

**T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

UÇAK BAKIM

**MOTOR KISIMLARI
525MT0034**

Ankara, 2012

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- **PARA İLE SATILMAZ.**

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR	iii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	3
1. HAVA GİRİŞİ.....	3
1.1. Kompresör Giriş Kanalları.....	3
1.2. Çeşitli Kompresör Hava Giriş Yapılarının Etkisi	3
1.2.1. Hava Giriş kısmının Fonksiyonları.....	4
1.3. Buzlanmayı Önleme (Anti-Iceing).....	4
UYGULAMA FAALİYETİ	6
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	8
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	9
2. KOMPRESÖRLER.....	9
2.1. Santrifüj Akışlı Kompresör (Centrifugal Flow Compressor).....	10
2.1.1. Yapısal Özellikleri ve Hareket Alanı.....	10
2.2. Aksiyal Akışlı Kompresör (Axial Flow Compressor)	13
2.2.1. Yapısal Özellikleri ve Hareket Alanı.....	13
2.3. Aksiyal ve Santrifüj Akışlı Kompresörlerin Karşılaştırılması	15
2.4. Kompresör İçinde Normal Akış Çalışma Prensipleri (Principles Of Operation).....	15
2.5. Fanın Dengelenmesi.....	16
2.6. Kompresör Fanının Çalışması.....	16
2.6.1. Yapısı (Construction)	17
2.6.2. Rotor Blades (Rotor Palleri)	18
2.6.3. Stator Blades (Stator Palleri)	19
2.6.4. Çalışma Koşulları (Operating Condition).....	19
2.7. Kompresörde Stall.....	20
2.7.1. Kompresör Stall'u.....	20
2.7.2. Kompresörde Surge	20
2.7.3. Stall ve Surge Nedenleri	21
2.8. Hava Akış Kontrol Metotları (Stall ve Surge Önleme Yöntemleri).....	22
2.8.1. Kompresör Bleed Valve Kullanılması	23
2.8.2. Çift Spool'lu Rotor Kullanılması.....	23
2.8.3. Hareketli Starter Kanatçıkları (Variable Stator Vane Kullanılması)	24
2.9. Kompresör Oranı	25
2.9.1. Santrifüj Tip Kompresörün Basınç Oranı.....	25
2.9.2. Aksiyal Tip Kompresörde Basınç Oranı.....	25
UYGULAMA FAALİYETİ	26
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	28
ÖĞRENME FAALİYETİ-3	29
3. YANMA ODASI BÖLÜMÜ	29
3.1. Yapısal Özellikleri	29
3.1.1. Amaç ve Özellikleri.....	29
3.1.2. Yanma Odası Komponentleri	30
3.1.3. Malzemesi (Material).....	32
3.2. Yanma Odalarının Çalışma Prensipleri.....	32
3.2.1. Yanma İşlemi.....	32

3.2.2. Yanma Odası Çeşitleri.....	35
3.2.3. Yanma Odası Performansı.....	39
3.2.4. Karbon Oluşumu ve Emisyon Azaltma Yöntemleri.....	39
UYGULAMA FAALİYETİ.....	42
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	44
ÖĞRENME FAALİYETİ-4.....	45
4. TÜRBİN KISMI.....	45
4.1. Farklı Tip Türbin Blade'lerinin Çalışması.....	45
4.1.1. Türbin Tipleri ve Komponentleri.....	45
4.1.2. Türbinin Çalışması.....	47
4.1.3. Türbin Soğutma Yöntemleri.....	50
4.1.4. Türbin Klerans-Boşluk (Clearance) Kontrolü.....	53
4.2. Türbin Blade'lerinin Diske Bağlanması.....	56
4.2.1. Türbin Diski.....	56
4.2.2. Türbin Blade'leri.....	56
4.3. Türbin Nozul Vane'leri (Türbin Nozul Guide Vane).....	57
4.4. Türbin Blade'lerinin Gerilmeye Sebep Olan Etkileri.....	57
4.4.1. Türbin Servis Ömrünü Azaltan İki Önemli Faktör.....	58
4.4.2. Plastik Deformasyon (Creep).....	58
4.4.3. Kompresör ve Türbinin Karşılaştırılması.....	59
UYGULAMA FAALİYETİ.....	61
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	63
ÖĞRENME FAALİYETİ-5.....	64
5. EGZUZ KISMI.....	64
5.1. Egzoz Kısmı Yapısal Özellikler.....	64
5.1.1. Egzoz Kısmı Malzemeleri.....	64
5.1.2. Gaz Türbinli Motorda Egzoz Sistemi.....	64
5.1.3. Jet Motoru Egzoz Sistemi.....	64
5.1.4. Turboprop Motor Egzoz Sistemi.....	64
5.1.5. APU Egzoz Sistemi.....	65
5.1.6. Turbofan Motorların Egzoz Sistemi.....	65
5.2. Hareketli Egzoz Nozul Sahaları.....	66
5.2.1. Egzoz Nozulda Hava Akışı.....	66
5.2.2. Egzoz Nozul Çeşitleri.....	66
5.2.3. Egzoz Gazlarını Yönlendirme Düzenine Göre Egzoz Nozullar.....	68
5.2.4. Egzoz Konisi (Exhaust Cone).....	70
5.3. Motor Sesinin Azaltılması.....	71
5.4. Thrust Reverser'lar.....	71
5.4.1. Thrust Reverser Tipleri.....	73
5.4.2. Thrust Reverser Sisteminin Yapısı.....	75
5.4.3. İndikasyon (Gösterge) Sistemi.....	81
UYGULAMA FAALİYETLERİ.....	82
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	84
MODÜL DEĞERLENDİRME.....	85
CEVAP ANAHTARLARI.....	87
KAYNAKÇA.....	89

AÇIKLAMALAR

KOD	525MT0034
ALAN	Uçak Bakım
DAL/MESLEK	Uçak Gövde-Motor
MODÜLÜN ADI	Motor Kısımları
MODÜLÜN TANIMI	Gaz türbinli motorların kısımları ile ilgili temel bilgi ve becerilerin kazandırıldığı bir öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/32
ÖN KOŞUL	Performans Hesabı modülünü almış olmak
YETERLİK	Gaz türbinli uçak motorlarının kısımlarının bakımını yapmak
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Gerekli ortam sağlandığında bakım dokümanlarında (AMM) belirtildiği şekilde motorun kısımlarının bakımını yapabileceksiniz. Amaçlar 1. Bakım dokümanlarında (AMM) belirtildiği şekilde hava giriş kısmının bakımını yapabileceksiniz. 2. Bakım dokümanlarında (AMM) belirtildiği şekilde kompresör kısmının bakımını yapabileceksiniz. 3. Bakım dokümanlarında (AMM) belirtildiği şekilde yanma odası kısmının bakımını yapabileceksiniz. 4. Bakım dokümanlarında (AMM) belirtildiği şekilde türbin kısmının bakımını yapabileceksiniz. 5. Bakım dokümanlarında (AMM) belirtildiği şekilde egzoz kısmının bakımını yapabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Ortam: Sınıf, işletme, kütüphane, hangar gibi bireysel veya grupla çalışabileceğiniz tüm ortamlar Donanım: Motorun kısımlarının bulunduğu maket ve uçaklara ait tüm aksesuarlar, iş güvenliği ile ilgili donanımlar
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığımız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Bu modülümüzde gaz türbinli motorların iç yapısını oluşturan ana parçalardan hava giriş kısımları, kompresörler, yanma odaları, türbinler ve egzoz nozullarının yapısal özelliklerini, yerleşim yerlerini, görevlerini ve bu ana parçaları oluşturan alt parçaları öğreneceğiz.

Bir içten yanmalı motor olan gaz türbinli motorların günümüz dünyasındaki insanlara sağladığı faydalar hız, performans ve güvenlik açısından yadsınamaz bir gerçektir. İnsanların uçuş gereksinimlerini, zaman kazanma gibi ihtiyaçlarını günümüz uçakları ve bunları uçuran gaz türbinli motorlar büyük ölçüde karşılamaktadır.

Sürekli gelişme eğiliminde olan havacılık sektörü, günümüzün en son teknolojik gelişmelerini uçak gövde, motor ve elektronik sistemlerinde kullanmaktadır. Şu an hâlâ çeşitli problemleri olan (yakıt sarfiyatı, ses kirliliği, verim vb.) gaz türbinli motorlar tarihsel gelişimlerine bakıldığında oldukça mesafe kat etmiş, ses hızının 5-6 katı üstünde uçabilecek gövde ve motorlar geliştirilmiştir.

Bu modülde size motorun kısımları detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Bu modülü başarı ile tamamladığınızda motorun kısımlarını tekniğine uygun ve hatasız olarak inceleyebileceksiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Hava giriş kısmının bakımını tekniğine uygun ve hatasız olarak inceleyebileceksiniz.

ARAŞTIRMA

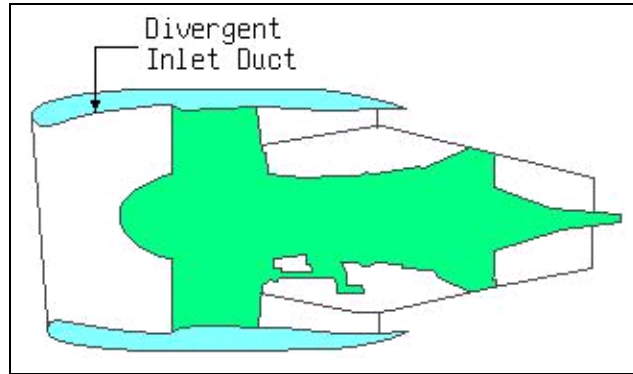
- Hava giriş kısmının bakımının nasıl yapıldığını araştırınız.
- Araştırma konusu için sanal ortamda ve ilgili sektörde kaynak taraması yapınız.
- Yaptığımız araştırmayı rapor hâline getiriniz.
- Hazırladığınız raporu sınıftaki arkadaşlarınıza sununuz.

1. HAVA GİRİŞİ

1.1. Kompresör Giriş Kanalları

Hava, motora hava giriş kısmı yoluyla girer. Motorda bu ünite için aşağıdaki isimlerden biri kullanılır:

- Inlet duct
- Inlet cowl
- Intake nose
- Nose cowl



Şekil 1.1: Sabit kompresör girişi

1.2. Çeşitli Kompresör Hava Giriş Yapılarının Etkisi

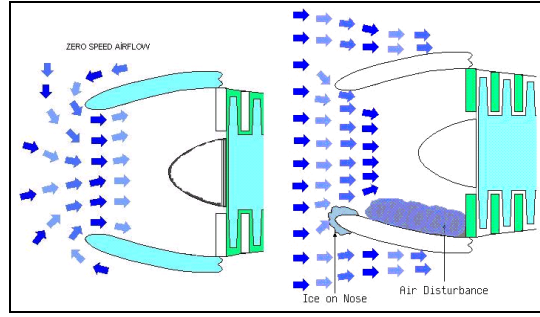
Çeşitli kompresör hava giriş yapılarının ve motor hava giriş kaportasındaki buzlanma önleme sisteminin içeriye alınan hava akışına etkisi aşağıda açıklanmıştır.

1.2.1. Hava Giriş kısmının Fonksiyonları

Inlet duct, çapı arkaya doğru genişleyen bir yapıdadır. Bu tasarım, giren havanın dinamik basıncının statik basınca dönüşmesine yardım eder. Düzgün bir akış sağlar. Bu şekilde motorun verimini azaltacak akıştaki bozulmaları önler.

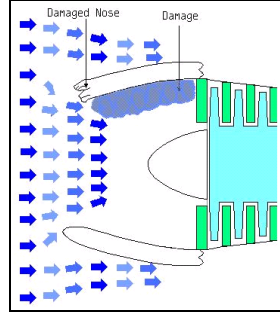
Girişte akışı bozan oluşumlar şunlardır:

- Inlet duct ağız kısmındaki (nose lip) hasarlar
- Buzlanma
- Motorun yan rüzgârlara maruz kaldığı koşullarda düşük hızda çalışıyor olması



Şekil 1.2: Sıfır hava hızı ve hava giriş kısmında buzlanma

Normal uçuş koşullarında motor havayı önden alır, ayrıca havanın ram etkisi vardır. Motor çalışır durumda fakat uçak yerde sabit ise ram etkisi oluşmaz, hava yandan emilir.



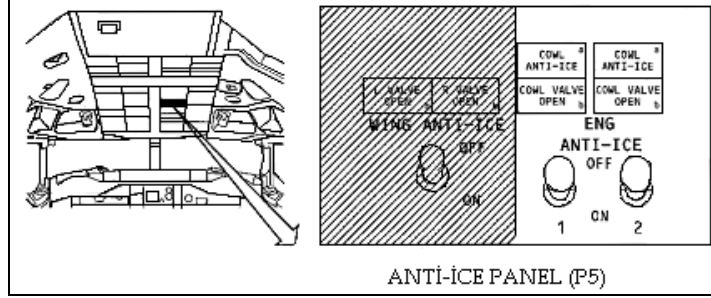
Şekil 1.3: Kompresör giriş kanallarındaki şekil bozukluğu

1.3. Buzlanmayı Önleme (Anti-Iceing)

Motor hava giriş kaportası buzlanma önleme sistemi, hava girişinde buz oluşumunu önler. Çünkü hava giriş kısmındaki buzlanma,

- Hava giriş kısmının daralmasına ve motorun düzensiz çalışmasına sebep olur.
- Airfoil yapıyı bozarak içeri giren havanın akışını bozar.
- Kırılan buz taneleri motor parçalarına zarar verir.
- Uçağın ağırlığını artırarak dengesizlik meydana getirir.

Her motorda birer buzlanma önleyici sistem bulunur. Şekil 1.4'te motor hava giriş kısmındaki buzlanma önleme sistemi kumanda ve anti-ice paneli görülmektedir.



Şekil 1.4: Buzlanma önleme sistemi kumanda ve göstergeleri

Bu sistem, uçuşta veya yerde, baş üstü panelinde bulunan bir şalterle çalıştırılır. Sistem çalıştırıldığında thermal anti-ice valf (TAI/ısıl buzlanma önleyici valf) açılır. Motor pnömatik sisteminden elde edilen sıcak hava aktarım borusu ile valfe oradan da motor hava giriş kaportasına gelir. Burada kaportanın sıcaklığını artıran hava, kaporta altında bulunan bir menfezden geçerek dışarı atılır.



Resim 1.1: Buzlanma meydana gelmiş bir motorda hava giriş kısmı

UYGULAMA FAALİYETİ

Motorun hava giriş kısmının bakımını yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Uygulama yapacağınız uçağın AMM sayfalarından motor giriş kısmı ile ilgili bölümü bulunuz.➤ İlgili AMM sayfalarına göre motor giriş kısmı parçalarının sökümünü gerekli takımları kullanarak yapınız.➤ İlgili AMM sayfalarına göre motor giriş kısmı bakımını gerekli takımları kullanarak yapınız.➤ İlgili AMM sayfalarına göre motor giriş kısmı parçalarının takılma işlemlerini gerekli ekipmanları yardımıyla yapınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Çalışma bölgenizde gerekli güvenlik tedbirlerini alınız. Yangın söndürme tüpünü kullanıma hazır bulundurunuz.➤ Çalışma alanının temiz ve düzenli olmasına dikkat ediniz.➤ Çalışma bölgenizden kullanmayacağınız teçhizat ve ekipmanları kaldırınız.➤ İşleme başlamadan yüzey üzerini koruyucu örtü ile kapatınız.➤ Uçak bakım dokümanlarındaki (AMM) prosedürleri uygulayınız.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1.	Uygulama yapacağınız ilgili uçağın AMM dosyasından motor giriş kısmı ile ilgili sayfaları buldunuz mu?		
2.	İlgili uçağın AMM sayfalarına göre motor giriş kısmı parçalarının sökümünü gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		
3.	İlgili uçağın AMM sayfalarına göre motor giriş kısmı bakımını gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		
4.	İlgili uçağın AMM sayfalarına göre motor giriş kısmı parçalarının takılma işlemlerini gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Inlet duct çapı arkaya doğru genişleyen bir yapıdadır. Bu şekilde yapılmasının sebebi aşağıdakilerden hangisi değildir?
 - A) Bu tasarım, giren havanın dinamik basıncının statik basınca dönüşmesine yardım eder.
 - B) Düzgün bir akış sağlar.
 - C) Bu şekilde motorun verimini azaltacak akıştaki bozulmaları önler.
 - D) Bu tasarım, giren havanın statik basıncının dinamik basınca dönüşmesine yardım eder.
2. Aşağıdakilerden hangisi girişte akışı bozan oluşumlardan biri değildir?
 - A) Inlet duct ağız kısmındaki (nose lip) hasarlar
 - B) Buzlanma
 - C) Motorun yan rüzgârlara maruz kaldığı koşullarda düşük hızda çalışıyor olması
 - D) Atmosfer sıcaklığının düşük olması
3. Hava giriş kısmında buz önleme aşağıdakilerden hangisi ile sağlanır?
 - A) Kimyasal sıvılarla
 - B) Elektrikli dirençle
 - C) Kimyasal gazlarla
 - D) Pnömatik hava ile
4. Anti-ice sistemi uçakta ne zaman çalıştırılır?
 - A) Uçak hem yerde hem de havada iken
 - B) Uçak havada iken
 - C) Uçak yerde iken
 - D) Uçak maksimum hızda iken
5. Aşağıdakilerden hangisi hava giriş alığına verilen isimlerden biri değildir?
 - A) Inlet duct
 - B) Inlet cowl
 - C) Intake nose
 - D) Noise cowl

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Kompresör kısmının bakımını yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Motor kompresör kısmının bakım yöntemlerini araştırınız.
- Araştırma konusu için sanal ortamda ve ilgili sektörde kaynak taraması yapınız.
- Yaptığınız araştırmayı rapor hâline getiriniz.
- Hazırladığınız raporu sınıftaki arkadaşlarınıza sununuz.

2. KOMPRESÖRLER

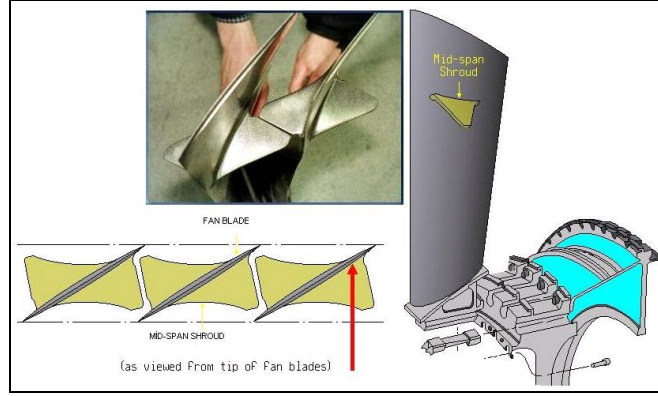
Gaz türbinli motorlarda verimli ve güçlü bir yanma için basınçlı havaya gereksinim vardır. Gaz türbinli motorlarda basınçlı hava elde etmek için iki yol vardır. Bunlar, piston vasıtasıyla silindir içinde vakum meydana getirerek hacmi azaltmak veya gaz türbinli motorlarda olduğu gibi kompresör kullanmaktır.

Kompresör, yanma odasına sürekli hava akışı sağlar. İki ana komponenti vardır. Bunlar aksiyal akışlı (axial flow) kompresör ve santrifüj akışlı (centrifugal flow) kompresörlerdir. Her iki tip kompresörde hareketini şaft vasıtasıyla türbinden alır ve genellikle türbin şaftına direkt bağlıdır.

Santrifüj akışlı (centrifugal flow) kompresör bir veya iki kademe havayı hızlandıran impeller ve bu hızlandırılmış havayı gerekli basınca çıkartan diffuser'den oluşur. Aksiyal akışlı (axial flow) kompresör birçok kademe rotor ve stator dan oluşmuştur. Bunlar da havayı gerekli basınca yükseltir. Rotor pallerine “**blade**”, stator pallerine ise “**vane**” denir.

Rotor blade'leri dönerek havayı kompresör çıkışına doğru iter. Hava akış enerjisini artırır. Stator sabittir. Stator vane'leri hava akışını yönlendirir ve yavaşlatarak basıncın artmasına neden olur. Bir sıra rotor ve stator kombinasyonu kompresör kademesini oluşturur.

Rotor blade'leri kademenin önünde yer alır. Stator vane'leri ise kademenin arka kısmını oluşturur. Örneğin motorda 3. kademe kompresör vane setinin önünde 3. kademe blade seti yer alır.



Resim 2.1: Rotor ve statorlar

Bir kompresör ünitesinin en önünde yer alan stator vane setine IGV (Inlet Guide Vane) denir. Kompresörün ilk kademesine girecek havayı yönlendirir. Sabit (fixed) veya değişken (variable) olabilir.

Yüksek motor devirlerinde motorun verimli çalışabilmesi için hava akış kontrol (airflow control) sisteminin kullanılması gereklidir. Bu sistem genellikle kompresörün orta kademesindeki herhangi bir kademedan (stage) atmosfere ya da bypasslı motorlarda bypass borusu (bypass duct) içine açılan havalandırma (bleed) sistemlerinden oluşmuştur. Buna ek olarak motorun ön kısmında oluşacak stall'u önlemek için intake guide vane'lerin açılarını otomatik olarak ayarlayan sistem de bulunmaktadır.

Fan duct içinde yer alan stator vane setine OGV (Outlet Guide Vane) denir. Fan havası akışını yönlendirilir. Kompresörü oluşturan diğer ana parçalar inlet case ve outlet case'dir. Case'ler, rotor yataklarını taşır. Düzgün hava akışına yardımcı olur. İki tip kompresör vardır:

- Radial akış temin eden kompresörler (Santrifüj akışlı kompresörler)
- Aksiyal akış temin eden kompresörler (Aksiyal akışlı kompresörler)

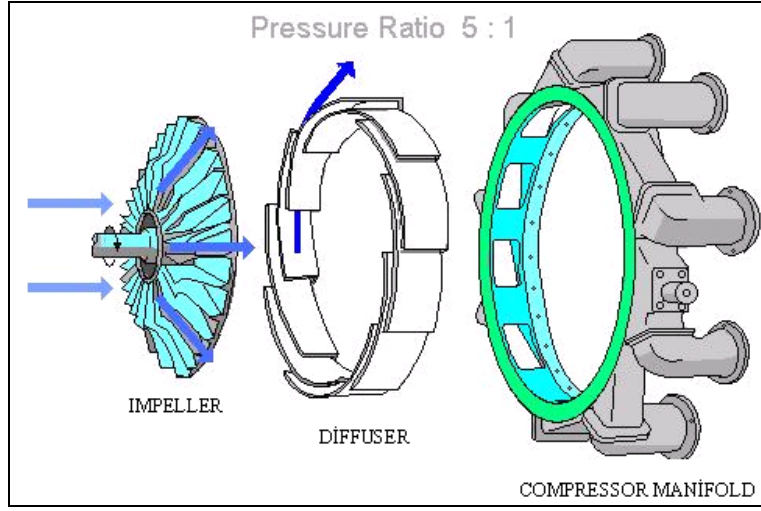
2.1. Santrifüj Akışlı Kompresör (Centrifugal Flow Compressor)

Santrifüj akışlı kompresörler, küçük gaz türbinli motorlarda ve APU'larda kullanılır.

2.1.1. Yapısal Özellikleri ve Hareket Alanı

Ana komponentleri şunlardır:

- Impeller = Rotor
- Difüzör = Stator
- Kompresör manifoldu = Kompresör housing (Case)



Şekil 2.1: Kompresör manifoldu

Basınç oranını artırmak için en iyi yol kademe eklenmesidir ancak iki kademedен fazla kademe kullanmak verimli olmaz. Kompresörün yapısı gereği akış yönü her kademede değiştiğinden basınç azalması kaçınılmaz olur. İki girişli tip kompresörler de mevcuttur. İki adet impeller yüz yüze yerleştirilmiştir. Bu yapı daha yüksek basınç sağlamaz. Sadece daha fazla akışa olanak sağlar. Motorun ön alanı küçük ve hafiftir.

Santrifüj akışlı kompresörlerde tek ya da çift yüzlü impeller, nadir olarak da iki kademe tek yüzlü impeller kullanılır. Rolls Roys Dort'ta olduğu gibi impeller bir çerçeve içine yerleştirilmiş olup diffuser'lere de sahiptir. Eğer çift girişli impeller kullanılırsa arka yüzey için hava akımının yönü değiştirilir ve bu amaçla plenum chamber kullanılır.

Hava, türbin tarafından yüksek devirlerde döndürülen impellerin merkezine doğru ilerler. Santrifüj (merkezkaç) hareketi havanın merkezden dışarı impeller vane'leri boyunca hareketine neden olur. Hız verilmiş havanın merkezden dışarı doğru kayması sonucu basınç ortaya çıkar. Motor giriş borularında (duct) havaya kompresöre girmeden önce dairesel hareketini vermek için vane'ler bulunabilir.

Impeller'dan ayrılan hava, diffuser bölümünün içine doğru ilerler ki burada bulunan divergent nozul'lar vasıtasıyla kinetik enerji basınç enerjisine çevrilir. Pratikte kompresörler basıncın yarısını impeller'da, diğer yarısını ise diffuser'de yükseltecek şekilde tasarlanmıştır.

Hava kütlesi kompresöre doğru gider ve impellerin dönüş hızına bağlı olarak basıncı artar. Bu yüzden kompresörler saniyede 1600 devir yapacak şekilde tasarlanmıştır. Yüksek devirlerde dönen impeller'larla havanın basıncı ve hızı artırılır.

Kompresör verimini muhafaza için impeller ile case arasındaki kaçaklar önlenmelidir. Bunda başarılı olmak, aradaki boşluğun mümkün olduğu kadar küçük olmasına bağlıdır.

Kompresör merkezi etrafında impeller, diffuser ve hava alış sistemi bulunur. İmpeller shaftı, ball (bilye) ve roller (masura) yataklar içinde döner. Türbin shaftı ise merkezden açılan

bir delik sayesinde bir kavrama ile impeller'a bağlanır. Bu şekildeki tasarımı sayesinde sistemler birbirinden kolaylıkla ayrılabilir.

➤ **İmpeller (pervane)**

İşlenmiş bir disk üzerine eksiksiz olarak düzenlenmiş vane'lerden oluşur. Bu vane kavisleri arkaya doğru olabilir. Fabrika üretiminin kolay olması için genellikle radial vane'ler düz olarak üretilir. Hava akımının yönünü axial akıştan radyal akışa kolay çevirmek için impeller'ın merkezindeki vane'ler dönüş yönüne doğru kıvrımlıdır.

Eğimli kısımlar radial vane'lerle tamamlanır ya da üretiminin kolay olması için ayrı şekillendirilir. Motor dizaynı sırasındaki hesaplara göre impeller seçilir fakat tek giriş borulu sistem bütün çevre koşullarında kompresörü besleme açısından daha verimlidir.

Tek girişli sistem (single entry duct) irtifalardaki hava akımı değişikliklerinden daha az etkilenir çünkü çift girişli sistemde (double entry duct) havanın küçük bir miktar ısınma olayı ortaya çıkar.

Single side ünitesinin ölçüleri büyük olur. Hızın tip speed'e uygun olması için devirleri genellikle düşük olur. Türbin ve kompresörlerin büyüklüğü motordan alınmak istenen thrust'la orantılıdır.



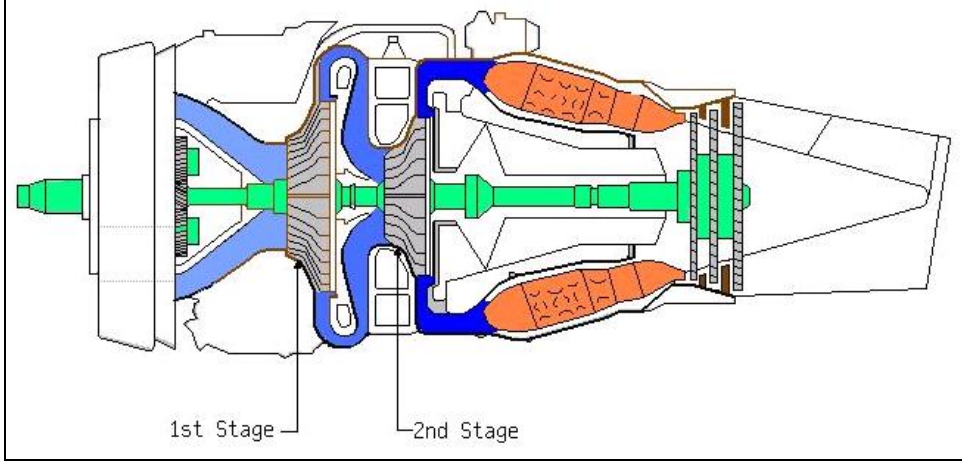
Resim 2.2: İmpeller ve impeller'da hava akışı

➤ **Diffuser (dağıtıcı)**

Diffuser montajı (assembly), kompresör case'inin tüm parçaları ya da ayrı ayrı montajından oluşur. Her iki kompresör çeşidinde de impeller için eğimli olarak şekillendirilmiş birçok vane vardır. Vane pasajları, kinetik enerjiyi basınç enerjisine çevirmek için merkezden dışarı doğru gidildikçe açılan bir şekle sahiptir. Vane'lerin iç kısmı ise impeller'dan gelen hava akımının yönüne uygun bir şekle sahiptir.

İmpeller ile difuser arasındaki boşluk çok önemlidir. Eğer bu boşluk çok az olursa bu havanın sert bir şekilde diffuser'e çarpmasına neden olacaktır. Aynı zamanda hava akımının

bu sert çarpmasından dolayı impeller’da etkileneceğinden kararsız bir hava akımı ve titreşim meydana çıkar.



Şekil 2.2: Santrifüj akışlı kompresör

2.2. Aksiyal Akışlı Kompresör (Axial Flow Compressor)

Aksiyal akışlı kompresörlerin yapısal özellikleri ve hareket alanları aşağıda anlatılmıştır.

2.2.1. Yapısal Özellikleri ve Hareket Alanı

Hava akışı yatay eksen boyuncadır. Genellikle kademe sayısı birden fazladır. Aerodinamik şekilli blade ve vane grupları, kompresör kademelerinden geçişte düzgün hava akışı sağlar. Santifüj kompresöre benzer şekilde basınç artışı iki hareket sonucu oluşur. Rotor hareketi (blade’ler) akış hızını artırır. Artan bu enerji, statik basınca dönüşür. Bu basıncı sağlayan, stator vane’leri arasında oluşan difüzör’e benzeyen kanallardır. Her kademe oluşan basınç oranı yaklaşık (1,3:1)dir. Örneğin, bir kademeye girişteki basınç 10 PSI ise aynı kademe çıkışındaki basınç 13 PSI olur.

Her kademedeki basınç artışının çok küçük olması nedeniyle gerekli yüksek basınç değerlerine ulaşmak için çok kademeye gereksinim vardır. Kompresör içinde havanın basıncı arttıkça yoğunluğu da artar. Sonuçta, havanın gereksinimi olan hacim azalır. Bu durumda, akış hızının sabit kalmasını sağlamak için kompresör içindeki hava akış aralığı, önden arkaya doğru daralan bir kesitte tasarlanır. Modern gaz türbin motorlarında her iki tip kompresör de kullanılmaktadır. Hatta bir motor içinde her iki tipin de mevcut olduğu uygulamalar vardır.

Axial flow kompresörler bir veya birkaç rotordan oluşur. Bu rotorlar, üzerinde blade’leri taşır. Ayrıca bunlar stator case’in içine yerleştirilmiş yataklar arasında bulunmaktadır. Kompresörler yüksek basınç üretebilmek için birçok kademedен oluşur ve her kademe de birbiri ardı sıra dizilmiş bladeler’den oluşur.

Bazı kompresörlerde ek olarak yönlendirici stator vane’leri vardır ki bunlara ise intake ya da Inlet Guide Vane (IGV) denir. Bunlar havaya kompresörün ilk kademesine düzgün bir

şekilde gitmesi için yön verir. Vane'lerin açıları değişik çalışma koşullarının gerektirdiği hava gereksimine göre otomatik olarak değişebilir.

Kompresörün önünden arkasına, alçak basınçtan yüksek basınçlara gidildikçe rotor shaft ve stator case'in arasında bulunan havanın içinde durduğu alan kademe kademe küçülür. Bu da kompresör boyunca havanın yoğunluğunu artırmak ve axial akışın sürekliliğini sağlamak için gereklidir. Akış, rotor ve statorun uçlarına doğru incelendiğinden hava annulus yakınsaklığı sağlanır.

➤ **Single spool**

Kompresör istenilen basınç oranına çıkmak için birçok kademedeki oluşan rotor ve stator'a sahiptir ve tüm hava akımı kompresöre doğrudur.

➤ **Multi spool**

Kompresörlerde iki veya daha fazla kademe kompresör kullanılır. Bunlar, hızlarına uygun olan basınç oranına en etkili ve kullanımı açısından rahat olabilecek ayrı türbinlere bağlanır.

➤ **Twin spool**

Kompresörlerde kullanılır olmasına rağmen bypass tipli motorlar için daha uygundur. Motorun önünde bulunan alçak basınç kompresörü yüksek basınç kompresöründen gelen havanın sadece bir kısmı yüksek basınç kompresörüne gider, kalan diğer kısmı ise yüksek basınç kompresörünün etrafından gider. Propelling nozul'dan çıkmadan önce her iki hava akımı exhaust'ta birbirine karışır.

Tek ya da çift kademeli kompresörlerin önüne fan takılabilir ve fan kompresör ile aynı hizaya sahip olup kompresör gibi yerleştirilir. Triple spool tip fanlarda ise alçak basınç kompresörü orta ve yüksek basınç kompresörlerine ait olmayan ayrı bir türbin tarafından döndürülür. Alçak basınç kompresörü büyük rotor ve stator blade'lerine sahiptir. Bu sebeple diğer iki kompresörden daha fazla hava kütlesi çekebilmektedir. Bu kompresörlerinin her biri birçok rotor blade'lerine sahiptir.

2.3. Aksiyal ve Santrifüj Akışlı Kompresörlerin Karşılaştırılması

Avantaj (+) / Dezavantaj (-)	Aksiyal akışlı kompresör	Santrifüj akışlı kompresör
Kompresör verimi (optimum hızda)	+	-
Kompresör verimi (geniş hız aralığında)	-	+
Elde edilebilecek toplam basınç oranı	+	-
Basınç artışı (her kademede)	-	+
Maliyet ve imalat zorlukları	-	+
Ağırlık	-	+
Start için güç gereksinimi	+	-

Tablo 2.1: Aksiyal ve santrifüj akışlı kompresörlerin karşılaştırılması

2.4. Kompresör İçinde Normal Akış Çalışma Prensipleri (Principles Of Operation)

Gerek santrifüj akışlı gerekse aksiyal akışlı kompresörler, hava akışındaki değişikliklere karşı çok duyarlıdır. Bunun nedeni, verilen bir basınç oranı, devir hızı ve akışı için sadece tek bir optimum çalışma aralığına sahip olmalarıdır. Buna “tasarım noktası” denir.

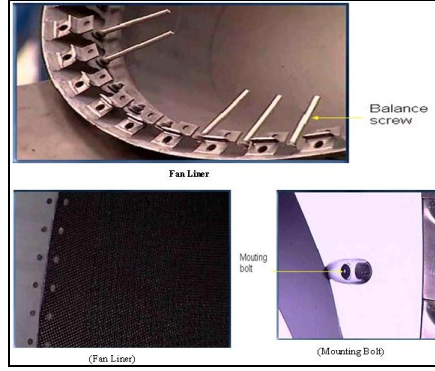
Tasarım noktasında, kompresördeki hava akışında mükemmel bir uyum vardır. İnlet duct'tan giren hava belirli yön ve büyüklükte kompresörün ilk kademesine girer. Bu andaki rotorun dönme hızı giren havayı etkileyen önemli bir parametredir. Bu hızın da yön ve büyüklük olarak vektörel bir ifadesi vardır. Sonuçta rotor içinde düzgün bir akış oluşmasını sağlayacak, giriş hızı ve rotor hızının bileşkesi olan bir hız oluşur. Akış, bileşke hızının oluşturduğu hücum açısının küçüklüğü oranında düzgün olur. İlk kademe blade'lere bu şekilde giren hava, blade'leri terk ederken rotor hızı nedeniyle tekrar sapar. Ancak bu sapma, stator vane'lerine en ideal girişi sağlayacak yönde olacaktır. Stator vane'leri akış hızını azaltır ve akışı, devamındaki rotor kademesine yönlendirir. Bu akış trafiği, kompresörün tüm kademelerinde devam eder. Ancak daha önce de belirttiğimiz gibi sadece tek bir hızda optimum olur. Çalışması sırasında havanın sürekli olarak kompresörün içine çekilmesi için rotor türbin tarafından yüksek hızlarda döndürülür. Hızlandırılan hava birbirlerine neredeyse değecek gibi dönen blade'lerden arkaya stator vane'lerine doğru atılır. Rotor blade'leri tarafından sıkıştırılmış hava, stator vane'leri tarafından tekrar sıkıştırılır, bunun sonucu olarak da basınç artar. Daha sonra rotor tarafından sıkıştırılan havaya stator vane'leri ile düzgün bir açı verilerek sonraki rotor blade'lerine hazır hâle getirilir. Son kademe stator vane'leri genellikle hava düzeltici gibi hareket ederek combustion sisteme girer ve dairesel harekete sahip olan havanın hareketini üniform axial harekete çevirir. Basınçtaki değişikliğe sıcaklık ve yoğunluk da eşlik ederek yükselir.

Her bölümde havanın basınç oranı 1:1 ile 1:2 gibi küçük oranlarda artar. Bu oranların yavaş yavaş artırılmasının nedeni, rotordan çıkan ve yönü bozulan havanın tekrar yönlendirilmesi gerektiğidir. Basınç birden artırılırsa bu yönlendirilme olayı olmayacağından istenmeyen bir durum olan blade stall meydana gelir. Havanın bu şekilde yavaş yavaş

basıncının artmasına ve axial flow kompresörün veriminin artmasına yardımcı olur. Örneğin, axial kompresörlerin verimli olabileceği maksimum hava hızı, yaklaşık 0,9 Mach'tır ve hava akışı bu seviyeye kadar her zaman düzgündür. Diğer yönden centrifugal kompresörün önündeki burgulu havanın hızı 1,2 Mach iken bu hava akımı combustion chamber'ın çıkışında sağ açılı dönüşünde burğu en yüksek dereceye ulaşmaktadır. Axial flow kompresörlerde yüksek basınçlar elde etmek için birçok kademeye ihtiyaç vardır. Stage (kademe) sayısı arttığında yüksek motor devirlerinde her stage'in verimli çalışmasını sağlamak çok zordur. Bazen otomatik hava akış (air flow) kontrolü gereklidir. Fakat motorun sağlıklı çalışabilmesi için birden fazla kompresör olabilir ve bu kompresörler "co-axial shaft" vasıtası ile birbirinden bağımsız türbinlere bağlanabilir, kompresörler böylece daha verimli çalışabilir. Sabit bypass motorlarda twin spool kompresör kullanılabilir. Alçak basınç kompresörü hem bypass hem de yüksek basınç kompresörü için yeterli havayı sağlar. Otomatik air flow kontrol sistemi yüksek kompresyon oranlarında yüksek basınç kompresörlerinde kullanıldığı zaman büyük bir kullanım rahatlığı verir.

2.5. Fanın Dengelenmesi

Dönen her parçanın balans ayarı yapılmalıdır. Fanın dengelenmesinde balans screw'ler kullanılır. Böylece en büyük blade fanın tam bir daire çizerek dönmesi sağlanır ve vibrasyon kaynağı olması engellenmiş olur. Fanın çalışması esnasında meydana gelecek gürültüyü yok etmek için akustik liner'lar kullanılır. Ses dalgaları akustik liner'lar tarafından emilerek absorbe edilir. Yapıları arı peteğine benzer ve fan case'i içten çepeçevre sarar.



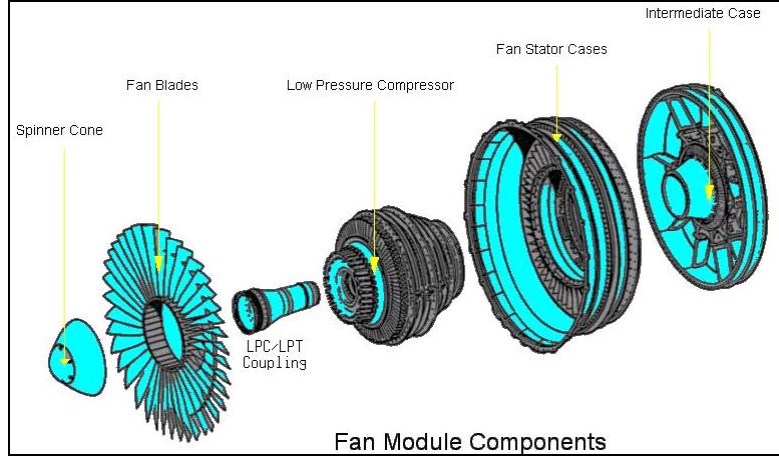
Resim 2.3: Balance screw, fan liner ve mounting bolt

2.6. Kompresör Fanının Çalışması

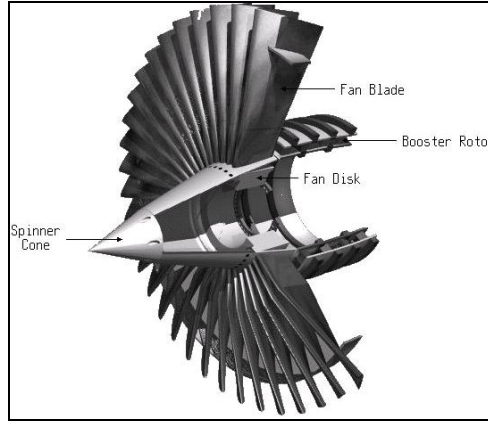
Fanlar motorun önünde ya da arkasında olabilir fakat fanlar soğuk bölümde çalıştığı için çoğunlukla ön kısımda olan şekli üretilir. Fanlar kalın rotor ve stator'lardan oluşan bir kaç bölüme sahip olabilir. Rotor blade'leri kompresörün ön kısmına yerleştirilebilir ya da sadece kendine ait olan bir türbin tarafından döndürülür.

Blade'lerin dış kısımları tarafından hız kazandırılan hava bypass'a ya da atmosfere açılan bir kanal vasıtası ile atılır. Hava akımı fan blade'lerinin iç kısmından kompresör remainder'ına, oradan da ateşleme (combustion) sistemine gider. Triple spool motorlarında sadece bir kademe blade fan olarak kullanılır çünkü blade'ler transonik hızlar için imal

edilmiştir. Bu da sadece motorun ağırlığını azaltmakla kalmayıp istenilen basınç oranlarına başarılı bir şekilde çıkılmasını sağlar.



Şekil 2.3: Fan modülü parçaları



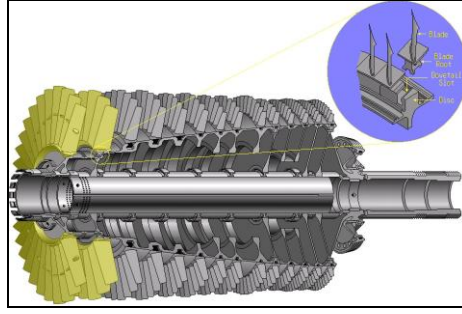
Şekil 2.4: Fan blades, rotor disk and spinner cone

2.6.1. Yapısı (Construction)

Kompresörün merkezinin etrafında rotor ve case'den oluşur. Rotor shaftı bilyeli ve rulmanlı yataklarla desteklenmiş olup motor diziminde en ufak değişikliğe neden olmadan türbin shaftı ile bağlanacak bir tarzda yapılır. Case'ler, birçok silindirik case'nin düzenlenmesi ile oluşur. Bazıları ise motor montajını ve kontrolünü kolaylaştırmak için iki kısımdan oluşur ve bunlar birbirine civatalar ile monte edilmiştir. Rotor'lar drum tipi ve disc tipi olmak üzere iki çeşit yapıya sahiptir. Bunların kombinasyonları da kullanılabilir. Drum tip rotor'lar, rotor blade'lerini muhafaza eden bir ya da birkaç işlenmiş parçadan oluşur. Disc tip rotor'larda ise birbirinden bağımsız disklerin üzerine blade'ler yerleştirilmiştir. Bu diskler ise rotor shaftına takılırken aralarına "individual spacer ringler" konur.

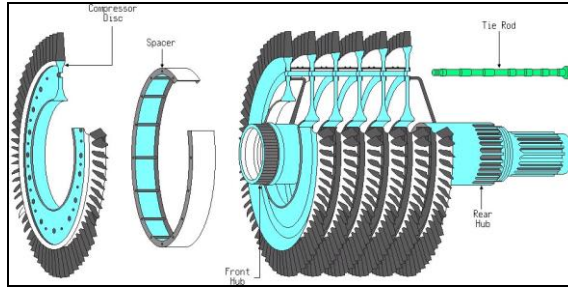
2.6.2. Rotor Blades (Rotor Palleri)

Rotor blade'leri uzun aerofil şeklindeki yapılarıyla havaya axial hareket kazandıracak şekilde imal edilir. Yüksek basınç rotorunun oluşturduğu centrifugal etkisinden dolayı blade'lerin uçlarına doğru ilerler.

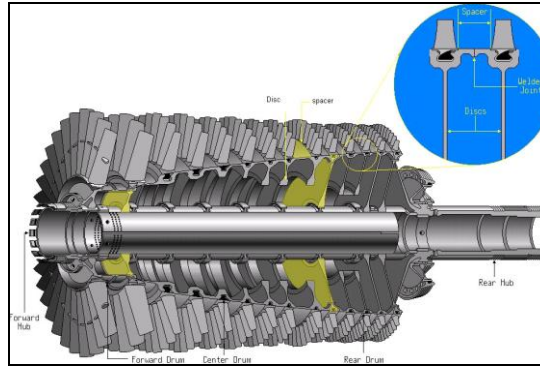


Şekil 2.5: Rotor palleri

Bu kondisyonun sürekli sağlanabilmesi için blade'lerin bükümlü olması ve diplerinden uçlarına kadar olan bükümlerin her noktada en uygun açılarla verilmesi gereklidir. Blade boyları önden arkaya gidildikçe farklılıklar gösterir önde ya da düşük basınç kompresöründe en uzun blade'ler bulunur.



Şekil 2.6: Kompresör diski



Şekil 2.7: Kompresör kesiti

2.6.3. Stator Blades (Stator Palleri)

Stator, airfoilin (rotor blade şekli) karşısındadır. Kompresör case'in içinde ya da stator vane sabitleyici ringi tarafından kendini muhafaza eder. Ön kademede (front stage) vane'lerde ya da uzun vane'lerde hava akışının oluşturacağı vibrasyon etkisini azaltmak için vane'lerin ucu shroud (çember) oluşturacak şekilde yapılabilir. Ayrıca stator vane'leri case'in etrafında dönmeyeceğinden ve vane'lerin kilitlemesi bakımından bu gereklidir.

2.6.4. Çalışma Koşulları (Operating Condition)

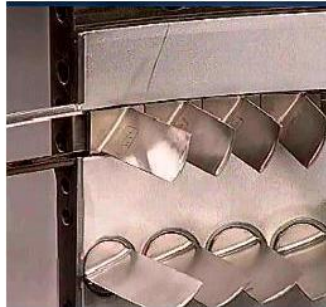
Çok kademeli kompresörlerde her kademede bulunan hava karakteristiği farklılıklar gösterir. Bu yüzden kompresörlerin verimli çalışabilmesi için bu bölümlerin birbirinin karakteristiğine uygun şekilde yerleştirilmesi gerekir. Bu yerleştirme, motorun tek bir çalışma fonksiyonu için yeterlidir fakat motorun değişik çalışma fonksiyonları için yeterli değildir.

Kompresör blade'leri, yüksek motor devirlerinden almış olduğu havanın basıncını ve hızını yükseltecek şekilde tasarlanmıştır. Hava basınç hızı ve dönüş hızında herhangi bir nedenle bozukluk meydana gelirse blade profiline doğru akmakta olan hava akımı bozularak stall'a neden olacak girdaplar oluşturur. Bu durum hava akımının buzlanması, manevralar sırasında havanın azalması ya da yakıt sisteminden aşırı yakıt akması nedeniyle ortaya çıkar.

Bir ya da birkaç kademede (stage) stall bütün kademeler stall'a girene kadar devam ederse kompresör surge girer. Stall'dan surge geçiş çok kısa bir anda olur. Diğer yönden stall önemsiz miktarda vibrasyon, çok az miktardaki hız azalımı veya çoğalımı gibi etkilerle kendini gösterebilir. Hava akış sistemi kontrol ediliyor olmasına rağmen düşük motor devirlerinde kompresörün ön kısımlarında küçük bir miktar stall görülebilir. Bu durum motor için zararlı veya kayda değer bir durum değildir.

Türbin gaz sıcaklığının yükselmesi ya da kompresördeki vibrasyon kompresör stall'una işaret eder. Motordan gelen şiddetli gürültü, patlama ve türbin gaz sıcaklığının yükselmesi ise surge'un açık belirtileridir.

Surge'un olduğu hava akışı ve basınç oranına surge noktası (surge point) denir. Motorun değişik devirlerindeki bu surge pointlerinin birleştirilmesi ile oluşan hatta ise "surge line" denir. Bu da motor dönüş hızına uygun minimum kararlı hava akış miktarını bildirir. Kompresörler, hava akışı ve basınç oranı arasında ve surge'un oluşabileceği hava akımıyla kompresyon oranları arasında en güvenli çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.



Resim 2.4: Vane kesiti

2.7. Kompresörde Stall

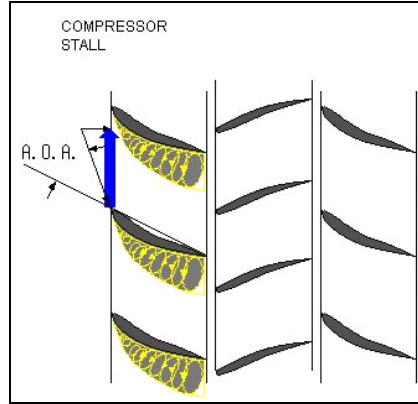
Aksiyal kompresörde akış, hücum açısı ne kadar küçükse o kadar düzgün olur. Rotor hızı ve giriş hızının değişmesiyle değişir. Örneğin, verilen bir motor hızında hava giriş hızı azalır, hücum açısı artar. Bu durumda, hava akışı airfoillerden ayrılır. Bu olay “kompresör stall”u olarak adlandırılan türbülanslı akışa neden olur. Dizayn konfigürasyonları dışında blade’lerin etrafından akan ve kompresöre doğru giden düzgün hava akımının yönü bozulduğunda stall veya surge olarak bilinen durum ortaya çıkar.

Stall ve surge terimleri çoğunlukla eş anlamlı olarak kullanılmasına rağmen birbirinden farklıdır. Stall kompresörün bir veya birkaç kademesinde (stage) etkili olurken surge’de ise tüm kompresör kademeleri (stage) boyunca hava akışının bozulması olarak ortaya çıkar.

2.7.1. Kompresör Stall’u

Kompresör içindeki uygun hava akışını değiştirir. Hava akışının yavaşlamasına, durmasına ve hatta ters yönde hareketine neden olur. Stall, bazen sadece bazı airfoillerde meydana gelir, zayıftır ve hemen hemen fark edilmez. Bir veya daha fazla kademede meydana gelebilir.

Bu durumda motor gürültülü çalışır ve rotor hızı biraz düşer. Kuvvetli bir stall tüm kompresör kademelerini etkileyebilir. Bu olaya kompresör surge denir.



Şekil 2.8: Kompresörde stall

2.7.2. Kompresörde Surge

Çok sert bir kompresör stall’udur. Oluşumu aşağıda anlatılmıştır. Hava akışındaki hızın azalması bazı blade kademelerinde stall’a neden olur. Akışın bu kademelerde bloke olması, takip eden kademelerde daha kuvvetli bir stall’u doğurur. Bu durumda ortaya çıkan alçak basınç bölgeleri, akışı durma noktasına getirir ve ters yönde bir akışa neden olur. Surge, tüm kompresör kademelerinde oluşabilir.

- Ön kademelerde oluşan surge

Çoğunlukla kompresör blade'lerini etkiler. Bunun nedeni, ön kademelerdeki blade'lerin daha büyük olmasıdır. Kompresörün çalışmasına etkisi tehlikeli boyutta olmaz.

- Arka kademelerde oluşan surge

Kompresörün büyük bölümünde çok çabuk etkili olur. Bunun nedeni, arka kademelerde yüksek basınç ve kısa blade'ler olmasıdır. Hava akışı çok hızlı azalır. Yanma odasından motor girişine doğru kuvvetli ters akışı oluşur.

- Surge sırasında

Hava akışı, kısa aralıklara gider veya gelir. Yüksek vibrasyon ve beraberinde şiddetli bir gürültü oluşur. Çekiş (thrust) azalır. Motor hızında dalgalanma olur. Egzoz gaz sıcaklığı artar.

2.7.3. Stall ve Surge Nedenleri

Kompresörde stall veya surge oluşmasının iki nedeni vardır:

- Motorun çalışması ile ilgili problemler
- Motor parçalarındaki hasarlar (tüm ana motor komponentleri ile ilgili hasarlar)

Motor girişinde oluşan çentik ve benzeri hasarlar ile buzlanma, giriş havasının türbülansa uğramasına yani akışın bozulmasına neden olur. Bunun sonucunda havanın giriş hızı azalır. Hasarlı rotor blade'leri ve stator vane'leri hava akışını bozar. Aşırı kirli kompresör blade veya vane'leri de akışı etkiler. Yanma odasında hasarlı veya kopmuş malzeme olması hava akışının bloke olmasına ve azalmasına neden olur. Hasarlı türbin parçaları da akışın azalmasına sebep olur.

Jet nozul'daki çentik ve benzeri hasarlar ile egzoz sistemindeki mevcut kırık veya kopuk parçalar hava akışını bloke edebilir.

- **Motorun çalışmasına bağlı stall / surge oluşumu**

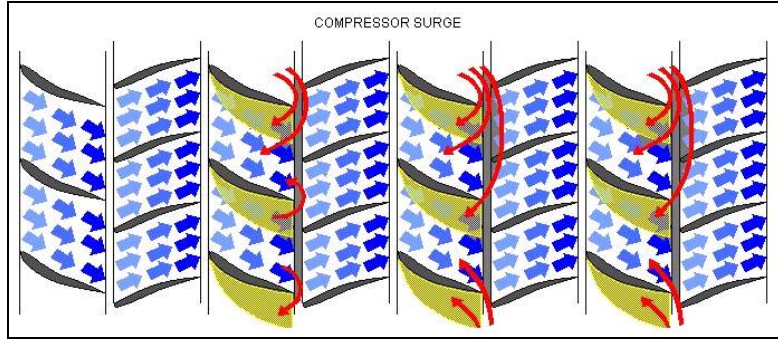
Motor hızının tasarım hızının çok altında kalması, yanlış hızlanma veya hız kesme (acceleration/deceleration) durumlarında kompresörün çalışması ve kompresör kademelerinin verimi azalır. Çok düşük hızlarda, çok kademeli aksel kompresörlerde tüm kademelerin uyumlu (match) olması zordur. Ön kademelerdeki verim, arka kademelerdekinden daha iyidir. Bu durumda, ön kademeler arka kademelere çok fazla hava gönderir. Sonuçta arka kademelerde hava yığılır, akış yavaşlar, durur ve tersine döner.

- Ani hız kesme

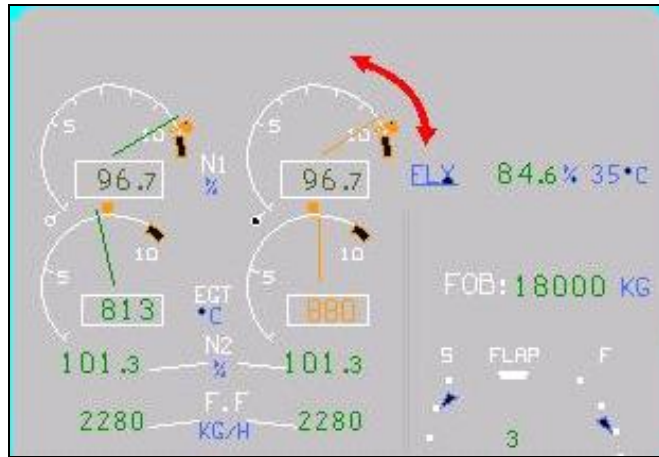
İki veya üç spool'lu motorlarda yukarıdaki benzer sorunlara sebep olabilir. Bunun nedeni, yüksek basınç (HP) kompresörünün rotor hızının alçak basınç (LP) kompresör rotor hızına göre daha çabuk düşmesidir. Böyle bir durumda LP kompresör, HP kompresörden geçmesi olanaksız miktarda hava akışı sağlar.

- Ani hızlanma

Yanma odasına çok fazla yakıt gitmesine neden olur. Bu olay, yanma odasında bir süre için geriye doğru basıncın artmasına neden olur. Kompresörden geçen akış azalır, stall oluşur.



Şekil 2.9: Kompresör surge



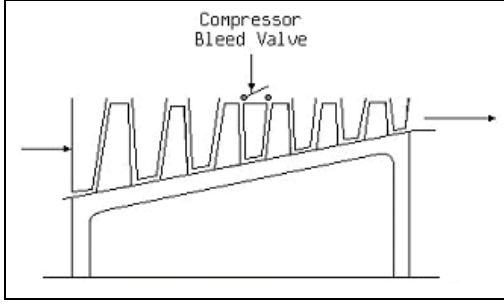
Şekil 2.10: Surge durumu

2.8. Hava Akış Kontrol Metotları (Stall ve Surge Önleme Yöntemleri)

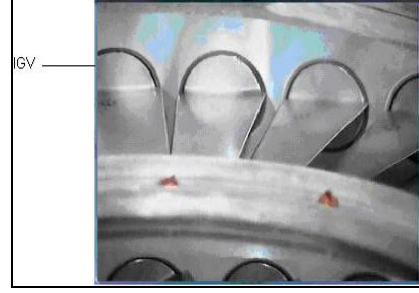
Bu konuda üç farklı yöntem geliştirilmiştir. Bunlar:

- Kompresör bleed valve kullanılması
- İki veya üç spool'lu rotor kullanılması
- Variable stator vane'lerin kullanılması

Modern motorlarda bu yöntemlerin ikisi veya üçü bir arada kullanılabilir.



Şekil 2.11: Compressor bleed valve

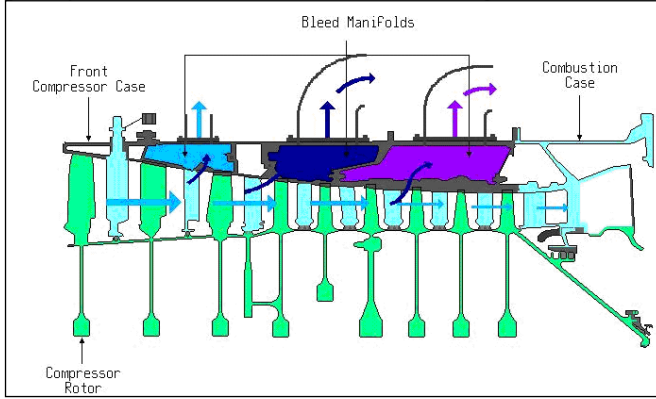


Resim 2.5: IGV

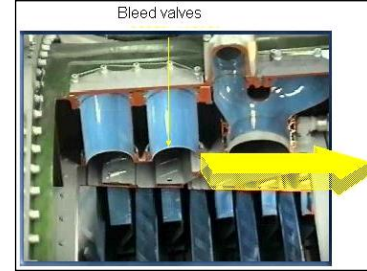
2.8.1. Kompresör Bleed Valve Kullanılması

Stall'u önlemek için kullanılan çok basit ve efektif bir yöntemdir. Valfler, kompresörün orta ve bazen de arka bölümlerine yerleştirilir. Düşük hızlarda açılarak ön kademelerden gelen fazla havanın dışarı atılmasını (overboard) sağlar.

Hava akışının arka kademelerde bloke olması önlenir. En olumsuz tarafı, verimde büyük kayıplara neden olmasıdır. Çok kademeli aksiyal kompresörlerde sadece düşük hızlarda stall'u önler. Tüm kademeleri, tüm motor hızlarında "match" etmek zordur. Birkaç pozisyonda bleed valf kullanılarak daha güvenli bir sistem oluşturulabilir.



Şekil 2.12: Bleed manifolds



Resim 2.6: Bleed valves

2.8.2. Çift Spool'lu Rotor Kullanılması

Önde LP kompresör (N1), arkada HP kompresör (N2) vardır. Her biri ayrı türbinler tarafından tahrik edilir. Arkada yer alan HP kompresörün akışı bloke etmesi zordur. Çünkü daha hızlı dönmektedir.

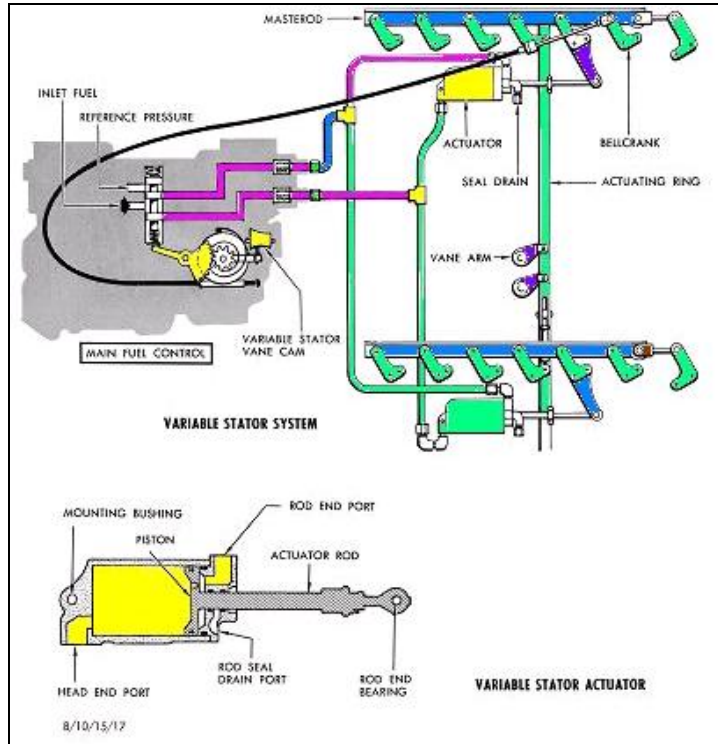
Çift spool'lu motorun bir başka avantajı da küçük rotor kütlesi nedeniyle ivmelenme (acceleration) kapasitesinin yüksek olmasıdır. Üç spool'lu motorlarda ivmelenme (acceleration) kapasitesi daha da yüksektir.

2.8.3. Hareketli Starter Kanatçıkları (Variable Stator Vane Kullanılması)

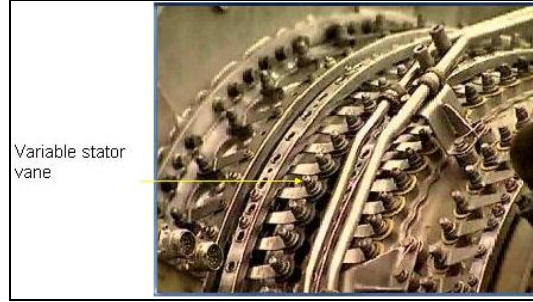
Stall'ü önlemede en efektif yöntemdir. HP kompresör ön kademelerinde radyal ekseninde dönebilen vane'ler vardır. Kompresörün ilk kademesi önünde yer alanlara "IGV/inlet guide vane", kompresör kademelerinde olanlara "VSV/variable stator vane" denir. Hareketli vane'ler; kompresör içindeki akışı, arkasındaki rotor blade'leri için optimum yönde saptırarak (optimum hücum açısı) stall oluşumunu önler.

- **Avantajları:** Her motor hızında optimum hücum açısı elde edilir. Daima optimum verimde çalışma olur.
- **Dezavantajları:** Çok karışık bir kontrol mekanizması gerektirir.

Centrifugal flow kompresörler axial flow kompresörlere göre daha sağlam ve üretimi daha kolaydır. Bununla birlikte axial flow kompresör aynı motor ön alanı ile daha fazla hava çekebilir ve yüksek basınç oranları için dizaynı daha kolaydır. Hava akışı thrust miktarını belirlemede önemli bir faktördür. Bunun anlamı axial kompresörlü motorlarda aynı ön alanla centrifugal motorlara göre daha fazla thrust elde edilir. Yüksek basınç oranı ile daha fazla verim sağlanır.



Şekil 2.13: Variable stator sistem ve şeması



Resim 2.7: Variable stator vane

2.9. Kompresör Oranı

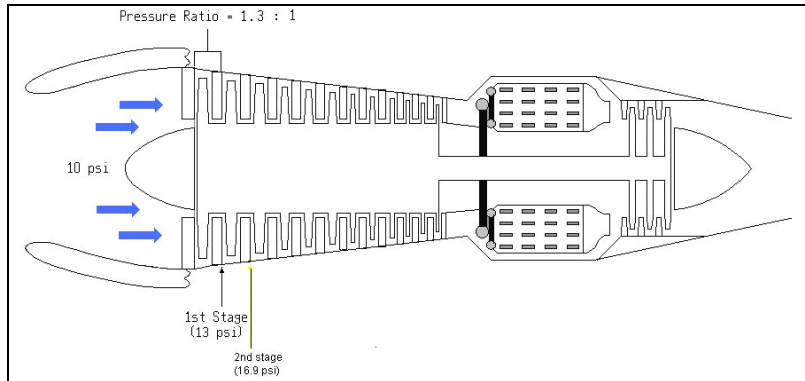
Kompresörlerin çeşidine göre basınç oranları değişiklik göstermektedir.

2.9.1. Santrifüj Tip Kompresörün Basınç Oranı

Impeller'in dönme hareketiyle havanın yatay emişi sağlanır. Daha sonra santrifüj etkisiyle hava merkezden dışa doğru itilir. Hız (enerji) artar, kısmen de statik basınca dönüşür. Difüzörde (vane'ler) hava akış hızı azalır ve basınç artar. Elde edilen basınç oranı yaklaşık 5:1'dir.

2.9.2. Aksiyal Tip Kompresörde Basınç Oranı

Her kademede oluşan basınç oranı yaklaşık 1,3:1'dir. Örneğin, bir kademeye girişte basınç 10 PSI ise aynı kademe çıkışında 13 PSI olur. Her kademedeki basınç artışının çok küçük olması nedeniyle gereken yüksek basınç değerlerine ulaşmak için çok kademeye gereksinim vardır. Kompresör içinde havanın basıncı arttıkça yoğunluğu da artar. Sonuçta, havanın gereksinimi olan hacim azalır. Bu durumda, akış hızının sabit kalmasını sağlamak için kompresör içindeki hava akış aralığı, önden arkaya doğru daralan bir kesitte tasarlanır.



Şekil 2.14: Pressure ratio

UYGULAMA FAALİYETİ

Motor kompresör kısmının bakım işlemini yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Uygulama yapacağınız ilgili uçağın AMM dosyasından kompresör kısmı ile ilgili sayfaları bulunuz.➤ İlgili AMM sayfalarına göre kompresör kısmı parçalarının sökümünü gerekli ekipmanlar yardımıyla yapınız.➤ İlgili AMM sayfalarına göre kompresör kısmı bakımını gerekli ekipmanlar yardımıyla yapınız.➤ İlgili AMM sayfalarına göre kompresör parçalarının takılma işlemlerini gerekli ekipmanlar yardımıyla yapınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Çalışma bölgenizde gerekli güvenlik tedbirlerini alınız. Yangın tüpünü hazır bulundurunuz.➤ Çalışma alanının temiz ve düzenli olmasına dikkat ediniz.➤ Öncelikle çalışma bölgenizden kullanmayacağınız teçhizat ve ekipmanları kaldırınız.➤ İşleme başlamadan yüzey üzerini koruyucu örtü ile kapatınız. Böylece yüzeye zarar vermezsiniz.➤ Uçak bakım dokümanlarındaki (AMM) prosedürleri uygulayınız.➤ Gerekli bakımı yapıp avadanlıkları hazırlayınız.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1.	Uygulama yapacağınız uçağın AMM dosyasından kompresör kısmı ile ilgili sayfaları buldunuz mu?		
2.	İlgili AMM sayfalarına göre kompresör kısmı parçalarının sökümünü gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		
3.	İlgili AMM sayfalarına göre kompresör kısmı bakımını gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		
4.	İlgili AMM sayfalarına göre kompresör parçalarının takılma işlemlerini gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdakilerin hangisinde aksiyal kompresörün parçaları doğru yazılmıştır?
A) Rotor, stator, impeller
B) Rotor, stator, case
C) Impeller, diffuzer, compressor manifold
D) Impeller, stator, case
2. Radyal (centrifugal) kompresörün her kademesindeki basınç artırım oranı aşağıdakilerden hangisidir?
A) 1:5
B) 1:1.3
C) 1:25
D) 1:10
3. Aşağıdaki seçeneklerden hangisi stall'u anlatmaktadır?
A) Hava akışı, kısa aralıklara (çöker) gider / (başlar) gelir.
B) Yüksek vibrasyon ve beraberinde şiddetli bir gürültü oluşur.
C) Thrust azalır.
D) Bir veya daha fazla kademede meydana gelebilir. Bu durumda motor gürültülü çalışır ve rotor hızı çok az düşer.
4. Aşağıdakilerden hangisi stall ve surge önleme yöntemlerinden değildir?
A) Kompresör bleed valve kullanılması
B) İki veya üç spool'lu rotor kullanılması
C) Variable stator vane'lerin kullanılması
D) OGV guide vane kullanılması
5. Ani hız kesmede stall ve surge oluşumuyla ilgili aşağıdakilerden hangisi doğrudur?
A) Yanma odasına çok fazla yakıt gitmesine neden olur.
B) Yüksek basınç (HP) kompresörünün rotor hızının, alçak basınç (LP) kompresör rotor hızına göre daha çabuk düşmesidir.
C) Bu olay yanma odasında bir süre için geriye doğru basıncın artmasına neden olur.
D) Kompresörden geçen akış azalır, stall oluşur.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-3

AMAÇ

Yanma odası kısmının bakımını yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Yanma odalarının yapısal özellikleri ve çalışmalarıyla ilgili araştırma yapınız.
- Araştırma konusunda sanal ortamda ve ilgili sektörde kaynak taraması yapınız.
- Yaptığımız araştırmayı rapor hâline getiriniz.
- Hazırladığınız raporu sınıftaki arkadaşlarınıza sununuz.

3. YANMA ODASI BÖLÜMÜ

3.1. Yapısal Özellikleri

Yanma odasının amaç ve özellikleri aşağıda anlatılmıştır.

3.1.1. Amaç ve Özellikleri

Yanma odası, türbin ve jet nozulu için sıcak gaz akımı üretir. Bunu yakıt hava karışımının sürekli yanması sağlar. Birçok olumsuz faktör ve sağlanması gereken koşul (büyük miktardaki yakıtın tutuşturulması, türbinin her çalışma koşulunda kompresör tarafından gönderilen havanın genleştirilmesi, hız kazandırılması ve bu havanın düzgün bir akımla burayı terk edip türbine gitmesi vb.) nedeniyle zor bir işlemdir. Bu belirlenen limitler içinde minimum basınç kaybı ve maksimum güvenli sıcaklık elde edilir.

Hava içine karıştırılacak yakıt miktarı, combustion chamber, türbine nozul guide vane, türbine blade-vane'lerinin yapıldığı metallerin dayanabileceği sıcaklık limitlerine uygun olmalıdır. Bu da 700-1200°C arası olabilir. Combustion chamber'ın çalışabilmesi için 500-600 °C'ye ihtiyacı vardır. Örneğin, turboprop bir motorun uzun çalışma limitleri arasında combustion verimi sabit tutulmalıdır. Ticari hava taşımacılığı artıkça combustion veriminin önemi daha da artmıştır. Bu artışla birlikte hava kirliliği de artmıştır.

Emniyetli ve verimli çalışma için yanma odasında aranılan özellikler şunlardır:

- Yerde ve uçuşta emniyetli ateşleme olmalıdır.
- Tüm çalışma koşullarında stabil yanma sağlamalıdır.
- Çıkışta eşit sıcaklık dağılımı sağlamalıdır.
- Minimum basınç kaybı oluşturacak şekilde yanma sağlamalıdır.
- Küçük ve hafif olmalıdır.
- Yeterli soğutma sistemine sahip olmalıdır.
- Yüksek çalışma ömrü olmalıdır.

3.1.2. Yanma Odası Komponentleri

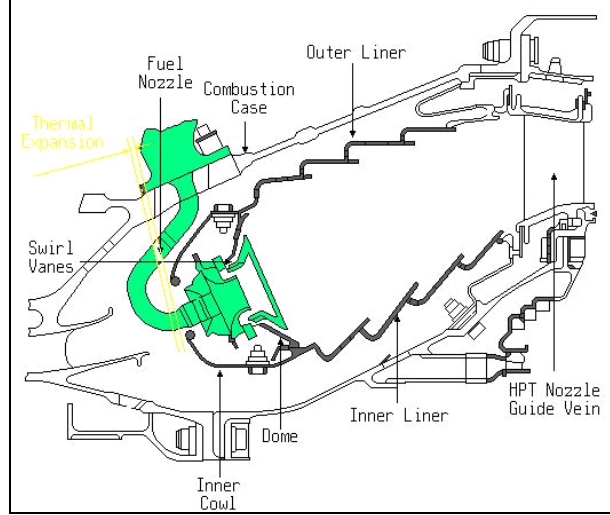
Motorlarda birkaç tip yanma odası kullanılır, hepsinde ortak olan iki ana komponent vardır.

➤ **İç-dış kasa (inner-outer case)**

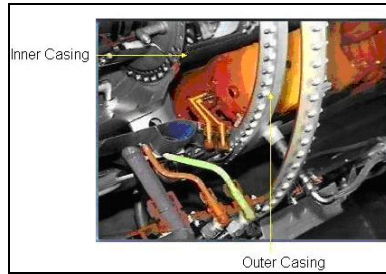
Yanma odası dış muhafazasıdır. Hava basınç yüklerini (yanma öncesi ve sonrası) karşılar ve taşır. İç ve dış motor komponentlerini sıcak gazlardan korur. Flame tube ve diğer komponentleri (yakıt nozulları ve bujiler) taşır.

➤ **Alev borusu (flame tube)**

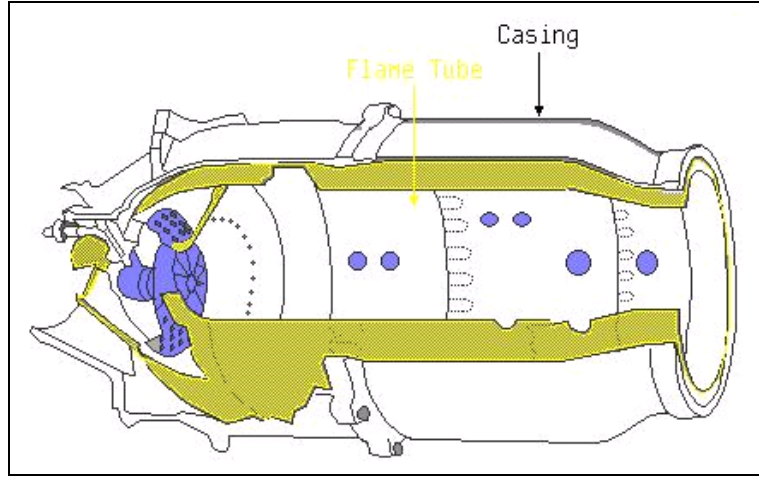
Alevi kontrol ve yataklık ederek yönlendirir. Delik ve slotları olan birçok segmentten yapılmıştır.



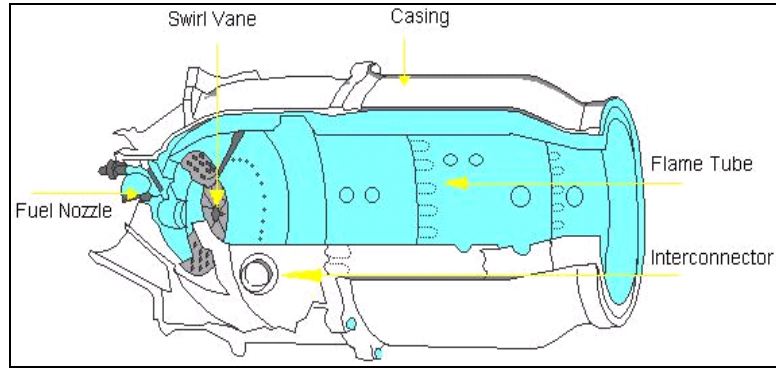
Şekil 3.1: Yanma odası parçaları



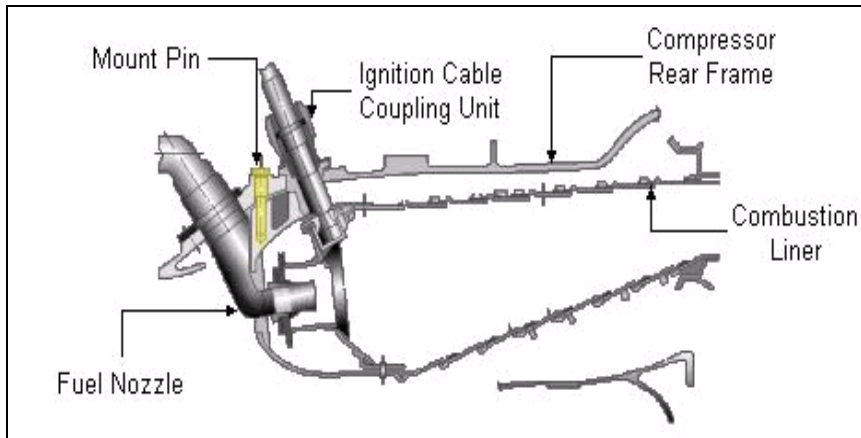
Resim 3.1: Yanma odaları case'lerinin görünümü



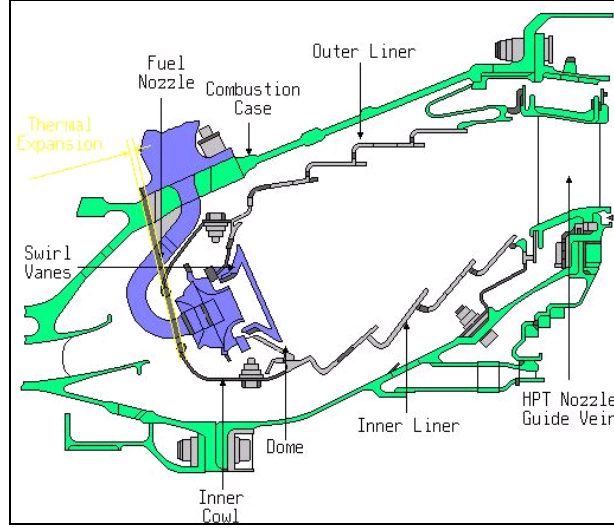
Şekil 3.2: Yanma odası kesit resmi



Şekil 3.3: Yanma odası iç parçalarının görünüşü



Şekil 3.4: Yanma odasına fuel nozul yerleşimi



Şekil 3.5: Yanma odası parçalarının yerleşimi

3.1.3. Malzemesi (Material)

İlk bölgede yanma odasını (combustion chamber) oluşturan ve iç kısımdaki metaller, yüksek gaz sıcaklığına karşı dayanıklı olmalıdır. Pratikte bunu başarabilmek için ısıya karşı dayanıklı metaller kullanmak ve flame tube'ün iç kısmını soğutup yalıtımak gereklidir. Bu amaçla silisyum-bronz alaşımli çelikler kullanılmaktadır. Yanma odası (combustion chamber) yanmadan dolayı oluşan korozyon, ısı kaybı, titreşimli ve basınçlı yüklere karşı dayanıklı olmalıdır.

3.2. Yanma Odalarının Çalışma Prensibi

Yanma odalarının çalışma prensipleri aşağıda anlatılmıştır.

3.2.1. Yanma İşlemi

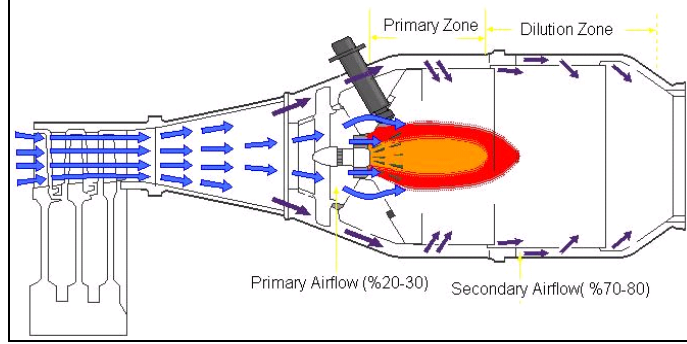
Sıkıştırılmış hava yanma odasına girer. Yakıt nozulları, yakıtı hava akışının merkezine doğru püskürtür. Yakıt buharlaşarak hava akışına karışır. Bujiler elektrik kıvılcımları oluşturarak ateşleme yapar ve yanmayı başlatır. Bujiler 40-50 saniye devrede kalıp sonra devreden çıkar. Yanma odasına sürekli hava ve yakıt belli oranda geldiği sürece yanma işlemi devam eder.

Doğru ve emniyetli yanması, doğru hava/yakıt karışım oranı ve hava hızının tam yanmayı sağlayacak miktarda düşürülmesi ile sağlanır. Tam yanmada, 1 birim yakıt için 15 birim hava gerekir. Teorik olarak hava yakıt oranı, hava / yakıt = 15:1'dir.

3.2.1.1. Kompresörden Gelen Hava Akışı (Primer ve Sekonder)

Primer akış, yanma işlemi için kullanılır. Kompresörden gelen havanın % 20-30'udur. Sekonder akış, yanma odasının primer bölgesinden bypass olup sekonder (dilution)

bölgesinde sıcak gaz ile karışır. Bu, kompresörden gelen havanın = % 70-80'idir. Primer bölge, alevin stabil (kararlı) olduğu yerdir.



Şekil 3.6: Yanma odasında primary ve secondary hava akımı

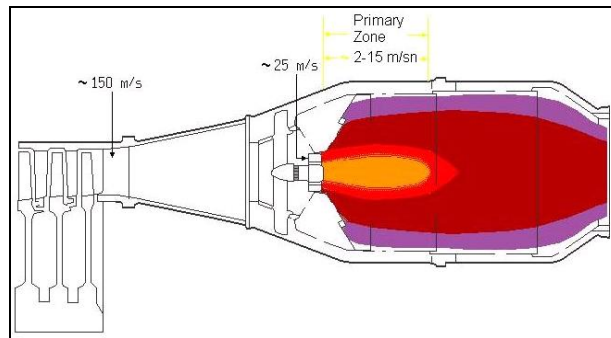
Sekonder havasının bir kısmı primer bölgede alevi flame tube duvarlarından (iç çeperinden) uzak tutmak için kullanılır. Alev sıcaklığının yaklaşık 2000 °C'ye ulaştığı bu bölgede soğuk hava ile bir film (yastık) soğutma tabakası oluşturulur.

Sekonder havanın büyük bir kısmı, yanma odası malzemesinin yüksek sıcaklıklardan etkilenmemesi için soğutma görevi yapar. Yine bu havanın büyük bir kısmı dilution deliklerinden sekonder (dilution) bölgesine girer. Yanma odası girişinde bir difüzör bulunur. Görevi, kompresörden gelen havanın hızını azaltmaktır.

3.2.1.2. Doğru Yanma İçin Hava Akışının Yanma Odasına Düşük Hızda Girmesi

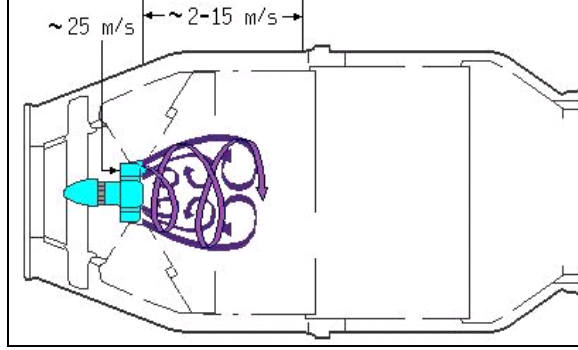
Yanma odasına uygun hızda giren hava alevin stabil olmasını sağlar. Yanmanın primer bölgede bitmesi, sekonder (dilution) bölgeye ve türbine sıçramaması sağlanır. Hava akışı 150 m/sn. hızla gelir. Ancak bu hız yanma işlemi için çok yüksektir. Difüzörde hız yaklaşık 25 m/sn.ye düşer ki bu hız da yanma için çok yüksektir.

İstenen oranda yakıt hava karışımı oranının sağlanabilmesi için akış hızı 2-15 m/sn. olmalıdır. Hava hızını daha da azaltmak için akış kısıtlayıcılar (restrictor) ve helezon sabit yapılar (swirl vane) kullanılır. Bunlar vorteks (dönme hareketi) meydana getirerek yakıt ve havanın daha iyi karışmasını da sağlar.



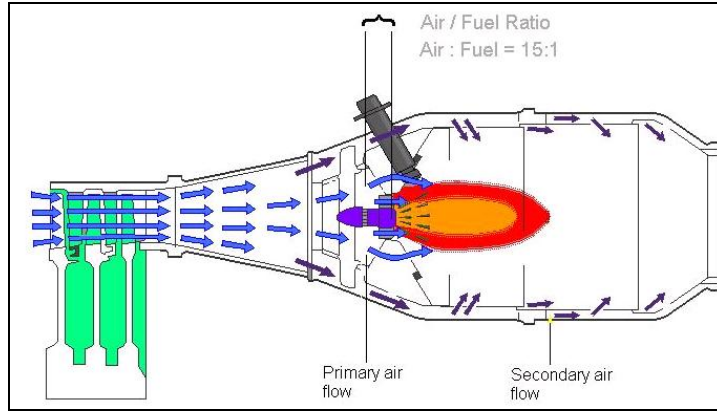
Şekil 3.7: Yanma odasına giren hava hızının gösterilmesi

Flame tube'lerin genellikle atomizasyon için yapıları birbirine benzer fakat swirl vane'leri ya da flare'leri (yönlendirici) olmayabilir. Primary air flow, fuel feed tube'e (yakıt besleme borusu) destek yapan baffle plate'in (bölme plakası) içine doğru gider.

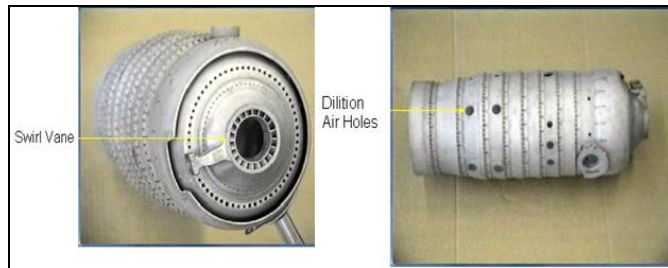


Şekil 3.8: Yanma odasına giren havanın fuel nozuldan püsküren yakıtı sarması

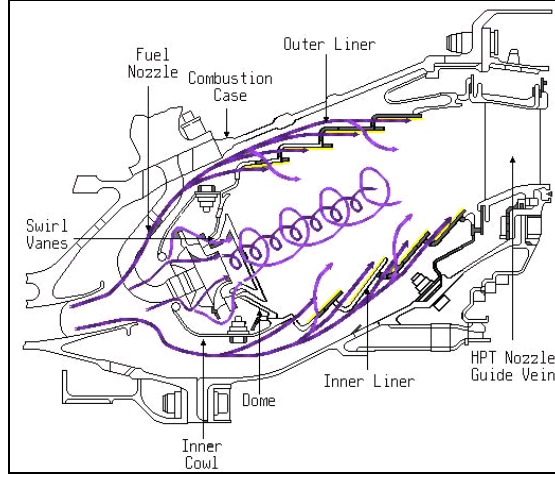
Yakıt, feed tube'den vaporizing tube'ün (atomize borusu) içine doğru püskürtülür. Vaporizing tube, flame tube'ün içine yerleştirilmiştir. Yakıt flame tube'e gelmeden atomize (vaporize) hâle getirilir. Primary air flow vaporizing tube'ü yakıt ile geçerek secondary nozul'a doğru ilerler ki burada fan havası yardımı ile alev geriye doğru sürüklenir. Cooling (soğutma) ve dilution (genleşme) air, flame tube'ün içinde karıştırılır.



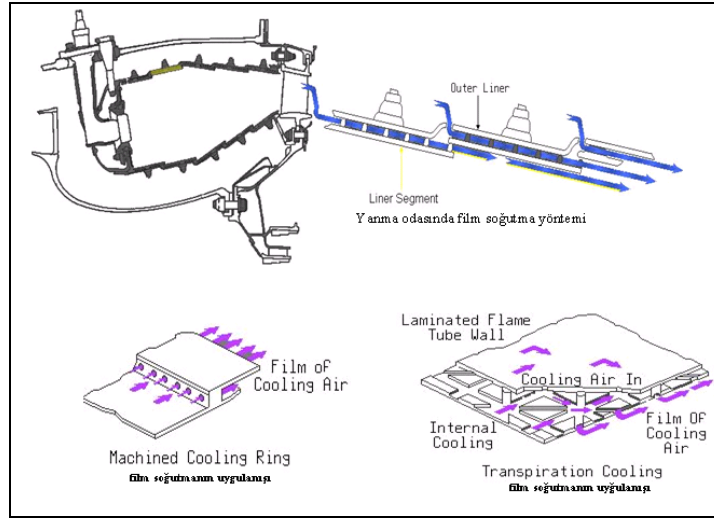
Şekil 3.9: Yanma odasında hava akışı



Resim 3.2: Yanma odası girişi ve yanma odasının yandan görünüşü



Şekil 3.10: Yanma odasının soğutulması



Şekil 3.11: Yanma odasının soğutulma yöntemi

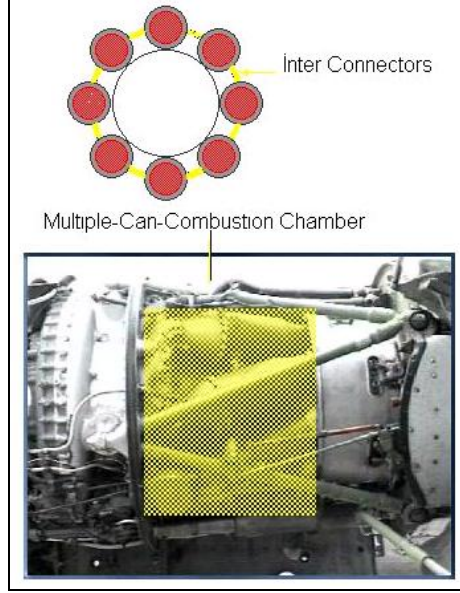
3.2.2. Yanma Odası Çeşitleri

Can tip, can-annular tip, annular tip olmak üzere üç tip yanma odası vardır.

➤ Can (Odacık) tip yanma odası

Santrifüj tip kompresörlü, eski tip gaz türbinli motorlarda kullanılır. Her yanma odacığının kendi hava temin duct'ı, yakıt nozulu, flame tube'ü ve case'i vardır. Tek odacıklı tipleri genellikle küçük gaz türbinlerinde ve APU'larda kullanılır. Çok odacıklı tipleri ise genellikle turbo prop, turbo jet motorlarda kullanılır. Odacıklar birbirine iç bağlantı boruları ile bağlıdır. Bu yapı, ateşlemenin bir odacıktan diğerine geçmesine izin verir. Ateşlemede iki adet buji kullanılır. Tüm odacıklardaki basınç eşitlenir.

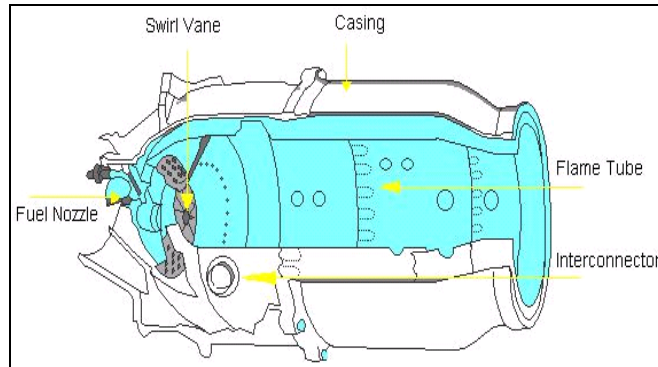
- **Avantajları:** Tasarımı basittir. Yapısal mukavemeti yüksektir. Odacıklar birbirinden bağımsız değiştirilebilir.
- **Dezavantajları:** Büyük ve ağır oluşu nedeniyle fazla yer kaplar. Kompresör havasını getiren duct'ların komplike olması aerodinamik kayıpları artırır. Ateşlemenin bir odacıktan diğerine geçmesinde zorluklar vardır.



Resim 3.3: Yanma odasının dış görünüşü

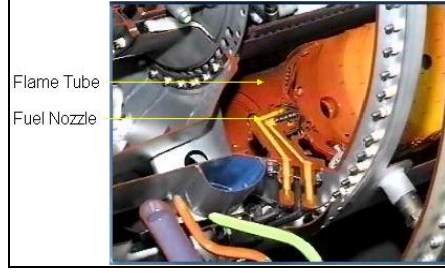
➤ **Can-annular tip yanma odası**

Can-annular tip yanma odası can ve annular yanma odasının bir kombinasyonudur. Basit bir yapısı vardır. Flame tube'ler yanma bölgesini çevreler. Ortak iç ve dış case içinde bulunur. Flame tube'ler iç bağlantı boruları ile bağlıdır.

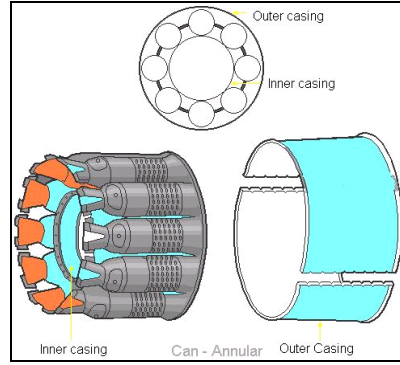


Şekil 3.14: Can tipi yanma odası

- **Avantajları:** Yapısal mukavemeti iyidir. Hava temini daha basittir (Komplike besleme duct'larına gerek yoktur.). Benzer çok odacıklı tiplerden daha küçük ve hafiftir.
- **Dezavantajları:** Aerodinamik kayıplar oldukça fazladır. Bir flame tube'den diğerine ateşleme zorluğu vardır.



Resim 3.4: Flame tube ve fuel nozul



Şekil 3.15: Can-annular tip yanma odasının çeşitli görünüşleri

➤ **Annular (kovan) tip yanma odası**

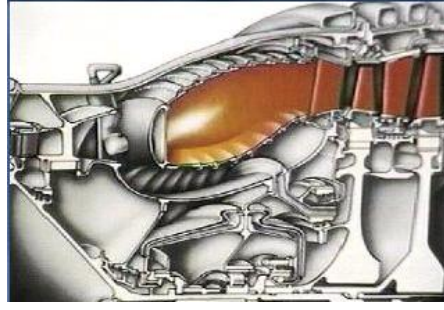
Modern gaz türbinli motorlarda kullanılan bir modeldir. İç ve dış case'lerin taşıdığı, bir tane “annular flame tube” vardır. Case'ler flame tube ile birlikte sekonder hava için bir kanal oluşturur ve aynı zamanda motor yapısının parçasıdır. Çoğunlukla, “diffuser case” veya “compressor rear frame” olarak adlandırılır.

Air spray tip yakıcı ile combustion chamber'da yanma için hazırlanan yakıtın büyük oranda buharlaşması önlenir. Bunun sonucunda karbon oluşumu önlenir. Yüksek bypass oranına sahip olan motorlarda az miktarda yakıt kullanılarak yüksek thrust oluşturması sebebiyle havayı az miktarda kirletir. Flame tube, genellikle üç parçadan oluşur. Bunlar; dome, iç liner, dış linerdir. Dome üzerinde, yakıt nozullarının takılacağı swirl vane'lerle çevrelenmiş delikler vardır.

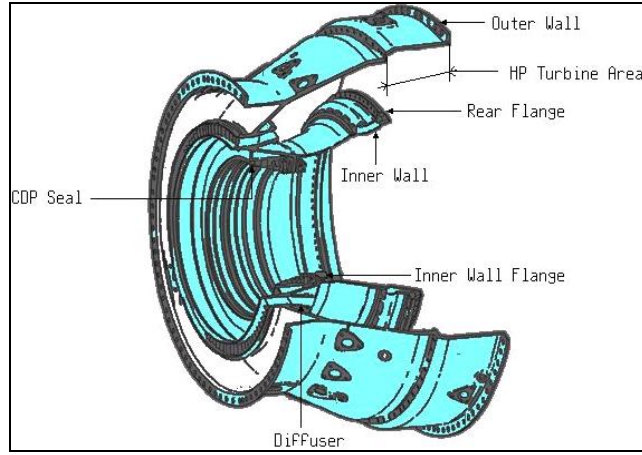
- **Avantajları:** Küçük ve hafiftir. Daha büyük yanma hacmi vardır. Verimi daha yüksektir. Tam ve dumansız yanma elde edilir. Alevin yayılması

kolaydır. Türbinde daha iyi ısı yük dağılımı olur. İnterconnector (besleyici bağlantı) gerekmemektedir.

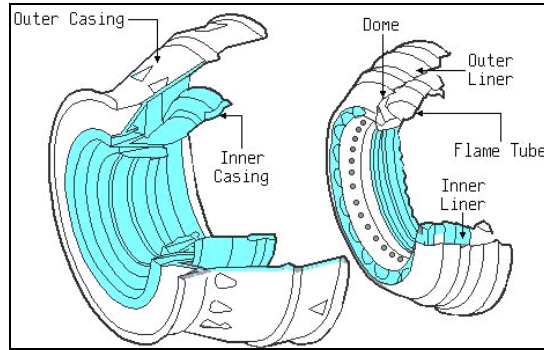
- **Dezavantajları:** Üretimi pahalıdır. Söküm/montaj işlemleri zordur ve zaman alır. Bakım maliyeti yüksektir.



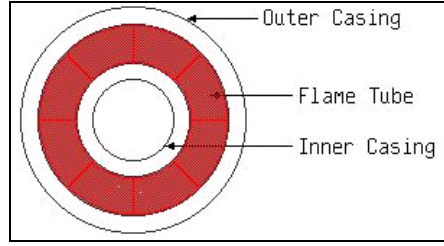
Resim 3.5: Yanma odasındaki yanma



Şekil 3.16: Annular tip yanma odası



Şekil 3.17: Annular tip yanma odası parçaları



Şekil 3.18: Annular tip yanma odasının kesit görünüşü

3.2.3. Yanma Odası Performansı

Combustion chamber, yüksek çalışma limitleri arasında yakıtın en verimli bir şekilde yakılmasına uygun olmalı, herhangi bir basınç kaybına yol açmamalıdır. Alevin sönmesi gibi bir durum söz konusu olursa tekrar alevlendirilebilmelidir. Bu çalışma performansı sırasında flame tube, burner, atomizer ve sistem elemanları mekanik olarak güvenilir olmalıdır.

Gaz türbinli motorlar sabit basınç altında çalışır. Çalışma sırasındaki kayıplar minimuma indirilmeli ve bu seviyede tutulmalıdır. Toplam basınç kaybı combustion chamber'a giren basıncın % 5-10'u olabilir. Combustion chamber'dan çıkan ısı combustion chamber'ın alanına bağlıdır. Gerekli olan yüksek çıkış gücü için gaz türbinli motorlarda combustion chamber küçük, çıkan ısı büyük olmalıdır.

➤ Yanma verimi

Tüm gaz türbinli motorlarda deniz seviyesinde % 100 olan verim, irtifa arttıkça % 98'e kadar düşer. Hava sıcaklığının, basıncının ve hava/yakıt karışımının oranının düşmesinden dolayı verimlilik değerleri düşer.

➤ Yanmada denge

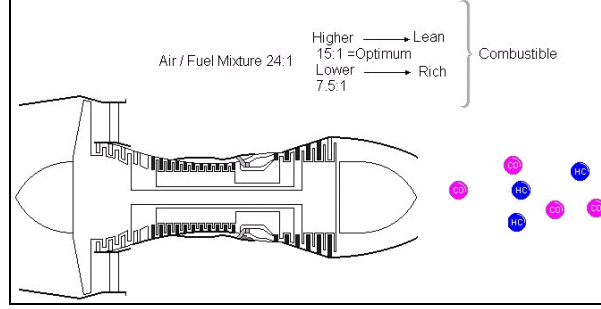
Yanmanın düzgün olması ve uzun çalışma zamanı içinde muhafaza edilmesidir. İki tip hava/yakıt karışım oranı vardır. Bunlar; zengin ve fakir karışımlardır. Bu limitlerden çıkılacak olursa alev söner. Süzülme ve dalış esnasında motorun rölanti devrinde çalışmasıyla az bir yakıt girişi olur. Buna karşın hava girişinde artış olur ve alev sönebilir.

Kompresör hava hızının yükselmesi ile birlikte eğer hava çok aşırı bir şekilde gelip alevin sönme durumunu meydana getirirse hava yakıt oranı zengin ve fakir karışımlar arasında değiştirilebilir. Stability loop (denge döngüsü)'un tanımladığı çalışma limitleri arasında yanma odasına akan hava miktarı ve hava yakıt karışımı korunmalıdır. Ateşleme işi zengin ve fakir karışım limitleri içinde aynıdır. Soğuk havalarda normal yanmanın muhafazası zordur. Bu yüzden ateşleme döngü hattı kararlılık döngüsü içindedir.

3.2.4. Karbon Oluşumu ve Emisyon Azaltma Yöntemleri

Modern gaz türbinli motorlarda aranılan önemli bir özellik de egzoz gazlarındaki kirliliğin minimum seviyede olmasıdır. Yüksek sıkıştırma oranlı motorlar, take-off esnasında duman biçiminde egzoz gazları çıkarmaya meyillidir. Bu da bize karbon parçacıklarının primary zone (birinci bölge) bölgesindeki yüksek sıcaklık ve basınç ile düşük türbülans

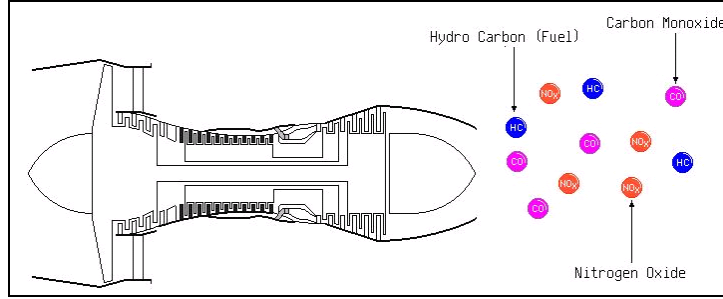
bölgesinde oluştuklarını gösterir fakat bu duman oluşumu nerdeyse ihmal edilebilecek oranda % 3 gibi bir yanma verimi düşüklüğü gösterir yani önemsizdir.



Şekil 3.19: Yanmada zengin ve fakir karışım sınırları

➤ **Egzoz gazlarında kirliliğe sebep olan oluşumlar**

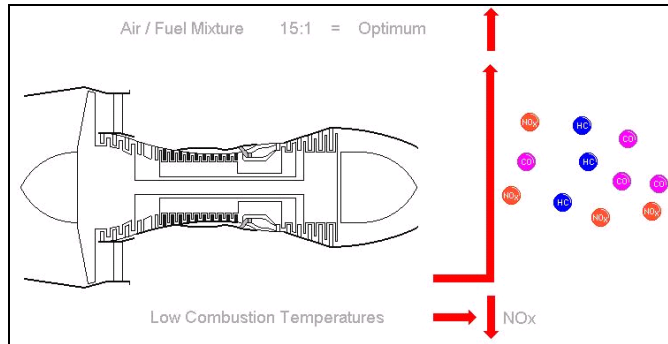
Yanmamış yakıt ve hidrokarbonlar (HC), karbonmonoksit (CO), nitrojen oksit (NO_x) kirliliğe sebep olur. Kirlilik sebeplerinden biri de ideal oranda ayarlanamayan yakıt/hava karışımının yanma işlemini tamamlayamamasıdır. En ideal yanmada bu oran 15:1'dir.



Şekil 3.20: Egzoz emisyonları

➤ **Zengin karışım hâli**

Yakıt çok fazladır. Yanmamış yakıt egzozla karışır. (HC) oranı artar. CO oluşmasına neden olur.



Şekil 3.21: Zengin ve fakir karışımında emisyon oluşumları

➤ **Fakir karışım hâli**

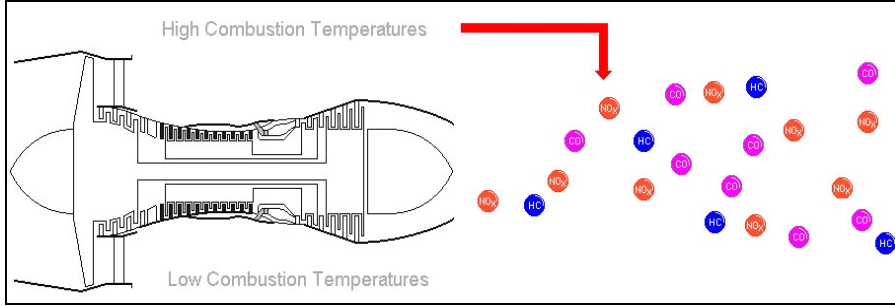
Yakıt yetersizdir. Kirlilik daha fazladır. Alevin sönme tehlikesi vardır. Yanmanın mümkün olabilmesi için karışım oranı minimum (7,5:1) ile maksimum (24:1) arasında olmalıdır. CO ve HC miktarları, optimum hava/yakıt oranları sağlandığında azalır.

➤ **NOx emisyonunun azalması**

Gazın sıcak bölgelerde kalma/temas süresi azaldığında ve düşük yanma sıcaklıklarında NOx emisyonu azalır. Ancak bu durumda CO emisyonu çok fazla artacaktır.

➤ **Yanma sıcaklığının artması hâlinde**

CO ve HC emisyonu azalır. NOx emisyonu artar. Yanmanın sebep olduğu bu olumsuzlukları azaltmak için çift dome'lu yanma odaları kullanılır.



Şekil 3.22: Yanma odasının sıcak ve soğuk çalışmasında emisyon oluşumu

➤ **Çift dome'lu yanma odaları**

Dış ve iç yanma bölgeleri vardır. Dış (pilot) kademe daima çalışır. İç (ana) kademe sadece yüksek güçlere çıktığında kullanılır. Yakıt/hava karışımı daha iyi kontrol edilir. CO ve HC emisyonu azalır. Yanma odası boyu daha kısadır. NOx oluşumu azalır.

UYGULAMA FAALİYETİ

Motorun yanma odası kısmının bakımını yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Uygulama yapacağınız uçağın AMM dosyasından yanma odası kısmı ile ilgili sayfaları bulunuz.➤ İlgili AMM sayfalarına göre yanma odası kısmı parçalarının sökümünü gerekli ekipmanlar yardımıyla yapınız.➤ İlgili AMM sayfalarına göre yanma odası kısmı bakımını gerekli ekipmanlar yardımıyla yapınız.➤ İlgili AMM sayfalarına göre yanma odası parçalarının takılma işlemlerini gerekli ekipmanlar yardımıyla yapınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Çalışma bölgenizde gerekli güvenlik tedbirlerini alınız. Yangın tüpünü hazır bulundurunuz.➤ Çalışma alanının temiz ve düzenli olmasına dikkat ediniz.➤ Öncelikle çalışma bölgenizden kullanmayacağınız teçhizat ve ekipmanları kaldırınız.➤ İşleme başlamadan yüzey üzerini koruyucu örtü ile kapatınız. Böylece yüzeye zarar vermezsiniz.➤ Uçak bakım dokümanlarındaki (AMM) prosedürleri uygulayınız.➤ Gerekli bakım ve avadanlıkları hazırlayınız.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1.	Uygulama yapacağınız ilgili uçağın AMM dosyasından yanma odası kısmı ile ilgili sayfaları buldunuz mu?		
2.	İlgili AMM sayfalarına göre yanma odası kısmı parçalarının sökümünü gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		
3.	İlgili AMM sayfalarına göre yanma odası kısmı bakımını gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		
4.	İlgili AMM sayfalarına göre yanma odası parçalarının takılma işlemlerini gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Emniyetli ve verimli çalışma için yanma odasında aşağıdaki koşullardan hangisi sağlamalıdır?
A) Yerde ve uçuşta emniyetli ateşleme
B) Tüm çalışma koşullarında stabil yanma
C) Tam yanma
D) Küçük ve hafif olması
2. Aşağıdakilerden hangisi yanma odası çeşitlerinden değildir?
A) Can tip
B) Case tipi
C) Can-annular tip
D) Annular tip
3. Zengin karışımda aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?
A) Yakıt çok fazladır.
B) Yanmamış yakıt egzozu karışır. (HC) oranı artar.
C) **NOX** oluşmasına neden olur.
D) Kirlilik daha fazladır.
4. NO_x emisyonu aşağıdaki karışımların hangisinde oluşur?
A) İdeal karışımda
B) Zengin karışımda
C) Fakir karışımda
D) Düşük hızlarda
5. Yanma odasında yanma işleminin gerçekleşmesi sırası aşağıdaki seçeneklerin hangisinde verilmiştir?
A) Hava - yakıt - buji kıvılcımı
B) Hava - buji kıvılcımı - yakıt
C) Buji kıvılcımı - hava - yakıt
D) Yakıt - buji kıvılcımı - hava

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-4

AMAÇ

Türbin kısmının bakımını yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Motor türbin kısmının bakım yöntemlerini araştırınız.
- Araştırma konusu için sanal ortamda ve ilgili sektörde kaynak taraması yapınız.
- Yaptığımız araştırmayı rapor hâline getiriniz.
- Hazırladığınız raporu sınıftaki arkadaşlarınıza sununuz.

4. TÜRBİN KISMI

4.1. Farklı Tip Türbin Blade'lerinin Çalışması

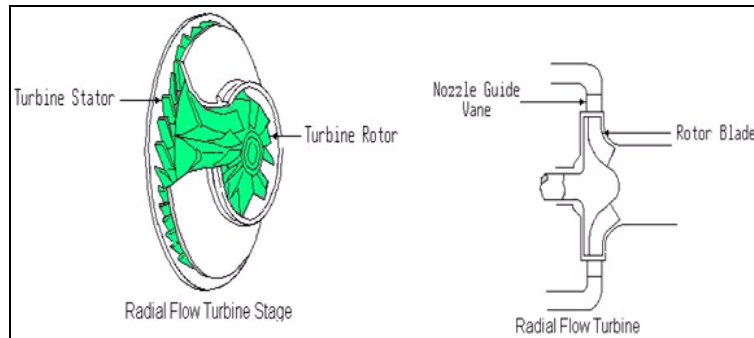
Türbin tipleri ve komponentleri ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Türbin Tipleri ve Komponentleri

Türbin, motorda kompresör ve dişli kutusunu (accessory gearbox) tahrik edecek gücü sağlar. Yanma odasından gelen sıcak gazların enerjisinin çıktığı bölgedir. Türbinlerin radyal akışlı ve aksiyal akışlı olmak üzere iki tipi vardır.

➤ Radyal akışlı türbinler

Her iki tip türbinde ortak olan ana komponentler, stator (sabit) vane'leri ve rotor (hareketli) blade'leridir. Türbin bir veya daha fazla kademeli olabilir. Her bir kademe, stator (vane) / rotor (blade) dur.

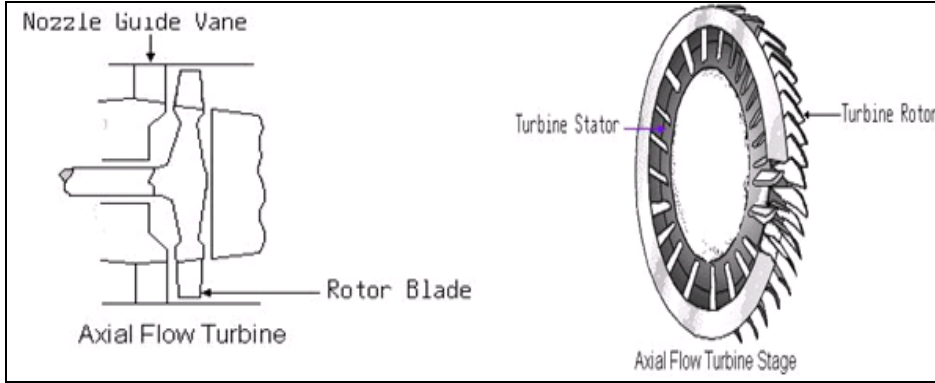


Şekil 4.1: Radyal akışlı türbin impelleri ve radyal akışlı türbin kesiti

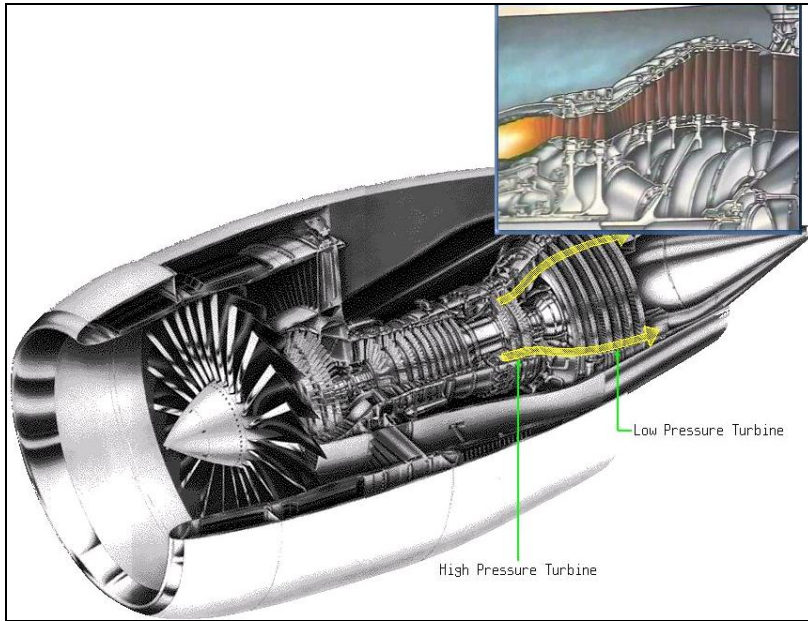
Aksiyal türbinle kıyaslandığında birçok dezavantajı ortaya çıkar. Az hava akışı sağlaması ve aerodinamik kayıplar (akışın santrifüj kayıplara uğrayarak türbinden geçmek zorunda olması) nedeniyle daha düşük verimle çalışır.

➤ **Aksiyal akışlı türbinler**

Modern gaz türbin motorlarında en çok kullanılan tiptir. Birden fazla sayıda kademeli olabilmesi, aksesuarların ve bypaslı motorlarda fanın hareketini sağlayabilmesi açısından önemlidir. Bir başka avantajı da yüksek hava akışı sağlayarak modern motorlarda yüksek thrust elde edilmesine imkân sağlamasıdır.



Şekil 4.2: Aksiyal akışlı türbin ve kesiti



Resim 4.1: Türbinde hava akışı

4.1.2. Türbinin Çalışması

Türbinin görevi kompresör ve yardımcı elemanlarını döndürmek, pervane ya da rotor için şaft gücünü sağlamaktır. Türbin bu görevi yanma sisteminden bırakılan sıcak gazlardan enerji elde ederek yapar ve bu gazları daha düşük bir basınç ve sıcaklığa genişletir. Yüksek gerilmeler bu işlemle ilgilidir ve uygun çalışma için türbin palleri saniyede 13 feet'lik hızlarda dönebilir. Türbin girişine yanma sisteminden bırakılan sürekli gaz akışı, 700 –1200 °C arasında bir giriş sıcaklığına sahiptir. Türbin kademelerinde bu gazların hızı saniyede 2000 feet'e ulaşabilir.

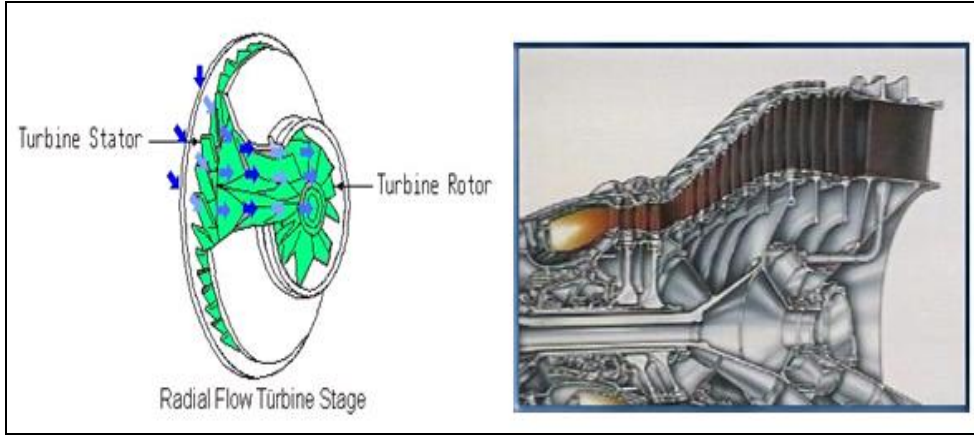
Çevirme torkunu üretmek için türbin çeşitli kademelerden oluşabilir. Kademelerin sayısı motorun bir ya da iki şaftının olup olmadığına ve türbin diametresinin izin verdiği dönme hızı ile gaz akımında ihtiyaç duyulan güç arasındaki ilişkiye bağlıdır. Bununla birlikte yüksek sıkıştırma oranının baş göstermesiyle son yıllardaki eğilim kademe sayısının yükseltilmesi yönünde olmuştur.

Şaftların sayısı motorun tipine göre değişir. Yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda genellikle yüksek basınç ve alçak basınç kompresörünü döndüren iki şaft vardır. Yüksek bypass oranlı fan motorlarında bir ara basınç sistemi mevcuttur. Diğer türbin alçak basınç ve yüksek basınç türbinleri arasına yerleştirilmiştir ve böylece üç kat makaralı bir sistem oluşmuştur. Bazı pervaneli ya da şaft güçlü motorlarda döndürme torku serbest güçlü bir türbinden elde edilir. Pervaneyi ya da dış şaftı döndüren şaft, diğer türbin ve kompresör şaftlarından bağımsız olabilir.

Bir türbinin ortalama pal hızının belli bir kademe çıkışı için maksimum verime etkisi vardır. Belli bir çıkış için gaz hızları, sapmaları ve kayıpları daha yüksek pal hızları ile azaltılır. Türbin diskindeki gerilme oransız olarak yükseltilir hatta bu gerilme belli bir kalınlık ve ağırlık haricindeki hızın karesiyle orantılı olarak artırılır. Bu nedenle en son tasarım, verimde ve ağırlıkta bir uzlaşma olmasını gerektirir.

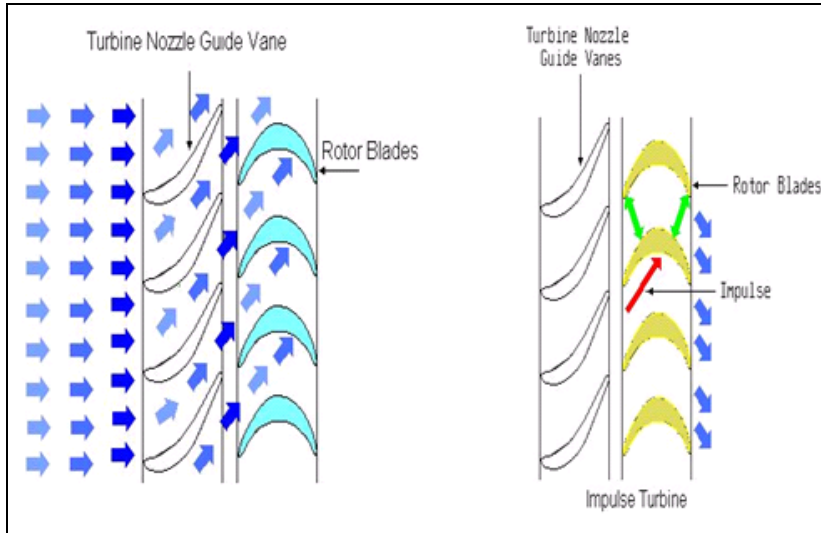
Bypass motoru daha yüksek gaz giriş sıcaklığında çalışır ve böylece geliştirilmiş ısı verim ve güç/ağırlık oranı elde edilir. Nozul guide vane ve türbin pal geçitlerinin dizaynı aerodinamik değerlerle biçimlendirilmiş ve kompresör ile yanma dizaynına uygun optimum verim elde edecek şekildedir. Bu dizaynların yan yana yerleştirilmesi ve ilişkisi, türbinin kısmen itme altında ve kısmen reaksiyon şartları altında çalışacak şekildedir.

Bu şu demektir ki türbin palleri gazların pallere ilk çarpması ile oluşan bir itme gücü ve genişlemelerinden dolayı oluşan bir reaksiyon gücüne maruz kalır. Normalde gaz türbinli motorlar, sadece itmeli ya da sadece tepkili türbin palleri kullanmaz. İtmeli türbinde her bir kademe arasındaki toplam basınç düşüşü, sabit nozul guide vane'lerde oluşur ve türbin pallerindeki etki sadece bir momentumdur. Oysa reaksiyonlu türbinlerde, toplam basınç düşüşü türbin pal kanallarında oluşur. Türbin dizaynına birleşmiş her bir prensibin oranı türbini çalıştıracak motorun tipine bağlıdır fakat genelde % 50 itme ve % 50 reaksiyondur. İtme tipli türbinlerde kartuşlu ve havalı starterler kullanılır.



Şekil 4.3: Radyal akışlı türbin ve yanma odasından türbine hava akışı

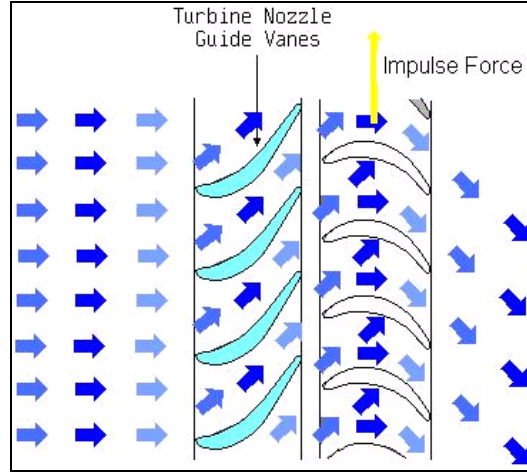
Türbin, yanma odasından gelen gaz enerjisini torka çevirir. Gaz akışı önce vane'lerden geçer. Bu sırada akış hızlanır ve statik basınç azalır. Vane'ler gazın akışını, blade'lerin dönme yönüne doğru yönlendirir. Gaz akışının blade'lere çarpması türbinin dönmesini sağlar. Sonunda türbin şaftını çevirecek tork oluşur.



Şekil 4.4: NGV'de hava akışı ve çarpma türbin

➤ **Çarpma (impulse) türbini**

Bu tip türbinde, gaz akışının blade'lere çarpmasıyla dönme hareketi oluşur. Blade'in özel şekli itibarıyla blade'ler arasında oluşan, akışın giriş alanı ve çıkış alanı aynı boyuttadır. Bu nedenle gaz akışı rotörü (blade'i) sadece iter ve terk eder. Eski tip gaz türbinlerinde kullanılır.

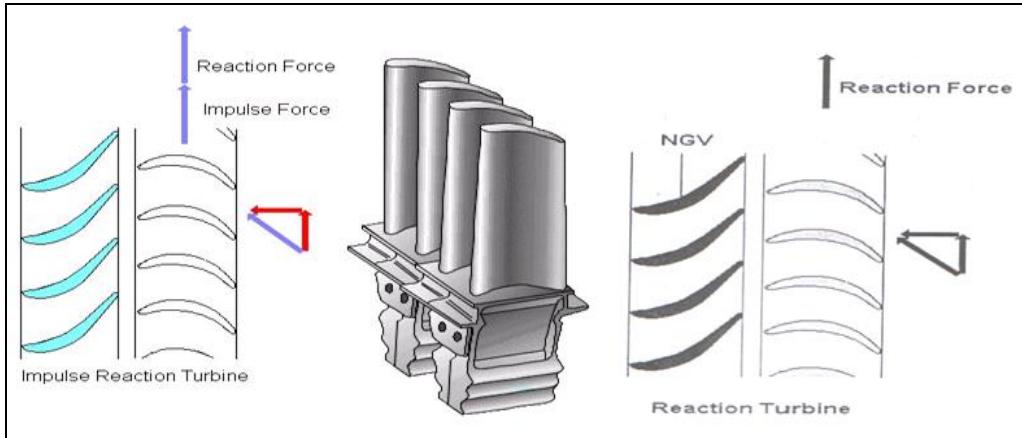


Şekil 4.5: Çarpma türbin

➤ **Çarpma ve reaksiyon türbini**

Modern gaz türbin motorlarında kullanılan türbin blade'lerinin şekli daha farklıdır. Bu farklılık sonucu, akışın giriş alanı yukarıda anlatılan impulse tipe benzemesine rağmen nozul'larınkini andıran bir çıkış alanı oluşturur.

Nozul guide vane'lerden gelen akış, blade'lere çarpar ve blade'ler arasında yukarıda anlatılan tipte oluşan kanallardan geçerken hız kazanır. Gaz akışındaki bu ivmelenme, rotor çıkışında reaksiyon kuvveti yaratır. Sonuç olarak bu tip türbinlerde türbini çeviren kuvvet, çarpmanın sebep olduğu kuvvet ile reaksiyonun sebep olduğu kuvvetin toplamıdır.



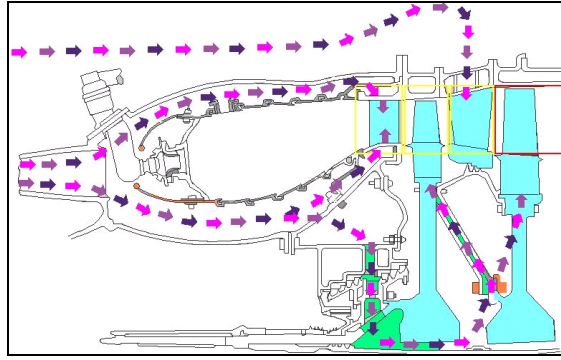
Şekil 4.6: Çarpma ve reaksiyon türbin - blade görünüşü ve reaksiyon türbin

➤ **Reaksiyon türbini**

Dönme kuvveti sadece ivmelenme ile (çarpma olmaksızın) yaratılır. Bu tip türbinde, nozul guide vane'ler gaz akışını sadece yönlendirir fakat ivmelendirmez. Verimleri azdır.

4.1.3. Türbin Soğutma Yöntemleri

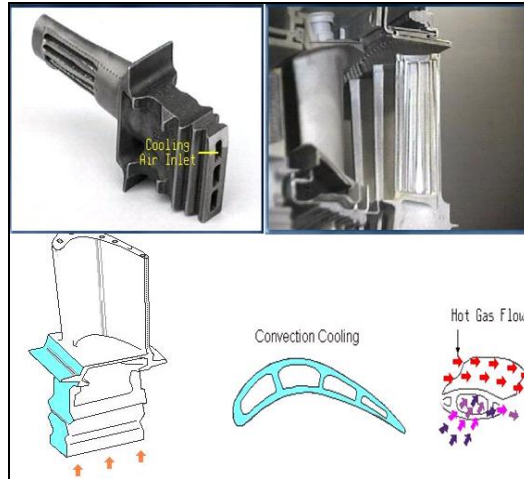
Türbini soğutmanın iki nedeni vardır. Servis ömrünü artırmak (İç türbin parçaları soğutulur.) ve vane, blade vb. türbinden daha yüksek verim almaktır (Dış türbin parçaları soğutulur.).



Şekil 4.7: Türbin soğutma

➤ Konveksiyon (ısı iletimi) soğutma

En kolay yöntemdir. Soğutma havası vane ve blade'lerden geçer. Akış, bu malzemelerin airfoil yapı iç duvarları boyunca olur ve malzeme üzerindeki ısıyı alır. Soğutma havası rotor blade'ine, blade dibindeki deliklerden girer. Mevcut iç kanallardan akar. Sonunda firar kenarını ve blade ucundan blade'i terk ederek sıcak gaz akışına karışır.

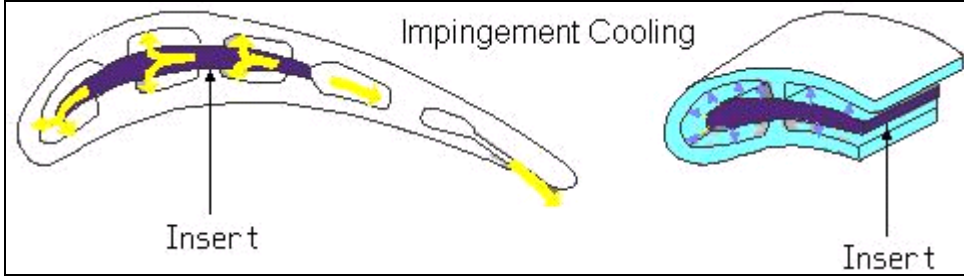


Resim 4.2: Türbin blade - soğutma delikleri ve konveksiyon soğutma

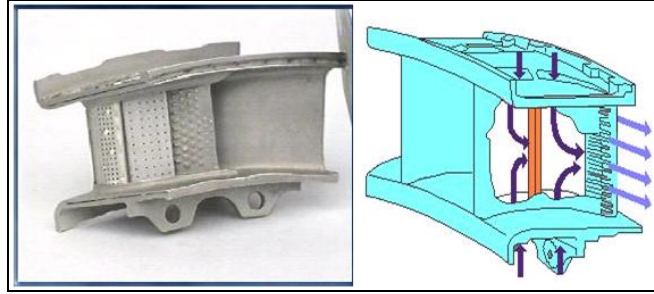
➤ Çarpma (impingement) soğutma

Vane ve blade'ler için daha iyi bir yöntemdir. Soğutma havası önce airfoil içine tespit edilmiş "insert"e girer. İnsert'ler, üzerinde jet nozul gibi çalışan çok sayıda delik bulunan parçalardır.

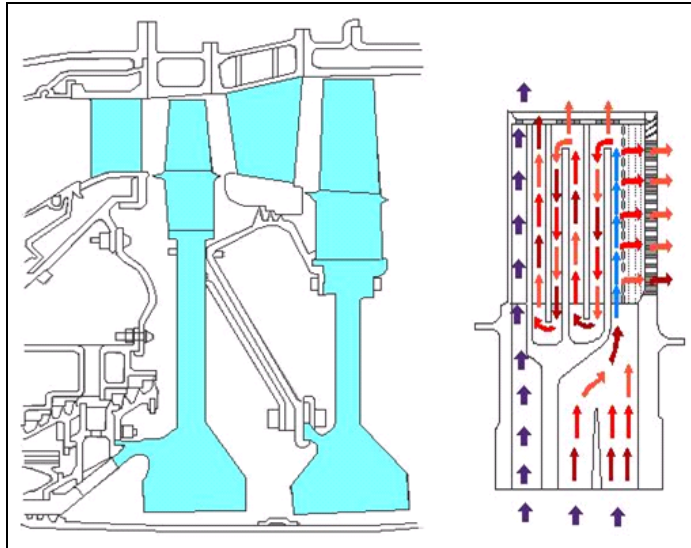
Soğutma havası bu deliklerden geçerek airfoil iç duvarlarına çarpar. Bu şekilde ısı transferi daha iyi gerçekleşir. Son olarak firar kenarından malzemeyi terk eder ve sıcak gaz akışına karışır.



Şekil 4.8: Türbin impengement soğutma



Resim 4.3: Türbin nozul gide vane ve NGV'de soğutma havasının akışı

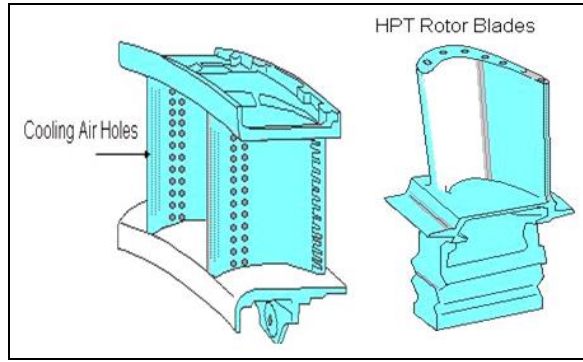


Şekil 4.9: Türbin şematik şekli ve türbin blade hava akışı

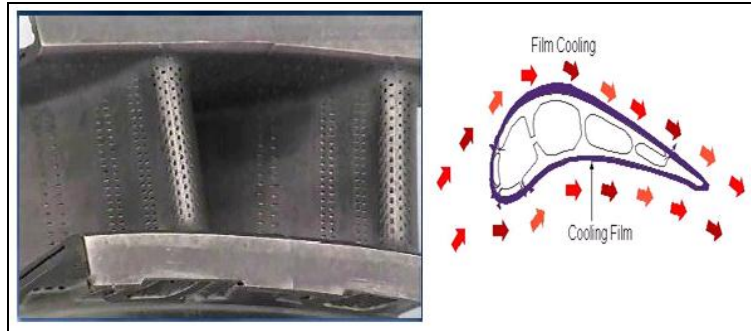
➤ **Film soğutma**

Vane ve blade'lerde kullanılır. Airfoil üzerindeki küçük deliklerden (drill hole) çıkan soğutma havası, sıcak gaz akışı içine üflenir. Blade ve vane airfoil dış duvarları üzerinde sıcak gazı perdeleyen (airfoil formunu almış), ince bir hava film tabakası oluşur. Bu şekilde, sıcak gaz akışının türbin malzemesi ile doğrudan teması önlenir.

Film soğutma, çok etkili bir yöntemdir. Minimum soğutma havası ile maksimum soğutma etkisi sağlanır. Soğutma havasının türbini tahrik için havadan çalınan hava olduğunu düşünürsek bu miktarın minimum olmasının türbin verimine büyük katkı sağladığı kolayca anlaşılır. Film soğutma yönteminin olumsuz tarafı, imalat zorluğu nedeniyle çok pahalı oluşudur.



Şekil 4.10: Vane'lerde ve blade'lerde film soğutma delikleri



Resim 4.4: NGV'de film soğutma delikleri ve film soğutma havasının parça üzerini sıvaması

Yukarıda anlatılan soğutma yöntemlerinin her üçünün de aynı anda kullanıldığı modül, modern gaz türbin motorlarında yüksek basınç türbinleridir. Genellikle yüksek basınç türbin kademelerinde aşağıdaki soğutma uygulamaları vardır.

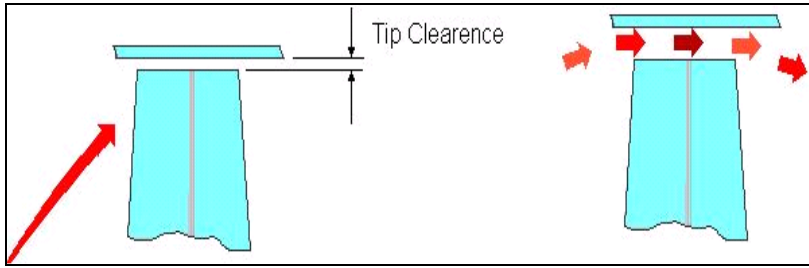
Birinci kademe stator.....	konveksiyon + impingement + film
Birinci kademe rotor.....	konveksiyon + impingement + film
İkinci kademe stator.....	konveksiyon + impingement
İkinci kademe rotor.....	konveksiyon

Soğutma yöntemlerinin kombine kullanımı imalat fiyatları, türbin verimi ve servis ömrü arasında iyi bir denge oluşturur.

4.1.4: Türbin Klerans-Boşluk (Clearance) Kontrolü

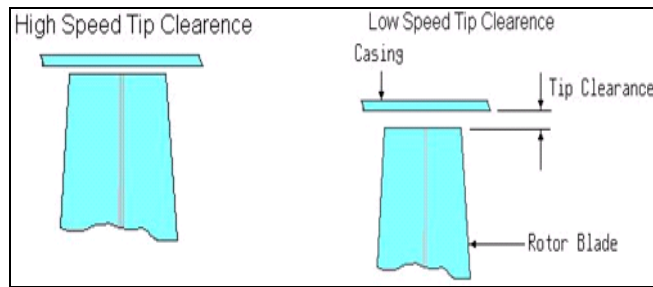
➤ Tip kleransı

Rotor blade ucu ile stator case arasındaki boşluktur. Çalışma koşullarına bağlı olarak değişen tip kleranslarının kontrol altında olması gerekir. Kleranslar çok küçük olduğunda blade'in case'e sürtmesi (teması) söz konusudur. Bu durum blade'in aşınmasına hatta tamamen hasarlanmasına neden olabilir. Kleranslar çok büyük olduğunda ise bu boşluklardan geçecek gazların iş yapmayacak olması türbin verimini düşürecektir. İstenen rotor hızlarına ulaşabilmek için ek yakıt gerekeceğinden egzoz gaz sıcaklıklarında artış olacaktır.



Şekil 4.11: Tip klerans ve tip kleransta uygun olmayan kaçak hava

Isınan cisim genişler. Benzer malzemelerde genişleme miktarı, sıcaklığa ve malzeme boyutlarına bağlıdır. Malzemenin kalınlığı ise genişleme süresini etkiler (İnce malzeme kalın malzemeden daha hızlı genişir.). Bu bilgiler ışığında türbin malzemesi üzerinde yüksek gaz sıcaklıklarının olduğu motor start'ı sırasında daha ince ve büyük çaplı oluşu nedeniyle türbin case'in, case rotordan daha hızlı genişlediği sonucu çıkarılır.



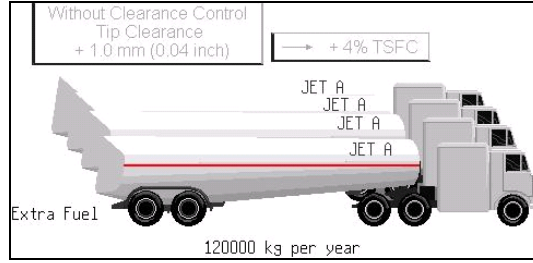
Şekil 4.12: Yüksek hızlarda tip klerans azalması ve düşük hızlarda tip klerans artması

Motor, düşük hızdan yüksek hıza geçişindeki ivmelenme sırasında da aynı genişleme karakterini gösterir. Sonuç olarak türbin blade tip kleransları, motorun start ve ivmelenme periyotlarında artma eğilimi gösterir. Rotor hızları arttığında rotor üzerindeki santrifüj kuvvetler artar.



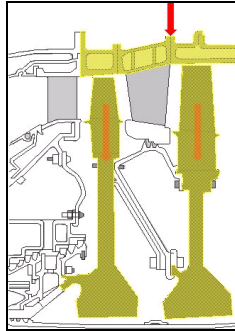
Şekil 4.13: Yanma odasından türbine sıcak hava akışı ve take off'ta maksimum tip klerans

Bu kuvvetlerin etkisiyle oluşan genişleme tip kleransını azaltır. Santrifüj kuvvetin neden olduğu rotor disk ve blade'lerindeki genişleme, ısının neden olduğu genişlemeden daha fazladır. Buradan da düşük hızlardaki tip kleranslarının yüksek hızlardaki tip kleranslarından daha büyük olacağı gerçeği ortaya çıkar.



Şekil 4.14: Uygun olmayan tip klerans

Motorda gaz kesildiğinde veya “shut down” olduğunda rotor ve case çapları azalır. Başlangıçta rotor, case'den daha hızlı büzülür (santrifüj kuvvetler azaldığı için). Daha sonra case daha hızlı büzülür (case malzemesi ince olduğu için). Modern gaz türbin motorlarında, farklı operasyon koşullarında, tip kleranslarının yukarıda açıklanan oluşumlarını kontrol altında tutabilmek için (mümkün olduğunca küçük kalmasını sağlamak) “aktif klerans kontrol sistemi” vardır.

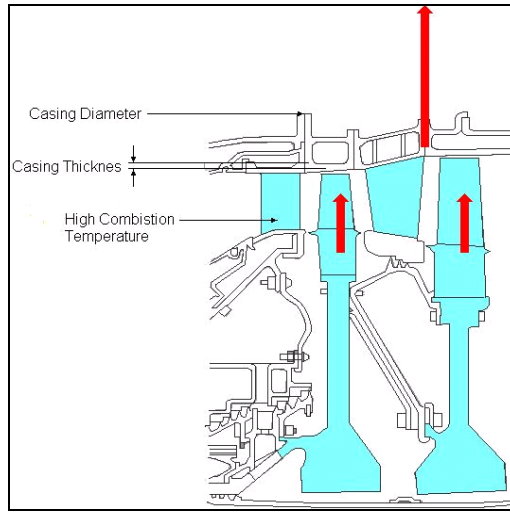


Şekil 4.15: Blade boyunun uzaması

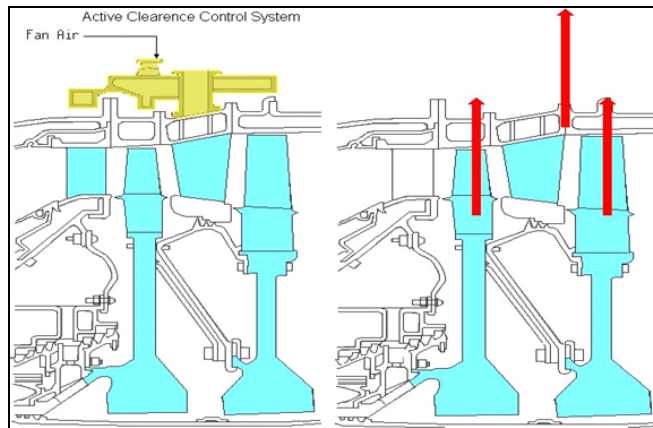
Case'i soğutmak için genellikle fan havası, bazen de kompresör havası kullanılır. Bazı gaz türbinli motorların kompresörlerinde de kontrol sistemi kullanılır (Örnek: CFM56-5A).



Şekil 4.16: Engine master switch pozisyonu



Şekil 4.17: Case'in soğutulması



Şekil 4.18: Aktif klerans control sistemi ve santrifüj kuvvetlerin bladelere etkisi

4.2. Türbin Blade'lerinin Diske Bağlanması

Türbin diski ve blade'leri ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Türbin Diski

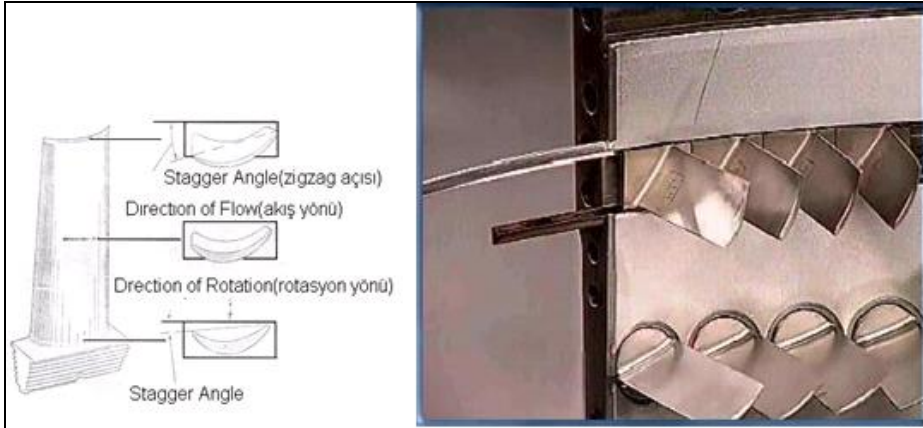
Türbin diski bir shaft ya da shafta bağlanmış bir flanşla birlikte dövme malzemeden imal edilir. Disk çevresinde türbin pallerinin bağlanması için yuvalar vardır.

4.2.2. Türbin Blade'leri

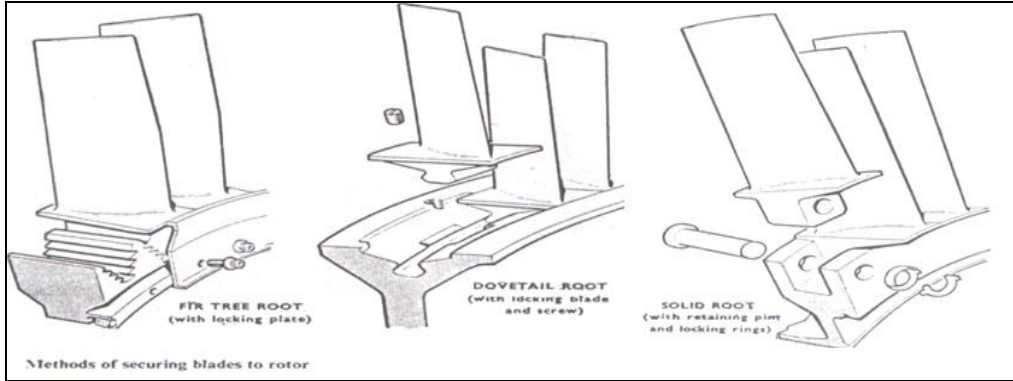
Türbin palleri kanat şeklinde bir yapıya sahiptir. Bunun amacı da hızın istenen reaksiyon derecesine ulaştığı bölge olan boğaza doğru giden akıma sabit bir ivme kazandıran komşu paller arasındaki geçişi sağlamaktır.

Her bir palin esas yeri, izin verilen gerilme ve soğutma amacı ile kullanılacak deliklerin ölçülerine bağlı olarak sabittir. Yüksek verim ince firar kenarlarının bölümlere gelmesini gerektirir. Fakat motorun çalışması ve durması sırasındaki sıcaklık değişmesine bağlı olan pal kırılmalarını önlemek için tedbir alınmalıdır. Pallerin diske bağlanma metodu, disk bağlantı çevresindeki gerilmenin ya da pal diplerinin kenar hızını sınırlamak için önemli bir yatağa sahip olduğundan önem taşır. Whittle motorun ilk tiplerinde paller “de laval bulb fixing” yöntemi ile diske bağlanıyordu. Bu dizayn, çok kısa zaman sonunda gaz türbin motorlarının çoğunda kullanılan “tır-tree” metodu ile yer değiştirdi.

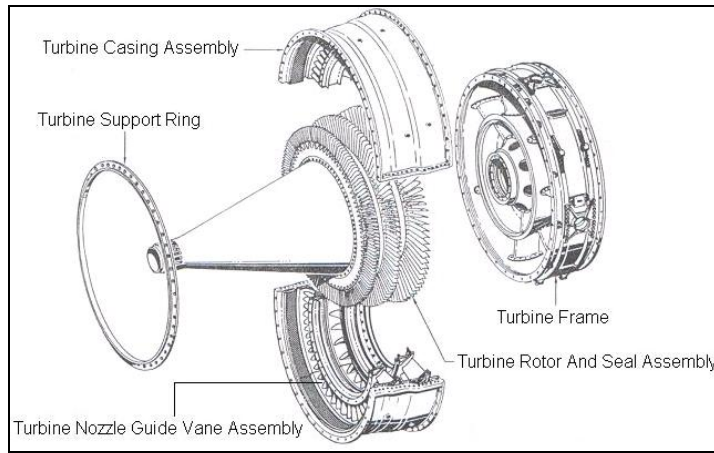
Türbin sabit iken paller yuvasında serbesttir ve türbin döndüğünde merkezkaç yük tarafından dipile sertleştirilir. Pal başları arasında gaz kaçağı nedeniyle ortaya çıkan verim kaybını azaltmak için bir shroud (bağlayıcı) kullanılır. Fanı arkaya monte edilmiş bir turbofan motorunda paller ilave bir ısı problemi oluşturur. Bunun nedeni ise her bir palin iç bölümü normal gaz akımında çalışırken dış bölümünün serin bir hava akımını geçiren bir tüp içinde çalışmasıdır.



Resim 4.5: Vane açıları ve vane'lerin statora takılması



Şekil 4.19: Üç rot geçmeli - kırlangıçkuyruğu geçmeli ve tek rot geçmeli blade



Şekil 4.20: F4, J-79 türbine section

4.3. Türbin Nozul Vane'leri (Türbin Nozul Guide Vane)

Nozul guide vane kanat şeklinde bir yapıya sahiptir. Birleşik vane'ler arasındaki boşluk kapanan delik şeklindedir. Vane'ler türbin muhafazasına genişlemeye izin verecek şekilde yerleştirilmiştir. Nozul guide vane'ler genellikle içi boş şekilde yapılır ve yüksek ısı gerilmeleri ile gaz yüklerini azaltmak amacı ile içlerinden geçen HP kompresör havası ile soğutulabilir.

4.4. Türbin Blade'lerinin Gerilmeye Sebep Olan Etkileri

Türbinin çalışma ortamı çok farklıdır. Türbin elemanlarının maruz kaldığı yükler, o türbinin ne kadar süre serviste kalacağını belirler. Söz konusu yükler, yüksek sıcaklıklar ve yüksek santrifüj kuvvetleridir. Türbinin çalışması yanma gazları ile türbin arasındaki enerji transferine bağlıdır. Bu transfer termodinamik ve aerodinamik kayıplar nedeniyle asla % 100 değildir fakat başarılı yüksek türbin değeri yaklaşık % 90 değerindedir.

Yanma işlemiyle gaz genişletildiğinde saniyede yaklaşık 2000 feet hıza ulaşan gazlar, türbinin boşaltma nozullarına yöneltilir. Aynı zamanda gaz akışına türbin pallerinin dönüş yönünde bir girdap ya da dönme verilir. Gazların pallere çarpması ve bunun sonucu pallerde oluşan reaksiyon süresince enerji emilerek türbin yüksek hızda dönmeye zorlanır ve türbin, shaftı ve kompresörü döndürmek için güç elde eder. Türbine uygulanan döndürme gücü ya da torku gaz akış oranı ve türbin pallerinin giriş ile çıkış arasındaki gaz enerji değişimi tarafından yönetilir. Enerji verimli olarak emilirse girdap gaz akışından uzaklaştırılacaktır. Aşırı girdap egzoz sisteminin verimini düşürür ve egzoz desteklerinde ve strut'larında zararlı etkiye sahip titreşimler üretmeye yönelir.

Görülebileceği üzere türbin nozulları ve palleri bükümlüdür, pallerin baş tarafı uç tarafından daha büyük zikzaklı bir açıya sahiptir. Bu eğimin amacı, yanma sisteminden çıkan gaz akışına, pal uzunluğu boyunca bütün pozisyonlarda eşit iş yaptırmak ve gaz akışının egzoz sistemine düzgün aksiyal bir hızla girmesini sağlamaktır. Bu akış türbin boyunca oluşan sıcaklık, basınç ve hızdaki keskin değişimlerle sonuçlanır. Reaksiyon derecesi uçta en az, başta en çok % 50 değerinde olacak şekilde değişir.

Türbinin % 100 verimli oluşunu etkileyen kayıpların bir dizi sebepleri vardır. Tipik bir üç kademeli türbinde % 3,5'lük bir kayıp türbin pallerindeki aerodinamik kayıplardan, % 4,5'un üzerinde bir kayıp nozul guide vane'lerdeki aerodinamik kayıplardan, rotor palleri (blade) üzerindeki gaz kaçaklarından ve egzoz sistemindeki kayıplardan dolayı oluşabilir. Bu kayıplar ortalama olarak aynı orandadır.

4.4.1. Türbin Servis Ömrünü Azaltan İki Önemli Faktör

Malzeme yorgunluğu, çok sayıda yüksek takat periyotlarında çalışma sonucu oluşur. Motorun gerekli ve yerinde takatlerde çalıştırılmasıyla azaltılabilir. Malzemede korozyona, yakıttaki sülfür ve yüksek sıcaklıkların oluşturduğu sülfirik asit neden olur. Tavsiye edilen tipte jet yakıtı kullanılması korozyonu azaltır.

Türbin elemanları, yüksek santrifüj kuvvetlerine "take off" koşullarında maruz kalır. Bu sırada blade'ler uzar. Bu tür deformasyon ısı ile de artış gösterir. Ancak normal operasyonlarda elastik bir deformasyon söz konusudur (Yükler ortadan kalktığında blade'ler orijinal şekline döner.).

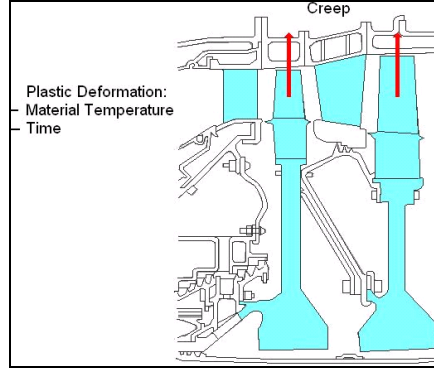
4.4.2. Plastik Deformasyon (Creep)

Bu tür malzeme deformasyonu santrifüj kuvvetlerin oluşturduğu yükler, yüksek malzeme sıcaklıkları ile birlikte belli bir periyodun üzerinde uygulandığında oluşur. Plastik deformasyon söz konusudur. Yükler kalksa bile blade orijinal şekline dönmez.

Normal operasyonlarda (düz uçuş gibi) "creep" çok az oluşur veya hiç oluşmaz. Motorun maksimum takate ulaştığı operasyonlarda (take off gibi) "creep" başlar. Bu nedenle bu tür yüksek takat rejimlerinin süreleri olabildiğince kısa tutulmalıdır. Sonuç olarak "creep" in santrifüj kuvvet, malzeme sıcaklığı ve zamanın bir fonksiyonu olduğu söylenebilir.

Uygulamada, malzeme deformasyonunu önlemeyi güçleştiren iki ters faktör karşımıza çıkar. Optimum (en uygun) verim için türbin giriş sıcaklığının yüksek olması gerekir. Bu

durum, iç verimi artırır. Plastik deformasyonu önlemek için türbin sıcaklığının düşük olması gereklidir ancak bu durum iç verimi düşürür. Birbirine zıt bu iki talep nedeniyle plastik deformasyonunu ancak türbin malzemesini soğutarak sağlayabiliriz.



Şekil 4.21: Plastik defermasyonla kalıcı şekil bozukluğuna uğramış türbin

4.4.3. Kompresör ve Türbinin Karşılaştırılması

Motorun maksimum verim ve performansının sağlanması için türbin ile kompresörün akış özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekir. Örneğin, nozul guide vane'ler çok düşük bir akışa izin verirse o zaman kompresörde bir dalgalanmaya neden olan arka basınç oluşabilir. Her koşulda bir verim kaybı çok hızlı bir şekilde ortaya çıkacaktır. Daha yüksek türbin giriş sıcaklığı kullanma yolundaki engeller, her zaman nozul guide vane'ler ve türbin pallerindeki bu sıcaklıklar ve türbin diski ile palleri çekme gerilimini veren yüksek sıcaklıklarının etkileridir.

Türbin pallerindeki yüksek gerilme, pallerin ve nozul guide vane'lerin zor işlerini doyurucu bir çalışma hayatı boyunca yapmaları açısından türbin giriş sıcaklığını sınırlamayı gerekli kılar. Türbin disklerinde, türbin palleri gibi çalışma ömrü boyunca malzeme çalışma süresinin sonuna ulaşmadan çalışmalıdır. Türbin giriş sıcaklığındaki herhangi bir yükselme, madde kalınlığındaki yükselmeler ve soğutma havasının yükselişi aynı anda gerçekleşmelidir.

Paller yüksek hızlardaki dönmeden dolayı ortaya çıkan merkezkaç kuvvetini taşıyacak yeterli güçte olmalıdır. İki onsluk (28,35 g) bir pal, yüksek hızda iki tonun üzerinde bir yük kullanabilir. Bu nedenle kompresörü çevirmek için gereken binlerce türbin gücünü üreten gazlar tarafından uygulanan yüksek eğilme yüklerine dayanmalıdır. Paller ayrıca yüksek frekanstaki dalgalanmalar altında yorulmaya ve termal şoklara karşı dayanıklı olmalı ve korozyona karşı dayanım göstermelidir.

Bütün bu istekler karşısında paller modern imalat metotları ile biçimlendirilen ve üretilen maddelerden imal edilir. Yukarıdaki açıklamalardan şunlar anlaşılıyor ki özel bir pal maddesi ve kabul edilir bir emniyet hayatı için mücade edilen bir maksimum türbin giriş sıcaklığı ve uygun maksimum bir motor gücüne ihtiyaç vardır. Bunun için motoru dizayn edenler, sürekli daha iyi türbin pal maddeleri ve gelişmiş pal soğutma metotları üzerinde araştırma yapmaktadır.

Geçmişte türbin diskleri, bazen demir materyallerden ve bazen de demir alaşımlardan imal ediliyordu. Demir materyaller daha ucuz ve bazen belli şartlardaki mallarda daha hoşnutluk vericiydi fakat türbin sıcaklığı yükselmeye devam ederken nikel alaşımlar gelecekteki türbin diskleri için gerekli olmuştur.

4.4.4. Balans

Türbinin balansı imalatında önemli bir çalışmadır. Yüksek dönüş hızları ve maddenin yoğunluğu göz önüne alınırsa herhangi bir balanssızlık durumu, dönen yatakların montajını ve motorun çalışmasını ciddi bir şekilde etkileyebilir. Balans işlemi, özel balans tezgâhlarında yapılır.

UYGULAMA FAALİYETİ

Motorun türbin kısmının bakımını yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Uygulama yapacağınız uçağın AMM dosyasından türbin kısmı ile ilgili sayfaları bulunuz.➤ İlgili uçağın AMM sayfalarına göre türbin kısmı parçalarının sökümünü gerekli ekipmanlar yardımıyla yapınız.➤ İlgili uçağın AMM sayfalarına göre türbin kısmı bakımını gerekli ekipmanlar yardımıyla yapınız.➤ İlgili uçağın AMM sayfalarına göre türbin parçalarının takılma işlemlerini gerekli ekipmanlar yardımıyla yapınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Çalışma bölgenizde gerekli güvenlik tedbirlerini alınız. Yangın tüpünü hazır bulundurunuz.➤ Çalışma alanının temiz ve düzenli olmasına dikkat ediniz.➤ Öncelikle çalışma bölgenizden kullanmayacağınız teçhizat ve ekipmanları kaldırınız.➤ İşleme başlamadan yüzey üzerini koruyucu örtü ile kapatınız. Böylece yüzeye zarar vermezsiniz.➤ Uçak bakım dokümanlarındaki (AMM) prosedürleri uygulayınız.➤ Gerekli bakım ve avadanlıkları hazırlayınız.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1.	Uygulama yapacağınız ilgili uçağın AMM dosyasından türbin kısmı ile ilgili sayfaları buldunuz mu?		
2.	İlgili uçağın AMM sayfalarına göre türbin kısmı parçalarının sökümünü gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		
3.	İlgili uçağın AMM sayfalarına göre türbin kısmı bakımını gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		
4.	İlgili uçağın AMM sayfalarına göre türbin parçalarının takılma işlemlerini gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Türbinin görevi aşağıdaki işlemlerden hangisi değildir?
A) Yanma odasından çıkan gazların enerjisini mekanik enerjiye çevirmek
B) Kompresörü çevirmek
C) Gearbox ve üzerindeki aksesuar sürücülerini çevirmek
D) Yanma odasına hava temin etmek
2. Yanma odasından çıkan gazları mekanik enerjiye çevirme şekline göre türbinler aşağıdakilerden hangisidir?
A) Aksiyal ve radyal akışlı türbinler
B) Reaksiyon çarpma türbinler
C) Reaksiyon tip türbinler
D) Çarpma tip türbinler
3. Tip klerans'ın tanımı aşağıdakilerden hangisidir?
A) Rotor blade ucu ile stator case arasındaki boşluktur.
B) Stator vane ucu ile disk arasındaki boşluktur.
C) Rotor blade ile stator case arasındaki boşluktur.
D) NGV ile yanma odası arasındaki boşluktur.
4. Aşağıdakilerden hangisi türbin blade'lerini takma yöntemi değildir?
A) Tek rot geçmeli
B) Üç rot geçmeli
C) İki rot geçmeli
D) Kırılmaçkuyruğu geçmeli
5. Türbin parçalarının üzerindeki yükler ve sıcaklık ortadan kalktıktan sonra özellikle blade'lerin eski hâline gelmemesi ve kalıcı şekil bozukluğunun oluşmasına ne denir?
A) Plastik deformasyon
B) Elastik deformasyon
C) Korozyon
D) Paslanma
6. Türbin 1. kademe stator ve vane'leri hangi soğutma şekliyle soğutulur?
A) Konveksiyon + impingement + film
B) Konveksiyon
C) İmpingement
D) Film

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-5

AMAÇ

Bakım dokümanlarında (AMM) belirtildiği şekilde egzoz kısmının bakımını yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Motor egzoz kısmının bakım yöntemlerini araştırınız.
- Araştırma konusunda sanal ortamda ve ilgili sektörde kaynak taraması yapınız.
- Yaptığınız araştırmayı rapor hâline getiriniz.
- Hazırladığınız raporu sınıftaki arkadaşlarınıza sununuz.

5. EGZOZ KISMI

5.1. Egzoz Kısmı Yapısal Özellikler

Uçak motorlarının egzoz sistemleri ile ilgili genel bilgiler aşağıda anlatılmıştır.

5.1.1. Egzoz Kısmı Malzemeleri

Gaz türbinli motorlarda egzoz kısmı paslanmaz. Bunlar çelik ve titanyum alaşımlarından yapılmıştır. Uçak motorlarında kullanılan egzoz sisteminin ana görevleri motor tipine bağlı olarak değişiklik gösterir.

5.1.2. Gaz Türbinli Motorda Egzoz Sistemi

Türbin çıkışındaki egzoz gazlarını dışarı atar. Ana işlevi motor tipine bağlıdır. Aerodinamik yapıyı tamamlar.

5.1.3. Jet Motoru Egzoz Sistemi

Türbinden gelen hava akışını hızlandırarak thrust'ı artırır. Egzoz gazlarının atmosfere atılmasını sağlar. After burner'a (art yanma) imkân sağlayarak uçağın hızını yaklaşık %50 artırır. Hareketli egzoz nozulu (C&D, convergent-divergent) sayesinde uçağın ses hızının üzerinde uçmasını sağlar. Aerodinamik yapıyı tamamlar.

5.1.4. Turboprop Motor Egzoz Sistemi

Egzoz gazlarını atmosfere atar. Thrust oluşturmaz. Gaz enerjisinin büyük bir kısmı propelleri (büyük pervaneleri) çevirmekte kullanılır. Aerodinamik yapıyı tamamlar.



Resim 5.1: Turboprop motorlu uçak

5.1.5. APU Egzoz Sistemi

Egzoz gazlarını atmosfere atar. Gaz enerjisinin tümünü türbin absorbe eder. Gürültüyü azaltmak için gaz susturucusu kullanılır.



Resim 5.2: APU egzoz sistemi

5.1.6. Turbofan Motorların Egzoz Sistemi

Egzoz gazlarını dışarı atar. Aerodinamik yapıyı tamamlar. Soğuk ve sıcak gazların mikser veya ortak egzoz nozul kullanılarak karıştırılması ile egzoz gazlarının hızı düşürülür, thrust verimi artırılır. Bu sayede daha az egzoz gürültüsü oluşur. Thrust reverser kullanılarak egzoz gazlarının yönünün 180° sapması sağlanarak ek bir frenleme gücünün oluşmasına imkân verilir. Genel olarak egzoz nozullar, yanmış gazların düzgün ve belirli debide ivmelendirilerek dışarı atılması ile jet tepkisi oluşturur ve motorun aerodinamik yapısını tamamlar. Bazı uçak motorlarında JT8D-15 ve JT8D-9 motorlarında olduğu gibi egzoz gazının oluşturduğu jet tepkisi, thrust reverser sistemiyle ters yöne döndürülerek ters yönde frenleme kuvveti elde edilir. Bu ters yöndeki itiş gücü sayesinde bir çeşit motor freni yaptırılmış olur. Egzoz gazlarının akış yönü yani jet tepkisinin ters yöne döndürülmesi,

egzoz konisinin sonuna yerleştirilen kepçelerin hareketiyle veya fan duct'a yerleştirilen kepçelerin hareketiyle sağlanır.

Thrust reverser sistemi kokpitten kumanda edilmek suretiyle ve özel şartları sağlanınca çalıştırılabilir. Türbini terk eden egzoz gazlarının ve yanmaya karışmayan soğutma havasının birleşerek art yanmanın (after burner) yapıldığı yer de burasıdır. Nozul egzoz bölümünün en ucunda bulunur, egzozda dönen parça bulunmaz. Nozullar sabit veya hareketli olabilir. Ses hızından hızlı uçan uçaklarda hareketli (convergent-divergent) nozul kullanılır. Ses hızı çevre sıcaklığına göre belirlenir. Ses hızına göre uçan cisimlerin sahip olduğu hızlar ses altı, ses veya ses üstüdür. Ses hızı yaklaşık 340 m/sn.dir.

➤ **Sabit nozul**

Orifice (dar kesit, akış kısıtlayıcı) olarak davranır ve convergent geometriye sahiptir. Motorun tasarımında uygun ölçüde sabitlenir ve bu alan optimum (en yüksek) performans verecek EGT'ye göre belirlenir.

➤ **Değişken nozul**

Convergent-devergent (C&D) geometride yapılı ve parmak tip (finger tip) olarak da adlandırılır. Bu nozul tipinde convergent sahada gazlar ses altı, boğazda ses, boğazın sonunda ses üstü hıza erişir. Uçuş boyunca optimum motor performansını sağlayacak nozul geometrisi T5 kontrol sistemi tarafından belirlenir.

5.2. Hareketli Egzoz Nozul Sahaları

Uçak motorlarında kullanılan egzoz nozul çeşitleri, yapıları ve çalışması hakkında genel bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

5.2.1. Egzoz Nozulda Hava Akışı

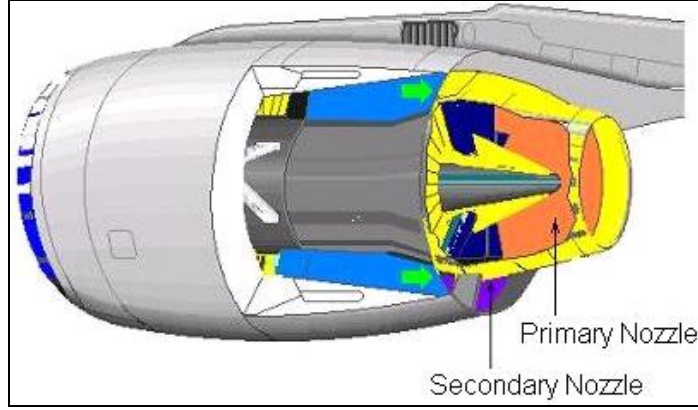
Bir gaz kütesinden en yüksek verim elde edebilmek için egzoz nozul içinde gazlar tamamen genleşmelidir. Bu durum, vortex (anafor) oluşturmayan laminer ve eksenel olarak yönlendirilmiş çıkışa doğru gaz akışı sağlar.

5.2.2. Egzoz Nozul Çeşitleri

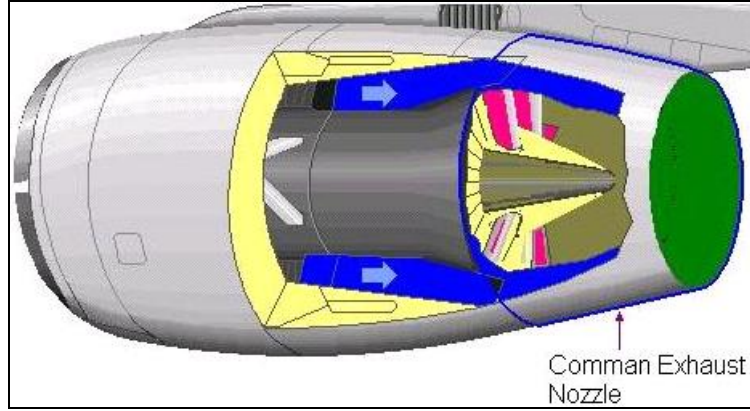
Hava akış düzenine göre egzoz nozulları ve common (ortak) sıcak-soğuk hava akışlı egzoz nozul sistemi bulunur. Modern uzun mesafelerde uçan uçaklarda bazen common (ortak) egzoz nozullar kullanılır. Amacı soğuk ve sıcak gaz akışını birbirine karıştırarak egzozda akan gazların hızını yavaşlatmaktır. Avantajları; sıcak egzoz gazlarının hızını düşürmesi, yüksek thrust verimi elde etmesi ve egzoz gürültüsünü azaltmasıdır.

Ayrı sıcak-soğuk hava akışlı egzoz nozul sistemi, sıcak gaz akışı primary nozuldandır. Soğuk egzoz fan akışı secondary nozuldandır.

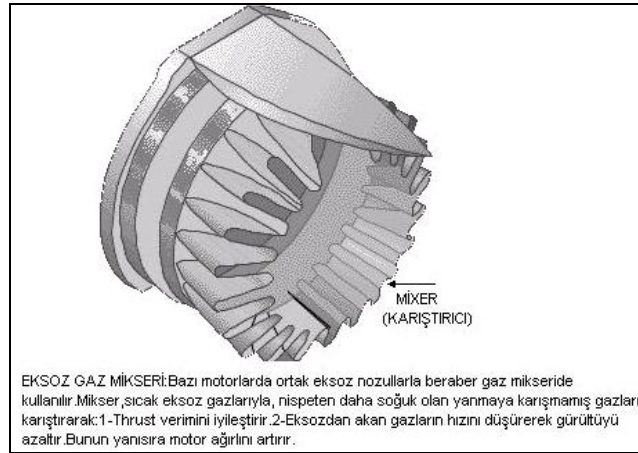
Not: Fan havası egzoz olarak da nitelendirilir.



Şekil 5.1: Ayrı sıcak-soğuk hava akışlı egzoz nozul



Şekil 5.2: Ortak sıcak-soğuk hava akışlı egzoz nozul

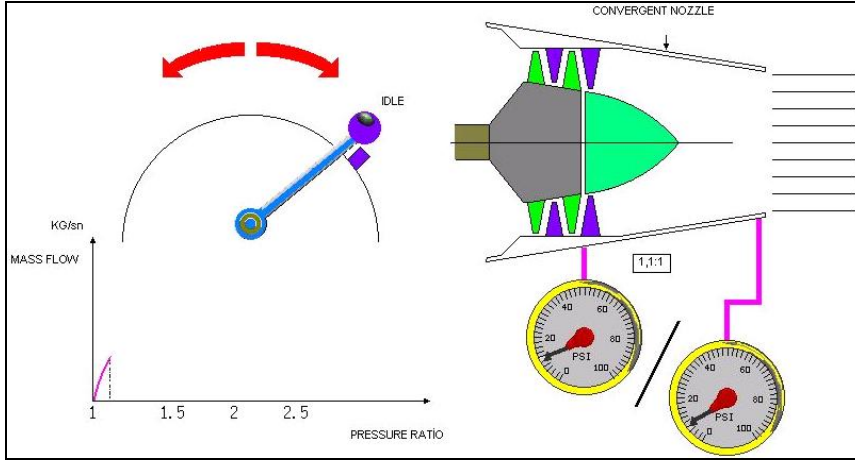


Şekil 5.3: Mikser (karıştırıcı)

5.2.3. Egzoz Gazlarını Yönlendirme Düzenine Göre Egzoz Nozullar

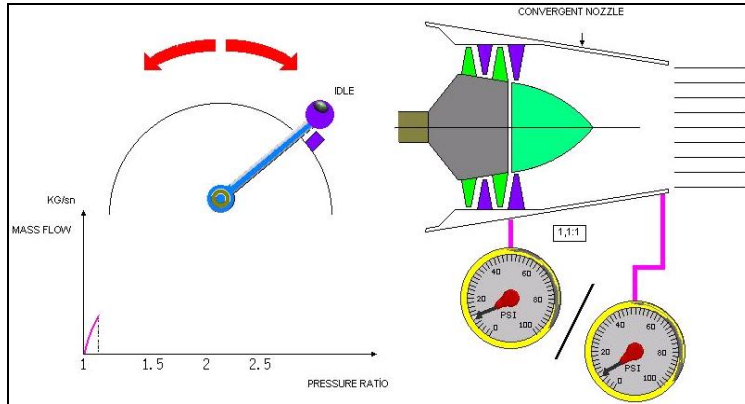
Bunlar; yakınsak, (C- convergent) bir noktada toplayan egzoz nozulları ve ıraksak, (D- divergent) dağıtan, uzaklaştıran egzoz nozullarıdır.

Egzozda gaz akışının nedeni, egzoz gazlarıyla dış ortam basıncı arasındaki farktır. Gaz akışı her zaman çok basınçlı ortamdaki az basınçlı ortama doğru olur. Egzoz gazlarıyla dış ortam basıncı arasındaki oran motor devrine bağlı olarak değişir.



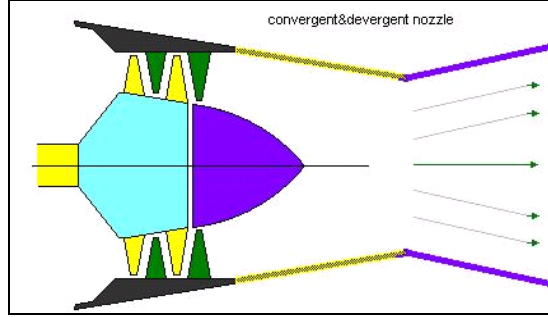
Şekil 5.4: Divergent (D) ıraksak uzaklaştıran egzoz nozul

Idle (rölanti) devrinde oran = 1,1:1'dir. Motor devri arttıkça basınç oranı ve egzozdan geçen gazların hızları artar. Ancak gaz akışının bu davranışı $\cong 2:1$ oranına kadar aynıdır. Bu orandan sonra basınç oranı artsa bile nozulun en dar kesitinden daha fazla gaz geçişi olmaz. Daha fazla akış olmayışının sebebi nozulda tıkanma meydana gelmesidir. Bunun sebebi nozulun en dar kesitinde gaz hızının ses hızına eşit hâle gelmesidir. Basınç oranı artmaya devam ederse bu kez egzoz nozul çıkışındaki gazın statik basıncı, ambient pressure (ortam basıncının) üzerine çıkacaktır. Hareketli egzoz nozul kullanılmazsa gaz akışı nozul çıkışında hızla patlayarak her yöne dağılan bir karakter izler.

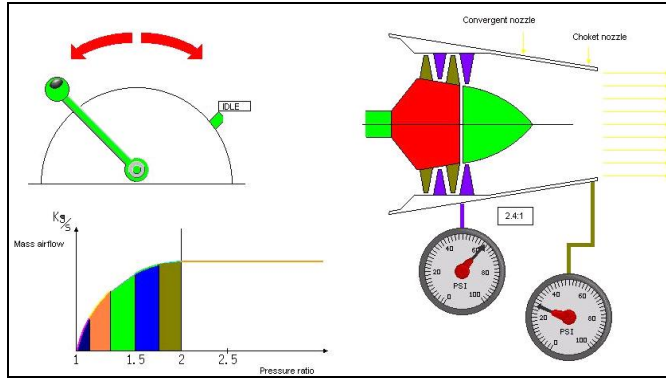


Şekil 5.5: Divergent (D) ıraksak uzaklaştıran egzoz nozul

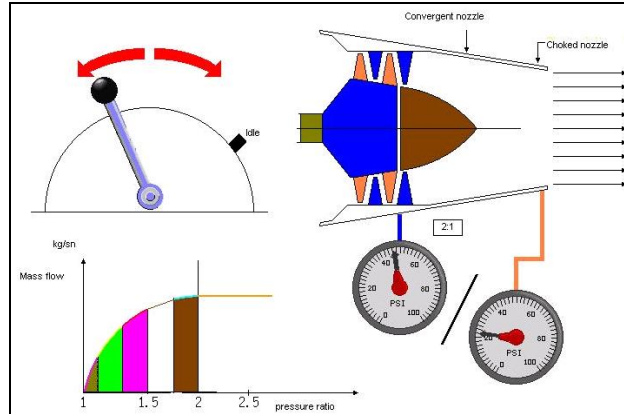
Egzoz jetinin böyle bir çalışma rejimine girmesi verimi düşürür çünkü egzoz gazlarının nozul çıkışında bir yöne doğru hareketi thrust'ı dolayısıyla da verimi artırır. $\cong 2:1$ oranından daha fazla basınç oranlarında da egzoz gazlarının hızlarının artmasına imkân verir. Böylece daha yüksek thrust elde edilir. Ses hızından daha hızlı uçan uçaklarda kullanılır. Sistem motor devir değişikliklerine (RPM) duyarlı olduğundan hareketli (variable) tip açılıp kapanan nozullar kullanılır.



Şekil 5.6: Convergent ve divergent nozul



Şekil 5.7: Convergent nozulda hava akış oranında nozulun tıkanması



Şekil 5.8: Tıkanmış convergent nozul

5.2.4. Egzoz Konisi (Exhaust Cone)

Sistemin bir parçasıdır. Çıkış havasını yönlendirir. Türbülansı ve türbin arka kademesinde oluşacak ters akışı önler. Bazı jet motor egzoz sistemleri 'egzoz duct' veya 'tail pipe' olarak da adlandırılır ve uzun bir duct'dan meydana gelir. Bu konik duct türbin egzoz case'ine bağlıdır, arka kısmındaki egzoz nozul motordan çıkan egzoz gazlarına hız kazandırır. Bu uzun tip egzoz duct'ları, eski uçaklarda kanat altına takılı motorlarda kullanılır. Egzoz sistemine giren gazların sıcaklığı, motorun tipine göre 550 °C – 850 °C arasındadır. Turboprop ve bypass motorlar en soğuk gaz akımına sahiptir. Afterburner'lı motorlarda jet borusundaki sıcaklık 1500 °C'den yüksektir. Yüksek sıcaklığın bütün etkisi hissedildiğinde şekil değişimine ya da kırılmaya dayanacak yapı özelliği taşıyan madde kullanmak gerekir.

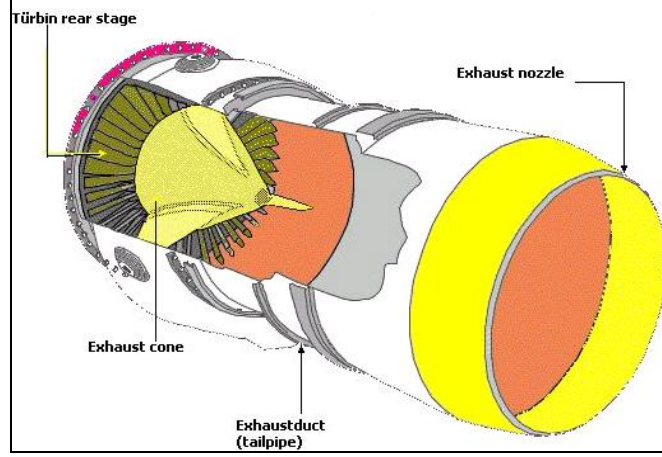
Afterburner'lı jet nozulları afterburner açılıp-kapandığında oluşacak gaz akış hacmindeki değişikliği karşılamak amacıyla iki kademeli veya değişken alanlı tepkili nozul kullanır. Motor türbininden egzoz sistemine gaz, saniyede 750-2000 feet'e kadar değişen hızlarda girer. Bu hızlar yüksek sürtünme kayıpları üretir, onun için gazların akım hızı yayılma yoluyla azaltılır. Bu işlem, egzoz konisi ile dış duvar arasındaki geçiş boşluğu yükseltılarak sağlanır yani hacim artırılarak gazların hızı yavaşlatılır. Koni ayrıca egzoz gazlarının yön değiştirerek türbin diskinin arka tarafına geçmesini önler. Egzoz ünitesi çıkışında gazların hızını $\cong 0,5 \text{ Mach} \cong 950 \text{ feet}$ civarında tutmak normaldir. İlave kayıplar türbinden çıkan gaz akışındaki fazla anaför hızından dolayı ortaya çıkar. Bu kayıpları azaltmak için egzoz ünitesindeki destek çemberleri gazlar jet borusuna girmeden önce akışı güçlendirecek şekilde yapılır.

Mach sayısı, bir cismin hızının aynı ortam ve sıcaklıkta sesin yayılma hızına oranıdır. Kalkış ve yaklaşma fazlarında olduğu gibi uçağın oldukça düşük hızlarındaki hareketlerinde knot kullanılır. Knot = 1 nautical mile = 1,151 English statute mile veya ekvatorun bir dakikalık kesitindeki çember uzunluğuna eş değerdir. 1 feet = 0,3 m egzoz gazları atmosfere tepkili nozul ile atılır. Böylece gaz hızı artırılmış olur. Turbojet motorlarda egzoz gazlarının çıkış hızı sadece düşük güç şartlarında ses hızının altındadır. Birçok çalışma koşulunda egzoz gazlarının çıkış hızı, egzoz gaz sıcaklığına bağlı olarak ses hızına ulaşır ve bu duruma nozul tıkalı denir. Sıcaklık yükselmedikçe hızda daha fazla yükselme sağlanamaz.

Akıma karşı toplam basınç tepkili nozulun tıkanmasına sebep olan değerler üzerine çıkarken çıkıştaki gazların statik basıncı atmosferik basıncın üzerine çıkar. Tepkili nozuldaki bu basınç farkı, basınç gücü denilen ve nozul çıkış alanı üzerinde etkili olan gücü verir. Kapanır tip nozulda çıkışı terk eden gazlar yeteri kadar genişlemediği için bir enerji kaybı meydana gelir. Uçağın uçuş fazına bağlı olarak bazı yüksek basınç oranlı motorlar, kaybolan enerjinin bir kısmını karşılamak amacıyla açılır-kapanır tip nozul kullanır. Bu tip nozullar gaz hızında ve güçte daha fazla bir artış için basınç enerjisini kullanır. Gaz, nozulun sabit bölümüne girdiğinde statik basınçtaki düşmeye bağlı olarak gaz hızı yükselir; gaz, boğaz ayrımını terk edip hareketli bölüme akarken çıkışa doğru hızında giderek ilerleyen bir artma olur. Momentteki bu yükselme reaksiyonu, nozul iç duvarında hareket eden basınç gücüdür.

Tepkili nozulun ölçüsü çok önemlidir ve doğru sıcaklık, basınç ve güç dengesi elde edecek şekilde imal edilmelidir. Küçük nozulda bu değerler yükselir ama motor

dalgalanması ihtimali vardır (devir azalış artışları). Geniş nozullarda sağlanan değerler daha düşüktür. Bazı motorlarda değişken alanlı tepkili nozul kullanılır. Bir flap (kepçe) kullanarak ya da alternatif olarak bir koniyi nozul açıklığından içeri-dışarı hareket ettirerek nozul alanı azaltılıp-çoğaltılabilir. Bu tip tepkili nozulda kullanıldığında nozul boyunca akım bölgesinde yükselme, türbin arka basıncında azalma olur. Böylece düşük sıcaklık ve devirde ilk harekete geçiş sağlanır. Nozul bölgesindeki değişim, düşük yakıt tüketimini de sağlar.



Şekil 5.9: Egzoz konisi

5.3. Motor Sesinin Azaltılması

Gaz türbinli motorlarda motor sesini azaltmak için egzoz nozullarında mikser kullanılmıştır. Mikser, egzozdan akan sıcak gazlarla soğuk gazları karıştırarak egzoz gazlarının akış hızını yavaşlatır ve dolayısıyla gürültüyü önler.

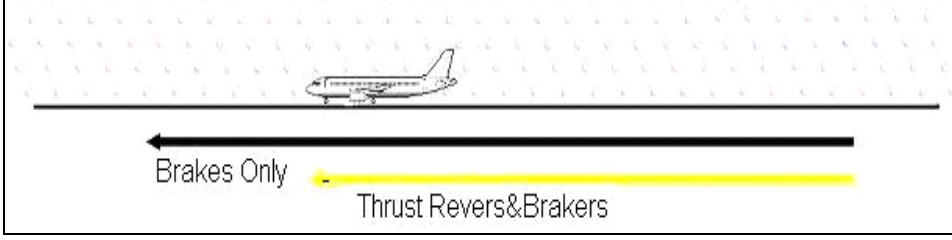
Bir başka uygulama da modern turbo fan motorlarda thrust'ı artırmak için kullanılan fan havasıdır. Değişen (1:1–1:5) bypass oranlarında fanın ürettiği havanın büyük bir bölümü fan duct'tan geçerek toplam thrust'ın önemli bir kısmını oluşturur. Fan duct'tan akan havanın hızı düşük, egzozdan akan havanın hızı yüksek olduğundan thrust'ın büyük kısmı fan duct'tan akan hava tarafından karşılanır ve gürültü azaltılmış olur. Modern gaz türbinli motorlarda egzozdan akan havanın enerjisi, türbin blade'lerini çevirdiğinden kompresör ve AGB (accessory gear box) kompanetlerinin hareketi için kullanılır.

5.4. Thrust Reverser'lar

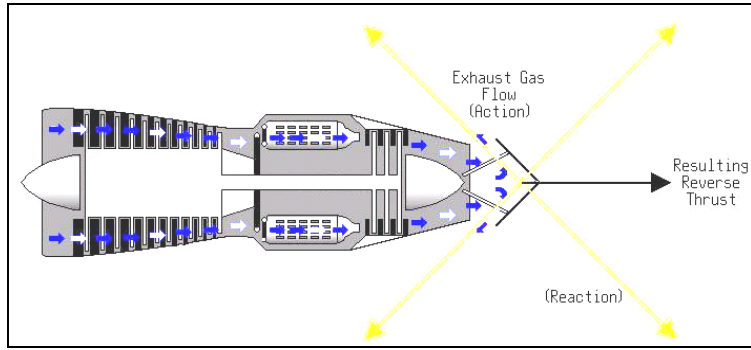
Uçağın inişte pist mesafesi içinde durmasını sağlayan tekerlek frenleridir. Ancak ıslak, buzlu ve karla kaplı pistlerde fren verimi düşer. Lastik ve pist yüzeyi arasındaki sürtünme kat sayısı azalır. Sonuç olarak uçağın durması için daha büyük bir pist mesafesine ihtiyaç duyulur.

Thrust reverser, uçakta ek frenleme kuvveti sağlar. Egzoz gazlarını ters yöne saptırır. Uçağın hareket yönünün tersine bir kuvvet oluşturur. Teorik olarak en verimli revers thrust, gaz akım yönünün 180° saptırılmasıyla oluşur ancak bu sistem pratikte motor çalışmasıyla ilgili büyük bir problem oluşturur (Sıcak egzoz gazları motora girerek kompresör stall'ına ve

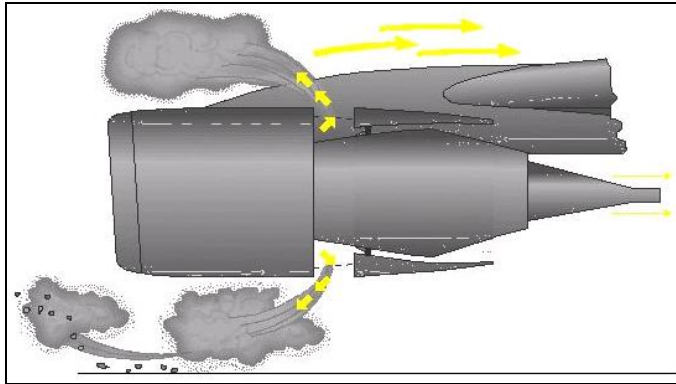
yüksek EGT yani egzoz gazı sıcaklıklarına sebep olur.). Bu nedenle gaz akışının sapma açısı 120° - 135° arasında olur. Kuvvetleri vektörel bir büyüklük olarak ele almamız gerektiğinden revers thrust kuvveti, aynı motor devrinde, fwd (forward-ileri) thrust kuvvetinden daima küçük olacaktır. Yüksek bypass oranlı modern turbo fan motorlarda thrust reverser, forward thrust'ın büyük bir kısmını sağlayan fan havasını kullanır. Çok tehlikeli aerodinamik değişimlere ve hatta uçağın düşmesine neden olacağından thrust reverser'ün belli şartlar gerçekleştirildiğinde kullanılması sağlanmıştır.



Şekil 5.10: Normal fren ve reverse'lı frenin karşılaştırılması



Şekil 5.11: Thrust reverser çalışmasında oluşan kuvvetler



Şekil 5.12: Thrust reverser'in çalışması esnasında yerde oluşan toz ve duman



Resim 5.3: Toz ve dumanın oluşumu

5.4.1. Thrust Reverser Tipleri

Motor tipine bağlı farklı modeller geliştirilmiştir. Bunlar, düşük bypass oranlı turbofan motorlardaki thrust reverser sistemi ve yüksek bypass oranlı turbofan motorlardaki thrust reverser sistemidir. Düşük bypass oranlı turbofan motorlardaki thrust reverser sisteminde soğuk ve sıcak gaz akışı için ortak egzoz nozul vardır. Bu nedenle kullanılan thrust reverser, sıcak ve soğuk gazlar birbirine karıştıktan sonra gaz akışını saptırır. İki farklı tipi vardır:

Clamshell door tip reverser (çift çeneli kapı tip): Egzoz nozulun önünde yer alır. düşük bypass oranlı eski tip jet motorlarında kullanılır. Actuator'leri genellikle pnömatik tahrikli olup HP kompresörden gelen bleed havası ile çalışır.

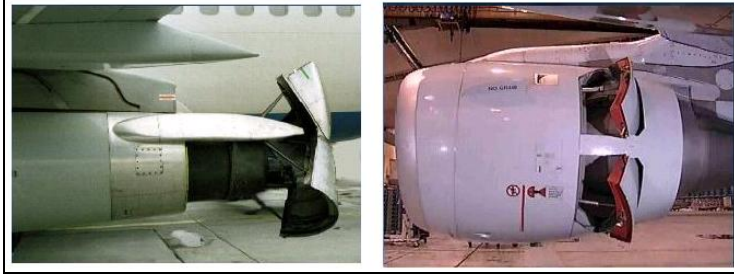
Bucket door tip reverser (kepçe tip): Egzoz nozulda yer alır. Reverser kapalı iken akışı saptırma mekanizmasına ait kapakları (door), pozisyon olarak egzoz borusu çeperleri ile aynı hizada kaldığından bu durum normal egzoz gaz akışında bir engel teşkil etmez. Düşük bypass oranlı eski tip jet motorlarında kullanılır. Genellikle actuator'leri hidrolik tahrikli olup uçak hidrolik sistemiyle çalışır.

Yüksek bypass oranlı turbofan motorlardaki thrust reverser sisteminde genellikle revers thrust için fan havası kullanılır. Fan reverser, modern motorlarda kullanılan yöntemdir. Sıcak motor gazlarının kullanıldığı tiplerde mevcuttur. Türbin reverser, bazı eski turbofan motorlarda kullanılmıştır. Verimi düşüktür. Bakım maliyeti yüksektir.

➤ Fan reverser

Yapıda çoğunlukla “translating sleeve ve cascade vane (çevirici kovan ve yönlendirici bıçaklar) kombinasyonu kullanılır. Pnömatik tahrikli “drive motor” veya hidrolik tahrikli “actuator” kullanılır. Reverser thrust lövyesi çekildiğinde translating sleeve arkaya doğru hareket eder. Cascade vane'ler açığa çıkar. Blocker door'lar fan duct içine açılarak akış yolunu keser. Fan havası cascade vane'lerden geçerek deşarj olur. Modern motorlarda kullanılan bir diğer tip “pivoting door fan reverser”dir.

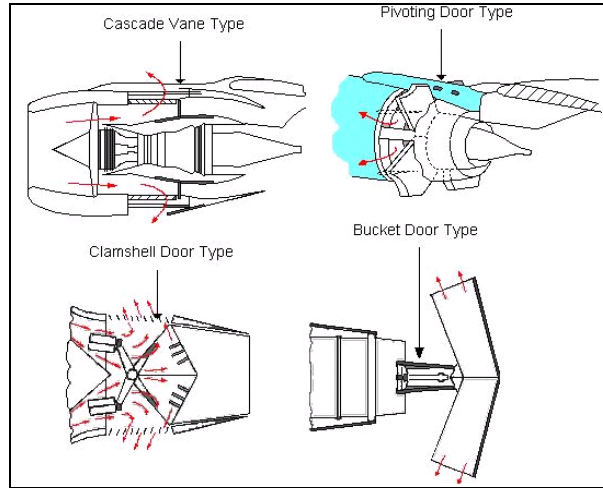
Dört adet geniş “reverser door” vardır. Hidrolik actuator’ler kullanılır. Kapalı konumda door’lar motor kaportası ile aynı hizadadır. Reverser açıldığında door’lar da fan duct içinde akış yolunu keser. Fan havası öne doğru yönlendirilir.



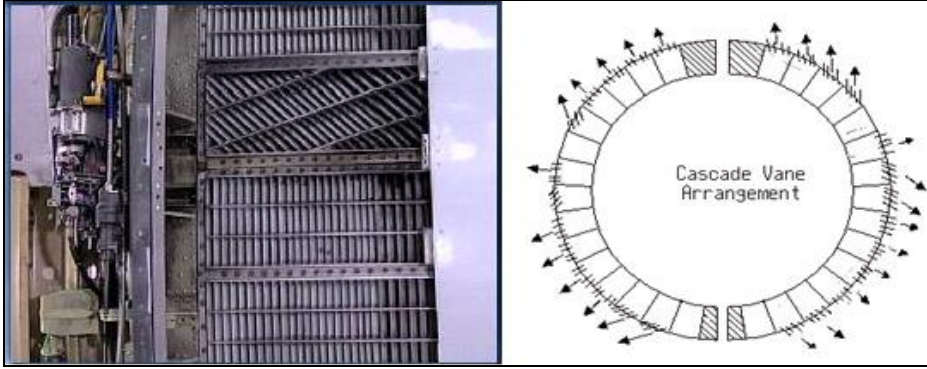
Resim 5.4: Bucket door tip reverser ve pivoting door tip thrust reverser



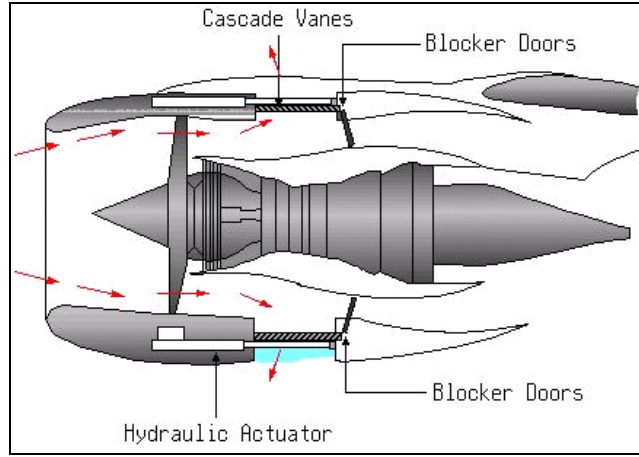
Resim 5.5: Clamshell door tip reverser ve cascade vane tip reverser



Şekil 5.13: Reverserler’in toplu görünüşü



Resim 5.6: Cascade vane'ler ve cascade vane'lerde hava dağılımı



Şekil 5.14: Cascade vane tip reverserda hava akışı

5.4.2. Thrust Reverser Sisteminin Yapısı

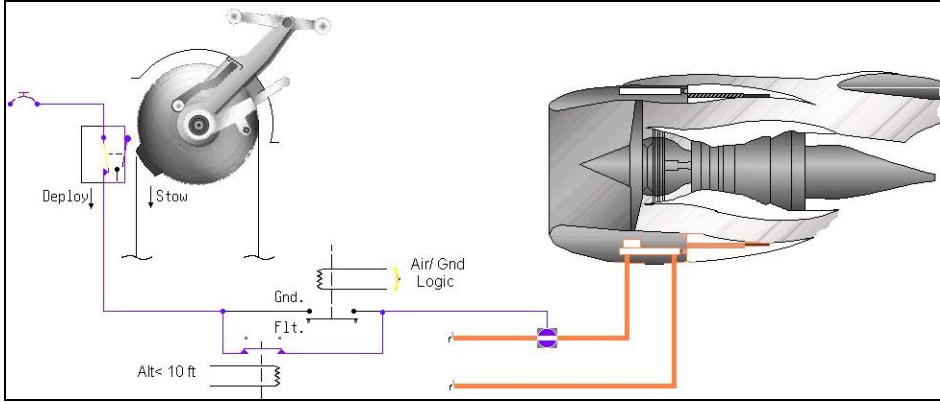
Tipik bir thrust reverser sistemi, üç alt sistemden oluşur. Bunlar; kumanda sistemi, tahrik (actuation) sistemi ve hava akış saptırma (deflection) sistemidir. Alt sistemlerin tüm motorlardaki görevi aynıdır.

➤ **Kumanda sistemi**

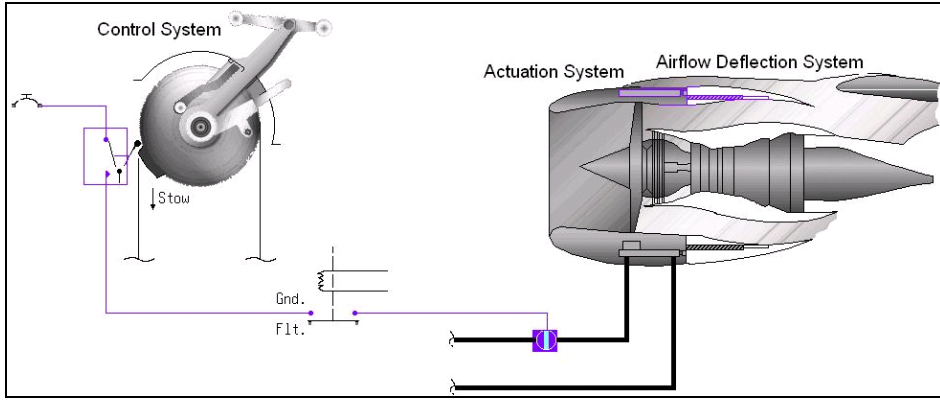
Thrust reverser'i aktif hâle getirir. Reverse thrust için motor gücünü (thrust) artırır. Tahrik sistemi (actuation), pnömatik veya hidrolik komponentler kullanır. Kumanda sisteminden gelen sinyallerle akış saptırma mekanizmasını hareket ettirir. Akış saptırma sistemi (deflection), hava akışını emniyetli reverse thrust sağlayacak şekilde optimum yöne saptırır. Thrust reverser kumanda sistemi iki çeşittir. Bunlar, mekanik tip ve elektrikli tiptir. Basit bir reverser kumanda sisteminin ana komponenti, kokpitte bulunan "thrust reverser lövyesi"dir. Lövyeye çekildiğinde pedestal altındaki "reverser control switch" aktif hâle gelir. Reverser'in çalışmasını başlatmak ve reverser yönüne kumanda etmek mümkün olur. Sistem özel şartların sağlanmadığı durumda açılmaya karşı korunur. Bazı uçaklarda radyo

altimetresinden gelen yer sinyali ile "touch down" dan (aşağı temas, tekerlek teması) hemen önce açılan reverser sistemi vardır.

Uçuş yüksekliği 10 fitin altına düştüğünde reverser'lar açılır. Bu uygulama kısa piste inişte avantaj sağlar. "Thrust revers interlock sistem" (kilitleme) motor takatinin ancak reverser tam olarak açıldıktan (yerini aldıktan) sonra artmasına izin verir. Reverse thrust kumandalarının üç görevi vardır. Thrust reverser'ı aktif hâle getirmek, motor takatini artırmak ve reverse thrust lövyesini bloke etmek reverser'ın kapalı konumdan açık konuma geçişi süresince gerçekleşir.



Şekil 5.15: Thrust reverser kumandaları



Şekil 5.16: Thrust reverser kumandaları

Mekanik thrust reverse kumandaları [Reverse thrust lövyesi (lever)]

Fwd thrust lövyesi üzerinde yer alır, (fwd-forward-ileri) her bir fonksiyonuna karşılık olmak üzere üç pozisyonu vardır.

Normal: Bu konumda reverser kapalıdır (stow).

Reverse Idle: Bu konumda reverser aktif hâle gelir ve açılmaya başlar (deploy).

Reverser tamamen açılana kadar lövyenin bu konumda bloke olmasını sağlayan “throttle interlock” mekanizması vardır. Full reverse throttle lövyeye bu konuma getirildiğinde motor takatı artar. Sadece reverse thrust sistemi içinde yer alan “throttle interlock sistemi” elemanları, ağırlıklı olarak motor pylon’u (uçak üzerindeki bağlantı yeri) üzerinde bulunur. Motor üzerindeki thrust reverser ile thrust kumandaları arasında kontrolü sağlayan mekanik bir feedback sistemi vardır.

Thrust lever lock sistemi: Fwd thrust ve reverse thrust kumanda sinyalleri sistemde mevcut durum’u (dönen disk) ve dolayısıyla FCU (Fuel Control Unit = Yakıt kontrol ünitesi) üzerindeki power lever’ı birbirine göre ters yönde hareket ettirir. Uygulamada böyle bir durum gerçekleştiğinde yani fwd ve revers’in lövyelerine aynı anda kumanda verildiğinde doğal olarak her iki sinyalin birbirine negatif etkisi nedeniyle bileşke sinyal (power lever’in gerçek hareketi) istenenden daima daha küçük olacaktır. Uçaklarda bu oluşumu (her iki lövyenin de aynı aktif edilmesini) önleyen “lever lock sistemi” mevcuttur. Çoğunlukla mekanik olan bu sistemin uçaklarda kullanılan farklı uygulamaları vardır. Prensipte fwd thrust lever’ın, IDLE dışındaki konumlarında reverse thrust lever kilitlenir. Reverse thrust lever çekildiğinde bu kez de fwd thrust lever kilitlenir.

Elektirikli thrust reverse kumandaları

Mekanik sisteme benzer. Petestal altındaki mekanik komponentler, revers thrust lövyesi hareketini resolver’lara (sinyal çeviriciler) iletir. Resolver mekanik sinyali, voltaj sinyaline çevirerek ECU’ya iletir (ECU = Engine Control Unit = Motor Kontrol ünitesi). Sistem çoğu zaman mekanik sistemdekine benzer “lever lock” ve “throttle inter lock” sistemlerine sahiptir.

➤ Thrust reverser tahrik (actuation) sistemi

İki tipte hareket işlemi gerçekleştirilir. Bunlar; hidrolik ve pnömatiktir. Hidrolik actuation sistemi genellikle büyük “blocker door” kullanılan reverser’larda kullanılır.

Bucket (kova tip) door tip reverser pivoting (dönderilebilen) door tip reverser (Her bir blocker door’un kendi actuator’ü vardır.) “translating sleeve ve cascade vane” tipi reverser’larda da zaman zaman kullanılan bir sistemdir. Ancak translating sleeve’i hareket ettiren actuator’lerin senkronize olması gerektiğinden daha komplike hidrolik actuator’ler kullanılmalıdır.

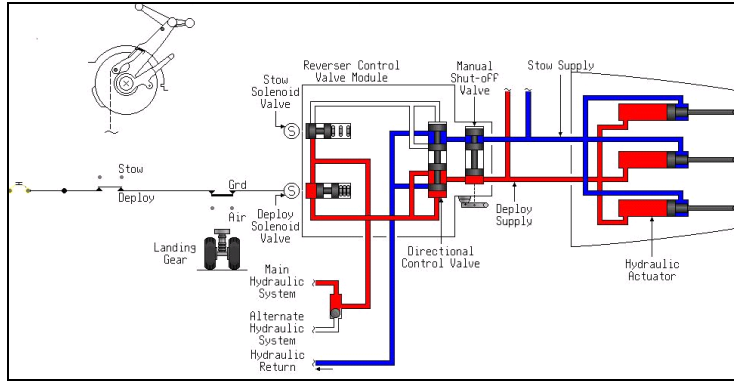


Resim 5.7: Bucket door tip reverser ve pivoting door tip reverser

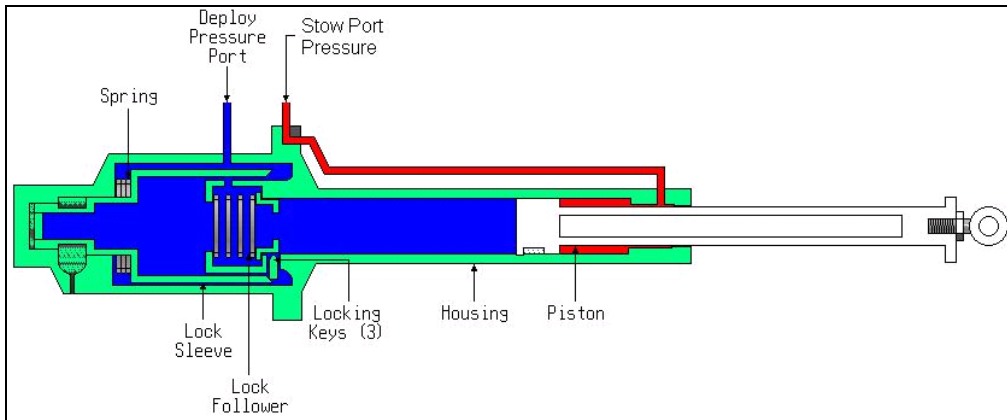
Sistemde genellikle bir “kontrol valf modülü” vardır. Bu modül, kumanda sisteminden sinyaller alır. Reverser’ın açılması (deploy) için gerekli hidroliğin sisteme (actuator’e) gitmesini sağlar. Aynı şekilde reverser’ın kapanmasını (stow) sağlar (actuator’un ters yönde hareket etmesi). Aşağıdaki üç tip reverser’da da hidrolik actuator kullanılır.



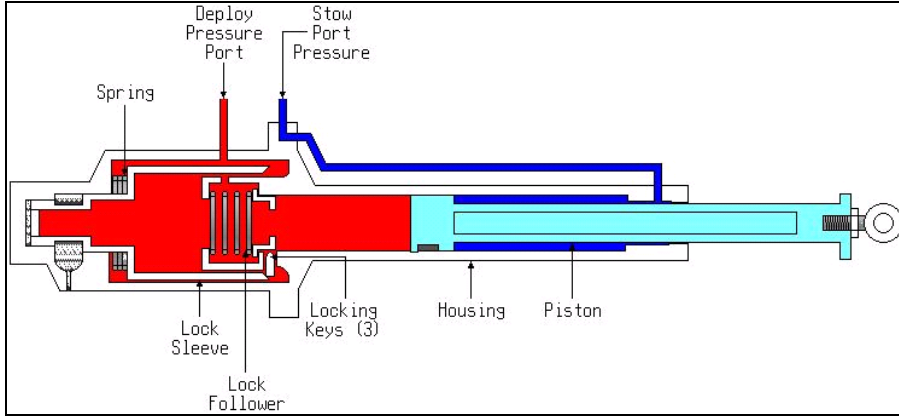
Resim 5.8: Cascade vane tip reverser



Şekil 5.17: Thrust reverser hidrolik kumanda sistemi



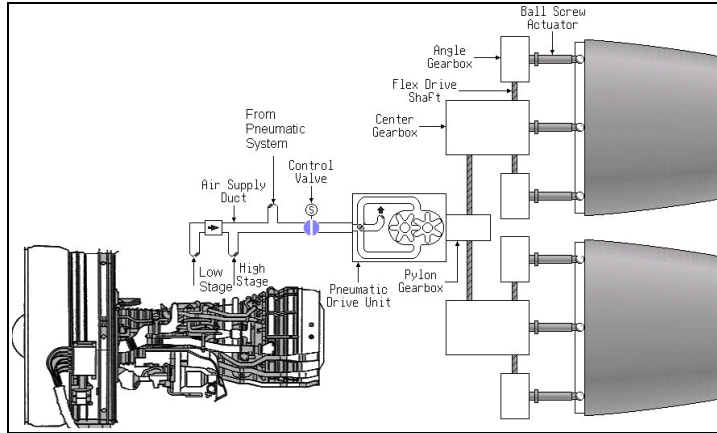
Şekil 5.18: Thrust reverser actuator



Şekil 5.19: Thrust reverser actuator

Pnömatik actuation sistemi, “translating sleeve ve cascade vane” tipi reverser’larda kullanılır. Motordan gelen bleed havası ile beslenen “air motor”lar vardır. Translating sleeve’in hareketi air motor/tahrik şaftı/dişli kutusu/ball screw actuator transmisyonuyla sağlanır. Tüm thrust reverser’larda “kilitleme sistemi” mutlaka olmalıdır.

Reverser’in açılmasının istenmediği hâller söz konusu olabilir. Bu gibi durumlarda reverser’ı “deactive” edecek kilitleme işlemi yapılır. Hidrolik sistemli reverser’larda kilit sistemi “actuator” veya “latch mekanizması” içinde bulunur. Pnömatik sistemli reverser’larda kilit sistemi olarak “air motor”larda frenler vardır.



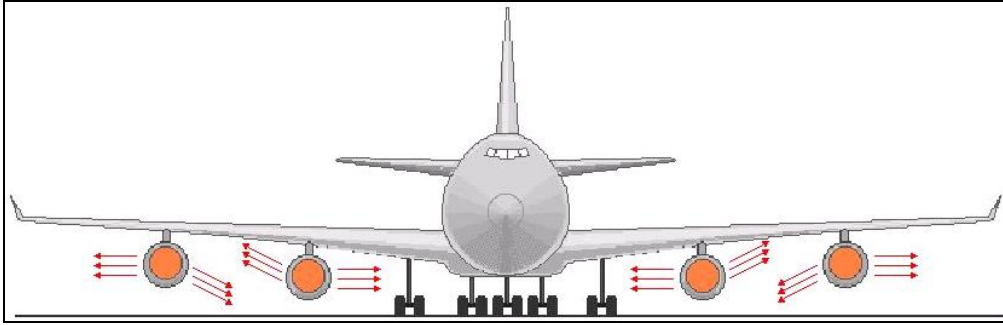
Şekil 5.20: Thrust reverse pnömatik actuator sistemi



Resim 5.9: Air motor

➤ **Hava akış saptırma (deflection) sistemi**

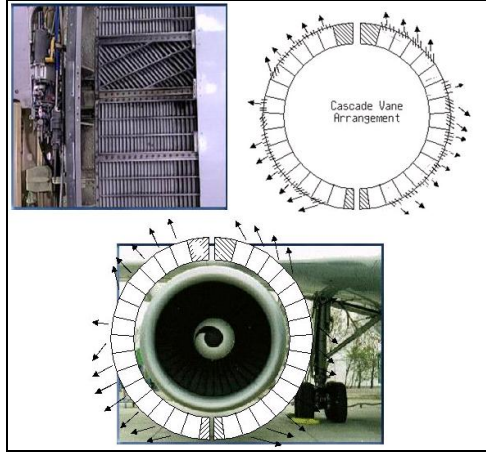
“Translating sleeve ve cascade vane” tipi reverser’larda, reverser kaportası iki kısımdan oluşur. Bunlar; sabit cowl (kaporta) ve hareketli cowl (translating sleeve)’dir. “Blower door”lar sabit cowl ve translating sleeve arasında yer alır ve her ikisiyle de bağlantılıdır. Kapalı (stowed) pozisyonda fan air duct iç çeperi ile bir hizada (flush)’dır.



Şekil 5.21: Cascade vane tipthrust reverser çalışmasında hava dağılımı

Cascade vane segment’ler, sabit cowl üzerinde yer alır. Cascade segmentler, akışı farklı açılarda yönlendirir (45° aşağıya-yukarıya, 90° dik vb). Motor üzerindeki diziliş sırasını da bu yönler belirler. Akış uçak gövdesinden ve yerden uzaklaşacak şekilde yönlendirilir.

Dolayısıyla motorun uçaktaki pozisyonuna göre vane segment’lerinin dizilişi farklı olur. Bakım sırasında cascade vane değişimleri bu durumlar göz önüne alınarak yapılmalıdır.



Resim 5.10: Thrust reverser çalışması esnasındaki hava dağılımı

5.4.3. İndikasyon (Gösterge) Sistemi

Basit bir kokpit indikasyon sistemi vardır. Actuation komponentlerinde “switch”ler, hareketli veya sabit cowl üzerinde “pozisyon sensör”leri bulunur. “Reverser unlock” (reverser kilitli değil) uyarı mesajıdır. Reverser emniyetli olarak kapalı (stowed), pozisyonu sağlanmamışsa kokpitte bu mesaj alınır. Amber renkli bir lambadan ibaret olan bu uyarı mesajı, reverser’ın açılması ve kapanması sırasında da görülür.

Yine kokpitte, reverser tam olarak açıldığında (full deployed) yanan bir lamba vardır. Bu uyarıdan sonra pilot, thrust reverser lövyesini “interlock” (kilitli) konumundan kurtarıp tam açık konuma getirir.



Şekil 5.22: Thrust reverser indikasyonları

UYGULAMA FAALİYETİ

Motorun egzoz kısmının bakımını yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Uygulama yapacağınız uçağın AMM dosyasından egzoz kısmı ile ilgili sayfaları bulunuz.➤ İlgili uçağın AMM sayfalarına göre egzoz parçalarının sökümünü gerekli ekipmanlar yardımıyla yapınız.➤ İlgili uçağın AMM sayfalarına göre egzoz kısmı bakımını gerekli ekipmanlar yardımıyla yapınız.➤ İlgili uçağın AMM sayfalarına göre egzoz parçalarının takılma işlemlerini gerekli ekipmanlar yardımıyla yapınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Çalışma bölgenizde gerekli güvenlik tedbirlerini alınız. Yangın tüpünü hazır bulundurunuz.➤ Çalışma alanının temiz ve düzenli olmasına dikkat ediniz.➤ Öncelikle çalışma bölgenizden kullanmayacağınız teçhizat ve ekipmanları kaldırınız.➤ İşleme başlamadan yüzey üzerini koruyucu örtü ile kapatınız. Böylece yüzeye zarar vermezsiniz.➤ Uçak bakım dokümanlarındaki (AMM) prosedürleri uygulayınız.➤ Gerekli bakım ve avadanlıkları hazırlayınız.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1.	Uygulama yapacağınız uçağın AMM dosyasından egzoz kısmı ile ilgili sayfaları buldunuz mu?		
2.	İlgili uçağın AMM sayfalarına göre egzoz kısmı parçalarının sökümünü gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		
3.	İlgili uçağın AMM sayfalarına göre egzoz kısmı bakımını gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		
4.	Uygulama yapacağınız uçağın AMM sayfalarına göre egzoz parçalarının takılma işlemlerini gerekli ekipmanlar yardımıyla yaptınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Egzoz gazlarını atmosfere atar. Gaz enerjisinin tümünü türbin absorbe eder. Gürültüyü azaltmak için gaz susturucusu kullanılır. Bu ifadeler aşağıdaki hangi tip motorun egzoz sistemini anlatır?
A) APU
B) Turbofan
C) Turbojet
D) Turboprop
2. Aşağıdaki hangi reverser’da hidrolik actuator kullanılmaz?
A) Pivoting door
B) Cascade vane
C) Bucket door
D) Blocer door
3. Divergent (D) ıraksak uzaklaştıran egzoz nozul, hangi basınç oranında egzoz gazlarının hızlarının daha fazla artmasına imkân verir?
A) 1.1:1
B) 1.5:1
C) 2:1
D) 1.3:1
4. Mekanik thrust reverser kumandalarında aşağıdaki hangi pozisyon yoktur?
A) Normal
B) Full reverse stow
C) Reverse idle
D) Full reverse throttle
5. Aşağıdakilerden hangisi thrust reverser’in alt sistemi değildir?
A) Kumanda sistemi
B) Tahrik (actuation) sistemi
C) Hava akış saptırma (deflection) sistemi
D) İndikasyon sistemi

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise “Modül Değerlendirme”ye geçiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Hava giriş kısmında buz önleme aşağıdakilerden hangisi ile sağlanır?
A) Kimyasal sıvılarla
B) Elektrikli dirençle
C) Kimyasal gazlarla
D) Pnömatik hava ile
2. Anti-ice sistemi uçuşta ne zaman çalıştırılır?
A) Uçak hem yerde hem de havada iken
B) Uçak havada iken
C) Uçak yerde iken
D) Uçak maksimum hızda iken
3. Aşağıdaki seçeneklerden hangisi stall'u anlatmaktadır?
A) Hava akışı, kısa aralıklara (çöker) gider / (başlar) gelir.
B) Yüksek vibrasyon ve beraberinde şiddetli bir gürültü oluşur.
C) Thrust azalır.
D) Bir veya daha fazla kademede meydana gelebilir. Bu durumda motor gürültülü çalışır ve rotor hızı çok az düşer.
4. Aşağıdakilerden hangisi stall ve surge önleme yöntemlerinden değildir?
A) Kompresör bleed valve kullanılması
B) İki veya üç spool'lu rotor kullanılması
C) Variable stator vane'lerin kullanılması
D) OGV guide vane kullanılması
5. Aşağıdakilerden hangisi yanma odası çeşitlerinden değildir?
A) Can tip
B) Case tipi
C) Can-annular tip
D) Annular tip
6. Zengin karışımda aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?
A) Yakıt çok fazladır.
B) Yanmamış yakıt egzozu karışır. (HC) oranı artar.
C) NO_x oluşmasına neden olur.
D) Kirlilik daha fazladır.
7. Tip klerans'ın tanımı aşağıdakilerden hangisidir?
A) Rotor blade ucu ile stator case arasındaki boşluktur.
B) Stator vane ucu ile disk arasındaki boşluktur.
C) Rotor blade ile stator case arasındaki boşluktur.
D) NGV ile yanma odası arasındaki boşluktur.

8. Aşağıdakilerden hangisi türbin blade'lerini takma yöntemi değildir?
- A) Tek rot geçmeli
 - B) Üç rot geçmeli
 - C) İki rot geçmeli
 - D) Kırklangıç kuyruğu geçmeli
9. Aşağıdaki hangi reverser'da hidrolik actuator kullanılmaz?
- A) Pivoting door
 - B) Cascade vane
 - C) Bucket door
 - D) Blocer door
10. Divergent (D) ıraksak uzaklaştıran egzoz nozul, hangi basınç oranından daha fazla egzoz gazlarının hızlarının artmasına imkân verir?
- A) 1.1:1
 - B) 1.5:1
 - C) 2:1
 - D) 1.3:1

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	D
3	D
4	A
5	D

ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	B
2	A
3	D
4	D
5	B

ÖĞRENME FAALİYETİ-3'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	B
3	C
4	C
5	D

ÖĞRENME FAALİYETİ-4'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	B
3	A
4	C
5	A
6	A

ÖĞRENME FAALİYETİ-5'İN CEVAP ANAHTARI

1	A
2	D
3	C
4	B
5	D

MODÜL DEĞERLENDİRMENİN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	A
3	D
4	D
5	B
6	C
7	A
8	C
9	D
10	C

KAYNAKÇA

- KAYA Şahin, **Uçaklar ve Helikopterler**, İnkılap Kitapevi, İstanbul, 1999.
- KIRMACI Tefvik, **Uçak Teknik Temel Motor**, THY Eğitim Merkezi, İstanbul, 2000.
- **Jet Aircraft Maintenance Fundamentals**, Turkish Airlines, İstanbul, 2002.
- www.b737.org.uk (15.08.2011/ 13.00)
- www.faa.gov (20.08.2011/ 15.00)
- www.aerospaceweb.org (20.08.2011/ 17.00)