorların yönetilmesiyle ilgili süreçleri oldukça kolaylaştırmıştır. Araştırma içerisinde bahsedilen ACARS sistemi sayesinde motorun sağlık durumu ile ilgili bilgiler oldukça hızlı biçimde ilgili kişilere ulaşmaktadır.

Bilgi aktarımında yaşanan bu gelişmeye paralel olarak. Yasal düzenlemeler de sorumluluğu üstlenecek firmaların farklılıklarına göre düzenlenmiştir.

2004 yılı öncesine kadar geçerli olan JAR-OPS Subpart-M kuralları gereği, motor sağlık takibi ve bakım yönetimi tamamen uçak sahibinde veya operatörde bulunmaktaydı. Bu kuralların hazırlandığı dönemde bilgisayar sistemlerinin uluslararası bilgi paylaşımına tam olarak açılmamış olması nedeniyle uçak motorlarının sorumluluğu birinci dereceden onu kullanan şirketlere verilmişti.

Günümüzde artık bilgi paylaşım imkânları üst düzeydedir. Yeni nesil havacılık ve özellikle uçuşa elverişlilik kuralları geçmişe göre oldukça esnekler.

Geçmişte operatörlerin üstlendiği sorumluluklar artık bağımsız şirketler tarafından gerçekleştirilebiliyor. Sürekli Uçuşaelverişlilik Yönetimi Kurulu (CAMO) adı verilen organizasyonlar kurulmuştur. CAMO'lar operatörlerin ihtiyaç duydukları bakım programlarının hazırlanmasını sağlamaktadırlar. Bakım işlemlerinin uygun ve yetkili bakım şirketlerinde yaptırılması işlemlerini üstlenip havayolu şirketinin bakım temsilcisi gibi hareket etmektedirler.

Bakımlara nezaret ettikleri gibi teknik güncellemeleri de CAMO organizasyonları takip ederek uçağa ve motora gelen uçuşa elverişlilik direktiflerini ve üreticininin yayımladığı SB'leri uygulatmaktadır.

Piyasanın serbestleştirilmesi adına atılan bu adımların temel prensibi, maliyetlerin düşürülmesi ve işletmelerin konularında uzmanlaşabilmelerine dayanmaktadır. Zira birçok operatör şirket ki bunun başında Avrupa ve Arabistan merkezli havayolu şirketleri geliyor, artık uçuş operasyonu dışında kalan konularda asgari düzeyde çaba sarf etmek ve sorumluluk almak istemektedirler.

Operatörler sadece uçuş operasyonu yapmak için diğer destekleyici faaliyetleri (hat bakım, ağır bakım, mühendislik, ikram, yakıt, yer hizmetleri vs.) satın almak istemektedirler.

Bu taleplere cevap vermek üzere kurulmakta olan bağımsız bakım şirketleri (Maintenance Repair and Overhaul – MRO) rekabet ve yeni nesil havacılık politikasında önemli rol almaktadırlar.

2012 yılında yasallaşan bağımsız mühendislik ve bakım planlama organizasyonlarının varlığı bakım yönetimini bir anda birden fazla aktörün rol aldığı bir sahneye çevirmiştir.

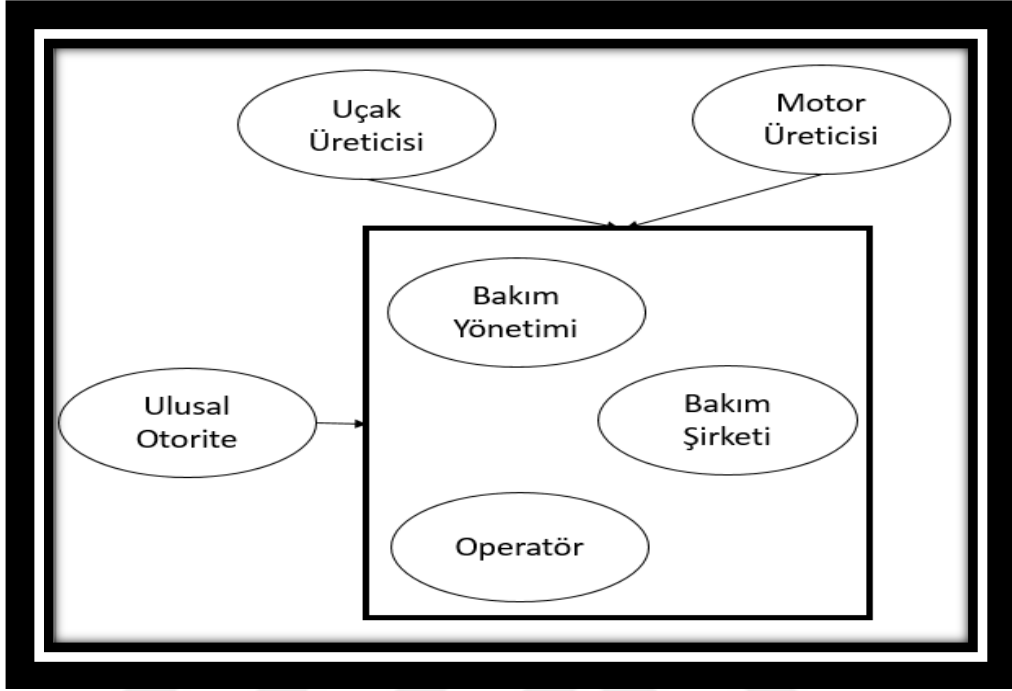
Eskiden operatör hem bakımı planlayan hem de bakımı yapan firmayken. Günümüzde bakım yönetimi işlemi motor üreticisi ve CAMO arasında paylaşılmış durumda.

Her iki şirketin mühendislik bölümleri tarafından paylaşılan sorumluluk sayesinde bakım yönetimi için gerekli altyapı oluşturulmaktadır. Altyapıyı oluşturan şirketler maalesef bakımı yapmaya yetkili değildir.

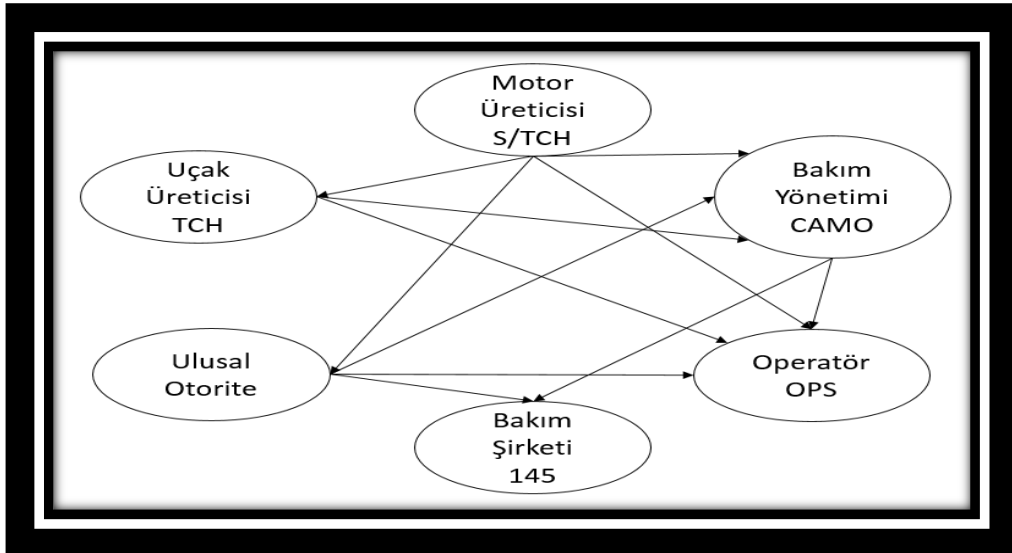
Bu durumda bakım paketleri o işlemleri yapmaya yetkili bir bakım şirketine ulaştırmakta ve bakımın uygulaması burada icra edilmektedir.

Geçmişteki bakım yönetimi ve uygulamasının sadeliğini ve günümüzdeki yapının karmaşıklığı iki şekilde gösterilebilir. Şekil 3.1 eskiden tek çatı altında uygulanan

uçak bakımını gösteriyor. Şekil 3.2 ise günümüzde karmaşıklaşan ilişkileri göstermeyi amaçlıyor.



Şekil 3.1. Operatör, bakım yönetimi ve bakım kuruluşunun aynı çatı altında olduğu model



Şekil 3.2. Günümüzde motor bakım yönetimi dâhilinde muhtemel iletişim modeli

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere Motor bakımı için gerekli olan bakım yönetim sürecinde bağlantıların karmaşıklığı dikkat çekmektedir.



Faaliyetlerin dağılması ve parçalanması şirketlerin sorumluluklarını küçültmüş ama işlem adımlarını artırmıştır. Bu sebeple farklı şirketlere yayılan süreci kontrol altında tutmak amacıyla otoriteler de denetim ağlarını büyütmek zorunda kalmışlardır.

Bu süreç sonucunda gerekli olan kontrol, denetleme ve prosedür miktarı bir hayli artmış olmaktadır. İşlem sayısının artması da iletişim temelli hatalara meydan verebilme ihtimalini barındırır.

Geçmişteki modelden farklı olarak bağımsızlaşan CAMO ve bakım şirketlerinin bu serbestlikten gelen hukuki sorumlulukları nedeniyle uçak ve motor üreticileriyle kendi özel bağlantılarını kurmaları gerekmektedir.

Aynı şekilde önceden tek bir yapıyı denetleyen ve onaylayan sivil havacılık otoritesi de her bir organizasyonu ayrıca denetleme ve onaylamak zorunda kalmıştır.

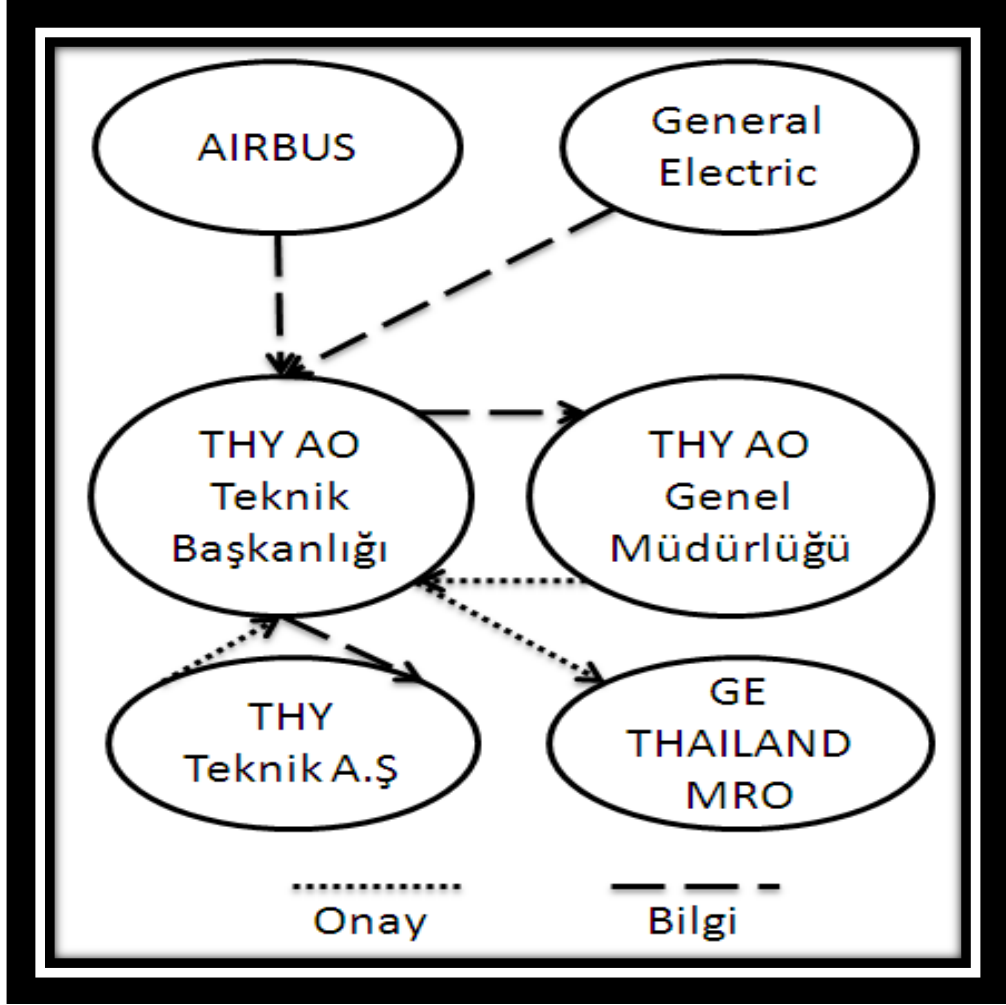
Bu yoğunlaşma beraberinde denetim eksikliklerini ve bürokratik yavaşlamayı da getirmiştir.

Ülkemizde uygulanan motor bakım yönetimi altyapısına değinmek gerekirse; Türk Hava Yolları bünyesindeki CF6-80E1 Motorlarının bakım yönetimi ağı Şekil 20'de gösterildiği gibi oluşmuş durumdadır.

THY bünyesinde bakım şirketi olarak ana şirket THY Teknik AŞ iken, mevzu motor bakımı olunca THY Teknik planlama şirketi gibi davranmaktadır. Şekil 3.3'de THY AO ve THY Teknik dahilinde motor bakım yönetimi ilişki biçimi gösterilmiştir.

THY örneği bakım sorumluluğunun planlama ve kontrol anlamında delege edilmesi bakımından iyi bir örnektir. Bakımı, GE Thailand şirketi gerçekleştirir. Yapılan bakımı THY Teknik AŞ mühendisliği kontrol eder ve değerlendirir. Kontrol işlemlerinin ardından THY AO teknik başkanlığı işlemleri yeniden kontrol eder.

İşlemlerin her adımı bir hata yaratma noktası olabileceği gibi her bir şirketin işlemleri tekrar tekrar kontrol etmesi işgücü kaybını beraberinde getirmektedir.



Şekil 3.3. THY cf6-80e1 bakım yönetimi ilişkileri ağı

### 3.1.4. THY AO motor bakım yönetim modelinin örnekleme yoluyla incelenmesi

Bugünkü durumda herhangi bir CF6-80E1 motoruna uygulanması gereken bir servis bülteninin uygulanması sürecinde hangi aşamalar olduğunu özetlemek gerekirse;

- Servis bülten General Electric tarafından hazırlanır,
- GE şirketi SB'yi web sayfasına yüklenir,
- Operatörün CAMO bölümü bu SB'yi inceler,
- CAMO ilgili SB'nin efektif olduğuna karar verir ve uygulanması için programa dâhil eder,
- SB, süresi geldiğinde veya evvelinde CAMO motoru uçaktan inmesini talep eder (gerekirse),
- Motor onaylı bakım şirketine gider ve CAMO tarafından talep edilen işlemler uygulanarak geri yollanır,
- CAMO işlemlerin uygulanması hususunda incelemeyi yapar,

- Bakım kayıtları onaylanınca motor faal olarak uçağa geri takılır.

Görüldüğü gibi aslında çok daha kısa olabilecek süreç oldukça karmaşık hale getirilmiş. Önerilen metotla süreç çok daha az zahmetle yönetilebilecektir.

Bugün THY AO ve THY Teknik AŞ arasında bir ad onayı işlem adımlarını geçerli yasal prosedür olan THY AO Teknik Başkanlık PR.50.011 Nolu “Uçuşa Elverişlilik Direktifleri (Ad) Uygulama ve Kontrol Prosedürü”nü ele alınabilir.

Prosedürün sorumluluk kısmında (EK-C) CAMO ve Bakım şirketi arasında bir AD için gereken işlem adımları görülebilir. Tablodan görüleceği gibi işin yapılması için ayrı adım uygulanmışsa işlemin teyidi için 15 farklı kontrol adımı talep edilmiştir. Her işlem iki şirket arasında görüşülerek yerine getirilir.

Önerilen modelde, kontrol aşamaları tek bir merkezde toplanacaktır. Bu sayede kaybedilecek emek ve süre geri kazanılabilecektir. Ortalama bir maliyet hesabı yapmak için alttaki varsayımlar kullanılacaktır;

- Bir mühendislik çalışanının saat ücretinin (Mh) 50 ABD doları olduğu varsayılırsa.
- Bir AD veya SB kontrolü için 2,5 saat emek (Lr) harcandığını varsayılırsa
- Bir motor overhaul paketine (nAD) 15 AD atandığı varsayılırsa
- Aynı pakete (nSB) 25 SB atandığı varsayılırsa

Sadece paketin kontrol işlemi için harcanacak ücret (C);

$$C = (nAD + nSB) \times Lr \times Mh \quad (3.2)$$

$$C = ( 15 + 25 ) \times 2,5 \times 50$$

$$C = 5000 \$$$

THY AO tarafından kullanılan uçaklarda ve yedekte kayıtlı motor sayısı 58 dir. Yedek motor sayısı da 6'dır. Bu maliyeti THY AO filosunda bulunan tüm CF6-80E1 motorlu A330'lara uygulanacak olursa. 64 motor için sadece AD kontrolünde harcanan gereksiz adam saat ücreti 1 motor için, motor ömrü süresince 320.000 ABD dolarıdır.

### 3.2. Motor Bakımında Doğrudan Yetkin İletişim Modeli

Hem Şekil 3.1, hem de Şekil 3.2’de gösterilen yönetsel yapı oldukça karmaşık bir iletişim ilişkisini göstermektedir. Oysa günümüzde iletişimin gelişmesi, iletişimden kaynaklanan hataların azaldığına dair kanıtlar sunmamaktadır. Dolayısıyla her konuda temel olarak uygulanması gereken yaklaşım “Asgari Mesajlaşma ve Doğrudan Yetkin İletişim” olmalıdır.

Bu yaklaşımda asıl olan husus, bakımı yapan şirket ve üreticinin arasında yer alan organizasyonların müdahalesi olmadan sadece kontrol unsuru olarak yer almalarını prensip edinmektedir.

Bu sayede motor üreticisi olan General Electric şirketi herhangi bir motora ilişkin münhasır tamir takiplerinin ve AD/SB taleplerini doğrudan onu uygulayacak bakım şirketine iletecek ve uygulamayı merkezden yönetecektir.

Bu şekilde operatör ve CAMO, üretici ve bakım şirketi arasına girmeyecek ama uygulanan işlemlerin kayıtlarını alarak yönetsel sorumluluklarını devam ettirebileceklerdir.

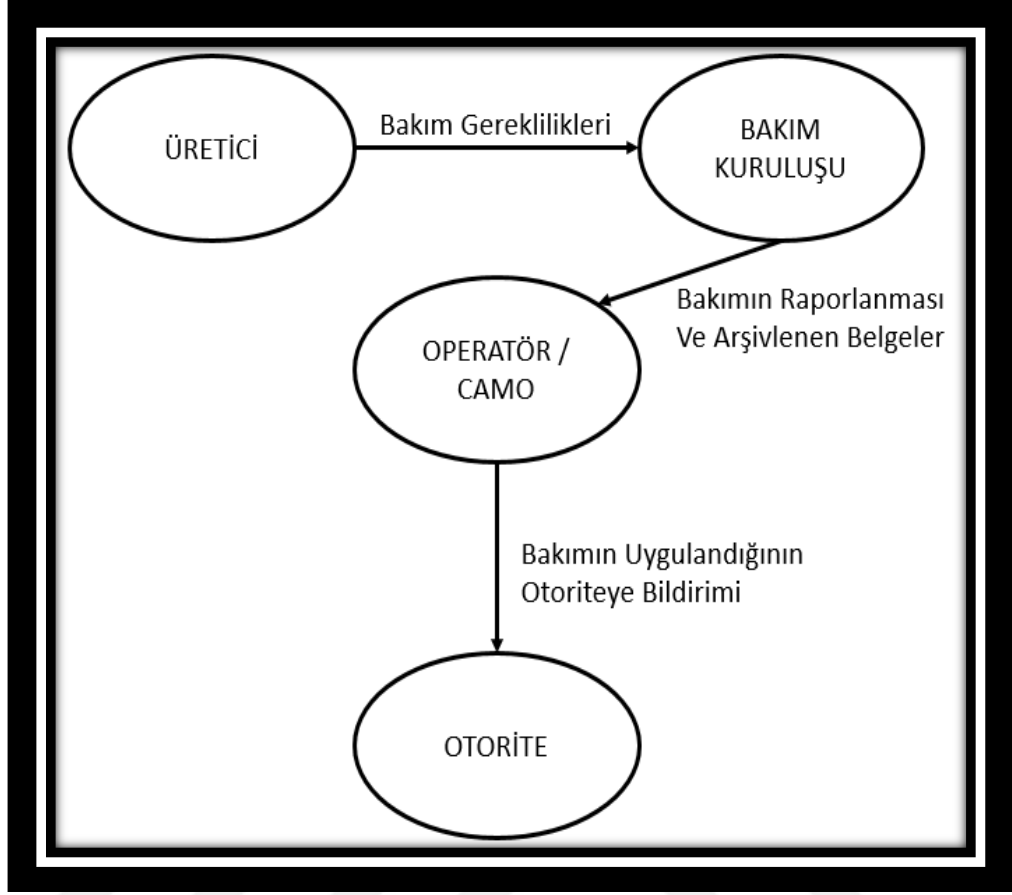
Bu amaçla öneri olarak sunulacak olan yöntemle, motor parametreleri konusunda operatörün bu arızaların yönetimini bakım kuruluşuna bırakması ve sadece ilgili kontrollerin evraklarını arşivleyerek gelecekteki bakımlara etkilerini analiz etmesi olacaktır.

Bu sayede ACARS raporu hem bakım firmasının bilgisayar sistemine hem de üreticinin sistemine düşecektir.

Bakım firması ve üretici uygulanacak kontrolleri birlikte yönetecekler ve ara mesajlaşma adımları iptal olacağı için iletişim hatalarının engellenmesi sağlanacaktır.

Bu yaklaşım planlı ve ağır bakımlarda da geçerli olan bir uygulama modelidir.

Önerdiğimiz modelde arıza yönetimi haberleşmeleri şekil 3.4’de gösterildiği gibi doğrudan bakımla alakalı yetkin kuruluşlar arasında sınırlı tutulacaktır.



Şekil 3.4. Önerilen motor arıza yönetim mesajlaşma akışı

Şekil 3.4'te görüldüğü üzere eski sistemde birden fazla kuruluşun birbiriyle mesajlaşarak motor bakım yönetimine girmesi karışıklığa neden olmaktadır. Geliştirilen modelde, üretici ve bakım kuruluşunun mühendislik bölümleri gerekli bakımları karara bağlayarak, ticari baskılar olmaksızın gerekli işlemleri planlamaktadır. Bu planlamaya göre operatörün uçağı veya motoru müsait olunan süre dâhilinde yerde tutması sağlamaktadır. Bakım yapıldıktan sonra üretici devreden çıkmış olacak ve bakım şirketi yaptığı bakım onarım ve tamirlerin evraklarını operatöre veya CAMO'ya iletacaktır. İletimden sonra bakım firması da devreden çıkacak ve sadece operatör ve yetkili otoritesi arasında motor bakımlarının uygunluğu kontrol edilecektir.

Sadece tek yönlü bir iletişim akışı sayesinde haberleşmeden kaynaklanan yanlış anlama veya hatalı iletim gibi sorunların önüne geçilmiş olunacaktır.

Bu modelde ayrıca hatanın hangi kuruluş tarafından yapıldığı da kolayca tespit edilebilmektedir. Zira aksaklık üreticiden gelen mesajda mı yoksa bakım firmasının raporunda mı kolayca tespit edilebilecektir.

Sürecin ilk aşamasının operatörden bağımsız olması olabilecek suistimalleri de engelleyecektir. Zira operatörler operasyonun bakım nedeniyle aksamasını istemedikleri durumlarda bakımı operasyona göre planlayarak kural ihlali yapabilmektedirler.

Hem ülkemizde hem ABD’de otoriteler motor bakımları konusunda yapılmış olan ihmalleri tespit etmişler ve bu durumların tolere edilmeyeceğini yazılı olarak duyurmuşlardır.

Dolayısıyla bakımın uygulanmasıyla ilgili programlama işlemi, operatörü serbest bırakmayacak bir süreç olarak kurgulanmalıdır. Bu kurgu içerisinde de yer alması gereken kuruluşlar üretici ve bakım şirkettir.

Operatörün arıza yönetiminde sorumluluğu, tamamlanmış bakımın dokümanlarını aldıktan sonra motor arızalarının tamamının giderildiğine emin olmak ve bu belgeler ışığında otoritenin talep etmesi halinde arşivindeki belgeleri sunarak bakım yönetiminin doğru, uygun ve güncel olduğunu kanıtlamaktan ibarettir.

Otorite ise, bu süreçte her kuruluşla ayrı ayrı onay ve denetlemeyle uğraşmak zorunda kalmayacak, sadece operatörün raporlama bilgilerini doğru kabul ederek tek bir onay ve denetleme işlemiyle uğraşacaktır. Bu biçimde eskiye oranla büyük bir işgücü tasarrufu da sağlanabilecektir.

Önerilen arıza yönetim ve bakım idaresi akışı, her açıdan daha verimli ve kolay bir uygulamadır. Motor parametreleri yönetimi konusunda bahsedilecek hususlar bu şekilde düzenlenebilir. Planlı bakımlar (overhaul), söz konusu olduğunda da benzeri bir şekilde atanmış AD, SB ve EO’ları da içerecek bazı ek uygulamalar içerecek şekilde bakım firmasına bırakılmalıdır.

### **3.2.1. Overhaul planlaması**

Çalışmamızda edindiğimiz bilgilere göre CF6-80E1 motorlarının overhaul için kontrol edilmesi gereken hemen hemen tek parametre EGT’dir. EGT değerine göre

bir planlama yapılması ile ilgili şartları açıklamış ve EGT takibinin önemine Malzeme ve Yöntem kısmının 2.1.3 ve 2.1.4 başlığında değinilmiştir.

Overhaul programlaması sırasında operatörün özellikle parametre ve ömürlü parçaların durumuyla ilgili bilgilere sahip olduğu bilinmektedir. Bu da operatörün bu planlamada tek yetkin kuruluş olduğunu gösterir. Ama bu yetkinlik konunun uçuşa elverişliliği konusunda ihmal veya kasıtlı kural ihlaline gitmesini engelleyen bir şart değildir.

Sunulan modelde operatörlerin motorlara ait planlı bakımları yönetirken sadece motorun uçaktan söküleceği dönemde uçağın bakım ve operasyon durumunun planlamasını talep edebilir. Zira operatörün takip ettiği parametreler üretici tarafından da takip edilmektedir.

Herhangi bir sebeple motorun planlı olarak sökülmesi durumu yaklaştığında operatöre en az bir ay öncesinden haber verilmesi yeterlidir. Bu sayede üretici o zaman içinde operatörün motorun sökülmesinden doğabilecek mağduriyetini de engellemiş olur.

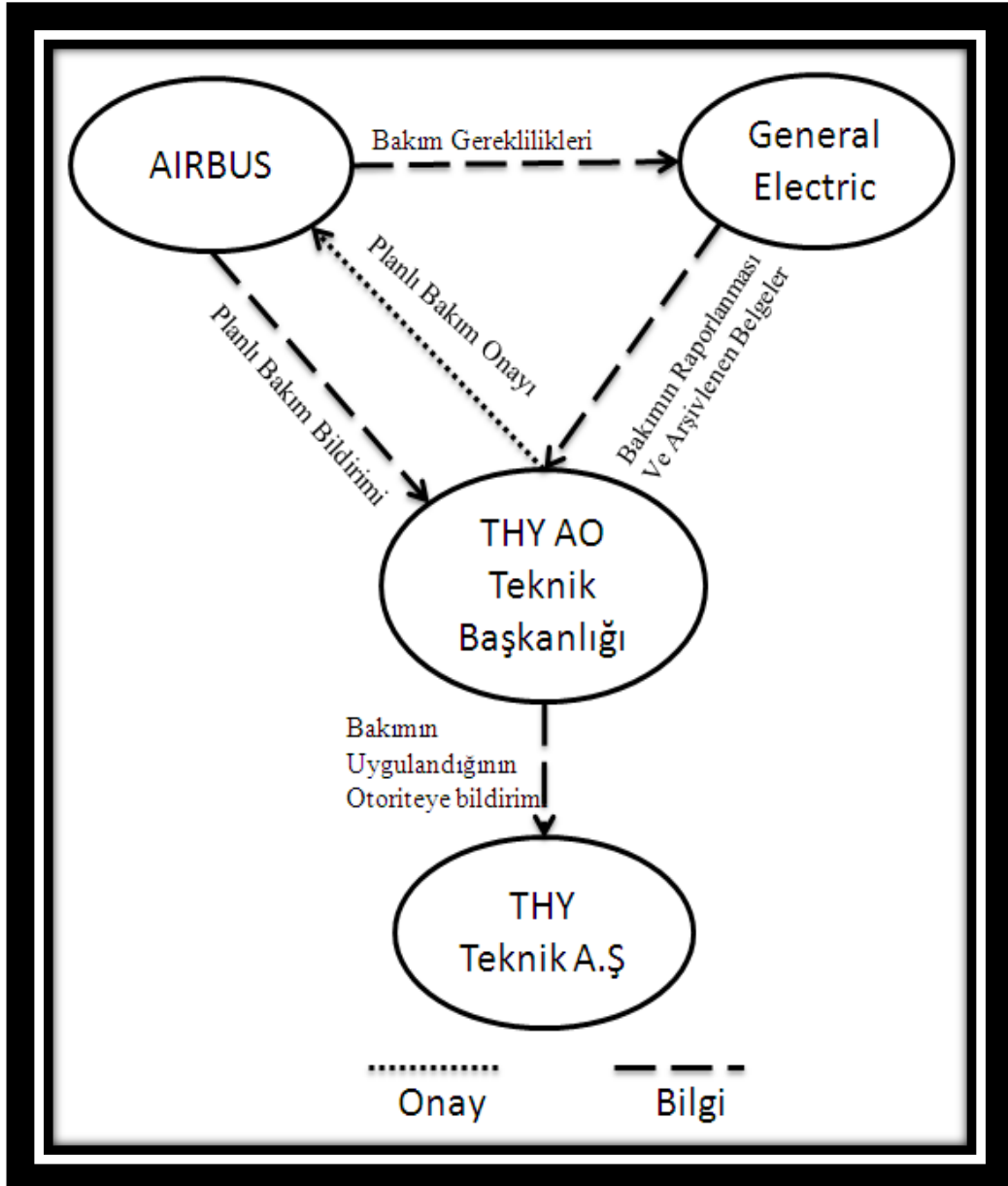
Bu arada üretici tekrar overhaul yetkili bakım kuruluşuyla irtibata geçerek motorun planlı bakımları, SB'leri, AD'leri, modifikasyonları planlayabilir. Motora özel yapılacak ayar ve varsa parça değişimlerini paylaşabilir.

Bu sürece operatörün dâhil olma zorunluluğu bulunmamaktadır. Operatör motorun bakımı tamamlandıktan sonra tıpkı arıza yönetiminde olduğu gibi motorun bakım evraklarını arşivlemek ve kontrol etme sorumluluğunu üzerine alabilir.

Gerektiğinde yetkili otoritesinin talebine binaen evrakları otoritenin denetimine sunabilir.

Bu modellemenin avantajlı olduğu kısımlardan birisi de gereksiz kontrol için harcanacak mesailerin azaltılmasıdır.

Şekil 3.5'te planlı motor bakımlarının iletişim şemasını gösterebiliriz. Ayrıca ilişkilerin arasında yürütülen faaliyetler de belirtilmiştir.



Şekil 3.5. Planlı motor bakımlarının iletişim şeması

Şekil 3.5'ten de görüldüğü gibi planlı motor bakımlarının arıza yönetiminden tek farklı tarafı operatörün bilgilendirilmesidir. Bu sayede de havayolunun veya kargo şirketinin işleri de aksamamış olacaktır.

Her şekilde operatörlere bildirilmiş olan yükün hafifletilmesi bakım süreçlerinin daha hızlı bir biçimde tamamlanmasını ve bakımı bitirmesini sağlayacak avantajlar sunar.



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada ele alınan mesele bakım yönetim sisteminin yasal boşluklarını kullanan operatörlerin (havayolları ve hava kargo şirketleri) bu sorumluluğu delege ederken ortaya çıkan hem verimsiz hem de güvensiz durumu ortadan kaldırmaya yönelik öneriler değerlendirilecektir.

İşin temelinde yatan kök neden; ana faaliyeti bakım olmayan bir şirket olan operatörlere bakım sorumluluğunun bırakılmasıdır. Operatör bakım sorumluluğu üstlenmemelidir.

Bakım yönetimi konusunda operatörlerin aradan çekilmesi birçok açıdan motor bakım yönetim süreçlerini rahatlatacak bir uygulamadır. Zira bakım yönetimi için gereken altyapının büyük bir kısmı motor üreticisi tarafından sağlanırken, bakım işlemi de yetkili bakım kuruluşlarına bırakılmıştır. Bakımın fiili uygulanması bu iki kuruluş arasında paylaşılmışken operatörün araya giren varlığı fazlalıktır.

Günümüzde tamamen operatörlere bırakılmış gibi görünen sürecin suiistimallere de açık olduğu görülmektedir.

Bu konuda yapılması gereken yasal değişikliklerin birinci sorumlusu, ülkelerin sivil havacılıktan sorumlu devlet kurumlarıdır. Yasal açıdan alınması gereken değişiklikler şöyle sıralanabilir;

- EASA Part-M ve ilgili bakım yasalarında operatörün sorumlulukları yeniden tanımlanmalı ve bakım yönetiminin sınırları operatörler için daraltılmalıdır
- Motor üretici firmaların bakım işlemleri planlaması konusunda bir referans program hazırlamaları ve programın yönetimi ile ilgili kurallar sağlanmalıdır.
- Yetkili motor bakım şirketleri ve üreticiler arasında ortak kullanılan bir motor bakım yönetimi bilgi ve tecrübe paylaşımını sağlayacak bir havuz oluşturulmalıdır.

- Operatör ve otoriteler bakım işlemleri konusunda kontrol ve yönetim faaliyetlerini sadece denetlemekten sorumlu tutulmalıdır.

Otoriteler, hukuki boşlukları doldurduktan sonra sektörel değişiklikler birlikte gelecektir. Hukuki olarak desteklenmesi gereken bir diğer konu ise üretici firmalar ve bakım şirketlerinin bakım planlaması konusunda uzmanlaşması için gerekli personel ve altyapı şartlarını kurmaları olacaktır.

Gerekli uzmanlığa sahip üreticiler, operatörler ve bakım firmalarının varlığı motor bakımı konusunda günümüzde meydana gelen ve gelebilecek aksaklıkları önleyebilecektir.

Eğer “Motor Bakımında Doğrudan Yetkin İletişim Modeli” ile yönetilen bir motor bakım sistemi kurulursa, sadece AD kontrolünden bir overhaul çevrimi süresinde yapılacak tasarruf, çalışmanın “Yeni Bir Motor Bakım Sistemi” kısmının 3.1.4 alt başlığında, ele alınarak hesaplanmıştır.

Genel operasyon için düşünüldüğünde bir uçağın ömrünü hesaba katacak olursak bu rakamın ortalama 5 revizyon çevrimi olduğunu söyleyebiliriz.

Bir uçağın ticari hayatı boyunca operatör, yanlış bakım politikaları nedeniyle sadece motor için atanmış AD kontrolü için 25.000 ABD doları harcamaktadır. THY için bu masraf 68 motor için takribi 1.700.000 ABD dolarıdır. Önerilen modelde, bu maliyeti ortadan kaldıracak ve tasarruf edilmesi sağlanmış olacaktır.

Önerilen modelin bir diğer avantajı da iletişimi azaltmak suretiyle oluşabilecek iletişim kaynaklı hataların önlenmesidir. Havacılık kazalarında bakım kaynaklı kazaları inceleyen uzmanlar ve kurumlar, iletişim eksikliğini ciddi bir faktör olduğunu belirtmektedirler.

Motor bakımı esnasında da iletişim adımlarının azaltılması hatalı anlama, yanlış anlama, anlamama, anlatılanı unutma vb. gibi iletişim kökenli hataların oluşması ihtimalini düşürecektir. Az ama yetkin iletişim modeli, motor bakım güvenliğini geliştirecek bir modeldir.

Günümüzde uygulanan mevcut motor bakım modelinde, 11 farklı mesajlaşma süreci tanımlanmışken, önerilen modelde bu sayı, 3'e düşmüştür. Mesajlaşma sayısının azaltılması iletişim kaynaklı hataları da önleyeceği için uçuş emniyetini de artıran bir tedbir olacaktır.

Gelecekte motor bakımlarının maliyetinin azaltılması ve güvenilirliğinin artırılması için sistematik olarak modelin uygulanmasında fayda vardır. Bu modelin sadece ülkemizde değil tüm dünya havacılığında etkin olabilmesi için, uluslararası bir kural sistematığına bağlanması gerekir. Bahsedilen etkinliğe ve güce sahip otorite, Birleşmiş Milletler'e bağlı Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu'dur. Sistemin kalıcı ve uzun vadeli olmasının yasal çözümü bu şekilde küreselleşebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Cassady J. A Survey of Aircraft Engine Health Monitoring Systems, *International Society of Logistics (SOLE) 1999 Symposium*, Las Vegas, Nevada, 30 Ağustos-2 Eylül 1999.
- [2] Demirci Ş. Akıllı Durum İzleme Stratejilerini Kullanarak Uçak Motor Bakım Etkinliği Ve Güvenilirliğinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 511032007.
- [3] Demirel L., Tolun S., Ticari Turbofan Uçak Motorlarının Uçuş Ömürlerinin Optimizasyonu, *itüdergisi*, 2008, **7**, 80-91.
- [4] IM.E.007, Type Certificate Data Sheet - General Electric CF6-80E1 Series Engines, *European Aviation Safety Agency*, Köln, 2011.
- [5] AC33-2B, Aircraft Engine Type Certification Handbook, *Federal Aviation Administration*, Washington, 2013.
- [6] Özek R., “Uçak Motorlarında Korozyona Yönelik Bakım Süreçleri, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 2002, **43** (512), 32-40.
- [7] Turan Ö., Orhan İ., Karakoç H., Yüksek Bypasslı Turbofan Motorlarının Performans Analizleri İle İlgili Bilgisayar Yazılımı Geliştirme, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2012, **1**(1) 21-40.
- [8] Şenliol Y., Uçak Motorunun Durum İzleme Verilerini Yorumlayan Uzman Sistem, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 511031045.
- [9] Özcan B., Sürekli Uçuşa Elverişlilik Faaliyetlerinin Denetimi, T.C. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, [http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/haberler/syk\\_duyuru.pdf](http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/haberler/syk_duyuru.pdf) (Ziyaret Tarihi 28 Kasım 2015).
- [10] <http://formcenter.thy.com/gsmm/yillikmotoranlz/CF6-80E1>, (Ziyaret Tarihi 28 Kasım 2015).
- [11] Turan Ö., Orhan İ., Karakoç H., Yüksek Bypasslı Turbofan Motorlarının Performans Analizleri İle İlgili Bilgisayar Yazılımı Geliştirme, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2012, **1**(1) 21-40.

- [12] <http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/SHY-M.pdf> (Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2015)
- [13] [http://web.shgm.gov.tr/documents/files/pdf/hava\\_araci\\_islemleri/sht-m.pdf](http://web.shgm.gov.tr/documents/files/pdf/hava_araci_islemleri/sht-m.pdf) (Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2015)
- [14] <http://www.geaviation.com/commercial/engines/cf6/> (Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2015)
- [15] [http://www.iasg.co.uk/pdfs/articles/engine\\_services/CF680E.pdf](http://www.iasg.co.uk/pdfs/articles/engine_services/CF680E.pdf) (Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2015)
- [16] [http://www.newportaero.com/ata\\_chapters.php](http://www.newportaero.com/ata_chapters.php) (Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2015)
- [17] <https://www.iata.org/whatwedo/workgroups/Documents/MCC-2014-TH/D1/1130-1210-impact-tech-changes-TBE.pdf> (Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2015)



**EKLER**

**EK-A: Uçak Bakım ATA-100 Chapter Tablosu**

Bölüm	İçerik	Açıklama
0	INTRODUCTION	Dokümanın kullanımıyla ilgili açıklamalar.
5	TIME LIMITS/MAINTENANCE CHECKS	Zaman limitleri, planlı ve plansız bakımlar.
6	DIMENSIONS AND AREAS	Uçağın boyutları ve bölümleri.
7	LIFTING & SHORING	Uçağın bakım için “jack” a alınması.
8	LEVELING & WEIGHING	Uçağın dengelenmesi ve ağırlığının ölçülmesi
9	TOWING & TAXIING	Uçağın yerde çekilmesi ve taxi usulleri.
10	PARKING, MOORING, STORAGE	Uçağı park etme ve uzun süreli bekleme alınması.
11	PLACARDS AND MARKINGS	Uçak üzerindeki etiket, açıklama ve işaretler.
12	SERVICING	Uçak sistemlerinin ikmal usulleri.
20	STANDARD PRACTICES-AIRFRAME	Uçak sistemlerinin bakımında standart bakım usulleri.
21	AIR CONDITIONING	Kabin basınçlandırma ve iklimlendirme sistemi.
22	AUTO FLIGHT	Otomatik uçuş sistemi.
23	COMMUNICATIONS	İletişim sistemleri.
24	ELECTRICAL POWER	Elektrik sistemi.
25	EQUIPMENT/FURNISHINGS	Ekipmanlar ve kabin içi materyaller.
26	FIRE PROTECTION	Yangından ikaz sistemleri.
27	FLIGHT CONTROLS	Uçuş kumandaları.
28	FUEL	Yakıt sistemi.
29	HYDRAULIC POWER	Hidrolik sistemi.
30	ICE AND RAIN PROTECTION	Buzlanma ve yağmurdan korunma.
31	INDICATING/RECORDING SYSTEMS	Göstergeler ve kayıt sistemleri.
32	LANDING GEAR	İniş takımları.
33	LIGHTS	Aydınlatma sistemleri.
34	NAVIGATION	Seyrüsefer sistemleri.
35	OXYGEN	Oksijen sistemi.
36	PNEUMATIC	Basınçlı hava sistemi.

38	WATER/WASTE	Su ve atık su sistemi.
49	AIRBORNE AUXILIARY POWER	APU - Yardımcı güç kaynağı.
51	STANDARD PRACTICES AND STRUCTURES	Yapısal bakımda standart bakım usulleri.
52	DOORS	Kapılar.
53	FUSELAGE	Uçak gövdesi.
54	NACELLES/PYLONS	Motor hava alığı ve motor askısı.
55	STABILIZERS	Yatay ve dikey stabilize.
56	WINDOWS	Camlar.
57	WINGS	Kanatlar.
70	STANDARD PRACTICES - ENGINES	Motor bakımında standart bakım usulleri.
71	POWER PLANT	Güç sistemleri.
72	ENGINE	Motor.
73	ENGINE FUEL AND CONTROL	Motor yakıt sistemi ve yakıt kontrol.
74	IGNITION	Motor ateşleme sistemi.
75	AIR	Motor hava sistemi.
76	ENGINE CONTROLS	Motor kontrolleri.
77	ENGINE INDICATING	Motor göstergeleri.
78	EXHAUST	Motor egzoz sistemi.
79	OIL	Motor yağ sistemi.
80	STARTING	Motor çalıştırma sistemi.



## **EK-B: Uçak Motor Takibi Hakkında Yayımlanmış Yasa ve Yönetmelikler**

1. AMC M.A.201 (h) (1) (6) (d) güvenilirlik programı, motor durum takibi/izlemesi
2. IR M.A.305 (b) (1) Hava aracı kayıt defteri, motor kayıt defterleri veya motor modül kayıt kartları, pervane kayıt defterleri ve ömürlü komponent kayıt kartlarından ve,
3. IR M.A.305 (e) Hava aracına takılan komponentler (motor, pervane, motor modülü, ömürlü komponent) için; bakım çıkış sertifikasına, SHY Form 1 veya eşdeğerine ek olarak, ilgili motor veya pervane kayıt defterine, motor modülü veya ömürlü komponent kayıt kartına aşağıdaki bilgiler de girilir.
4. AMC M.A.305 (d) Bazı gaz türbinli motorlar modüllerden oluştuğundan dolayı, motor için hizmette geçen gerçek toplam zaman kaydedilememektedir. Hava aracı sahipleri ve işletmecileri modüler tasarımdan faydalanmak istediklerinde, her bir modüle ilişkin hizmette geçen toplam zaman ve bakım kayıtları muhafaza edilmelidir. Belirtildiği üzere sürekli uçuşa elverişlilik kayıtları modül ile birlikte tutulmalıdır ve o modüle yönelik her bir zorunlu gereklilik ile uygunluk halini belirtmelidir.
5. IR M.A.708 (c) ...Üs bakım, planlanmış hat bakımı ve motor bakımı anlaşmaları ve bunların tüm revizyonları Genel Müdürlük tarafından onaylanır...
6. SHT-M Ek-2.1 Bakım Programı;
7. 1.1.10. Hava aracının, motorların, APU'nun, pervanelerin, komponentlerin, aksesuarların, alet ve ekipmanların, elektriksel ve radyo cihazlarının her birindeki bakım işlemleri ve periyotlar, (zaman aralıkları/sıklıklar) ilişkili sistemler ile birlikte kontrol edilmelidir. Gerekli kontrol tipi ve derecesi buna dâhil edilmelidir.
8. SHT-M Ek-2.2 Sürekli uçuşa elverişlilik yönetimi görevlerinin alt yükleniciye devredilmesi;
9. 2.12. Motor sağlığı takibi İşleticinin kanat üzerinde motor sağlığı takibini anlaşma yoluyla devretmesi halinde, alt yüklenici kuruluşun bu görevi gerçekleştirmek için, işletmeci tarafından tedarik edilmesi gereken her bir parametre değeri dâhil olmak üzere ilgili tüm bilgileri alması gerekmektedir. Söz konusu anlaşma ayrıca, kuruluşun işletmeciye ne türde geri bildirim bilgileri (motor limitleri, uygun teknik tavsiye, vb.) temin etmesi gerektiğini de belirtmelidir.

**EK-C: THY AO Teknik Başkanlık Ad Kontrol Sorumluluk Tablosu**

ANLAŞMALI BAKIM KURULUŞU (ABK) / ALT YÜKLENİCİ MÜHENDİSLİK ŞİRKETİ (AYMŞ)	TEKNİK BAŞKANLIK
Efektif AD'lerin Bakım Bilgi Sistemine tanıtılması (AYMŞ)	Tüm efektif AD'lerin sisteme girişlerinin yapıldığının kontrolü ve kaydı
Ön değerlendirme yapılması ve Mühendislik Yayın Değerlendirme Formu üretilmesi (AYMŞ)	"Pending" listelerinden ön giriş yapıldığının kontrolü
	Ön değerlendirmenin doğruluğunun kontrolü
Son değerlendirme yapılması, yayınların tamamlanması, AD Süreç Formu üretilmesi (AYMŞ)	AD Süreç Formunun ve çıkan yayınların etkinliğe ve limit/süre bilgilerinin doğruluğunun kontrolü
"Pending" AD listesi üretilmesi ve dağıtımı (AYMŞ)	"Pending" AD listesi kontrolü
AD ile ilgili gerekli işlemlerin yapılması	AD ile ilgili gerekli işlemlerin tam yapılıp yapılmadığının kontrolü
(Teknik Yetki Emri/Kart/Yazı/Teknik Bilgi Formu) (AYMŞ)	AD Memo kontrolü
Sonuç Bildirim Formlarının Teknik Başkanlığa günlük olarak teslim edilmesi (ABK)	Sonuç Bildirim Formlarının, Bakım Bilgi Sistemi tarafından üretilip, e-posta yoluyla gönderilen liste ile karşılaştırılmaları
	Sonuç Bildirim Formlarının bulgu olup olmaması açısından kontrolü
	Anlaşmalı Bakım Kuruluşu tarafından sağlanmayan Sonuç Bildirim Formlarının, Anlaşmalı Bakım Kuruluşuna haftalık ve aylık olarak e-posta yoluyla bildirilmesi
	Sonuç Bildirim Formlarında bulgu olanların Mühendislik Müdürlüğüne iletilmesi
	Sonuç Bildirim Formlarındaki bulgulara göre yapılan işlemin kontrolü ve Sonuç Bildirim Formu'na onay verilmesi
	Sonuç Bildirim Formlarının direktiflere uygun zamanda yapılıp yapılmadıklarının kontrolü

Sonuç Bildirim Formlarının Teknik Başkanlığa günlük olarak teslim edilmesi (ABK)	Bakım Bilgi Sisteminde görülen uygulama tarihi ile Sonuç Bildirim Formu üzerindeki uygulama tarihinin kontrolü, uygunsuzluk durumunda Anlaşmalı Bakım Kuruluşuna durumun düzeltilmesi amacıyla bildirimde bulunulması
	Sonuç Bildirim Formlarının arşivlenmesi



## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Çolak, B.**, Turbofan Uçak Motorlarının Uçuşa Elverişli Tutulması İçin Yeni Bir Motor Bakım Sisteminin Tasarımı ve Optimizasyonu, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 2016, **8** (29), 37-49



## ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Fethiye’de doğdu. İlköğrenimini muhtelif köy okullarında tamamladı. Ortaokulu Denizli Anadolu Lisesi, lise eğitimini Eskişehir Anadolu Teknik Lisesi’nde Uçak Bakım Teknisyenliği (Gövde-Motor) Bölümü’nde tamamladı. 1999 yılında girdiği Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı’ndan teknik öğretmen olarak mezun oldu. 2013 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi’nde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 1999 yılında Türk Hava Yolları’nda, Motor Revizyon Atölyesinde tahribatsız muayene teknisyeni olarak göreve başladı. 2010 yılında THY Teknik A.Ş. Eğitim Müdürlüğü bünyesinde sürekli eğitimler konusunda yetkili teknik eğitmen olarak görev aldı. Halen THY Teknik A.Ş. bünyesinde teknik eğitmen olarak görevine devam etmektedir.