

Gaz Türbinli Motorlarda Arıza Uyarı ve Kontrol Sistemi

Öncel Kamil Gökdoğan

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2010

Bu proje T.C Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından SANTEZ programı  
00180.STZ.2007-2 kapsamında desteklenmiştir.

Defect Warning And Control System Of Gas Turbine Engines

Öncel Kamil Gökdoğan

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Mechanical Engineering

January 2010

This project is supported by Republic of Turkey Ministry of Industry and  
Commerce within SANTEZ program number 00180.STZ.2007-2.

# Gaz Türbinli Motorlarda Arıza Uyarı ve Kontrol Sistemi

Öncel Kamil Gökdoğan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Konstrüksiyon-İmalat Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Y.Doç.Dr.Melih Cemal Kuşhan

Ocak 2010

## ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Öncel Kamil GÖKDOĞAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Gaz Türbinli Motorlarda Arıza Uyarı ve Kontrol Sistemi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd.Doç.Dr. Melih Cemal KUŞHAN

**İkinci Danışman** : -

### **Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

Üye : Prof.Dr. Soner ALANYALI

Üye : Yrd.Doç.Dr. Melih Cemal KUŞHAN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Osman N.ÇELİK

Üye : Yrd.Doç.Dr. Dilek TURAN

Üye : Öğr.Gör.Dr. Mustafa ULUTAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışmada gaz türbinli motorların çalışmasını kontrol altında tutarak, oluşabilecek arızaları önceden tespit eden, kullanıcıyı uyarın ve gerekli durumlarda arızanın oluşmasını veya büyümesini önlemek için müdahale edilmesini sağlayan arıza uyarı ve kontrol sistemi tasarımı incelenmiştir. M32-60A uçak çalıştırıcıları üzerindeki GTC-180 gaz türbinli motorlara ait kritik çalışma parametreleri ve bunlara ait tehlike sınır değerleri belirlenmiştir. Egsoz çıkış sıcaklığı, yağ basıncı, titreşim ve devir sayısı olarak belirlenen parametre değerleri; motora yerleştirilen uygun sensörler vasıtasıyla, tasarlanan bir arıza uyarı ve kontrol kutusundaki mikroişlemci tarafından tehlike sınır değerleri ile mukayese edilerek limite yaklaşma durumunda kullanıcıya ışıklı ikaz verecek; tehlike sınır değerini aşma halinde kullanıcı müdahalesine bırakmadan emniyetli bir şekilde motoru rölantiye alıp durduracaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Gaz Türbinli Motor, Egsoz Çıkış Sıcaklığı, M32-60A cihazı,

## SUMMARY

This study is about a defect warning and control system, which detects possible defects in advance by controlling gas turbine engines and which warns the user and ensures necessary intervention to prevent the defect from happening or growing is made.

The defect warning and control system is a product with a predicting maintenance approach which measures the oil pressure, exhaust gas temperature, vibration and engine speed parameters via sensors during the performance of the gas turbine engines, monitors the action and warns the user in case of danger. If the evaluated parameters reach critical values which may cause a defect, it detects this in advance and prevents unexpected defects.

The record function makes it possible to access information about the devices which were maintained before.

**Keywords:** Gas Turbine Engine, Oil Pressure, Exhaust Gas Temperature, Vibration, Engine Speed

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada büyük desteğini gördüğüm, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Y.Doç.Dr.Melih Cemal Kuşhan'a, çalışmamı destekleyen T.C.Sanayi ve Ticaret Bakanlığına, bremzede çalışma imkanı sağlayarak her türlü kolaylığı gösteren 1'inci Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanı Tümgeneral Semih Birdoğan ve Tümgeneral Tayfur Fikret Erbilgin'e, deneysel çalışmalarım sırasında teknik bilgi ve deneyimleri ile destek olan Mavi Havacılık Şirketi sahibi Yüksel Demirel'e, her zaman yanımda olan aileme ve manevi desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen sevgili eşim Şehvar Gökdoğan'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

**İÇİNDEKİLER****Sayfa**

<b>ÖZET .....</b>	<b>v</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>x</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....</b>	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GAZ TÜRBİNLİ MOTORLARIN TANITIMI .....</b>	<b>3</b>
Gaz Türbinli Motorun Tanımı .....	3
Gaz Türbinli Motorların Çalışma Prensipleri .....	3
Gaz Türbinli Motor Tipleri .....	6
<b>3. HARİCİ UÇAK ÇALIŞTIRICISI .....</b>	<b>11</b>
M-32A-60A Cihazı Tanıtımı .....	11
Motor.....	12
Jeneratör .....	12
Hava ve Elektrik Kısımları.....	12
Çalıştırma ve Kumanda Paneli .....	13



**İÇİNDEKİLER (devam)**

<b>4. ÇALIŞMA KONUSUNUN TESPİTİ .....</b>	<b>17</b>
<b>5. GTCP85-180 MOTORUNDA ARIZA UYARI VE KONTROL SİSTEMİ TASARIMI.....</b>	<b>21</b>
Çalışmanın Amacı .....	21
Tasarım Kriterleri .....	22
Kullanılacak Ünitelere Ait Tasarım Kriterleri.....	24
Sistemin Çalışması.....	26
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>35</b>
<b>7. KAYNAKLAR DİZİNİ .....</b>	<b>37</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Gaz Türbinli Motor .....	4
2.2	J-79 Turbojet Motoru.....	7
2.3	F110-129 Turbofan Motoru .....	8
2.4	PW-127J Turboprop Motoru .....	9
2.5	Turboşaft Motoru .....	10
3.1	M-32A-60A Cihazı .....	11
3.2	Motor Kontrol ve Kumanda Paneli .....	14
3.3	DC Kumanda Paneli .....	15
3.4	AC Kumanda Paneli .....	16
4.1	Aşırı Hararet Görmüş Motor Parçası.....	17
4.2	Düşük Yağ Tazyik Sonucu Oluşan Yatak Hasarı .....	18
4.3	Türbin Wheel Parçasında Sürtme.....	19
5.1	Gaz Türbinli Motorun Ana Üniteleri .....	27
5.2	Yağ Basınç Sensörü .....	28
5.3	Kullanılan Termokupil.....	29
5.4	Kullanılan Titreşim Sensörü .....	30
5.5	Kullanılan Takometre Jeneratör .....	31
5.6	Kontrol Ünitesi ve Kullanılan Sensörler .....	32
5.7	Tasarlanan Kontrol Ünitesi .....	34

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
°F	Fahrenheit

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
APU	Auxillary Power Unit
Btu	British Thermal Unit
CSD	Constant Speed Driver
DC	Doğru Akım
EGT	Exhaust Gas Temperature
G/F	Gayri Faal
GPU	Ground Power Unit
Hz	Hertz
IGV	İnlet Guide Vane
Lb/h	Pound/Saat
LCD	Liquid Crystal Display
LCV	Load Control Valve
Ppm	Parts per Million
Psi	Pound per Square Inch
RPM	Round Per Minute
V	Volt

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Bu çalışmada, gaz türbinli motorların koruma ve kontrolü için örnek seçilen bir motor üzerinde çalışılarak bir elektronik koruma ve kontrol ünitesi geliştirilmiştir. M32-60A tipi uçak çalıştırıcısı ve onun üzerinde bulunan GTCP85-180 motoru üzerinde çalışmalar yürütülmüş olup farklı tip ve model cihazlara da yaygınlaştırılması elde edilen sonuçlar neticesinde mümkün olacaktır.

Üzerinde gaz türbinli motora sahip olan uçak çalıştırıcılarında, motorun çalışmasını kontrol altında tutarak; LCD (liquid cristal display) ekranında tanımlanan arıza ile kullanıcılara; arızaya öngörülen müdahaleyi yapma ve sorunu giderme kabiliyeti kazandırmayı, kullanıcı seviyesi bakımları kolaylaştırıp, motoru faal tutarak askeri hareket kabiliyetini en üst seviyede tutmayı, motor çalışması esnasında oluşabilecek limit harici çalışma parametrelerine sistemin derhal müdahale etmesi sonucu tamirlik malzemelerde hasarlanma ve kal (servis dışı kalma) oranlarını minimuma indirerek maksimum tasarruf sağlamayı, tanımlı arıza (troubleshooting) ile değiştirilecek ünitelerini derhal tespit ederek gerekli müdahaleyi yapıp G/F (gayri faal) süreyi minimuma indirmeyi, motorlarda oluşabilecek arızaların kullanıcı seviyesinde giderilmesiyle, revizyon aralığını uzatmayı, revizyon aralığının uzaması sonucu sarf malzeme, tamir, test ve işçilikten maksimum oranda tasarruf sağlamayı, veri arıza kayıt fonksiyonunun lojistik bilgi sistemiyle entegrasyonu sonucu, envanterdeki bütün GTC P85-180 motorlarını sürekli kontrol ederek, bu motorlara ait malzeme temin planlamasını ve bakım planlamasını ihtiyaca göre gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada; seçilen GTCP85-180 modeli gaz türbinli motorun, kritik çalışma parametrelerinin belirlenmesini belirlenen parametrelerin ölçümünü yapacak sensörlerin seçilmesini, kullanılacak bu sensörlerden değerleri alıp analiz edecek bir mikroişlemci ve bu işlemcinin kullanacağı bir yazılımın oluşturulmasını, motor üzerinde tüm sensörlerin ve kontrol ünitesinin deneysel olarak bremzede test edilmesini ve bu motorun kullanıldığı M32-60A cihazında gerekli elektriksel tadilat yaparak cihaz üzerinde deneysel çalışmanın tamamlanmasını kapsamaktadır.

Bölüm 1’de konuya giriş yapılmış, gaz türbin motorların tanıtımı, genel çalışma prensipleri ve kullanım alanları Bölüm 2’de anlatılmıştır. Bölüm 3’te ise Harici Uçak Çalıştırıcıları ve bunlara ait sistemlerden bahsedilmektedir. Bölüm 4’te çalışma konusunun tespiti ve çalışma ihtiyacını oluşturan nedenlere değinilmiştir. Bölüm 5’te tasarlanan GTCP85-180 motorunda arıza uyarı ve kontrol sistemi anlatılmaktadır. Sonuçlar ve öneriler ise Bölüm 6’de açıklanmaktadır.

## BÖLÜM 2

### GAZ TÜRBİNLİ MOTORLARIN TANITIMI

Bu bölümde havacılıkta kullanılan gaz türbinli motorların genel tanıtımı yapılacaktır. Gaz türbinli motorların çalışma prensipleri basit olarak anlatılacak ve gaz türbinli motor tipleri, birbirlerinden farkları ve havacılıktaki kullanım alanlarından bahsedilecektir.

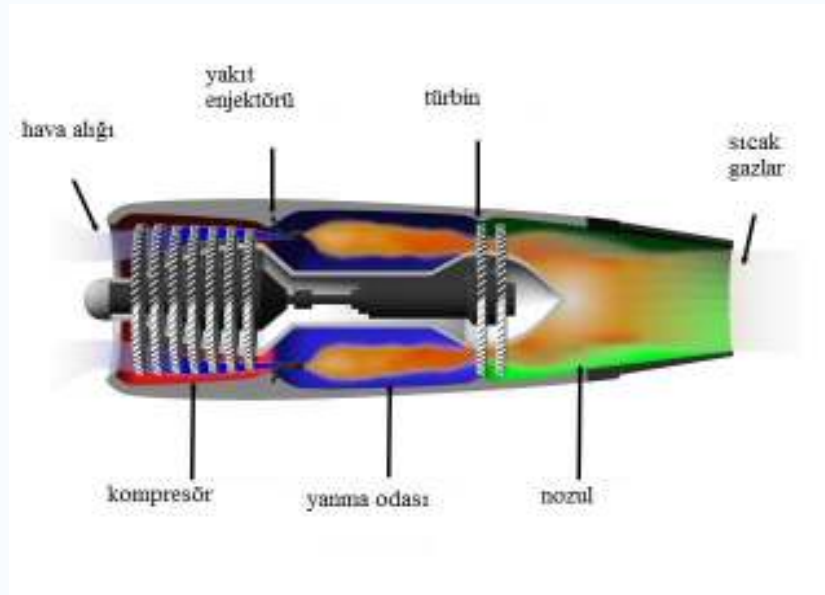
#### 2.1. Gaz Türbinli Motorun Tanımı

Bir gaz türbinli motor, yanma sonucu oluşan gazın arkaya doğru harekete zorlama yoluyla, öne doğru bir itki üreten mekanik bir cihazdır. Bu tasarım her etkiye eşit miktarda ve ters yönde bir tepki oluşması prensibine dayanır. Gaz türbinli motorlarda havacılıktaki kullanım adıyla turbojet motorlarında bahse konu olan etki, büyük miktardaki egzoz gazının motordan dışa doğru çıkmaya zorlanması ile oluşur. Bir başka deyişle, uçağın hızına bağlı olarak motora hava alğından belli hızda hava girer, giren bu hava ile birlikte yanma sonucu oluşan gazlar çok daha yüksek hızda motorun arkasından çıkmaya zorlanır. Büyük miktarlardaki gazın dışarı atılmasına tepki olarak motor ve motorun bağlı olduğu uçakta öne doğru bir kuvvet oluşur. Üretilen kuvvetin veya itkinin büyüklüğü, motorun içinden geçen havanın miktarındaki büyüklüğe ve bu havanın motor içinde ne kadar hızlandırılarak dışarı atıldığına bağlıdır.

#### 2.2. Gaz Türbinli Motorların Çalışma Prensipleri

Gaz türbinli motorun veya turbojet motorun temel olarak çalışması oldukça basittir. Hava sıkıştırılarak türbinin içine kadar getirilir, bu hava ile yakıt karıştırılarak

yakılır ve çıkan sıcak egzoz gazları motorun arkasından dışarı atılır. Turbojet motorun parçaları, kullanılan yakıttan maksimum itkiyi elde etmek için yakıt enerjisini hareket enerjisine çevirmede birlikte çalışır.



Şekil 2.1: Gaz Türbinli Motor (www.designengine.com)

Bir gaz türbinli motor üç ayrı bölümden oluşur:

- Kompresör
- Yanma odası
- Türbin

Ayrıca motor sıcak kısım ve soğuk kısım olmak üzere ikiye ayrılır. Motorun ön tarafında kompresör yer alır ve bu bölüm soğuk kısım olarak adlandırılır. Yanma odası ve türbin ise sıcak kısmı oluşturur. Kompresör bir dizi fan gibi çalışarak dakikada birkaç ton havayı sıkıştırarak yanma odasına gönderir. Nozullar yardımıyla yakıt yanma odasına püskürtülür, buji ile oluşturulan ateşleme yardımıyla yakıt-hava karışımı sıcak egzoz gazları oluşturur. Bu gazlar genişler ve motorun arkasından atılır. Egzoz gazları motordan ayrılırken yanma odasının hemen arkasındaki türbini döndürür. Şaft yardımıyla türbindeki dönü hareketi kompresöre iletilir ve çevrim tamamlanmış olur. Türbinden geçen sıcak gazlar genişlemeye devam eder ve egzoz nozulundan yüksek hızla çıkarken uçağı ileri doğru iten bir kuvvet yaratır.

Gaz türbinleri, bünyesinde açığa çıkan ısı miktarı ile orantılı iş üretir. Bu sebeple motorda, büyük çoğunluğu yakıtın yanmasıyla bir kısmı da kompresörde havanın sıkıştırılması ile elde edilen üretilen ısı üzerinde çalışmak önem kazanır. Sıradan bir termometre gaz sıcaklığını gösterir fakat işe yarar ısı miktarını göstermez. Isı doğrudan ölçülemez, bilinen üç niceliğin hesaplanması ile çıkarılır:

- Sıcaklık
- Kütle (veya ağırlık)
- Spesifik ısı

Isının niteliği tam olarak bilinmese de, ısı içeriğindeki hangi değişikliklerin hesaplanabilir olduğu uluslar arası standartlarda belirlenmiştir. İngiliz sistemindeki standart uluslararası kabul edilmiş olup bu British Thermal Unit (Btu)'dur.

Biri saatte 10000 lb/h yakıt kullanan diğeri 1000 lb/h yakıt kullanan iki turbojet motor olduğunu varsayalım. Her iki motor da aynı türbin giriş sıcaklığında çalışıyor olsun. Bu eşitliğe rağmen daha büyük olan motor küçüğüne göre 10 kat daha fazla iş yapar çünkü aynı sıcaklıkta 10 kat daha fazla ısı ortaya çıkar. Bu örnek ısı ve sıcaklığın ilişkili olsa da farklı kavramlar olduğunu ortaya koyar.

İçten yanmalı motorlar ve gaz türbinli motorların her ikisi de ısı motorları olarak kabul edilir. Her ikisi de yakıt-hava karışımını yakarak güç veya itki üretir. Her ikisi



de genişleyen gazların enerjisini itici bir kuvvete çevirir. İçten yanmalı motorlar bunu, yanma enerjisini dönü olarak kullanılan mekanik enerjiye çevirir. Gaz türbinli motorlarda yanma yoluyla elde edilen enerjinin çok az bir kısmı itici güç olarak değerlendirilir. Temel turbojet konfigürasyonunda olan bir gaz türbininde, elde edilen itici gücün büyük kısmı motora giren havanın ivmelendirilmesiyle elde edilir.

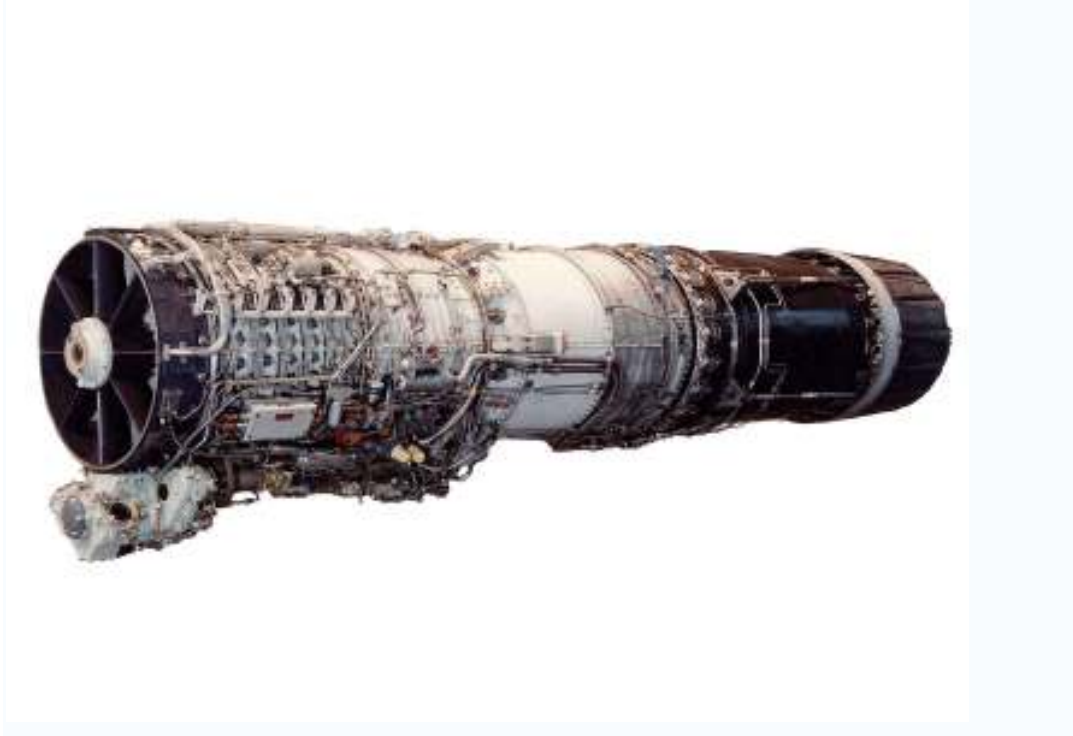
Turbojet motoru bir ısı motoru olduğundan; yanma sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, gazların genişmesi o oranda fazla olur. Yine de yanma sıcaklığı türbin kısmının malzeme ve dizayn parametrelerine uygun olan değerleri aşmamalıdır.

### **2.3. Gaz Türbinli Motor Tipleri**

Gaz türbinli motorlar, değişik mekanik konfigürasyona sahiptir. Uçaklardaki gaz türbinli motorlar genellikle dört gruba ayrılır: Turbojet, turbofan, turboprop, turboshaft. Bütün tipteki motorlar için gerekli temel komponentler aynıdır, bunlar: Kompresör, yanma odası, kompresörü çevirmeye yarayan türbin ve egzozdur. Motorlar arasındaki fark, bu komponentlerin yerleşim farkından kaynaklanmaktadır.

#### **2.3.1. Turbojet Motorlar**

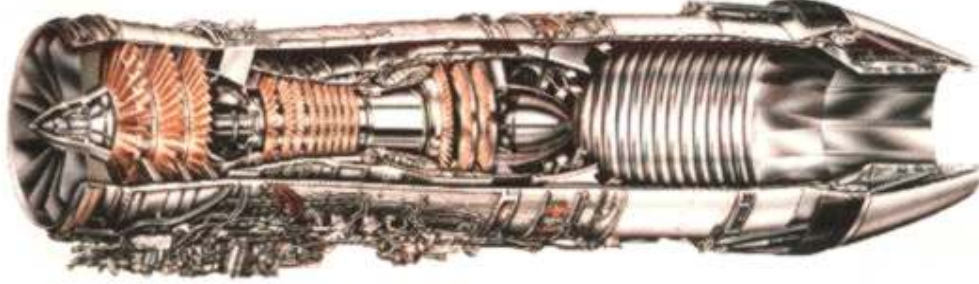
Turbojet motoru, sıcak gazların motordan dışarı atılırken itki üreten bir gaz türbinli motordur. Bu motor, ilk başarılı gaz türbin motor tipi olmasına rağmen yakıt verimliliği nedeniyle çoğu uçakta turbofan motoru ile değiştirilmiştir. Yine de çoğu uçakta kullanılmaya devam edilmektedir.



**Şekil 2.2: J-79 Turbojet Motoru (qaviation.com)**

### **2.3.2. Turbofan Motorlar**

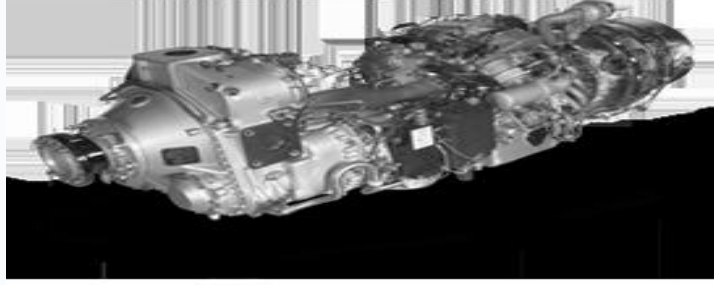
Turbofan motoru, turbojet ve turboprop motorlarının bir karışımı olarak düşünülebilir. Turboprop motoru, dişli kutuları yardımıyla pervanesine uygun hız sağlayan bir motordur. Pervane, motorun hızlandığı büyük hava kütesinin ivmelenmesine yardımcı olur. Turbofan motoru ise turboprop motora göre motora giren hava kütesini daha az ivmelendirir ancak turbojete göre motora giren hava kütesini daha çok ivmelendirir.



Şekil 2.3: F-110-129 Turbofan Motoru ([www.aircraftenginedesign.com](http://www.aircraftenginedesign.com))

### 2.3.3. Turboprop Motorlar

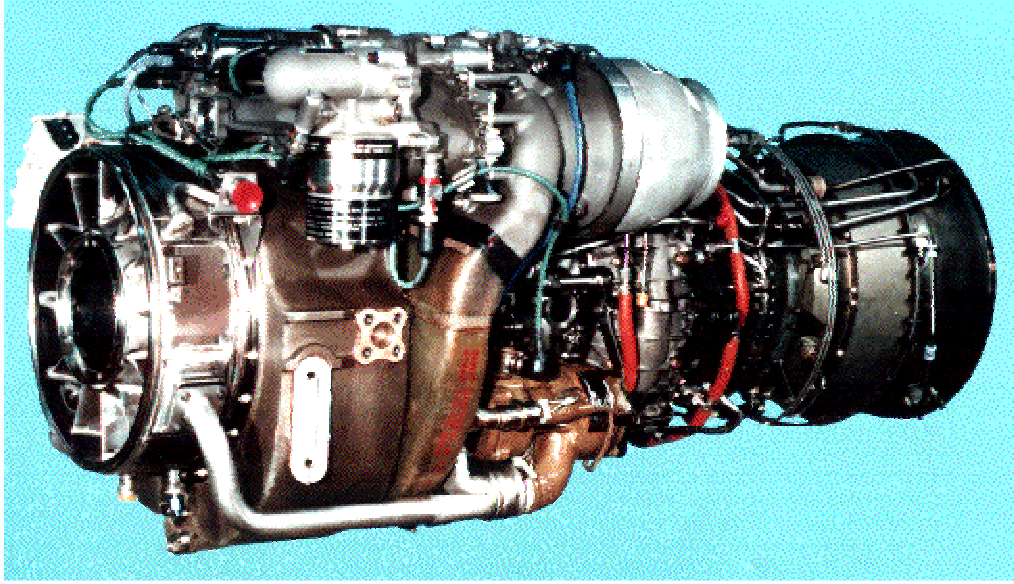
Turboprop motoru, öndeki pervaneyi döndüren dişli kutusunun takılı olduğu turbojet motorundan başka bir şey değildir. Bu motor, egzozdan çıkan gaz enerjisinin büyük çoğunluğunu pervaneyi döndürmek için kullanır. Böylece sıcak gazların egzozdan atılmasıyla çok az bir itki elde edilir. Egzoz gazları toplam enerjinin %10'una sahiptir. Kalan %90 enerji pervane ve kompresörü döndüren türbinden sağlanır.



Şekil 2.4: PW127J Turboprop Motoru ([www.pratt-whitney.com](http://www.pratt-whitney.com))

#### 2.3.4. Turboşaft Motorlar

Turboşaft motoru, gücünü bir çıkış şaftına ileten gaz türbin motorudur. Bu motorda turboprop motora benzer olarak egzoz enerjisinin büyük çoğunluğunu çıkış şaftını döndürmede kullanılır. Bu tip gaz türbin motorları, havacılıkta genellikle helikopterlerde ve ticari ve askeri uçakları yerde ilk çalıştırmaya yarayan yardımcı güç ünitelerinde (APU : Auxillary Power Unit) kullanılır.



Şekil 2.5: T-700 Turboşaft Motoru ([www.turbokart.com](http://www.turbokart.com))

## BÖLÜM 3

### HARİCİ UÇAK ÇALIŞTIRICISI

Üçüncü ve dördüncü bölümde uçak üzerinde bulunan gaz türbin motorlu yardımcı güç üniteleri ve bunlara ait alt sistemlerden bahsedilmişti. Bu bölümde ise, aynı hava ve elektrik sağlama görevi yapan GTCP85-180 model gaz türbin motorlu harici yer destek cihazı olan M-32A-60A model uçak çalıştırıcısı ele alınacaktır.

Ele alınacak GTCP85-180 motoru, ticari uçaklarda uçak üzerinde kullanılmakta iken; bazı askeri uçakların yerde çalıştırılması için kullanılan yer destek teçhizatlarından M-32A-60A cihazı üzerinde de bulunmaktadır.

#### 3.1 M-32A-60A Cihazı Tanıtımı

M-32A-60A cihazı, 4 lastik tekerlekli treyler üzerine monte edilmiş; GTCP85-180 gaz türbin motoru ve üzerinde takat jeneratörü olan bir uçak çalıştırıcı cihazdır.



Şekil 3.1: M-32A-60A Cihazı([www.creativecrash.com](http://www.creativecrash.com))

Cihazın dışarı verebildiği pnömatik hava takatı 150 ppm kapasitede olup, ayrıca 120/208 Volt 3 faz 400 saykıl alternatif (AC) 75 kWA kapasitesi ile üzerindeki transformer rectifier ünitesi yardımıyla AC takat DC 'ye çevrilerek  $28 \pm 0,5$  Volt 200-300 Amper doğru akım elektrik takatı verebilen seyyar bir cihazdır.

M-32A-60A uçak çalıştırıcı cihazı; şase, kaporta, motor, jeneratör, hava ve elektrik servis kısımları ile çalıştırma ve kumanda panelinden meydana gelir.

### **3.2 Motor**

M-32A-60A cihazı üzerinde bulunan motor; radyal tip dış hava akışlı iki kademeli bir kompresör ile radyal tip, iç hava akışlı türbine sahiptir. Motorun tam gaz devri  $42000 \pm 100$  Rpm olup 200 Hp gücündedir.

### **3.3 Jeneratör**

M-32A-60A cihazı üzerinde aksesuar dişli kutusuna bağlı 6000 devirli üç fazlı  $120/208 \pm 0,5$  Volt,400 saykıl 75kWA (75000 Watt) gücünde, kendinden ikazlı, fırçasız tip AC (alternatif)akım jeneratörü bulunur.

Transformer rectifier ile AC takat DC'ye çevrilerek  $28 \pm 0,5$  Volt devamlı olarak 200-300 Amps, 2 dakika 750 Amps, 20 saniye ise 1000 Amper /saat süreyle doğru akım elektrik takatı verebilir.

Jeneratör üretmiş olduğu elektrik takatını, kendi bataryasının şarj edilmesinde, dışarıya kendi elektrik takat kablosu ile üç faz veya harici takat verme prizlerinden ekstra bir takat kablosu ile üç faz ve tek faz AC ile DC elektrik takatını servis edebilir.

### **3.4 Hava ve Elektrik Servis Kısımları**

GTCP85-180 gaz türbin motoru hava startlı jet uçaklarının çalıştırılması için yüksek debide alçak basınçlı pnömatik güç üretir. Üretilen pnömatik gücün (hava takatı) uçağa emniyetli olarak gönderilmesi için ayrı bir sistem yer alır. Bu sistemin parçaları;

- Farklı Basınç (Tazyik) Regülatörü
- Yük Kontrol Valf asamblesi
- Servis Hortumu ve Bağlama aparatıdır.

M-32A-60A uçak çalıştırıcısı ayrıca uçağa elektrik takatı da verebilen bir cihazdır. Bu sistemin parçaları ise;

- AC Takat Jeneratörü
- Transformer Rectifier Ünitesi
- AC ve DC Kontrol ve Kumanda Paneli
- Servis kablosu,, harici takat paneli ve prizleridir.

### **3.5 Çalıştırma ve Kumanda Paneli**

M-32A-60A uçak çalıştırıcısı cihazın kontrol ve kumanda paneli üç ayrı bölümden meydana gelir. Bunlar ait oldukları sistemi kontrol eder. Bu panellerle ilgili ayrıntılı bilgi takip eden başlıklar altında verilecektir.

#### **3.5.1. Motor Kontrol ve Kumanda Paneli**

Motorun ilk hareketini, çalıştırılmasını çalışma durumunun izlenmesini ve pnömatik hava takatının kontrol ve kumanda edilmesini sağlar. Panel üzerinde motorun devir, egzoz sıcaklık, ve hava takatının çıkış basıncını gösteren üç adet gösterge, üç adet ikaz lambası ve siviç bulunur.





**Şekil 3.2: Motor Kontrol ve Kumanda Paneli**

Şekil 3.2 Panel üzerindeki Master switch cihazın ana şalteridir, 'ON' yapıldığında motor yakıt pompasını ve diğer tüm elektrik sistemi besler. Türbin start siviçi motorun çalıştırılmasını sağlar. Hava takat siviçi diğer siviçlerden farklı olup, emniyet için kapaklıdır. Hava takatinin uçağa gönderilmesini sağlar. Panel aydınlatma siviçi gece çalıştırmalarında tüm panellerin aydınlatmasını sağlar. Starter 'ON' lambası ise starterin %35 RPM'de devrede olduğunu ve devreden çıktığını gösterir.

Yeşil renkli READY TO LOAD lambası yandığında motorun uçağa hava vermeye hazır hale geldiğini yani devrin %95 RPM'e ulaştığını gösterir.

### **3.5.2. DC Kumanda Paneli**

DC elektrik takatının durumunun izlenmesi, kontrol ve kumanda edilmesini sağlar. Panel üzerinde DC elektriğin voltajını ve amperini gösteren iki adet gösterge ve siviç bulunur. Ayrıca üzerinde bir adet ikaz lambası ile elektrik sistem devre kesicisi bulunur.

DC Kontaktör siviçi ON ve OFF olmak üzere iki konumludur. DC elektrik takatının dışarı verilmesini sağlar. DC CONTACTOR CLOSED lambası, DC takatın

dışarı verildiğinde yanar. Devre kesicisi tüm elektrik sisteminin sigortası olup 20 Amper değerindedir.

Voltaj ve amper göstergeleri ise DC elektrik takatının voltajını ve amperini gösterir. DC ampermetre, DC takatın dışarı verilirken çekilen amperi, normal durumda ise bataryaların şarj olma miktarını gösterir.



**Şekil 3.3: DC Kumanda Paneli**

### 3.5.3. AC Kumanda Paneli

AC elektrik takatın durumunun izlenmesini, kontrol ve kumanda edilmesini sağlar. Panel üzerinde AC elektriğin voltajını, frekansını ve amperini gösteren üç adet gösterge ve siviç bulunur. Ayrıca üzerinde bir adet ikaz lambası, voltaj ayar reostası selektör siviç ve takat durum siviçi bulunmaktadır.

AC kontaktör siviçi CLOSED-OFF-RESET olmak üzere üç durumlu bir anahtar olup, 'RESET'ten 'OFF' durumuna yay yüklüdür. RESET durumunda jeneratörün

sargılarını ikazlar jeneratörün üretime geçmesini sağlar. CLOSED durumu kontakların kapalı olduğu anlamına gelir, jeneratör takatinin dışarı verilmesini sağlar.

Yeşil renkli ikaz lambası AC kontaktör CLOSED yapıldığı zaman yanar. AC takatin dış devreye gönderildiği gösterir. Göstergeler AC elektrik takatinin voltajını, frekansını ve amperini gösterir.

Voltaj ayar reostası jeneratörün çıkış voltajını küçük miktarlarda ayarlanmasını sağlar. Faz seçici selektör siviç, üç konumlu bir anahtar olup jeneratörün her fazın teker teker voltaj ve amperinin ölçülmesini sağlar.

Uçak durum siviç, AC takat verilecek uçak tipine göre uçaktaki bas rölesi nereden enerjileneceğini belirler. Uçak durum siviç, GEN-POWER durumuna alındığında cihaz tarafından, ACFT-POWER durumuna alındığında ise uçağın kendi aküsü tarafından enerjilenecek uçak sistemine elektrik takatini kabul eder.



**Şekil 3.4: AC Kumanda Paneli**

## BÖLÜM 4

### ÇALIŞMA KONUSUNUN TESPİTİ

Bölüm 3’de bahsedilen harici uçak çalıştırıcılarının gaz türbin motorları için en önemli çalışma parametreleri, egzoz sıcaklığı (EGT), yağ basıncı, titreşim ve motor devri olduğu açıkça görülmektedir.

Arıza kaynaklı büyük tamir ve revizyona alınan GTCP85-180 motorlarında tamir ve revizyon esnasında yapılan keşif ve kontrol işlemlerinde çıkan bulgular; bu dört parametrenin takip ve kontrol edilmesi halinde plansız bakım ile sonuçlanan arızaların ve kullanıcı hatalarından kaynaklı aksaklıkların minimum seviyeye indirileceği anlaşılmaktadır. Bu dört parametre ile ilgili yapılan atölye çalışmaları ve bremze istatistikleri incelendiğinde özetle elde edilen bulgular aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

1. Bu parametrelerden egzoz sıcaklığı belirli bir limit değerinin üstüne çıktığında, motorun en önemli parçalarının bulunduğu türbin kısmında onarılması mümkün olmayan hasarlar oluşabilmektedir. Yapılan atölye incelemelerinde, yakıt akışını ayarlayan atomizer ünitesinin fazla veya düzensiz yakıt püskürtmesi kök neden olarak karşımıza çıkmaktadır.



**Şekil 4.1: Aşırı Hararet Görmüş Motor Parçası**

2. Diğer taraftan, yağ basıncının çalışma değerlerinin altına dışmesi sonucunda, yetersiz yağlama oluşacağı suretle, yataklar ve dolayısıyla da motorun tım hareketli aksamı (dişli kutusu, kompresör ve tırbin gibi) ciddi oranda zarara uğrayabilmektedir. Yapılan atölye incelemelerinde yağ filtresinin tıklalı olması, yağ pompasının arızalı olması, kompresör yataklarındaki karbon seallerde kaçak olması ve yağ servisinin ihtiyacın üzerinde yapılması; yağ basıncının limit değerleri dışına çıkmasına yol açan bazı nedenler olarak göze çarpmaktadır.



**şekil 4.2: Düşük Yağ Tazyik Sonucu Oluşan Yatak Hasarı**

3. Aynı şekilde titreşimin aşırı olması da yataklara zarar vererek balansızlığa sebep olmakta ve bunun sonucu olarak da motorda sürtmeler ve hasarlar oluşabilmektedir.

Yapılan atölye çalışmaları kapsamında dişli kutusunun hatalı montajı boşluk yaratarak titreşimin başlangıç nedeni olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.3: Türbin Wheel Parçasında Sürtme**

4. Son olarak, 30.000-60.000 RPM gibi çok yüksek devirlerde çalışan uçak çalıştırıcı motorlarının yüklerini almasını sağlamak amacıyla başlatıcıların devri de bu cihazlarda hayati bir öneme sahiptir. Zira, normal şartlar altında bahsedilen başlatıcı, uçak çalıştırıcı motoru kendi normal çalışma devrinin (30.000 - 60.000 RPM) yaklaşık %35'ine ulaştığı anda devreden çıkmak zorundadır ve herhangi aksi bir durumda başlatıcı uçak çalıştırıcı motorunun yüksek devrine dayanamaması nedeniyle tüm başlatıcı aksamının parçalanmasına ve başlatıcıya yakın olan tüm birimlerin de büyük zarar görmesi sebep olmaktadır. Böyle bir durum her bir parçası binlerce dolar değerinde olan uçak çalıştırıcı motorlarında tolere edilemeyecek maliyetlere neden olmaktadır. Atölye çalışmalarından edinilen tecrübe göstermektedir ki starter devre kesicisindeki elektrik arızası temel neden olarak göze çarpmaktadır.

Açıktır ki, bahsi geçen bu dört parametrenin kontrolü gerçekten bu gaz türbin motorlu yardımcı güç üniteleri ve uçak çalıştırıcıları için hayati bir önem taşımaktadır. Mevcut uygulamalarla, her ne kadar pistonlu uçak motorları veya elektrik motorları gibi motorlar için tasarlanmış arıza erken uyarı sistemleri kullanılıyor olsa da, yardımcı güç üniteleri ve uçak çalıştırıcı cihazlar için böyle bir uygulama şu ana kadar gerçekleştirilmemiştir. Diğer taraftan, hâlihazırdaki bahsedilen arıza erken uyarı sistemleri sadece arıza olduğunu bildirmekte ancak arızanın kaynağı çözümü konusunda herhangi bir bilgi vermemektedir.

Sonuç olarak, yukarıda bahsedilen parametreleri sürekli izleyerek ve kontrol altında tutarak yardımcı güç ünitelerinin çalışmasının kontrol altına alınması yukarıda bahsedilen tüm dezavantajları ortadan kaldıracaktır.

## BÖLÜM 5

### GTCP85-180 MOTORUNDA ARIZA UYARI VE KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

#### 5.1. Çalışmanın Amacı

Yapılan çalışmanın konusu bahsedilen tüm dezavantajları ortadan kaldıran, gaz türbinli motorlar için bir arıza erken uyarı ve kontrol sistemi tasarımıdır.

Çalışmanın amacı, bahsedilen gaz türbinli motorların çalışmasını kontrol altında tutarak, oluşabilecek olası arızaları önceden tespit ederek kullanıcıyı uyarmak ve gerektiği durumlarda gerekli müdahaleleri yaparak arızanın oluşmasını veya büyümesini önlemektir. Bunu gerçeklemek için, gaz türbinli motora ait kritik sınır çalışma parametreleri ve motora zarar verebilecek tehlike sınır değerleri belirlenmesi ile başlanacaktır. Ardından motorun uygun bölgelerine ilgili sensörler yerleştirilecek ve bu sensörlerden alınan veriler, belirlenen parametre değerleriyle karşılaştırılarak elde edilen sonuca göre gaz türbinli motorun elemanlarına gerekli müdahaleler yapılması planlanmaktadır.

Çalışmanın bir diğer amacı ise, gaz türbinli motorların çalışması sırasında tespit edilen arızalara ve yapılan müdahalelere ait verilerin kayıt altına alınmasını ve bu sayede herhangi bir kullanıcının veya teknisyenin istediği anda bu cihaza ait geçmişini kolaylıkla görebilmesini veya oluşan hataların nereden kaynaklandığı ve nasıl çözülebileceği hakkında bilgi sahibi olmasını sağlamaktır.



## 5.2. Tasarım Kriterleri

Çalışma temel olarak gaz türbinli motorun çalışmasını izlemek ve kontrol etmek için bir metottur. Yapılan çalışma;

- Gaz türbinli motorun yağ basıncı, egzoz sıcaklığı, devir ve sarsıntı parametrelerinin her biri için en az bir adet sınır parametre değerinin belirlenmesi
- Gaz türbinli motorun yağ basıncının, egzoz sıcaklığının, devrinin ve sarsıntı parametrelerinin ilgili sensörler kullanılarak ölçülmesi,
- Kontrol ünitesi vasıtalarıyla ölçülen parametre değerleriyle o değerlere ilişkin belirlenen sınır parametre değerlerinin karşılaştırması ve ölçülen değerlerden en az biri kendisi için belirlenen sınır parametre değerine ulaşmışsa gaz türbinli motora müdahale edilmesi adımlarını içerir.

İzlenecek parametreler, her bir parametreyle ilgili olarak bir ön uyarı vermek amacıyla belirlenen kritik sınır değerleri ve gaz türbinli motorun tehlikeye girdiğini ifade eden tehlike sınır değerleri olarak iki ayrı değerden oluşmaktadır.

Yağ basıncı kendisi için belirlenen bir kritik sınır değer altına düştüğünde kontrol ünitesince bir uyarı verilmesi sağlanmakta ve yağ basıncı bu parametre için belirlenen tehlike sınır değerinin altına düştüğünde de bir tehlike uyarısı verilmekte ve motor durdurulacaktır.

Egzoz sıcaklığı kendisi için belirlenen bir kritik sınır değer üstüne çıktığında kontrol ünitesince bir uyarı verilmesi sağlanacak ve bu parametre için belirlenen tehlike sınır değerine ulaştığında da bir tehlike uyarısı verilecek, motor yükten düşürülerek egzoz sıcaklığı belirli bir değere düşene kadar bu halde çalıştırılacak ve ardından tamamen kapatılacaktır.

Motor sarsıntı parametresi kendisi için belirlenen bir kritik sınır değer üstüne çıktığında kontrol ünitesince bir uyarı verilmesi sağlanacak ve bu parametre için

belirlenen tehlike sınır değerinin üstüne çıktığında da bir tehlike uyarısı verilerek motor durdurulacaktır.

Motor devir parametresi, motor başlatıcısının motora yükünü aldırdıktan sonra devreden çıkmasının gerektiği motor devir değeri baz alınarak belirlenmektedir.

Motor devri, başlatıcının motordan ayrılması gerektiği bir kritik sınır değerinin üstüne çıktığında, başlatıcı hala ayrılmamışsa kontrol ünitesince bir uyarı verilmesi sağlanacak ve motor devri kendisi için belirlenen tehlike sınır değerinin üstüne çıktığında hala başlatıcı devrede ise bir tehlike uyarısı verilerek başlatıcı devreden çıkarılacaktır.

Motor manuel olarak kapatıldığı zamanlarda da, bahsedilen kontrol ünitesince motorun önceden belirlenen bir süre boyunca yükten düşürülmüş halde çalıştırılarak soğutulması ve sonrasında tamamen kapatılması sağlanacaktır.

Gaz türbinli motorun çalışması sırasında parametrelere ait elde edilen ölçüm değerleri bir veri toplama cihazınca alınarak bir veritabanına sürekli olarak kaydedilecektir.

İncelenen parametrelerin normal çalışma değerlerinin dışına çıktığı durumlarda oluşan arızalar ve oluşma zamanları, bu arızalara karşı gaz türbinli motora yapılan manuel veya tasarlanacak kontrol ünitesi tarafından yapılan müdahaleler ve müdahale sonucu karşılaşılan sonuçlar bir veritabanına kaydedilecek ve bu sayede bir kullanıcı istediği zamanlarda ilgili gaz türbinli motora ait geçmişi her türlü detaylarıyla görebilecektir.

Oluşabilecek arızalar ve bu arızalara karşı yapılabilecek müdahaleler bir veritabanında tanımlanmakta ve bu sayede çalışma sırasından herhangi bir arıza durumunda kullanıcıya bir ekran üzerinden arızayı tespit etme ve giderme konusunda yardımcı olunacaktır.

Kontrol ünitesi motor kararlı bir hale geldikten sonra devreye girecektir.

### 5.3. Kullanılacak Ünitelere ait Tasarım Kriterleri

Motordaki yağ basıncı ölçmek için bir yağ sensörü, motorun egzoz sıcaklığını ölçmek için bir sıcaklık sensörü, motorun sarsıntı değerlerini ölçmek için bir sarsıntı sensörü, motorun devir değerlerini ölçmek için en az bir devir sensörüyle beraber;

Sensörlerden ölçülen değerleri her bir sensör parametresine ilişkin önceden belirlenen sınır değerleriyle karşılaştırmak ve bu değerlere ulaşıldığı tespit edildiğinde, tespit edilen değerın büyüklüğüne göre gaz türbinli motora gerekli müdahaleyi yapmak için kontrol ünitesi tasarımıda kullanılacak başlıca ünitelerdir.

Ayrıca motorun çalışması sırasında sensörlerden ölçülen değerler, kendilerine ilişkin kritik sınır veya tehlike sınır değerlerine ulaştığında kullanıcıyı uyarmak için uyarı vasıtaları yapılandırılmıştır. Uyarı vasıtaları her bir sensör parametresi için ayrı yapılandırılmış ışıklı göstergelerdir.

Yağ sensörü motorun, yağ pompasının çıkışına paralel şekilde yerleştirilmiş bir yağ basınç probudur.

Sıcaklık sensörü motor egzoz çıkışına yerleştirilmiş, egzoz sıcaklığına göre değişen bir elektriksel sinyal üreten ve gaz türbinli motorlarda halihazırda bulunan bir termokupıldır.

Sarsıntı sensörü motorun sarsıntı miktarına göre değişen bir elektriksel sinyal üreten, motor üzerine bağlanan bir sarsıntı algılayıcıdır.

Devir sensörü gaz türbinli motorlarda hali hazırda bulunan ve motorun devrini ölçen bir takometre jeneratörüdür.

Kontrol ünitesi vasıtalarından biri olan sıcaklık sensöründen ölçülen egzoz sıcaklığı değeri belirlenen kritik sınır değerin üstüne çıktığında ilgili uyarı vasıtalarına bir ön uyarı vermeleri için bir sinyal göndermekte, tehlike sınır değerine ulaşıldığında

da tehlike uyarısı verilmesi için uyarı vasıtalarına bir sinyal göndermekte ve ardından da yük kontrol valfinin kapatılması ve bir süre motorun bu halde çalıştırılması için yük kontrol valfine sinyal göndermekte ve bahsedilen süre bittikten sonra motoru ana şalterden kapatmaktadır.

Kontrol ünitesi vasıtalarından biri olan yağ sensöründen ölçülen yağ basınç değeri belirlenen kritik sınır değerin altına düştüğünde ilgili uyarı vasıtalarına bir ön uyarı vermeleri için bir sinyal göndermekte, tehlike sınır değerine ulaşıldığında da tehlike uyarısı verilmesi için uyarı vasıtalarına bir sinyal göndermekte ve ardından motoru ana şalterden kapatmaktadır.

Kontrol ünitesi vasıtalarından biri olan sarsıntı sensöründen alınan motor sarsıntı değeri, belirlenen ilgili kritik sınır değerin üstüne çıktığında uyarı vasıtalarına bir ön uyarı vermeleri için bir sinyal göndermekte, tehlike sınır değerine ulaşıldığında da tehlike uyarısı verilmesi için uyarı vasıtalarına bir sinyal göndermekte ve ardından motoru ana şalterden kapatmaktadır.

Kontrol ünitesi vasıtalarından biri olan devir sensöründen alınan motor devir değeri, motorun başlatıcısının devre dışı kalmasının gerektiği belirlenen ilgili kritik sınır değerin üstüne çıktığında uyarı vasıtalarına bir ön uyarı vermeleri için bir sinyal göndermekte, devir ilgili tehlike sınır değerine ulaşıldığında da tehlike uyarısı verilmesi için uyarı vasıtalarına bir sinyal göndermekte ve ardından başlatıcı rölesinin beslemesini keserek başlatıcıyı devreden çıkarmaktadır.

Kontrol ünitesi, motor ana şalterden manuel olarak kapatıldığında, önce LCV'yi kapalı değilse kapatılmakta, sonra motorun önceden belirlenmiş bir süre boyunca LCV kapalı halde çalışmasına izin vermekte ve sonrasında ana şalterden motoru kapatmaktadır.

Kontrol ünitesi, girişleri sensörlere ve çıkışları da motor ana şalterine, motor yük kontrol valfine ve uyarı cihazlarına elektriksel olarak bağlı olan, sensör parametrelerine ait kritik sınır değerleri ve tehlike sınır değerleri saklamak için bir hafıza birimi içeren

ve sensörlerden alınan değerleri hafızadaki değerlerle karşılaştıran ve bu değerlere ulaşılması durumunda elektriksel olarak bağlı olduğu birimlere gerekli elektriksel sinyallerin gönderilmesini sağlayan bir mikroişlemcili kontrol birimidir.

Motorun, normal çalışma değerlerinin dışına çıktığı durumlarda oluşabilecek tüm arızalar, her bir arızaya karşı yapılacak müdahale tipleri, müdahale sonucu elde edilebilecek sonuçlara ilişkin referans verilerinin saklandığı ve motorun çalışması sırasında tanımlanan arızalardan herhangi birinin oluşması durumunda, arıza tipi, arıza zamanı, müdahale şekli ve müdahale sonucunda elde edilen sonuçlar kaydedildiği bir veritabanını, arıza ve müdahale verilerini alıp veritabanına kaydetmek için bir veri toplama kartını ve istenildiği anlarda uygun bir arayüz üzerinden kaydedilen verilere ilişkin bilgileri bünyesindeki bir kullanıcı arayüzünden göstermek için bir mikroişlemci içeren bir terminal bulunmaktadır.

#### **5.4.Sistemin Çalışması**

Bu sistemde bir sabit devirli gaz türbinli motor, eksoz sıcaklığı (EGT), yağ basıncı, titreşim ve motor devrine ilişkin parametreleri değerlendirmek suretiyle kontrol edilmektedir.

Yapılan deneysel çalışmada GTC85-180 gaz türbinli motorun yağ basıncını kontrol etmek için yağ pompası çıkışına paralel giden bir yağ basınç probu (7) yerleştirilmektedir. Bu prob (7) tercihen 30-150 psi arasındaki yağ basıncını ölçebilecek kapasitede olup değişik uygulamalar için kullanılan standart bir sensör olup içersinde yağ basıncına göre hareket eden bir diyafram ve bu diyaframın hareketli olduğu bölge üzerinde konumlandırılmış ve yağ basıncı ikaz lambalarına ve de motor ana şalterine giden akımı kontrol eden çoklu sayıda mikroanahtarlardan (microswitch) oluşmaktadır.



bildirilmesini sağlamaktadır. Diğer taraftan, eğer ölçülen yağ basıncı 65 psi değerinin altına düşerse, bu durumda diyafram bir miktar daha konum değiştirerek, ikinci mikroanahtarla temas etmekte ve bu sayede kırmızı renkli bir ikaz lambası yanarak durum kullanıcıya bildirilmekte ve motorun (1) ana şalterine (9) giden akım kesilmekte ve böylece motorun daha fazla zarar görmeden hemen durması sağlanmaktadır. Zira tahmin edileceği üzere yağ basıncı bu değer altındayken motorun çalışmaya az bir sürede olsa devam etmesi motora büyük zararlar verecektir.



**Şekil 5.2.Yağ Basınc Sensörü**

GTC85-180 gaz türbinli motorun eksoz sıcaklığını (EGT) kontrol etmede GPU'nun egzoz çıkışında yer alan bir termokupilin (8) EGT'ye göre ürettiği milivolt değerindeki elektriksel sinyaller sürekli olarak alınmakta ve bir EGT ölçüm devresi tarafından ölçülen milivolt değerinin büyüklüğüne bağlı olarak egzoz sıcaklığı (EGT) elektronik olarak tespit edilmektedir.



**Şekil 5.3.Kullanılan Termokupil**

Bu tespit sırasında kullanılmak üzere, bu anlatımda kullanılan motor için kritik egzoz sınır sıcaklığı 1200 °F ve motora zarar verecek tehlike sınır sıcaklığı da 1250 °F olduğu, GTC85-180'in teknik dökümanlarından alınmıştır. Bu sayede, motorun çalışması sırasında EGT değeri 1200 °F'ın üstüne çıktığı anda tercihen sarı renkli bir ikaz lambası yakılarak durum kullanıcıya bildirilmektedir. Diğer taraftan, eğer ölçülen EGT değeri tehlike sınır değeri olan 1250 °F değerine çıktığı anda kırmızı renkli bir ikaz lambası yanarak durum kullanıcıya bildirilmekte ve hemen akabinde LCV (3) kapatılarak GPU içersinde üretilen hava ilgili birimlere gitmeden direk egzoz çıkışından (4) dışarı atılması ve dolayısıyla motorun (1) yükten düşmesi ve egzoz çıkışından (4) çıkan havayla soğuması sağlanmaktadır. Motor (1) LCV (3) kapatıldıktan sonra bir zamanlayıcı bir dakika boyunca motorun çalışmasını izin vermekte ve böylece motor EGT'sinin uygun bir sıcaklığa düşmesi sağlanmaktadır. 1 dakikanın bitiminde de zamanlayıcı tarafından motorun ana şalteri (9) kapatılmaktadır. Bu kademeli kapatma işlemi sayesinde GTCP85-180 gaz türbinli motor aksamının, motorun aniden kapatılmasından kaynaklanan sıcaklık değişimden dolayı uğradığı deformasyon önlenmekte ve bu sayede motorun ömrünün önemli oranda uzaması sağlanmaktadır.



Ayrıca, çalışmada bu kademeli kapatma işlemi, EGT'de olduğu gibi normal çalışma değerlerinin dışına çıkılması nedeniyle değil de, motor manuel olarak ana şalterden kapatıldığında da aynı şekilde uygulanmaktadır.

Burada mevcut buluşun alternatif bir yapılanmasında, bahsedilen termokupilin (8) bozulma olasılığına karşı tedbir olarak ayrıca GTCP85-180 gaz türbinli motorunun yağ deposundaki (10) yağ sıcaklığı buraya yerleştirilen bir başka sıcaklık sensörüyle izlenebilmekte bir elektronik sıcaklık ölçüm devresiyle değerlendirilmektedir. Yağ sıcaklığı sınır değeri bu anlatımda ele alınan motorda 200 °F olarak belirlenmekte ve bu değer üstüne çıktığında aynı EGT'deki motora zarar verecek tehlike sınır değerinin aşılması halinde uygulanan motor kapatma işlemi yapılmaktadır.

Yapılan çalışmada GTCP85-180 gaz türbinli motorunun titreşiminin kontrolü ise motor (1) üzerine yerleştirilen bir vibrosensörden (sarsıntı pick up'ı) (11) alınan elektriksel değerlerin bir titreşim ölçüm cihazında değerlendirilmesi ile gerçekleştirilmektedir.



**Şekil 5.4.Kullanılan Titreşim Sensörü**

Titreşim birimi olarak mils alınmakta olup kritik vibrasyon sınır değeri 0.7 mils ve motora zarar verecek vibrasyon tehlike sınır değeri de 0.9 mils olarak belirlenmektedir. Buna göre, ölçülen vibrasyon değeri 0.7 mils değerine ulaştığında, titreşim ölçüm cihazı vasıtasıyla sarı renkli bir ikaz lambası yakılarak durum kullanıcıya bildirilmektedir. Diğer taraftan, eğer ölçülen vibrasyon değeri belirlenen motora zarar verebilecek değer olan 0.9 mils değerine çıkarsa kırmızı renkli bir ikaz lambası yanarak durum kullanıcıya bildirilmekte ve hemen akabinde motorun ana şalteri kapatılarak motorun en kısa zamanda durması sağlanmaktadır. Zira titreşim değeri motora zarar verecek tehlike sınır değerinin üstündeyken (burada 0.9 mils) motorun bir süreliğine de olsa çalıştırılması motora ve tüm GTCP85-180 gaz türbinli motor aksamına büyük zarar verebilmektedir.

Son olarak, devir kontrolünde ise bir taraftan sürekli olarak GTCP85-180 gaz türbinli motor bünyesinde hâlihazırda mevcut olan bir takometre jeneratöründen motor devri takip edilmekte ve diğer taraftan da motora (1) ilk çalışma anında bir hareket aktarma tertibatı üzerinden gerekli tahriki veren ve belirli bir devire ulaşmasını sağlayan başlatıcının (2) motor (1), normal çalışma devrinin yaklaşık olarak %35'ine ulaştıktan sonra da hala motora (1) bağlıysa devreden çıkması sağlanmaktadır.



**Şekil 5.5.Kullanılan Takometre Generatör**

Bu prensipten hareketle verilen motor örneğinde motor normal çalışma devri 42.000 RPM'dir ve bu nedenle başlatıcı (2) için kritik devir sınır değeri bu değerin yaklaşık %35'i olan 15.000 RPM ve başlatıcıya zarar verecek tehlike sınır değeri de 16.000 RPM olarak belirlenmektedir. Bu sayede çalışma sırasında, motor devri takometre jeneratörü tarafından sürekli olarak ölçülmekte ve takometre jeneratöründen alınan elektriksel değerler bir elektronik devir ölçüm cihazı vasıtasıyla belirlenen kritik ve tehlike sınır değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Motor devri kritik devir sınır değeri olan 14.500 RPM'e ulaştığında hala başlatıcı (2) motora (1) bağlıysa sarı renkli bir ikaz lambası yakılarak durum kullanıcıya bildirilmekte ve başlatıcı, motor devri kendisine zarar verebilecek değer olan 16.000 RPM'i aştığında da hala motora (1) bağlıysa, bahsedilen elektronik devir ölçüm cihazı vasıtasıyla kırmızı renkli bir ikaz lambası yanarak durum kullanıcıya bildirilmekte ve hemen akabinde starter rölesine (13) giden akım kesilerek starter (2) devreden çıkarılmaktadır.



**Şekil 5.6.Kontrol Ünitesi ve Kullanılan Sensörler**

Diğer taraftan, buluşun alternatif bir yapılanmasında yukarıda bahsedilen motorun çalışması sırasında GTCP85-180 gaz türbinli motor'ya ait yağ basıncı, EGT, titreşim ve

motor devri ve benzeri tüm değerler dijital verilere çevrilmekte ve bir veri toplama cihazınca alınarak bir veritabanına sürekli olarak kaydedilmektedir. Buna ilaveten, yine motorun çalışması sırasında, yukarıda detaylı olarak açıklanan parametrelerin normal çalışma değerlerinin dışına çıktığı durumlarda oluşan tüm arızalar ve müdahale şekilleri ve müdahale sonucu elde edilen sonuçlar önceden tanımlanmakta ve bu sayede motorun alınması sırasında tanımlanan arızalardan herhangi birinin oluşması durumunda, bahsedilen veritabanına arıza tipi, arıza zamanı, müdahale şekli ve müdahale sonucunda elde edilen sonuçlar kaydedilmektedir. Bu sayede istenildiği anlarda uygun bir arayüz üzerinden kaydedilen verilere ilişkin bilgiler bir kullanıcı ekranında gösterilebilmektedir. Böyle bir özellik, herhangi bir zamanda motorun geçmişi hakkında bir çok bilgiye kolayca ulaşılmasını sağlamakla beraber, bir arıza oluştuğunda bu arızayı gidermek için daha önce yapılan müdahaleler veya yapılabilecek olası müdahalelerin kullanıcıya önerilmesi sağlanmaktadır. Böyle bir özellik sayesinde, özellikle çok fazla teknik uzmanlık gerektirmeden çözülebilecek problemler bir uzman kuruluşa götürmeden yerinde kolaylıkla halledilebilmekte ve bu da büyük zaman ve para tasarrufu sağlamaktadır.

Tasarlanan kontrol ünitesinin bir diğer özelliği, bahsedilen EGT, yağ basıncı, motor devri ve vibrasyon sensörlerinden alınan analog veriler, bahsedilen ilgili analog tabanlı ölçüm devreleri yerine analog girişleri bahsedilen sensörlere ve çıkışları da motor ana şalteri, LCV, motor başlatıcı rölesi ve uyarı cihazlarına elektriksel olarak bağlanmış bir mikroişlemcili kontrol birimi tarafından değerlendirilmektedir. Bu değerlendirme işleminin yapılması için, EGT, motor yağ basıncı, motor vibrasyonu ve starter devri parametrelerine ait kritik sınır değerleri ve motora zarar verecek tehlike sınır değerleri hafızaya önceden kaydedilmekte ve uygun yazılımla sensörlerden alınan ve dijitalle çevrilen değerler, hafızadaki ilişkili kritik sınır değerleri ve motora zarar verecek sınır değerleriyle karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucuna göre de bahsedilen yazılım, yukarıdaki paragraflarda bahsedildiği şekilde her bir sensör ve bu sensörün parametresine göre çıkışına uygun sinyaller göndererek elektriksel olarak bağlı olduğu bahsedilen birimlere müdahale etmektedir.



**Şekil 5.7.Tasarlanan Kontrol Ünitesi**

Tüm yukarıda anlatılanlarla ilgili olarak, buluşta ortaya konan sistem GTCP85-180 gaz türbinli motor çalıştırıldıktan sonra kararlı hale gelmesinin ardından (yaklaşık bir dakika sonra) devreye girmekte yani değer izleme ve müdahale etme moduna geçmektedir. Bunun nedeni, tahmin edilebileceği üzere ilk çalışma anındaki parametre değerlerinin normal değerlerden çok daha farklı ve de kararsız olabilmesinden kaynaklanmaktadır.

Sistemde uyarılar için ışıklı göstergeler kullanılmaktadır. Bununla beraber, tasarlanan sistemden farklı olarak bu ışıklı göstergeler yerine sesli uyarı veren sistemler de kullanılabilir.

Diğer taraftan, bu anlatımda örnek olarak verilen parametrelere ilişkin kritik ve tehlike sınır değerleri gaz türbinli motor tipine göre değişiklik göstermektedir. Bununla beraber bu tipteki hemen hemen tüm üniteler için parametre değerleri çok fazla değişiklik göstermemektedir. Tasarlanan kontrol ünitesi GTCP85-180 motoruna uygulanmış olup, benzer diğer motorlara kendi teknik dökümanlarında yer alan değerlerinin incelenmesi ve ayarlamaların buna göre yapılmasıyla mümkündür.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada gaz türbinli motorların çalışmasını kontrol altında tutarak, oluşabilecek arızaları önceden tespit eden, kullanıcıyı uyarın ve gerekli durumlarda arızanın oluşmasını veya büyümesini önlemek için müdahale edilmesini sağlayan arıza uyarı ve kontrol sistemi incelenmiş olup, deneysel çalışmalar sonucunda mikroişlemcili bir kontrol ünitesi tasarlanması hedeflenmiştir.

Neticede bu hedefe ulaşılmıştır. Havacılıkta kullanılan gaz türbinli motorlar incelenmiş, Yardımcı Güç Üniteleri ve Harici Uçak Çalıştırıcılarda arıza uyarı ve kontrol sistemi konusunun gelişmeye açık olduğu görülmüştür. Yardımcı Güç Üniteleri ve Harici Uçak çalıştırıcıları ve bunlara ait sistemlere yapılan bu çalışmada detaylı olarak değinilmiştir.

M-32-60A uçak çalıştırıcıları üzerindeki GTCP85-180 gaz türbinli motoru arıza uyarı ve kontrol sistemi tasarımında üzerinde çalışılan motor olarak seçilmiş olup, bu motora ait kritik çalışma parametreleri ve bunlara ait **tehlike sınır değerleri** motorun teknik dökümanlarının incelenmesi sonucunda belirlenmiştir.

Belirlenen parametreler ve bunlara ait tehlike sınır değerleri kontrol ünitesine ait isterler belirlenerek mikroişlemci programı yazılımında kullanılmıştır. Çalışma limitleri belirlenmiş olan sensörler piyasadan seçilerek deneysel çalışmalar faaliyeti sağlanmış motorlar üzerinde ve bremzede yapılmış olup prototip üretilen kontrol ünitesinin yazılım, donanım ve fonksiyonel kontrolleri deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma sonucunda, GTCP85-180 gaz türbinli motorunun iki periyodik bakım arasındaki tüm kullanımlar esnasında alınan limit değerler ve arıza ihbarları kaydedilerek, envanterdeki gaz türbinli motorlar için önleyici bakım konsepti oluşturularak; bakım ve malzeme planlaması önceden tahmin edilerek bakım giderleri ve bakım süreleri minimum seviyeye indirilebilecektir. Ayrıca kontrol ünitesinin kayıt fonksiyonunun da kullanılmasıyla üzerinde kontrol ünitesi bulunan her motorun periyodik olan bakım aralığı her bir motor için ayrı ayrı belirlenerek, genel nitelikli takipten her bir motorun ayrı takibi ve bakım planlaması mümkün olacaktır.

Tasarlanan uyarı ve kontrol kutusunun kullanıcıya verdiği arıza arama-giderme kayıtları ile birçok arıza kullanıcı seviyesinde giderilecek veya büyük bakım gerektiren arızalar kullanıcı tarafından erken fark edilerek gerekli önlemlerin alınması sağlanabilecektir.

Bu çalışma diğer gaz türbinli motor tiplerine sadece tehlike sınır değerlerinin değiştirilmesi ve buna uygun sensörlerin seçimi ile her marka ve modelde Yardımcı Güç Ünitesine ve Harici Uçak Çalıştırıcısına kısa bir değişiklikle uygulanabilir olması çalışmanın geliştirilebilir ve yaygınlaştırılabilir olduğunun bir göstergesidir.

## BÖLÜM 7

### KAYNAKLAR DİZİNİ

1988, An Introduction to Gas Turbines, Rolls Royce, England, 5-1,9-5 p.

1988, Gas Turbine Engine, United Technologies Canada, 13-18 s.

T.O. 35C2-3-372-11, M32A-60A Illustrated Parts Breakdown.

T.O. 35C2-3-372-13, M32A-60A Overhaul Instructions.

T.O. 2G-GTCP85-44, Pneumatic and Shaft Power Gas Turbine Engine.

RTO, 2000, Recommended Practices for Monitoring Gas Turbine Engine Life Consumption, Canada Cooperation Group NATO, Canada, 7-3,7-16

Şahin K.DeGraaf, 1999, Uçaklar ve Helikopterler,İnkilap Yayınları, İstanbul,81-98.

Mc Cormick W.B.,1995, Aerodynamics Aeronautics and Flight Mechanics, John Wiley and Sons Inc.,Canada, 320-355s.

Bora H.,Sızak Y.,2007, Predictive Maintenance, 4. Bakım Teknolojileri Kongresi, Denizli, Kasım 2007, 223s.

Duyar A.,Şensal Ş.,2007, A new Approach in Artesis MCM Predictive Maintenance, 4. Bakım Teknolojileri Kongresi, Denizli, Kasım 2007, 401s.

<http://www.aeroconengineering.com/apu.html>.

<http://www.aic-gmbh.com/?id.=principals>.



**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

<http://www.austdac.com.au/products%20pages%20mine%20monitoring/mnbr088.html>.

<http://www.b737.org.uk>.

<http://www.triumphgroup.com/images/userimages/aftermarketservices.jp>.

Sızak E., 2007, The Role of Predictive Maintenance Quality, 4. Bakım Teknolojileri Kongresi, Denizli, Kasım 2007, 368s.

Günay A., Demirci A., Nalçacı Ü., 2004, Gaz Türbinli Motor ve Uçak Çalıştırıcıları, Hava Sınıf Okulları ve Teknik Eğitim Merkezi K.ığı, İzmir, 15-45s.

2004, M32A-60A Arıza Arama Giderme İşlemleri, Hava Basım ve Neşriyat Müdürlüğü, Ankara, 8-29s.

[http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).

Cotgrove R.M. and Wood M.I., 1995, Opportunities For Advanced Sensors For Condition Monitoring Of Gas Turbines, Opportunities and Advances In Power Generation Conference Publication, 119p.

Mc Cown P.M. and Conway T.J., 1995, Auxillary Power Unit Maintenance Aid-Flight Line Diagnostics, IEEE, 299p.

Anghel C., 2000, A Novel Start System For An Aircraft Auxiliary Power Unit, AIAA-2000-2801, 9p.

Cheng X. and Sun F., 2007, Control Strategies Of Auxillary Power Unit, 2007 Second IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 63p.