

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
SİVİL HAVACILIK YÜKSEKOKULU**

**APU'NUN TEKNİK ÖZELLİKLERİ
VE
SİVİL HAVACILIKTA KULLANIMI**

**Hazırlayan
Nihat COŞKUN**

**Danışman
Öğr. Gör. İlker YILMAZ**

Uçak Gövde-Motor Bölümü Bitirme Ödevi

Haziran 2006 KAYSERİ

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
SİVİL HAVACILIK YÜKSEKOKULU**

**APU'NUN TEKNİK ÖZELLİKLERİ
VE
SİVİL HAVACILIKTA KULLANIMI**

**Hazırlayan
Nihat COŞKUN**

**Danışman
Öğr. Gör. İlker YILMAZ**

Uçak Gövde-Motor Bölümü Bitirme Ödevi

Haziran 2006 KAYSERİ

Bu çalışma, jürimiz tarafından Uçak Gövde-Motor Bölümü'nde Bitirme Ödevi olarak kabul edilmiştir.

08/06/2006

Danışman : Öğr. Gör. İlker YILMAZ

Üye : Öğr.Gör. Mustafa SOYLAK

Üye : Uzm. Haluk DEMİRTAŞ

ONAY

Bu tezin kabulü Sivil Havacılık Yüksekokulu Uçak Gövde- Motor Bölüm Başkanlığı tarafından onaylanmıştır .

08/06/2006

Uzm. Haluk DEMİRTAŞ
Uçak Gövde-Motor Bölüm Başkanı

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda katkılarından dolayı tez danışmanım Erciyes Üniversitesi Uçak Gövde-Motor Bölümü Öğr. Gör. İlker YILMAZ' a, çalışmalarından yararlandığım H.Kubilay ŞAKAR' a, arkadaşlarım Muhammed DEMİRCAN ve Cem TAŞEL' e ayrıca her konuda yanımda olan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

ÖZET

APU, hizmet kalitesine önem veren şirketlerin kullandığı bir ekipmandır. Genelde sivil havacılıkta kullanılmaktadır. Bu çalışma, APU'nun teknik özelliklerini detaylı bir şekilde vermektedir. APU'nun teknik özellikleri incelenirken, APU'nun ana kısımları, APU'nun dişli kutusuna bağlı komponentleri ve APU sistemleri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. APU sistemleri; yağlama sistemi, yakıt sistemi, yakıt ısıtma sistemi, ateşleme sistemi, hava sistemi, termostat sistemi, soğutma sistemi, gösterge sistemi, yangın ihbar ve söndürme sistemi ve son olarak da elektrik sistemi olmak üzere birçok sistemden oluşmaktadır. Ayrıca, sivil havacılıktaki APU kullanımının önemi incelenmiştir. APU'nun güvenilirliği, kullanılabilirliği, bakım maliyetleri, ağırlık maliyetleri, yakıt maliyetleri ve ekonomik açıdan şirketlere sağladığı avantajlar incelenmiştir. Sivil havacılıkta APU kullanımının avantaj ve dezavantajları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Son olarak da, sivil havacılıkta gelecekte APU ile ilgili beklentilere yer verilmiş ve yapılan araştırma neticesinde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

ABSTRACT

APU is an equipment, that is used for the companies; which gives more importance for the service quality. Generally, it uses civil aviation. This study gives the technical features of the APU with the details. While examining the technical features of the APU, main parts of the APU, components connected to APU' s gear box and systems of the APU has been researched with the details. Systems of the APU are; lubrication system, fuel system, fuel heating system, ignition system, bleed air system, fire notification and extinguishing system, cooling system, indication system, thermostat system and electric system. Also, the importance of the usage of the APU in civil aviation has been examined. Reliability, availability, maintenance costs, weight costs , fuel costs of the APU and the economical advantages required for the companies, have been researched. As a result, the advantages and the disadvantages of the APU usage in civil aviation have been examined with details. At the end of this research, the results have been evaluated.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ONAY	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. APU'NUN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	3
2.1. APU'NUN ANA KISIMLARI.....	3
2.1.1. Kompresör	4
2.1.2. Türbin	5
2.1.3. Yanma odası	7
2.1.4. Dişli Kutusu	8
2.1.4.1. Dişli Kutusuna Bağlı Komponentler.....	9
2.1.4.1.1. Starter	9
2.1.4.1.2. Jeneratör	10
2.1.4.1.3. Santrifüj Anahtarı	11
2.2. APU VİBRASYON İZOLATÖRLERİ.....	12
2.3. APU SİSTEMLERİ	13
2.3.1. Yağlama Sistemi	13
2.3.2. Yakıt Sistemi	19
2.3.3. Yakıt Isıtma Sistemi.....	26
2.3.4. Ateşleme Sistemi	28
2.3.5. Hava Sistemi	29
2.3.6. Termostat Sistemi	30
2.3.7. Soğutma Sistemi	33
2.3.8. Gösterge Sistemi	35
2.3.8.1. APU Devir Göstergesi (Apu Rpm Indicator).....	35
2.3.8.2. APU Egzoz Gaz Sıcaklık Göstergesi (Apu EGT Indicator).....	35
2.3.8.3. APU Yağ Seviye Göstergesi (Apu Oil Level Indicator)	35
2.3.8.4. Hourmeter	36
2.3.9. Yangın İhbar ve Söndürme Sistemi	37
2.3.10. Elektrik Sistemi.....	38
2.4. APU ÇALIŞTIRMA, DURDURMA VE YÜKLEME İŞLEMLERİ.....	38
2.5. APU'LARIN SÖKÜLÜP TAKILMASI.....	39
3. SİVİL HAVACILIKTA APU KULLANIMI	40
3.1. APU KULLANIŞLILIĞI.....	41
3.2. BAKIM VE AĞIRLIK MALİYETLERİ	43
3.3. APU'NUN YAKIT MALİYETİ.....	44
4. SONUÇ	46
4.1. APU KULLANIMININ ÖNEMİ.....	46
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	51

KISALTMALAR

GPU	:Ground Power Unit
APU	:Auxiliary Power Unit
DC	:Direct Current
AC	:Alternate Current
US	:United States
PSI	:Power Square Inch
RPM	:Revolution Per Minute
FCU	:Fuel Control Unit
EGT	:Exhaust Gas Temperature
Lb	:Libre
V	:Volt
F	:Fahrenheit
N1	:LPT ile LPC' yi birbirine bağlayan şaft
N2	:HPT ile HPC' yi birbirine bağlayan şaft
LPT	:Low Pressure Turbine
LPC	:Low Pressure Compressor
HPT	:High Pressure Turbine
HPC	:High Pressure Compressor

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kompresörün Yapısı [1]	5
Şekil 2.2. Türbin Yapısı [1]	6
Şekil 2.3. APU' daki Yanma Odası Komponentleri [1]	7
Şekil 2.4. Dişli Kutusu [1]	8
Şekil 2.5. Starter Şeması [1]	10
Şekil 2.6. Jeneratör [1]	11
Şekil 2.7. APU Santrifüj Anahtarı [1]	12
Şekil 2.8. Yağ Tankı [1]	14
Şekil 2.9. Yağ Pompası [1]	15
Şekil 2.10. Basınç Ayar Valfi [1]	15
Şekil 2.11. Yağ Filtresi [1]	16
Şekil 2.12. Düşük Yağ Basınç İkaz Anahtarı [2]	17
Şekil 2.13. Sıralı Yağ Şarteli [2]	18
Şekil 2.14. APU Yakıt Sistemi Şeması [2]	19
Şekil 2.15. Alçak Basınç Yakıt Filtresi [2]	20
Şekil 2.16. Yakıt Kontrol Ünitesi [3]	21
Şekil 2.17. Yakıt Pompası [2]	22
Şekil 2.18. Yakıt Selenoid Vanası [2]	23
Şekil 2.19. Yakıt Püskürtücüsü [2]	24
Şekil 2.20. "T" Şeklindeki Delikli Boru [2]	24
Şekil 2.21. İvmelenme Termostatı [2]	25
Şekil 2.22. Termostat Sistemi [2]	26
Şekil 2.23. Yakıt Isıtma Sistemi [2]	27
Şekil 2.24. Ateşleme Sistemi [2]	28
Şekil 2.25. Hava Basınç Regülâtörleri [2]	29
Şekil 2.26. APU Yük Kontrol Vanası [2]	30
Şekil 2.27. Termostat Sistemi [2]	31
Şekil 2.28. Kamalı Termostat [2]	32
Şekil 2.29. Kamasız Termostat [2]	32
Şekil 2.30. Soğutma Sistemi [2]	33
Şekil 2.31. Hava Soğutma Fanı [2]	34
Şekil 2.32. Termokuplaj (Thermocouple)	36
Şekil 2.33. Bourdon Tüpü [9]	37

1. GİRİŞ

Sivil havacılığın ilk yıllarında uçak tasarımı şimdiki kadar gelişmiş değildi. Kanatlarda düşük hızlarda taşımayı artırıcı aerodinamik yardımcıları yoktu. Aerodinamik yapı yüksek hızlara imkân vermiyordu. Güç kaynağı olarak pistonlu motorlar kullanılıyordu. Bu motorlar ise güçte verimsizliğe neden oluyordu.

Geniş gövdeli uçaklarla birlikte, mukavemeti yüksek ve süper aerodinamik kanatlar geliştirilmiştir. Jet motoru ve onun ardından turbofan motorun geliştirilmesi yüksek tepkiler elde etmeyi sağlamıştır. Tüm bu gelişmelere yakıt ekonomisindeki gelişmelerde eklenince havayolu şirketleri uzun menzilli uçuşlar yapmaya başlamışlardır. Hizmet verdikleri her noktada bakım ünitesi kuramayan şirketler bazı ekipmanları hizmet verdikleri yerlerden temin etmek zorunda kalmışlardır.

Bu ekipmanlardan biri olan GPU (Ground Power Unit) istenilen her anda elde edilemeyince büyük kayıplara yol açmıştır. Besleme olarak yetersiz kaldığı yönler olan GPU, kiralandığında da havayolu şirketlerine ek maliyetler getirmiştir. Bu eksikliğı gidermek üzere yapılan çalışmalar sonucunda APU (Auxiliary Power Unit) ortaya çıkmıştır.

Gaz türbinli bir motor olan APU; kompresör, türbin, yanma odası ve dişli kutusundan meydana gelmiştir. APU; yağlama sistemi, yakıt sistemi, yakıt ısıtma sistemi, ateşleme sistemi, hava sistemi, termostat sistemi, soğutma sistemi, gösterge sistemi, yangın ihbar ve söndürme sistemi ile elektrik sistemi olmak üzere bir takım alt sistemlere besleme yapmaktadır. Bu çalışma ile uçak üzerinde önemli bir enerji kaynağı olarak kullanılan APU hakkında ayrıntılı bilgiler verilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, çalışmanın 2. Bölümde APU' nun tanımı, ana kısımları ile tüm sistemleri detaylı bir şekilde

incelenmiştir. APU' nun güvenilirliği, kullanışlılığı ile yakıt, bakım ve ağırlık maliyetleri 3. Bölümde ele alınmıştır. 4. Bölümde ise; APU ile ilgili yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmiştir.

2. APU'NUN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

2.1. APU'nun Ana Kısımları

APU ana motorlar çalışmaz iken uçak sistemlerine elektrik, daimi hava, kabin basınçlama ve motor çalıştırma için gerekli havayı temin eden bir kaynaktır.

Uçaklarda yangın geçirmeyen bir bölmede yer almaktadır. APU'lar ana motorlarla aynı mekanik özelliklere sahip fakat kumanda sistemleri daha gelişmiş ve otomatik çalışan bir gaz türbinli motordur. APU'ların model ve serilerine göre, kompresör ve türbin kademeleri çeşitli sayılarda olabilir.

APU dört ana kısımdan meydana gelmiştir. Bunlar;

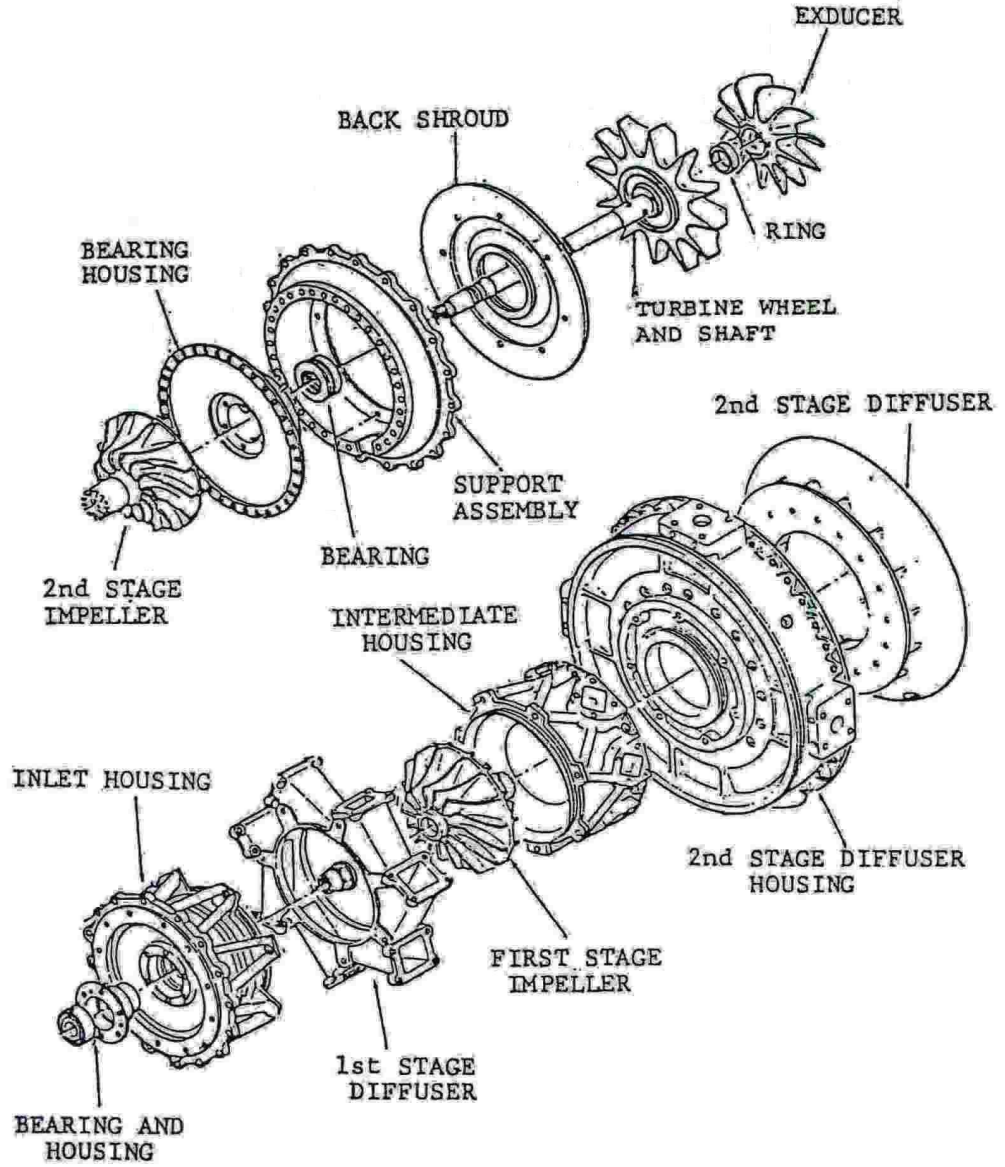
- Kompresör
- Türbin
- Yanma odası
- Dişli kutusu

Kompresörler, atmosferden aldığı havayı sıkıştırarak yanma odasına gönderirler. Yanma odasına gönderilen hava ile yakıt karışır ve aynı anda çakan buji ile yakıt hava karışımı tutuşturulur. Meydana gelen basınçlı gaz türbine yönlendirilir ve türbin dönmeye başlar. Türbinin dönmesi ile aynı şafta bağlı olan kompresör kademeleri, dişli kutusuna bağlı komponentler ve alternatif akım jeneratörü de döner. Yakıt kesilmediği müddetçe APU çalışmasına devam eder [1].

2.1.1. Kompresör

Kompresör aslında bir hava pompasıdır. Kompresör kademeleri APU cinsine göre iki veya daha fazla kademededen oluşabilir. Kompresör kademelerinin çıkışlarında "dağıtıcı" lar vardır. Dağıtıcılar, yapılarından dolayı havanın hızını düşürür ve basıncını arttırlar. Birinci kademededen çıkan hava, ikinci kademe kompresöründe daha fazla sıkıştırılır. Sıkışan havanın basıncı ve sıcaklığı artar.

APU' ya ilk hareket, starter dediğimiz elektrikle çalışan bir motorla verilir. Kompresörün sıkıştırdığı hava, türbine doğru giderken yanma odasından geçer. Yanma odasında hava yakıt karışımı buji vasıtası ile ateşlenir. Böylece yanma olayı başlamış olur. Yanma odasındaki basınçlı hava, halka şeklindeki bir parçadan (memeden) geçerek türbin çarklarına çarptırılır. Memenin püskürtme özelliğinden dolayı gazların hızı artar. Türbin çarklarına hızla çarpan gazlar türbini ve buna bağlı dişli kutusundaki dişlileri döndürür. Sonuçta bir mekanik enerji ve kompresör çıkışından da pnömatik güç elde edilmiş olur.

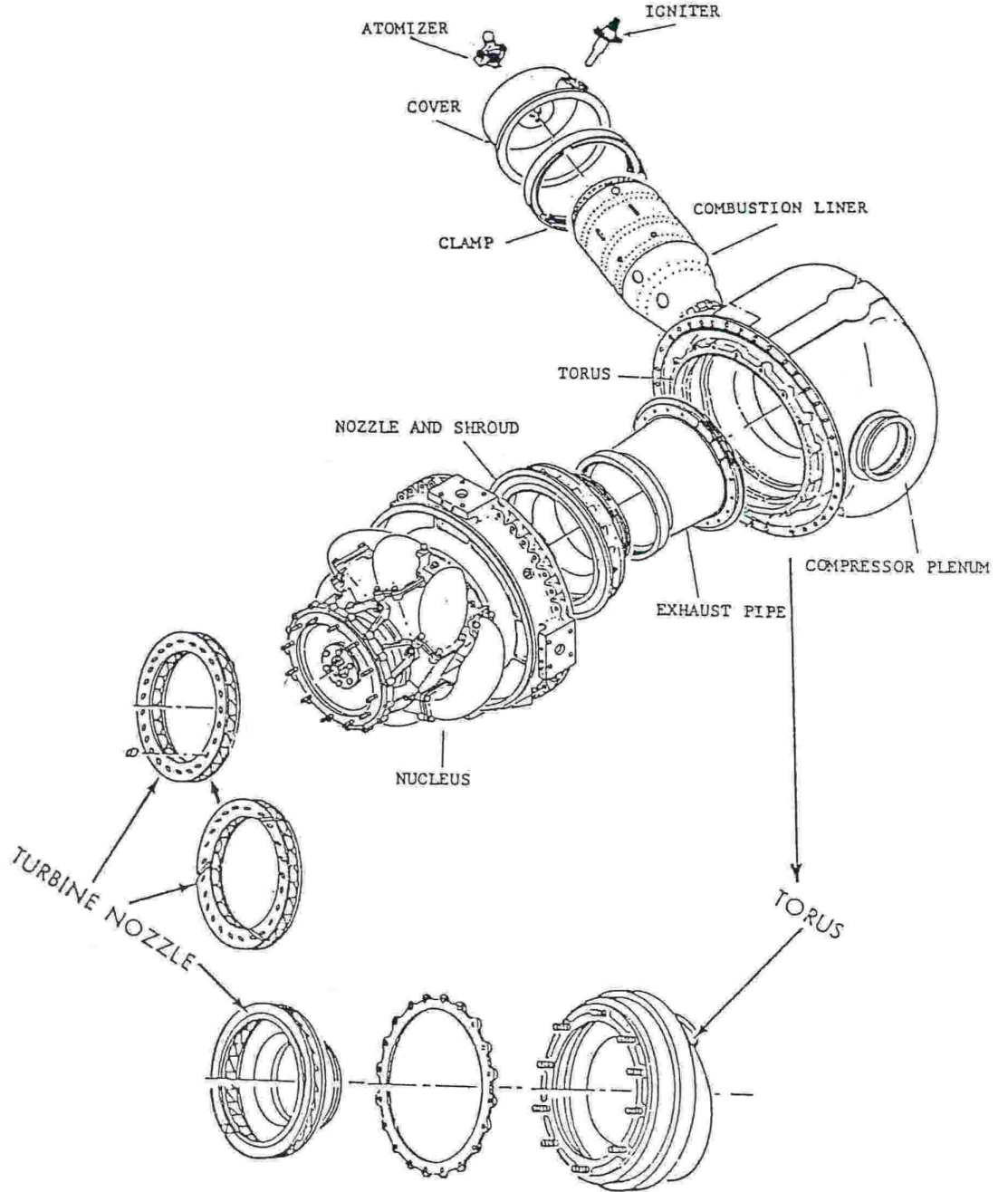


Şekil 2.1. Kompresörün Yapısı [1].

2.1.2. Türbin

Türbin çarkı ve türbin memesinden meydana gelmiştir. Yanma odasından çıkan gazlar memeden geçerken hızı artar, basıncı düşer. Yani gazlar geniş bir alandan dar bir alana geçmeye zorlanır. Bunun neticesinde gazların hızı artar. Diğer bir deyişle "Meme"(nozzle), "Dağıtıcı" (diffuser) ların yaptığı işin tam aksini yapar. "Meme" den çıkan gazlar türbin çarklarına çarptırılır. Türbin çarkı, şeklinden dolayı üzerine çarpan gazların hemen hemen tüm enerjisini alır ve kompresör kademelerinin yardımı ile dişli

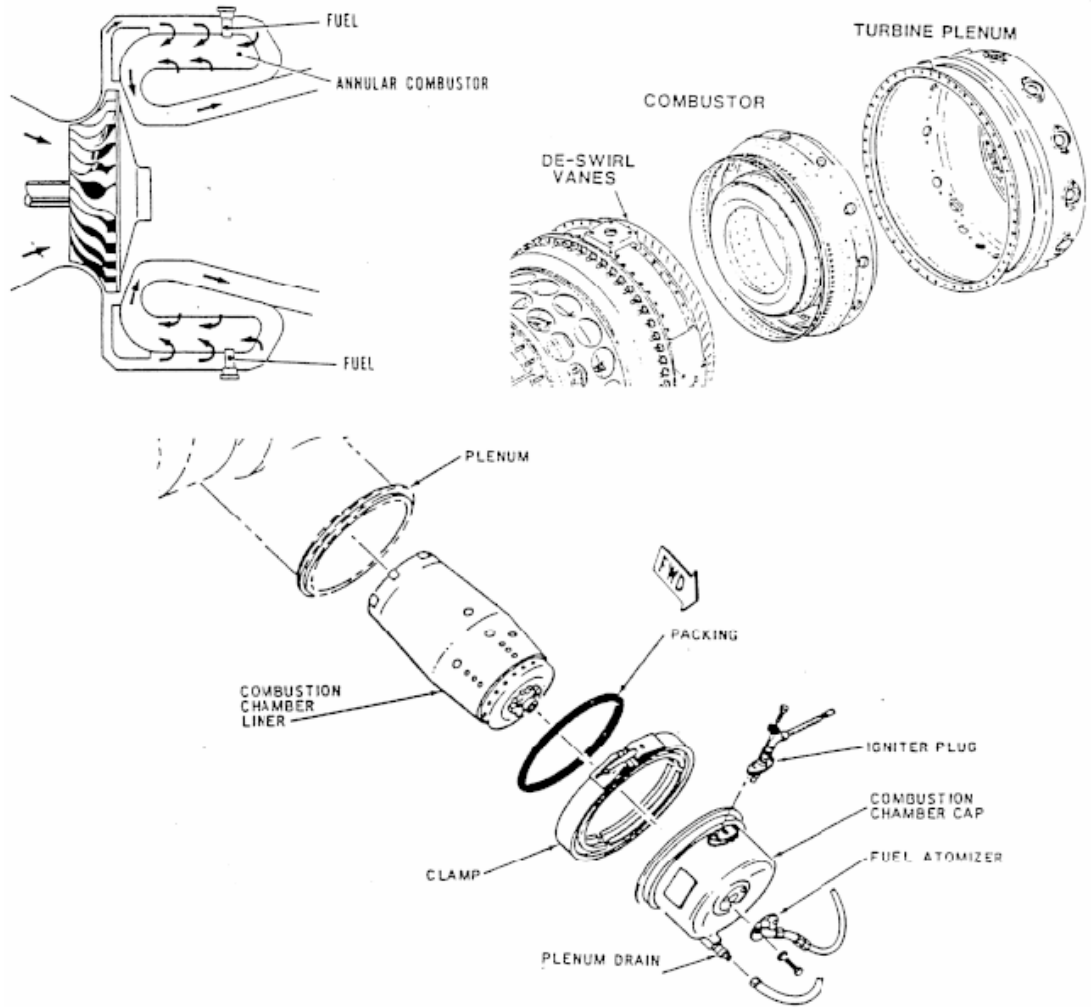
kutusuna bağlı dişlileri d6nd6r6r. Sonuçta bir şaft g6c6 ve kompres6r kademesinde de basınęlı bir hava, yani pn6matik g6c6 elde etmiş oluruz. APU'larda çok az da olsa istenmeyen bir jet tepkisi doğar, ama pratikte jet tepkisi yoktur diyerek ihmal edilir.



şekil 2.2. T6rbin Yapısı [1].

2.1.3. Yanma odası

Yakıt hava karışımının karıştırıldığı yerdir. Halka şeklindeki bir metal yapı (torus) üzerine oturtulmuştur. Halka şeklindeki bu metal, yanma odasından çıkan gazlar türbin memesine yönlendirir. Kompresörün sıkıştırdığı hava, türbine doğru ilerlerken yanma odasından geçirilir. Yanma odası üzerinde buji ve püskürtücü bulunur. Püskürtücü yakıtı yanma odasına sprey halinde püskürtür. Hava yakıt karışımı buji vasıtası ile ateşlenir ve böylece yanma olayı başlatılmış olur. Kompresörün sıkıştırdığı havanın bir kısmı alevi ortada tutmaya ve soğutmaya yarar. Alevin ortada tutulmasındaki amaç alevin yanma cidarlarına temasını önlemektir. Halka şeklindeki metal yapı, üzerinde yanma odasını taşır. Yanma odasından çıkan sıcak gazlar, metal halka içinden geçerek memelerden türbin kanatçıklarına doğru yönlendirilirler.

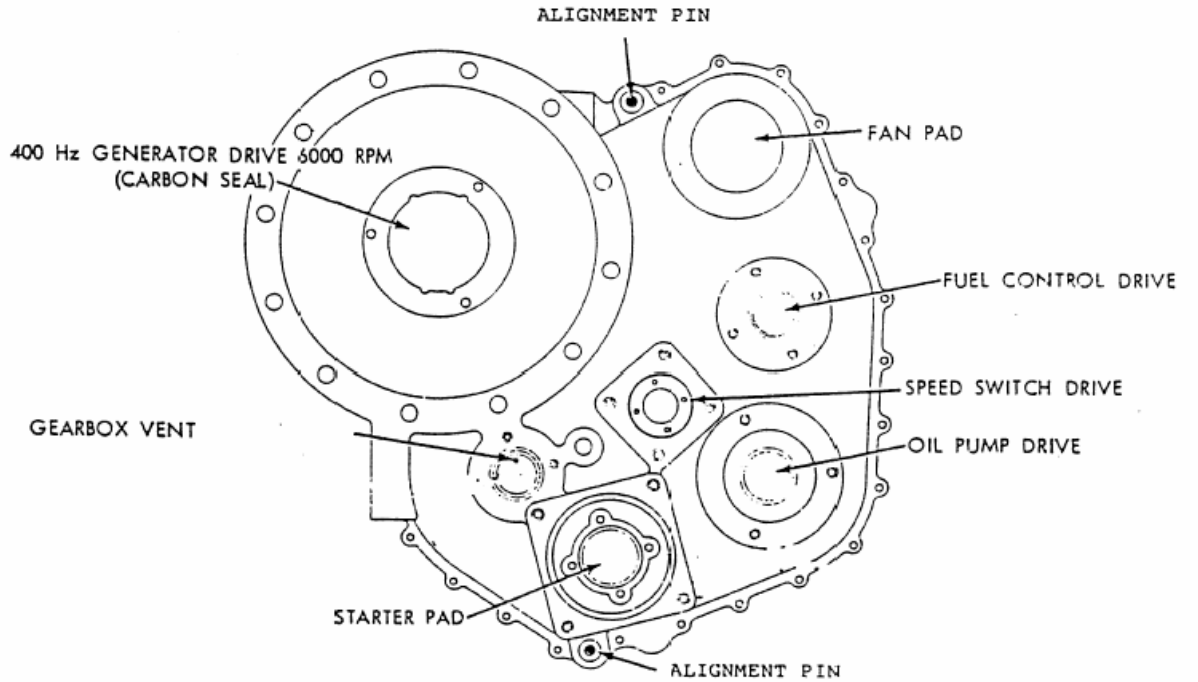


Şekil 2.3. APU' daki Yanma Odası Komponentleri [1].

2.1.4. Dişli Kutusu

APU' dan güç alabilmemiz için çok yüksek devirlerde dönmesi gerekir. Bunun yanında bazı komponentler vardır ki daha düşük devirlerde dönmesi gerekir. Dişli kutusu, işletilmesi gerekli komponentlerin düşük devirlerde dönmelerini sağlayan bir dişli düzenektir. (Şekil 2.4).

Başlangıç keçesinin hemen üst tarafında dişli kutusu hava deliği bulunur. Bu deliğin görevi, çalışırken vakum altında bulunan dişli kutusunun, APU durdurulduğunda buradan atmosfer havasını emerek yağ deposundaki yağı dişli kutusuna çekmemesi içindir. Delik tıkalı olduğu takdirde vakum, depodaki yağı dişli kutusuna çeker ve depo seviyesi düşer. Bunun neticesinde yağ ikmali yapıldıktan sonra egzozdan fazla yağ atılacaktır. Böyle bir durumda sistemdeki hava kontrol edilmelidir [1].



Şekil 2.4. Dişli Kutusu [1].

2.1.4.1. Dişli Kutusuna Bağlı Komponentler

- Starter
- Jeneratör
- Santrifüj Anahtarı
- Yağ Pompası
- Yakıt Kontrol Ünitesi
- Soğutma Fanı

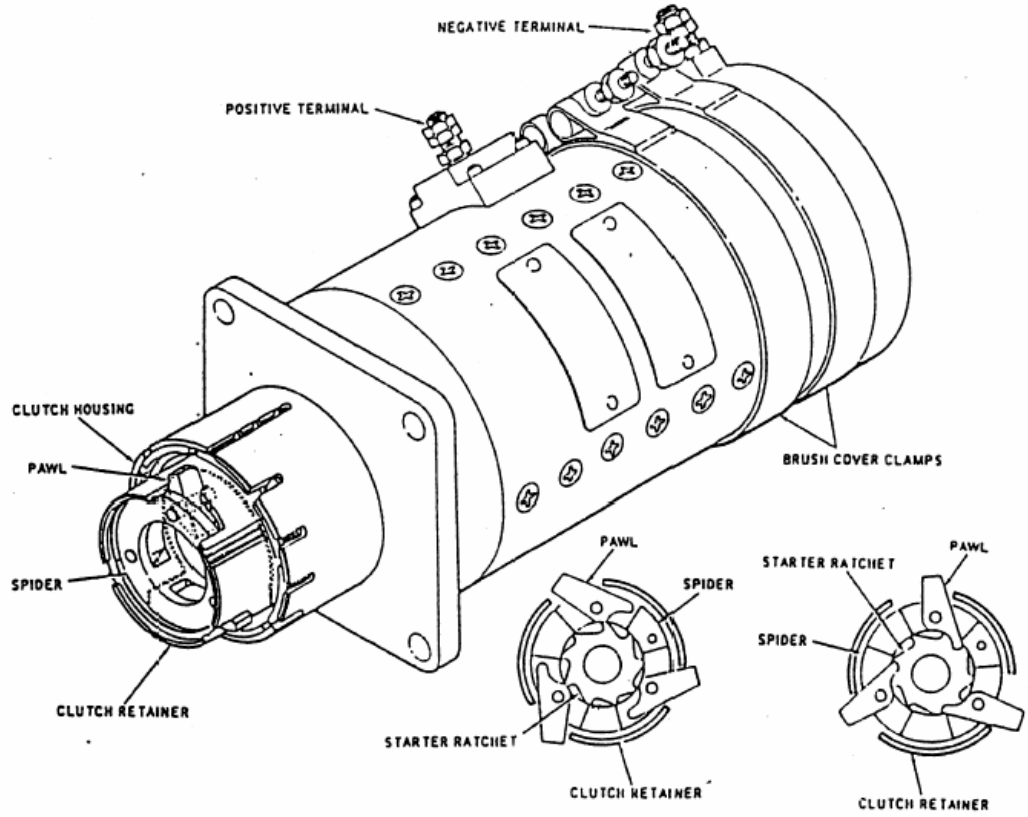
2.1.4.1.1. Starter

APU'nun çalışması için ilk hareketi sağlayan, DC akımla çalışan bir elektrik motorudur. APU devrinin yaklaşık %35'ine ulaştığı anda santrifüj anahtarın birinci küçük anahtarı tarafından elektrik akımı kesilir.

Başlatıcıda (starter), ana anahtarın "başlama" durumuna alınması ile enerji iletimi başlamış olur. Aşağıdaki şekilde görülen 3 adet tırnak (pawl), dişli kutusundaki dişli ile kavraşır. Böylece dişli kutusundaki dişliler, dişlilere bağlı komponentler, kompresör ve türbin dönmeye başlar.

APU %35 devrine ulaştıktan sonra hızlanmasını artık devrede başlatıcı olmadan da sürdürebilir. Başlatıcının içinde sargılar vardır. Başlatıcı bir dakika çalıştırılırsa dört dakika soğuması beklenmelidir. Aksi takdirde başlatıcı sargıları yanabilir.

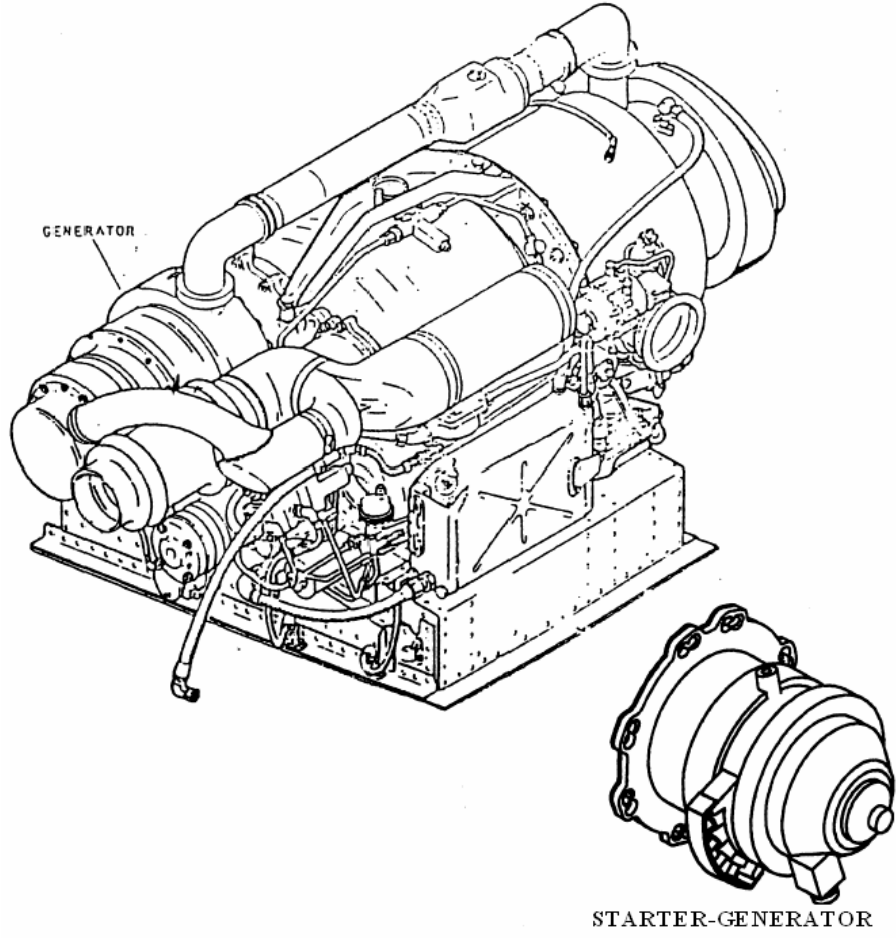
Bataryanın düşük voltajlı olması ile başlatıcı tırnakları dişliyi tam kavrayamayacağı için tırnakların ve dişlinin hasarlanmasına neden olabilir. Başlatıcının aşırı bir tork ile karşılaşması durumunda hasarlanmaya mani olmak için bir kavrama (clutch) tertibatı konmuştur.



Şekil 2.5. Starter Şeması [1].

2.1.4.1.2. Jeneratör

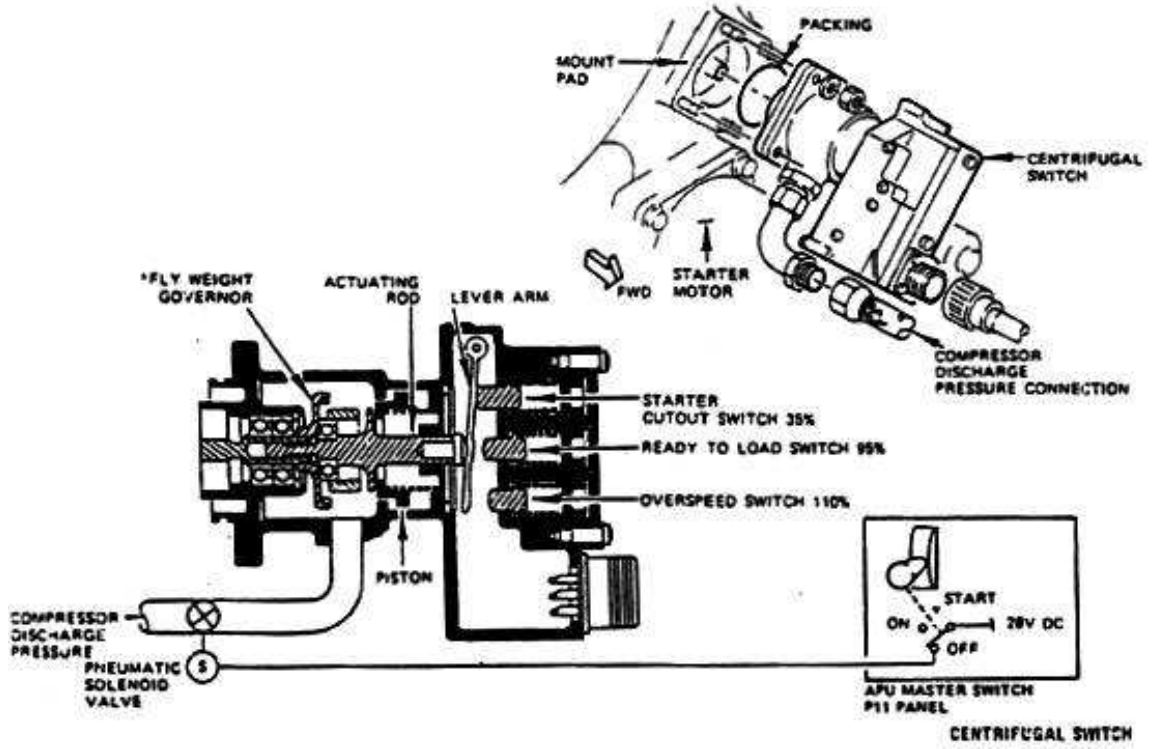
Dişli kutusundan aldığı dönüş hareketi ile uçağımızın ihtiyacı olan 115 Volt AC 40 KVA 400 Hz 3 fazlı elektriği sağlar. 6000 RPM ile döner. Ana motor jeneratörleri ile yer değiştirilebilir. Jeneratörden elektrik alabilmemiz için APU'nun devri %95'in üzerinde olmalıdır.



Şekil 2.6. Jeneratör [1].

2.1.4.1.3. Santrifüj Anahtarı

APU devrine göre otomatik olarak çalışan bir komponenttir. Devrin artması ile dışa doğru açılan uçan ağırlıklar (fly weights) bir şaft üzerinde dışa doğru açılır, böylece şaft ileriye doğru hareket eder.



Şekil 2.7. APU Santrifüj Anahtarı [1].

2.2. APU Vibrasyon İzolatörleri

APU' da titreşimi üzerine alan 3 tane darbe bağlantısı (shock mount) bulunur. Bunlar APU giriş kutusuna tutturulmuştur. Bu darbe bağlantıları üçe ayrılır:

- Sol ön titreşim bağlantısı
- Sağ ön titreşim bağlantısı
- Sağ arka titreşim bağlantısı

Bağlantı çubukları APU' da meydana gelebilecek sarsıntıları üzerine alarak, sarsıntılardan dolayı meydana gelebilecek hasarları önlerler. Sol ön ve sağ ön titreşim bağlantılarının izolatörlerine ulaşmak için izolatör bağlantılarının sökülmesi gerekir. Arka sağ izolatörünün sökülmesi için izolatör bağlantısının sökülmesine gerek yoktur [1].

2.3. APU Sistemleri

APU'nun sistemleri tam otomatik olarak çalışır. Ana motorlara göre daha gelişmiş ve karmaşıktır. APU'daki sistemler şunlardır:

- Yağlama sistemi
- Yakıt sistemi
- Yakıt ısıtma sistemi
- Ateşleme sistemi
- Hava sistemi
- Termostat sistemi
- Soğutma sistemi
- Gösterge sistemi
- Yangın ihbar ve söndürme sistemi
- Elektrik sistemi

2.3.1. Yağlama Sistemi

Yağlamanın gayesi, çalışılan parçalar arasındaki sürtünmeyi azaltmak, ısınan kısımlardaki ısıyı üzerine almak, yani soğutma görevini yapmak ve aşınmayı minimuma indirmektir.

Bu sistemin komponentleri aşağıda verilmiştir:

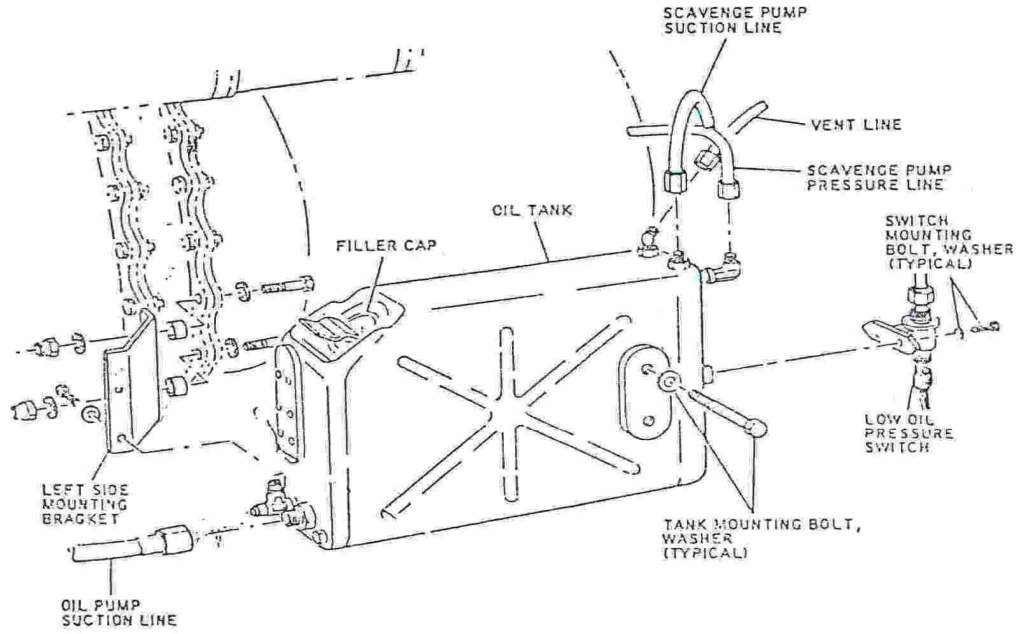
- Yağ tankı
- Yağ basınç pompası
- Basınç ayar vanası
- Yağ filtresi
- Hava/yağ soğutucu
- Düşük yağ basınç ikaz anahtarı
- Sıcaklık sensörü

- Sıralı şalter
- Yağ tankı

Yağ Tankı

APU'nun arka tarafındadır. Bir taraftan dişli kutusuna, diğer taraftan APU kasasına bağlanmıştır. Kapasitesi 1 US galonudur. Sol tarafında yağ miktar göstergesi vardır. APU sol ulaşma kapağı açıldığında gözle görülebilir.

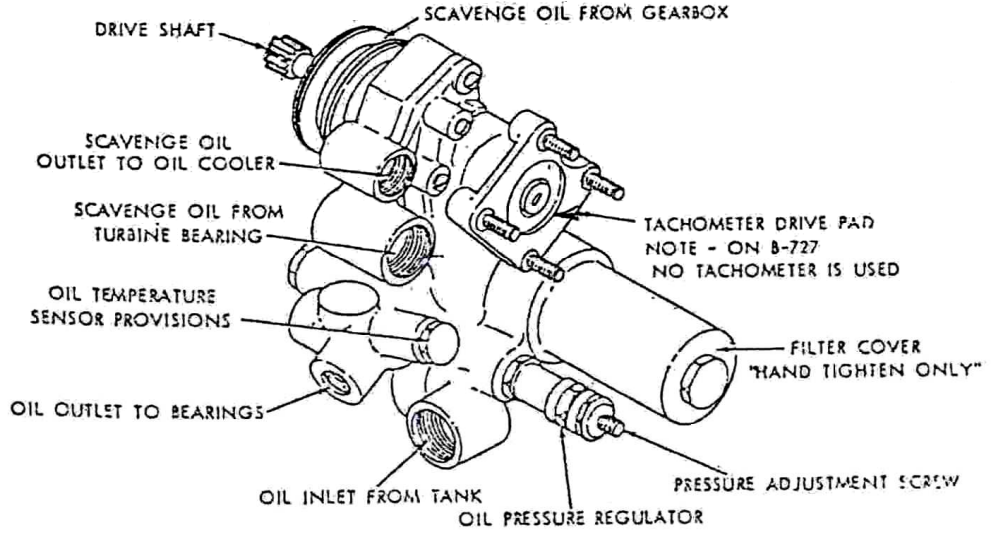
Yağ tankı içindeki ayırıcı havanın yağdan ayrılmasını sağlar. Yağdan ayrılan hava egzozdan atmosfere atılır.



Şekil 2.8. Yağ Tankı [1].

Yağ Basınç ve Geri Dönüşüm Pompası (Oil Pressure and Scavenge Pump)

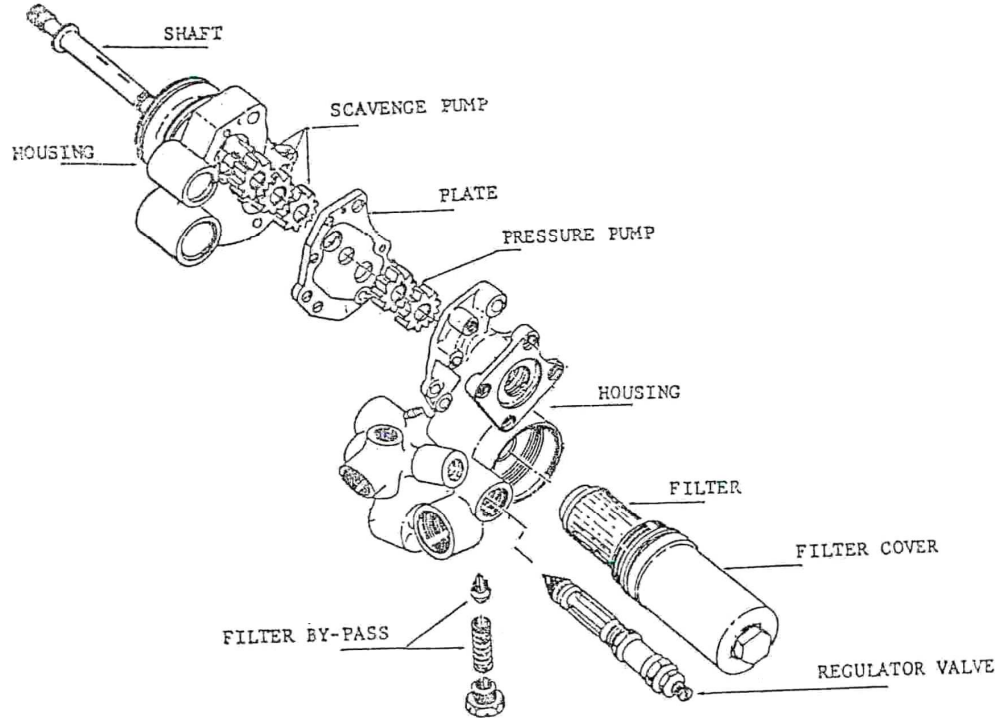
Basınç pompası depodan aldığı yağı sisteme 95 PSI ile basar. Aynı şafttan hareket alan pompa, sisteme basılan yağı emerek yağ soğutucusuna basar. Burada soğuyan yağ depoya geri döner.



Şekil 2.9. Yağ Pompası [1].

Basınç Ayar Vanası (Pressure Regulating Valve)

Pompa basıncını 95 PSI' da sabit tutmaya çalışır.

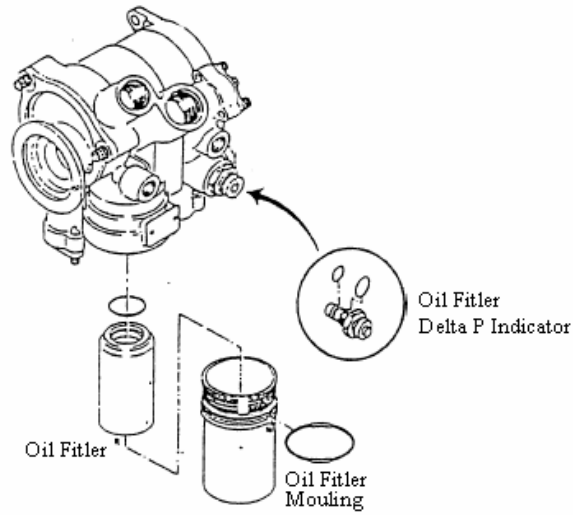


Şekil 2.10. Basınç Ayar Valfi [1].

Yağ Filtresi

Yağın sisteme gitmeden önce içinde bulunabilecek partiküllerden temizlenerek sisteme temiz bir yağ gönderilmesi amacıyla yağ sistemine konulmuş kağıt filtredir. Bazı filtreler tıkanıp zaman indikatörleri dışarı çıkar. Eğer filtre tıkalı ise; bypass valfleri devreye girer.

Yağ filtresini takmadan önce contasını kontrol etmeli ve filtreyi yerine oturtuktan sonra kapağı takılmalıdır. Periyodik olarak değiştirilir. Üzerinde çok miktarda metal talaş görülmesi durumunda nedenleri araştırılmalıdır.



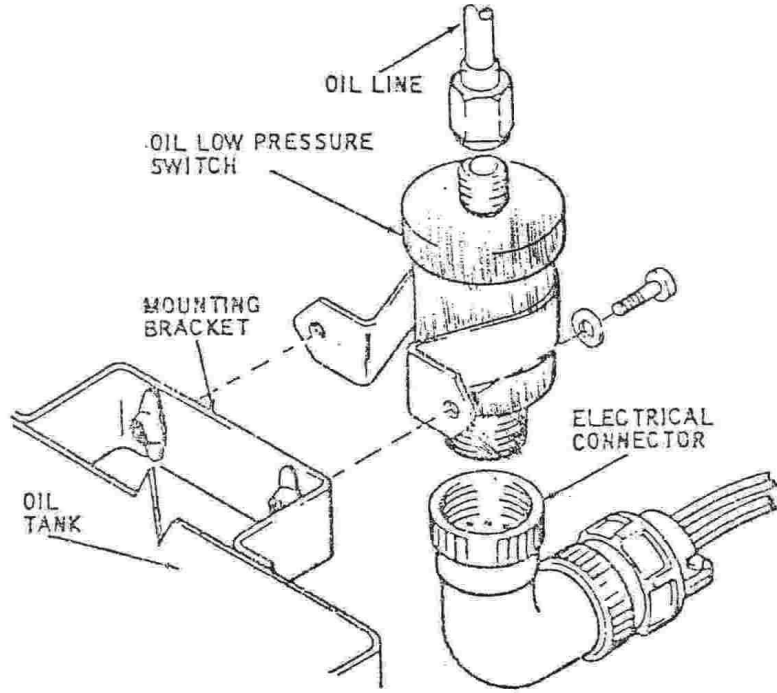
Şekil 2.11. Yağ Filtresi [1].

Hava / Yağ Soğutucu

Yeri yağ deposunun yukarisındadır. Ancak APU uçaktan alındıktan sonra sökülebilir. İçinde birçok alüminyum borular vardır. Fan havası bu borular arasından geçerken yağı soğutur.

Düşük Yağ Basıncı İkaz Anahtarı

Yağ tankının sağ tarafındadır. Yağ basıncı 45 PSI altına düştüğünde sistemdeki yağ basıncı düşmüştür. Amber renkli lambayı ve bununla birlikte ana ikaz lambalarını yakar.



Şekil 2.12. Düşük Yağ Basınç İkaz Anahtarı [2].

Sıcaklık Sensörü

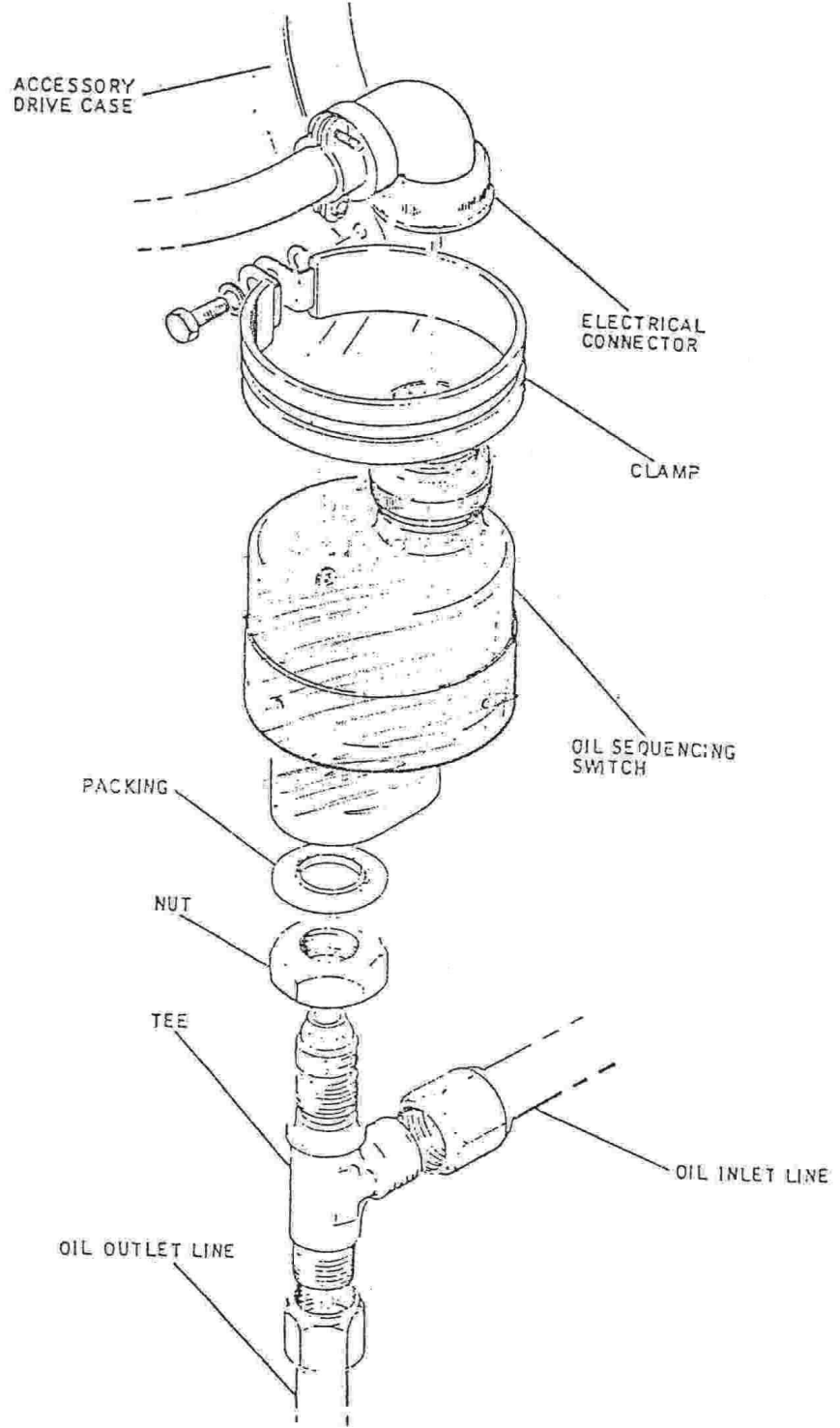
Yağ pompası üzerindedir. Yağ harareti 122 °C olunca paneldeki amber renkli ilgili lambayı ve ana ikaz lambalarını yakar.

Sıralı Şalter

Yağ basıncı yaklaşık 3 PSI ve devir %10 olunca yakıt selenoidini enerjilendirir ve bujiye akım gitmesini sağlar, böylece yanma olayını başlatmış olur.

Yağlama sisteminde yağ, yağ pompası vasıtası ile depodan alınır ve sisteme basılır. Önce kâğıt filtreden geçer, filtre tıkanırsa, yağ geçme vanası açılır, bu kez yağ filtre edilmeksizin sisteme gider. Bu yüzden filtrenin periyodik olarak değişmesi gerekir. Filtreden sonra yağ ısı sensörüne gelir, buradan sıralı şalter ve düşük yağ basınç anahtarına uğradıktan sonra dişli kutusundaki dişlileri, ön ve arka yatakları yağlar. Pompa çıkışında bir düzenleyici bulunur, bu düzenleyici yağ basıncını belli bir değerde sabit tutar: Yağ pompasının bastığı yağ, pompa vasıtasıyla alınarak yağ soğutucusuna

(oil cooler) basılır, yağlama işini yapması sonucu ısınan yağ, burada soğuyarak depoya döner [2].



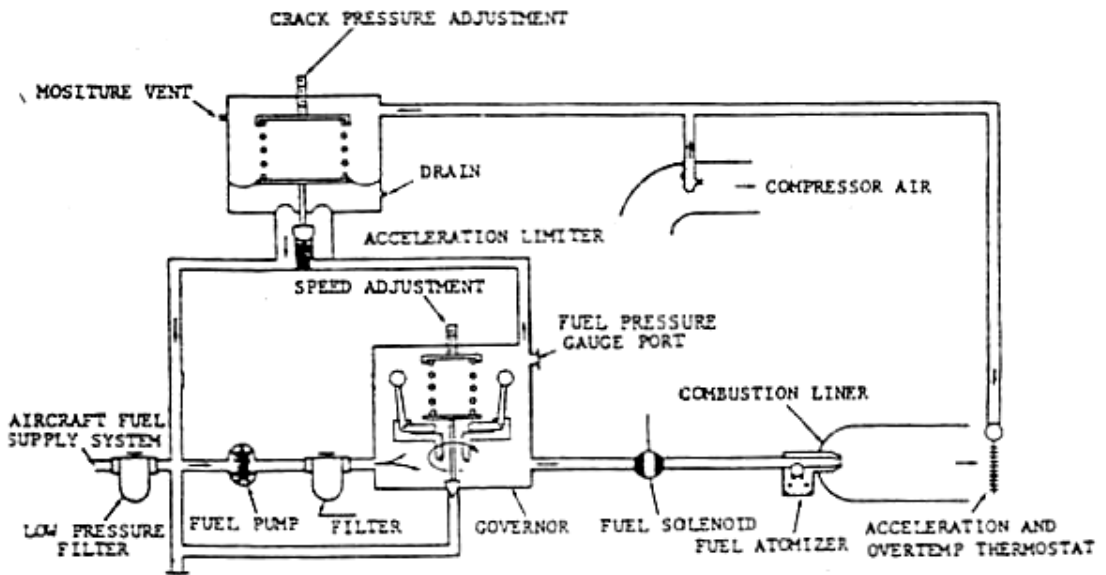
Şekil 2.13. Sıralı Yağ Şarteli [2].

2.3.2. Yakıt Sistemi

Yakıt sistemi motorun kalbidir. Tam otomatik çalışır ve sistemin ihtiyacı olan yakıtı RPM ve APU'nun yüklü ve yüksüz durumlarına, göre ölçülü olarak yanma odasına gitmesini sağlar.

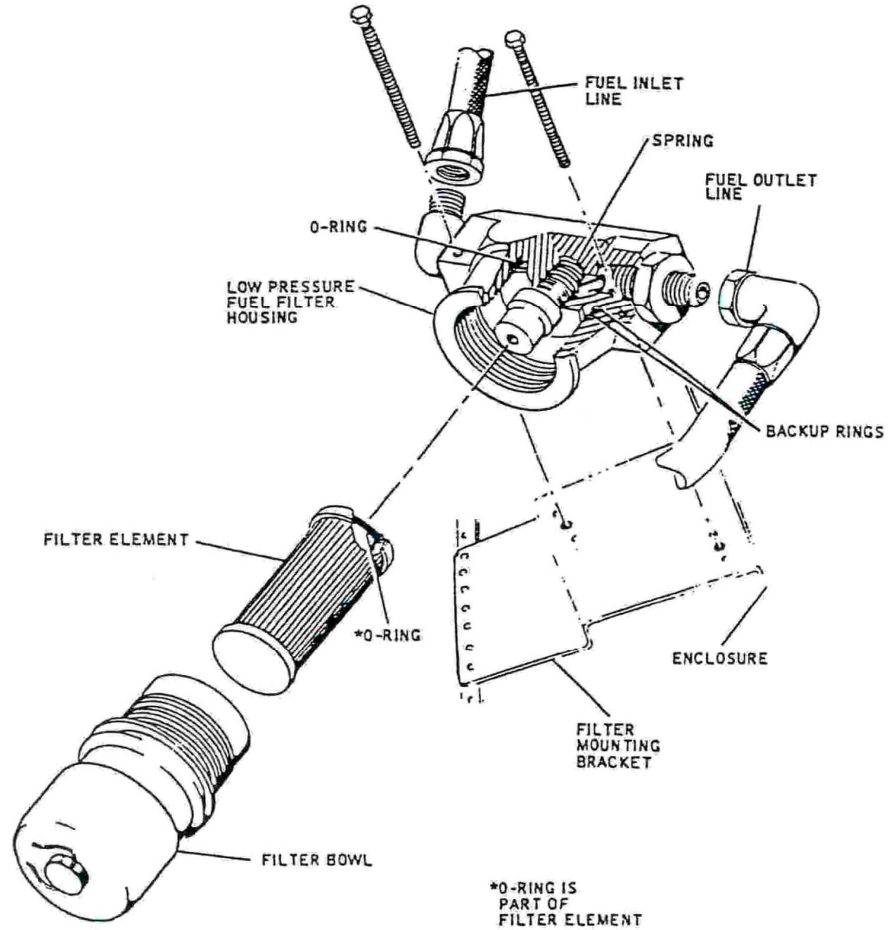
Ana anahtarın "başlangıç" durumuna alınmasından itibaren sistem kendi fonksiyonunu yapmaya başlar. Yakıt sistemindeki arızalardan dolayı meydana gelebilecek aşırı EGT (Exhaust Gas Temperature) artmaları için ayrıca emniyet tertibatları vardır. Yakıt sistemi aşağıdaki elemanlara sahiptir:

- Alçak basınç filtresi
- Yakıt kontrol ünitesi (FCU)
 - Hız limitleyici
 - Düzenleyici
 - Yüksek basınç filtresi
 - Yakıt pompası
- Yakıt selenoid vanası
- Püskürtücü
- "T" şeklindeki delikli boru
- İvmelenme termostadı



Şekil 2.14. APU Yakıt Sistemi Şeması [2].

Alçak Basınç Yakıt Filtresi: APU kompartımanının sol duvarına bağlanmıştır. Sol ulaşma kapağından varılır. Kâğıttan yapılmış bir filtredir.

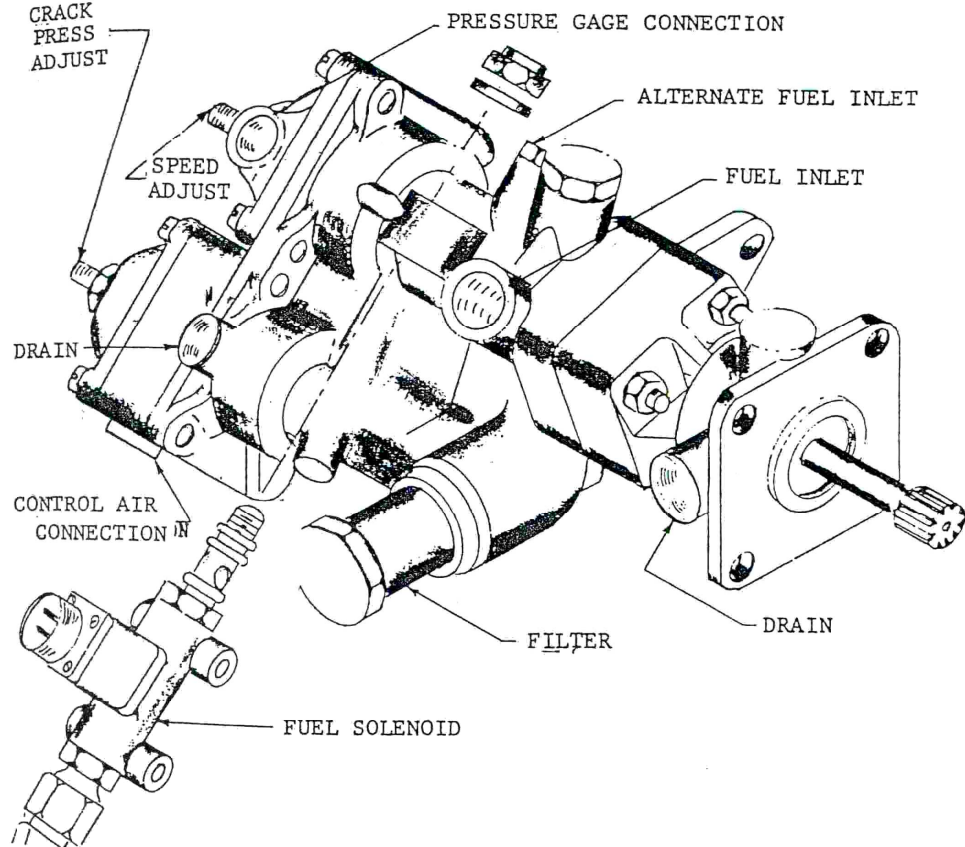


Şekil 2.15. Alçak Basınç Yakıt Filtresi [2].

Yakıt Kontrol Ünitesi: Dişli kutusu üzerindedir. Yaklaşık 40000 RPM' de döner. Uçak tankından gelen yakıtı, filtreden geçirerek yakıt püskürtücüsüne ulaştırır. Üzerinde yakıt pompası, yakıt selenoid valfı, yüksek basınç filtresi, düzenleyici ve hız limit vanası bulunur. Hız limitleyici içinde dolaşan yakıt aynı zamanda yağlama görevini de yapar. (Şekil 2.14).

Hız Limitleyici: Görevi ivmelenme sırasında gerekli miktardaki yakıtın, kompresör hava basıncına orantılı olarak püskürtücüye gönderilmesidir. %95 devre kadar yakıt akışını kontrol altında tutar. Sistemin çalışması, yarım bilye şeklindeki vananın, hava

basıncı ile yakıt yolunu açıp kapaması ile olur. Bu "açma-kapama" ayarı, yakıt kontrol ünitesinin "hız limitleyici" kısmında yapılır. %95 devire kadar yakıt akışını bu kısım kontrol altında tutar.



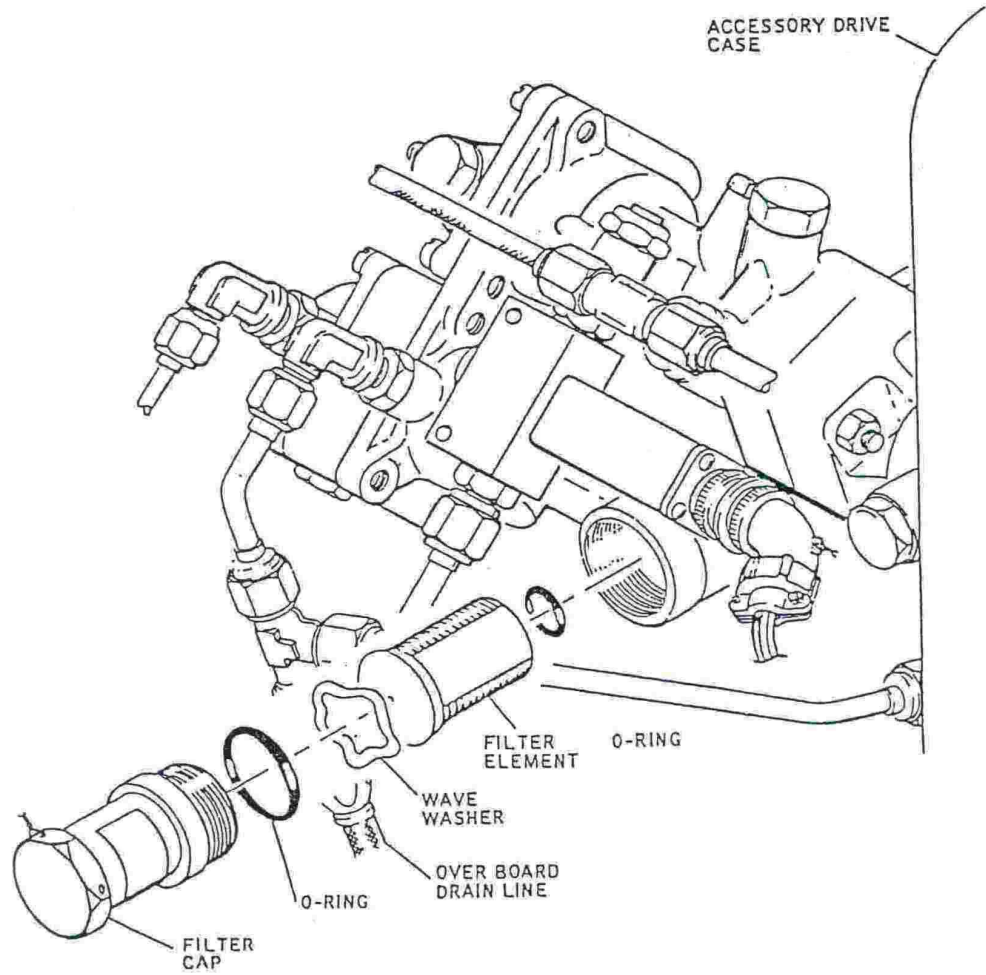
Şekil 2.16. Yakıt Kontrol Ünitesi [3].

Düzenleyici: APU'yu %100 RPM' de sabit tutan kısımdır. APU devri %95'e kadar yakıt ve devrin kontrolü hız limitleyici tarafından kontrol edilir. Bu devirden sonra, pompa şaftından hareket alan düzenleyici ve üzerinde dönen ağırlıklar, yay gücünü yenerek geçiş yolunu açarlar. Düzenleyiciye giden yakıtın bir miktarı buradan pompa girişine varır. Böylece yakıt akışı ile RPM jeneratör frekansı kontrol altına alınmış olur.

APU'nun yakıt sarfiyatı; ivmelenme anında 350–400 Lb/saat, yüksüz durumdayken 150 Lb/saat, tam yükte çalışırken 250 Lb/saattir.

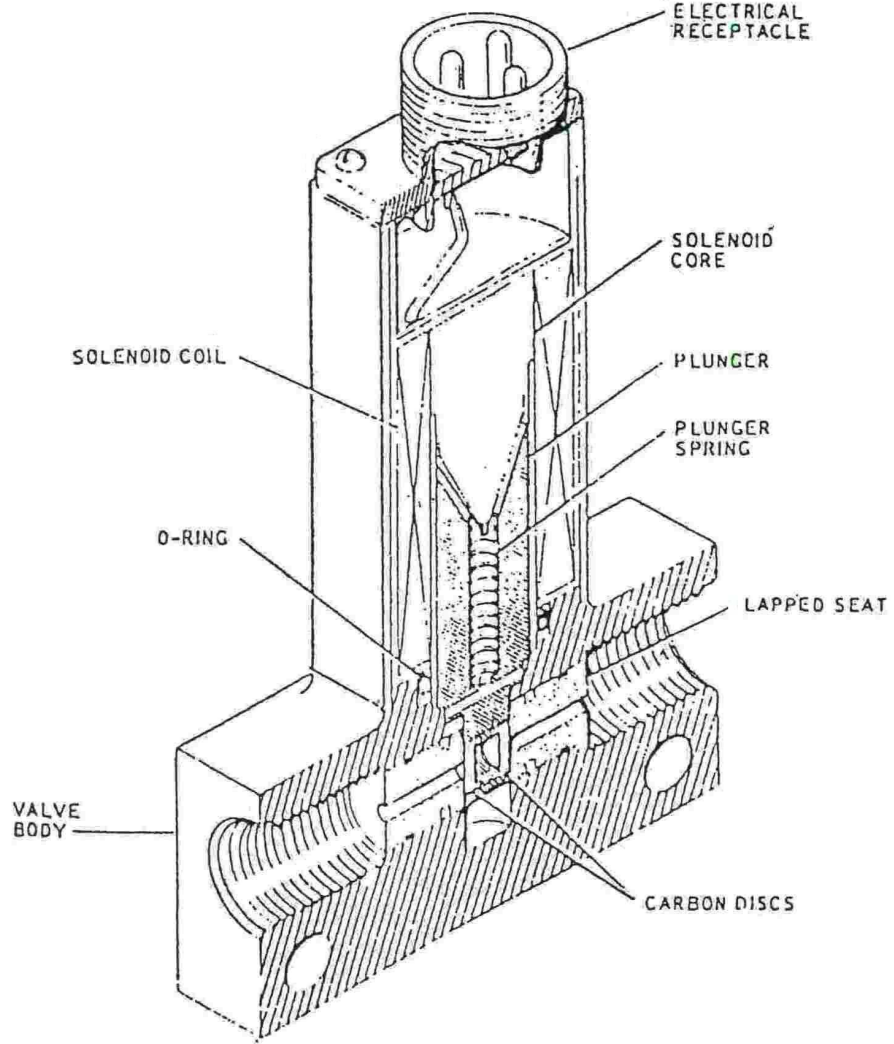
Yüksek Basınç Yakıt Filtresi: Yüksek basınç filtresi yakıt kontrol ünitesi üzerindedir. Kâğıttan yapılmış bir filtredir. Periyodik olarak kontrol edilmeli ve gerektiğinde değiştirilmelidir.

Yakıt Pompası: Yakıt pompası yakıt kontrol ünitesi içindedir. Hareketini dişli kutusundan alır. İki dişli çarktan meydana gelmiştir. Dişliler şaft üzerindedir. Şaftın diğer ucunda düzenleyici bulunur. Sabit hacimli bir pompadır.



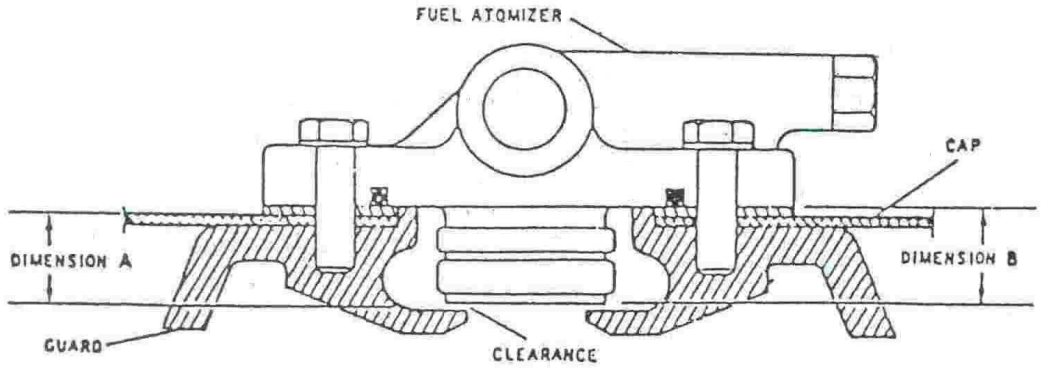
Şekil 2.17. Yakıt Pompası [2].

Yakıt Selenoid Vanası: Yakıt selenoid vanası yakıt kontrol ünitesi üzerindedir. Yağ basıncı 3 PSI olunca ve %10'luk RPM seviyesine geldiğinde anahtar vasıtası ile enerjilenerek açılır.



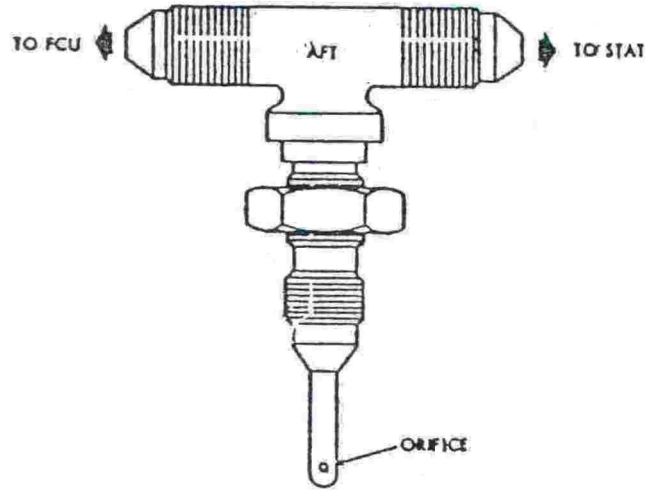
Şekil 2.18. Yakıt Selenoid Vanası [2].

Püskürtücü: Yanma odası üzerindeki muhafazaya bağlanmıştır. Sağ ulaşma kapağından ulaşılır. Yakıt, püskürtücüye bir tel filtreden geçerek girer. Başlangıçta yakıt önce birinci devreden 60 PSI'lık bir basınçla püskürtülür. 75 PSI' dan sonra ikinci devre açılır. Bu kez yakıt, her iki devreden de buhar halinde yanma odasına püskürtülür, ikinci devrenin erken açılması, patlamalı yanma ve boğulmalara neden olabilir. Açılma basıncı yüksek ise geç ivmelenmelere neden olabilir.



Şekil 2.19. Yakıt Püskürtücüsü [2].

"T" Şeklindeki Delikli Boru: APU'nun ivmelenme ve yüksüz çalışma sırasında 2. kademe kompresör havası, hız limitleyici ve termostat hattına bu delikten geçerek gider. Delik, kompresör havasının sisteme darbeli olarak gitmesini önler. Deliğin tıkalı oluşu; püskürtücüye giden yakıtın azalmasına, düşük EGT ve ivmelenme problemleri doğurabilir.



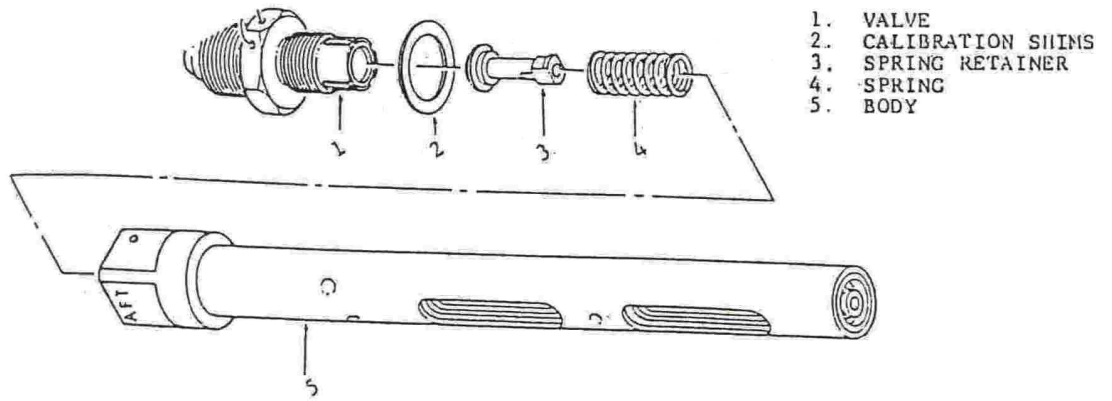
Şekil 2.20. "T" Şeklindeki Delikli Boru [2].

İvmelenme Termostatu: İvmelenme termostatu %95 devre kadar olan aşırı EGT artmasını kontrol eder. Termostat normalde kapalıdır.

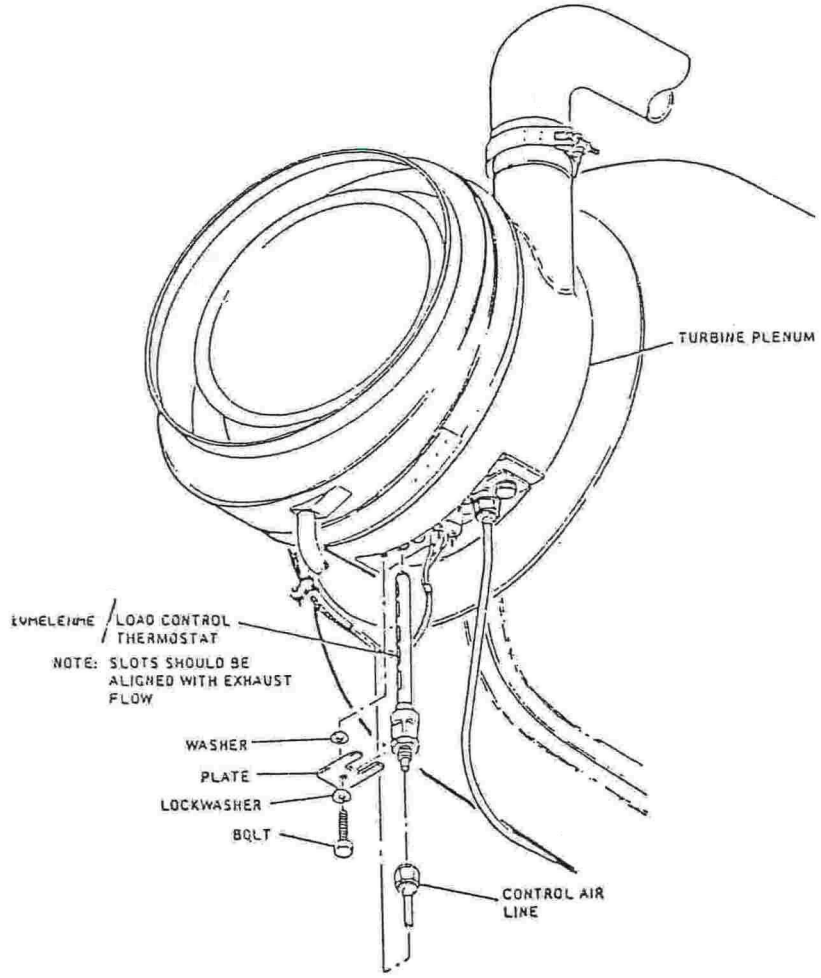
APU'nun ivmelenme veya yüksüz çalışmasında herhangi bir nedenle EGT maksimum değerleri aşarsa termostat açılır ve limitleyici diyaframına giden havayı atmosfere atar.

Bu olayın neticesinde, püskürtücüye giden yakıtın bir kısmı pompa girişine geçer ve EGT limit içinde kalır. (Şekil 2.19 ve Şekil 2.20).

İvmelenme termostadı %95 devirden sonra yük kontrol termostadı (load control thermostat) olarak egzozun yanığında görev yapar. Bu kez "yük kontrol vanasına" bağlı olarak EGT'yi kontrol altında tutar [2].



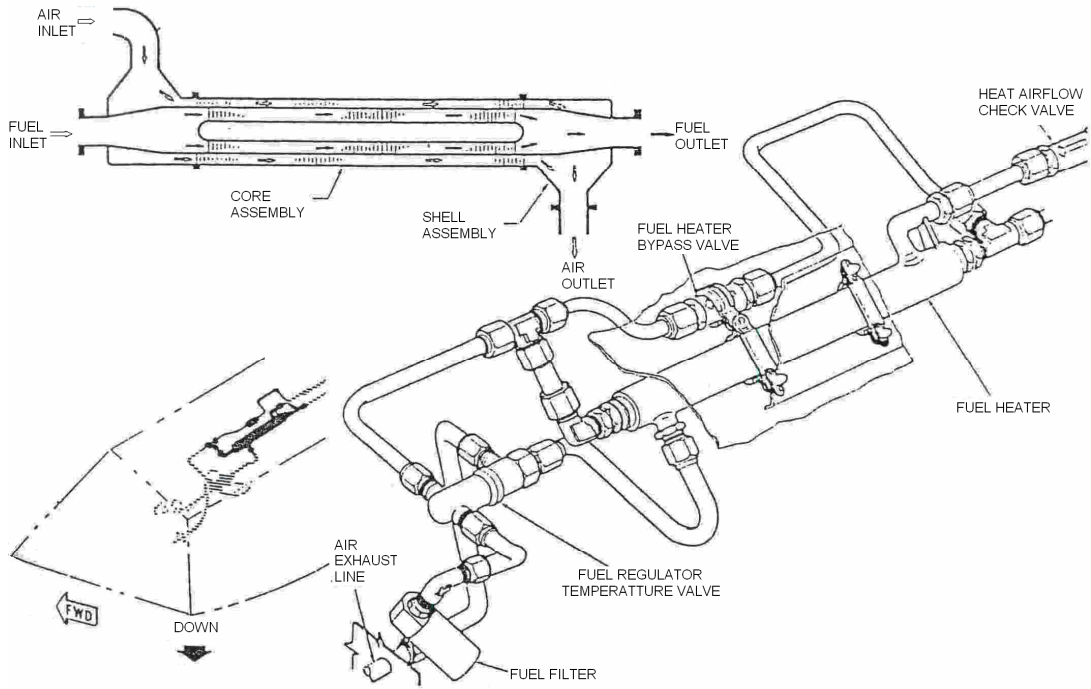
Şekil 2.21. İvmelenme Termostadı [2].



Şekil 2.22. Termostat Sistemi [2].

2.3.3. Yakıt Isıtma Sistemi

Yakıt ısıtma sistemi otomatik çalışır. Bu sistemin ana komponentleri: pnömatik kontrol vanası, yakıt ısıtıcısı (fuel heater), yakıt ısıtıcına geçiş vanası ve yakıt ısıtıcısı ayar vanasıdır.



Şekil 2.23. Yakıt Isıtma Sistemi [2].

Yakıt sıcaklığı düştüğünde (40°F civarında) ayar vanası açılır ve APU' nun türbin kartelinden alınan sıcak hava ısıtıcıdan geçirilerek atmosfere atılır. Yakıt sıcaklığı 60°F üzerine çıktığında ayar vanası kapanır ve sıcak havanın geçmesine izin vermez. Herhangi bir nedenden dolayı ısıtıcıda bir tıkanıklık bir arıza olursa geçiş vanası farklı bir yakıt basıncıyla açılır ve yakıt sisteme gider.

Sistemdeki kontrol vanasının görevi, yakıt ısıtma sisteminde herhangi bir dâhili yakıt kaçağı olursa, bu yakıtın türbin karteline gitmesine mani olmaktır. Yakıt ısıtma elemanları APU kompartımanı içindedir. Yakıt ısıtma sisteminin komple sökülebilmesi için APU 'nün uçaktan sökülmesi gerekir. Buna rağmen bazı komponentleri APU'nun sol ve sağ ulaşma kapağında sökülebilir [2].

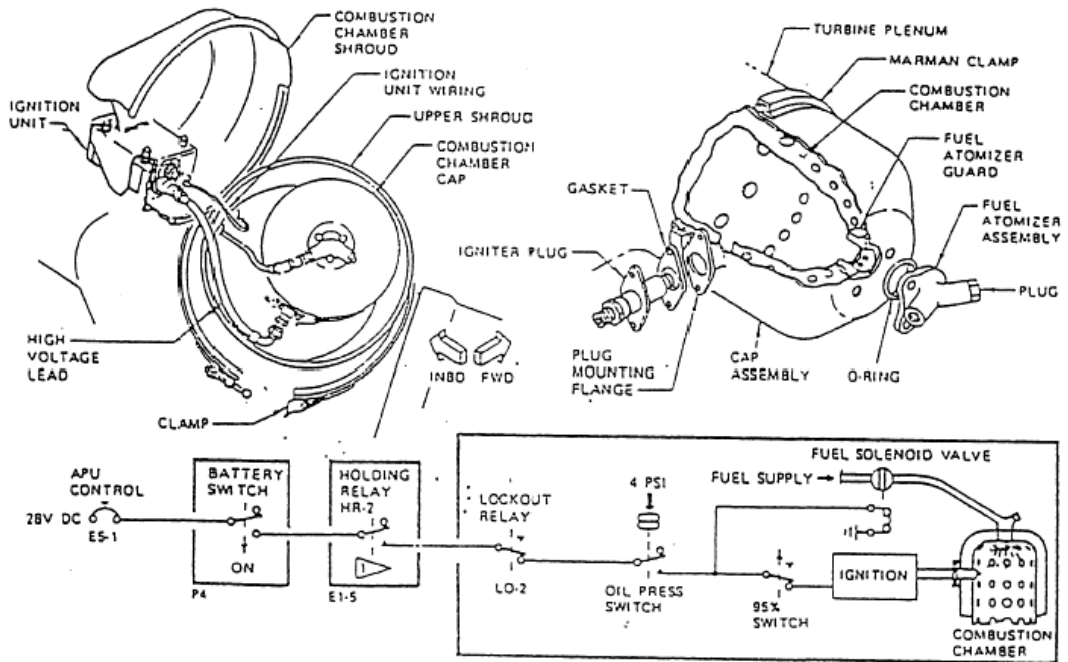
2.3.4. Ateşleme Sistemi

Sistemin amacı, yanma odasındaki yakıt-hava karışımını buji vasıtasıyla tutuşturmaktır.

Bu sistemin komponentleri:

- Uçak bataryası
- Ateşleme kutusu (Ignition Box)
- Buji

Bataryadan gelen 26–28 V akım ateşleme kutusunda yüksek voltaja dönüşür. Yağ basıncı 3 PSI üzerine çıktığında anahtar vasıtasıyla buji çakmaya başlar [2].



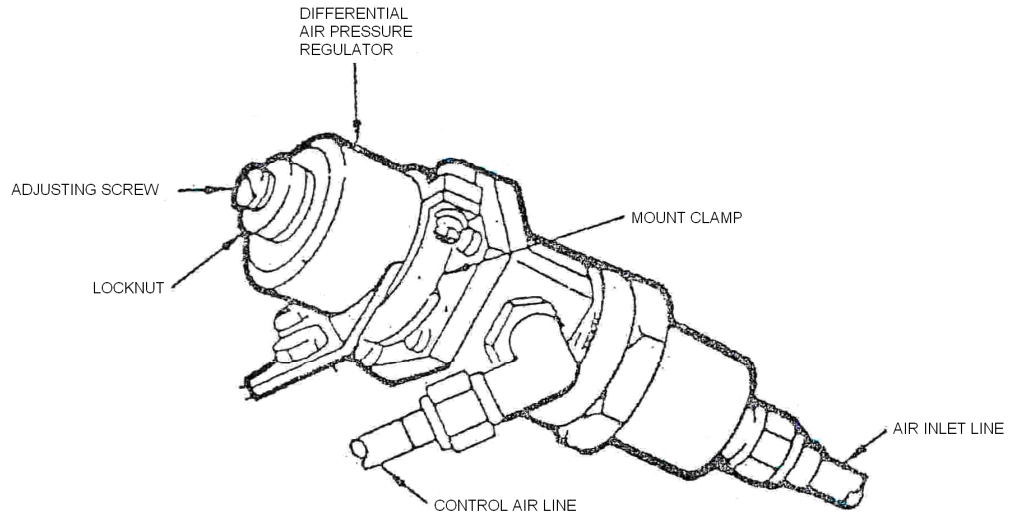
Şekil 2.24. Ateşleme Sistemi [2].

2.3.5. Hava Sistemi

APU'nun verebileceği hava miktarı ile uçağın ihtiyacı olan havayı, egzoz gaz ısısı belli sınırları geçmeden temin etmektedir. Bu sistemin ana komponentleri:

- Hava basınç düzenleyicisi (Air pressure regülâtör)
- Yük kontrol vanası (Load control valve)

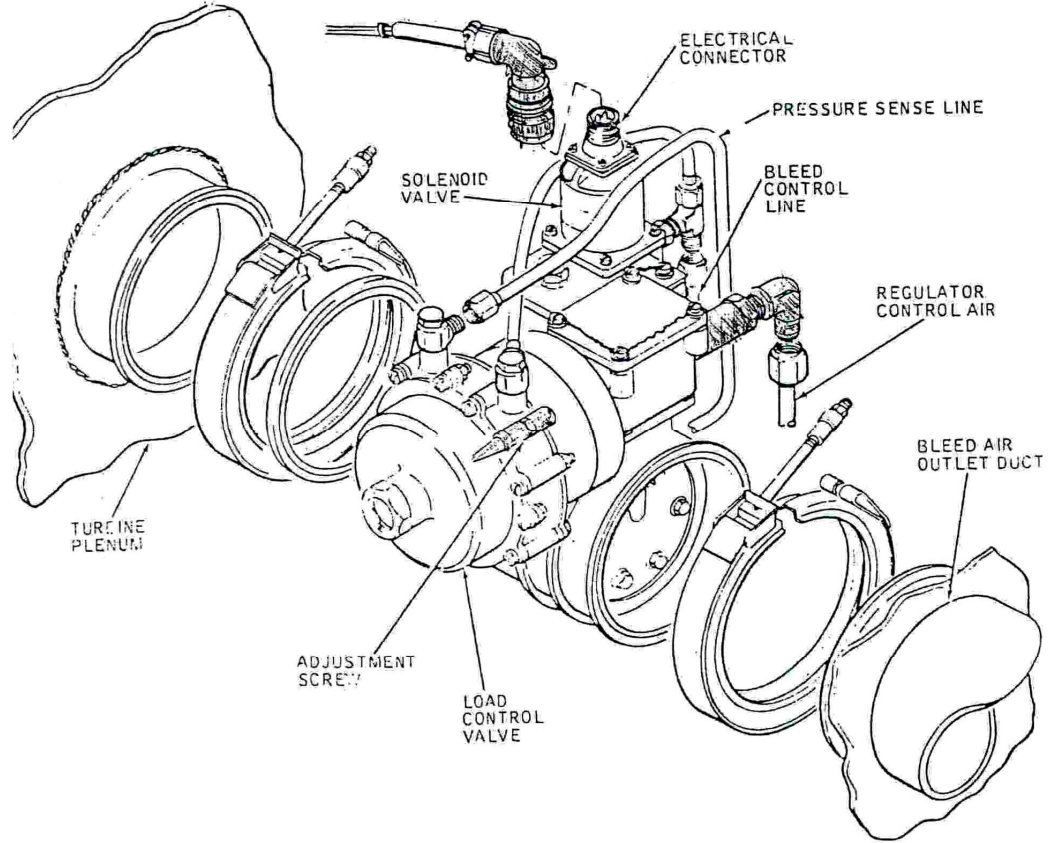
Hava basınç düzenleyicisi, kompresör kademesinden gelen havayı belli bir değerde sabit tutarak, yük kontrol vanasının açılmasını sağlar ve termostat sayesinde EGT' yi kontrol altında tutar.



Şekil 2.25. Hava Basınç Regülâtörleri [2].

Kompresör ikinci kademesinden alınan 40–42 PSI 'lık havayı, 19,5 PSI' a ayarlayarak yük kontrol vanasına gönderir. Yük kontrol vanası veya termostat değişimi yapmadan önce, düzenleyici çıkış basıncının doğru olduğundan emin olmak gerekir. Çünkü bu iki elemanın doğru çalışması için düzenleyicideki çıkış basıncının önemi büyüktür. Düzenleyicide saat yönüne yapılan ayar çıkış basıncını arttırır.

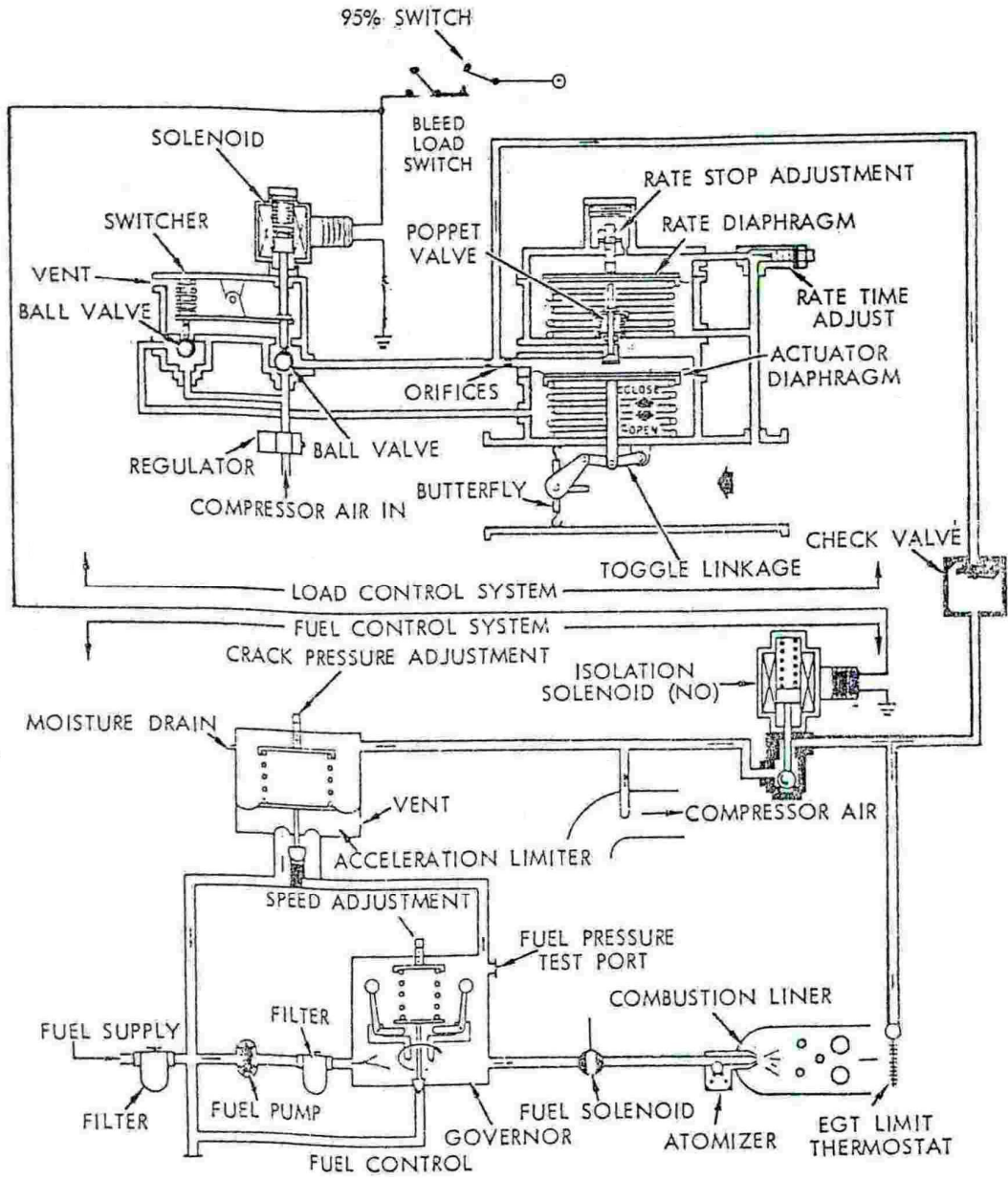
Yük Kontrol Vanası: APU kompresörünün bastığı havayı istendiğinde uçak sistemine almak için bir kapı görevi yapar. Düzenleyiciden çıkan 19.5 PSI 'lık hava yük kontrol vanasının selenoid kısmında bekler. Yük kontrol vanası elektrik kumandalı, pnömatik kontrollü ve modülasyonlu çalışan bir vanadır [2].



Şekil 2.26. APU Yük Kontrol Vanası [2].

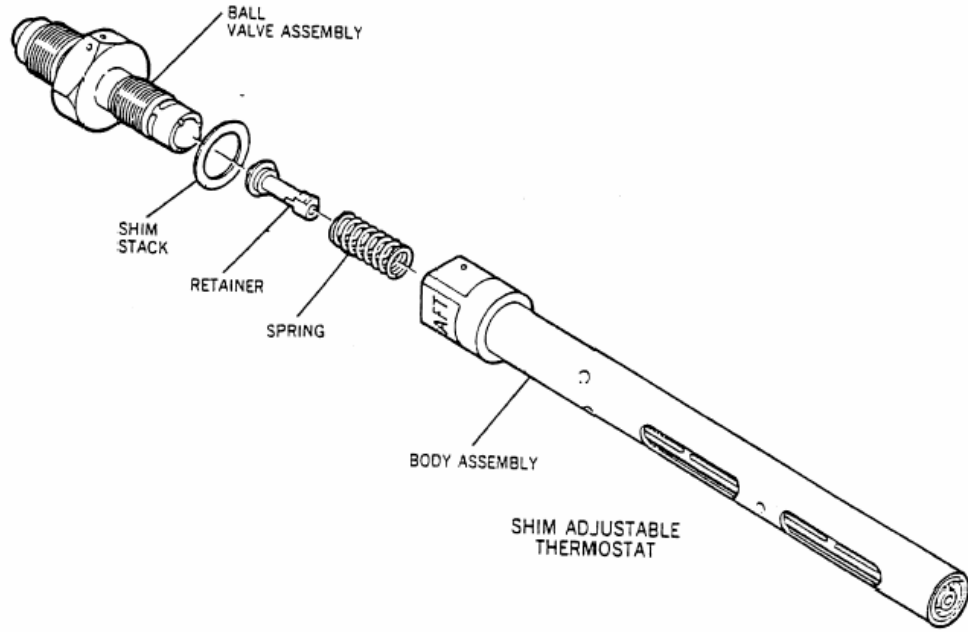
2.3.6. Termostat Sistemi

APU devri %95'i geçtikten sonraki pilot kabinindeki hava akış anahtarını "açık" durumuna almakla yük kontrol vanasını kumanda ederiz. Bu durumda 2 yollu izolasyon selenoid' de enerjilenir ve termostat, yük kontrol vanasına bağlanır. Hız limitleyiciye gelen kontrol havası ile termostat'ın bağlantısı kesilir. Hava alınmaz iken izolasyon selenoid enerjisiz olduğundan kompresör havası kontrol vanasından geçemez, dolayısıyla termostata bağlıdır.

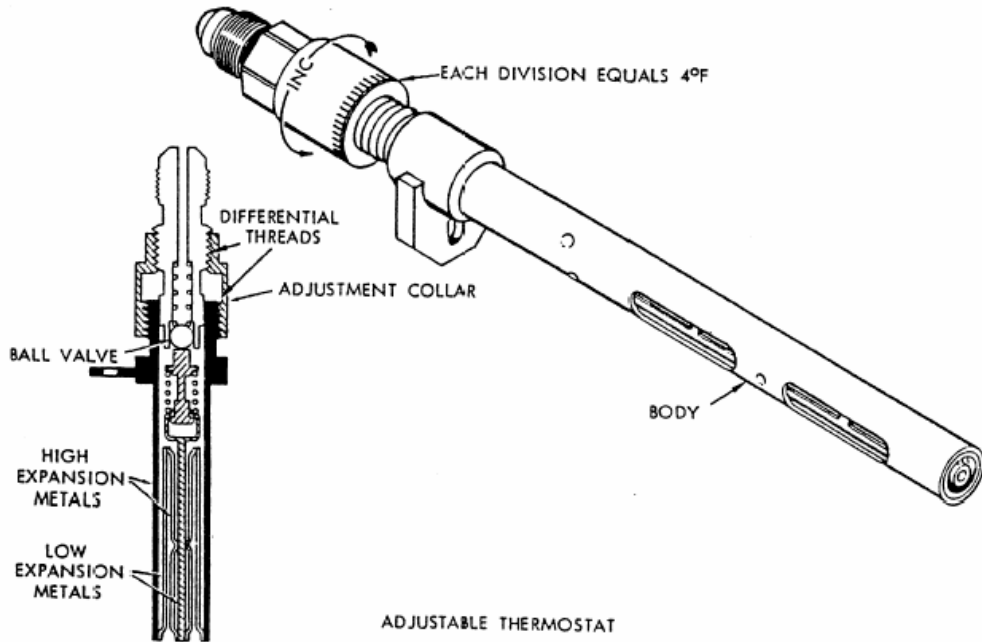


Şekil 2.27. Termostat Sistemi [2].

Kamalı termostat, halen DC-9 uçaklarında kullanılmaktadır. Vana grubu sökülerek şim ilave veya çıkarma suretiyle EGT belli değerlerde tutulur. Her iki termostat ivmelenme ve yükleme anında EGT' yi kontrol altında tutar. Kamasız ayarlanabilen termostatın çalışma prensibi aynen diğeri gibidir. (Şekil 2.26 ve Şekil 2.27). Yalnız kama yoktur ve vana grubu saat istikametinde döndürülürse EGT artar [2].



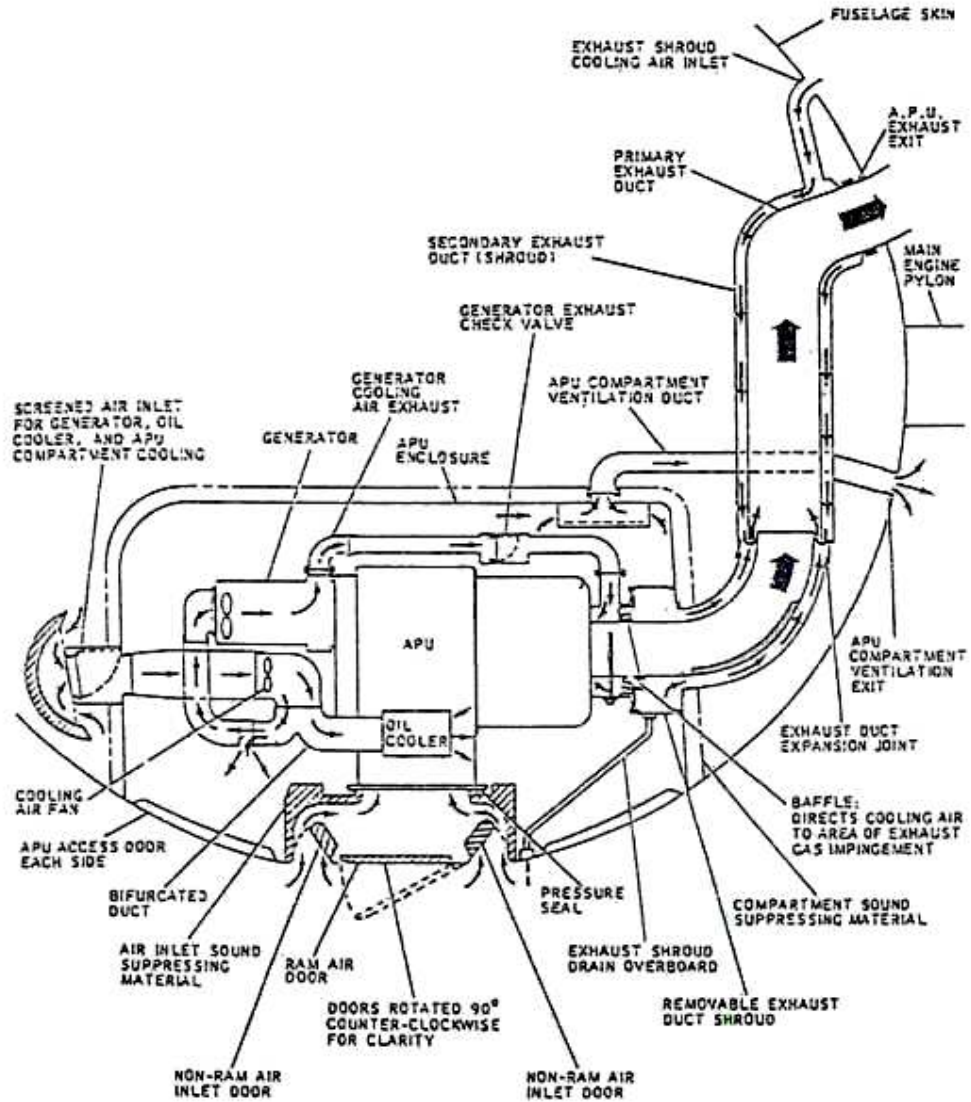
Şekil 2.28. Kamalı Termostat [2].



Şekil 2.29. Kamasız Termostat[2].

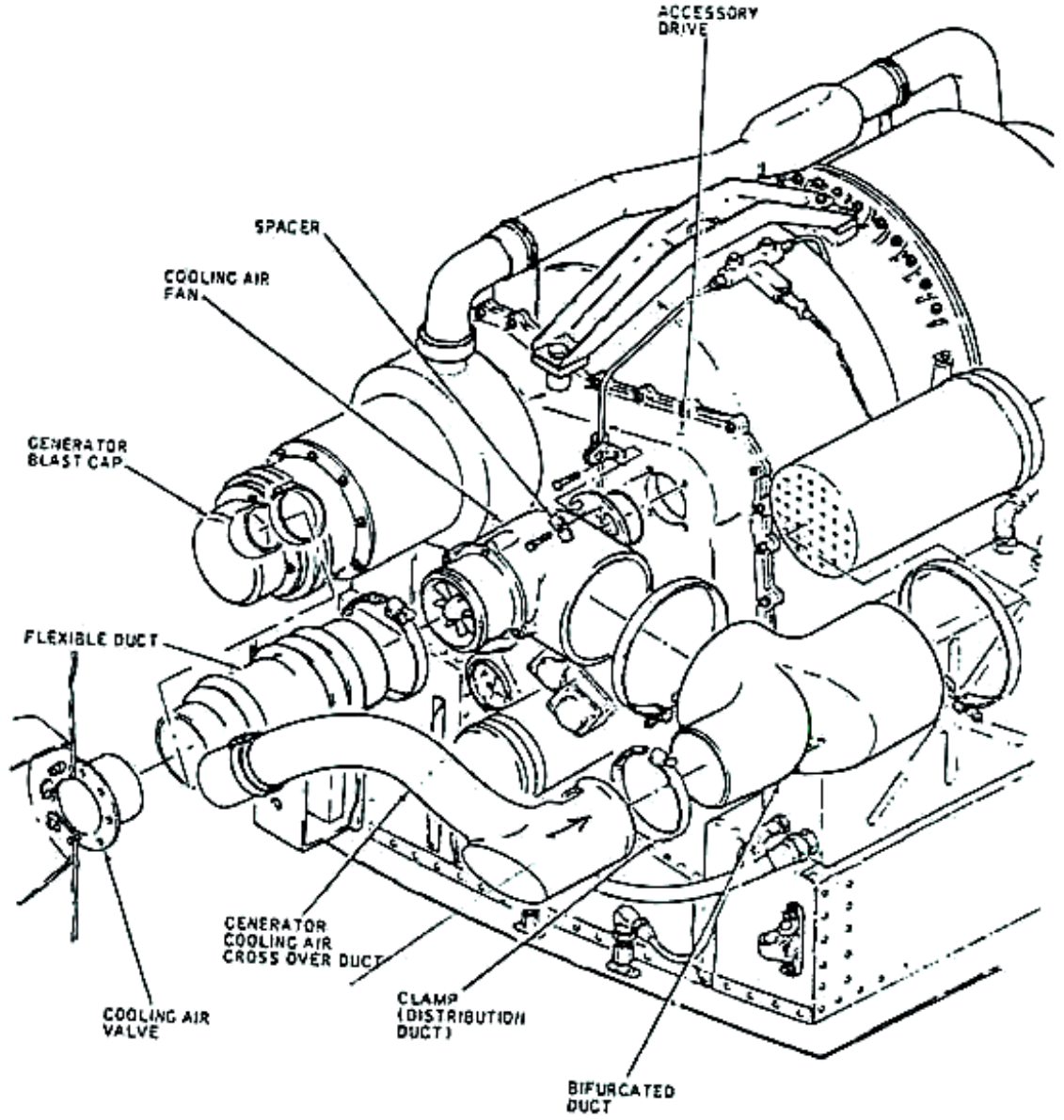
2.3.7. Soğutma Sistemi

Atmosfer havası, APU'nun sol tarafındaki vananın soğutma fanı vasıtasıyla alınır ve borular vasıtasıyla, jeneratörün yağ soğutucusunun ve APU'nun soğutulmasını sağlar. Jeneratörü soğutan hava, bir boru ile egzozdan dışarı atılır. Bu boruda bir kontrol vanası vardır ve hariçten yabancı cisimlerin jeneratöre girmesini önler. APU kompartımanını soğutan hava atmosfere atılır. Egzoz gazları çıkarken, egzozun soğuması için, çıkışın hemen üzerindeki porttan dış havayı emer. Egzozdan soğutma işini yapan hava, yine egzozdan dışarı atılır.



Şekil 2.30. Soğutma Sistemi [2].

Soğutma fanı, dişli kutusunun sağ üst köşesine bağlanmıştır. Yaklaşık 38.000 RPM ile döner. Yatakları dişli kutusundan yağlanır. Jeneratörü, yağ soğutucusunu ve APU kompartımanını soğutur. (Şekil 2.31).



Şekil 2.31. Hava Soğutma Fanı [2].

2.3.8. Gösterge Sistemi

Sistemin amacı APU ile ilgili olarak çalışan sistemlerin normal değerler içerisinde olduğunun öğrenilmesi ve kokpite gerekli bilgilerin temin edilmesini sağlamaktır.

Bunlar genel olarak APU devrini, egzoz sıcaklığını ve bazı uçaklarda APU'nun çalışma süresini gösterir. Ayrıca; bazılarında da yağ seviye göstergeleri ilave edilmiştir.

2.3.8.1. APU Devir Göstergesi (Apu Rpm Indicator)

APU'nun çalışması esnasında APU devri ile ilgili bilgileri kokpitteki indikatörlerde görmemizi temin eden bir sistemdir.

APU devrinin indikatöre iletilmesi bazı uçaklarda takometre jeneratörü ile bazı uçaklarda ise speed sensör (monopol) ile temin edilmiştir.

2.3.8.2. APU Egzoz Gaz Sıcaklık Göstergesi (Apu EGT Indicator)

APU egzoz sıcaklığının kokpitteki indikatörlerde görülmesini temin eden bir sistemdir.

EGT'nin kokpitteki indikatörlere iletilmesi egzoz kısmına yerleştirilmiş olan thermocouple diye adlandırdığımız hissedicilerle sağlanmaktadır.

2.3.8.3. APU Yağ Seviye Göstergesi (Apu Oil Level Indicator)

APU yağ tankında bulunan mevcut yağın öğrenilmesi bu sistemle temin edilir. Yağ seviyesini yağ tankının yanında bulunan yağ seviye indikatöründen veya yağ doldurma kapağının altında bulunan mekaniki ölçme çubuğundan anlaşılır.

Fakat bazı uçaklarda buna ilaveten yağ seviyesi kokpitteki bir indikatörde görülebilmektedir.

Yağ seviyesinin kokpitteki indikatörde gösterilmesi transmitter vasıtası ile sağlanmıştır.

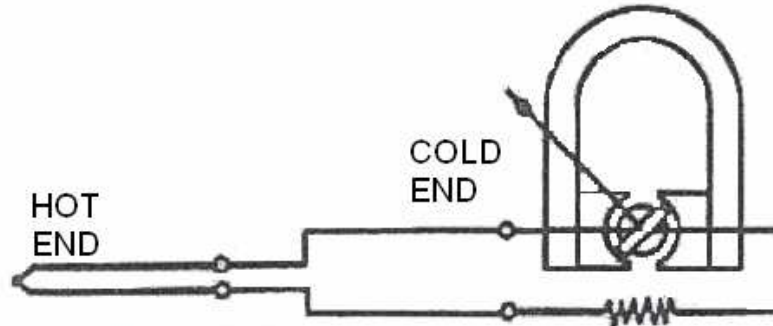
2.3.8.4. Hourmeter

APU'nun çalıştığı süreyi gösterir. Ancak APU devri %95 olunca hourmeter çalışmaya başlar. APU shutdown olduğunda da devre dışı kalır.

85 serisi APU'larda indikatör APU'nun üzerindedir. Fakat bazı uçaklarda bu indikatör pilot kabinindeki bir panel üzerinde bulunmaktadır.

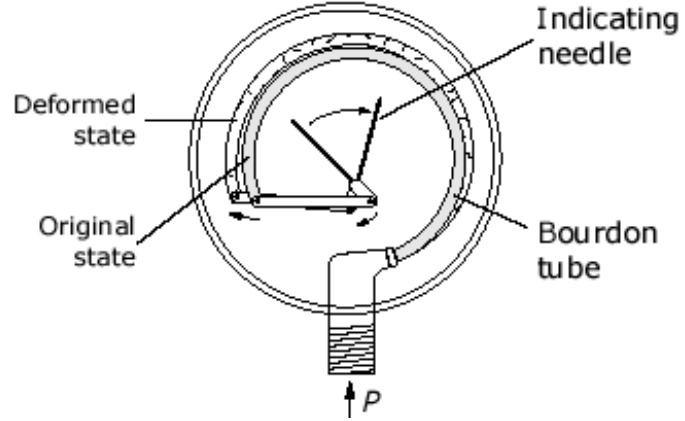
İndikatörlerde gösterilen bilgilerin ölçülmesi şu yöntemlerle yapılır;

- **Devir jeneratörü:** Yağ pompası üzerindedir. Hareketini yağ pompası üzerinden alır. 3 fazlı bir elektrik üreticidir. Aldığı devre göre akım üretir. Bu akım değerine göre kokpitteki RPM saati yüzde olarak değer gösterir.
- **Sıcaklık ölçücü (Thermocouple):** Egzoz termostatının yanındadır. Görevi, EGT'yi kokpitte °C olarak göstermektedir. "Alumel" ve "Cromel" adlı iki farklı maddenin uç uca birleştirilmesi ile meydana gelmiştir. Isıtılınca bu farklı iki maden arasında bir elektron akımı başlar ve mili volt cinsinden DC akım kokpitteki EGT indikatörüne gider. Göstergede meydana gelen manyetik alan ibreyi hareket ettirir. Sistemin devresi bir denge direnci ile daha önceden 15 ohm olarak ayar edilir.



Şekil 2.32. Termokuplaj (Thermocouple)

Elektriki olmayan bir diğer genel sıcaklık ölçme, buhar metodun kullanılarak yapılır. Sızdırmaz bir *bulb* içersine gaz doldurulur ve genişleyebilir (*Bourdon*) tüp bir göstergeye bağlanır. *Bulb* sıcaklığın ölçüleceği yere bağlanır ve içindeki basınç, *bourdon* tüpün genişlemesine ve böylece göstergenin hareket ettirilmesine sebep olacak şekilde, sıcaklık ile değişir.



Şekil 2.33. Bourdon Tüpü [9].

2.3.9. Yangın İhbar ve Söndürme Sistemi

APU çalıştırılmadan önce yangın testi yapılır. Bu testte:

- Göz lambaları
- Yangın ikaz lambaları
- Ana ikaz lambaları
- "Yangında yapılacaklar" paneli üzerindeki lambalar yanar ve zil çalar.

Uçağın sol arka tarafında bulunan 2 adet sabit yangın tüpü, motorlar ve APU içindir. APU' da bir yangın söz konusu olduğunda ilgili lambalar yanar ve harici kontrol panelindeki korna çalar. Kornayı durduracak herhangi bir kumanda yoktur, ancak yangın belirtileri ortadan kalkınca durur [2].

2.3.10. Elektrik Sistemi

APU'nun otomatik olarak çalışması için gerekli olan sistemdir. Ana anahtar "başlangıç" durumuna alındığında kontaklar üzerinden voltaj geçerek röleler enerjilendirilir. Bunun neticesinde "başlatıcı" batarya hattından enerjilenmiş olur. Yağ basıncı 3 PSI üzerine çıktığında yakıt vanası enerjilenir ve bujinin çakması için elektrik devresini tamamlanır [2].

2.4. APU Çalıştırma, Durdurma Ve Yükleme İşlemleri

APU'yu çalıştırmadan önce dikkat edilecek hususlar;

- 1- Çalıştırma işlemine başlamadan önce APU switchleri normal konumda olmalı.
- 2- APU'yu çalıştırmadan önce egzoz çıkışında kimse olmadığına dikkat edilmeli.
- 3- Batarya voltajının 22 volt'un üzerinde olduğunu görmeli, aksi ise çalıştırılmamalı.
- 4- Yangın testini yaparak, ilgili lambaların yandığını kontrol etmeli,

Bütün bu işlemleri gerçekleştirdikten sonra APU çalıştırma işlemleri ilgili uçak tipi çalıştırma sırasına göre yapılmalıdır.

APU çalıştırıldıktan ve normal devrini bulduktan sonra, APU' ya hava ve elektrik yüklemeyen önce EGT'nin uçak tipine göre belirtilen değerler içinde olduğunu kontrol et ve daha sonra kontrollü bir şekilde APU yükleme işlemini gerçekleştir.

APU durdurma işleminde ise APU' da işlemiz bittikten sonra durdurmadan önce APU yüklü ise hava ve elektriği kestikten sonra APU'nun soğuması, sabit olabilmesi için yüksüz 2 dakika daha çalıştırıldıktan sonra APU'yu durdururuz.

85 serisi APU'larda shutdown olayı ana şalter kapalı konuma alınmasıyla pnömatik selenoid enerjilenir ve kompresör havası merkezkaç şalter'in %110 mikro şalter'ine basarak APU'yu shutdown ettirir.

Bazı uçaklarda ise; APU shutdown olayı ana şalter kapalı konuma alınca APU aşırı sıcaklık sinyali almış gibi kapalı konuma gelir.

2.5. APU'ların Sökülüp Takılması

APU'ları uçaktan sökmeden yakıt, elektrik, hava ve diğer bağlantıları ayrılır. APU ağırlığını kaldırabilecek uygun bir caraskal bağlandıktan sonra, APU bağlantı cıvataları sökülür ve dikkatli bir şekilde APU indirilir.

Takılma işleminde ise APU yerine oturtulduktan sonra, bağlantı cıvataları M/M' deki değerlere göre torklanır ve diğer eksik bağlantıları yerine bağlandıktan sonra APU takılma işlemi tamamlanmış olur.

3. SİVİL HAVACILIKTA APU KULLANIMI

1960'lı yılların başında hızlı ve verimli yer hizmeti elde etmek mümkün değildi. Yer hizmetlerindeki talep artışı, bazı modifikasyonları da beraberinde getirirdi. Uçağın yerdeki pnömatik ve elektriksel gücünü karşılayan sistemler zamanla dezavantajlı konuma geldiğinden, sektör kendini bir anda iki seçenekle karşı karşıya buldu. Ya var olan sistemin sağladığı fonksiyonlar artacak, ya da tamamen yepyeni bir ekipman sağlanacaktı

Tüm bu gelişmelerden sonra, ikinci seçenek olan yeni bir ekipman imalatı üzerinde çalışmalara başlandı. Bu sırada havacılıkta bir devrim niteliği taşıyan APU fikri ortaya atıldı. Söz konusu devrim; bu ekipmanın yerde değil, uçak üzerinde bulunmasıydı. Fikir aşamasında bazı otoriteler tarafından bu ekipmanın yapılmasının teknik yönden imkânsız, işletmecilik yönünden ise çok maliyetli olacağı savunuldu. Fakat yine de çalışmalar devam etti. Tasarım aşamasında bu ekipmandan beklenen fonksiyonlar; havalandırma için gerekli pnömatik ve elektrik gücü sağlanması, elektrik sistemleri için gerekli elektrik gücü sağlanması ve ana motorların çalışması için gerekli elektrik ve pnömatik gücü sağlamasıydı.

Ayrıca aletin tüm işlemlerini ve kontrollerini tam otomatik olarak yapması hedefleniyordu. Yapılan çalışmalar sonucunda, istenilen tüm fonksiyonlara sahip APU adı verilen ekipmana kavuşuldu ve sağladığı bütün fonksiyonlar açısından hedeflenenin üzerinde bir performansa sahip oldu.

Yer ekipmanının dezavantajlarından birisi havalandırma problemidir. Sahip olduğu havalandırma sistemi yolcu konforu açısından tam olarak yeterli değildir. Kabin, havalandırma sisteminin çalışmasına rağmen, sıcak veya soğuk olabilmektedir. APU bu

sorunu çözmekle kalmayıp, kabin sıcaklığının istenilen derecede olmasını sağlamak için sahip olduğu sıcaklık kontrol düğmesi sayesinde kullanımda büyük avantaj sağlamaktadır. Böyle bir cihazın uçakta bulunmasının avantajları ;

- İniş yapılan havaalanına muhtaç kalmamak,
- Havayolu şirketi için mali açıdan ekonomiyi sağlamak,
- Havaalanında yer ekipmanı beklemek gibi bir sıkıntı çekmemek,
- Gecikmelerin söz konusu olduğu hallerde, zaman kaybını önlediği için direkt olarak elverişliliği sağlamaktır.

Bu avantajlarının yanında APU'nun dezavantajları da vardır. Bunlar:

- Uçağın arkasında sürekli olarak bir ağırlık taşınması,
- Bakımın getirdiği ek maliyetler,
- Uçağın tükettiği yakıtı arttırmasıdır.

Sağlanan avantajlara bakıldığında ortaya çıkan dezavantajların herhangi bir önem taşımadığı anlaşılmaktadır.

Tüm bu nedenlerden dolayı, APU havayolu şirketlerince memnuniyetle kabul edilmiş, hatta şirketlerce olması gereken bir standart olarak ele alınmış ve tüm uçaklara yerleştirilmiştir [4].

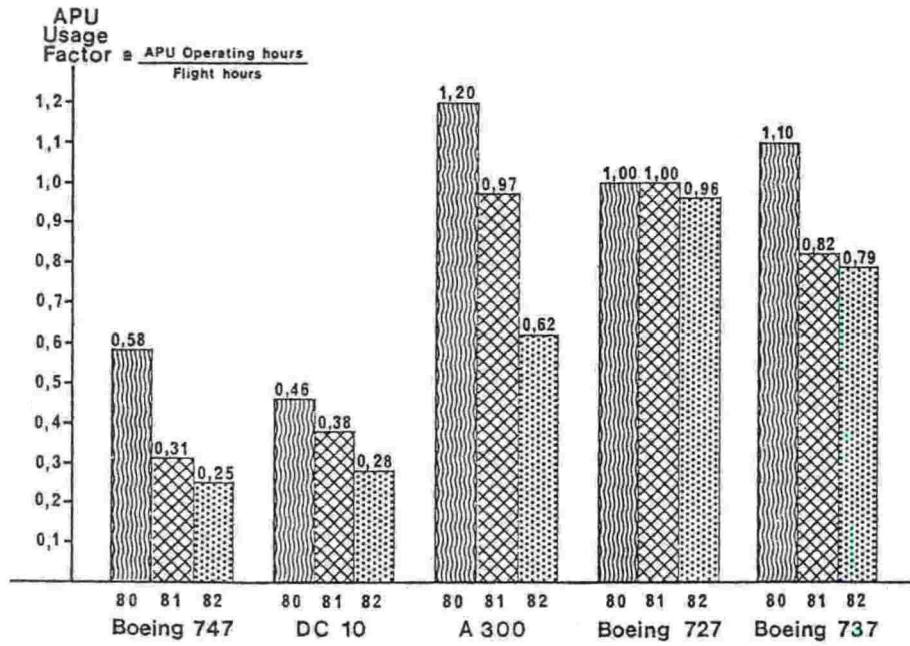
3.1. APU Kullanışlılığı

APU oldukça pahalı bir ekipmandır. Bakımının yapılması ve tükettiği yakıt açısından da havayolu şirketlerine büyük maliyetlere neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, ekipmana sistematik bir şekilde profesyonelce yaklaşmış ve en ekonomik biçimde kullanılmak istenilmiştir. Yolcu konforunun sağlanması ve uçağın yaptığı rötarsız kalkışlar, APU'yu maliyetler açısından avantajlı hale getirmektedir.

APU'nun havayolu şirketlerine sağladığı kazancı belirtmek için "APU'nun kullanım faktörü" ifadesi kullanılmaktadır [5].

APU kullanım faktörü = (APU işletim saati / uçuş saati) formülü ile APU'nun havayolu şirketlerine sağladığı kazanç hesaplanmaktadır.

Tablo 3.1. APU'da kullanım faktörü [5].



APU havayolu şirketlerini bazen çok büyük zararlardan kurtaran bir ekipmandır. APU'nun taşınmasından dolayı uçağa getirdiği bir takım maliyetler, kendi bakım maliyetleri ve genelde yer ekipmanının daha ekonomik olması, küçük şirketler için APU kullanma veya kullanmama sorununu meydana getirmiştir. Fakat küçük ihmallerin büyük zararlara yol açtığı düşünüldüğünde APU' suz bir uçak düşünülemez olmuştur. Hava taşımacılığı artık içerdiği tüm sistemlerde son teknolojiyi kullanan bir sektördür. Bu bağlamda, büyük şirketlerin yönetim bilimini kullanarak her türlü maliyetleri azaltmaya ve taşıdığı yolcu sayısını arttırmaya çalıştıkları görülmektedir. Bu durumda küçük şirketler için de geçerli olmak üzere, sadece maliyetleri artırdığı için standart haline gelmiş bir ekipmandan vazgeçilemez.

APU ise, ortalama 300 kg ağırlığıyla ve boyutlarından dolayı kargo bölümünde büyük yer işgal ettiğinden, bir takım külfetler getirirse de; yönetim ve hizmet pazarlaması açısından havayolu şirketleri için çok önemli bir ekipmandır.

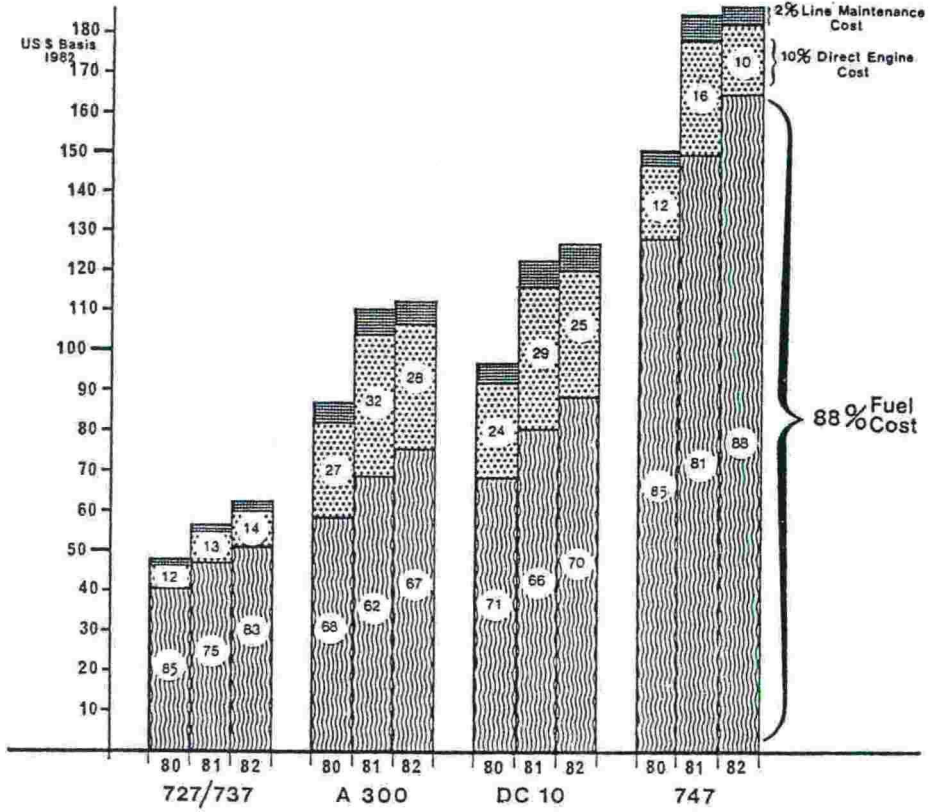
APU ilk zamanlarda sadece uçak ana motorlarına start için gerekli gücü sağlıyordu. Zamanla gerek elektrik gücünün gerekse havalandırmanın sağlanmasında en önemli ekipmanlardan biri haline gelmiştir [5].

APU' nun çalışmadığı veya düşük performansla çalıştığı durumlarda uçağın uçmamasına neden olan bir ekipmandır.

3.2. Bakım ve Ağırlık Maliyetleri

16 tane Boeing 747 ve 6 tane DC 10' u olan bir havayolu şirketinin yıllık APU bakım maliyetleri 750 000 \$ olarak hesaplanmıştır. APU'nun sadece uçak üzerinde bulunmasından dolayı taşınmasının getirdiği ek maliyet ise 125 000 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu rakamlar ilk bakışta büyük gibi görünse de genel APU maliyetlerine bakılınca; bakım maliyetinin genel maliyetler içinde %2 ile sınırlı olduğu görülür [6].

Tablo 3.2. İşlem saati başına toplam APU maliyeti değişimi [5].



3.3. APU'nun Yakıt Maliyeti

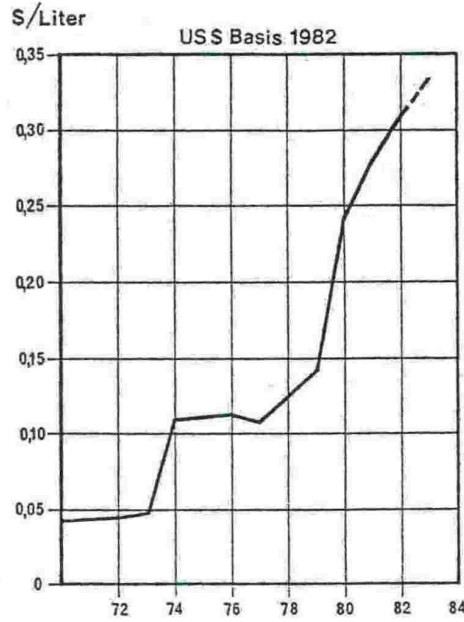
Daha önce de belirtildiği gibi 16 tane Boeing 747 ile 6 tane DC 10'a sahip olan bir filonun bakım maliyetleri 750 000 \$ idi. Daha sonra da patlak veren yakıt krizi sebebi ile yakıt fiyatları bir anda yükselmiştir. Böylece sistemin kullanılmasının getirdiği maliyetlere yakıt maliyeti de eklenmiştir. (Tablo 3.3).

Boeing 747'nin APU' su "normal yük" durumunda çalıştırıldığında saatte 600 litre yakıt tüketmektedir. Burada kullanılan "normal yük" kavramıyla ifade edilmek istenilen uçakların sadece pnömatik sistemleri ve havalandırma sistemi için hava ve güç sağlanmasıdır. Sadece elektrik gücü ya da sadece hava gücü elde edilmek istenilirse, tabii ki yakıt maliyeti düşecektir. Sistemden sadece elektrik gücü elde edilmek

istenilirse, saatte 425 litre yakıt harcanılmaktadır. Sistemden yalnızca hava gücü elde edilmek istenilirse saatte 550 litre yakıt tüketilmektedir. (Tablo 3.4).

Airbus 310 tipi uçakta Garrett GTCP 331-250 modeli APU kullanılmıştır. Bu APU normalde hava ve milin dönmesi için gerekli gücü sağlarken, saatte 200 litre yakıt tüketerek ne kadar ekonomik bir ekipman olduğunu gösterir [5].

Tablo 3.3. Yakıt fiyat artışı [7].



Tablo 3.4. Yakıt sarfiyatları ve yıllık maliyetler [7].

APU Yakıt Tüketimi (litre)				YILLIK FİYAT
	Normal yük	Sadece Pnömatik	Sadece Elektrik Power	
747	600	550	425	8 MİLYON DOLAR
DC 10	300	230	140	
A 310	200	160	145	

4. SONUÇ

4.1. APU Kullanımının Önemi

APU uçaktaki en pahalı donanımlardan birisidir. Kullanım maliyetinin yüksek olması ayrıca bakım maliyetinin de fazla olması nedeniyle önemli bir uçak işletme maliyetini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, sağladığı avantajlar ile havayolu şirketlerinin büyük gereksinim duyduğu bir sistemdir. APU' nun kullanılmadığı uçaklarda aşağıdaki belirtilen olumsuz sonuçlar ortaya çıkacaktır.

- Şirket çok büyük bir güç tedarik yatırımına girecek veya uçuşta karşılaşılabilecek olası problemlerden doğacak sonuçlara katlanacaktır.
- Uçağı geriye iten ekipman sayesinde uçak geriye doğru itilirken, APU olmadığı için ana motorları devreye sokacak bir ekipman olmayacak ve dönüş yardımcı olacak güç temin edilemeyecek ve hareket kabiliyeti düşecektir.
- Zamandan büyük kayıp olacaktır.
- Ana motorların çalışma süresi artacaktır.
- Uçak indikten sonra yer ekipmanına bağlanana kadar ana motorların çalışır durumda kalması gerekecektir.
- Anormal iklim şartlarında yolcular uçağın içinde terleyecekler veya üşüyeceklerdir. Bu da havayolu şirketleri için kesinlikle istenmeyen bir durumdur.
- Yer ekipmanı zamanında tedarik edilemezse; tüm uçuş aşamalarını zincirleme olarak etkileyeceğinden büyük rötarlara neden olacaktır [8].

Tablo 4.1. Elektrik gücü toplam çalışma ve bakım maliyetleri [5].

ELEKTRİKSEL YER GÜÇ KAYNAĞI (ÇALIŞMA SAATI VE BAKIM MALİYETİ USD)				
UÇAK TİPİ	ELEKTRİK GEREKSİNİMİ	400 Hz SABİT GÜÇ KAYNAĞI	GPU (DİZEL MOTOR)	APU
727 / 737 KISA GÖVDELİ	16	1,2	6,5	41,0
DC 10 / A 300 GENİŞ GÖVDELİ 3&2 MOTORLU	27	2,0	8,6	89,0
747 GENİŞ GÖVDELİ 4 MOTORLU	40	2,9	11,0	179,0
1 KW BAŞINA FİYAT (1982 \$)		0,068	0,187	

Gelecekteki APU'ların dizayn ve tasarımları, mümkün olduğu kadar ekonomik bir uçuş gerçekleştirmek amacıyla olacaktır. Günümüzde havayolu şirketleri için APU' nun bakım, yakıt, yağlama, v.s. maliyeti, büyük bir öneme sahiptir. Bu maliyetleri aşağı çekmek için daha ekonomik teçhizatların kullanımı artacaktır. Bu bağlamda, üzerinde çalışılan en önemli sistem, değişken hız, sabit frekans sistemidir (Variable Speed, Constant Frequency System). Bu ekipmanın verimliliği uçuş maliyetlerini doğrudan etkiler. Eğer, istenilen gücü elde etmek için, doğru frekans kullanılarak maksimum güç elde edilebilirse, uçuş çok daha ekonomik olacaktır.

Şu ana kadar kullanılan tek şaft tasarımı, yerini yavaş yavaş çift şaft tasarımına bırakacaktır. Çift şaftlı APU'da giren hava akış oranı ile çıkış gücü arasındaki verimlilik oranı tek şaftlı APU'ya göre çok daha yüksektir. Bu nedenle çift şaftlı APU'nun dizayn ve yapısı gelecekteki ticari uçak taşımacılığında önemli bir yere gelecektir.

APU, yakıt ekonomisi, ağırlık ve güvenilirlik parametreleri açısından her zaman gelişmeye açık olacaktır. APU'nun ağırlığının fazla olması havayolu şirketleri açısından çok büyük bir dezavantajdır. Bu konuda APU üreticilerinin amacı, uçak üreticileri ile koordine bir şekilde çalışmak olmalıdır. Böylece APU üreticileri daha küçük ve verimli bir APU, uçak üreticileri de üretilen APU' nun boyutlarına göre yer ayarlayarak havayolu şirketlerini büyük maliyetlerden kurtarabilirler.

Gelecekteki APU'nun muhtemel bir diğer özelliği ise sağladığı fonksiyonlarının kısıtlı olmasıdır. Yani sadece uçuş güvenliğini direkt etkileyen ve çok kritik olan sistemlere besleme sağlayacaktır. Buna örnek verecek olursak; ana motorların çalıştırılması için gerekli gücün sağlanması, aşırı sıcak ve aşırı soğuk havalarda gerekli havalandırma sağlanması, APU'nun sağladığı vazgeçilemeyecek avantajlar olduğu için bu konularda verimlilik çalışması üzerinde durulurken, ikinci dereceden önemli sistemlerin beslemeleri iptal edilecektir. Böylece; daha küçük, daha hafif ve daha basit bir yapıya sahip APU elde edilebileceğinden daha güvenilir bir ekipmana kavuşulacaktır.

APU'nun teknik özelliklerinin incelendiği, operasyonel verimliliğinin, kullanılabilirliğinin, güvenilirliğinin ve maliyet analizlerinin detaylı bir şekilde incelendiği bu araştırma ile APU'nun havacılıktaki önemi hakkında bilgiler verilmiştir. Sağladığı tüm avantajlar ve dezavantajların mukayesesi yapıldığında, APU'nun vazgeçilemez bir ekipman olduğu ortaya çıkmaktadır.

Motorun ilk hareketinde gerekli gücü temin eden ve anormal iklimlerde bile hiçbir güç kaynağının sağlayamayacağı havalandırmayı sağlayarak şirket imajını büyük ölçüde koruyan APU; özellikle yolcu uçakları için kesinlikle gerekli bir ekipmandır.

Ortalama 300 kg gibi bir ağırlığa sahip olan APU; uçuş için büyük bir yükür. Ayrıca sürekli olarak taşınması ve gidilen her yere götürülmesi büyük bir maliyet oluşturmaktadır. Rötarsız kalkış yapmak için çok önemli olan APU, bu özelliği ile havayolu şirketlerine yıllık milyonlarca dolardan kurtarmaktadır. Büyük olmasından dolayı kargo bölümünde de büyük yer işgal eden APU, kargo alanını küçülttüğü için bir dezavantaj sağlamaktadır. Fakat gelecekte, tüm dezavantajlar üzerinde çalışmalar

yapılarak bunlar birer avantaj haline dntrlecektir. İlk etapta hedeflenen daha küçük, daha ekonomik ve daha operasyonel bir APU elde etme çalışmaları sonuçlandığı takdirde, APU'nun önemi çok daha artacaktır.

KAYNAKLAR

- 1- THY Eğitim Merkezi Teknik Eğitim Müdürlüğü,Uçak Teknik Temel,APU.????
- 2- OTİS,C., Aircraft gas türbine povverplants.1991.
- 3- BENT,R., Aircraft powerplants. 1986.
- 4- ECKERT,W., Auxiliary Power Unit Requirements And Their Role in Aircraft Performance. 1991.
- 5- MOSE,K., CostEfficiency Of The APU. 1983.
- 6- HOOSE,W., APU Operational Eficiency. 1983.
- 7- SCHOEVERS,L. and BOOY,A., APU in Commercial Aidine Operation. 1992.
- 8- RIAZUELO,S., CENIVAL,M. and EGLEM,M, Auxiliary Power Units For Wide-Body Aircraft. 1993.
- 9- http://www.efunda.com/designstandards/sensors/bourdon_tubes/bourdon_intro.cfm

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı: Nihat COŞKUN

Doğum Tarihi/Yeri: 09.05.1983, ALACA

Eğitim

İlköğretim: Dumlupınar İlköğretim Okulu, Çorum, 1997

Ortaöğretim: Şehit Nedim Tuğaltay Lisesi, Çorum, 2000

Lisans: Erciyes Üniversitesi, Uçak Gövde-Motor Bölümü, Kayseri, 2006

E-posta: nihaticoskun19@yahoo.com