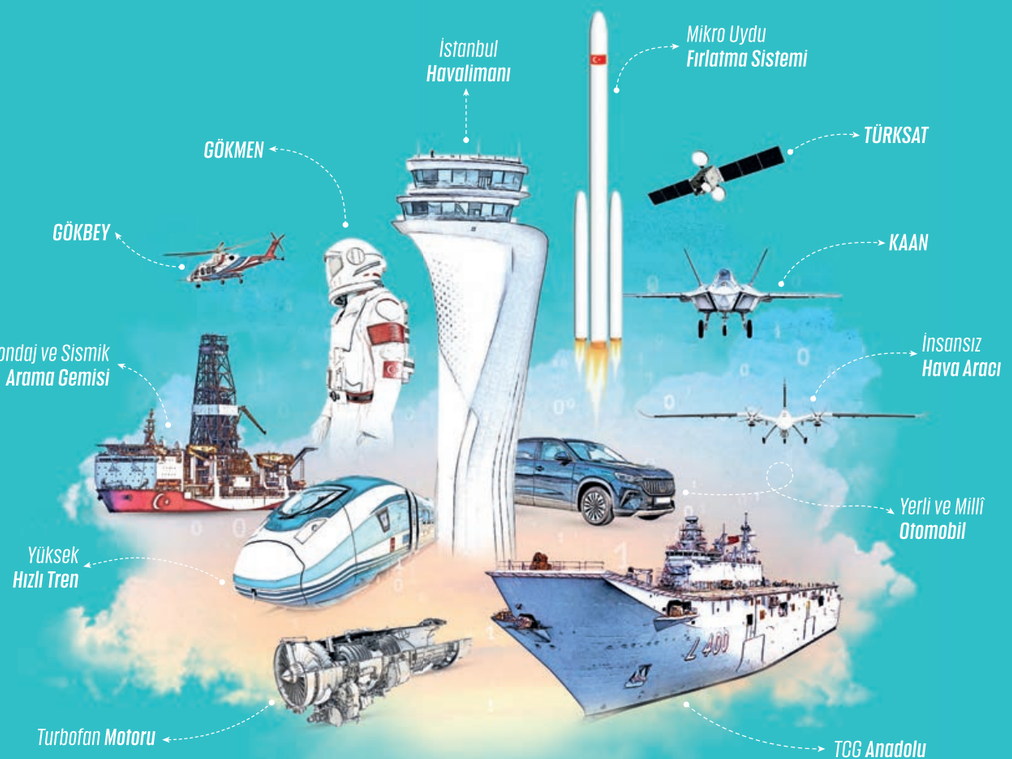
Bu kitaba sığmayan daha neler var!

eba
www.eba.gov.tr

Karekodu okut, bu kitapla ilgili EBA içeriklerine ulaş!

Teknoloji Yolculuğumuz



BU DERS KİTABI MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞINCA ÜCRETSİZ OLARAK VERİLMİŞTİR.
PARA İLE SATILAMAZ.

ISBN: 978-975-11-7960-9

Bandrol Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmeliğin Beşinci Maddesinin İkinci Fıkrası Çerçevesinde Bandrol Taşması Zorunlu Değildir.

UÇAK BAKIM ALANI — **GAZ TÜRBİNLİ MOTORLAR ATÖLYESİ** — 10 — DERS MATERYALİ

MESLEKİ VE TEKNİK
ANADOLU LİSESİ

UÇAK BAKIM ALANI

GAZ TÜRBİNLİ MOTORLAR ATÖLYESİ



10 DERS MATERYALİ

MEB__208300__GAZ TÜRBİNLİ MOTORLAR ATÖLYESİ 10 (Uçak Bakım)__KAPAK.pdf__19,3X27,5

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

UÇAK BAKIM ALANI

GAZ TÜRBİNLİ MOTORLAR ATÖLYESİ

10

DERS MATERYALİ

YAZARLAR

Ayşegül YÜCEL

Şerafeddin ÖZAYDIN

MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI.....9332
YARDIMCI VE KAYNAK KİTAPLAR DİZİSİ..... 2992

Her hakkı saklıdır ve Millî Eğitim Bakanlığına aittir. Ders materyalinin metin, soru ve şekilleri kısmen de olsa hiçbir surette alınıp yayımlanamaz.

HAZIRLAYANLAR

DİL UZMANI	Mehmet ÖNER
PROGRAM GELİŞTİRME UZMANI	Ali DOĞAN
REHBERLİK UZMANI	Musa KARABEYESER
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME UZMANI	Fatma YILMAZ
GÖRSEL TASARIM UZMANI	Zeynep YILMAZ

ISBN: 978-975-11-7960-9

Millî Eğitim Bakanlığının 24.12.2020 gün ve 18433886 sayılı oluru ile Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğünce ders materyali olarak hazırlanmıştır.

BASKI
Ayrıntı Basım Yayım ve Mat. Hiz. Sanayi Ticaret A.Ş.
Saray Mahallesi 126. Cadde No: 20
Kahramankazan/Ankara
Sertifika No: 49599



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif Ersoy

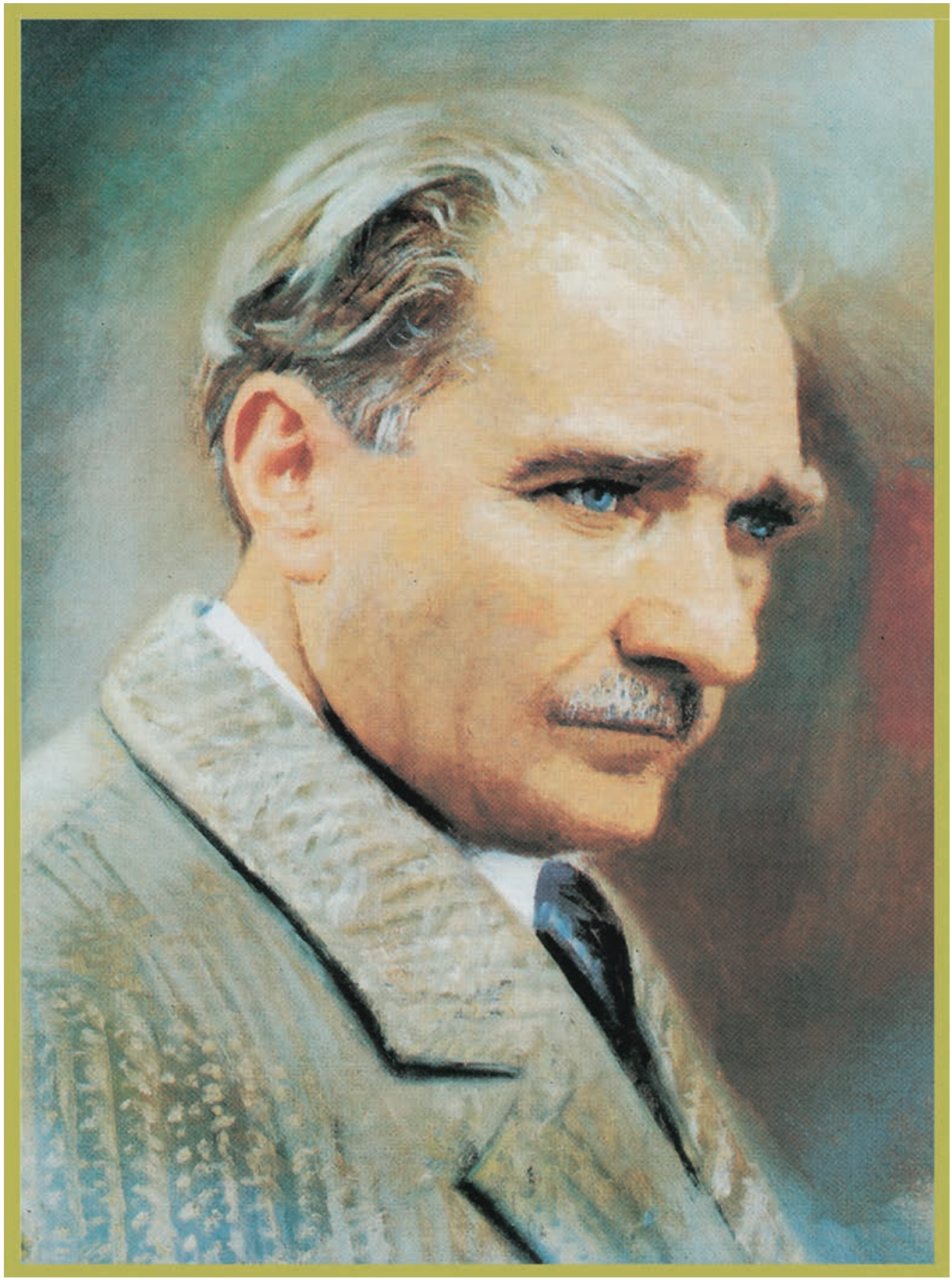
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

İÇİNDEKİLER

DERS MATERYALİNİN TANITIMI.....13

1. ÖĞRENME BİRİMİ: TERMODİNAMİK HESAPLAMALAR

1.1. TERMODİNAMİK BİRİM HESAPLAMALARI.....18

1.1.1. Sıcaklık ve Sıcaklık Ölçekleri.....18

1.1.2. Boyutlar ve Birimler 23

1.1.3. Isı ve Özgül Isı 24

1.1.4. Hacim ve Özgül Hacim 25

1.1.5. Ağırlık ve Özgül Ağırlık.....26

1.1.6. Basınç ve Mutlak Basınç 27

1.1.7. Isı Transferleri 28

1.2. TERMODİNAMİK KANUN HESAPLAMALARI.....35

1.2.1. Termodinamiğin Birinci Kanunu 35

1.2.2. Termodinamiğin İkinci Kanunu 37

1.3. İDEAL GAZ KANUNU HESAPLAMALARI.....41

1.3.1. Gaz Kanunları 41

1.3.2. Gazların Durum Değişikleri.....45

1.3.3. İçten Yanmalı Motor Çevrimleri.....51

1.4. SOĞUTUCULAR VE ISI POMPALARI HESAPLAMALARI.....58

1.4.1. Soğutma Makineleri.....58

1.4.2. Isı Pompaları 60

1.4.3. Carnot Çevrimi.....60

1.5. BUHARLAŞMA HESAPLAMALARI 63

1.5.1. Buharlaşma Isısı 65

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 67

2. ÖĞRENME BİRİMİ: PERFORMANS HESABI

2.1. DİNAMİĞİN TEMEL ESASLARI İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR.....72

2.1.1. Potansiyel Enerji ve Kinetik Enerji 72

2.1.2. Newton'ın Hareket Kanunu 77

2.1.3. Kuvvet, İş, Güç, Enerji, Hız ve İvme 83

2.2. MOTOR PERFORMANS HESAPLAMALARI.....93

2.2.1. Motor Performasını Etkileyen Unsurlar.....93

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....111

3. ÖĞRENME BİRİMİ: TURBOFAN MOTORLAR VE KISIMLARI

3.1. HAVA GİRİŞ KISMI KONTROLLERİ....118

3.2. KOMPRESÖR KISMININ BAKIMI....122

3.2.1. Santrifüj Akışlı Kompresör....122

3.2.2. Aksiyal Akışlı Kompresör....123

3.3. YANMA ODASI KISMININ BAKIMI....130

3.3.1. Yanma Odası Komponentleri....130

3.3.2. Yanma İşlemi....131

3.3.3. Yanma Odası Tipleri....131

3.3.4. Yanma Odası Performansı....134

3.4. TÜRBİN KISMININ BAKIMI....137

3.4.1. Türbin Tipleri....137

3.4.2. Türbinin Yapısal Özellikleri....139

3.4.3. Türbin Soğutma Yöntemleri....140

3.4.4. Türbin Klerans Kontrolü....141

3.5. EGZOZ KISMININ BAKIMI VE TESTİ....144

3.5.1. Egzoz Komponentleri....144

3.5.2. Egzozda Gaz Akışı....145

ÖLÇME VE DEĞRERLENDİRME....148

4. ÖĞRENME BİRİMİ: TURBOPROP MOTORLAR

4.1. GAZ KUPLAJLI / SERBEST TÜRBİNLERİN BAKIM VE ONARIMI....152

4.1.1. Turborop Motorların Tanımı....152

4.1.2. Turboprop Motorların Özellikleri 153

4.1.3. Turboprop Motor Çeşitleri....153

4.2. DİŞLİ KUPLAJLI TÜRBİNLERİN BAKIM VE ONARIMI....157

4.2.1. Dişli Kuplaj Türbinli Turboprop Motorlarda Türbin Rotoru 158

4.3. REDÜKSİYON DİŞLİLERİNİN BAKIM VE ONARIMI....160

4.3.1. Paralel Düz Dişli....160

4.3.2. Episiklik Dişli....161

4.3.3. Bileşik Episiklik Redüksiyon Dişli....163
4.3.4. Turboprop Motorlarda Episiklik Dişliler....164

4.4. PERVANE KUMANDALARININ BAKIM VE ONARIMI....166
4.4.1. Turboprop Motor Kontrolü....166
4.4.2. Motor Pervane Kontrolü....167
4.5. AŞIRI HIZ EMNİYET TERTİBATININ BAKIM VE ONARIMI....171
4.5.1. Mekanik Kontrollü Pervanelerde Aşırı Hız Emniyet Tertibatları....172
4.5.2. FADEC Kontrollü Pervanelerde Aşırı Hız Emniyet Tertibatları....172
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME....174

5. ÖĞRENME BİRİMİ: YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİ (APU)

5.1. YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİNİN (APU) UÇAKTAN SÖKÜLMESİ....180
5.1.1. Yardımcı Güç Ünitesinin (APU) Uçaklardaki Konumu....180
5.1.2. Yardımcı Güç Ünitesinin (APU) Uçaktan Sökülmesi....181

5.2. YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİ (APU) KISIMLARININ KONTROLLERİ....183
5.2.1. Hava Giriş Kısmı....183
5.2.2. Kompresör....184
5.2.3. Yanma Odası....184
5.2.4. Türbin....185
5.2.5. Dişli Kutusu....185

5.3. YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİ (APU) SİSTEMLERİNİN KONTROLLERİ....188
5.3.1. Yakıt Sistemi....188
5.3.2. Yağlama Sistemi....189
5.3.3. Hava Sistemi....191
5.3.4. Ateşleme Sistemi....192
5.3.5. Soğutma Sistemi....193
5.3.6. Yangın İhbar ve Söndürme Sistemi....194
5.3.7. Gösterge Sistemi....194

5.4. YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİNİN (APU) UÇAĞA TAKILMASI....197
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME....198

6. ÖĞRENME BİRİMİ: TURBOSHAFT MOTORLAR

6.1. TURBOSHAFT MOTOR KISIMLARININ BAKIMI.....202

6.2. REDÜKSİYON DİŞLİLERİNİN KONTROL VE BAKIMI.....205

6.2.1. Redüksiyon Dişli Kutusu.....205

6.2.2. Ana Rotor.....207

6.2.3. Kuyruk Rotor Dişli Kutusu.....207

6.3. TURBOSHAFT MOTOR BAĞLANTILARININ KONTROL VE BAKIMI.....209

6.3.1. Ana Dişli Kutusu Bağlantı Şaftları.....209

6.3.2. Ana Dişli Kutusu.....211

6.3.3. Rotor Freni.....212

6.3.4. Güç Aktarma Dişlilerinin Kontrol Noktaları.....212

6.4. TURBOSHAFT MOTOR SİSTEMLERİNİN BAKIMI.....214

6.4.1. Torkmetre Sistemi.....216

6.4.2. Hareketli Hava Giriş Yön Kanatçıkları Sistemi.....217

6.4.3. Hava Tahliye Bandı Sistemi.....217

6.4.4. Buz Önleme Sistemi.....218

6.4.5. Dâhili Soğutma Sistemi.....218

6.4.6. Ateşleme Sistemi.....219

6.4.7. Elektrik Sistemi.....219

6.4.8. Egzoz Sistemi.....219

6.4.9. Yağlama Sistemi.....220

6.4.10. Yakıt Sistemi.....221

6.4.11. Toz / Kum Ayırıcı Sistemi.....222

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....224

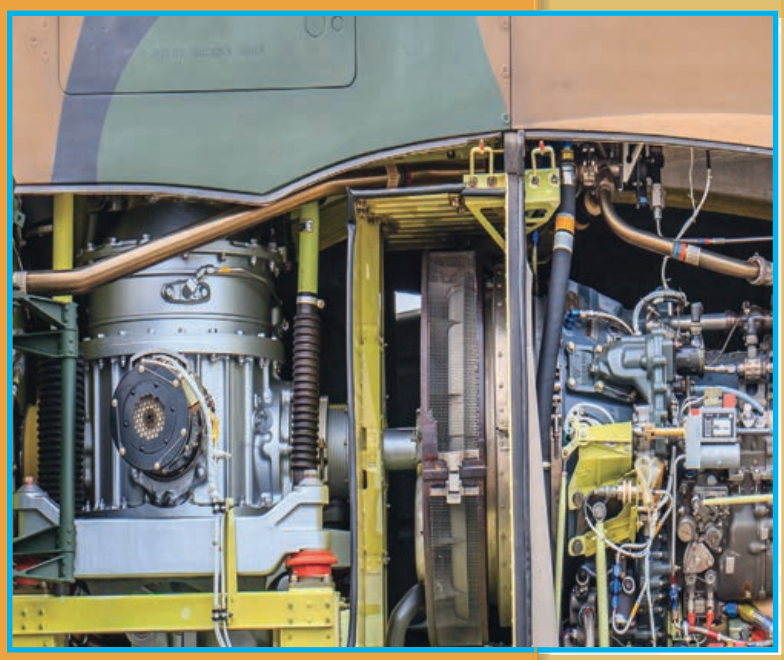
CEVAP ANAHTARLARI.....228

KAYNAKÇA.....232

DERS MATERYALİNİN TANITIMI

6.
ÖĞRENME BİRİMİ

Öğrenme biriminin numarasını gösterir.



TURBOSHAFT MOTORLAR

Öğrenme biriminin adını gösterir.

Öğrenme biriminde yer alan konuları gösterir.

KONULAR

6.1. TURBOSHAFT MOTOR KISIMLARININ BAKIMI
6.2. REDÜKSİYON DİŞLİLERİNİN KONTROL VE BAKIMI
6.3. TURBOSHAFT MOTOR BAĞLANTILARININ KONTROL VE BAKIMI
6.4. TURBOSHAFT MOTOR SİSTEMLERİNİN BAKIMI

TEMEL KAVRAMLAR

Öğrenme birimininde yer alan temel kavramları gösterir.

dişli, dişli kutusu, kuplaj (kavrama), mil, sistem

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Öğrenme biriminde neler öğrenileceğini açıklayan ön bilgileri gösterir.

- **Turboshaft motorun bölümleri**
- **Turboshaft motorlarda devire azaltma dişlileri çeşitleri**
- **Turboshaft motor kuplajlar ve diğer bağlantı elemanları**
- **Turboshaft motorlarda kullanılan sistemler ve görevleri**

HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

1. **Turboshaft motorların araba, gemi, helikopter gibi farklı araç ve alanlarda kullanılmasının nedeni ne olabilir? Fikirlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.**
2. **Turboprop motorlarda olduğu gibi turboshaft motorlarda da bulunan devir azaltma dişlileri sizin için ne anlam ifade ediyor? Turboshaft motorlardaki devir azaltma dişlilerinin işleyişi ile ilgili fikirlerinizi arkadaşlarınız ile paylaşınız.**

Konuya dikkat çekmek, bilgi ve becerilere yönelik merak oluşturmak için yapılacak ön çalışmayı gösterir.

Öğrencilerin sınıf içinde derse yönelik etkin katılımları için okul dışında veya sınıfta yapmaları gereken ugulamaları gösterir.

6.1. UYGULAMA: Turboshaft Motor Kısımlarının İlgili AMM'ye Göre Sökülmesi ve Bakımının Yapılması

Amaç: Turboshaft motor kısımlarını ilgili AMM'ye göre söküp, bakımını yaparak yerine takmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Turboshaft motor	Turboshaft motor	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipmanlar kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde turboshaft motor kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve helikoptere efektif olduğundan emin olunuz.
6. AMM'ye göre turboshaft motorun parçalarını sökünüz.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Turboshaft motorun parçaları sökülürken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Turboshaft motorun parçalarına bakım yapılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı		Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)



Karekod, genel ağ ve görsel kaynakçasını gösterir.

* Bu ders materyalinde ölçü birimlerinin uluslararası kısaltmaları kullanılmıştır.

1.
ÖĞRENME BİRİMİ



TERMODİNAMİK HESAPLAMALAR

KONULAR

1.1. TERMODİNAMİK BİRİM HESAPLAMALARI
1.2. TERMODİNAMİK KANUN HESAPLAMALARI
1.3. İDEAL GAZ KANUNU HESAPLAMALARI
1.4. SOĞUTUCULAR VE ISI POMPALARI HESAPLAMALARI
1.5. BUHARLAŞMA HESAPLAMALARI

TEMEL KAVRAMLAR

Celcius, doymuş buhar, Fahrenheit, ısı transferi, motor çevrimleri, termodinamik

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- **Sıcaklığı ve sıcaklık ölçeklerini hesaplama**
- **Termodinamik kanunlarını hesaplama**
- **İdeal gaz kanunlarını hesaplama**
- **Soğutucu ve ısı pompalarını hesaplama**
- **Buharlaşma hesaplamaları yapma**

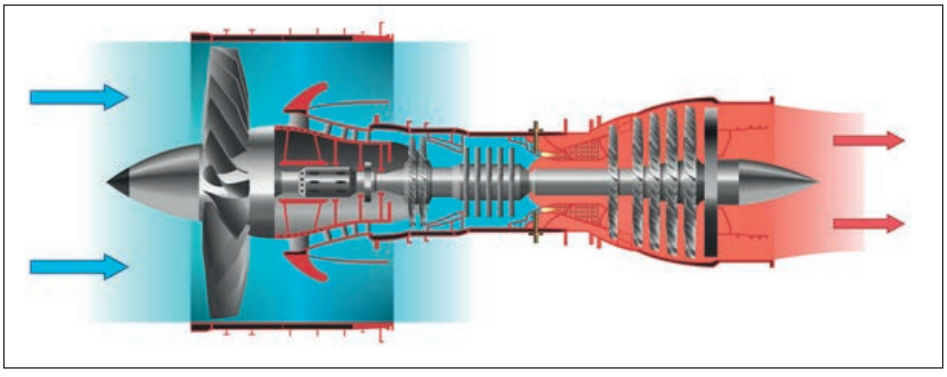
HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

1. **Günlük hayatta kullanılan sıcaklık ölçekleri nelerdir? Arkadaşlarınızla paylaşınız.**
2. **Evinizde kullandığınız buzdolabı, klima, fırın gibi cihazların ısıtma ve soğutma yöntemleri hakkında fikirleriniz nelerdir? Arkadaşlarınızla paylaşınız.**
3. **Sıvılar için buharlaşma nasıl gerçekleşir? Fikirlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.**

1.1. TERMODİNAMİK BİRİM HESAPLAMALARI

Termodinamik, enerji ve madde üzerindeki değişimleri inceleyen bir bilim dalıdır. Enerji ve enerji dönüşümlerinin tüm yönlerini kapsar. Doğanın en temel yasalarından biri, enerjinin korunumu ilkesidir. Bu ilkeye göre enerji bir biçimden başka bir biçime dönüşebilir ancak toplam enerji miktarında değişim olmaz.

Termodinamik prensiplerin uygulandığı sistemlerle yaşamın her anında karşılaşılır. Termodinamiğin uygulama alanları arasında insan, klima, ütü, buzdolabı, fırın, güneş kolektörleri, otomobil, uçak motorları (Görsel 1.1) gibi örnekler sayılabilir.



Görsel 1.1: Termodinamiğin uygulama alanlarından uçak motorları

1.1.1. Sıcaklık ve Sıcaklık Ölçekleri

Maddenin iç enerjisinin ölçüsüne **sıcaklık** denir. Sıcaklık **T** sembolü ile gösterilir. Sıcaklık değerlerinin evrensel olabilmesi için sıcaklık ölçeğine ihtiyaç duyulmuştur. Sıcaklık ölçümü termometre (Görsel 1.2) ile yapılır. Sıcaklık, suyun kaynama ve donma noktaları gibi kolay bir şekilde elde edilebilecek değerlere göre ölçeklendirilir.



Görsel 1.2: Sıcaklık ölçeği (termometre)

1.1.1.1. Celcius Ölçeği

Günümüzde yaygın olarak Celcius (selsiyus) ölçeği kullanılır. Celcius ölçeği, uluslararası birimler sisteminde [**SI** (System of Unit-interneyşınıl of yunit)] kullanılır ve sembolü **C** ile gösterilir. Celcius ölçeğinde suyun donma noktası 0 °C, kaynama noktası 100 °C'tur.

1.1.1.2. Fahrenheit Ölçeği

İngiliz birim sisteminde kullanılır ve sembolü **F** ile gösterilir. Fahrenheit (fahrenayt) ölçeğinde suyun donma noktası 32 °F, kaynama noktası 212 °F'tır. Termodinamikte herhangi bir maddenin veya maddelerin özelliklerinden bağımsız bir sıcaklık ölçeğinin kullanılması istenir.

Fahrenheit ölçeği ile Celcius ölçeği arasındaki bağıntı,

$$\frac{T(^oC)}{100} = \frac{T(^oF)-32}{180}$$

şeklindedir.

Örnek

Antalya'da ölçülen hava sıcaklık değeri 36,5 °C'tur (Görsel 1.3). Bu değerin Fahrenheit (°F) derece karşılığını hesaplayınız.



Görsel 1.3: Antalya'da görülen hava sıcaklık değeri

Çözüm

Termometrede okunan 36,5 °C sıcaklık değerinin Fahrenheit değeri,

$\frac{T(^oC)}{100} = \frac{T(^oF)-32}{180}$ formülünde 36,5 °C yerine yazılır.

$$\frac{36,5}{100} = \frac{T(^oF)-32}{180}$$

36,5 x 180 = [T(°F) – 32] x 100 her iki taraf 100'e bölünürse 65,7 = T(°F) – 32 denklemi elde edilir. T(°F) yalnız bırakıldığında sonuç,

T(°F) = 97,7 olarak bulunur.

1.1.1.3. Kelvin Ölçeği

SI birimlerinde kullanılan termodinamik sıcaklık ölçeği **Kelvin ölçeği**dir. Sembolü **K** ile gösterilir. Kelvin ölçeğinde en düşük sıcaklık derecesi, mutlak sıfır yani (**0 K**) alınır. Celcius ölçeğindeki sıfır noktası 273 °C aşağıdadır.

Kelvin ölçeği ile Celcius ölçeği arasındaki bağıntı,

$$T(K) = T(^oC) + 273$$

şeklindedir.

Örnek

Atmosferik koşullarda alkolün donma sıcaklığı -115 °C'tur. Buna göre Kelvin derece karşılığını hesaplayınız.

Çözüm

T (K) = T(°C) + 273 formülünde soruda verilen veriler yerine yazılır.

K = -115 + 273

K = 158 olarak bulunur.

1.1.1.4. Rankine Ölçeği

İngiliz birim sistemindeki **termodinamik sıcaklık ölçeği**dir. Rankine ölçeğinin sembolü **R** ile gösterilir. Kelvin ölçeği ile eş değer olacak şekilde oluşturulan sıcaklık ölçeğidir. Rankine ölçeği ile Fahrenheit ölçeği arasındaki bağıntı,

$$T(R) = T(^oF) + 459{,}67$$

şeklinde gösterilir.

Örnek

Londrada hava sıcaklığı 73 °F olarak ölçülmüştür. Bu değerin rankine derece karşılığını bulunuz.

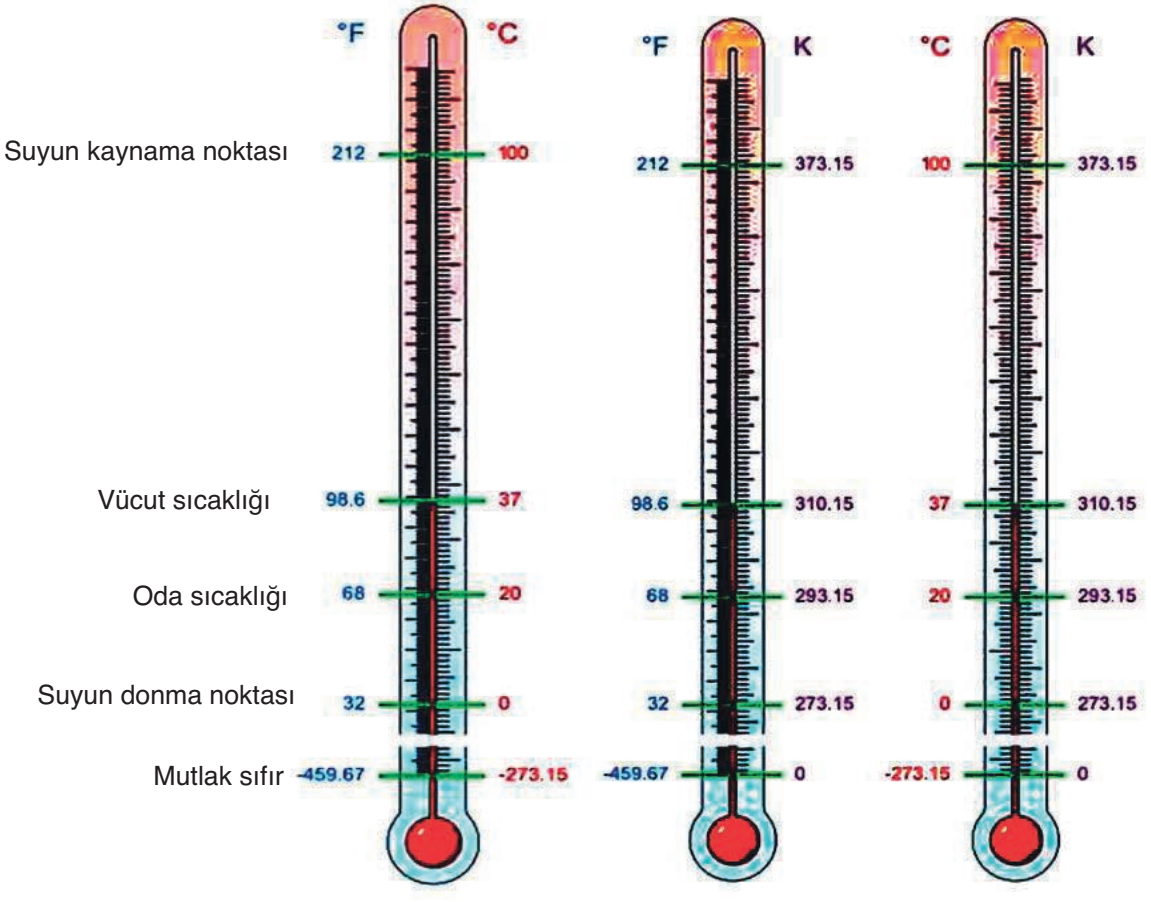
Çözüm

T(R) = T (°F) + 459,67 formülünde soruda verilen veriler yerine yazılır.

R = 73 + 459,67

R = 532,67 olarak bulunur.

Sıcaklık ölçekleri arasındaki karşılaştırma Görsel 1.4'te gösterilmiştir.



Görsel 1.4: Sıcaklık ölçeklerinin karşılaştırılması

1.1. UYGULAMA: Sıcaklık Ölçümü 1

Amaç: Sıcaklık ölçekleri arasındaki bağıntı ile hesaplama yapmak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 1.5: Araçtan çıkan egzoz gazı

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 1.5'teki araç egzoz gazının sıcaklığı 70 °C okunmuştur. Buna göre egzoz gaz sıcaklığının Fahreneit, Kelvin ve Rankine değerlerini hesaplayınız.
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

1.2. UYGULAMA: Sıcaklık Ölçümü 2

Amaç: Sıcaklık ölçü aletlerini kullanarak farklı birimlerde sıcaklık ölçümü yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Sıcaklık ölçü aleti	Celcius, Fahrenheit ve Kelvin biriminde ölçüm yapma	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş sağlığı ve güvenliği tedbirlerini alınız.
2. Sıcaklık ölçü aletini bulunduğu yerden alınız.
3. Atölye içinin sıcaklık ölçümünü yapınız. Ölçüm değerini Celcius, Fahrenheit ve Kelvin cinsinden yazınız.
4. Atölye dışında sıcaklık ölçümü yapınız. Ölçüm değerini Celcius, Fahrenheit ve Kelvin cinsinden yazınız.
5. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
6. Öğretmeninize elde ettiğiniz sonuçları kontrol ettiriniz.
7. İşlemleri tamamladıktan sonra ölçü aletini alınan yere bırakınız ve çalışma ortamını temizleyiniz.
8. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
Sınıfı / Numarası	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

1.1.2. Boyutlar ve Birimler

Boyut, herhangi bir fiziksel büyüklüğün nicel olarak belirlendiği ölçüdür. Boyutlar, birimlerle ifade edilen büyüklükleri temsil eder ve bu büyüklükler birim adını alır. Örneğin 20 kg kütleli bir cisim denildiğinde ifade edilmek istenen kütle birim boyutudur. Ölçüsü 20, birimi kilogramdır.

Uluslararası anlaşmalar ile ortak bir birim sistemi oluşturulmuştur ancak günümüzde yaygın şekilde metrik sistem (SI) ve İngiliz birim sistemi olarak iki farklı birim sistemi kullanılır. Metrik sistem ile İngiliz birimlerini kapsayan bazı sembol ve standart birimler Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1: Metrik Sistem (SI) ve İngiliz Birimi Sistem Dönüşümleri

Boyut	Standart SI Birim Sembolü	Standart SI Birimi	Standart İngiliz Birimi	Standart İngiliz Birim Sembolü
Uzunluk	L	metre	inç, foot	", ′
Zaman	t	saniye	saniye	s
Kütle	m	kilogram	libre	lb
Sıcaklık	T	kelvin	rankine	R
Kuvvet	F	newton	pound-kuvvet	lb_f
Hız	V	metre/saniye	mile	mi
Hacim	V	metreküp	footküp	ft^3
Yoğunluk	p	kilogram/metreküp	poundmass/footküp	lb_m/ ft^3
Özgül hacim	v	metreküp/kilogram	footküp/poundmass	ft^3/ lb_m
Debi (kütlesel, hacimsel)	m	kilogram/saniye, metreküp/saniye	footküp/saniye, poundmass/saniye	ft^3/s, lb_m/s
Basınç	p	pascal	pound/inçkare	psi
Isı	Q	Joule	British Thermal Unit	btu

Günümüzde kullanılan SI birim sistemi ile İngiliz birim sistemi arasındaki uzunluk ve kütle bağıntısı,

1 lbm = 0,45359 kg

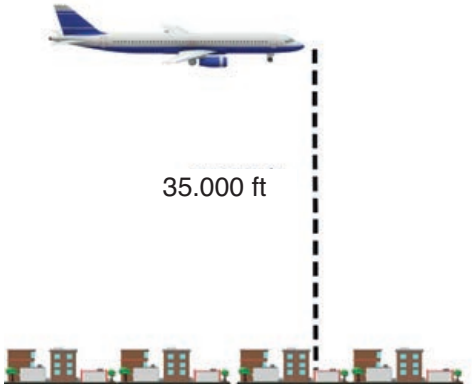
1 ft = 0,3048 m

1 inç = 2,54 cm

şeklindedir.

Örnek

Görsel 1.6'da verilen yolcu uçağı yerden 35.000 ft irtifada düz uçuşunu gerçekleştirmektedir. Buna göre yolcu uçağının yerden yüksekliği kaç m'dir, hesaplayınız.



Görsel 1.6: 35.000 ft yükseklikteki yolcu uçağı

Çözüm

İlk olarak 1 ft = 0,3048 m olduğu yazılır.

1 ft ⟶ 0,3048 m ise aradaki doğru orantı ile

35.000 ft ⟶ 10.668 m bulunur.

1.1.3. Isı ve Özgül Isı

Isı, madde alışverişi olmaksızın sıcaklık farkından dolayı daha yüksek sıcaklıktaki bir sistemden daha düşük sıcaklıktaki bir sisteme iletilen enerjidir. Başka bir deyişle ısı, bir enerji türüdür ve başka enerjilere dönüştürülebilir. Isının sembolü Q ile gösterilir.

Isı birimleri arasındaki ilişki,

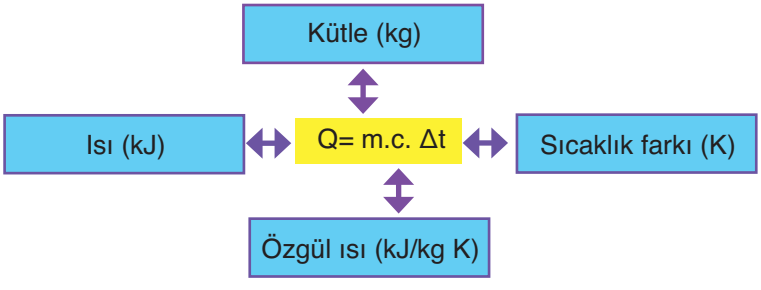
1 cal = 4,186 J

1 Btu = 1,055 kJ

şeklindedir.

Özgül ısı, metrik sistemde 1,5 °C sıcaklığındaki bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını 1 °C artırmak için gerekli ısı olarak tanımlanır.

Bir kapalı sistem için verilen ya da sistemden alınan ısı



formülüyle hasaplanır.

Örnek

Görsel 1.7'de görülen beherlerin sıcaklığı 60 °C'tur. 160 g ve 80 g suya buz parçaları atılmaktadır. Buna göre hangi kapta daha fazla buz erir? Yorumlayınız.



Görsel 1.7: İki farklı kaptaki suyun ısı ile kütle arasındaki ilişki

Çözüm

Aynı sıcaklıkta, aynı türden yapılmış maddelerin kütlesi arttıkça içerisindeki ısı miktarı da artar. O hâlde madde miktarı fazla olan suyun içerisinde bulunan ısı miktarı daha fazladır. Bundan dolayı 160 g su daha fazla buz eritir.

1.1.4. Hacim ve Özgül Hacim

Hacim, bir maddenin fiziksel bir ortamda veya uzayda kapladığı alandır. Sembolü **V** ile gösterilir. **Özgül hacim** ise birim kütledekihacim olarak tanımlanır. Özgül hacmin sembolü **v** ile gösterilir. Formülü,

$$v = \frac{V\ (hacim)}{m\ (kütle)}$$

şeklindedir.

Örnek

Görsel 1.8'deki yangın tüplerinde bulunan halon gazının özgül hacmi 0,70 m^3/kg olan 25 kg gazın hacminin kaç m^3 olduğunu hesaplayınız.



Görsel 1.8: Yangın tüplerinde bulunan halon gazı

Çözüm

Soruda bulunan veriler yazılır.

v= 0,70 m^3/kg

m = 25 kg

V = ?

$$v = \frac{V\ (hacim)}{m\ (kütle)} \longrightarrow v = \frac{V}{25} \longrightarrow v = 0{,}70 \times 25 \longrightarrow 17{,}5\ m^3 \text{ bulunur.}$$

1.1.5. Ağırlık ve Özgül Ağırlık

Ağırlık terimi çoğu zaman **kütle** ile karıştırılır. Kütle, madde miktarı olup fiziksel bir ölçüdür. **Ağırlık**, cisme etki eden yer çekimi kuvvetidir. Bir cismin kütlesi, uzayın herhangi bir noktasında aynı iken ağırlığı yer çekimi ivmesine göre değişiklik gösterir. Örneğin bir insanın dağ zirvesindeki ağırlığı, deniz seviyesindeki ağırlığından daha az olur. Ağırlık, hesaplamayla ya da dinamometre ile ölçülür. Ağırlığın sembolü **W** ile gösterilir. Birimi, SI birim sisteminde **N**'dir [Newton (Nüvtın)].

Formülü,

$W = m.g$ dır. →

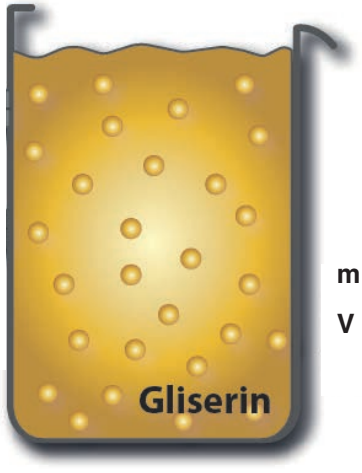
g yer çekimi ivmesidir.
g deniz seviyesinde
SI birim sisteminde g = 9,81 m/s²
İngiliz birim sisteminde g = 32,174 ft/s² sabiti

Bir maddenin birim hacminin ağırlığına **özgül ağırlık** denir. Sembolü γ ile gösterilir. Birimi N/m³ tür. Formülü,

$$\gamma = \frac{W\ (Ağırlık)}{V\ (Hacim)}$$ dir.

Örnek

Görsel 1.9'daki kapta bulunan 1000 kg kütleye sahip gliserinin hacmi 0,950 m³ tür. Gliserinin ağırlığını ve özgül ağırlığını hesaplayınız (g = 9,81 m/s²).



m = 1000 kg
V = 0,950 m³

Görsel 1.9: Gliserin dolu kap

Çözüm

İlk olarak W= m.g formülünde verilenler yerine yazılarak ağırlık bulunur.

$W = m.g \longrightarrow W = 1000 \times 9{,}81 \longrightarrow W = 9810\ N$

Özgül ağırlığını bulmak için elde edilen ağırlık değeri soruda verilen gliserinin hacmine bölünür.

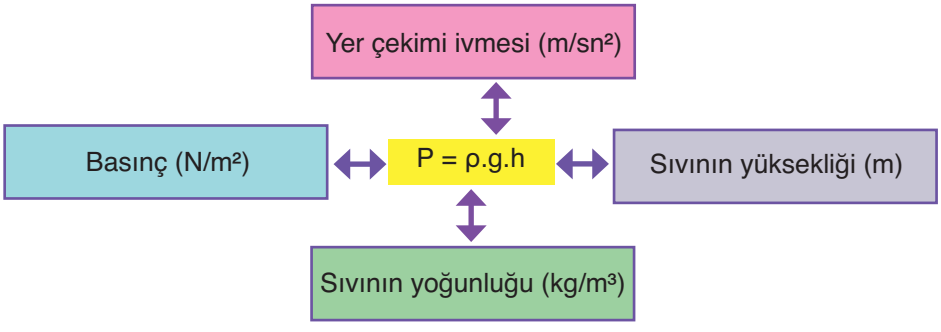
$$\gamma = \frac{W\ (Ağırlık)}{V\ (Hacim)} \longrightarrow \gamma = \frac{9810}{0{,}950} \longrightarrow \gamma = 10.326{,}31\ N/m^3$$

1.1.6. Basınç ve Mutlak Basınç

Basınç, bir akışkanın birim alana uyguladığı kuvvettir. Basınç, gaz ve sıvılar için (akışkanlar) kullanılan bir büyüklüktür. Katı maddeler için basınç ifadesinin karşılığı gerilme ile ilişkilendirilir. Basınç sembolü **P** ile gösterilir. Formülü,

$$F = \frac{F\ (\text{Kuvvet})}{A\ (\text{Yüzey alanı})},\ 1\ Pa = 1\ \frac{N}{m^2}\ \text{dir.}$$

Sıvılarda basınç, derinlik ile doğru orantılı artar. Sıvı basıncının dikey yöndeki etkisi, yerçekimine bağlı değişiklik gösterir. Kabın tabanına sıvının uyguladığı basınç, şu formülle ifade edilir:



Yaygın olarak kullanılan basınç birimlerinin eşitlikleri şöyledir:

1 bar = 10^5 Pa

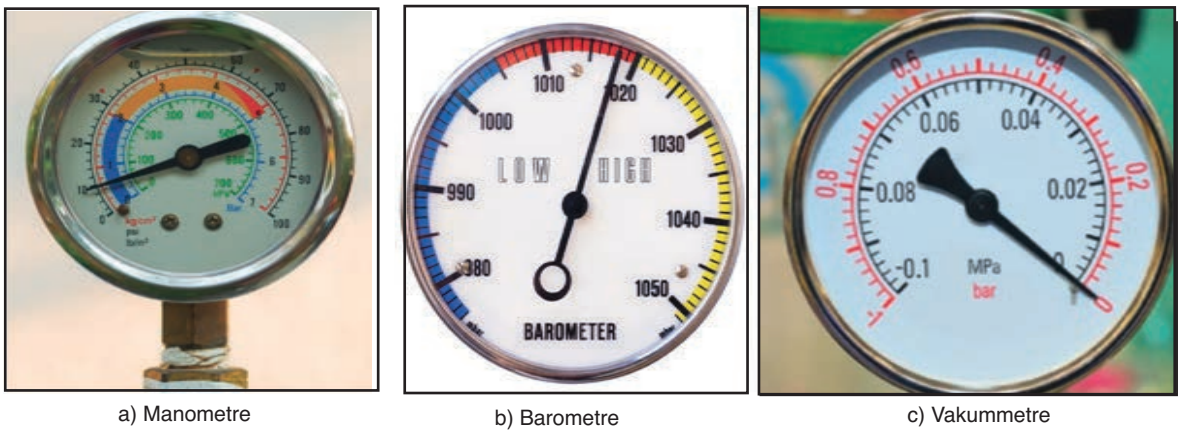
1 atm = 101325 Pa = 760 mm = 1,01325 bar'dır.

Mutlak basınç, seçilen bir konumdaki gerçek basınca denir. Yerel atmosferik basınç (P_{atm}) ile gösterge basıncı ($P_{gösterge}$) toplamı olarak da tanımlanır. Mutlak basınç, P_{mutlak} olarak sembollenir. Basınç ölçmede aşağıda başlıklar hâlinde açıklanan üç tip ölçüm aleti kullanılır.

a) Manometre: Sıvı ve gaz akışkanların basınç ölçümünde kullanılır (Görsel 1.10a).

b) Barometre: Atmosferik basınç ölçümünde kullanılır (Görsel 1.10b).

c) Vakummetre: Atmosferik basıncın altındaki basınçları ölçmede kullanılır (Görsel 1.10c).



a) Manometre b) Barometre c) Vakummetre

Görsel 1.10: Basınç ölçekleri

1.1.7. Isı Transferleri

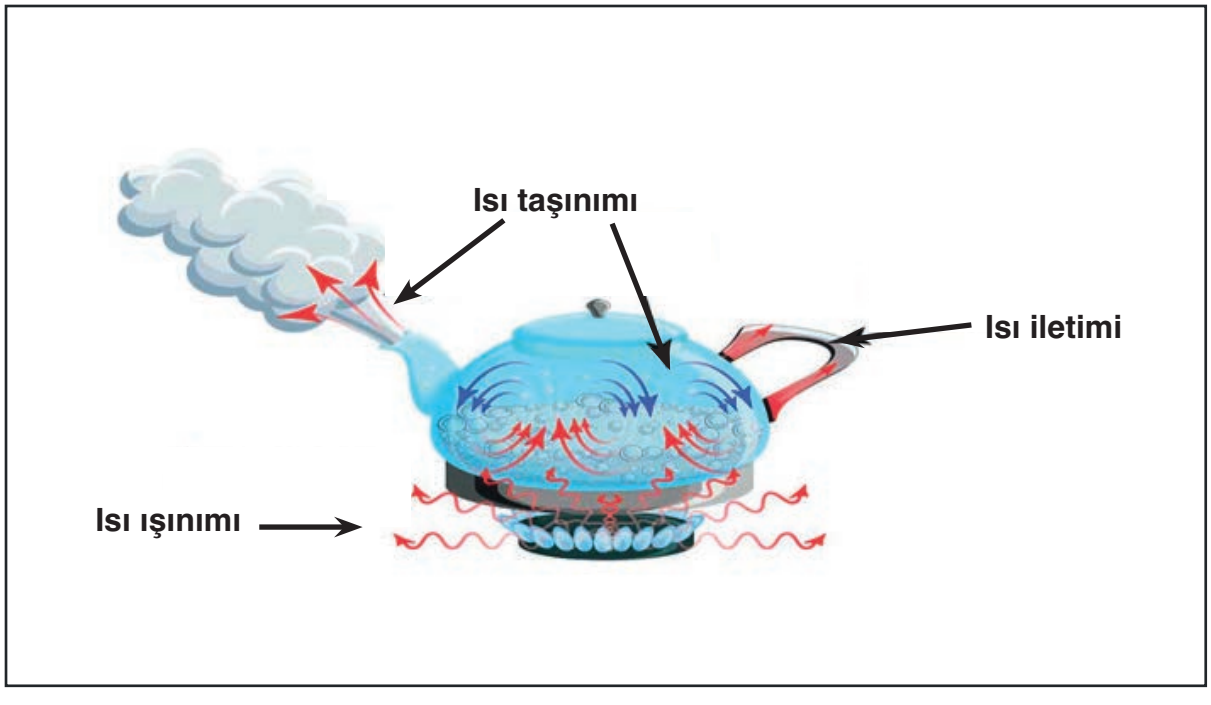
Maddeler arasında sıcaklık farkından kaynaklanan enerji aktarımına **ısı transferi** denir. Isı transferi, her zaman yüksek sıcaklığın olduğu ortamdan düşük sıcaklığın olduğu ortama doğru gerçekleşir. Örneğin masaya konan sıcak bir çayın zaman içerisinde soğumaya başladığı veya dolaptan çıkarılan dondurmanın zamanla erimeye başladığı gözlemlenir. Isı transferleri sıcaklık farkının olduğu herhangi bir noktada görülebilir (Görsel 1.11).



Görsel 1.11: Günlük hayatta karışılaşılabilen ısı transfer alanı

Isı geçişlerinin gerçekleşmesi için sıcaklık farkının olması gerekir. Isı geçişi, üç farklı şekilde transfer olabilir (Görsel 1.12):

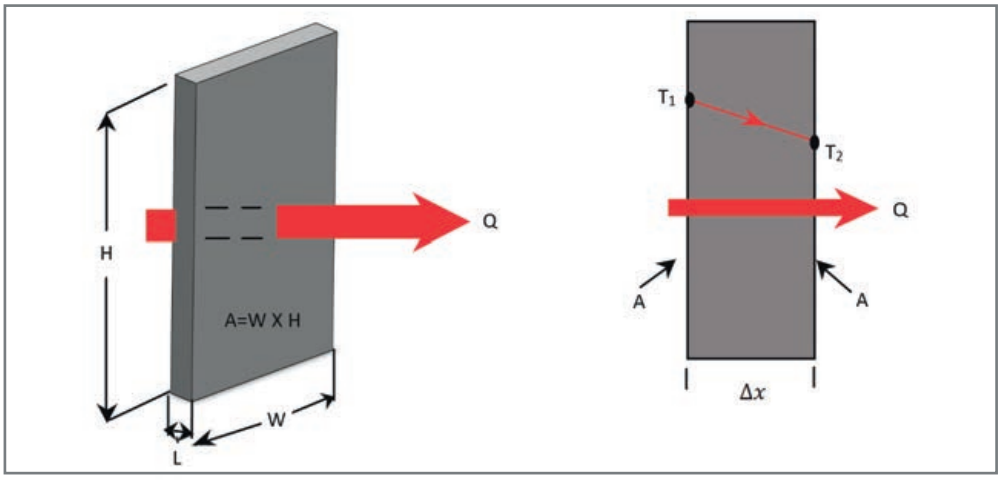
- Isı iletimi (Kondüksiyon)
- Isı taşınımı (Konveksiyon)
- Isı ışınımı (Radyasyon)



Görsel 1.12: Günlük hayatta karşılaşılan ısı transfer mekanizmaları

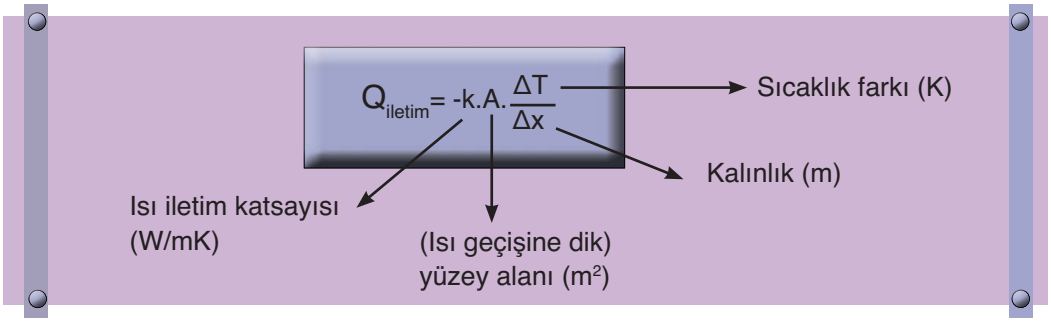
1.1.7.1. Isı İletimi

Bir maddenin içindeki yüksek enerjili moleküllerden yanındaki düşük enerjili moleküllere enerji transferine **ısı iletimi** denir. Bu transfer, moleküler etkileşimlerin bir sonucudur ve katı, sıvı ve gaz ortamlarında gerçekleşebilir. Isı iletimi, katılarda moleküllerin sabit, düzenli titreşimiyle gerçekleşirken; sıvı ve gazlarda rastgele hareket ettiği için moleküllerin birbirleriyle çarpışmasıyla gerçekleşir. Örneğin sıcak bir odada bulunan soğuk meyve suyu kutusu, oda sıcaklığı seviyesine ulaşırken aynı zamanda alüminyum cidardan meyve suyuna havadan ısı iletimi gerçekleşir (Görsel 1.13).



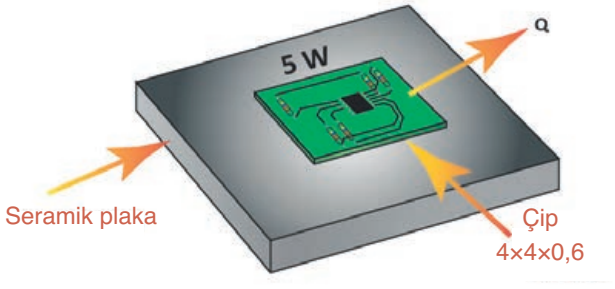
Görsel 1.13: Oda sıcaklığındaki meyve suyu kutusunun alüminyum cidarından ısı iletimi

Isı iletimi ile birim zamanda aktarılan ısı miktarını hesaplamak için Fourier (Furyey) denklemi kullanılır. Fourier denklemi şu şekilde hesaplanır:



Örnek

Görsel 1.14'te verilen 4 mm x 4 mm x 0,6 mm ölçülerindeki seramik plaka ile çip arasındaki sıcaklık farkını hesaplayınız. (Sabit çalışma koşulları mevcuttur. Çipin termal özellikleri sabittir. Silikon çipin ısı iletkenlik katsayısı: k = 130 W/m °C'tur.)



Görsel 1.14: Seramik plaka ile çip arasındaki ısı iletimi

Çözüm

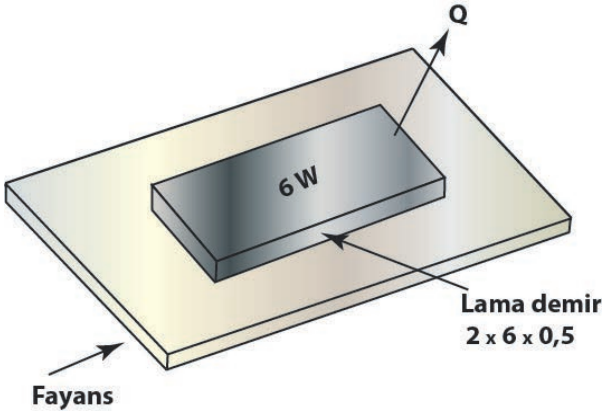
Görsel 1.14'te çipin yüzey alanı A = (0,004 m).(0,004 m) = 0,000016 m² olarak bulunur.

$$Q_{iletim} = -k.A\,\frac{\Delta T}{\Delta x} \longrightarrow \Delta T = -\frac{Q_L.\Delta x}{k.A} = \frac{(5).(0{,}0006)}{(130).(0{,}000016)} = -1{,}44\ ^{o}C \text{ bulunur.}$$

1.3. UYGULAMA: Isı İletiminin Hesaplanması

Amaç: Isı iletimini hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 1.15: Fayans ile lama demir arasındaki ısı iletimi

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

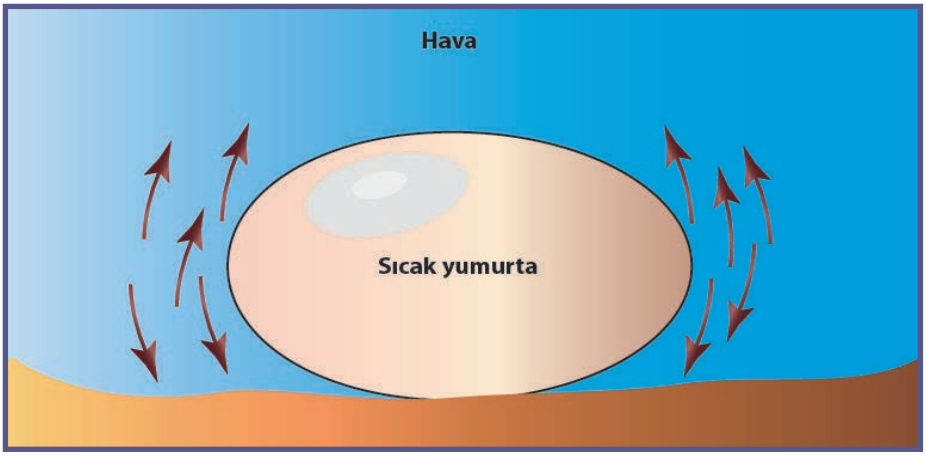
İşlem Basamakları

1. Görsel 1.15'te verilen fayans ile lama demir arasındaki sıcaklık farkını hesaplayınız. (Sabit çalışma koşulları mevcuttur. Lama demirin termal özellikleri sabittir. Lama demirin ısı iletkenlik katsayısı k = 80 W/m °C'tur. Çipin ebatları mm ölçü birimindedir.)
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

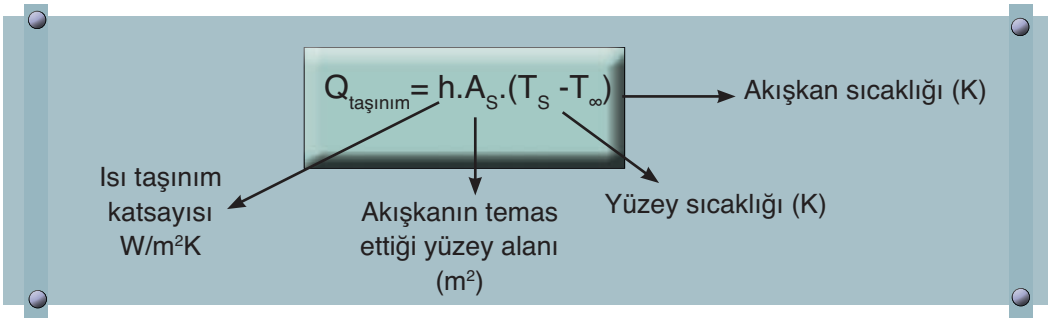
1.1.7.2. Isı Taşınımı

Taşınım, katı bir yüzey ile ona temas eden hareket hâlindeki sıvı veya gaz arasındaki ısı geçişidir. Akışkan hareketi ne kadar hızlı ise taşınımla ısı geçişi de o kadar çok olur. Örneğin kaynamış yumurta tencereden alınıp soğuk su ile yıkanırken oluşan akışkan hareketi sebebiyle ısı taşınımı olur (Görsel 1.16).



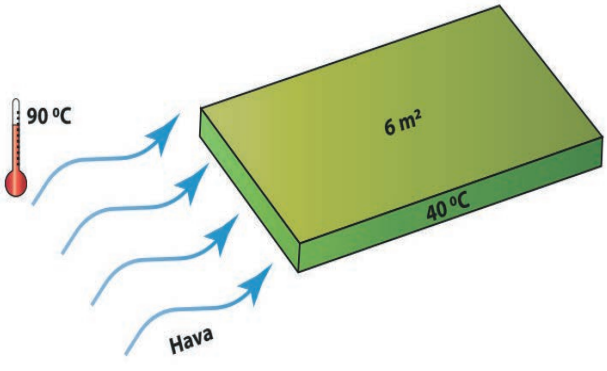
Görsel 1.16: Kaynamış yumurtanın taşınım ile soğutulması

Isı taşınımı ile birim zamanda aktarılan ısı miktarını hesaplamak için Newton'ın soğutma yasası adı verilen bağıntı kullanılır. Newton'ın soğutma yasası şu şekilde açıklanır:



Örnek

Görsel 1.17'de 90 °C'luk sıcak hava 40 °C'luk düz bir yüzeye üflenmektedir. Akışkanın temas ettiği yüzey alanı 6 m²dir. Hava ile yüzey arasındaki konveksiyon yoluyla ısı transferini hesaplayınız. (Sabit çalışma koşulları mevcuttur. Radyasyon yoluyla ısı transferi dikkate alınmamıştır. Ortam eşit sıcaklıktadır. Taşınım katsayısı: 55 W/m² °C)



Görsel 1.17: Hava ile yüzey arasındaki ısı taşınımı

Çözüm

$Q_{taşınım} = h.A_S.(T_S - T_\infty)$ formülünde veriler yerleştirilir.

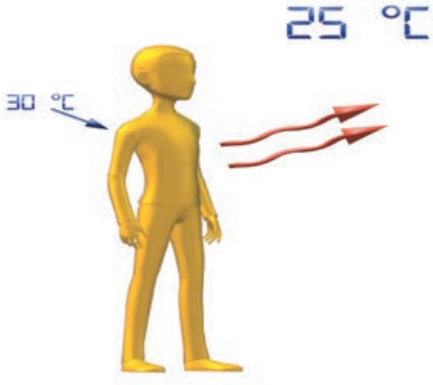
$Q_{taşınım} = 55.6.(40 - 90)$

$Q_{taşınım} = -16.500$ W sonucuna ulaşılır.

1.4. UYGULAMA: Isı Taşınımı ile Isı Transferinin Hesaplanması

Amaç: Isı taşınımı ile hesaplama yapmak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 1.18: İnsandan çevreye ısı geçişi

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

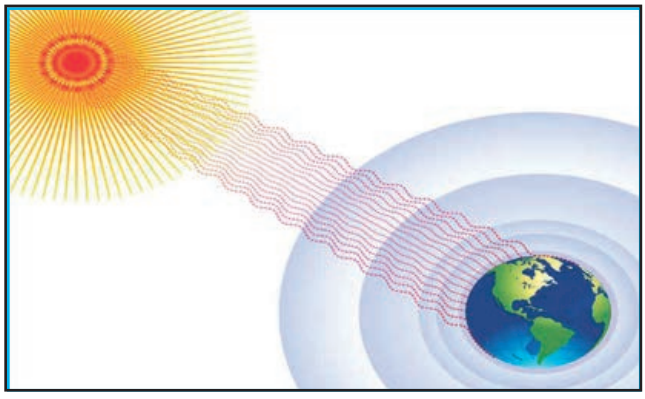
İşlem Basamakları

1. Görsel 1.18'de bir kişi 25 °C sıcaklıktaki bir odada durmaktadır. Bu kişinin yüzey alanı 1,4 m^2 ve deri sıcaklığı 30 °C'tur. Kişi ile çevredeki hava arasındaki konveksiyon yoluyla ısı transferini hesaplayınız. (Sabit çalışma koşulları mevcuttur. Radyasyon yoluyla ısı transferi dikkate alınmamıştır. Ortam eşit sıcaklıktadır.Taşınım katsayısı: 5 W/m^2 °C)
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

1.1.7.3. Isı Işınımı

Sonlu sıcaklığa sahip bir cismin atom veya moleküllerinin elektromanyetik dalgalar hâlinde yayılması ile gerçekleşen enerji aktarımına ısı ışınımı denir. İletim ve taşınımdan farklı olarak ışınımla ısı transferi için bir ortama ihtiyaç duyulmaz. Isı transferi, aksine ışınımla boşlukta daha aktif bir biçimde gerçekleşir. Mutlak sıfır (0 K = -273 °C) derecesinin üzerindeki bütün maddeler ısı yayar. Güneş enerjisinin yeryüzüne ulaşması da ısı ışınımı ile geçekleşir (Görsel 1.19).



Görsel 1.19: Güneş enerjisinin ısı ışınımı ile yeryüzüne ulaşımı

Isı ışınımı ile T_s mutlak sıcaklığındaki bir yüzeyden birim zamanda yayılabilecek maksimum ışınım miktarını hesaplamak için Stefhan-Boltzman kanunu adı verilen bağıntı kullanılır. Stefhan-Boltzman kanunu şu bağıntıyla açıklanır:

$$Q_{yayılan} = \sigma . A_s . T_s^4$$

- σ: Stefhan-Boltzman sabiti: $5{,}670 \times 10^{-8}$ (W/m²K⁴)
- A_s: Yüzey alanı (m²)
- T_s: Yüzey mutlak sıcaklığı (K)

Gerçek bir cismin yaydığı ışınım, aynı sıcaklıkta siyah cismin yaydığı ışınımdan daha azdır. Gerçek cismin ışınım yayma gücü şu şekilde hesaplanır:

$$Q_{yayılan} = \varepsilon . \sigma . A_s . (T_s^4 - T_{çevre}^4)$$

- ε: Yayma oranı
- σ: Stefhan-Boltzman sabiti: $5{,}670 \times 10^{-8}$ (W/m²K⁴)
- A_s: Yüzey alanı (m²)
- T_s: Yüzey mutlak sıcaklığı (K)
- $T_{çevre}$: Dış yüzey sıcaklığı (K)

Örnek

Güç tüketen kapalı bir elektronik kutu, bir vakum odasına yerleştirilmiştir. Bu kutunun yalnızca radyasyonla soğutulması ve kutunun dış yüzey sıcaklığının 32 °C'u aşmaması gerekmektedir. Elektronik kutunun yüzey alanı 1,7 m²dir. Çevre yüzeyinin koruması gereken sıcaklık 300 K'dir. **Buna göre tüketilen güç kaç W olur?** [Stefhan-Boltzman sabiti: $5{,}670 \times 10^{-8}$ (W/m²K⁴), ε = 0,7'dir.]

Çözüm

Gerçek bir cismin yaydığı ışınım için kullanılan formülde veriler yerine yazılır.

$Q_{yayılan} = \varepsilon . \sigma . A_s . (T_s^4 - T_{çevre}^4)$ $\quad Q_{yayılan} = (0{,}7).(5{,}670 \times 10^{-8}).(1{,}7).[(32 + 273K)^4 - (300K)^4)]$

$Q_{yayılan} = 37{,}4$ W bulunur.

1.5. UYGULAMA: Isı Işınımı ile Isı Transferinin Hesaplanması

Amaç: : Isı ışınımını hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



E= 0,95

W= 60

Ts= 55 °C

As= 0,48 m²

Görsel 1.20: Yazıcı

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 1.20'de verilen güç tüketen yazıcı, bir vakum odasına yerleştirilmiştir. Bu yazıcının radyasyonla soğutulması ve yazıcının dış yüzey sıcaklığının 55 °C'u aşmaması gerekmektedir. Çevre yüzeyinin koruması gereken sıcaklık 296,3 K'dir. Buna göre tüketilen güç kaç W olur? [Stefhan-Boltzman sabiti: 5,670 x 10^{-8}(W/m²K⁴)]
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
Sınıfı / Numarası	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

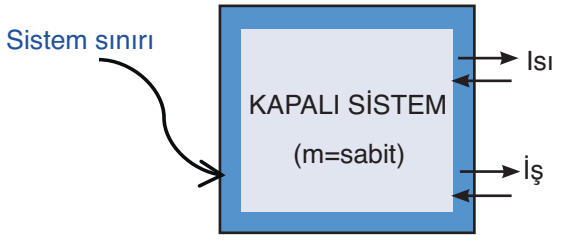
1.2. TERMODİNAMİK KANUN HESAPLAMALARI

Termodinamik, enerjinin nasıl transfer edildiğini ve dönüştürüldüğünü anlamaya yardımcı olan bir dizi kanun ve prensiple uğraşır. Bu kanunlar; enerjinin korunumu, ısı transferi ve çalışma ile ilgili temel prensipleri içerir. Termodinamiğin temel amacı, enerjinin çeşitli formları arasındaki dönüşümleri anlamak ve bu dönüşümleri matematiksel olarak ifade etmektir.

1.2.1. Termodinamiğin Birinci Kanunu

Enerjinin farklı biçimleri ve bu biçimler arasındaki etkileşimler, termodinamik alanında incelenir. Deneysel gözlemlere dayanarak enerjinin var olamayacağını veya yok edilemeyeceğini ancak bir biçimden diğerine dönüşebileceğini gösterir. Bu temel prensip, **enerjinin korunumu ilkesi** olarak bilinir ve termodinamik sistemler üzerinde uygulanır. Evrenin toplam enerjisi sabittir. Sistemde enerji kaybı var ise çevre tarafından bu enerji alınmış demektir. Örneğin sıcak bir patatesin bir süre sonra soğuduğu gözlemlenir. Patatesle ortam arasındaki sıcaklık dengelenene kadar enerji geçişi olur.

Kapalı bir sistem için termodinamiğin birinci yasası, enerji korunumu ilkesini şöyle ilişkilendirir: Sisteme giren veya sistemden çıkan net enerji geçişi, **ısı** veya **iş** olarak nitelendirilir ve sistemin toplam enerjisindeki net artış veya azalmaya eşittir (Görsel 1.21).



Görsel 1.21: Kapalı bir sitemin sınırlarından enerji, iş veya ısı geçişi

Kapalı sistemlerle ilgili enerji değişimi $E = Q - W$ formülü ile hesaplanır.

Q: Sistem sınırlarından net ısı geçişi (kJ)

W: Sistem sınırlarındaki net iş (kJ)

E: Sistemdeki toplam enerji değişimi (kJ)

Sisteme giren ısı pozitif (+), sistemden çıkan ısı negatif (-) ve sistem tarafından yapılan iş pozitif (+), sistem üzerinden yapılan iş negatif (-) olarak kabul edilir.

Örnek

Görsel 1.22'de verilen rijit bir tank içindeki sıcak akışkan, parvane vasıtasıyla soğutulmaktadır. Başlangıçta akışkanın iç enerjisi 900 kJ'dür. Soğutma işlemi boyunca akışkan 167,22 kcal ısı kaybetmiştir. Pervaneye verilen iş 200 kJ olduğuna göre son durumdaki akışkanın iç enerjisini hesaplayınız.

Çözüm

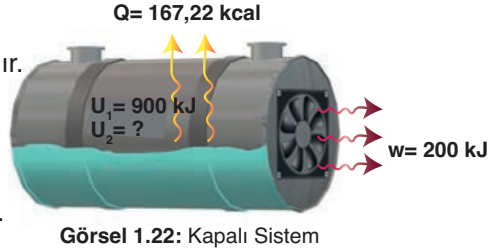
1 kcal = 4,184 kJ ise

167,22 kcal = -700 kJ→ ısı kaybı olduğu için eksi (-) işareti alır.

$\Delta E = Q - W$ formülünde verilenler yerine konulur.

$U_2 - U_1 = Q - W$

$U_2 - 900 = -700 - (-200)$→ denkleminden $U_2 = 400$ kJ bulunur.

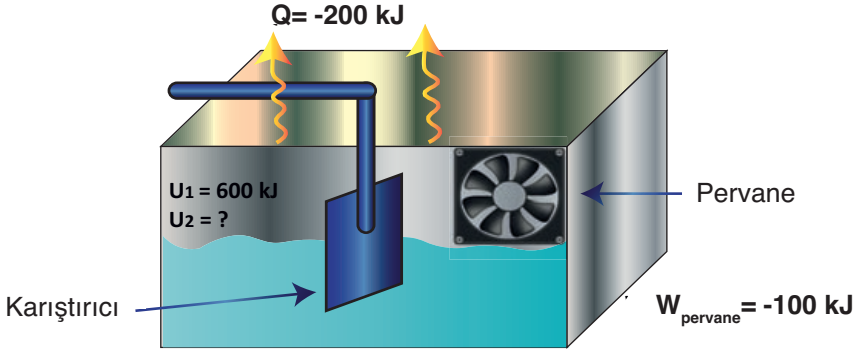


Görsel 1.22: Kapalı Sistem

1.6. UYGULAMA: Termodinamik Hesabının Yapılması

Amaç: Termodinamiğin birinci kanununa göre hesaplama yapmak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 1.23: Kapalı Sistem

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

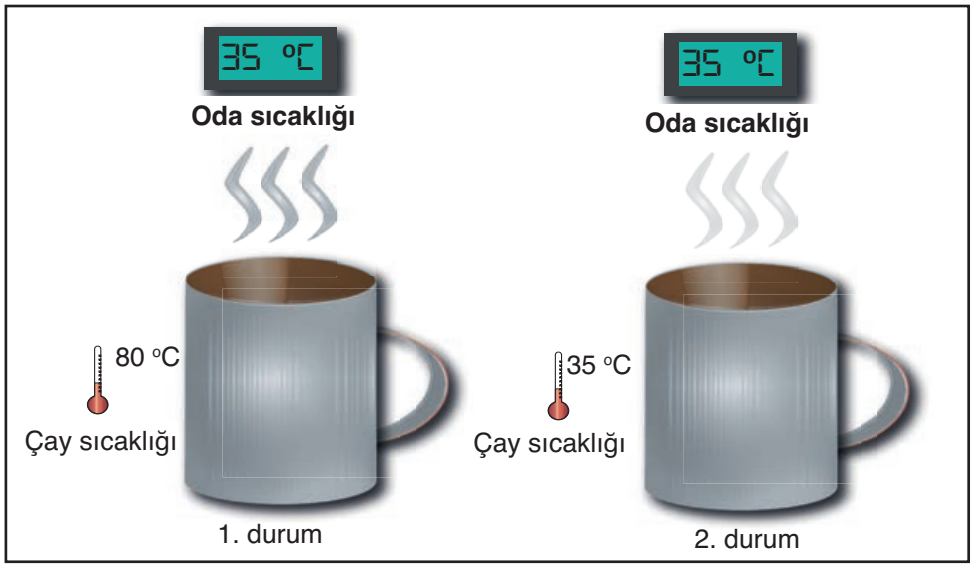
İşlem Basamakları

1. Görsel 1.23'te sabit hacimli bir kapta bulunan sıcak sıvı soğutulurken aynı zamanda da karıştırılmaktadır. Başlangıçta sıvının iç enerjisi 600 kJ'dür. Soğutma esnasında çevreye 200 kJ ısı geçişi olmaktadır. Sıvıyı karıştırırken yapılan iş 100 kJ'dür. Sıvının son durumdaki toplam enerjisini hesaplayınız.
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

1.2.2. Termodinamiğin İkinci Kanunu

Termodinamiğin ikinci kanunu, enerjinin miktarının yanı sıra niteliğinin de önemli olduğunu vurgular. Doğadaki değişimler genellikle enerjinin niteliğini azaltan bir yönde meydana gelir. Görsel 1.24'te bulunan sıcak çay zamanla soğur. Çayın kaybettiği enerji, ortamdaki havanın kazandığı enerjiye eşittir, bu da birinci kanunu destekler. Ancak bu örnekte olduğu gibi hâl değişimleri belirli bir yönde gerçekleşir ve tersine dönmez. Bu durumda sıcak çayın ortamdan enerji alarak kendiliğinden ısınması gibi bir olay mümkün değildir.



Görsel 1.24: Fincandaki çayın 1. durumdan 2. duruma hal değişimi

Termodinamiğin birinci kanunu, enerji korunumu ilkesini ortaya koyarken hâl değişimlerinin hangi yönde olacağına dair bir kısıtlama getirmez. Termodinamiğin ikinci kanunu ise doğadaki olayların belirli bir yönde gerçekleşme eğiliminde olduğunu ifade eder (Görsel 1.25).

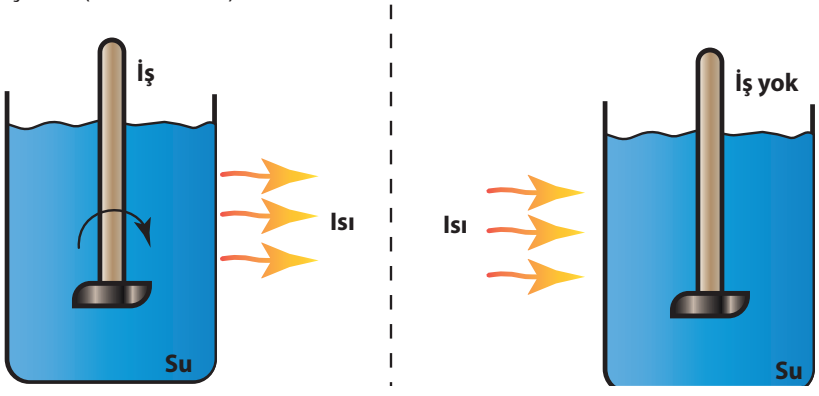


Görsel 1.25: Termodinamiğin birinci ve ikinci kanununun gerçekleşmesiyle hâl değişimi

1.2.2.1. Isı Makineleri

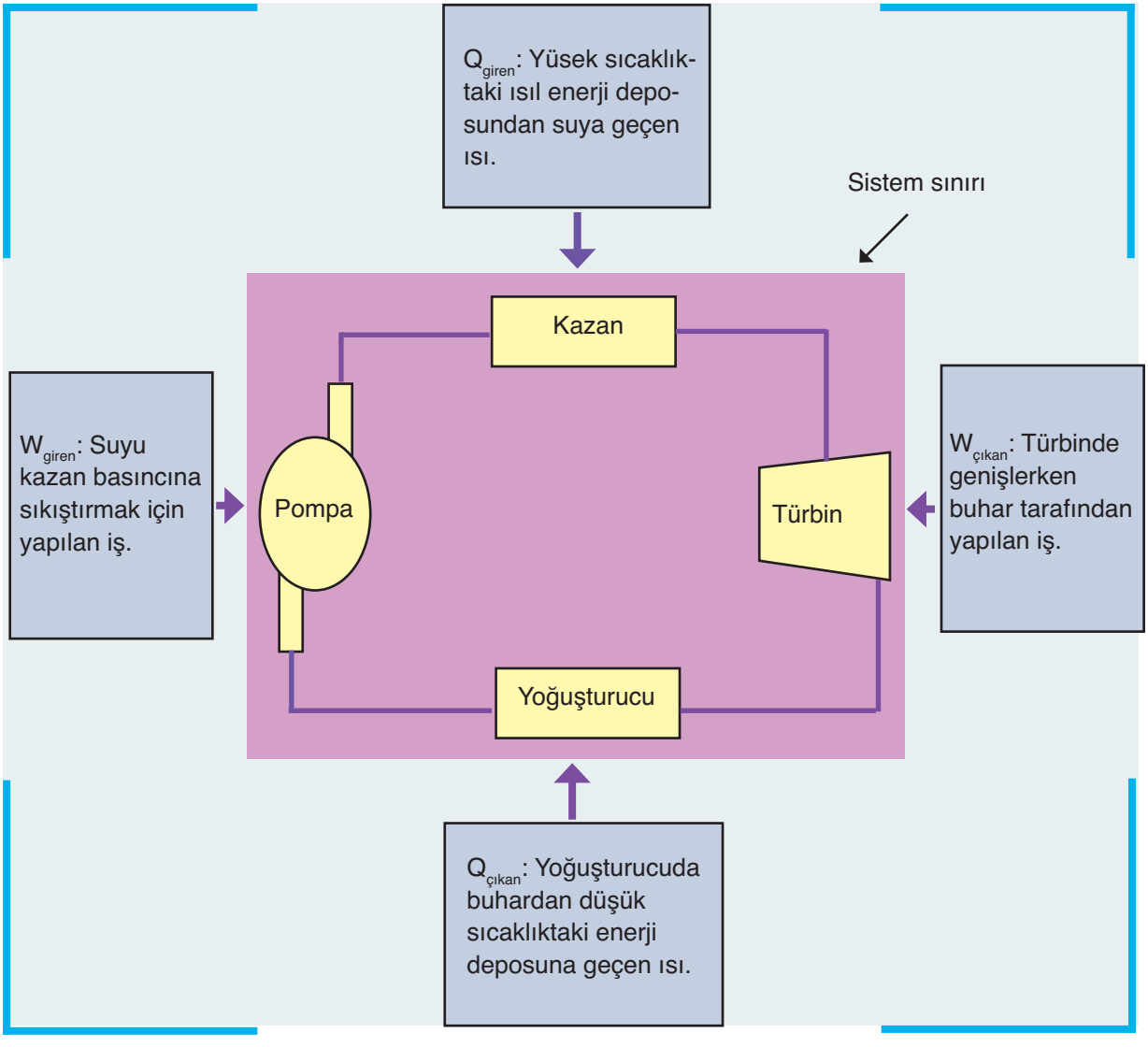
Termodinamiğin ikinci kanunu, enerjinin niteliği ve hâl değişimi sırasında bu niteliğin nasıl azaldığını somut bir şekilde ortaya koyar. Aynı sıcaklık seviyesindeki enerji, işe dönüştürülebilir. Yüksek sıcaklıktaki enerjinin niteliği, düşük sıcaklıktaki enerjinin niteliğine göre daha yüksektir. Enerji biçimlerini işe dönüştürmek zordur ancak işi enerji biçimlerine dönüştürmek zor değildir. Örneğin su dolu bir kap içerisinde bulunan milin dönme hareketiyle yapılan iş sonucu; önce suyun iç enerjisi artar ve bu enerji,

çevreye ısıl enerji olarak geçer ancak ısıl enerjinin tamamı mili döndürmek için işe dönüştürülemez. Isıl enerjinin işe dönüşmesi için ısı makinelerine ihtiyaç vardır. İşin tamamı ısıl enerjiye dönüşebilirken ısının tamamı işe dönüşmez (Görsel 1.26).



Görsel 1.26: İş ve ısıl enerji arasındaki ilişki

Isı makinelerinin çalışma prensibine en uygun sistem, dıştan yanmalı motor özellikli buharlı güç santralidir. Görsel 1.27'de buhar santralinin basitleştirilmiş görseline yer verilmiştir.



Görsel 1.27: Buharlı güç santralinin basitleştirilmiş çizimi

Güç santralinde elde edilen net iş, santralin yaptığı toplam iş ile santrale sağlanması gereken iş arasındaki fark ile elde edilir. Net iş,

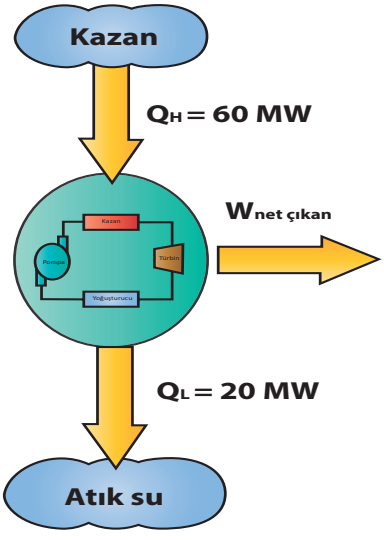
$W_{net\ çıkan} = W_{çıkan} - W_{giren}$ formülüyle bulunur.

Net iş, aynı zamanda ısı transferleri göz önüne alınarak da hesaplanabilir. Kapalı bir sistemde aracı akışkanın borulardan ve diğer elemanlardan geçerken uğradığı ısı kaybı ihmal edilirse iç enerji değişimi sıfır olacağı için net iş, net ısı alışverişine eşit olur.

$W_{net\ çıkan} = Q_{çıkan} - Q_{giren}$ formülüyle bulunur.

Isı makinesinin etkinliğinin bir ölçüsü, girilen ısıl enerjinin net işe dönüşebilen kısmıdır. Bu etkinlik, **ısıl verim** olarak tanımlanır ve genellikle η_{th} ile gösterilir. Formülü,

$$\eta_{th} = \frac{W_{net\ çıkan}}{Q_{giren}}$$ şeklinde ifade edilir.



Görsel 1.28: Isı makinesi

Örnek

Görsel 1.28'de ısı makinesine kazandan 60 MW ısı geçişi olmaktadır. Isı makinesinin yakındaki bir akarsuya atık olarak verdiği ısı 20 MW'tır. Isı makinesinin net gücü ve ısıl verimini hesaplayınız. (Aracı akışkanın ısı kayıpları ihmal edilecektir.)

Çözüm

Burada analiz edilmesi gereken ısı makinesi için kazan, yüksek sıcaklıktaki ısıl enerji deposudur. Akarsu ise düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposudur. O zaman ısı makinesinin aldığı ve verdiği ısılar,

$Q_{çıkan} = 20$ MW $Q_{giren} = 60$ MW olur.

Aracı akışkanın ısı kayıpları ihmal edilirse $W_{net\ çıkan} = Q_{çıkan} - Q_{giren}$ formülüyle bulunur.

$W_{net\ çıkan} = 60$ MW $- 20$ MW $W_{net\ çıkan} = 40$ MW bulunur.

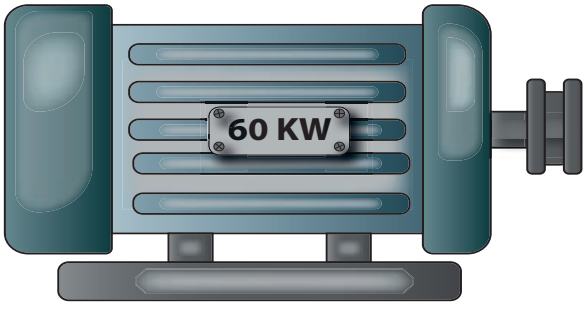
Isıl verimi bulmak için $\eta_{th} = \frac{W_{net\ çıkan}}{Q_{giren}}$ formülünde verilenler yerine yazılır.

$\eta_{th} = \frac{40\ MW}{60\ MW} = 0{,}666$ olarak bulunur.

1.7. UYGULAMA: Termodinamiğin İkinci Kanunuyla İlgili Hesap Yapılması 1

Amaç: Isı makineleri ile ilgili hesap yapmak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 1.29: Asenkron motorundaki ısıl verim

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 1.29'daki asenkron motor 60 kW gücüne sahiptir. Isıl verim yüzdesi 25 olan asenkron motorun enerji girişini hesaplayınız.
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
Sınıfı / Numarası	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

1.3. İDEAL GAZ KANUNU HESAPLAMALARI

Bazı imalat işlerinde ve ısı makinelerinde akışkan kullanımı sürecinde gaz karışımları tercih edilir. Gaz karışımının özellikleri, karışımı oluşturan gazlara ve gazların özelliklerine bağlı değişkenlik gösterir. Bu durumda gazların kimyasal reaksiyona girmemesi ve ideal olarak kabul edilmesi önemlidir.

1.3.1. Gaz Kanunları

Gaz kanunları; basınç (P), sıcaklık (T), hacim (V) gibi termodinamik değişkenler arasındaki ilişkileri açıklayan bir dizi kural içerir.

1.3.1.1. Boyle-Mariotto Kanunu

Boyle-Mariotto (Boyal-Maryot) kanununa göre sabit sıcaklıkta belirli ölçüde alınan bir gazın basıncı ve hacminin çarpımı sabittir.

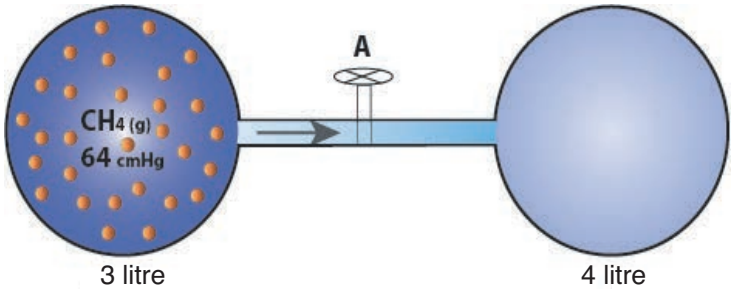
$$P. V = Sabit$$

Buna göre herhangi bir gazın ilk ve son hâlinin hacim-basınç ilişkisi için

$$P_1.V_1 = P_2.V_2$$ eşitliği kullanılabilir.

Örnek

Görsel 1.30'daki sistemde sabit sıcaklıkta A musluğu açıldığında CH_4 gazının basıncı kaç cmHg olur, hesaplayınız.



Görsel 1.30: CH_4 gaz basıncı

Çözüm

Soruda sıcaklık (T) ve mol kütlesinin (n) sabit olduğu anlaşılmaktadır.

$P_1.V_1 = P_2.V_2$ eşitliği kullanılır.

$64.3 = P_2.4$

$P_2 = 48$ cmHg sonucuna ulaşılır.

1.3.1.2. Gay-Lussac ve Charles Kanunları

Charles (Şarl) kanununa göre sabit bir basınç altında herhangi bir miktar ideal gazın hacminin artması veya azalması, sıcaklığın aynı oranda artması veya azalmasıyla gerçekleşir ve şu şekilde gösterilir:

$$\frac{V}{T} = Sabit$$

Bağıntıya göre sabit basınç altındaki ideal gazın hacim ve sıcaklık arasındaki ilişkisi belirli bir formülle ifade edilebilir. Bu formül şu şekilde gösterilir:

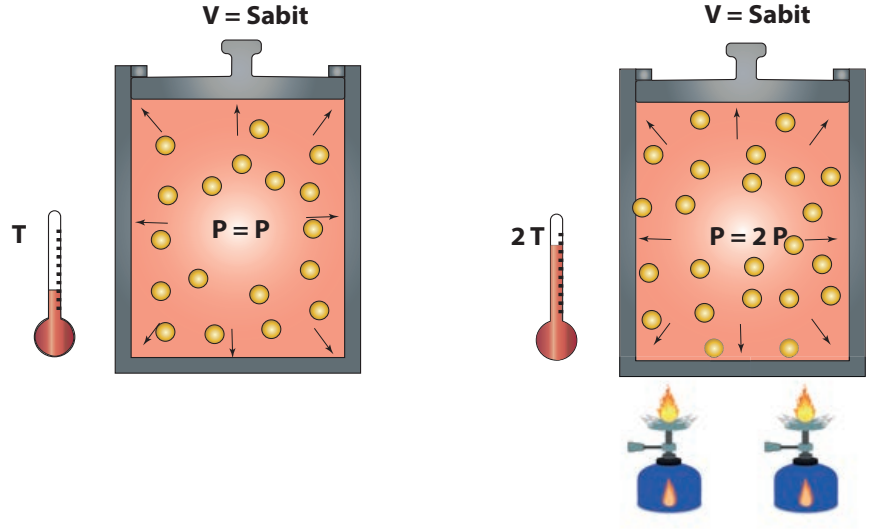
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \;,\; \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \;,\; V_1.T_2 = V_2.T_1$$

Gay-Lussac (Gay-Lüsak) kanununa göre maddenin ortalama kinetik enerjisi ile sıcaklık arasında yakından bir ilişki vardır. Bir maddenin sıcaklığı ile kinetik enerjisi arasında doğru orantı vardır. Sıcaklık arttıkça maddenin kinetik enerjisi artar. Bu durum, gazın bulunduğu kap içindeki gaz moleküllerinin kabın duvarlarına çarpma sıklığını artırarak daha fazla basınç uygulamasına neden olur. Maddenin farklı durumları arasındaki ilişkiyi açıklamak için şu bağıntılar kullanılır:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \;,\; \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \;,\; P_1.T_2 = P_2.T_1$$

Örnek

Görsel 1.31'deki sabit hacimli bir kapta bulunan bir miktar gaz ısıtılıyor. Gazda meydana gelen durum değişikliğini açıklayınız.



Görsel 1.31: Sabit hacimli kaptaki durum değişikliği

Çözüm

Sıcaklığın artmasına bağlı olarak basınçta da artış olur. Sıcaklığın iki katına çıktığı düşünüldüğünde taneciklerin ortalama kinetik enerjisi de artar ve daha hızlı hareket eder. Hıza bağlı olarak taneciklerin çarpışma sayısı artar. Birim zamandaki çarpışma sayısı arttıkça basınçta da artış olur.

1.3.1.3. Avogadro Kanunu

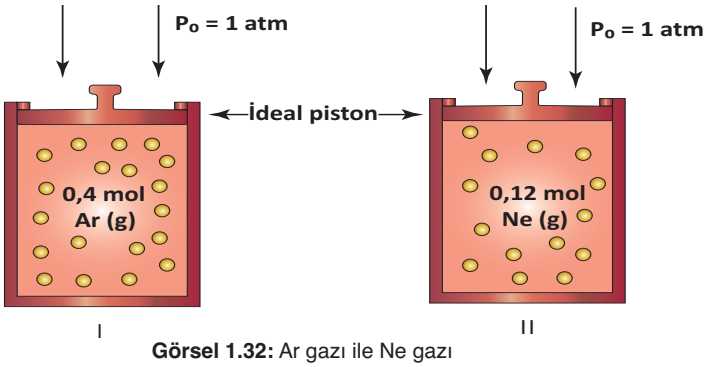
Bütün ideal gazlar sabit sıcaklık ve basınçta, hacmi ile aynı miktarda molekül içerir. Normal şartlar altında 1 mol gaz 6,02 x 10^{23} adet molekül içerir. Avogadro kanununa ilişkin bu ifadeler,

$$\frac{P_1.V_1}{T_1.n_1} = \frac{P_2.V_2}{T_2.n_2}$$

şeklinde de yazılır.

Örnek

Sabit sıcaklıkta ve basınçta aynı şartlarda bulunan gazlardan Görsel 1.32'deki birinci kapta Ar gazının hacmi 8 litre olduğuna göre ikinci kaptaki Ne gazının hacminin kaç litre olduğunu hesaplayınız



Görsel 1.32: Ar gazı ile Ne gazı

Çözüm

Sıcaklık ve basınç sabit olduğuna göre

$$\frac{P_1 . V_1}{T_1 . n_1} = \frac{P_2 . V_2}{T_2 . n_2} \longrightarrow \frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$ eşitliği elde edilir.

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \longrightarrow \frac{8}{0,4} = \frac{V_2}{0,12} \longrightarrow V_2 = 2,4 \text{ l olur.}$$

1.3.1.4. İdeal Gaz Denklemi

İdeal gaz denklemi, Boyle-Morriotte, Avogadro, Gay-Lussac ve Charles kanunlarındaki basınç, sıcaklık, hacim, gaz sabiti gibi bütün değişken parametreler kullanılarak bu bağıntı elde edilir. Bu kanunlara göre basınç, sıcaklık ve özgül hacim arasında

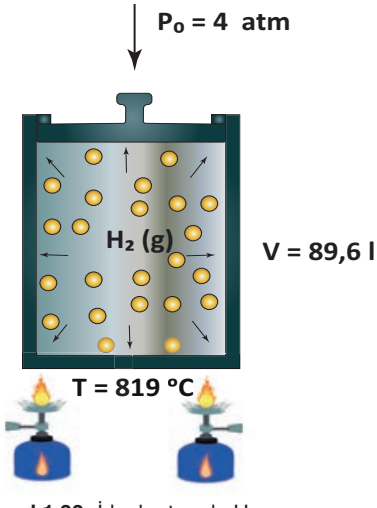
$$\frac{P.V}{T} = \text{Sabit}$$ ilişkisi geçerlidir. Buradaki R (J/kgK) ideal gaz sabiti olup R = 8,314 (kJ/kmolK) evrensel değeridir.

$$p.V = R.T$$

$V = \frac{v}{m}$ olduğu için m (kg) gaz için ideal gaz denklemi, $p.V = m.R.T$ denklemi elde edilir.

Örnek

Görsel 1.33'te bir miktar ideal H_2 gazı bulunmaktadır. H_2 gazı 819 °C'ta 89,6 litrelik kaba 4 atm basınç yapmaktadır. Buna göre kapta bulunan H_2 gazının kaç mol olduğunu hesaplayınız [R = 8,314 (kJ/kmolK)].



Görsel 1.33: İdeal ortamda H_2 gazı

Çözüm

İdeal gaz denklemi p.V = m.R.T'dir.

T → 819 °C + 273 = 1092 K

V → 89,6 L

P → 4 atm

R → 8,314 (kJ/kmolK) = $\frac{22,4}{273}$

p.V = m.R.T formülünde veriler yerine yazılır.

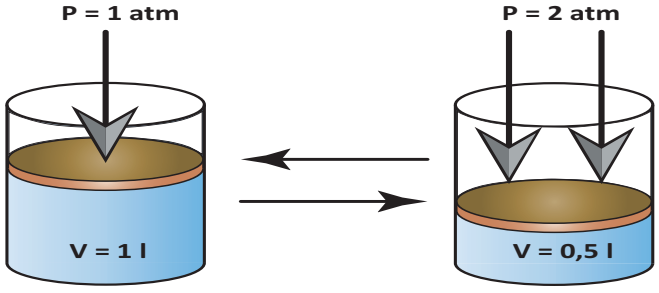
$4.89,6 = n.\frac{22,4}{273}.1092$

4 mol = n sonucuna ulaşılır.

1.8. UYGULAMA: İdeal Gaz Kanunu ile İlgili Hesaplamanın Yapılması

Amaç: İdeal gaz kanunu ile ilgili hesaplama yapmak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 1.34: Pistonun birinci ve ikinci durumu

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

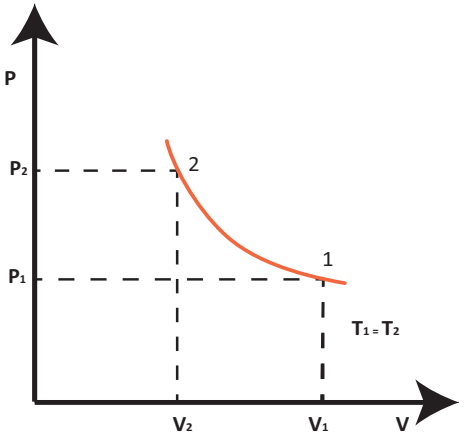
İşlem Basamakları

1. Görsel 1.34'te bir pistonun belirli bir sıcaklıkta iki farklı durumu verilmiştir. İkinci durumda pistonun hacmini hesaplayınız.
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

1.3.2. Gazların Durum Değişiklikleri

Günümüzde kullanılan pistonlu kompresörler ve pistonlu motorlar gibi karmaşık sistemler, termodinamik koordinatlar kullanılarak teorik çevrimlerle analiz edilir. Bu çözümleme sırasında genellikle kullanılan termodinamik koordinatlar şunlardır: sıcaklık ve entropi ile basınç, hacim ya da özgül hacim. Termodinamikte, makine çalışma maddesinin ideal bir gaz olduğu ve hâl değişimlerinin sabit olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılır. Bu varsayımlar, analizi kolaylaştırarak daha anlaşılır sonuçlar elde edilmesine yardımcı olur.



Grafik 1.1: İzoterm durum değişikliği

1.3.2.1. Sabit Sıcaklıkta Durum Değişikliği

Termodinamik işlem sırasında sistemin sınırları içerisinde sıcaklık sürekli aynı kalıyorsa bu işleme sabit sıcaklıkta (**izoterm**) **durum değişikliği** denir. Bu tür durum değişimlerine kimyasal reaktörler örnek gösterilebilir.

Grafik 1.1 incelendiğinde 1 ve 2 konumları arasındaki durum denklemi,

$$P_1.V_1 = R.T$$

$$P_2.V_2 = R.T$$

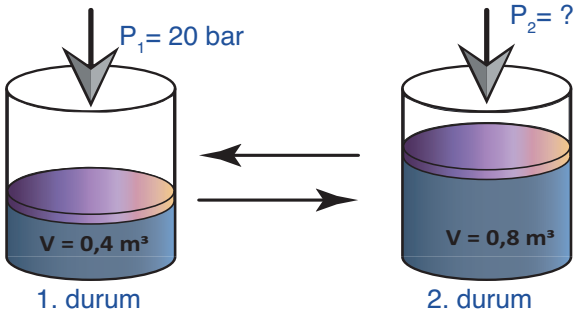
şeklinde yazılarak değişen parameterler arasında

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

bağıntısı tespit edilir.

Örnek

Görsel 1.35'te görülen sızdırmaz ve sürtünmesiz bir silindir-piston sistemi, birinci durumda 20 bar basınca sahip 0,4 m^3 hacmindeki havayı içermektedir. Piston, ikinci durumda hacmi 0,8 m^3 oluncaya kadar genişletilmektedir. İşlem sırasında sıcaklık sabit kaldığına göre havanın son basıncı kaç bar olur? Hesaplayınız.



Görsel 1.35: Pistonun birinci ve ikinci durumu

Çözüm

Sıcaklık sabit ise

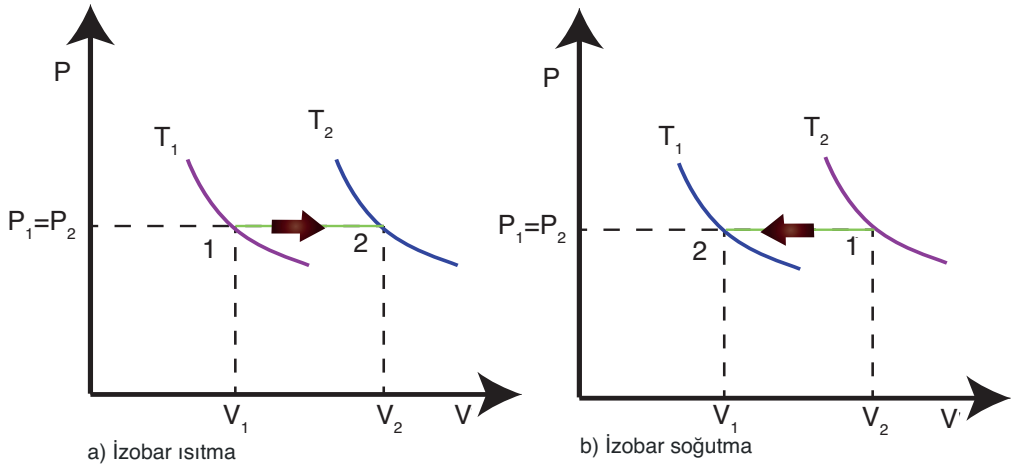
$V_1 = 0,4\ m^3$ $V_2 = 0,8\ m^3$ bulunur.

$P_1 = 20$ bar $P_2 = ?$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{20}{P_2} = \frac{0,8}{0,4} \longrightarrow P_2 = \frac{20x0,4}{0,8} = 10 \text{ bar olur.}$$

1.3.2.2. Sabit Basınçta Durum Değişikliği

Termodinamik işlem sırasında basınç sabit tutuluyorsa bu işleme **sabit basınçta** (**izobar**) **durum değişikliği** denir. Gazın sistem içinde ısıtılması, hacminin ve sıcaklığının artmasına neden olur. Tam tersi durumda, sistemden ısı çekildiğinde sıcaklık ve hacim azalır. Buharlaştırıcılar, ısı değiştiricileri ve yoğuşturucular; izobar durum değişikliklerine örnek olarak gösterilebilir. Sabit basınçta durum değişikliği iki şekilde meydana gelir: izobar ısıtma ve izobar soğutma (Grafik 1.2).



Grafik 1.2: İzobar durum değişiklikleri

Grafik 1.2 incelendiğinde sistem için sabit basınçta 1 ve 2 noktaları arasındaki durum denklemi,

$P.V_1 = R.T_1$

$P.V_2 = R.T_2$ şeklinde yazılarak değişen parameterler arasında

$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$ bağıntısı tespit edilir.

Örnek

Hacmi 30 litre, sıcaklığı 327 °C olan bir gaz; sabit basınç altında 1200 K sıcaklığa kadar ısıtılıyor. Buna göre gazın son hacmini hesaplayınız.

Çözüm

$T_1 = 327\ ^oC + 273 \rightarrow 600\ K$ } sıcaklık K cinsinden bulunur.

$T_2 = 1200\ K$

$V_1 = 30\ L \rightarrow 30.10^3 = 0,03\ m^3$ } hacim m^3 cinsinden bulunur.

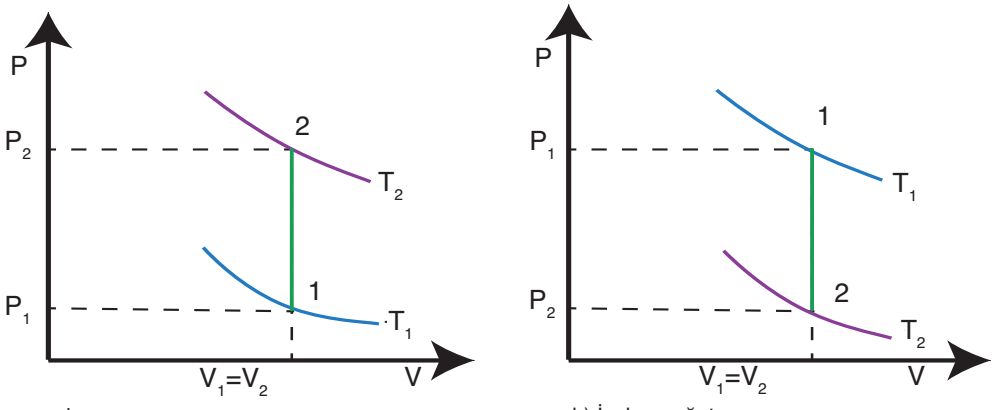
$V_2 = ?$

Bu veriler $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$ formülünde yerine yazılır.

$$\frac{V_2}{0,03} = \frac{1200\ K}{600\ K} \longrightarrow \frac{1200.0,03}{600} \longrightarrow V_2 = 0,06\ m^3 \text{ olur.}$$

1.3.2.3. Sabit Hacimde Durum Değişikliği

Termodinamik işlem sırasında bir kabın içerisinde bulunan akışkanın hacmi sabit kalıyorsa bu işleme **sabit hacimde** (**izohor**) **durum değişikliği** denir. Genleşmeleri ihmal edildiğinde buhar kazanları, gaz tüpleri izohor durum değişikliğine örnek olarak verilebilir. Sabit hacimde durum değişikliği izohor ısıtma ve izohor soğutma olmak üzere iki şekilde meydana gelir (Grafik 1.3).



a) İzohor ısıtma b) İzohor soğutma

Grafik 1.3: İzohor durum değişiklikleri

Grafik 1.3 incelendiğinde bir sistem için sabit hacimde 1 ve 2 noktaları arasındaki durum denklemi,

$P_1.V = R.T_1$

$P_2.V = R.T_2$

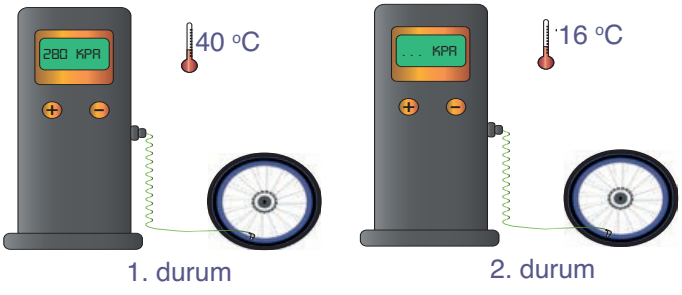
şeklinde yazılarak değişen parameterler arasında

$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$

bağıntısı tespit edilir.

Örnek

Görsel 1.36'da yeni şişirilen bir lastiğin basınç göstergesinde basıncı 40 °C'ta 280 kPa göstermektedir. İkinci durumda hacmin sıcaklıkla değişmediği varsayıldığında sıcaklık 16 °C'a düşürülürse son durumdaki lastik basıncının kaç kPa olduğunu hesaplayınız.



Görsel 1.36: Birinci ve ikinci durumdaki lastik basıncı

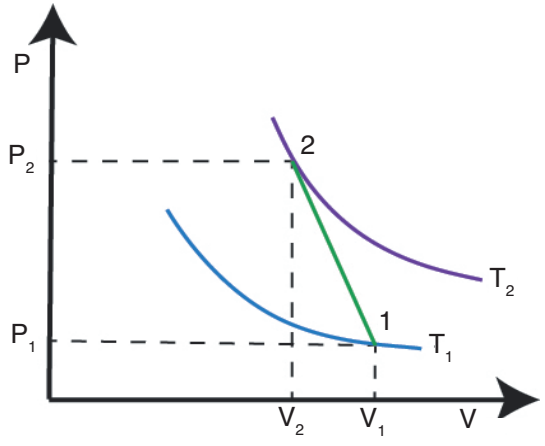
Çözüm

Birinci ve ikinci durum için hacmin sabit olduğu varsayılırsa

$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$ bağıntısı kullanılır. $\longrightarrow \frac{280\ kPa}{P_2} = \frac{40}{16}$ = 112 kPa bulunur.

1.3.2.4. Sabit Isıda Durum Değişikliği

Sistem çevresi ile ısı alışverişi olmadan meydana gelen durum değişikliğine **sabit ısıda** (**izantropik-adyabatik**) **durum değişikliği** denir. Cidarları tamamen yalıtılmış silindir-piston sistemi, izantropik durum değişikliğine örnek olarak gösterilebilir. İzantropik durum değişmesinde tüm parametreler değişkenlik gösterir (Grafik 1.4).



Grafik 1.4: Sabit ısıda durum değişikliği

$P.V^k = Sabit$ bağıntısına göre izantropik durum değişikliğinde değişken olan bütün parametreler arasında

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}, \quad W_{iş\ (1,2)} = \frac{R.(T_2-T_1)}{1-k}$$

bağıntıları tespit edilir.

$P.V^k$ = Sabit eşitliğindeki k üssü sabit basınç ile sabit hacimdeki özgül ısıların oranıdır $\left(k = \frac{C_P}{C_V}\right)$ ve izantropik üs olarak tanımlanır.

Örnek

Sızdırmaz ve sürtünmesiz bir silindir-piston düzeneğinde bulunan 4 kg havanın, izantropik bir süreçle 40°C sıcaklığında ve 120 kPa basınçta sıkıştırılarak 400 °C sıcaklığına çıkarılması esnasında yapılan işi hesaplayınız. (R_{hava} = 0,287 kJ/(kg K), k = 1,4 olarak kabul edilmektedir.)

Çözüm

P = 120 kPa

T1 = 40 °C + 273 = 313 K

T2 = 400 °C + 273 = 673 K

M = 4 kg

R = 0,287 kJ/kgK

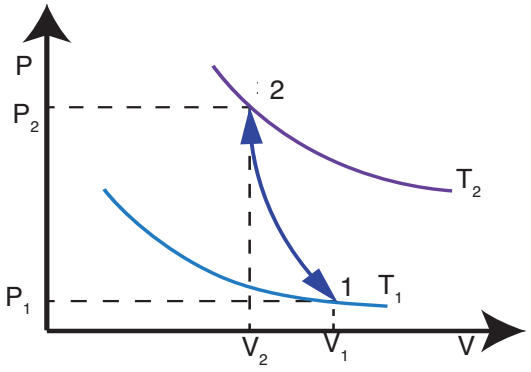
K = 1,4

bu veriler $W_{iş\ (1,2)} = \frac{R.(T_2-T_1)}{1-k}$ formülünde ilgili yerlere yazılır.

$$W_{iş\ (1,2)} = \frac{R.(T_2-T_1)}{1-k} \longrightarrow \frac{0,287.(673-313)}{1-1,4} = -258,3\ kJ/kg$$ olur.

1.3.2.5. Çok Değişkenli Durum Değişikliği

Basınç, hacim ve sıcaklığın sabit kalmadığı bununla birlikte ısı alışverişinin de olabildiği işlemlere **çok değişkenli** (**politropik**) **durum değişikliği** denir. Gazlarda politropik değişikliği esnasında **$P.V^n$= sabit** eşitliği geçerlidir. Burada n politropik üs şartlara göre 0 ile + ∞ arasında değerler alabilir. Politropik üssün aldığı değerlere göre durum değişşimleri Grafik 1.5'te gösterilmiştir.



Grafik 1.5: Çok değişkenli durum değişikliği

$P.V^n$ = Sabit bağıntısına göre politropik durum değişikliğinde değişken olan bütün parametreler arasında

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^n$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{n-1}$$

bağıntıları yazılabilir.

Tersinir politropik işlem sırasında yapılan iş,

$$W_{iş\ (1,2)} = \frac{P_2V_2-P_1V_1}{1-n} = \frac{m.R.(T_2-T_1)}{1-n}$$

eşitliği ile tersinir politropik işlem sırasında ısı tıransferi ise

$$Q_{iş\ (1,2)} = m.C_v.(T_2 - T_1) + W_{1,2}$$

eşitliği ile hesaplanır.

Örnek

Bir pistonlu silindir çifti, 100 kPa basınçta, 300 K sıcaklıkta ve 4 kg kütleye sahip nitrojen gazını içermektedir. Nitrojen gazı piston vasıtasıyla politropik bir sıkıştırma işlemine tabi tutularak sıcaklığı 360 K'ye ulaştırılmaktadır. Bu işlem sırasında gerçekleşen sınır işini hesaplayınız. (R = 0,2968 kJ/kgK, n = 1,4)

Çözüm

$\frac{m.R.(T_2-T_1)}{1-n}$ formülü kullanılır.

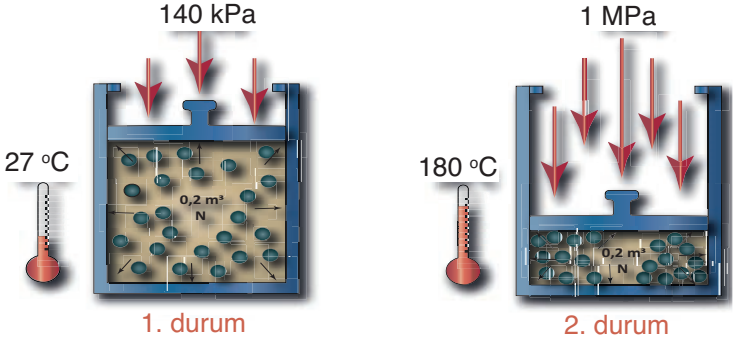
$$W_{iş\ (1,2)} = \frac{(4).(0,2968).(420-360)}{1-1,4}$$

$W_{iş\ (1,2)}$ = -178,08 kJ olarak bulunur.

1.9. UYGULAMA: Termodinamik Kanunlarına Uygun Olarak İdeal Gaz Kanunu Hesaplamalarının Yapılması

Amaç: Gazların durum değişikliği hesaplamasını yapmak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 1.37: Silindir piston düzeneğindeki azot gazının durumu

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 1.37'de görülen silindir-piston düzeneğindeki 0,2 m^3 azot gazı birinci durumdan ikinci duruma sıkıştırıldığında sisteme 25 kJ iş verilmektedir. İşlem esnasında çevreye olan ısı transferi ne kadar olur? (Cv = 0,7448 kJ/kgK, R = 0,2968 kJ/kgK)
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

1.3.3. İçten Yanmalı Motor Çevrimleri

İçten yanmalı motorlar; otto, dizel ve karma olmak üzere üç temel termodinamik çevrim esasına göre çalışır. Bu çevrimlerin gerçekleştiği süreçlerin karmaşıklığını basitleştirmek için bazı varsayımlar yapılır. Bu varsayımlar altında çalışan termodinamik çevrime ideal çevrim adı verilir. İçten yanmalı motorların çalışma prensibini anlamak için bazı terimleri bilmek önemlidir.

İçten Yanmalı Motorların Çalışma Sistemindeki Terimler

Çevrim: Bir motorda iş elde etmek için tekrarlanmadan meydana gelen olayların toplamına denir.

Ölü Nokta: Pistonun silindir içerisinde yön değiştirmek üzere bir an durakladığı noktaya denir.

Alt Ölü Nokta (AÖN): Pistonun silindir içerisinde en alt noktaya indiği ve yön değiştirmek için bir an durakladığı noktaya denir.

Üst Ölü Nokta (ÜÖN): Pistonun silindir içerisinde çıkabildiği en üst noktada yön değiştirmek için bir an durakladığı noktaya denir.

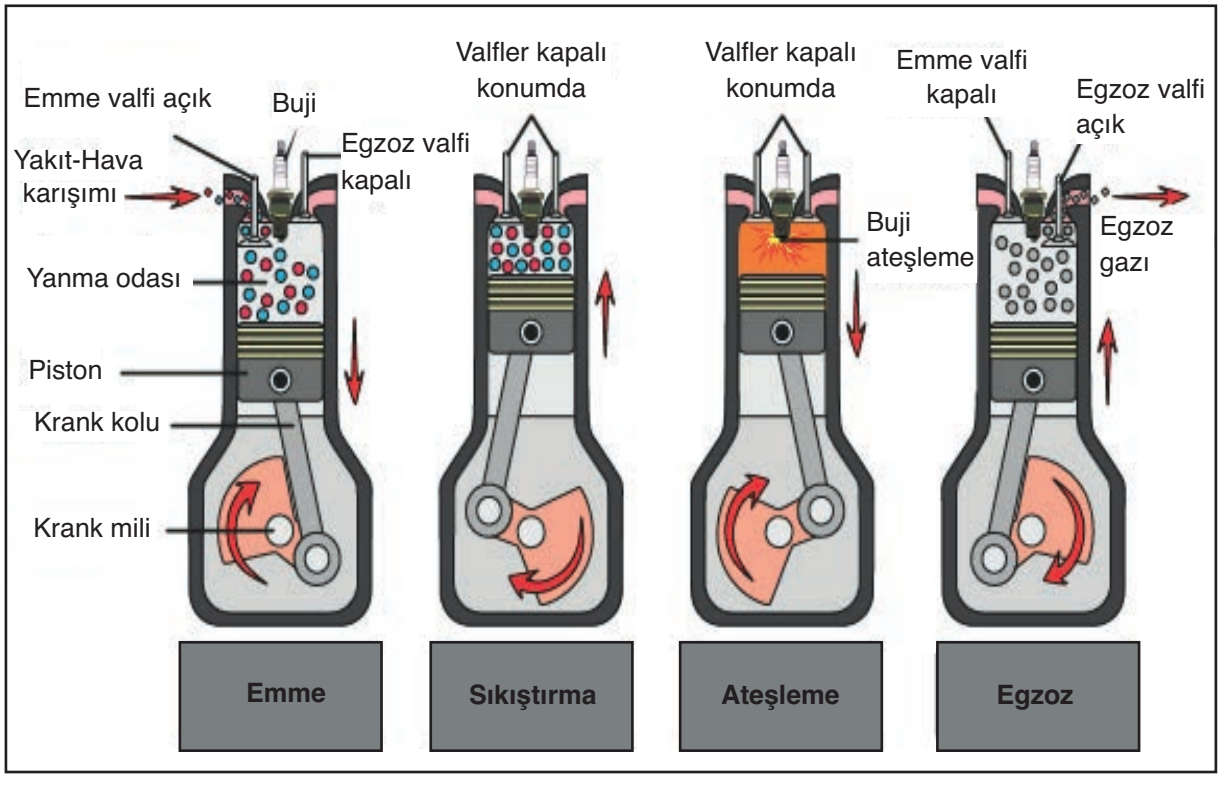
Strok (Kurs): Pistonun AÖN ile ÜÖN arasında aldığı yola denir.

Zaman: Pistonun silindir içerisinde iki ölü nokta arasında gerçekleştirdiği harekete denir.

1.3.3.1. Otto Çevrimi

Buji ile ateşlemeli motorlar için ideal çevrim, Otto çevrimidir. 1876 yılında Nicolaus August Otto (Nikılauz Ogıst Ato) tarafından dört zamanlı motoru geliştirmesiyle ismini almıştır. Buji ile ateşlemeli motorlar, dört zamanlı ve iki zamanlı olarak iki gruba ayrılır.

Dört zamanlı motorların iş çevrimi; emme zamanı, sıkıştırma zamanı, genişleme (iş) zamanı ve egzoz zamanı olmak üzere dört farklı aşamada gerçekleşir (Görsel 1.38).



Görsel 1.38: Otto motorların çevrim zamanları

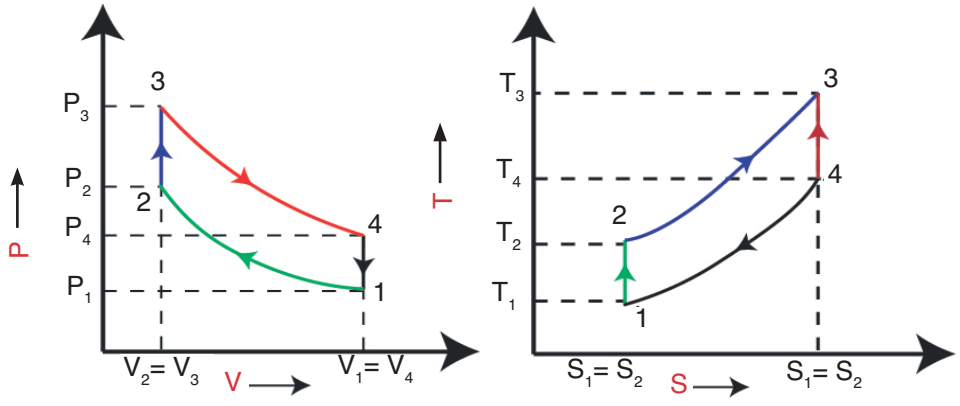
Emme Zamanı: Buji ile ateşlemeli bir motorda emme zamanı, piston üst ölü noktasında iken supabının açılmasıyla başlar. Bu süreçte silindir içerisine taze yakıt-hava karışımı dolar. Piston alt ölü noktasından üst ölü noktaya hareket ederken emme supabı kapanır ve sıkıştırma işlemi başlar.

Sıkıştırma Zamanı: Sıkıştırma stroku sırasında piston, alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareket ederek hava-yakıt karışımını sıkıştırır. Piston üst ölü noktaya gelmeden önce buji tırnakları arasındaki kıvılcım, karışımı ateşleyerek yanmayı başlatır. Yanma sırasında karışımın basıncı ve sıcaklığı artar. Yüksek basınçlı gazlar pistonu üst ölü noktadan alt ölü noktaya doğru iter.

Genişleme Zamanı: Pistonun alt ölü noktaya doğru hareketi sırasında üzerindeki kuvvet, krank milinin dönmesini sağlar ve bu esnada bir dönme momenti oluşur. Bu durumda yararlı iş meydana gelir. Genişleme strokunun sonunda piston alt ölü noktada konumlanmış olur.

Egzoz Zamanı: Egzoz zamanında silindir, yanma sonrası gazlarla doludur. Piston alt ölü noktaya ulaşmadan önce egzoz supabı açılır. Piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareket ederken yanma sonu gazlarını egzoz supabından dışarı atar. Piston üst ölü noktaya ulaştığında egzoz supabı kapanır ve bir iş döngüsü tamamlanmış olur.

Otto Çevrimlerin Termodinamik Analizi: Otto çevrimi, buji ile ateşlemeli motorlarda çalışma prensibini tanımlar. Grafik 1.6'da bir çevrimin basınç hacim diyagramı ile bu ilke açıklanmıştır.



Grafik 1.6: Otto çevrimin basınç-hacim ve sıcaklık-entropi diyagramı

Grafik 1.6'da görüldüğü gibi 3-4 arasında sisteme verilen ısı,

$$Q_{gir} = m.C_v.(T_3 - T_2)$$ ile tespit edilir.

4-1 arasında sistemden çıkan ısı,

$$Q_{çık} = m.C_v.(T_4 - T_1)$$ ile tespit edilir.

Çevrimin net işi sisteme verilen ısı ile çevrimden çıkan ısının arasındaki fark ile bulunur.

$$W_{net} = m.C_v.(T_3 - T_2) - m.C_v.(T_4 - T_1)$$

Isı ve sürtünme kayıpları ihmal edildiğinde termik verim (ηt),

$$\eta_t = \frac{W_{net}}{Q_{gir}} = \frac{Q_{gir} - Q_{çık}}{Q_{gir}} = 1 - \frac{Q_{çık}}{Q_{gir}}$$ formülü ile hesaplanır.

Örnek

İdeal bir Otto çevrimin ısıl verimi % 45, sisteme giren ısı miktarı Q_{gir} = 430,2 kJ/kg'dır. Çevrimin yaptığı net işi hesaplayınız.

Çözüm

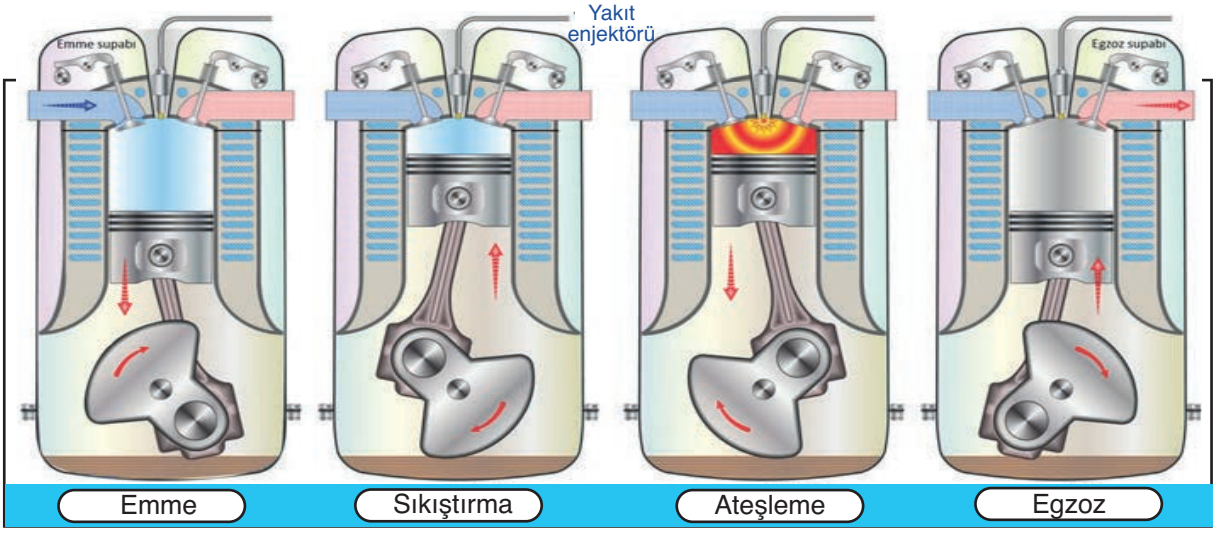
İdeal bir Otto çevrim için

$$\eta_t = \frac{W_{net}}{Q_{gir}} \longrightarrow 45 = \frac{W_{net}}{430{,}2\ kJ/kg} \quad W_{net} = 19.359\ kJ/kg \text{ net iş yapar.}$$

1.3.3.2. Dizel Çevrimi

Dizel çevrimi, sıkıştırmalı ateşlemeli motorlar için ideal çevrimdir. 1982 yılında Rudolf Christian Karl Diesel (Rudaf Krisçın Karl Disıl) tarafından icat edilip geliştirilmiştir. Yanmanın başlama şekli açısından farklı olan sıkıştırma ateşlemeli dizel motor, kıvılcım ateşlemeli benzinli motorlara benzer yapıdadır. Kıvılcım ateşlemeli motorda buji vasıtasıyla oluşturulan kıvılcım ile sıkışan yakıt-hava karışımı yanmaya başlar. Dizel motorlarda yanma, yüksek basınç altındaki havanın üzerine yakıtın enjektör vasıtasıyla püskürtülmesi ile gerçekleşir.

Benzinli motorlardaki buji ve karbüratörün yerini dizel motorlarda enjektör (yakıt memesi) alır. Dört zamanlı dizel motorların iş çevrimi; emme zamanı, sıkıştırma zamanı, genişleme (iş) zamanı ve egzoz zamanı olmak üzere dört farklı kademede gerçekleşir (Görsel 1.37).



Görsel 1.39: Dizel motorun çevrim zamanları

Emme Zamanı: Emme zamanında piston üst ölü noktada bulunur. Emme supabı açıktır ve bu süreçte egzoz supabı kapalıdır. Piston, üst ölü noktadan alt ölü noktaya doğru hareket ederken hacim genişler ve piston üzerinde düşük bir basınç oluşur. Silindir içine, dış ortamdaki atmosfer basıncı ile temiz hava dolmaya başlar. Piston alt ölü noktaya ulaştığında emme supabı kapanır ve emme işlemi sona erer.

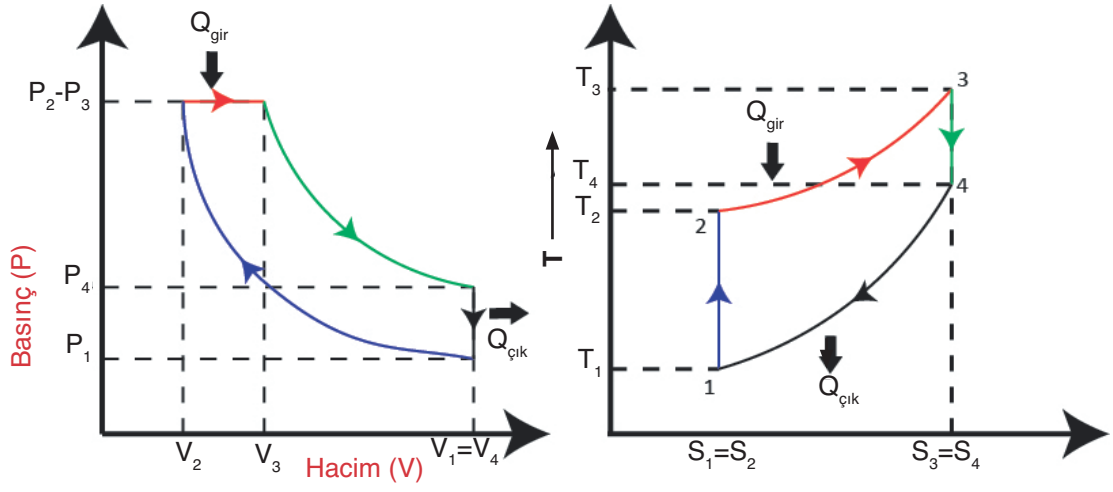
Sıkıştırma Zamanı: Sıkıştırma strokunda emme ve egzoz supapları kapalı konumdadır ve sıkıştırma işlemi başlar. Piston, alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareket ederken silindir içindeki hava daha küçük bir hacme sıkıştırılır. Sıkıştırılan havanın hacmi azalırken basınç ve sıcaklık artar. Bu strok, yakıt püskürtülünceye kadar devam eder.

Genişleme (İş) Zamanı: Genişleme zamanı, sıkıştırılan basıncı ve sıcaklığı artmış hava içerisine enjektörden atomize hâlde yakıt püskürtülmesiyle başlar. Püskürtülen yakıt, silindir içerisindeki hava ile karışır. Uygun yakıt-hava karışımı oluştuğunda ve yanma için gerekli sıcaklık elde edildiğinde yakıt kendiliğinden tutuşur. Yanma sonucu silindir içerisinde basınç artar. Artan basınç piston üzerinde

kuvvet oluşturur ve piston üst ölü noktadan alt ölü noktaya hareket eder. Pistonun hareketinin belli bir bölümünde hacim artarken sabit basınçta yanma olduğu kabul edilir. Egzoz supabının açılması ile genişleme zamanı tamamlanmış olur. Artık egzoz zamanı başlar.

Egzoz Zamanı: Piston alt ölü noktaya ulaştığında egzoz supabı açılır ve egzoz zamanı başlar. Egzoz supabının açılmasıyla birlikte piston, alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareket ederken silindir içindeki yanmış gazlar egzoz manifoldundan silindir dışına atılır. Piston üst ölü noktaya ulaştığında egzoz supabı kapanır.

Dizel Çevrimlerin Termodinamik Analizi: Dizel çevrimi, sıkıştırma ateşlemeli motorlarda çalışma prensibini ortaya koyar. Grafik 1.7'de bir dizel çevrimin basınç hacim diyagramı açıklanmıştır.



Grafik 1.7: Dizel çevrimin basınç-hacim ve sıcaklık-entropi diyagramı

Grafik 1.7'de görüldüğü gibi 2-3 arasında sisteme verilen ısı,

$$Q_{gir} = m.C_p.(T_3 - T_2)$$ ile tespit edilir.

4-1 arasında sistemden çıkan ısı,

$$Q_{çık} = m.C_v.(T_4 - T_1)$$ ile tespit edilir.

Çevrimin net işi sisteme verilen ısı ile çevrimden çıkan ısının arasındaki fark ile bulunur.

$$W_{net} = m.C_v.(T_3-T_2) - m.C_v.(T_4-T_1)$$

Isı ve sürtünme kayıpları ihmal edildiğinde termik verim (η_t),

$$\eta_t = \frac{W_{net}}{Q_{gir}} = \frac{Q_{gir} - Q_{çık}}{Q_{gir}} = 1 - \frac{Q_{çık}}{Q_{gir}}$$ formülü ile hesaplanır.

Örnek

Havayla çalışan ideal bir dizel çevrimde sisteme giren ısı 2,204 kJ, sistemden çıkan ısı ise 0,812 kJ'dür. **Buna göre çevrimin ısıl verimi nedir? Hesaplayınız.**

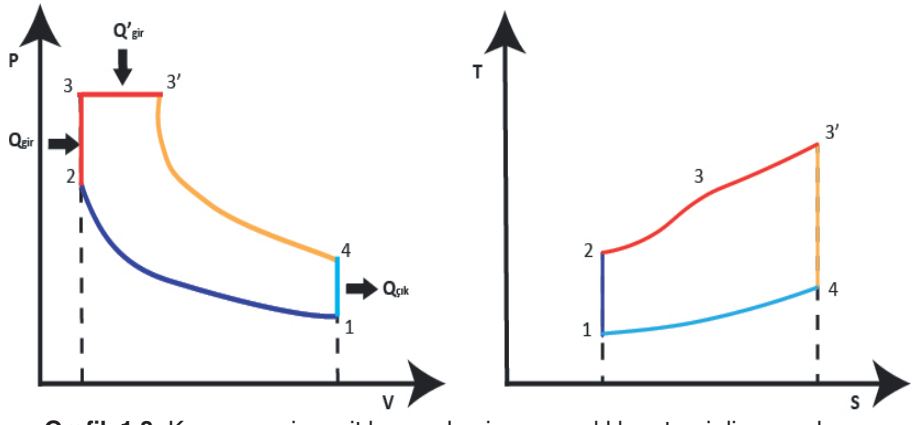
Çözüm

$\eta_t = \frac{Q_{gir} - Q_{çık}}{Q_{gir}}$ formülü kullanılır.

$\eta_t = \frac{2{,}204 - 0{,}812\ kJ}{2{,}204\ kJ} = \frac{1{,}392}{2{,}204} = 0{,}63$ olarak bulunur.

1.3.3.3. Karma Çevrim

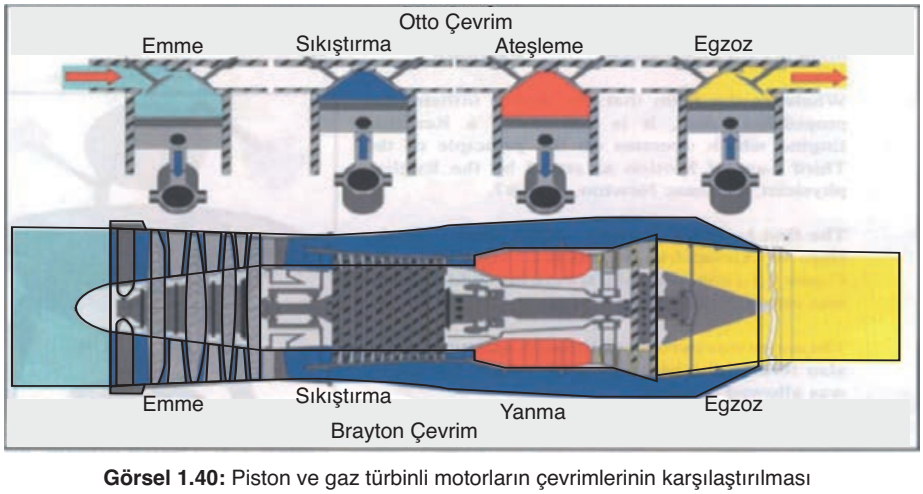
Karma çevrim, sabit hacimde ve basınçta sisteme ısı geçişinin sağlandığı iki kısımlı bir hâl değişimidir. Bu çevrim, hem dizel hem de benzinli motorlarda uygulanabilen bir yöntemdir. Bazı kaynaklarda **dual çevrim** olarak da yer alır. Grafik 1.8'de karma çevrime ait basınç-hacim ve sıcaklık-entropi diyagramları gösterilmiştir.



Grafik 1.8: Karma çevrime ait basınç-hacim ve sıcaklık-entropi diyagramları

1.3.3.4. Brayton Çevrimi

George Brayton (Corç Breydın), 1873 yılında gaz türbinli motorların çalışma prensibini oluşturan yağ yakıtı ile sabit basınçta yanma ve tam genişleme özelliğini kapsayan bir motor geliştirilmiştir. Brayton çevrimi ile Otto çevrimi birbirine oldukça benzer niteliktedir. Otto çevrimindeki emme, sıkıştırma, ateşleme ve egzoz zamanları; Brayton çevrimindeki emme, sıkıştırma, yanma ve egzoz zamanlarıyla benzerlik gösterir (Görsel 1.40). Otto çevriminde yanma teorik olarak sabit hacimde gerçekleşirken Brayton çevriminde yanma sabit basınçta gerçekleşir. Bir diğer farklılık ise Brayton çevriminin gaz türbinli motorlarda sürekli, pistonlu motorlarda ise aralıklı çevrimle gerçekleşmesidir.

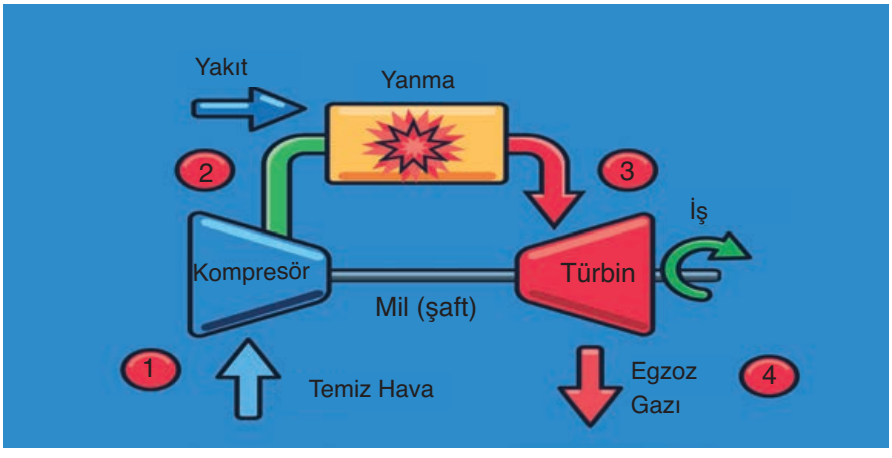


Görsel 1.40: Piston ve gaz türbinli motorların çevrimlerinin karşılaştırılması

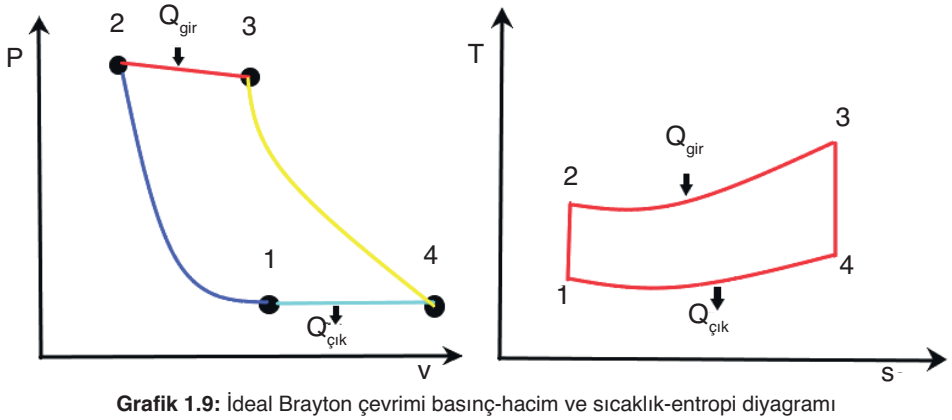
Brayton çevrimi (Görsel 1.41) kompresör, yanma odası türbin ve egzoz bölümlerinden oluşmaktadır.

Çevrim Basamakları

- Atmosfer basıncındaki hava 1 noktasında motora girer.
- 1 ve 2 noktaları arasında hava kompresör tarafından izantropik olarak düşük basınçtan yüksek basınca sıkıştırılır.
- 2 ile 3 arasında sıkıştırılmış hava eklenen yakıt ile sabit basınçta yakılır.
- Yanma sonucu açığa çıkan gaz türbinden geçer. Türbin içinde genişler ve güç üretir.
- 4 noktasında yanma sonucu açığa çıkan gaz atmosfere atılır.



Görsel 1.41: Brayton çevrimine göre çalışan gaz türbinli motor



Grafik 1.9: İdeal Brayton çevrimi basınç-hacim ve sıcaklık-entropi diyagramı

Grafik 1.9'da görüldüğü gibi 2-3 arasında sisteme verilen ısı,

$$Q_{gir} = m.C_p.(T_3 - T_2)$$ ile tespit edilir.

4-1 arasında sistemden çıkan ısı,

$$Q_{çık} = m.C_v.(T_4 - T_1)$$ ile tespit edilir.

Çevrimin net işi sisteme verilen ısı ile çevrimden çıkan ısının arasındaki fark ile bulunur.

$$W_{net} = m.C_v.(T_3-T_2) - m.C_v.(T_4 - T_1)$$

Isı ve sürtünme kayıpları ihmal edildiğinde ısıl verim (η_t),

$$\eta_t = \frac{W_{net}}{Q_{gir}} = \frac{Q_{gir} - Q_{çık}}{Q_{gir}} = 1 - \frac{Q_{çık}}{Q_{gir}}$$

formülü ile hesaplanır.

Örnek

İdeal Brayton çevrimine dayalı olarak çalışan bir güç santralinin ısıl verimi 0,542 olarak belirlenmiştir. Çevrimin net işi 476,2 kJ/kg ise çevrime giren toplam ısı miktarını hesaplayınız.

Çözüm

$\eta_t = \frac{W_{net}}{Q_{gir}}$ formülü ile çevrime giren toplam ısı bulunur.

$$\eta_t = \frac{W_{net}}{Q_{gir}} \longrightarrow 0{,}542 = \frac{476{,}2\ kJ/kg}{Q_{gir}} \longrightarrow Q_{gir} = 878{,}59\ kJ/kg$$ sonucuna ulaşılır.

1.10. UYGULAMA: Termodinamik Kanunlarına Uygun Olarak İdeal Gaz Kanunu Hesaplamalarının Yapılması

Amaç: Brayton çevrimi ile ilgili hesaplama yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

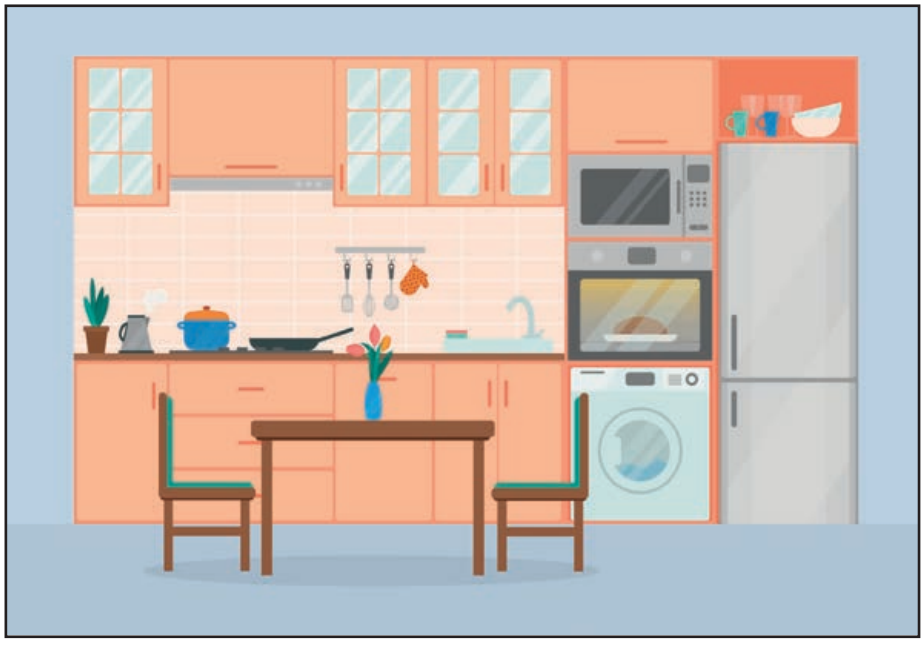
İşlem Basamakları

1. İdeal Brayton çevrimine göre çalışan bir güç santrali için çevrimine giren toplam ısı 652,74 kJ/kg ve çevrimin net işi 362,4 kJ/kg olarak verilmiştir. Bu verilere göre güç santralinin ısıl verimini hesaplayınız
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

1.4. SOĞUTUCULAR VE ISI POMPALARI HESAPLAMALARI

Soğutucular ve ısı pompaları, ısıl verimleri ve kimyasal reaksiyonların hangi oranda tamamlanacağını termodinamiğin ikinci kanununa göre belirler. Evlerde yaygın olarak kullanılan buzdolabı, klima, dondurucu, fırın soğutucuları ve ısı pompaları bu duruma örnek olarak gösterilebilir (Görsel 1.42).



Görsel 1.42: Soğutucuların ve ısı pompalarının günlük hayatta kullanım alanları

1.4.1. Soğutma Makineleri

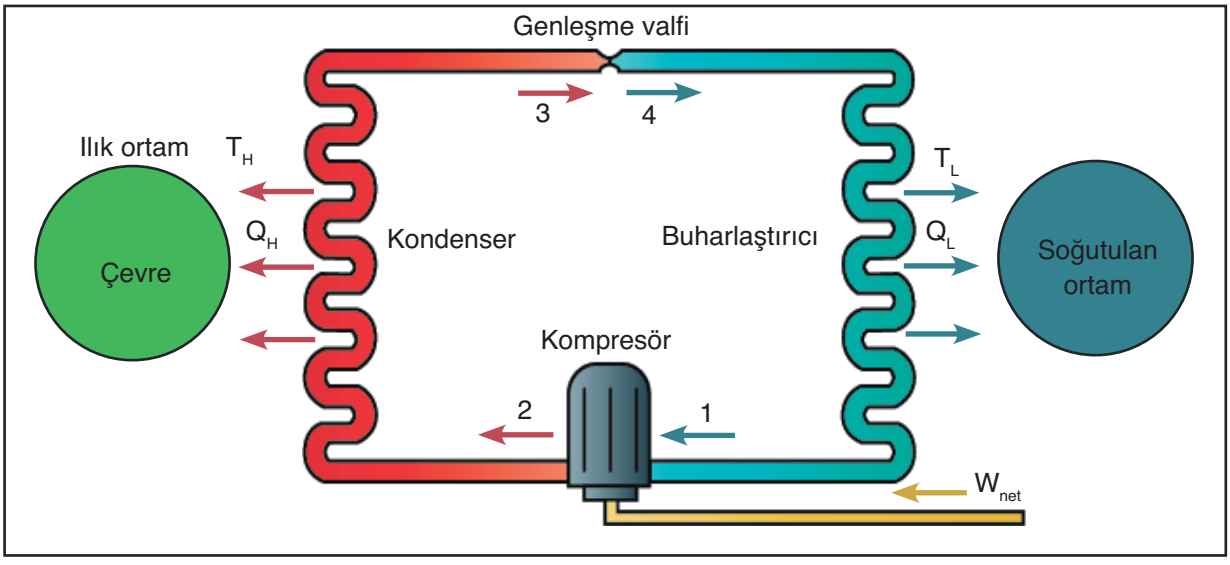
Isı geçişi her zaman yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğru gerçekleşir. Bu bir doğal olgudur ve kendiliğinden tersine dönmez. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki ortama ısı geçişini sağlayan makineler ise **soğutma makineleri** olarak adlandırılır. Soğutma işlemi sırasında kullanılan araca soğutucu akışkan denir. En yaygın olarak kullanılan soğutma sistemi, buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimidir.

1.4.1.1. Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Çevrimi

Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrim sistemi; kompresör, yoğunlaştırıcı (kondenser), genleştirici, buharlaştırıcı (evaporatör) olmak üzere dört elemandan oluşur (Görsel 1.43).

Çevrim Basamakları

- Bu sistemde soğutucu akışkan, buhar olarak kompresöre girer. Kompresör, akışkanı yüksek basınca sıkıştırır ve çıkışında buhar hâlindedir.
- Buradan yoğuşturucuya kızgın buhar hâlinde giren akışkan, çevreye ısı vererek soğur ve yoğuşur.
- Akışkan yoğuşturucudan sonra genleştiricide alçak basınca kısılarak buharlaştırıcı basıncına düşürülür.
- Soğutucu akışkan daha sonra buharlaştırıcıda soğutulan ortamın ısısını çekerek ortamı soğutur.
- Buharlaştırıcı çıkışında doymuş buhar hâlindeki akışkanın kompresöre girmesiyle çevrim tamamlanır ve bu çevrim sürekli devam eder.



Görsel 1.43: Buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin şematik gösterimi

Bir soğutma makinesinin verimi etkinlik katsayısıyla tanımlanır ve COP_{SM} ile gösterilir. Etkinlik katsayısı,

$$COP_{SM} = \frac{\text{elde edilmesi gereken değer}}{\text{harcanması gereken değer}} = \frac{Q_{sağ}}{W_{net\ giren}}$$

bir çevrim için enerjinin korunum ilkesi,

$W_{net,giren} = Q_{sıc} - Q_{soğ}$ (kJ) olduğu için soğutma makinesinin etkinlik katsayısı,

$$COP_{SM} = \frac{Q_{soğ}}{Q_{sıc} - Q_{soğ}}$$

şeklinde ifade edilir.

Örnek

Bir buzdolabı, iç ortam sıcaklığını 4 °C'ta sabit tutmak için saniyede 8 kJ ısı çeker. Buzdolabını çalıştırmak için gereken güç 2 kW olduğuna göre buzdolabının etkinlik katsayısını hesaplayınız.

Çözüm

$$COP_{SM} = \frac{Q_{soğ}}{\underbrace{Q_{sıc} - Q_{soğ}}_{W_{net,\ giren}}}$$ formülüne göre

$$COP_{SM} = \frac{8}{2} = 4$$ olarak hesaplanır.

1.4.2. Isı Pompaları

Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısı çekip daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı aktaran makinelere **ısı pompaları** denir. Kullanım amaçları farklı olan ısı pompaları ve soğutma makineleri aynı çevrimleri gerçekleştirir. Soğutma makineleri soğutulan ortamdan ısı çekerek ortamın ısısını çevre sıcaklığının altında tutar. Isı pompaları ise ortamı sıcak tutmayı amaçlar. Bu amaçla ısı pompaları ortamı sıcak tutmak için düşük sıcaklıktaki bir ısıl enerji deposundan alınan ısıyı ısıtılmak istenen ortama verir. Düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposu genellikle toprak, hava veya çevredir; ısıtılmak istenen ortam ise evin içidir.

Isı pompası için etkinlik katsayısı $\mathbf{COP_{IP}}$ ile gösterilir.

$$COP_{IP} = \frac{\text{elde edilmesi gereken değer}}{\text{harcanması gereken değer}} = \frac{Q_{soğ}}{W_{net\ giren}}$$

Isı pompaları ile soğutma makineleri aynı çevrimi gerçekleştirir. Birbirine ters iki amaç için kullanıldıklarından aralarında

$$COP_{IP} = \frac{Q_{sıc}}{Q_{sıc} - Q_{soğ}} = \frac{Q_{soğ}}{Q_{sıc} - Q_{soğ}} + 1 = COP_{SM} + 1$$

şeklinde bir ilişki vardır.

Örnek

Bir evin ısıtılması için bir ısı pompası kullanılmaktadır. Dış sıcaklık -3 °C iken evin ısı kaybı 60.000 kJ/h olarak hesaplanmıştır. İç sıcaklık 22 °C'tur. Bu koşullarda ısı pompasının etkinlik katsayısı 2,5 olarak verilmiştir. Isı pompasının tükettiği gücü hesaplayınız.

Çözüm

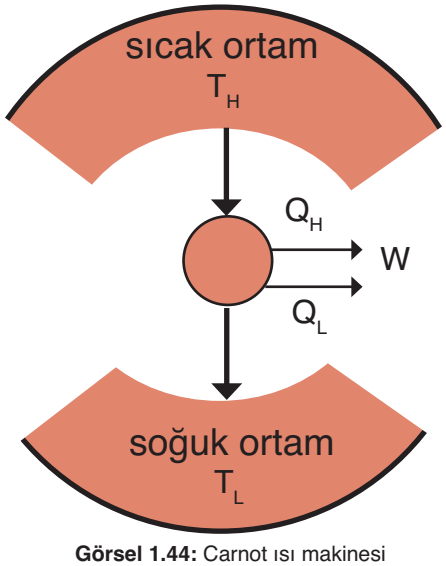
$COP_{IP} = \frac{Q_{sıc}}{Q_{sıc} - Q_{soğ}}$ formülünde veriler yerine yazılır.

$$W_{net,giren} = \frac{Q_{soğ}}{COP_{IP}} \longrightarrow \frac{60000\ kJ/h}{2,5} = 24.000\ kJ/h$$ olarak bulunur.

1.4.3. Carnot Çevrimi

Fransız bilim insanı Sadi Carnot (Sai Kanıt) tarafından 1824 yılında ortaya atılmıştır. Carnot çevriminin verimi, çevrimi oluşturan hâl değişimlerinin nasıl gerçekleştiğine bağlıdır. Net iş, en fazla iş yapılan ve en az iş gerektiren hâl değişimlerini, yani tersinir hâl değişimlerini kullanarak en yüksek değere ulaştırabilir.

Görsel 1.44'te görülen Carnot çevrimi, sıcak ısı kaynağı T_H ile soğuk ısı kaynağı T_L sıcaklıklarındaki iki ısıl enerji deposu arasında gerçekleşen en yüksek verimli çevrimdir.

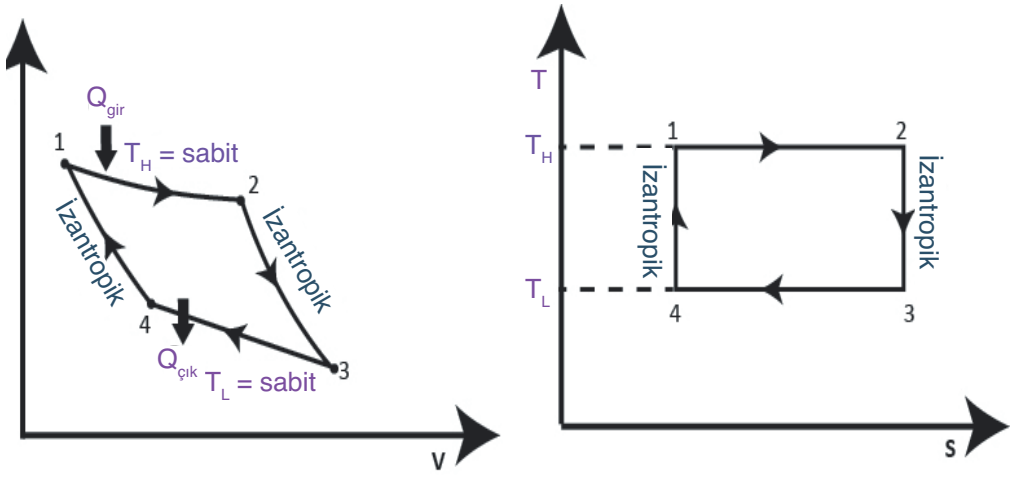


Görsel 1.44: Carnot ısı makinesi

Carnot çevrimi, iki sabit sıcaklıkta ve iki adyabatik hâl değişiminden oluşur (Grafik 1.10). Bu çevrim, kapalı sistemlerde ve sürekli akışlı açık sistemlerde gerçekleşir. Kelvin-Planck ve Clausius, termodinamiğin ikinci kanununa dayanarak Carnot prensiplerini tespit etmiştir.

Carnot İlkeleri

- Aynı iki ısıl depo arasında çalışan iki ısı makinesinden biri tersinir diğeri tersinmezdir. Tersinmez bir ısı makinesi, her zaman tersinir olan bir ısı makinesiyle karşılaştırıldığında daha düşük bir verime sahiptir.
- Aynı ısıl enerji depoları arasında çalışan tüm tersinir ısı makinelerinin verimleri eşittir.



Grafik 1.10: Carnot çevrimi basınç-hacim ve sıcaklık-entropi diyagramı

Carnot çevriminin ısıl verimi

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

bağıntısına göre hesaplanır.

Isıl verim eşitlikleri yardımıyla

$$\frac{T_L}{T_H} = \frac{Q_L}{Q_H}$$

şeklinde bir eşitlik elde edilebilir.

Örnek

Bir Carnot ısı makinesi 627 °C sıcaklıktaki ısıl enerji deposundan enerji almakta ve 27 °C sıcaklıktaki bir ısıl enerji deposuna ısı vermektedir. **Buna göre Carnot makinesinin ısıl verimini hesaplayınız.**

Çözüm

Isıl verim $\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$ formülü ile hesaplanır.

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{(27+273)\ K}{(627+273)\ K} \longrightarrow 1 - \frac{300}{900} = 0{,}67$$ sonucuna ulaşılır.

1.11. UYGULAMA: Termodinamik Kanunlarına Uygun Olarak Soğutucular ve Isı Pompaları Hesaplamalarının Yapılması 1

Amaç: Carnot çevrimi hesaplamaları yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Bir Carnot ısı makinesi 480 °C ile 60 °C sıcaklıklarındaki iki ısı kaynağı arasında çalışmaktadır. Bu ısı makinesinin ısıl verimini hesaplayınız.
2. Sorunun çözümünü yapınız.
3. Bulduğunuz sonucu arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
4. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
5. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

1.5. BUHARLAŞMA HESAPLAMALARI

Sıvı bir maddenin yeterli miktarda ısı alarak gaz hâline geçmesi durumuna **buharlaşma** denir. Buharlaşma sıvı maddenin yüzeyinde gerçekleşir. Buharlaşma işlemi; mekanik iş üretiminde, buhar makinelerindeki pistonlarda ve türbin sistemine hareket sağlamada önemlidir.

Buharlaşmayla İlgili Terimler

Sıkıştırılmış Sıvı: Sıvı, bu süreçte henüz buharlaşma aşamasına gelmemiştir.

Doymuş Sıvı: Buharlaşmanın başlangıç hâlidir.

Doymuş Sıvı-Buhar Karışımı: Sıvı ve buhar fazları, bu durumda denge hâlindedir.

Kızgın Buhar: Doymuş buhara ısıl enerji verilmeye devam edildikçe kızgın buhar hâlini alır.

Doyma Sıcaklığı (T_d): Belirli bir basınçta saf maddenin faz değişimlerinin başladığı sıcaklıktır.

Doyma Basıncı (P_d): Belirli bir sıcaklıkta saf maddenin faz değişimlerinin başladığı basınçtır.

Kuruluk Derecesi (x): Buhar kütlesinin toplam kütleye olan oranıdır. Değeri her zaman 0 ile 1 arasında yer alır.

$$x = \frac{m_b \text{ (buhar kütlesi)}}{m \text{ (toplam kütle)}}$$

denklemi ile ifade edilir.

Entalpi: İç enerji anlamına gelen entalpi, aktarılan enerjinin toplamıdır. **Sembolü H** ve **birimi J/mol**'dür.

Entropi: Düzensizlik anlamına gelen entropi nicel bir özelliktir. Suyun buza oranla entropisi daha yüksektir. Çünkü suyun buza oranla molekülleri arasındaki düzensizlik daha fazladır. **Sembolü S** ve **birimi J/K**'dir.

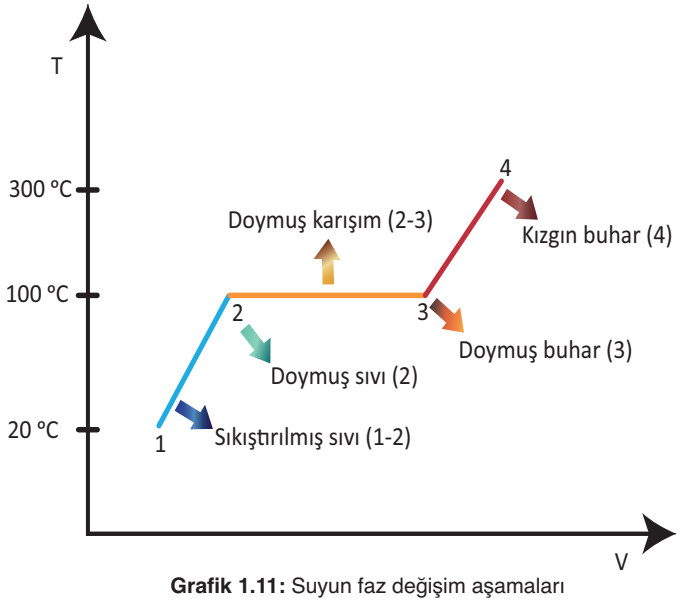
Grafik 1.11'de kapalı bir kapta bulunan suyun sabit basınçta ısıtılarak hâl değişimi T-V diyagramı ile gösterilmiştir.

Örnek

Sabit hacimli bir tankın içerisinde 100 °C'ta 60 kg doymuş buhar bulunmaktadır. Bu değerlere göre tankın basıncını ve hacmini bulunuz. (Sıvı hacmini bulmak için Tablo 1.2'den yararlanılacaktır.)

Çözüm

Soruda sıvının doymuş buhar olduğunu ve sıcaklığını verdiğinden Tablo 1.2'den sıvının basıncı bulunabilir.



Grafik 1.11: Suyun faz değişim aşamaları

Tablo 1.2: Doymuş Su ve Sıcaklık Degerleri

			Özgül hacim m^3/kg		İç enerji kJ/kg			Entalpi kJ/kg			Entropi, kJ/(kg.K)	
Sıcaklık T °C	Doymuş basıncı P_{doy} kPa	Doymuş sıvı V_f	Doymuş buhar V_g	Doymuş sıvı U_f	Buhar Uf_g	Doymuş buhar U_g	Doymuş sıvı h_f	Buhar hf_g	Doymuş buhar h_g	Doymuş sıvı S_f	Buhar Sf_g	Doymuş buhar S_g
100 1	101,42	0,001043	1,672 2	419,06	2087	2506	419,17	2256,4	2675,6	1,3072	6,047	7,3542
105	120,9	0,001047	1,4186	440,15	2071,8	2511,9	440,28	2243,1	2683,4	1,3634	5,9319	7,2952
110	143,38	0,001052	1,2094	461,27	2056,4	2517,7	461,42	2229,7	2691,1	1,4188	5,8193	7,2382

Tankın basıncı P_{doyma}= 101,42 kPa'dır.

Tankın hacmi; sıvının kütlesi ile özgül hacminin çarpımı ile bulunur. Sıvının kütlesi soruda verilmiştir ve özgül hacmi Tablo 1.2'den yararlanılarak bulunur.

V = m.v ⟶ V = (60.1,672) ⟶ V = 100,32 m^3 olur.

1.12. UYGULAMA: Termodinamik Kanunlarına Uygun Olarak Soğutucular ve Isı Pompaları Hesaplamalarının Yapılması 2

Amaç: Doymuş buhar basınç tablosundan gerekli tespit ile buharlaşma hesaplaması yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Sabit hacimli bir tankın içerisinde 80 °C'ta 100 kg doymuş sıvı bulunmaktadır. Bu değerlere göre tankın basınç ve hacmini bulunuz.
2. Sorunun çözümünü yapınız.
3. Bulduğunuz sonucu arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
4. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
5. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

1.5.1. Buharlaşma Isısı

Kaynama noktası, sabit atmosfer basıncı altında bütün sıvıların sabit bir kaynama sıcaklığına sahip olmasıdır. Kaynama sıcaklığı, maddeler için ayırt edici özelliktir. Kaynama noktasına gelmiş 1 gram sıvı maddenin tümünün aynı sıcaklıkta gaz hâlini alması için verilmesi gereken ısıya **buharlaşma ısısı** denir. Buharlaşma ısısı L_b ile ifade edilir. Maddenin ayırt edici özelliklerindendir. Suyun buharlaşma ısısı **L_b=540 cal/g**'dır. Kaynama sıcaklığındaki m gramlık bir sıvı için aynı sıcaklıkta buhar hâline dönüştürürken verilmesi gereken ısı miktarı, **$Q = m.L_b$** bağıntısı ile elde edilir.

Örnek

Bir sıkıştırılabilir kap içerisinde 100 kg su, 50 °C sıcaklıkta ve 500 kPa basınçta bulunmaktadır. Su, sabit basınç altında tamamen buharlaşana kadar ısıtılmaktadır. Suyun tamamen buharlaşması için suya verilen ısı miktarını hesaplayınız. (Doymuş su entalpisi için Tablo 1.3'ten yararlanılacaktır.)

Çözüm

Tablo 1.3'ten 50 °C sıcaklıktaki doymuş suyun entalpisi bulunur. Doymuş suyun entalpisi 209,34 kJ/kg'dır.

Tablo 1.3: Doymuş Su ve Sıcaklık Degerleri

			Özgül hacim m^3/kg		İç enerji kJ/kg			Entalpi kJ/kg			Entropi, kJ/(kg.K)	
Sıcaklık T °C	Doymuş basıncı P_{doy} kPa	Doymuş sıvı V_f	Doymuş buhar V_g	Doymuş sıvı U_f	Buhar Uf_g	Doymuş buhar U_g	Doymuş sıvı h_f	Buhar hf_g	Doymuş buhar h_g	Doymuş sıvı S_f	Buhar Sf_g	Doymuş buhar S_g
50	12,352	0,001012	12,026	209,33	2233,4	2442,7	209,34	2382	2591,3	0,7038	7,371	8,0748
55	15,763	0,001015	9,5639	230,24	2219,1	2449,3	230,26	2369,8	2600,1	0,768	7,2218	7,9898
60	19,947	0,001017	7,667	251,16	2204,7	2455,9	251,18	2357,7	2608,8	0,8313	7,0769	7,9082

Tablo 1.4'ten 500 kPa basınçdaki doymuş buharın entalpisi bulunur. Doymuş buharın entalpisi 2748,1 kJ/kg'dır.

Tablo 1.4: Doymuş Su ve Basınç Degerleri

			Özgül hacim m^3/kg		İç enerji kJ/kg			Entalpi kJ/kg			Entropi, kJ/(kg.K)	
Basınç P kPa	Doyma sıcaklığı T_{doy} °C	Doymuş sıvı V_f	Doymuş buhar V_g	Doymuş sıvı U_f	Buhar Uf_g	Doymuş buhar U_g	Doymuş sıvı h_f	Buhar hf_g	Doymuş buhar h_g	Doymuş sıvı S_f	Buhar Sf_g	Doymuş buhar S_g
450	147,9	0,001088	0,41392	622,65	1934,5	2557,1	623,14	2120,3	2743,4	1,8205	5,0356	6,8561
500	151,82	0,001093	0,37483	639,54	1921,2	2560,7	640,09	2108	2748,1	1,8604	4,9603	6,8207
550	155,46	0,001097	0,34261	655,16	1908,8	3563,9	655,77	2096,6	2752,4	1,897	4,8916	6,7886

Suya verilen ısı miktarı

$Q = m.(h_2 - h_1) \longrightarrow Q = 100.(2748,1-209,34) \longrightarrow Q = 253,876$ kJ olur.

1.13. UYGULAMA: Termodinamik Kanunlarına Uygun Olarak Soğutucular ve Isı Pompaları Hesaplamalarının Yapılması 3

Amaç: Doymuş buhar basınç tablosundan gerekli tespit ile buharlaşma ısısını hesaplamak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Sıkıştırılabilir bir kap içinde bulunan 50 kg su, 40 °C sıcaklıkta ve 250 kPa basınç altındadır. Bu su, sabit basınç altında tamamen buharlaşıncaya kadar ısıtılmaktadır. Suyun tamamen buharlaşması için ne kadar ısı verilmesi gerektiğini bulunuz.
2. Sorunun çözümünü yapınız.
3. Bulduğunuz sonucu arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Sonuçlarda farklılıklar var ise arkadaşlarınızla yardımlaşarak yeniden hesaplayınız.
4. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
5. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
Sınıfı / Numarası	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. (….) Isı iletimi sadece sıvı ortamda gerçekleşir.

2. (….) Taşınım, bir katı yüzey ile ona temas eden hareketsiz sıvı veya gaz arasında olan ısı geçişidir.

3. (….) Termodinamiğin birinci kanunu, enerjinin var olamayacağını veya yok edilemeyeceğini ancak biçim değiştirebileceğini söyler.

4. (….) Termodinamiğin ikinci kanunu, enerjinin yönü hakkında bilgi verir.

5. (….) Hâl değişimi için sadece termodinamiğin ikinci kanununun gerçekleşmesi yeterlidir.

6. (….) Isıl enerjinin hepsi işe dönüştürülebilir.

7. (….) Otto çevrimde emme, sıkıştırma, ateşleme ve egzoz zamanı Brayton çevriminde emme, sıkıştırma, yanma ve egzoz zamanı ile benzerlik gösterir.

8. (….) Doymuş buhara ısıl enerji verilmeye devam edildikçe doymuş sıvı hâlini alır.

B) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere uygun ifadeleri yazınız.

9. Maddenin durumundaki değişimi inceleyen bilim dalına ……..... denir.

10. Maddenin iç enerjisinin ölçüsüne …….....denir.

11. Sıcaklığın sembolü …….....ile gösterilir.

12. Celcius ölçeğinde suyun donma noktası 0 °C, …….....100 °C'tur.

13. Rankine ölçeği …….....birim sistemindeki termodinamik sıcaklık ölçeğidir.

14. Kütle, ……..... sembolü ile gösterilir.

15. 1 ft uzunluğu ……..... uzunluğuna karşılık gelmektedir.

16. Atmosferik basıncı ölçmede ……..... kullanılır.

C) Aşağıda verilen sorularda doğru olan seçeneği işaretleyiniz.

17. Dünya Sağlık Örgütü tarafından 21 °C olarak belirlenen ideal oda sıcaklığının Kelvin cinsinden karşılığı nedir?

A) 252
B) 293
C) 294
D) 300
E) 400

18. Her 1000 ft'te sıcaklık 3,5 °F düşmektedir. Deniz seviyesinde sıcaklık 78 °F ise 10000 ft irtifada sıcaklık kaç °C olarak ölçülür?

A) 2,5 B) 3,4 C) 6,1 D) 25 E) 61

19. Bir dökme demir küvet içerisinde 210 kg su bulunmaktadır. **Suyun sıcaklığını 13 °C'tan 40 °C'a çıkarmak için verilmesi gereken ısı miktarı kaç kJ'dür? (Sabit basınçta cpsu = 4,184 kJ/ kgK)**

A) 2.635,92
B) 23.723,28
C) 263.592
D) 276.732
E) 283.732

20. Nitrojen gazının hacmi 23 m^3 ve özgül hacmi 1,534 m^3/kg'dır. **Buna göre nitrojen gazının ağırlığı kaç kg'dır?**

A) 0,06
B) 14,9
C) 17,5
D) 22,4
E) 35,2

21. Barometre basıncı 700 mmHg değerinde okunan bir yerin yer çekimi ivmesi 9,8 m/s^2 olduğuna göre bu yerin atmosfer basıncı kaç N/m^2 dir (Pa)? (Cıvanın yoğunluğu = 13650 kg/m^3 tür.)

A) 54.639
B) 93.639
C) 748.609
D) 789.523
E) 936.390

22. Bir okul penceresinin iç yüzey sıcaklığı 20 °C dış yüzey sıcaklığı 5 °C'tur. Isı iletim katsayısı 140 W/m^2k olan camın kalınlığı 0,04 m ve camdan kaybedilen ısı akımı 40 kW'tır. **Buna göre camın yüzey alanı kaç m^2dir?**

A) 0,03
B) 0,04
C) 0,05
D) 0,07
E) 0,08

23. Yüzey sıcaklığı 20 °C olan bir boru içerisinden sıcaklığı 70 °C olan akışkan geçmektedir**. Borunun yüzey alanı 3,2 m^2 ve boru ile yüzey arasındaki ısı transferi 15,22 kW olduğuna göre ısı transfer katsayısı kaç W/m^2k'dir?**

A) 0,09
B) 14,72
C) 17,15
D) 74,15
E) 95,12

24. Bir ısı makinesine kazandan 100 MW ısı geçişi olmaktadır. Isı makinesinin yakındaki bir göle atık olarak verdiği ısı ise 30 MW'tır. **Isı makinesinin net gücü kaç MW'tır?**

A) 70
B) 80
C) 85
D) 105
E) 130

25. Belirli bir sıcaklıkta bulunan bir miktar gaz, 620 mmHg basınçta 500 ml hacim kaplamaktadır. Sıcaklığın sabit olduğu bu ortamda basınç 1080 mmHg'ye çıkarılıyor. **Buna göre gazın hacmi kaç ml olur?**

A) 170,30 B) 287,03 C) 300,02 D) 552,78 E) 870,96

26. Hareketli pistonlu bir kapta 800 K'de 20 litre hacim kaplayan gaz bulunmaktadır. **Gaz sıcaklığı 227 °C'ye düşürüldüğünde hacmi kaç litre olur?**

A) 9,2 B) 10 C) 12,5 D) 14 E) 14,8

27. Bir ideal gaz karışımında sıcaklık 27 °C, basınç 400 kPa ve hacim 2 m^3 tür. **Karışımın mol miktarı aşağıdakilerden hangisidir? (Ru = 8,3143 kJ/kmol K)**

A) 0,288 B) 0,320 C) 0,426 D) 0,512 E) 0,759

28. Pistonun silindir içerisinde inebildiği en alt noktada yön değiştirmek için bir an durakladığı nokta aşağıdakilerden hangisidir?

A) Alt ölü nokta B) Strok C) Üst ölü nokta D) Verim E) Zaman

29. İdeal bir Otto çevrimde sisteme giren ısı miktarı Q_{gir} = 542,1 kJ/kg'dır. **Çevrimin yaptığı net iş W_{net} = 237,9 kJ/kg ise bu çevrimin ısıl verimi (η_t) yüzdesi aşağıdakilerden hangisidir?**

A) 34 B) 38 C) 43 D) 45 E) 54

30. Dizel motorları pistonlu motorlardan ayıran özelliklerden biri aşağıdakilerden hangisidir?

A) Dizel motor otto motorlardan daha düşük verimde çalışır.
B) Dizel motorlarda bulunan karbüratör ve buji vasıtasıyla ateşleme devreye girer.
C) Pistonlu motorlarda bulunun emme subabı dizel motorlarda yoktur.
D) Dizel motorlar dört zamanlı çevrimler varken pistonlu motorlarda dört zamanlı çevrim yoktur.
E) Dizel motorlarda ateşleme enjektör vasıtasıyla gerçekleşir.

31. Bir binayı ısıtmak için bir ısı pompası kullanılması düşünülüyor. Bina içindeki sıcaklık 23 °C olarak sabit tutulurken, dış kısımda -8 °C olduğunda bina saatte 40 MJ ısı kaybı yaşamaktadır. **Bu durumda, ısı pompasının gücü kaç kW'tır? (1 kW = 3,6 MJ/h)**

A) 1,164
B) 1,185
C) 1,408
D) 1,547
E) 2,865

2.
ÖĞRENME BİRİMİ



PERFORMANS HESABI

KONULAR

2.1. DİNAMİĞİN TEMEL ESASLARI İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

2.2. MOTOR PERFORMANS HESAPLAMALARI

TEMEL KAVRAMLAR

enerji hesaplamaları, motor performans hesaplamaları, Newton'ın hareket kanunları

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- **Potansiyel enerji ve kinetik enerji**
- **Eylemsizlik prensibi**
- **Dinamiğin temel prensibi**
- **Etki-tepki prensibi**
- **Kuvvet, iş, güç, enerji, hız ve ivme arasındaki ilişkiler**
- **Brüt çekiş (thrust), net çekiş, çekiş dağılımı, bileşke çekiş, çekiş beygir gücü, eş değer şaft beygir gücü, özgül yakıt tüketimi ve içten yanmalı motor çevrimleri**
- **Motor verimleri**
- **Baypas oranı ve motor basınç oranı**
- **Gaz akışının basınç, sıcaklık ve hızı**
- **Motor derecelendirmeleri**

HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

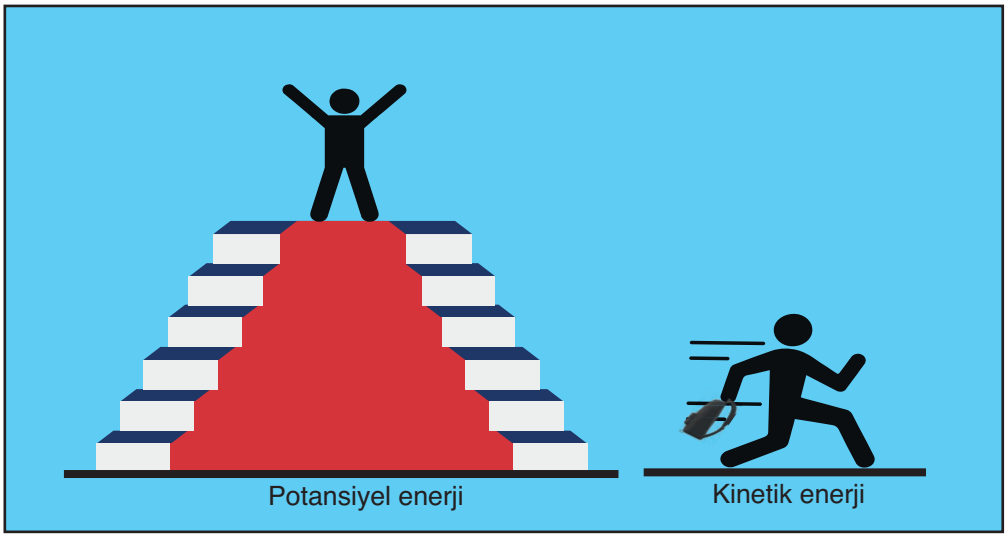
1. **Bir nesneyi yukarı doğru fırlattığınızda belirli bir yüksekliğe kadar yükselmesi ve ardından hızlanarak aşağı doğru düşmesinin nedeni ne olabilir? Bu konudaki düşüncelerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.**
2. **Otobüs hareket hâlindeyken ani fren yaptığında otobüsteki yolcuların hareket etmesinin nedeni ne olabilir? Düşüncelerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.**
3. **Uçak motorlarında motor performansını artırmak için ne tür değişiklikler yapılabilir? Düşüncelerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.**

2.1. DİNAMİĞİN TEMEL ESASLARI İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

Dinamik; kuvvet, hareket, enerji arasındaki ilişkileri inceleyen bilim dalıdır. Başka bir ifadeyle dinamik, cisimlerin hareketini inceler ve bu hareketi analiz eder. Dinamik bilim dalı, mekanik biliminin alt dalıdır. Mekanik bilimi ise cisimlerin hareketli ve hareketsiz hâldeki durumlarını inceler.

2.1.1. Potansiyel Enerji ve Kinetik Enerji

Yer çekiminin etkisi altındaki cisimlerin henüz kullanılmamış enerjisine **potansiyel enerji** denir. Cisimlerin hareketinden kaynaklanan enerji ise **kinetik enerji**dir (Görsel 2.1).

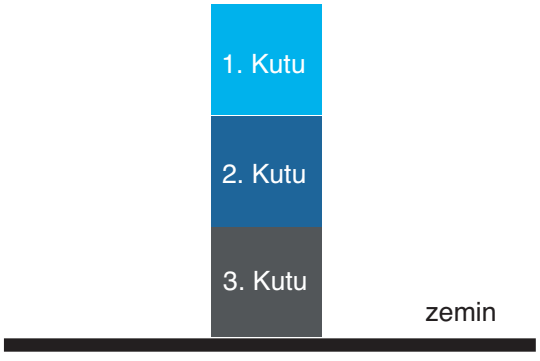


Görsel 2.1: Potansiyel enerji ve kinetik enerji

2.1.1.1. Potansiyel Enerji

Cisimler referans alınan zeminin yüksekliğine göre üzerlerinde potansiyel enerji depolar. Potansiyel enerji; yükseklik, kütle ve yer çekimi ivmesinin çarpımına eşittir. Cisimlerin üzerinde depoladıkları enerji bu parametrelere bağlı olarak değişir.

Hidroelektrik santraller, barajlarda biriken suyun potansiyel enerjisini kullanarak elektrik üretir. Barajdaki su seviyesi yükseldikçe suyun kütlesi ve yükseliği artar. Suyun kütlesinin ve yükseliğinin artması suda daha fazla potansiyel enerjinin depolanmasına neden olur. Görsel 2.2'de aynı boyut ve ağırlıkta üç kutu üst üste konulmuştur. Zemine göre en yüksekte bulunan birinci kutu, en fazla potansiyel enerjiye sahiptir. En altta bulunan üçüncü kutu ise en az potansiyel enerjiye sahiptir.



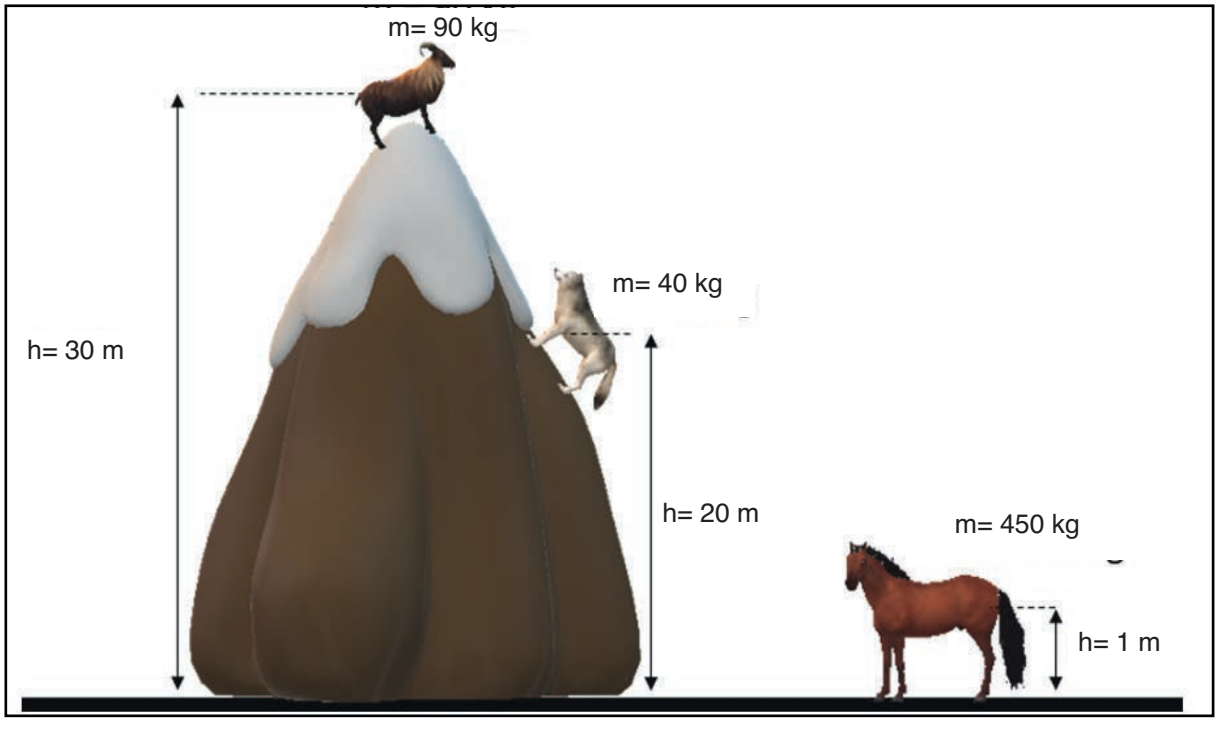
Görsel 2.2: Yerçekimi potansiyel enerjisi

Potansiyel enerji = Ağırlık (G = m×g)×Yükseklik (h)
= m.g.h

Potansiyel enerjinin birimi **Joule**'dur **(jul)**. Sembolü **J** ile gösterilir.

Örnek

Görsel 2.3'te farklı yüksekliklerde konumlanmış hayvanların potansiyel enerjilerini hesaplayınız.



Görsel 2.3: Yerçekimi potansiyel enerjisi

Çözüm

Keçinin sahip olduğu potansiyel enerji,

E_{p1}= m.g.h dan E_{p1}= 90.9,8.30 E_{p1}= 26460 joule olur.

Kurdun sahip olduğu potansiyel enerji,

E_{p2}= m.g.h dan E_{p2}= 40.9,8.20 E_{p2}= 7840 joule olur.

Atın sahip olduğu potansiyel enerji,

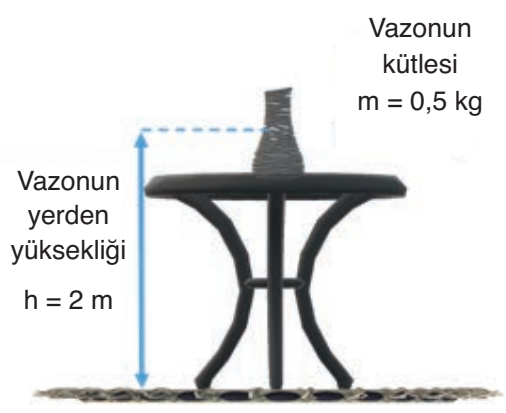
E_{p3}= m.g.h dan E_{p3}= 450.9,8.1 E_{p3}= 4410 joule olur.

Bu hesaplamalarda belirtilen yükseklikler, cismin kütle merkezi ile zemin arasındaki mesafedir. Potansiyel enerji, zemin ile kütle merkezi arasındaki mesafe dikkate alınarak hesaplanır.

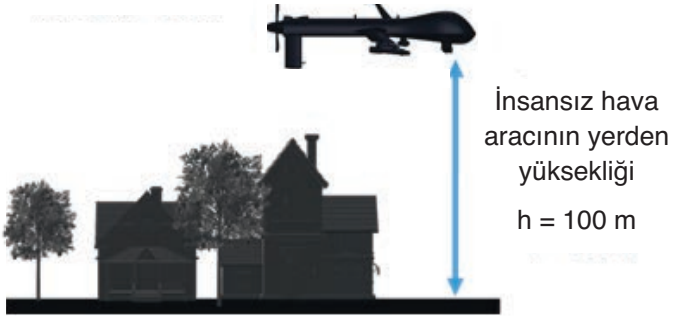
2.1. UYGULAMA: Potansiyel Enerjinin Hesaplanması

Amaç: Sistemlerin potansiyel enerjilerini hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.4: Vazonun potansiyel enerjisi



Görsel 2.5: İnsansız hava aracının potansiyel enerjisi

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.4'te verilen vazonun potansiyel enerjisini hesaplayınız. [G (yer çekim ivmesi) = 10 m/s^2]
2. Görsel 2.5'te verilen insansız hava aracının potansiyel enerjisini hesaplayınız. [G (yer çekim ivmesi) = 10 m/s^2]
3. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık varsa işlemleri kontrol edip yeniden hesaplayınız.
4. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
5. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.1.1.2. Kinetik Enerji

Cisimlerin hareketleri sonucunda ortaya çıkan enerjiye **kinetik enerji** denir. Pratikte hareket eden her şeyin bir kinetik enerjisi vardır. Örneğin havada uçan bir kuşun, dağ yamacından aşağıya doğru yuvarlanan bir kayanın veya hızla koşan bir kedinin kinetik enerjisi bulunur. Bir cismin kinetik enerjisi, o cismin kütlesi ve hızıyla ilgilidir. Cismin kütlesi ve hızı arttıkça kinetik enerjisi de artar. Cismin hızı sabitse kinetik enerjisi de sabit kalır.

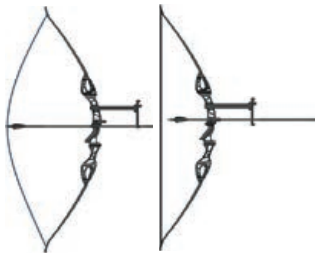
Bir cismin kinetik enerjisi,

$$E_k = \frac{1}{2}.m.V^2$$

şeklinde hesaplanır. Bu hesaplamada E_k cismin kinetik enerjisidir, birimi **Joule'**dur (**jul**); **m** cismin kütlesidir, birimi **kg**'dır; **V** cismin hızıdır, birimi ise m/s olarak gösterir.

Örnek

Görsel 2.6'da kütlesi 2 kg olan ok, yaydan 5 m/s hızla fırlatılmıştır. Okun yaydan çıktığı anda sahip olduğu kinetik enerjiyi hesaplayınız.



Görsel 2.6: Kinetik enerji

Çözüm

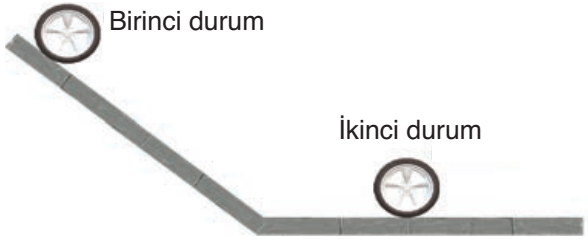
Okun yaydan çıktığı andaki kinetik enerjisi,

$E_k = ½\ mV^2 \rightarrow E_k = ½.2.5^2 \rightarrow E_k = 25$ joule olur.

Enerjinin Korunumu Yasası: Çevreden enerji giriş ve çıkışının olmadığı, sürtünme gibi kuvvetlerin göz ardı edildiği bir sistemde toplam enerji miktarının sabit olduğunu ifade eder.

Mekanik Enerjinin Korunumu Yasası: Çevresinden izole edilmiş bir sistemde sadece mekanik enerjideki değişiklik, sistem içindeki toplam enerji miktarını değiştirmez. Başka bir deyişle enerji yoktan var edilemez veya tamamen yok edilemez ancak farklı enerji türleri arasında dönüşüm gerçekleşebilir. Örneğin yüksekten düşen bir kutunun potansiyel enerjisi yer yüzeyine yaklaştıkça azalırken kinetik enerjisi artar. Bu durumda sistemdeki toplam enerji miktarı sabit kalır.

Görsel 2.7'de gösterilen tekerlek, başlangıçta platformun üst noktasında hareketsiz duruyor. Bu durumda tekerleğin sadece potansiyel enerjisi vardır. Daha sonra tekerlek platformdan serbest bırakılıyor ve ikinci durumda kendisine özgü bir konuma gelmesi sağlanıyor. İkinci duruma geçerken tekerleğin potansiyel enerjisi azalırken kinetik enerjisi artar. Eğer sürtünme ve enerji kayıpları ihmal edilirse tekerleğin potansiyel enerjisi ikinci konumda tamamen kinetik enerjiye dönüşür. Tekerleğin enerji türü değişse de sistemdeki toplam enerji miktarı değişmez.

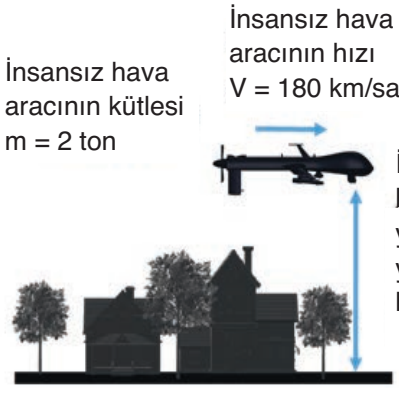


Görsel 2.7: Potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesi

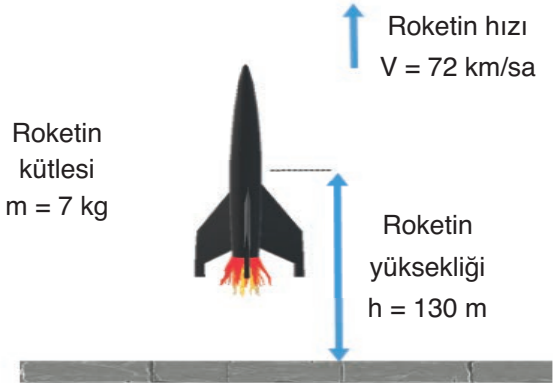
2.2. UYGULAMA: Sistemin Kinetik Enerjisi ve Toplam Enerjisinin Hesaplanması

Amaç: Sistemlerin kinetik, potansiyel ve toplam enerji miktarını hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.8: İnsansız hava aracının potansiyel enerjisi ve toplam enerjisi



Görsel 2.9: İnsansız hava aracının potansiyel enerjisi ve toplam enerjisi

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.8'de verilen insansız hava aracının kinetik enerjisini, potansiyel enerjisini ve toplam enerjisini bulunuz [G (yer çekim ivmesi) = 10 m/s^2].
2. Görsel 2.9'da verilen roketin kinetik enerjsini, potansiyel enerjisini ve toplam enerjisini bulunuz [G (yer çekim ivmesi) = 10 m/s^2].
3. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol edip yeniden hesaplayınız.
4. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
5. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.1.2. Newton'ın Hareket Kanunu

Newton'ın (Nüvtın) hareket kanunları ise cisimlerin hareketlerinde meydana gelen değişimleri ve harekette değişime sebep olan kuvvetler arasındaki ilişkiyi açıklayan yasalardır. Newton'ın hareket kanunları, dinamik biliminin temelini oluşturur. Isaac Newton (1643-1727), 1678'de "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" (Doğa Felsefesinin Matematik Prensipleri) adlı kitabında bu kanunları ortaya koymuştur. Eşitlikleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Birinci Yasa [Eylemsizlik Prensibi (Atalet Kanunu)]: Duran bir cisme dışarıdan herhangi bir kuvvet etki etmediğinde hareketsiz kalarak durmaya devam eder. Hareket halindeki bir cisim ise dışarıdan bir kuvvet etki etmediği sürece hareketini sürdürür.

İkinci Yasa [Dinamiğin Temel Prensibi (Denge Kanunu)]: Eğer bir cisme farklı yönde ve büyüklükte kuvvetler etki ediyorsa cismin üzerindeki net kuvvet sıfır olmayacaktır. Bu durumda cisim, net kuvvetin doğrultusunda ivmelenir.

Üçüncü Yasa [Etki-Tepki Prensibi (Hareket Kanunu)]: Bir cisme uygulanan kuvvete karşı, cisim de aynı büyüklükte, kendisine uygulanan kuvvete ters yönde bir tepki kuvveti uygular.

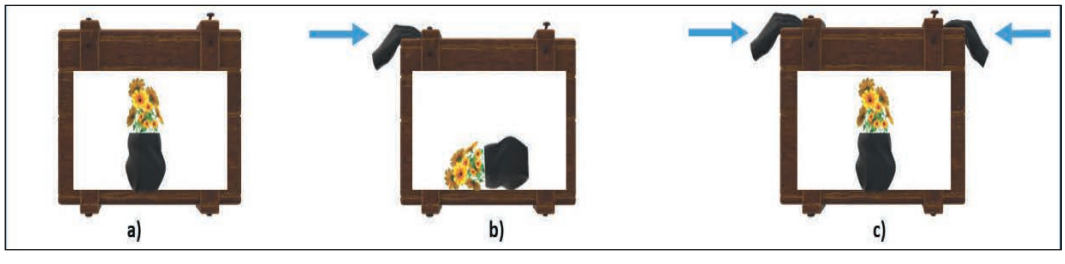
Tablo 2.1: Newton'ın Hareket Kanunları

Net kuvvet = 0	**1. Yasa:** Eylemsizlik Prensibi (Atalet Kanunu)
Net kuvvet ≠ 0 F= m.a	**2. Yasa:** Dinamiğin Temel Prensibi (Denge Kanunu)
$F_{etki} = -F_{tepki}$	**3. Yasa:** Etki-Tepki Prensibi (Hareket Kanunu Kanunu)

2.1.2.1. Eylemsizlik Prensibi (Atalet Kanunu)

Duran bir cismin, dışarıdan herhangi bir kuvvet etkilemediği sürece durmaya devam edeceği ve hareket hâlindeki bir cismin ise bir dış kuvvetin etkilemediği sürece hareketini sürdüreceği **eylemsizlik prensibi** ile ifade edilir. Günlük hayatta ani fren yaparak duran bir otobüsteki yolcuların harekete devam etme isteği, aynı şekilde duran bir otobüsün aniden harekete geçmesiyle yolculardaki durmaya devam etme isteği **eylemsizlik prensibi** tarafından açıklanır.

Atalet (**eylemsizlik**), hareket hâlindeki cisimlerin devam etme eğilimini ve duran cisimlerin durma eğilimini ifade eder. Örneğin düz bir zeminde hareketsiz hâlde duran sandık ve içerisindeki vazo dışarıdan bir kuvvet ile hareket ettirilmediği sürece hareketsiz kalmaya devam eder (Görsel 2.10a). Sandığa bir kuvvet uyguladığında sandık hareket etmeye başlar ancak içerisindeki vazo durma eylemine devam etmek isteyeceğinden kuvvete ters yönde devrilir (Görsel 2.10b). Sandık başka bir kuvvet etki etmediği sürece hareketine devam eder. Sandığa uygulanan kuvvete eşit ve zıt bir kuvvet aynı anda etki ettiğinde sandık hareketsiz durmaya devam eder (Görsel 2.10c).

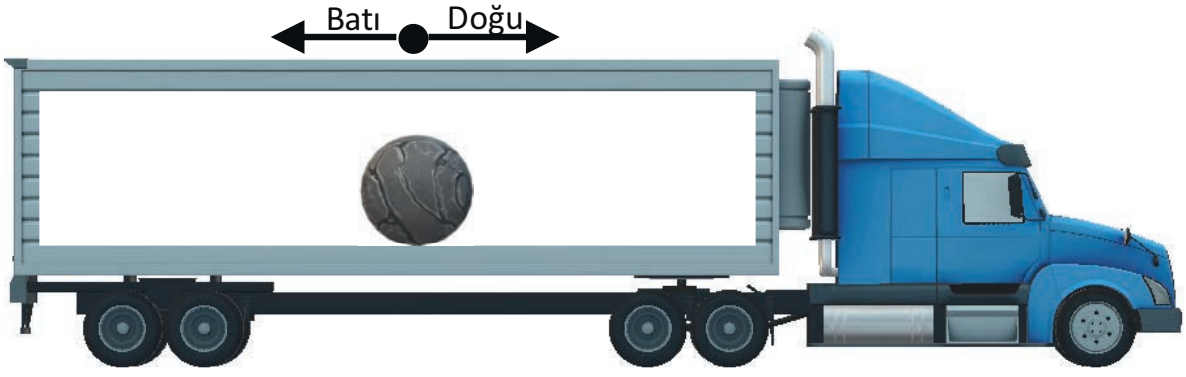


Görsel 2.10: Eylemsizlik prensibi

2.3. UYGULAMA: Eylemsizlik Momentinin Hesaplanması

Amaç: Cisimlerin eylemsizlik momentini hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.11: Cisimlerin eylemsizlik momenti

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.11'de dorsesinde taş bulunan bir kamyon görülmektedir. Dorsedeki taş; önce doğu yönüne hareket etmiş, daha sonra batı yönünde hareket etmiştir. Taşın hareket durumuna göre birinci ve ikinci durumda kamyonun hangi yönde (doğu-batı) yavaşlama ya da hızlanma hareketi yaptığını yazınız.
2. Çözümünüzü arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık varsa işlemleri kontrol edip yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

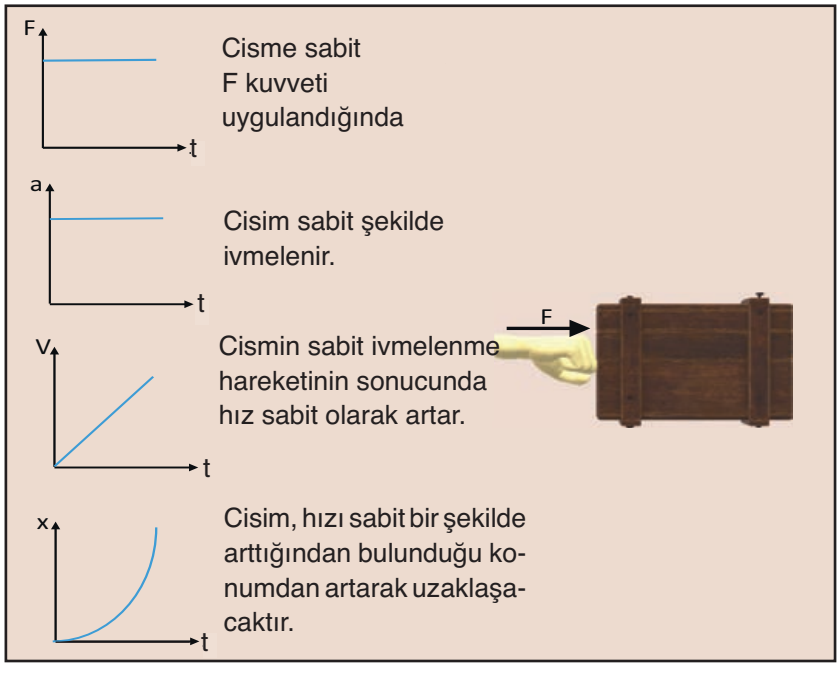
Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.1.2.2. Dinamiğin Temel Prensibi

Kuvvet vektörel bir niceliktir, bir cisme etki eden net (bileşke kuvvet) kuvvetlerin toplamıdır. Bu net kuvvet, cisme hangi doğrultu ve yönde etki ediyorsa cisim o yöne doğru ivmelenir. Uygulanan net kuvvette herhangi bir değişim olmadığı sürece cismin ivmesi sabit kalır. Cismin hızı ise ivmeli hareketten dolayı sabit şekilde artmaya devam eder. Cisme uygulanan kuvvet cismin kütlesi ile ivmesi çarpımına eşittir.

$F = m \times a$
Kuvvet (Newton) = Kütle (kg) x İvme (m/s^2)

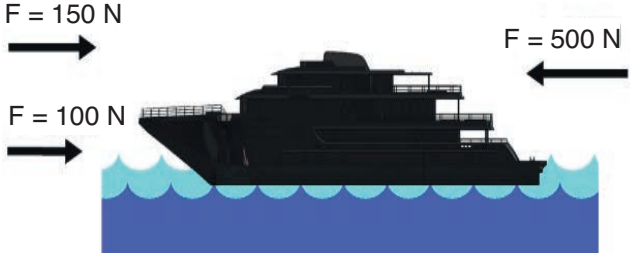
Newton'ın ikinci kanunu, **dinamiğin temel bir ilkesi**dir ve **denge kanunu** olarak bilinir. Grafik 2.1'de görüldüğü gibi bir cisim üzerine uygulanan kuvvetin büyüklüğü arttıkça, cismin ivmesinin de arttığını gösterir. Bu prensip günlük yaşamda özellikle taşıtlarda açıkça gözlemlenebilir. Örneğin bir aracın gaz pedalına daha fazla basıldığında aracın motorunun ürettiği kuvvet de artar. Bu artan kuvvet, aracın ivmesini yükseltir. Artan ivme, aracın hızını artırır. Hızın artması da aynı süre içinde daha fazla mesafe kat etmesini sağlar.



Grafik 2.1: Dinamiğin temel prensibi

Örnek

Görsel 2.12'de görüldüğü üzere oyuncak yolcu gemisine 500 N ve bu 500 N kuvvete zıt yönde 100 N ve 150 N kuvvet etki etmektedir. Oyuncak yolcu gemisinin kütlesi 50 kg olduğuna göre oyuncak gemiye etki eden toplam net kuvvet ve geminin bu kuvvetler etkisindeki ivmesi nedir?



Görsel 2.12: Dinamiğin temel prensibi

Çözüm

F_{net} = 500 N-(100 N+150 N)

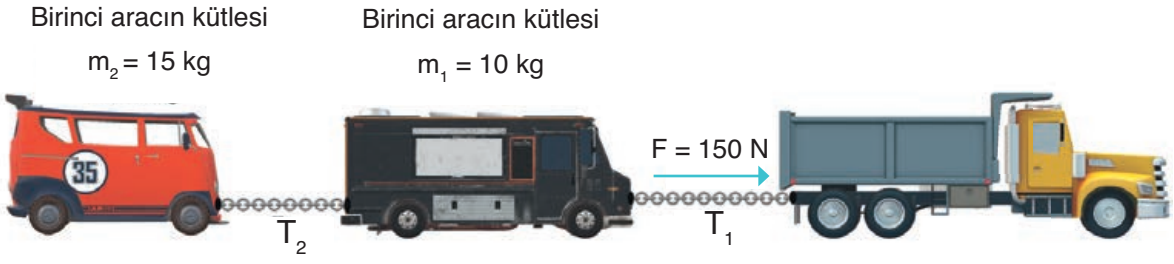
F_{net} = 250 N Net kuvvet (sağa doğru) 250 N olur.

F_{net} = m×a formülünden 250 = 50×a olur. Böylece oyuncak geminin ivmesi a = 5 m/s^2 bulunur.

2.4. UYGULAMA: Dinamiğin Temel Prensibinin Hesaplanması

Amaç: Sistemlerin kuvvet etkisinde ivmelerini hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.13: Dinamiğin temel prensibi

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

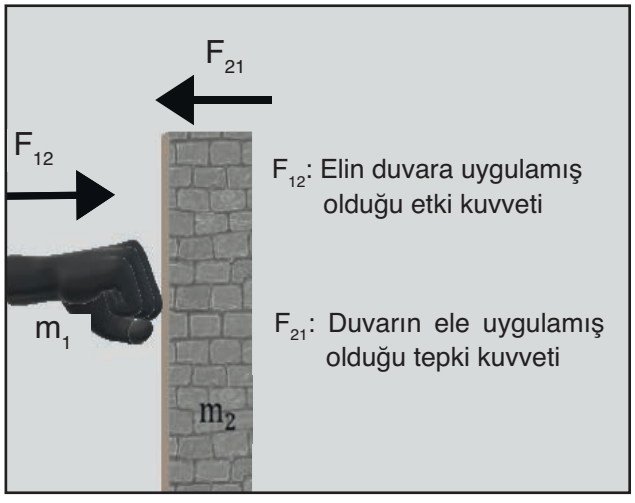
İşlem Basamakları

1. Görsel 2.13'te görüldüğü gibi oyuncak kamyonlar zincirlerle birbirine bağlanmıştır. Oyuncak kamyonlar, ilk kamyon tarafından 150 N kuvvetle çekilmektedir. Bu durumda T_1 ve T_2 zincirindeki gerilmeleri ve sistemin ivmesini bulunuz.
2. Çözümü arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol edip yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.1.2.3. Etki-Tepki Prensibi

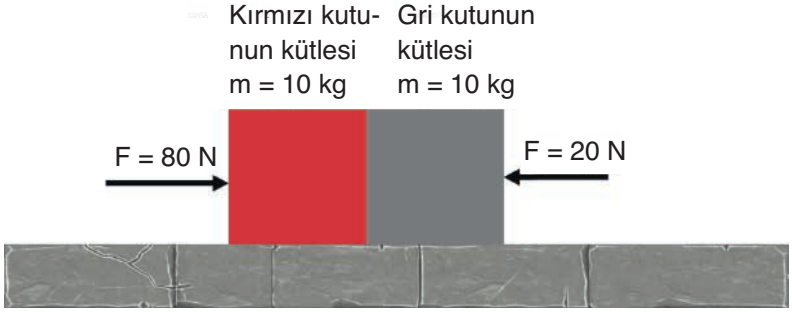
Bir cisme uygulanan herhangi bir kuvvet, cisim tarafından bu kuvvete zıt yönde ve eşit büyüklükte bir tepki kuvveti üretir. Ancak önemli nokta şudur: Etki ve tepki kuvvetleri, aynı cisim üzerinde oluşmaz. Bu nedenle etki ve tepki kuvvetleri birbirini dengelemez. Örneğin herhangi bir duvara yumruk atıldığında elde acı hissedilir. Burada etki kuvveti elden duvara doğru iken tepki kuvveti duvardan ele doğrudur. Duvara yumruk atıldığında tepki kuvveti, duvardan ele değil de (tepki kuvvetinde olduğu gibi) elden duvara doğru olsursa etki-tepki kuvveti birbirini sıfırlar ve elde acı hissedilmez (Görsel 2.14).



Görsel 2.14: Etki-tepki prensibi (hareket kanunu)

Örnek

Yatay düzlemde Görsel 2.15'teki gibi kırmızı ve gri kutular, yatay düzlemde birbirine temas edecek şekilde konulmuştur. 80 N kuvvet kırmızı kutuyu, 20 N kuvvet gri kutuyu itmektedir. **Buna göre kırmızı kutunun gri kutuyu hareket süresince kaç N kuvvet ile ittiğini ve gri kutunun kırmızı kutuya uyguladığı tepki kuvvetini bulunuz.**



Görsel 2.15: Cisimlerde etki-tepki prensibi

Çözüm

$F_{net} = 80\ N - 20\ N$

$F_{net} = 60\ N$

$$a = \frac{F_{net}}{m_{kırmızı} + m_{gri}} \longrightarrow a = \frac{60}{10+10} \longrightarrow a = 3\ m/s^2$$

Kırmızı kutunun gri kutuyu hareket süresince ittiği kuvvet

$F = m.a \quad F = 10.3 \quad F = 30\ N$

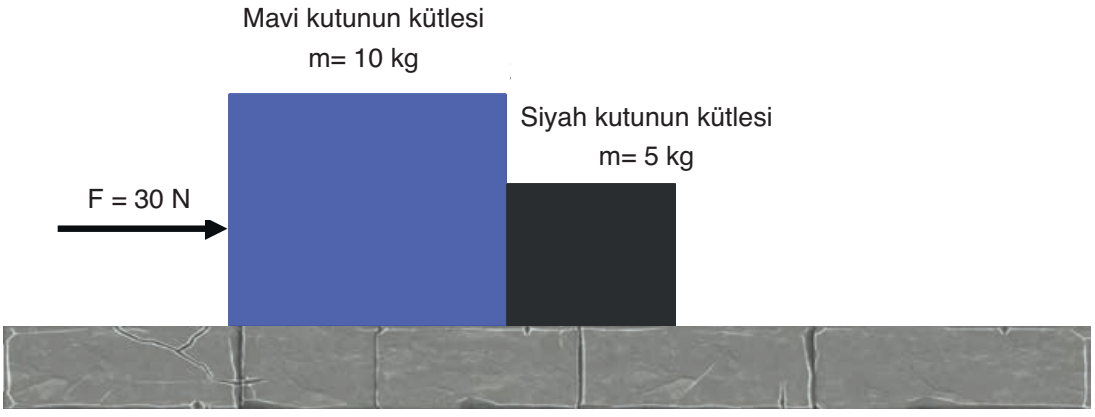
Gri kutunun kırmızı kutuya uyguladığı tepki kuvveti

$F = -30\ N$ olur.

2.5. UYGULAMA: Etki-Tepki Prensibinin Hesaplanması

Amaç: Cisimlerin etki ve tepki kuvvetlerini hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.16: Etki-tepki prensibi

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Yatay düzlemde Görsel 2.16'da görüldüğü gibi mavi ve siyah kutular, birbirine temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Mavi kutu 30 N kuvvetle itilmektedir. Bu durumda mavi kutunun siyah kutuyu hareket ettirmek için uyguladığı kuvveti ve siyah kutunun mavi kutuya uyguladığı tepki kuvvetini bulunuz.
2. Çözümünüzü arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol edip yedinden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
Sınıfı / Numarası	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.1.3. Kuvvet, İş, Güç, Enerji, Hız ve İvme

Galileo Galilei (Galilo Galile), eğik yüzeylerde ve serbest düşen cisimlerin gözlemleri ve deneyleri ile kuvvet, iş, güç, enerji, hız, ivme gibi fiziksel ilişkileri keşfetmiştir. Galileo Galilei'nin çalışmalarına dayalı benzer deneyler, bugün hâlâ yapılmaktadır. Bu deneylerin en bilinenlerinden biri, vakumlu bir ortamda bir bowling topu ile bir tüyün aynı anda aynı yükseklikten yere bırakılması deneyidir.

2.1.3.1. Kuvvet

Bir cismin hareketini etkileyen veya cisimleri sıkıştırma, çekme, kesme gibi eylemlerle gerilmesine neden olan etkiye **kuvvet** denir. Bu etkiler sonucunda cismin şekli ve hacmi değişebilir. Kuvvet, doğal olaylar ya da insan müdahalesiyle ortaya çıkabilir. Kuvvet, yönü ve büyüklüğü olan vektörel bir niceliktir.

Kuvvetler, temas gerektiren ve temas gerektirmeyen kuvvetler olarak iki ana grupta incelenebilir. Temas gerektiren kuvvetlere örnek olarak sürtünme kuvveti, merkezcil kuvvet ve basınç kuvveti verilebilir. Temas gerektirmeyen kuvvetler ise manyetik kuvvet, kütle çekim kuvveti gibi alan kuvvetleridir.

Kuvvet sembolü genellikle **F** ile gösterilir. Metrik sistemde kuvvetin birimi **N** (Newton) olarak ifade edilir. Havacılık sektöründe ise İngiliz birim sisteminde **pound (lb)** tercih edilir. Kuvvet, bir cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir. Cismin kütlesi kg ve ivmesi m/s² olduğu için kuvvet **N =** (kg•m)/s² olarak hesaplanır. Metrik sistemde kullanılan başka bir kuvvet birimi olan **dyne** (dayn) ise **dyne** = $\mathbf{10^{-5}N}$ ile ifade edilir.

Örnek

Görsel 2.17'deki dinamometre en fazla 200 N kuvveti ölçebilmektedir. Dinamometrenin ölçüm çubuğu 20 bölmedir. 4 kg ağırlığındaki kasa dinamometrenin ölçüm çubuğunda kaç birimlik uzamaya neden olur? (G = 10 N/kg)

Çözüm

Dinamometrenin her bir bölmesi

200:20 = 10 N

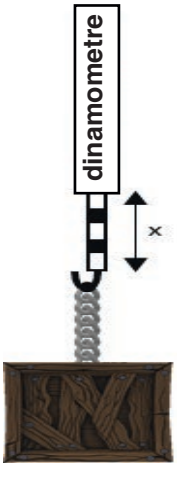
Kasanın N biriminden ağırlığı

4.10 = 40 N

40 N ağırlığındaki dinamometre çubuğunda neden olduğu uzama

10.x = 40 N

x = 4 birim uzamaya neden olur.



Görsel 2.17: Dinomometre ile kuvvet hesabı

2.6. UYGULAMA: Cisimlere Uygulanan Kuvvetin Hesaplanması

Amaç: Cisimlere uygulanan kuvveti hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.18: Kuvvet hesabı

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.18'deki dinamometre, en fazla 100 N kuvveti ölçebilmektedir. Dinamometrenin ölçüm çubuğu 20 bölmeden oluştuğuna göre dinamometrede 4 birim uzamaya neden olan F kuvvetinin büyüklüğünü bulunuz.
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol edip yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.1.3.2. İş

Cisme uygulanan kuvvet, cismin hareket etmesini sağlıyorsa bu kuvvet cisim üzerinde iş yapmış demektir. Bir işin gerçekleşebilmesi için iki ana unsur gereklidir: Cisme bir kuvvet uygulanması ve cismin bu kuvvet doğrultusunda yer değiştirmesi. Bu iki unsurdan herhangi biri eksikse kuvvet iş yapmış sayılmaz.

İş **W** simgesi ile gösterilir. İşin birimi **Joule**'dur. İngiliz-Amerikan ölçü birimine göre kuvvet **pound**, mesafe **feet** (**fit**) olarak alınırsa işin birimi de **foot-pounds** (**fut paund**) olur. İş, hacim veya ışık şiddeti gibi herhangi bir doğrultusu olmadığından skaler bir büyüklüktür. İşin formülü, kuvvet ile kuvvet etkisinde alınan yolun çarpımıdır.

İşin hesaplama formülü şu şekildedir:

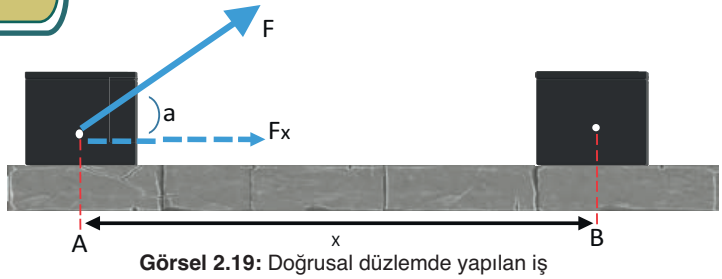
İş = kuvvet × yol

Matematiksel olarak şöyle ifade edilir:

$W = F.\Delta x$

Görsel 2.19'daki kutu, A noktasından B noktasına F kuvveti etkisi altında x mesafede yer değiştirmektedir. Yapılan işi hesaplamak için F kuvvetinin x doğrultusundaki bileşeninin yani $F_x$in kullanılması gerekir. Bu işlem şu formülle ifade edilir:

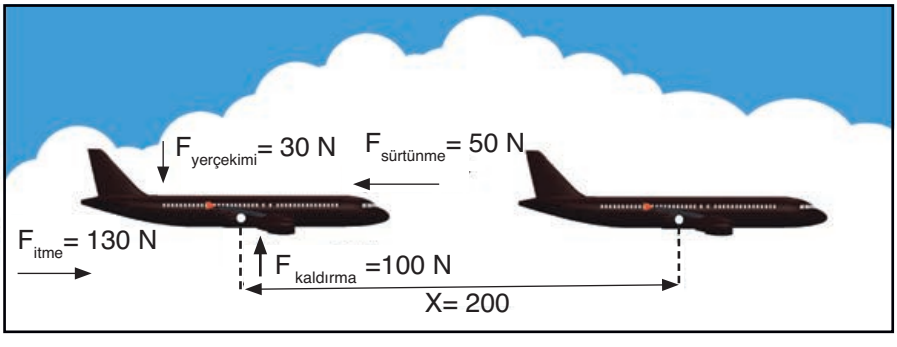
$W = F.\cos a.x$



Görsel 2.19: Doğrusal düzlemde yapılan iş

Örnek

Görsel 2.20'deki yolcu uçağı itme kuvveti, hava sürtünme kuvveti ve yer çekimi kuvveti etkisinde 200 m yol yol almakta ve 200 m yükseklikte uçmaktadır. Buna göre $\mathbf{F_{itme}}$, $\mathbf{F_{sürtünme}}$ ve $\mathbf{F_{kaldırma}}$ kuvvetinin yapmış olduğu işi bulunuz.



Görsel 2.20: Doğrusal düzlemde yapılan iş

Çözüm

İtme kuvvetinin yapmış olduğu iş:

$\mathbf{F_{itme}} = 130.200 = 26000$ joule

Sürtünme kuvvetinin yapmış olduğu iş:

$\mathbf{F_{sürtünme}} = 50.200 = 1000$ joule

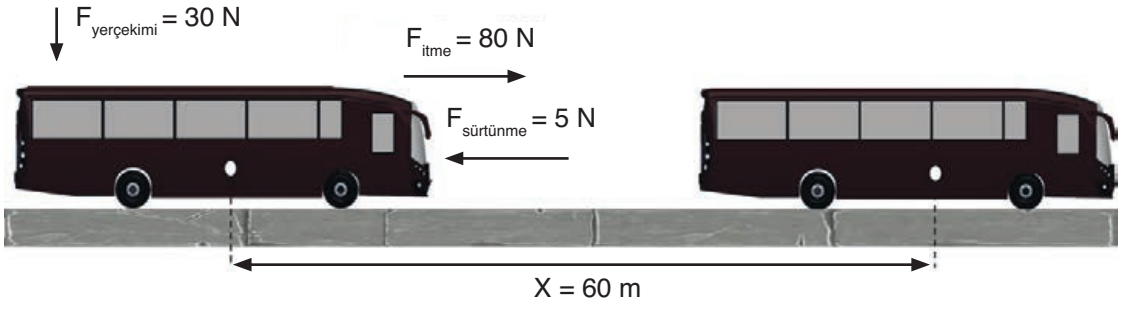
Kaldırma kuvvetinin yapmış olduğu iş:

$\mathbf{F_{kaldırma}} = 100.200 = 20000$ joule olur.

2.7. UYGULAMA: Cisimlerin Yaptığı İşin Hesaplanması

Amaç: Doğrusal düzlemde yapılan işi hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.21: Doğrusal düzlemde yapılan iş

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.21'deki araç itme kuvveti, hava sürtünme kuvveti ve yer çekimi kuvveti etkisinde 60 m yol almaktadır. Buna göre F_{itme}, $F_{sürtünme}$ $F_{yerçekimi}$ ve toplam kuvvetin yapmış olduğu işi bulunuz.
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol edip yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
Sınıfı / Numarası	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.1.3.3. Güç

Güç; yapılan işin, aktarılan enerjinin veya dönüştürülen enerjinin birim zamana bölünmesiyle elde edilir. İş gibi skaler bir büyüklüktür ve genellikle **P** simgesi ile gösterilir. Uluslararası Birimler Sistemi'nde (**SI**), gücün birimi **Watt** (**W**) olarak ifade edilir. Taşıtlarda ise genellikle **beygir gücü** (**BG**) terimi kullanılır.

Beygir gücü, James Watt (Ceyms Vat) tarafından bulunmuştur. James Watt, buharlı makinelerin icadıyla birlikte makinelerin gücünü insanlar için daha anlaşılır bir şekilde ifade etmek istemiştir. Bu nedenle makinelerin gücünü, bir atın gücüyle kıyaslamıştır. İngiliz-Amerikan birim sisteminde iş; **foot-pound**, zaman saniye olarak alındığında, gücün birimi **foot-pounds/saniye** olarak hesaplanır.

$$\text{Güç} = \frac{\text{İş}}{\text{Zaman Aralığı}}, \quad \text{Güç} = \frac{\text{Aktarılan Enerji}}{\text{Zaman Aralığı}}, \quad \text{Güç} = \frac{\text{Dönüştürülen Enerji}}{\text{Zaman Aralığı}}$$

Elektrik sayaçlararı tüketimi, kilowatt-saat (kW/h) cinsinden hesaplamaktadır (Görsel 2.22).



Görsel 2.22: Elektrik sayacı

Örnek

6000 W güce sahip bir elektrikli motorun 60 kW güç harcaması için kaç saat çalışması gerekir?

Çözüm

6000 W = 6 kW

Elektrilikli motorun çalışması gereken saat

60 kWsa = 6 kW . x

X = 10 saat→ 6000 W güce sahip bir elektrikli motorun 60 kW güç harcaması için 10 saat çalışması gerekir.

2.8. UYGULAMA: Gücün Hesaplanması

Amaç: Gücü hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.23: Siyah elektrik motorunun gücünün hesaplanması



Görsel 2.24: Kırmızı elektrik motorunun gücünün hesaplanması

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.23'te yer alan siyah motorun gücü 1500 W ve 9 saat çalıştırılmıştır. Bu süre boyunca motorun harcadığı gücü bulunuz.
2. Görsel 2.24'te yer alan kırmızı motorun gücü 2000 W ve 6 saat çalıştırılmıştır. Bu süre boyunca motorun harcadığı gücü bulunuz.
3. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol edip yeniden hesaplayınız.
4. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
5. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.1.3.4. Hız

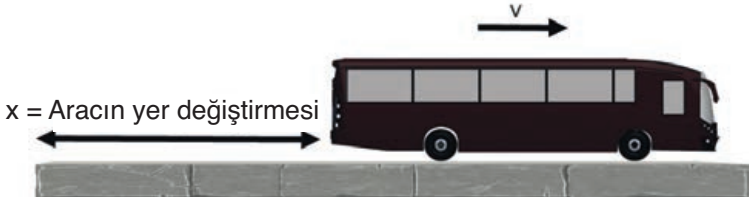
Hız, bir cismin belirli bir zaman diliminde ne kadar yol aldığını ifade eden bir kavramdır. Hız, cismin yer değiştirmesini geçen zamana bölererek hesaplanır.

Günlük hayatta **hız** ve **sürat** terimleri bazen birbirinin yerine kullanılsa da aslında farklı kavramlardır. Hız, yer değiştirmeyi temel alır ve bu nedenle vektörel bir büyüklüktür. Öte yandan sürat belirli bir zaman aralığında kat edilen mesafeyi ölçer ve bu nedenle skaler bir büyüklüktür. Bir cisim aynı süre içinde aynı miktarda yol kat ediyorsa bu harekete **düzgün doğrusal hareket** denir.

$$\text{Hız} = \frac{\text{Yer Değiştirme}}{\text{Geçen Süre}}, \quad \text{Sürat} = \frac{\text{Gidilen Yol}}{\text{Geçen Süre}}$$

Hızın birimi, alınan yolun metre cinsinden ve geçen sürenin saniye cinsinden alınmasıyla **metre/saniye** (**m/s**) olarak ifade edilir. İngiliz-Amerikan birim sisteminde ise alınan yol **mil**, süre ise saat olarak alındığında birim **mil/saat** (**mph**) olarak kullanılır.

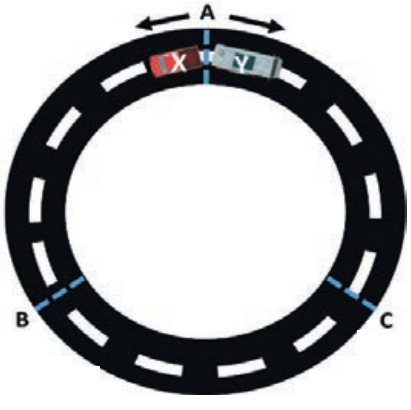
Görsel 2.25'teki araç, 5 saniyede 10 metre ilerlediğinde hızı 2 m/s olur. Eğer araç, 10 metre ilerledikten sonra başlangıç noktasına geri dönüyorsa toplam yer değiştirmesi 0 olur ve hızı 0'dır. Ancak sürati, toplam olarak kat ettiği yol miktarına bağlıdır ve bu durumda sürati 20 metre olur, yani 4 m/s.



Görsel 2.25: Cisimlerin hızlarının hesaplanması

Örnek

Görsel 2.26'daki x ve y araçları eşit 3 parçaya ayrılmış dairesel pistte A noktasından zıt yönde harekete başlamıştır. İki aracın ilk karşılaşması C noktasında olmuştur. 3. karşılaşmaya kadar Y aracı 900 m yol aldığına göre AB yayının uzunluğunu bulunuz.



Görsel 2.26: Dairesel pistteki araçların hızları

Çözüm

Araçların ilk karşılaşması C noktası olduğundan Y aracının hızına V denilirse X aracının hızı 2 V olur. 3. karşılaşmaya kadar Y aracının aldığı yol:

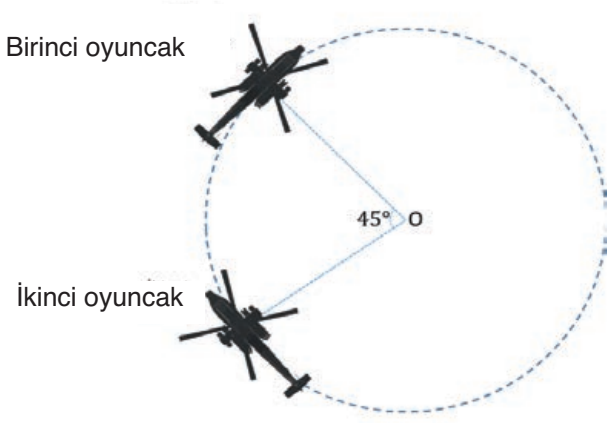
3.V'den 3 V olur. ⟶ 3.V = 900 m eşit olduğundan V = 300 m'dir.

$\overset{\frown}{AB} = \overset{\frown}{BC} = \overset{\frown}{AC}$ dir ve V hızı kadardır. Bundan dolayı AB yayının uzunluğu 300 m'dir.

2.9. UYGULAMA: Cisimlerin Hızlarının Hesaplanması

Amaç: Cisimlerin hızını hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.27: Dairesel hareket eden oyuncak helikopterin hızı

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.27'de iki oyuncak helikopter bir pist etrafında aynı anda ve aynı yönde hareket etmeye başlıyor. Birinci oyuncağın hızı 120 m/s, ikinci oyuncağın hızı 180 m/s'dir. Bu iki helikopter hareketlerinden 4 saniye sonra karşılaştıklarına göre pistin çevresinin uzunluğunu bulunuz.
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol ederek yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.1.3.5. İvme

Belirli bir zaman aralığında hızın büyüklüğünde ve yönünde meydana gelen değişime **ivme** denir. İvme, lineer ivmelenme ve açısal ivmelenme olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır.

Lineer ivmelenme hesaplama formülü, hızın zamanla bölünmesi veya Newton'ın ikinci hareket kanununa göre cismin kütlesine uygulanan kuvvetin kütleye bölünmesiyle bulunur (**a = F/m**). Lineer ivmelenmenin sembolü **a** ile gösterilir ve Uluslararası Birimler Sistemi'nde (**SI**) birimi **m/s²** olarak ifade edilir. Açısal ivmelenme ise Yunan alfabesindeki **alfa** (**α**) sembolü ile temsil edilir.

Görsel 2.28'de görülen araç; birinci saniyede 5 m/s hızla hareket ediyor, ikinci saniyede ise hızı 20 m/s oluyor. Bu durumda aracın birinci saniyedeki ivmesi 5 m/s² dir. Ardından ikinci saniyedeki ivmesi 20 m/s² olur. Bu araç, iki saniye boyunca ivmesi artan bir hareket yapmıştır. Eğer araç, birinci saniyede 5 m/s hızla hareket ediyor ve ikinci saniyede de aynı hızla (5 m/s) hareket etmeye devam ediyorsa aracın hızında bir değişim olmadığı için ivmesi 0'dır. Üçüncü senaryoda ise aracın hızı 5 m/s'den 2 m/s'ye düştüğü için ivmesi azalır.



Birinci durumda aracın hızı arttığından ivmesi de artmıştır.



İkinci durumda aracın hızı sabit olduğundan ivmesi sıfırdır.



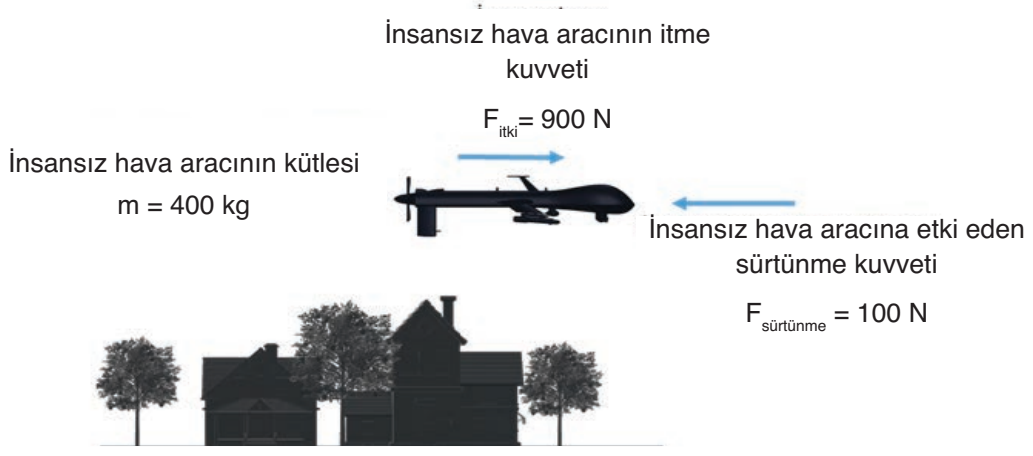
Üçüncü durumda aracın hızı ikinci saniyede azaldığından ivmesi de azalmıştır.

Görsel 2.28: Cisimlerin ivmelerinin hesaplanması

2.10. UYGULAMA: Cisimlerin İvmelerinin Hesaplanması

Amaç: Cisimlerin ivmelerini hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.29: İnsansız hava aracının ivmesi

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.29'daki gibi bir insansız hava aracına F_{itki} ve $F_{sürtünme}$ kuvvetleri etki etmektedir. Buna göre insansız hava aracının ivmesi kaç m/s² dir.
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol ederek yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.2. MOTOR PERFORMANS HESAPLAMALARI

Uçakların uçmasını ve havada tutunmasını sağlayan temel unsur kanatlardır ancak bu kural, dikey iniş-kalkış yapabilen yeni nesil savaş uçakları gibi istisnalarda geçerli değildir. Kanatların tasarımı, uçağın hava içinde nasıl hareket ettiğini etkileyen önemli bir faktördür. Kanatların üst kısmı bombelidir, yani yukarı kavislidir ancak alt kısmı düzdür. Bu tasarım, hava akışının kanatların üst kısmında alt kısmına göre daha hızlı akmasına neden olur. Bu hız farkı, kanadın üst kısmında düşük basınç, alt kısmında ise yüksek basınç oluşturarak uçağın yükselmesini ve havada kalmasını sağlar.

Uçak motorlarının başlıca görevi, itme kuvveti üreterek kanatlarda bu hava akışını oluşturmaktır. Bunun dışında uçak motorlarının başka görevleri şunlardır:

- Uçak içinde soğutma, klima gibi alanlarda kullanılan bleed (blid) havasını sağlar.
- Uçak içinde iniş takımları gibi yerlere gerekli hidrolik gücü temin eder.
- Uçak içinde elektrik gücünü sağlar.

Bu görevler, uçak motorlarının çok yönlü bir şekilde kullanılmasını sağlar.

Tepkili motor, ilk kez Aleksandra Hiro (Aleksandra Hiro) tarafından icat edilmiş ve kullanılmıştır (Görsel 2.30). Modern jet motorları, 1791 yılında John Baber (Con Bebır) tarafından tasarlanmış ancak başarılı ilk uygulama 1911 yılında Alfred Büchi (Alfret Buki) tarafından gerçekleştirilmiş ve 1916 yılında Brown-Boveri (Brovn Buvıl) firması ile uçaklarda kullanılmaya başlanmıştır. Hans Joachım Von Ohain (Hans Yoahim Von Ohen), 1937 yılında eksenel türbin ve radyal kompresörlü jet motoru tasarlamış ancak bu tasarım, o dönemde kabul görmemiştir. Modern gaz türbinli jet motorlarının atası olarak kabul edilen ilk turbojet motoru ise aynı yıl çalışmalar yapan Frank Whittle (Frank Witle) tarafından geliştirilmiştir.



Görsel 2.30: Hero motoru

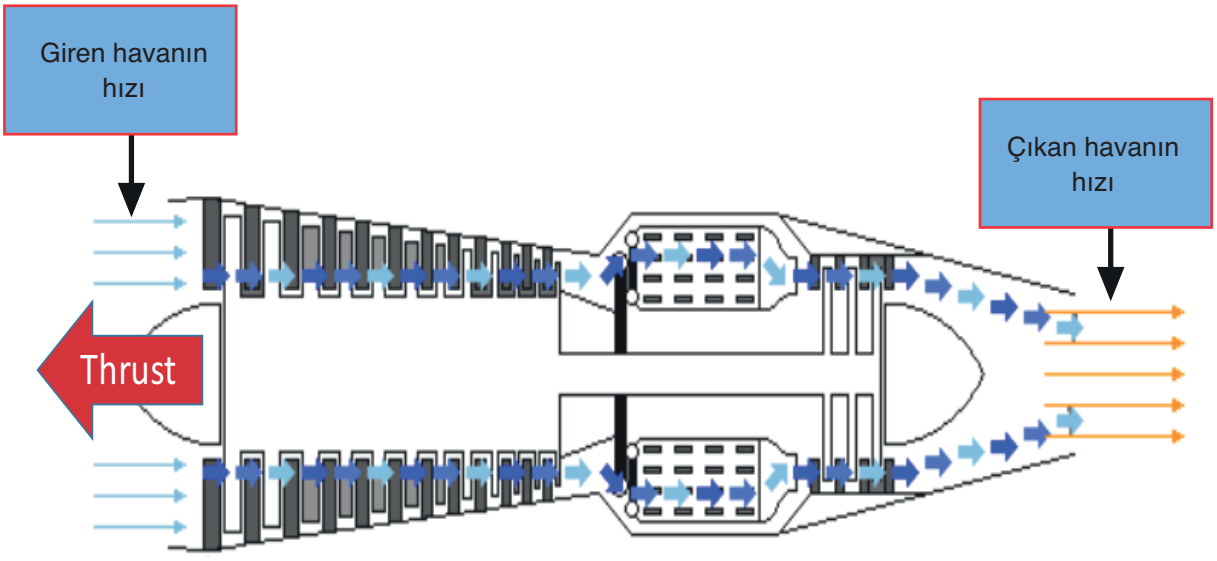
2.2.1. Motor Performasını Etkileyen Unsurlar

Motor performansını anlamak için itki kuvveti, beygir itme gücü, özgül yakıt tüketimi, baypas oranı, motor basınç oranı gibi terimler ve kavramlar hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Ayrıca gaz akış basıncı, motor sıcaklığı ve hızının motor verimine olan etkilerini de anlamak önemlidir.

2.2.1.1. Thrust (İtki) Kuvveti

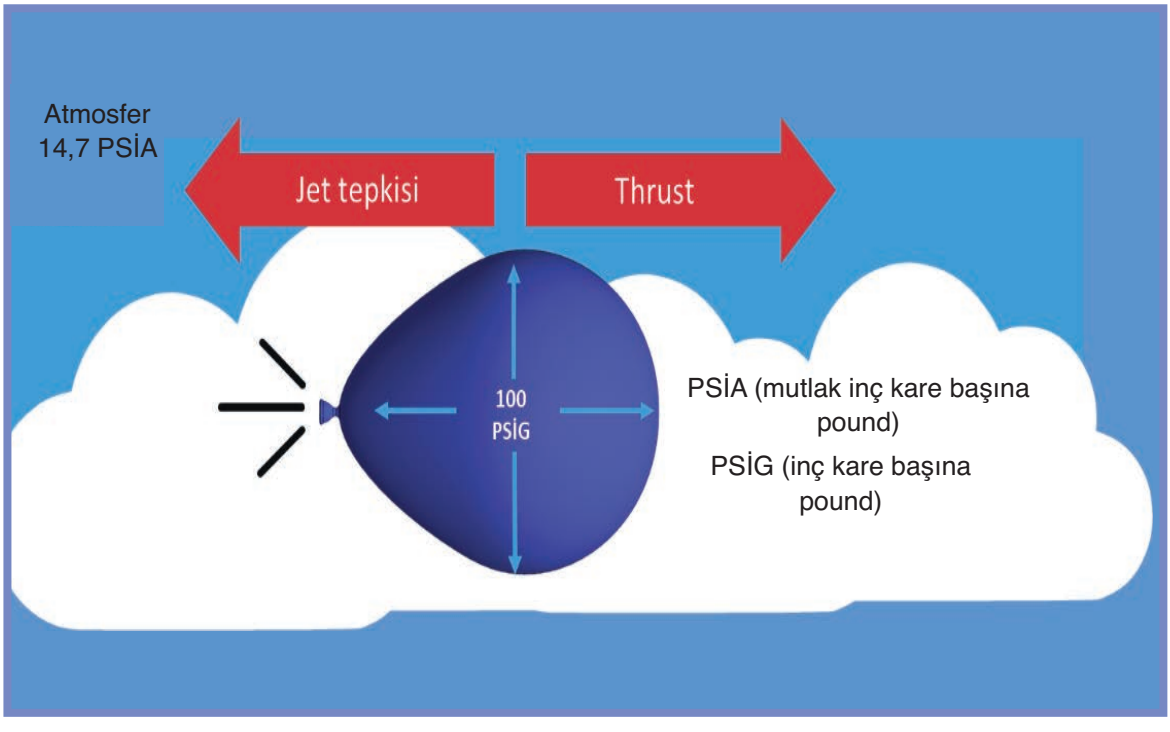
Gaz türbinli motorlar, itki [thrust (trast)] kuvveti oluşturmak için motor içindeki hava akışını ivmelendirdiğinde etkili olurlar. Bu motorların dış görünüşüne bakıldığında hava girişini temsil eden inlet (alık)

kısmının hava çıkışını temsil eden nozul (lüle/orifis) kısmına göre genellikle daha geniş olduğu gözlemlenebilir. Jet motorlarının bu tasarımı, hava akışını hızlandırmayı amaçlar (Görsel 2.31).



Görsel 2.31: Thrust kuvvetinin hesaplanması

Bir balonun içinde balonun hacmi kadar eşit bir basınç oluşturan hava bulunur. Balonun esnek yapısı sayesinde bu basınç, balonun içinde her noktada aynıdır. Ancak balonun ağzı iç kısma göre daha dar bir açıklığa sahiptir ve bu nedenle balon içindeki hava, atmosfer basıncının üstünde bir basınç oluşturur. Ağız kısmının açılmasıyla balon içindeki hava ivmelenir ve bu da balonun jet tepkisi oluşturmasına neden olur (Görsel 2.32).



Görsel 2.32: Balonun thrust kuvveti oluşturması

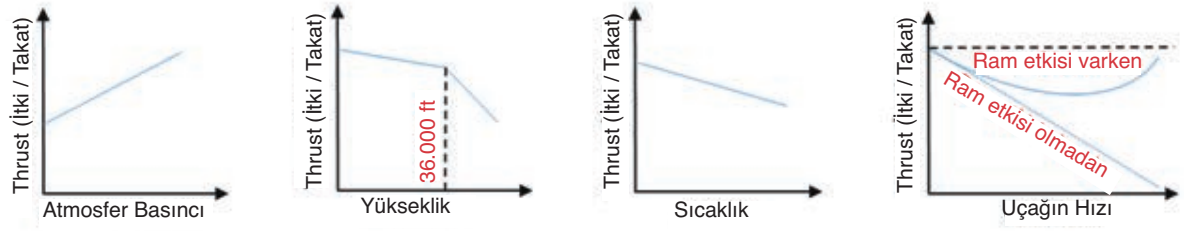
Jet motorunun thrust kuvvetine, atmosfer koşulları dikkate alınırsa şu dört dört ana etmen etki eder:

- Havanın sıcaklığı
- Uçağın irtifası (yüksekliği)
- Atmosfer basıncı
- Uçağın hızı

Uçak hızının thrust kuvveti üzerindeki etkisi incelendiğinde, hız arttıkça motorun hava girişi ile çıkışı arasındaki hız farkının azaldığı görülür. Bu durum, thrust kuvveti üzerinde olumsuz bir etkiye yol açar ancak hava akışının artmasıyla birlikte uçak hava alığının şekli sayesinde motorun hava girişindeki hız belirli bir miktar basınca dönüştürülür. Buna **RAM etkisi** denir ve bu etki, thrust kuvvetini olumlu yönde etkiler.

Thrust kuvvetini etkileyen diğer faktörler ise **hava sıcaklığı** ve **basıncı**dır. Bu faktörler havanın özelliklerini etkiler; yani havanın yoğunluğu, hacmi gibi özelliklerini değiştirir.

Hava sıcaklığı ile havanın yoğunluğu arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Başka ifade ile hava sıcaklığı arttıkça hava yoğunluğu azalır. Öte yandan hava basıncı ile hava yoğunluğu arasında doğru orantılı bir ilişki bulunur. Hava basıncı yükseldikçe hava yoğunluğu da artar. Bu nedenle sıcaklık artışı, thrust kuvvetinin azalmasına neden olurken, basınç artışı hava yoğunluğunu artırarak thrust kuvvetini artırır (Grafik 2.2).



Grafik 2.2: Thrust kuvvetinin basınç, yükseklik, sıcaklık ve hız ile değişimi

Yükseklik ile thrust kuvveti arasındaki ilişkide iki önemli faktör bulunmaktadır. İlk olarak yükseklik arttıkça atmosfer basıncı azalır. Bu azalma, thrust kuvvetini olumsuz yönde etkiler. İkinci olarak yükseklik arttıkça 36 bin feet yüksekliğe kadar hava sıcaklığı düşer. Bu düşüş, thrust kuvvetini olumlu yönde etkiler ancak atmosfer basıncındaki azalmanın negatif etkisi, sıcaklık düşüşünün olumlu etkisinden daha fazladır.

Yüksekliğin artması, genel olarak thrust kuvvetini olumsuz etkiler. Ancak 36 bin feet ile 65 bin feet arasındaki yükseklik aralığında atmosfer basıncı hâlâ düşerken hava sıcaklığı sabit kalır. Bu durum, basınçtaki düşüşün thrust kuvvetine daha fazla etki etmesine yol açar. Sonuç olarak 36 bin feet ve daha yüksek irtifalarda thrust kuvvetini 36.000 feet yükseklikten daha düşük yüksekliklere göre daha fazla olumsuz etkiler.

Thrust kuvveti şu formülle hesaplanır:

$$F = m.(V_2 - V_1)$$

F =Thrust kuvveti (kg)

m = Hava kütlesi (kg)

V_2 = Motor jet nozuldaki hava hızı (m/s)

V_1 = Motor girişindeki hava hızı (m/s)

Örnek

Bir RC jet motoru havadeyken 50 kg thrust kuvveti üretmektedir. Motordan çıkan hava hızı 70 m/s, giren hava hızı 60 m/s olduğuna göre motora giren hava miktarını kg cinsinden bulunuz. (G = 10 N/kg)

Çözüm

Thrust kuvveti,

$F = m \cdot (V_2 - V_1) \longrightarrow 50 = \frac{m}{10} \cdot (70 - 60) \longrightarrow m = 50$ kg olur.

2.11. UYGULAMA: Jet Motorunda Thrust Kuvvetinin Hesaplanması
Amaç: Jet motorunun thrust kuvveti hesabını yapabilmek.
Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.33: Turbo jet motoru

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.33'teki RC jet motoru havadayken motora giren hava hızı 25 m/s, hava çıkış hızı 30 m/s; motora giren hava saniyede 19,62 kg olduğuna göre motor kaç kilogramlık thrust kuvveti oluşturur? ($g = 9{,}81$ m/s²)
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol ederek yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

Thrust kuvvet, net thrust ve brüt thrust olmak üzere ikiye ayrılır.

Net Thrust

Net thrust, motordan geçen hava ve yakıtın momentumundaki değişiklik sonucunda ortaya çıkar. Ayrıca jet nozulunda meydana gelen statik basınç, dış ortamdaki hava basıncını aştığında ekstra bir thrust oluşur. Net thrust, jet nozulundaki ekstra thrust'ı da içerir. Formülü şu şekilde gösterilir:

$$\text{Net thrust} = \left[\text{Dışarıya çıkan egzoz gazı momentumu}\right] - \left[\left(\text{İçeriye giren havanın momentumu}\right) + \left(\text{İçeriye giren yakıtın momentumu}\right)\right]$$

Jet motorlarının ürettiği tüm basınç, ses hızının altında uçan uçaklarda (subsonik uçaklar) hız artışına katkıda bulunmaz. Ancak bu jet nozulu tarafından üretilen ekstra thrust kuvveti, ses hızının üstünde seyahat edebilen (süpersonik ve hipersonik) uçaklar için önemlidir.

Jet nozulunda oluşan ekstra thrust kuvveti ve yakıt akış hızı ihmal edilirse

$$F_n = \frac{w_a}{g}(V_j - V_a) + A_j (P_j - P_{atm})$$

formülü elde edilir.

F_n = Net thrust (lbs)
W_a = Motordan geçen hava akışı (lbs)
g = Yer çekimi ivmesi (ft/s²)
V_j = Motordan çıkan egzoz gazının hızı (ft/s)
V_a = Motora giren havanın hızı (ft/s)
A_j = Motor jet nozul alanı (ft²)
P_j = Jet nozul deşarjdaki havasının statik basıncı (lbs/ft²)
P_{atm} = Cinsinden jet nozulundaki ortam havasının statik basıncı (lbs/ft²)

Örnek

RC jet motoru havadayken motora giren hava hızı 135 ft/s, motor jet nozulundaki hava hızı 185 ft/s, motorun üretmiş olduğu net thrust 800 lbs, jet nozulundaki havanın statik basıncı 1945 lbs/ft², jet nozulundaki ortam havasının statik basıncı 1995 lbs/ft² dir. Motora saniyede 96 lbs hava girdiğine göre motor jet nozul alanını bulunuz. (G = 32 ft/s²)

Çözüm

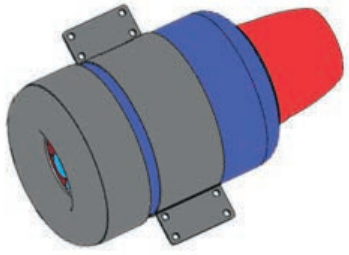
Net thrust formülü,

$$F_n = \frac{w_a}{g}(V_j - V_a) + A_j (P_j - P_{atm}) \longrightarrow 800 = \frac{96}{32}(185 - 135) + A_j (1995 - 1865) \longrightarrow A_j = 5\ ft^2$$

2.12. UYGULAMA: Jet Motorunda Net Thrust Kuvvetinin Hesaplanması

Amaç: Jet motorunun net thrust kuvvetinin hesabını yapabilmek.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.34: RC jet motoru

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.34'teki RC jet motoru havadayken motora giren hava hızı 100 ft/s, motor jet nozulundaki hava hızı 200 ft/s, motor jet nozul alanı 4 ft^2, jet nozulundaki havanın statik basıncı 2200 lbs/ft^2, jet nozulundaki ortam havasının statik basıncı 2116 lbs/ft^2 dir. Motora saniyede 256 lbs hava girdiğine göre motor ne kadar net thrust oluşturur? (G = 32 ft/s^2)
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol ederek yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

Brüt Thrust

Brüt thrust, motorun egzoz nozulunda gelişen thrust'tır. Brüt thrust egzoz gazlarının momentumu tarafından üretilen thrust'la nozuldaki statik basınç ve ortam havasının statik basıncı arasındaki farkın sonucu olan ek thrust'ın her ikisini birden üretir. Brüt thrust'ta hava ve yakıt giriş momentumları göz önüne alınmaz.

Brüt thrust,

$$F_a = \frac{w_a}{g}(V_j) + A_j (P_j - P_{atm})$$

formülü ile bulunur.

F_a = Brüt thrust birimi (lbs)
W_a = Motordan geçen hava akışı (lbs)
g = Yerçekimi ivmesi (ft/s²)
V_j = Motordan çıkan egzoz gazının hızı (ft/s)
A_j = Motor jet nozul alanı (ft²)
P_j = Jet nozul deşarjdaki havasının statik basıncı (lbs/ft²)
P_{atm} = Cinsinden jet nozulundaki ortam havasının statik basıncı (lbs/ft²)

Gaz türbinli motorlarda thrust kuvvetinden bahsedildiğinde genellikle **net thrust** veya **net itme kuvveti** kastedilir.

Örnek

RC jet motorunun motor jet nozul alanı 5 ft², jet nozulundaki havanın statik basıncı 2315 lbs/ft², jet nozulundaki ortam havasının statik basıncı 2275 lbs/ft² dir ve motora saniyede 160 lbs hava girmektedir. Bu değerlerle motor 1260 lbs brüt thrust oluşturduğuna göre motordan çıkan egzoz gazının hızını bulunuz? (g = 32 ft/s²)

Çözüm

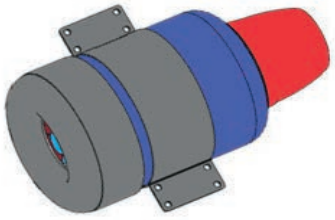
Brüt thrust

$$F_a = \frac{w_a}{g}(V_j) + A_j (P_j - P_{atm}) \rightarrow 1260 = \frac{160}{32}(V_j) + 5(2315 - 2275) \rightarrow V_j = 212 \text{ ft/s olur.}$$

2.13. UYGULAMA: Jet Motorunda Brüt Thrust Kuvvetinin Hesaplanması

Amaç: Jet motorunun bürt thrust kuvvetinin hesabını yapabilmek.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.35: RC Jet motoru

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.35'teki RC jet motoru havadayken motor jet nozulundaki hava hızı 200 ft/s, motor jet nozul alanı 4 ft^2, jet nozulundaki havanın statik basıncı 2200 lbs/ft^2 , jet nozulundaki ortam havasının statik basıncı 2116 lbs/ft^2 dir ve motora saniyede 256 lbs hava girmektedir. Bu değerlere göre motor ne kadar brüt thrust oluşturur? (g = 32 ft/s^2)
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol ederek yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.2.1.2. Beygir İtme Gücü

Jet motorlarının thrust ölçümü, motordaki dönen şaftın torku veya devir sayısı [**RPM** (**revolution per minute-revıloşın pır minit**)] kullanılarak, ölçüm yapan dinamometrelere bağlanarak yapılır. Bu nedenle thrust kuvveti sadece **pound** birimi cinsinden ifade edilir. Karşılaştırma yapmak istendiğinde ise jet motorlarındaki gücün beygir gücü birimiyle ifade edilen kara taşıtlarındaki motor güçleriyle karşılaştırılması zordur. Birimlerin farklı olması nedeniyle doğrudan birbiriyle karşılaştırılamazlar. Jet

motorlarının **beygir gücü** cinsinden ifade edilmesi için zaman ve mesafenin de hesaba katılmalıdır. Zaman ve mesafe dikkate alınarak hesaplanan birim **thrust beygir gücü** (**THP**) olarak adlandırılır.

$$\text{Beygir gücü (HP)} = \frac{\text{(kuvvet)} \times \text{(uzaklık)}}{\text{(zaman)}}$$

$$1\ \text{THP} = \frac{\text{(1 lb.th (paund thrust)} \times 1\ \text{mph}\ \left(\frac{\text{mil}}{\text{saat}}\right))}{(375)}$$

Örnek

RC turbo jet motorunun motor jet nozulundaki hava hızı 93 ft/s ve motora saniyede 75 lbs hava girmektedir. Motor 150 mph'de 90 THP'lik beygir itme gücü ürettiğine göre motor girişindeki hava hızını bulunuz. (G = 32 ft/s²)

Çözüm

$$1\ \text{THP} = \frac{\text{(1 lb.th (paund thrust)} \times 1\ \text{mph}\ \left(\frac{\text{mil}}{\text{saat}}\right))}{(375)} \longrightarrow 90 = \frac{F.150}{375} \longrightarrow F = 225\ \text{kg}$$

$$F = m(V_2 - V_1) \longrightarrow 225 = 75(93 - V_1) \longrightarrow V_1 = 90\ \text{ft/s}$$

2.14. UYGULAMA: Jet Motorunda Beygir İtki Gücünün Hesaplanması

Amaç: Jet motorunun itki kuvveti hesabını yapabilmek.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.36: RC turbo jet motoru

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

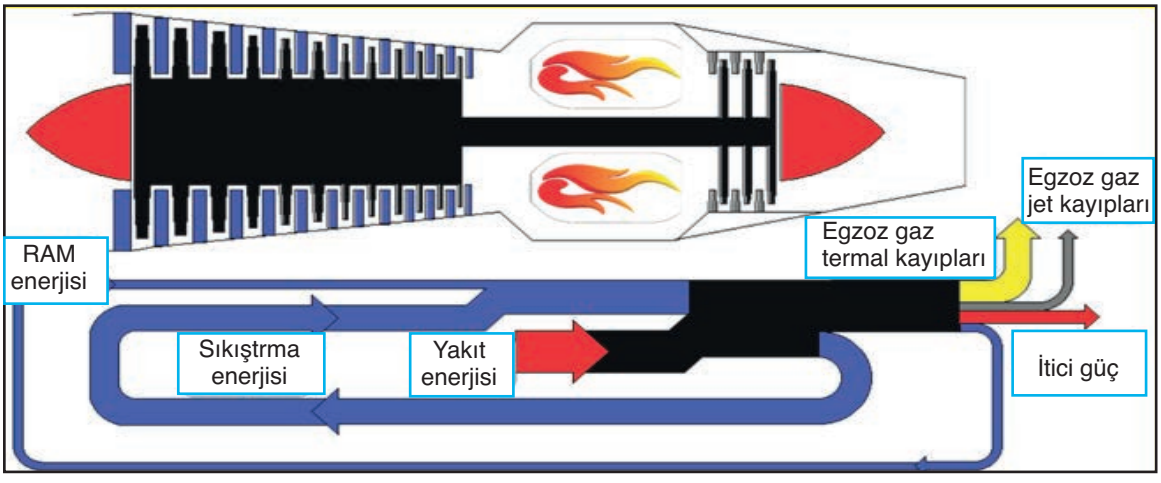
İşlem Basamakları

1. Görsel 2.36'daki RC turbo jet motoru havadayken motor girişindeki hava hızı 54 ft/s, motor jet nozulundaki hava hızı 79 ft/s ve motora saniyede 128 lbs hava girmektedir. Bu değerlere göre motorun ne kadar thrust kuvveti ürettiğini ayrıca 120 mph'daki beygir itme gücünü bulunuz. (g = 32 ft/s²)
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol ederek yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası ..... Öğretmenin Adı ve Soyadı	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.2.1.3. Motor Verimi

Gaz türbinli motorlarda thrust kuvveti kadar önemli olan bir faktör de yakıtın verimli bir şekilde jet hızına dönüştüğü **iç verim**dir. Bu iç verimin yanı sıra elde edilen jet hızının uçağı itmek için ne kadar verimli bir şekilde kullanıldığı da **dış verim** olarak adlandırılır. Yakıt enerjisinin kullanımı; egzoz jeti kaybı (uçağın hızı ile egzoz gazının hızı arasındaki farktan kaynaklanan kayıplar), egzoz gazının termal kayıpları (yüksek sıcaklıkta kinetik enerjiye dönüşmeyen egzoz gazı) ve tepki enerjisinin toplamından oluşur (Görsel 2.37).



Görsel 2.37: Gaz türbinli motorlarda uçak verimlerinin hesaplanması

2.2.1.4. Özgül Yakıt Tüketimi

Jet motorları, yakıt tüketerek thrust kuvveti üretir. **Özgül yakıt tüketimi** ise birim zamanda yakılan yakıtın sonucunda elde edilen birim thrust'ı gösteren bir ölçüdür.

$$\text{Özgül yakıt tüketimi} = \frac{\text{Yakıt}}{\text{Thrust} \times \text{Zaman}}$$

Yakıtın birimi **kilogram** (**kg**), thrust'ın birimi **kilonewton** (**KN**), zaman birimi ise **saat** olarak alınabilir. Jet motorlarında özgül yakıt tüketimi, **thrust specific fuel consumption** (**tırast sipesifik fyoo konsepşın**) veya **consumption thrust** (**konsepşın tırast**) olarak da adlandırılır.

$$\text{Ct (consumption trust)} = \frac{\text{Yakıt akışı}}{\text{Çekiş kuvveti}}$$

Örnek

Bir uçak moturu her bir lb çekiş kuvveti için 1,5 lb/sa yakıt ihtiyacı duymaktadır. Saatte 16.500 lb yakıt tükettiğine göre harcanan yakıta karşılık motorun ürettiği çekiş kuvvetini bulunuz.

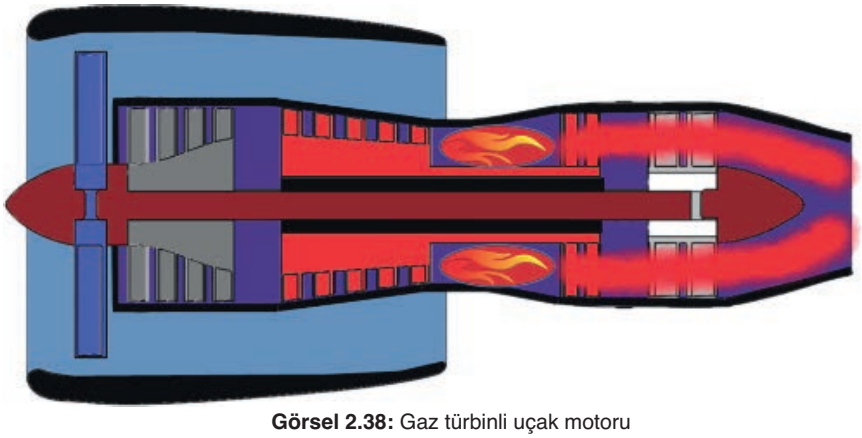
Çözüm

$$1{,}5 = \frac{16.500}{\text{Çekiş Kuvveti}} \longrightarrow$$ Motorun ürettiği çekiş kuvveti = 11.000 lb olur.

2.15. UYGULAMA: Gaz Türbinli Motorlarda Özgül Yakıtın Hesaplanması

Amaç: Gaz türbinli motorlarda özgül yakıt hesabı yapmak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.38: Gaz türbinli uçak motoru

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.38'deki uçak moturu saatte 14.000 lb yakıt tüketmektedir. Harcanan yakıta karşılık motorun ürettiği çekiş kuvveti 10.000 lb olduğuna göre uçağın özgül yakıt tüketimi ne kadardır? Hesaplayınız.
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol ederek yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

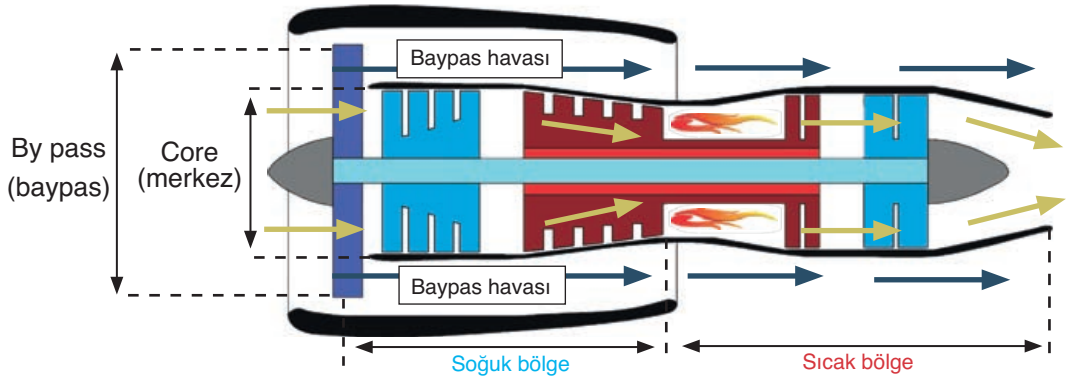
Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
Öğretmenin Adı ve Soyadı	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.2.1.5. Baypas Oranı ve Motor Basınç Oranı

Gaz türbinli motorlarda motor basınç oranı ve baypas oranı, motorun gücünü ve verimini belirleyen iki önemli parametredir. Üretici tarafından belirtilen değerlerin dışındaki değerler, genellikle motorda bir arızanın olduğunu gösterir.

Baypas Oranı

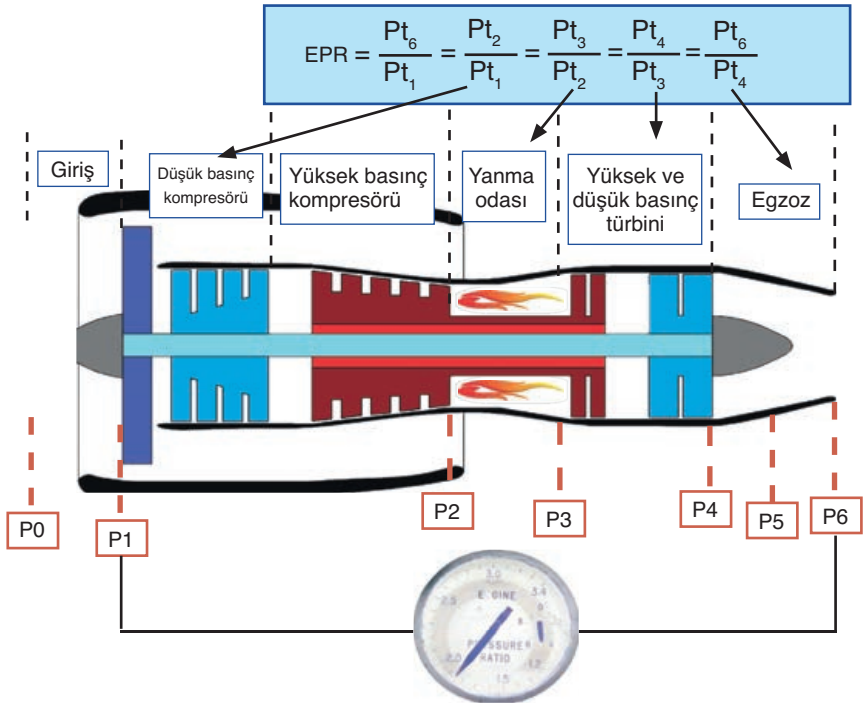
Baypas oranı, fandan motora alınan hava kütlesinin motorun merkezinden geçen hava kütlesine oranını ifade eder (Görsel 2.39). Turbofan motorlar aynı zamanda baypaslı motorlar olarak da bilinir. Bu motorlarda fandan gelen havanın bir kısmı merkez (core) kısmına girer ve yanmaya dahil olur, geriye kalan hava merkez kısmının dışında fan duct üzerinden baypas kanalından geçer ve egzoz gazları ile egzoz kısmında karışır.



Görsel 2.39: Gaz türbinli motorlarda baypas oranı

Motor Basınç Oranı

Motor tazyik oranı olarak bilinen **EPR** [**engine pressure ratio** (**enjın preshır reshı**)], motor fan kısmının önünde oluşan toplam basınç ile türbinin arkasında oluşan toplam basınç arasındaki oranı ifade eder (Görsel 2.40). Hangi değerin kullanılacağı, motor üreticisine bağlı olarak değişebilir.



Görsel 2.40: Gaz türbinli motorlarda motor basınç oranı (EPR)

Örnek

Uçak motorunda kompresör girişindeki basınç 19,1 psi ve egzoz çıkışındaki basıç 57,3 psi olduğuna göre yanma odasının çıkış basıncını bulunuz.

Çözüm

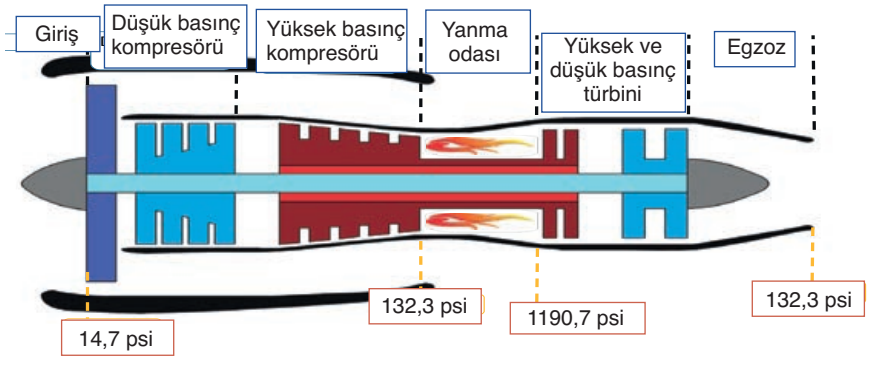
$$EPR = \frac{Pt_6}{Pt_1} = \frac{Pt_2}{Pt_1} = \frac{Pt_3}{P_{t2}} = \frac{Pt_4}{Pt_3} = \frac{Pt_6}{Pt_4} \rightarrow EPR = \frac{57,3}{19,1} \rightarrow EPR = 3$$

$$Pt_6 = Pt_2 \rightarrow \frac{Pt_2}{Pt_1} = \frac{Pt_3}{P_{t2}} \rightarrow 57,3.57,3 = Pt_3.19,3 \rightarrow Pt_3 = 171,9 \text{ psi olur.}$$

2.16 .UYGULAMA: Gaz Türbinli Motorlarda Motor Basınç Oranının Hesaplanması

Amaç: Gaz türbinli motorlarda motor basınç oranını hesaplamak.

Uygulamaya Ait Şema, Bağlantı Şekli ve Görseller



Görsel 2.41: Gaz türbinli motorlarda motor basınç oranının hesaplanması

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kâğıt	A4	1 Adet
Kurşun kalem	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. Görsel 2.41'de gaz türbinli motorun basınç oranları verilmiştir. Bu değerlere göre motor basınç oranı (EPR) ne kadardır? Hesaplayınız.
2. Bulduğunuz sonuçları arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Farklılık var ise işlemleri kontrol ederek yeniden hesaplayınız.
3. Öğretmeninizin belirlediği süre içerisinde soruyu çözünüz.
4. Bulduğunuz sonucu öğretmeninize kontrol ettiriniz.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası ..... Öğretmenin Adı ve Soyadı	DEĞERLENDİRME	PUAN DEĞERİ	ALDIĞI PUAN
	1. Verilerin analizinin doğru yapılması	20	
	2. İşlem basamaklarına dikkat edilmesi	20	
	3. Birimlerin kullanılması	20	
	4. Doğru sonuca ulaşabilmesi	20	
	5. Zamanın etkin kullanılması	20	
	Toplam Puan	100	

2.2.1.6. Gaz Akış Basıncının, Sıcaklığının ve Hızının Motor Verimi Üzerindeki Etkisi

Gaz basıncı, gaz sıcaklığı ve gaz akış hızı, motor verimini önemli ölçüde etkiler çünkü motorun iç verimliliği; yanma işleminin sıcaklığına, basıncına ve motorun içine alınan hava akışının nasıl sıkıştırıldığına ve hızlandırıldığına bağlıdır. Eğer motora giren hava istenen seviyede sıkıştırılmaz veya istenen sıcaklığa ulaşmazsa yanma işlemi verimsiz bir şekilde gerçekleşir. Bu da motorun üreteceği thrust kuvvetini olumsuz etkileyebilir.

Basınç

Motorların basınç oranı; kompresörün kademe sayısı, boyutu ve tipine bağlı olarak değişebilir. Genellikle kompresörün kademe sayısı arttıkça basınç oranı da artar. Günümüzde kullanılan birçok motorun sahip olduğu basınç oranı yaklaşık olarak 40/1'dir. Bu oran, motora giren hava basıncının 1 psi olduğu ve kompresörler tarafından 40 psi'ye kadar sıkıştırıldığı anlamına gelir.

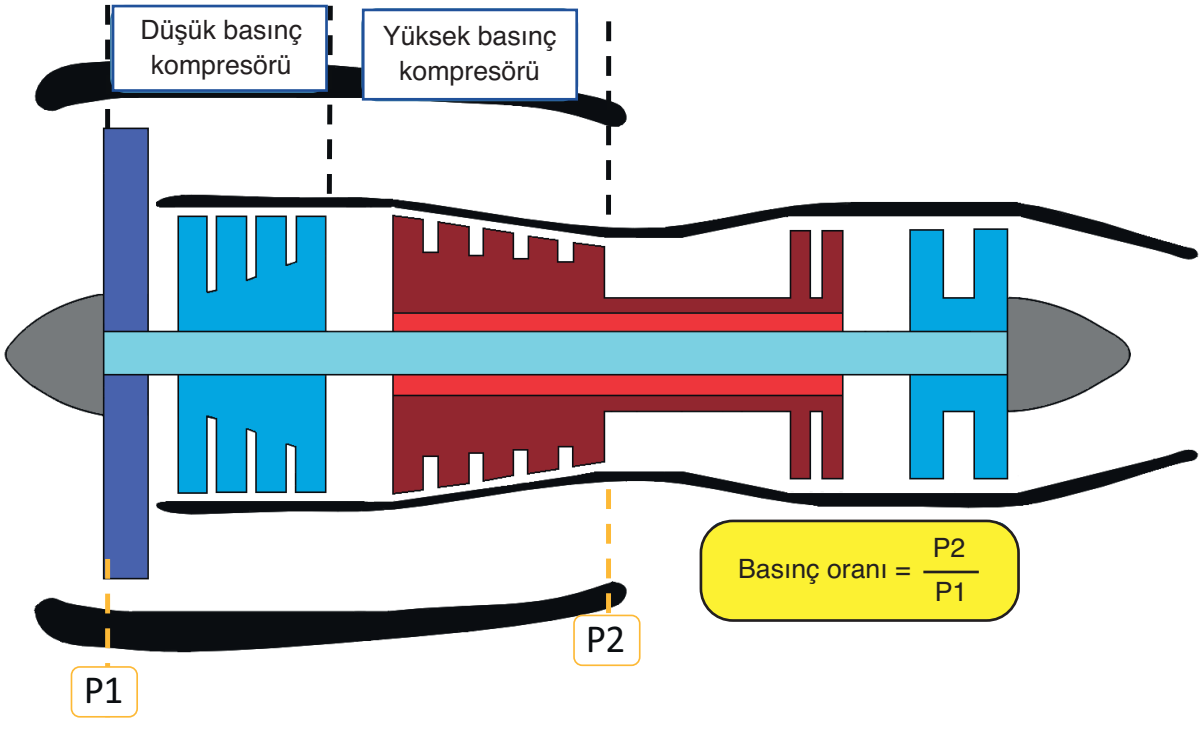
Yüksek Basınç Oranının Avantajları

- Jet nozulu ile türbine daha fazla enerji aktarılır.
- Motordaki yakıtın daha yüksek verimle yanması sağlanır.

Yüksek Basınç Oranının Dezavantajları

- Kompresör büyüdükçe motorun ağırlığı da artar.
- Kompresör çıkışında yüksek sıcaklıklara neden olur.

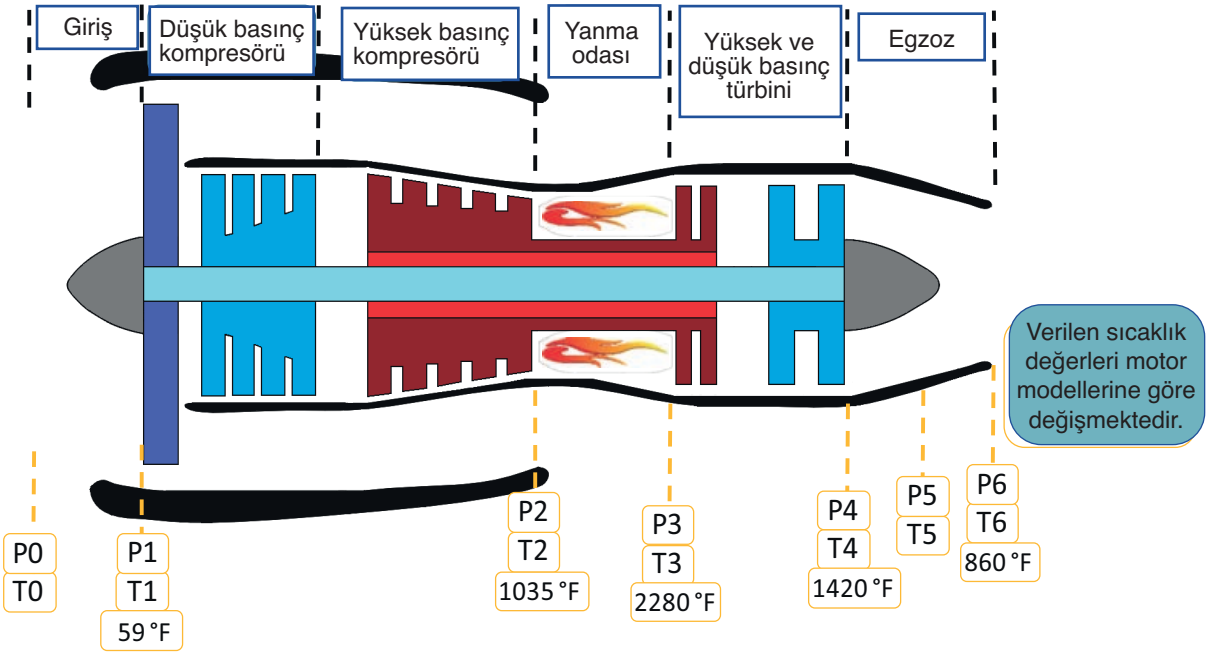
Kompresörden çıkan hava sıcaklığının artışı, türbine giren gazların sıcaklığını yükseltir. Bu nedenle türbine giren hava sıcaklığı, türbin malzemesine zarar vermeden uygun bir şekilde ayarlanmalıdır (Görsel 2.42).



Görsel 2.42: Gaz türbinli motorlarda basınç oranı

Sıcaklık Oranı

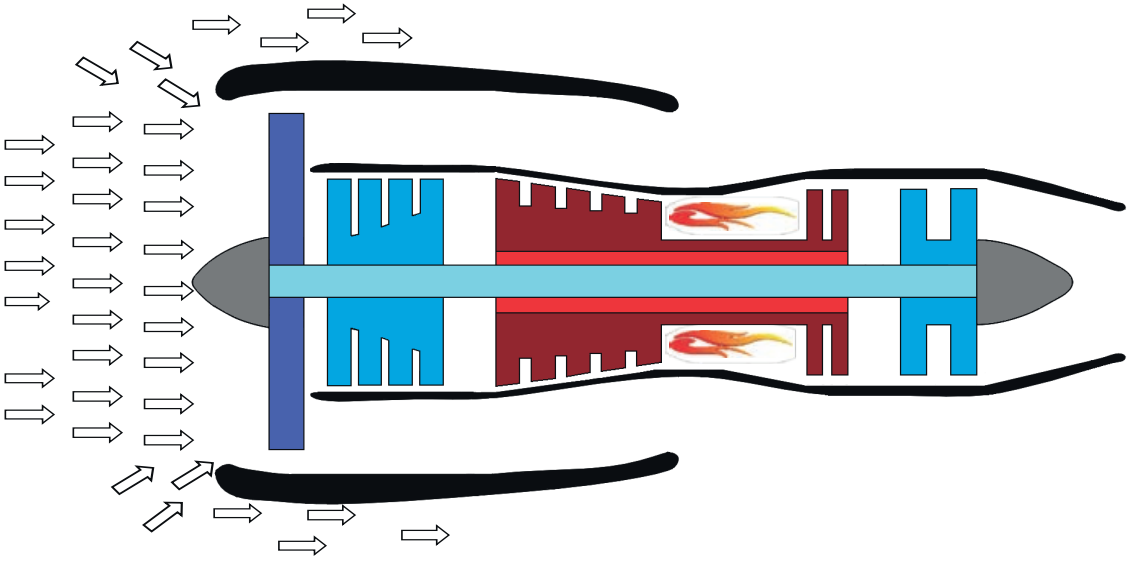
Hava, motora girdikten sonra sıcaklığı çeşitli seviyelere ulaşır: T0, T1, T2 ve T3. Motorun yanma odasında en yüksek sıcaklık T3 seviyesinde ölçülür (Görsel 2.43). Bu sıcaklık değerleri; motorun boyutu, tipi, modeli gibi özelliklere bağlı olarak değişebilir.



Görsel 2.43: Gaz türbinli motorlarda sıcaklık oranı

Gaz Akış Oranı

Hava, motora RAM etkisiyle hava alığından girer. Hava giriş alığı, arkaya doğru gidildikçe çapı genişleyecek şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarımın nedeni, dinamik basıncı (havanın hareketinden kaynaklanan basınç) statik basınca (çevremizi saran hava tarafından oluşturulan basınç) dönüştürerek motora giren hava akışının daha düzenli olmasını sağlamaktır (Görsel 2.44).



Görsel 2.44: Gaz türbinli motorlarda gaz akış oranı

2.2.1.7. Motor Derecelendirmesi

Motor derecelendirmesi, uçak motorlarının ve bileşenlerinin korunması ve maksimum verimin elde edilmesi için yapılan bir işlemdir. Bu işlem, bakım maliyetlerinin azalmasına ve uçağın hizmet ömrünün uzamasına katkı sağlar. Özetle motor derecelendirmesi, hava yolu şirketleri için maliyet açısından büyük öneme sahiptir.

Thrust Rating (İtki / Takat Derecelendirmesi)

Motor, imalatçı firmanın belirlediği sınırlar içinde çalıştırılmalıdır. Bu, motorun aşırı yükleme veya zarar görmesini önlemeye yardımcı olur. Bu sınırlardan biri **egzoz gazı sıcaklık limiti**dir (**EGT**). Pilotlar, kokpitte bulunan bir gösterge ile egzoz gazı sıcaklığını sürekli olarak izlerler. Bu sayede pilotlar, EGT sıcaklık limitini aşmaktan kaçınabilirler. Eğer limit aşılırsa bu durum teknik kayıtlara işlenir ve gerekli bakım işlemleri yapılır. Egzoz gazı sıcaklığını imalatçının belirlediği sınırların altında ve mümkün olduğunca düşük tutmak, motorun bakım gereksinimini azaltabilir ve kullanım ömrünü uzatabilir.

Motorun çalışma sınırları, **engine (thrust) rating** olarak adlandırılır. Günümüzde altı farklı thrust rating kullanılmaktadır ve pilotlar bu ratingleri gaz kolu (throttle lever) ile seçebilirler. Motorun çalışma sınırları aşağıdaki şekilde sıralanır.

Max. Go-Around Thrust [Meksımım Gou Eround Trast (Maksimum Yer Trast)]: Genel olarak belirli bir irtifaya çıkmadan önce veya pistin pas geçilmesi durumunda kullanılır. İzin verilen maksimum kullanım süresi birkaç dakikadır.

Max. Take Off Thrust [Meksımım Teık Af Trast (Maksimum Kalkış Trast)]: Kalkış esnasında kullanılan thrust'tır. Kullanım süresi birkaç dakikadır.

Max. Climb Thrust [Meksımım Claım Trast (Maksimum Tırmanma Trast)]: Tırmanma esnasında kullanılan thrust'tır. Düz uçuş hızına erişinceye kadar devam eder.

Max. Continuous Thrust [Meksımım Kentınyus Trast (Maksimum Sürekli Trast)]: Acil durumlar meydana geldiğinde kullanılan thrust'tır. Thrust'ın kullanımında herhangi bir zaman sınırlaması yoktur.

Max. Cruise Thrust [Meksımım Kruz Thrast (Maksimum Düz Uçuş Trast)]: Rutin bir düz uçuşta kullanılan en yüksek limittir.

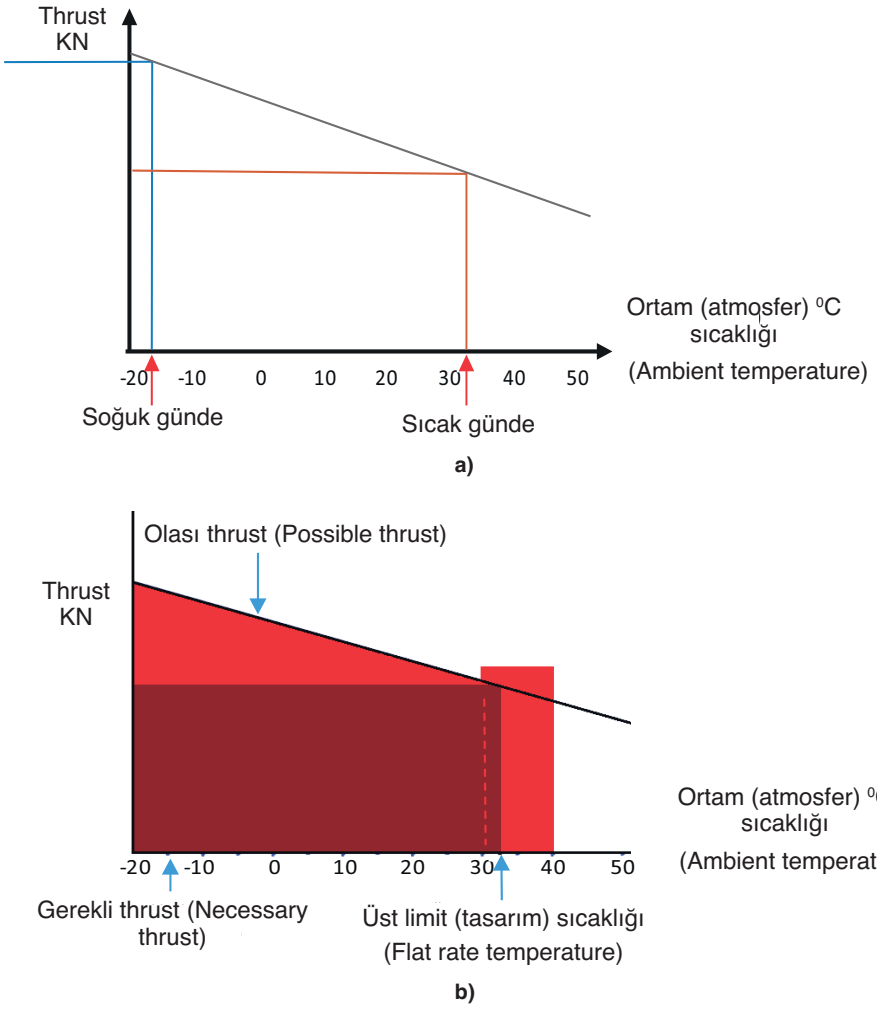
Flex Take Off Thrust [Fleks Teık Af Thrast (Maksimum Esnek Kalkış Trast)]: İlk önce uçağın yük durumu ve pist analizi yapılır. Analizden sonra max. take off (kalkış) thrust değeri %18 azaltılarak uygulanır. Bu thrust, yükü olmayan uçakların kalkış sırasında daha az yakıt tüketimi sağlar.

Flat Rating

Sivil uçaklarda kullanılan motorlar, maksimum thrust değerini sınırlamaktadır. Bu sınırlama, gaz kolunun aynı pozisyonunda olsa bile soğuk hava koşullarında elde edilen thrust değerinin sıcak hava koşullarında elde edilenden daha yüksek olabileceği anlamına gelir. Ayrıca motorun maksimum thrust değeri hangi sıcaklık koşullarına göre tasarlandığı da büyük bir öneme sahiptir. Örneğin maksimum thrust değerini 5 °C sıcaklıkta sağlayacak şekilde üretilen bir motor ile maksimum thrust değerini 60 °C sıcaklıkta sağlayacak şekilde üretilen bir motor karşılaştırıldığında normal sıcaklıklarda 5 °C'luk motor, istenilen maksimum thrust değerini elde edemez. Ancak 60 °C sıcaklıkta maksimum thrust sağlayan motor, daha düşük hava sıcaklıklarında bile 60 °C sıcaklıkta elde edilen maksimum değerden daha fazla thrust üretebilir. Genellikle günümüzde üretilen motorlar, maksimum kalkış thrust'ını 30 °C ile 40 °C arasındaki sıcaklık koşullarında sağlar.

Üst tasarım sınırlamaları, farklı örneklerle açıklanan ve **flat rated temperature** [**flaet reıtıt tempriçır** (**üst limit sıcaklığı**)] olarak adlandırılan bir kavramla ilgilidir. **Flat rated** motorlar, her zaman gereken

thrust'ı sağlar. Bu tasarım sayesinde soğuk hava koşullarında uçuş yaparken pilotun gereksiz yere maksimum thrust kullanmaması önlenir. Bu da motorun kullanım süresini artırır (Grafik 2.3).



Grafik 2.3: Üst limit sıcaklığı

2.2.1.8. Thrust Ölçme Metotları

Pilot, uçağın kalkışı için en uygun itme gücünü belirlemek amacıyla motorun gerçek itme gücüne bakar. Bu gerçek itme gücü, çeşitli yöntemlerle ölçülebilir.

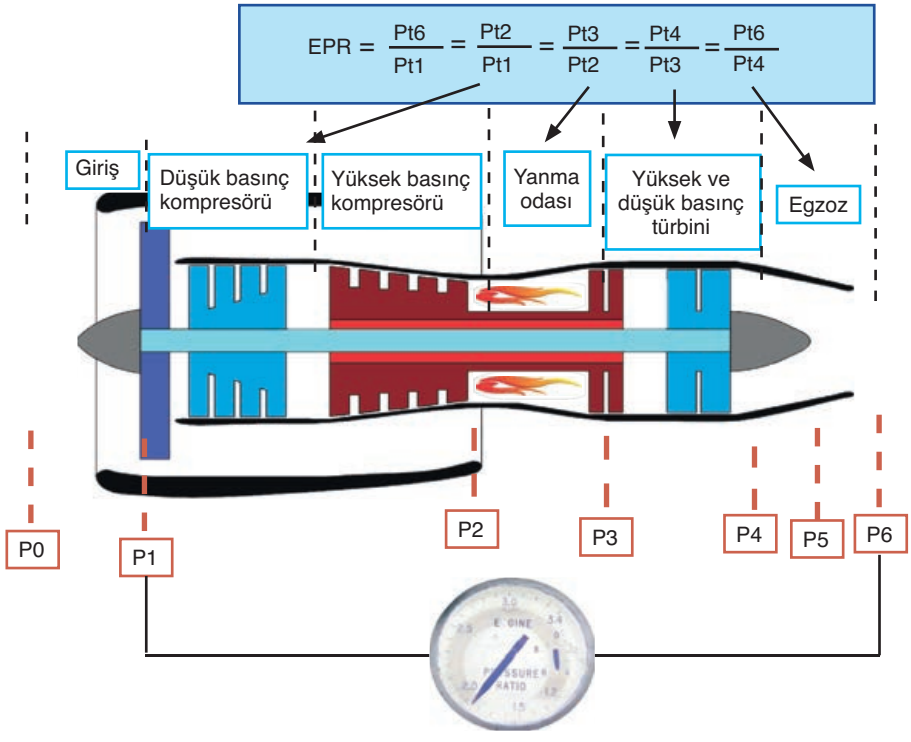
Motorun Yerde Test Bench (Benç) Bağlı Durumdayken Testinin Yapılması

Motor, **test stant** adı verilen sabit bir test platformuna bağlanır. Bu platformda motor performansı ve thrust değerleri ölçülür. Bu yöntem, uçağa montajından önce motorun performansını test etmek için kullanılır. Test, motorun çalıştırılmasıyla başlar ve motorun platforma uyguladığı kuvvet, kontrol odasına elektrik sinyalleri aracılığıyla iletilir. Bu sayede motorun ürettiği thrust değeri belirlenir. Ayrıca motor, uçağın üzerinde olmadığı bir ortamda yağ ve yakıt sızıntıları ile titreşim kontrolü gibi çeşitli performans kontrolleri de yapılır. Bu sürece **bremze işlemi** adı verilir.

Motor Uçak Üzerindeyken Ölçümün Yapılması

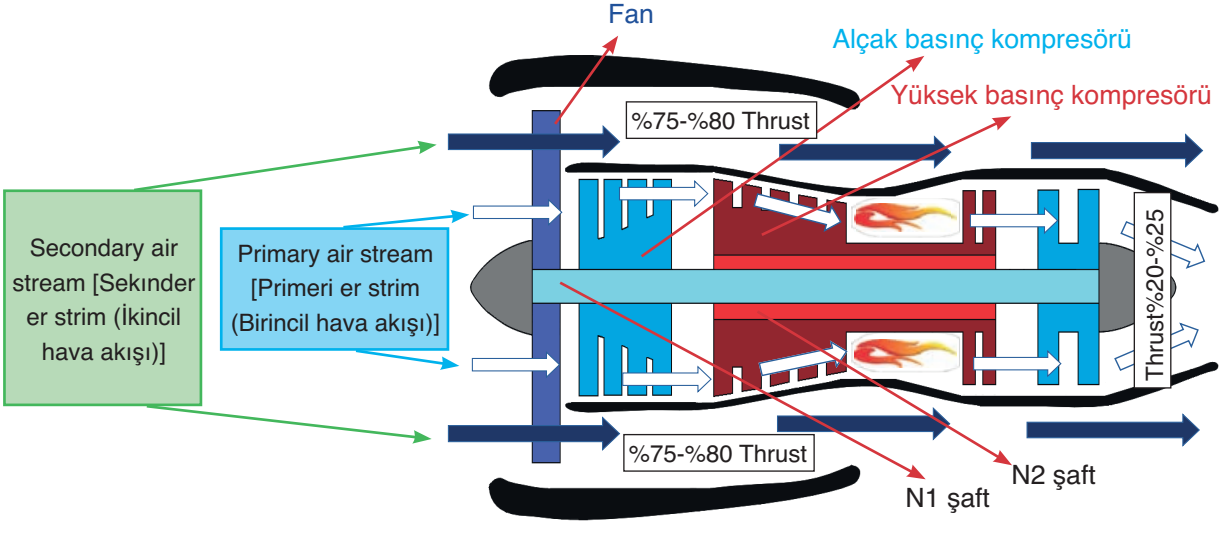
Thrust değeri, motorun basınç oranı olarak bilinen EPR veya RPM değerlerine göre ölçülür. Hangi yöntemin kullanılacağı, motorun üreticisine bağlı olarak değişir.

EPR olarak bilinen **motor basınç oranı**, motorun kompresör girişindeki toplam basıncın, motorun türbin çıkışındaki toplam basıncına oranıdır. Pilotlar, thrust değerini kontrol etmek için kokpitteki EPR göstergesine bakarlar (Görsel 2.45).



Görsel 2.45: EPR

RPM göstergesi, bir uçak motorundaki şaftın bir dakikada döndüğü devir sayısını temsil eder. Genellikle yüksek baypaslı turbofan motorlarda thrust ölçümü için RPM göstergesi kullanılır. Bu tür motorlarda bağımsız olarak çalışan iki şaft bulunur. Bu nedenle RPM göstergeleri N1 ve N2 olarak adlandırılır. N1 göstergesi, ikincil hava akışı veya baypas hava akışı ile ilişkilidir. N1 göstergesi, Fanın bağlı olduğu N1 şaftının dönüş hızını % (yüzde) cinsinden gösterir. İkincil hava akışı (baypas havası), motora giren havanın yaklaşık %80'lik kısmını oluşturur ve N1 şaftının RPM değeri, toplam thrust'ın bu aralıktaki bir bölümünü temsil eder (Görsel 2.46) Pilotlar, N1 şaftının dakikadaki dönüş hızından elde edilen thrust değerini kokpitteki gösterge ile okurlar.



Görsel 2.46: RPM

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. (….) Enerji, kuvvet ve hareket arasındaki ilişki dinamik bilim dalı tarafından incelenir.

2. (….) Potansiyel enerji, cisimlerin hareketlerinden dolayı sahip oldukları enerjidir.

3. (….) Kinetik enerji, cisimlerin içinde barındırdığı ve henüz kullanılmamış enerjidir.

4. (….) Bir cisme uygulanan kuvvetin iş yapmış sayılabilmesi için cismin uygulanan kuvvet doğrultusunda yer değiştirmesi gereklidir.

B) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere uygun ifadeleri yazınız.

5. Çevreden herhangi enerji giriş ve çıkışının olmadığı, sürtünme gibi kuvvetlerin ihmal edildiği bir sistemde toplam enerji miktarında herhangi bir değişiklik olmayacağını söyleyen yasa ……..... yasasıdır.

6. Hız; yer değiştirmeyi ölçüt alması, belirli bir yönü ve doğrultusu olmasından dolayı ...……..……..... bir büyüklüktür.

7. Sürat; belirli bir zaman aralığında alınan yolu ölçüt alması, belirli bir yönü ve doğrultusu olmamasından dolayı ……. bir büyüklüktür.

8. Belirli bir zaman aralığında hızın yönünde ve büyüklüğünde meydana gelen değişime ……. ..... denir.

9. Aktarılan enerjinin, yapılan işin veya dönüştürülen enerjinin zamana bölümüne ……..... ..... denir.

10. Fandan motora alınan hava kütlesinin motorun merkezinden geçen hava kütlesinin oranına ..... …… denir.

11. Uçak üzerindeymiş gibi motor ve uçak üzerindeki yağ kaçaklarının, yakıt kaçaklarının ve sarsıntı kontrolerinin gerçekleştirilip performans değerlerinin kontrol edilmesine …… ..... işlemi denir.

C) Aşağıda verilen sorularda doğru olan seçeneği işaretleyiniz.

12. I. Eylemsizlik prensibi (atalet kanunu)
II. Dinamiğin temel prensibi (denge kanunu)
III. Enerji korunumu kanunu
IV. Etki-tepki prensibi (hareket kanunu)

Yukarıda verilen kanunlardan hangileri Newton'ın hareket kanunlarındandır?

A) I ve IV
B) II ve III
C) I-II ve III
D) II-III ve IV
E) I-II ve IV

13. I. Uçaklarda soğutma, klima gibi yerlerde kullanılan bleed havasını sağlar.
II. Uçaklarda iniş takımları gibi yerlere gerekli hidrolik gücü sağlar.
III. Uçaklarda elektrik gücü sağlar.

Yukarıda verilenlerden hangileri uçak motorlarının görevlerindendir?

A) Yalnız I
B) Yalnız III
C) I ve II
D) I ve III
E) I-II ve III

14. Jet motorunun thrust kuvveti atmosfer koşulları dikkate alındığında dört ana etmen etki eder. Bunlar:

I. Havanın sıcaklığı
II. Uçağın irtifası (yüksekliği)
III. Atmosfer basıncı
IV. Uçağın hızı

Bu duruma göre verilen bu etmenlerden hangisinin artması motor thrust'ını artırır?

A) Yalnız I
B) Yalnız II
C) Yalnız III
D) Yalnız IV
E) I ve III

15. Uçak motoru havadayken motora giren hava hızı 100 ft/s, hava çıkış hızı 200 ft/s ve motora saniyede 160 lbs hava girmektedir. **Bu değerlere göre motor kaç lbs thrust kuvveti oluşturur? (g = 32 ft/s^2)**

A) 300
B) 400
C) 500
D) 600
E) 700

16. Uçak jet motoru havadayken motora giren hava hızı 400 m/s, motor jet nozulundaki hava hızı 600 m/s, motor jet nozul alanı 0,25 m^2, jet nozulundaki havanın statik basıncı 120 N/m^2, jet nozulundaki ortam havasının statik basıncı 100 N/m^2 ve motora saniyede 39,24 kg hava girmektedir.
Bu değerlere göre motor kaç kg'lık net thrust oluşturur? (g = 9.81 kg/s^2)

A) 720
B) 805
C) 820
D) 830
E) 835

17. Uçak jet motoru havadayken motor jet nozulundaki hava hızı 600 m/s, motor jet nozul alanı 0,25 m^2, jet nozulundaki havanın statik basıncı 120 N/m^2, jet nozulundaki ortam havasının statik basıncı 100 N/m^2 ve motora saniyede 39,24 kg hava girmektedir. **Bu değerlere göre motor kaç kg'lık brüt thrust oluşturur? (g = 9.81 kg/s^2)**

A) 2405
B) 2410
C) 2415
D) 2420
E) 2425

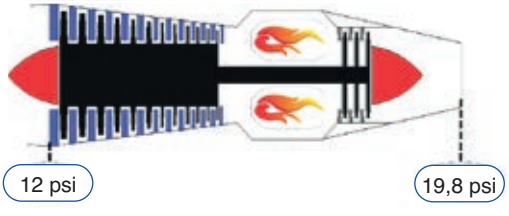
18. 120 mph'da 30.000 lbs'lik thrust'ın THP (thrust beygir gücü) karşılığı aşağıdakilerden hangisidir?

A) 9300
B) 9400
C) 9500
D) 9600
E) 9700

19. Jet motoru saatte 16.000 lb yakıt tüketmektedir. Tüketilen yakıta karşılık motorun ürettiği çekiş kuvveti 10.000 lb'dir**. Buna göre jet motorunun her bir lb çekiş kuvveti için lb/sa cinsinden ne kadar yakıta ihtiyacı olur?**

A) 1,4
B) 1,5
C) 1,6
D) 1,7
E) 1,8

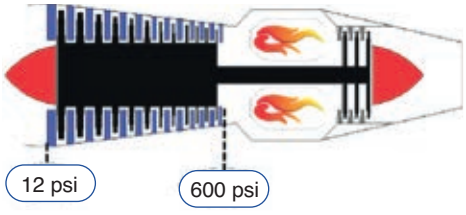
20.



Yukarıdaki şekilde verilen jet motorunun basınç oranı (EPR) kaçtır?

A) 1,50
B) 1,55
C) 1,60
D) 1,65
E) 1,70

21.



Yukarıdaki şekilde verilen jet motorunun kompresörüne 1 psi ile giren hava kompresörden kaç psi ile çıkar?

A) 30
B) 35
C) 40
D) 45
E) 50

22. Jet motorlarında en yüksek sıcaklığa sahip bölüm aşağıdakilerden hangisidir?

A) Egzoz
B) Yüksek basınç kompresörü
C) Düşük basınç türbini
D) Yanma odası
E) Düşük basınç kompresörü

23. Jet motorlarında hava giriş alığının (inlet duct) çapının arkaya doğru daralacak şekilde tasarlanmasının nedeni aşağıdakilerden hangisidir?

A) Hava akışının daha düzgün olmasını sağlamak
B) Motora giren havanın sıcaklığını artırmak
C) Motora giren hava miktarını artırmak
D) Motorun basınç oranını artırmak
E) Motorun tasarım açısından güzel görünmesini sağlamak

24. Aşağıda verilen thrust rating ile ilgi bilgilerden hangisi yanlıştır?

A) Limitlerden bir tanesi egzoz gaz limitidir.
B) Max. finish thrust, tırmanma esnasında kullanılan thrust'tır.
C) Max. take off thrust, kalkış esnasında kullanılan thrust'tır.
D) Limit aşılırsa teknik seyir defterine (technical logbook) kaydedilir ve gerekli bakım işlemleri yapılır.
E) Max. cruise thrust, rutin bir düz uçuşta kullanılan en yüksek limittir.

25. I. Motorun kullanımdaki süresinin artmasını sağlar.
II. Her zaman ideal thrust'ın alınmasını sağlar.
III. Soğuk günlerde yapılan uçuşlarda gereksiz yere max. thrut'ın kullanılmasını önüne geçilir.

Yukarıda "flat rating" hakkında verilen bilgilerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız III
B) I ve II
C) II ve III
D) I ve III
E) I-II ve III

26. I. EPR (engine pressure ratio) ve RPM (revolution per minute) olmak üzere iki yöntem vardır.
II. RPM motor komprasörünün önünde oluşan toplam basınç ile motor türbinin arkasında oluşan toplam basıncın birbirine oranıdır.
III. Secondery hava akışı motora giren havanın yaklaşık olarak 4/3'ünü oluşturmasından dolayı toplam üretilen thrust'ın da %75 ile %80'ini üretmektedir.

Motor uçak üzerindeyken yapılan thrust ölçümü ile ilgili yukarıdaki bilgilerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I
B) I ve II
C) II ve III
D) I ve III
E) I-II ve III

3.
ÖĞRENME BİRİMİ



TURBOFAN MOTORLAR VE KISIMLARI

KONULAR

3.1. HAVA GİRİŞ KISMI KONTROLLERİ

3.2. KOMPRESÖRLER KISMININ BAKIMI

3.3. YANMA ODASI KISMININ BAKIMI

3.4. TÜRBİN KISMININ BAKIMI

3.5. EGZOZ KISMININ BAKIMI VE TESTİ

TEMEL KAVRAMLAR

egzoz nozulu, kompresörde stall ve surge, motor hava girişi, türbin tipleri, yanma odası tipleri

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

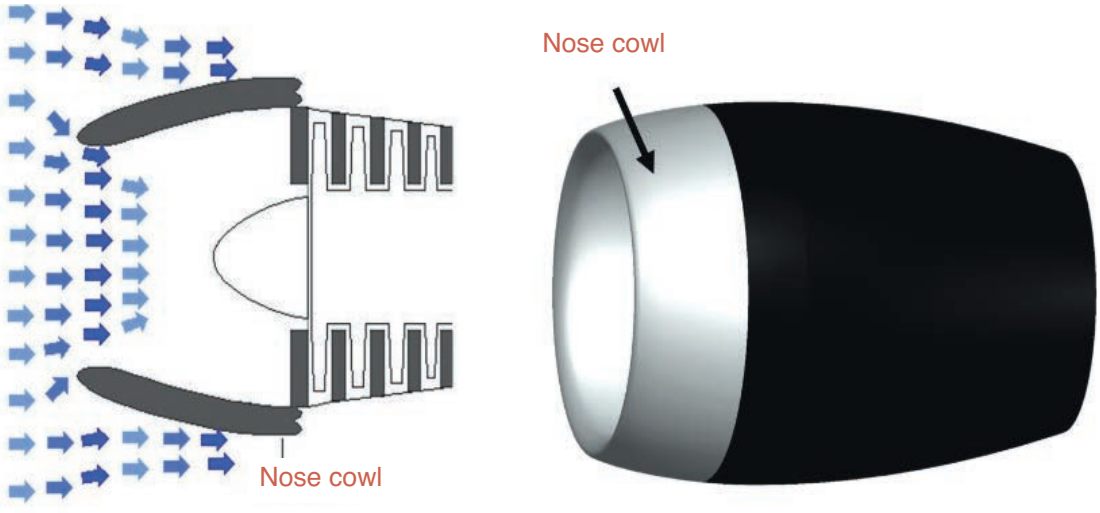
- **Motor hava girişi**
- **Santrifüj ve aksiyal kompresör tipleri**
- **Yanma odası komponentleri**
- **Türbin tipleri**
- **Türbin soğutma yöntemleri**
- **Egzoz komponentleri**
- **Egzoz gaz akışı yöntemleri**

HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

1. **Günlük yaşamda hava nasıl depolanabilir ve depolanan hava hangi alanlarda kullanılabilir? Fikirlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.**
2. **Depolanan hava dışarı nasıl atılabilir? Fikirlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.**

3.1. HAVA GİRİŞ KISMI KONTROLLERİ

Hava girişi; inlet duct (inlet dak), intake nose (inteyk nouz), inlet cowl (inlet kavl), nose cowl (noys kavl) gibi isimlerle de ifade edilmektedir (Görsel 3.1). Hava girişinin amacı, kompresörün kabul edebileceği hızda ve basınçta yeterli havayı vermektir.



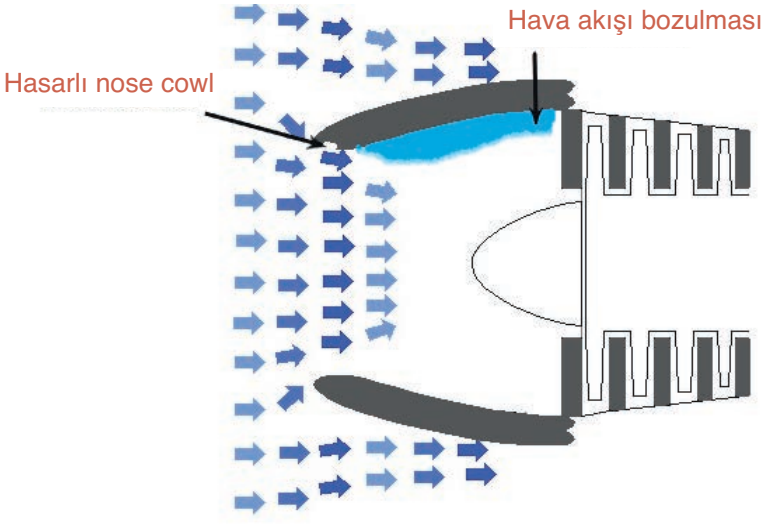
Görsel 3.1: Gaz türbinli motorlarda hava girişi

Inlet Cowl'ın Görevleri

- Inlet cowl, çapı arkaya doğru genişleyen bir yapıda tasarlanmıştır. Tasarımın amacı, inlet cowl'a giren havanın dinamik basıncının statik basınca dönüşmesine yardımcı olmaktır. Bu durumda inlet cowl'a giren havanın hızı azalırken basıncı artar.
- Düzgün bir hava akışı sağlayarak motorun verimini azaltacak akış bozulmalarını önler.

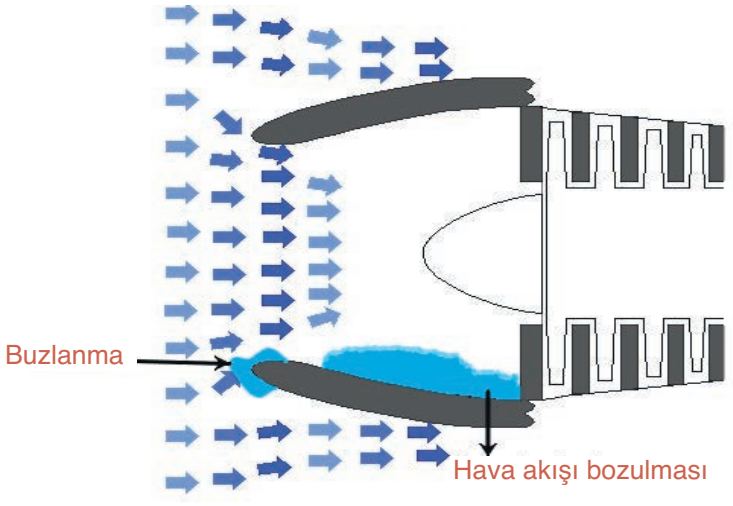
Girişte akışı bozan durumların bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Hasarlı Nose Lip: Inlet'in en ön tarafında bulunan ve hava moleküllerinin ilk olarak çarptığı kısımdır. Inlet'in içindeki hava akışının düz (laminer) akış olması gerekmektedir. Nose lip'te bulunan herhangi bir hasar, inlete giren havanın türbülanslı olarak akmasına sebep olur (Görsel 3.2).



Görsel 3.2: Inlet cowl'da meydana gelen hasarın hava akımına etkisi

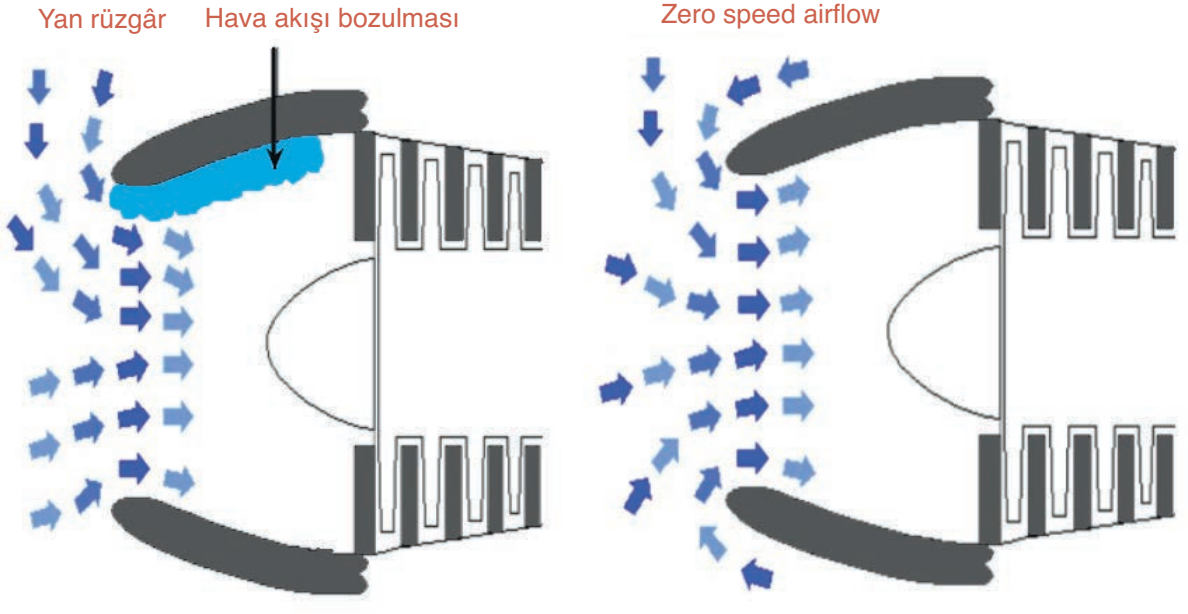
Buzlanma: Hava sıcaklığı 10 °C'un altında olduğunda ve havada görülebilir nem bulunduğunda buzlanma meydana gelebilir. Pilot anti-icing [anti aysing (buz önleme)] sistemini çalıştırmalıdır (Görsel 3.3).



Görsel 3.3: Inlet cowl'da oluşan buzlanmanın hava akımına etkisi

Yabancı Maddelerin Emilmesi: Motor, çalıştırılmadan önce inlet cowl'ın ön kısmındaki bölgeye girebilecek yabancı maddelerin olmadığına emin olmak için kontrol edilmelidir.

Crosswind [Krosvaynd (Yan Rüzgâr)]: Motor yan rüzgâra maruz kaldığı durumda düşük hızda çalışır. Normal uçuş şartlarında motor havayı önden almaktadır, bu durumda havanın RAM etkisi vardır. Ancak uçak yerde sabit ve motor çalışır durumdayken RAM etkisi oluşmaz. Hava yandan emilir [zero speed airflow-ziro spiid eyırfılov (sıfır hızlı hava akışı)]. Crosswind ve zero speed airflow Görsel 3.4'te gösterilmiştir.



a) Yan rüzgâr b) Zero speed airflow

Görsel 3.4: Inlet cowl'da meydana gelen yan rüzgâr ve zero speed airflow

3.1. UYGULAMA: Motor Hava Girişinin AMM'ye [Aircraft Maintenance Manual-eirkıraft meintınıns menuel (Uçak Bakım El Kitabı)] Göre Kontrollerinin Yapılması

Amaç: Motor hava girişini AMM talimatlarına göre sökerek kontrol işlemini yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Motor kaportası	Uçak motor kaportası	1 Adet
Tork anahtarı	AMM'ye uygun lbf.in biriminde	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde inlet cowl kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Inlet cowl kısmı sökümünde AMM'ye göre gerekli takımları kullanınız.
7. Motor hava girişini AMM talimatına göre sökünüz.
8. AMM'ye göre inlet cowl'lı çentik, oyuk, çapak gibi hasarlar yönünden inceleyiniz.
9. Kontrol sonrası inlet cowl parçalarını AMM'ye göre takınız.
10. Çalışma ortamını temizleyiniz.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- İnlet cowl sökülürken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Kontrol esnasında nelerle karşılaştınız? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

3.2. UYGULAMA: Motor Hava Girişinin AMM'ye Göre Kontrollerinin Yapılması

Amaç: Motor hava girişini AMM talimatlarına göre temizlemek.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Motor kaportası	Uçak motor kaportası	1 Adet
Temizleme sıvısı	Uçak tipine uygun	1 Adet
Pamuk	Tekstil, tiftiksiz pamuk	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde inlet cowl'ın temizliğini içeren kısmı bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Inlet cowl temizliğinde gerekli ekipmanları kullanınız.
7. AMM'ye göre inlet cowl'da temizlenmesi gereken bölgeleri inceleyip temizleyiniz.
8. Temizlik sonrası inlet cowl parçalarını AMM'ye göre takınız.
9. Çalışma ortamını temizleyiniz.
10. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Inlet cowl'ın sökülmesi ve temizliğinde nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

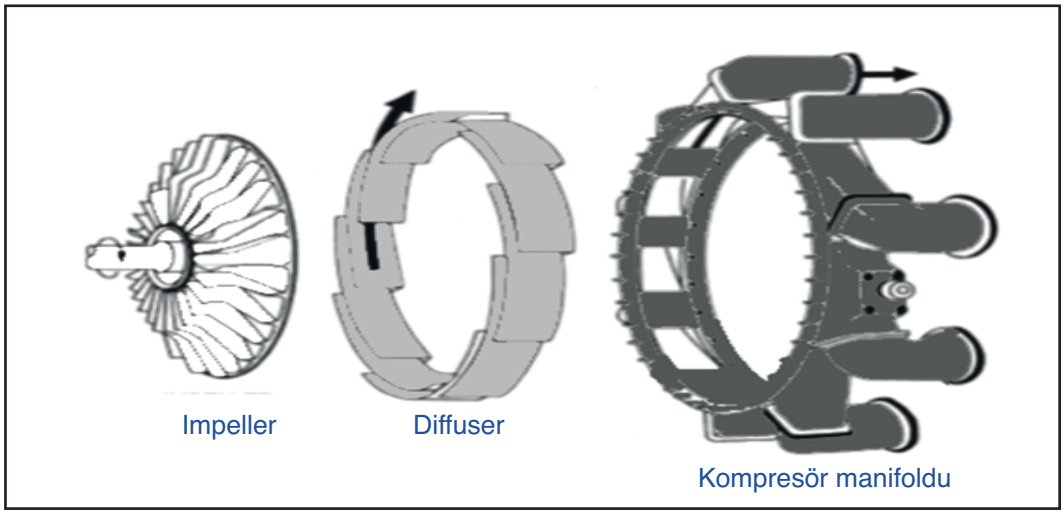
Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

3.2. KOMPRESÖR KISMININ BAKIMI

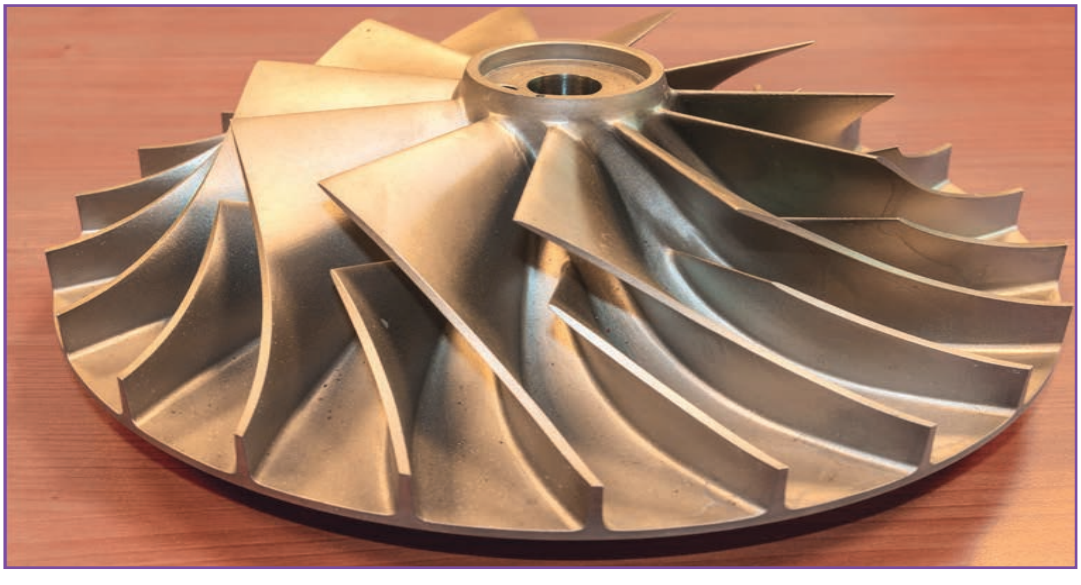
Verimli ve güçlü bir yanma için havanın sıkıştırılması gerekir. Bu işlem, yakıtın yanma odalarına verilmesi ve türbinlerde genleşmesinden önce yapılır. Gaz türbinli motorlarda sıkıştırma işlemi **kompresör** ile yapılır. Motorlarda aksiyal (merkezî) ve santrifüj (radyal) akışlı olmak üzere iki tip kompresör kullanılır. Kompresörler, her iki durumda da şaftla eşleşen bir türbin tarafından çalıştırılır. Her iki kompresör de motor gücü gereksinimleri için yüksek basınçlı hava sağlar. Kompresörlerin ürettiği hava ayrıca kabin iklimlendirme, buzlanmayı önleme, motor çalıştırma gibi hizmetler için kullanılır.

3.2.1. Santrifüj Akışlı Kompresör

Üretimi kolay ve ucuz olduğundan gaz türbinli motorlarda ilk önce santrifüj akışlı kompresörler kullanılmıştır. Ancak bazı dezvantajlarından dolayı modern motorlarda ikincil olarak tercih edilir. Genellikle küçük gaz türbinli motorlar ve yardımcı güç ünitelerinde kullanılır. Impeller [impelır (pervane)], diffuser [difüzör dağıtıcı)] ve kompresör manifoldu olmak üzere üç ana bileşenden oluşur (Görsel 3.5, Görsel 3.6).



Görsel 3.5: Santrifüj akışlı kompresörlerin parçaları



Görsel 3.6: Turboshaft ve turboprop motorlarda kullanılan impeller

Santrifüj akışlı kompresörlerin çalışma sisteminin adımları aşağıda açıklanmıştır.

1. Adım: Türbin hareketi tahrik etmesi ile impeller yüksek hızda dönmeye başlar. Dönme hareketi ile hava, impeller'ın merkezine doğru gönderilir. Daha sonra santrifüj etkisiyle hava merkezden dışarıya doğru akar. Kompresörün yüksek hızda dönmesi nedeniyle hava basıncı artar ve hava ivmelenir.

2. Adım: Hızı yükselen hava, kanatçıkların ucunu terk ederken difüzör kısmına geçer. Difüzör kısmında hava akış hızı azalır ve basınç artar. Elde edilen sıkıştırma oranı yaklaşık 1/4 oranındadır. Yani kompresör kademesinin çıkış basıncı, giriş basıncının yaklaşık dört katıdır.

3. Adım: Difüzörde hızı azaltılıp basıncı yükseltilen hava akımı, kompresör manifoldu sayesinde yanma odasına gönderilir.

3.2.2. Aksiyal Akışlı Kompresör

Aksiyal akışlı kompresörün çalışma prensibi, santrifüj akışlı kompresör ile aynıdır. Aksiyal akışlı kompresör, kinetik enerjiyi basınç enerjisine dönüştürür. Dönüştürme için kullanılan yöntemler farklıdır. Aksiyal akışlı kompresörler, birçok sıralı rotor ve stator kademesinden meydana gelir.

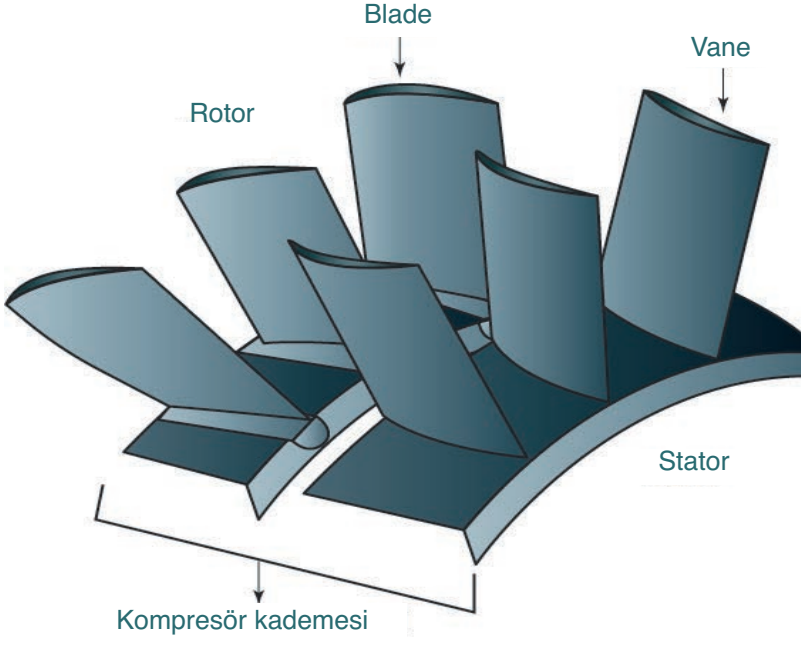
Aksiyal akışlı kompresörün çalışma sisteminin adımları aşağıda açıklanmıştır.

1. Adım: Türbin tarafından yüksek hızda döndürülen rotor kısmı üzerinde bulunan blade [bileyd (pal)] havayı çeker ve havanın akış enerjisini arttırarak kendisinden sonra bulunan stator kısmındaki vane (veyn) parçasına doğru gönderir.

2. Adım: Stator kanatçıkları (vane) hava akış hızını azaltır ve akışı devamındaki rotor kademesine yönlendirir. Bu durum hava akış hızını yavaşlatarak basıncın artmasına neden olur. Her kademede basınç oranı yaklaşık 1,3:1'dir. Yani bir kademe girişindeki basınç 10 psi iken çıkış basıncı 13 psi olur.

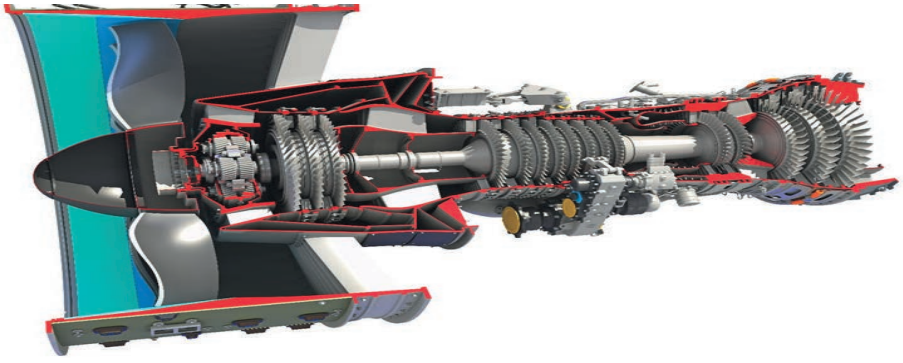
3. Adım: Kompresörde basıncı yükseltilen hava kompresör çıkışında bulunan difüzör kısmından geçerek yanma odasına gönderilir.

Kompresörün bir kademesi, rotor stator kombinasyonundan meydana gelir (Görsel 3.7). Rotor blade'leri kademenin önünde yer alır. Stator vane'leri kademenin arka kısmını oluşturur. Örneğin motorda üç kademe blade seti varsa her blade parçasından sonra vane olacağı için üç kademe de vane seti bulunur.



Görsel 3.7: Kompresörün bir kademesindeki rotor stator kombinasyonu

Bir kompresör ünitesinin en önünde yer alan stator vane setine inlet guide vane [**inlet gayd veyn** (**hava emme kılavuz vanaları**)] denir. Kompresörün ilk kademesine girecek havayı yönlendirir. Kompresörü oluşturan diğer ana parçalar, **inlet case** [**inlet keys** (**giriş bölümü**)] ve **outlet case** [**autlet keys** (**tahliye bölümü**)] rotor yataklarını taşır ve düzgün hava akışına yardımcı olur (Görsel 3.8).



Görsel 3.8: Turbofan motorda inlet case ve outlet case konumu

3.2.2.1. Kompresörde Hava Akış Kontrolü

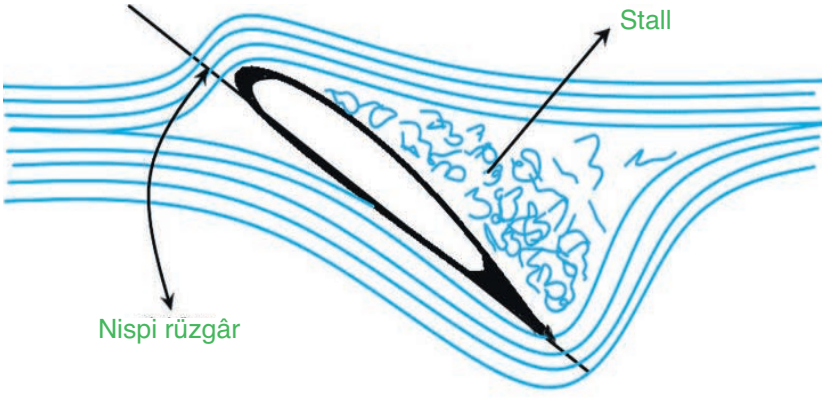
Kompresörler hava akışındaki değişikliklere karşı duyarlıdır. Bu duyarlığın nedeni, verilen basınç ve hava akışı oranı ile devir hızına bağlı olarak sadece bir optimum çalışma aralığına sahip olmasıdır. Bu duruma **tasarım noktası** denir.

Sıkıştırma oranındaki artış, tüm uçuş hızlarında kompresörün verimli çalışmasını engeller. Bunun nedeni, kompresörün dönüş hızında gerçekleşen düşüşe bağlı olarak motorun sıkıştırma oranının da düşmesidir. Bundan dolayı motorun çalışma hızı azaldıkça hava sıkıştırılamadığından kapladığı alan artar.

Havanın hacmi yüksek basınçta artar, mevcut boşluklardan geçişi zorlaşır ve böylece hava geçişi yavaşlar. Buna benzer bazı durumlarda akışta bozulma ve türbülans meydana gelir. Aksiyal yöndeki hızda düşüş olması tüm kompresör kademelerine etki eder ve bu durum stall'a [sıtol (hız kaybetme)] neden olabilir. Kontrol edilmediği takdirde kademe kademe surge [sörç (dalgalanma)] oluşturur. Böylece hava akışı tersine döner. Hava akışının tersine dönmesi motor için kritik bir durumdur.

3.2.2.2. Kompresörde Stall

Belirli bir motor hızında hava giriş hızı azalırsa hücum açısı artar. Bunun sonucunda hava tabakası blade yüzeyinden ayrılır. Bu olay, **kompresör stall'u** olarak tanımlanır (Görsel 3.9).



Görsel 3.9: Kompresör stall'u

Kompresörde oluşan stall'un etkileri şunlardır:

- Kompresör içinden geçen uygun hava akışını değiştirir.
- Hava akışındaki yavaşlama, durma ve ters yönde akışa neden olabilir.
- Bazı blade'lerde düşük oranda meydana gelebilir ve bu durum hemen fark edilemez.
- Bir veya birden fazla kademede meydana gelmesi durumunda motor gürültülü çalışır ve rotor hızı çok az düşer.

Kompresördeki stall durumu, motorun titreşim seviyelerinde ve egzoz gazı sıcaklığında [**EGT** (**exhaust gas temperature**)] artışla belirlenebilir. Bu durum genellikle şiddetli bir stall patlama sesi ile kendini gösterir.

3.2.2.3. Kompresörde Surge

Motordan geçen hava akışının tamamen bozulması ile stall'un tüm kompresör kademelerini etkilemesi durumuna **kompresörde surge** denir. Hava akışındaki hızlı azalma bazı blade kademelerinde stall'a neden olur. Akışın bu kademelerde bloke olması, takip eden diğer kademelerde daha kuvvetli stall oluşturur. Bu durumda ortaya çıkan alçak basınç bölgeleri, akışı durma noktasına getirir ve ters akışa neden olur. Surge, kompresörün tüm kademelerinde olabilir.

Ön Kademelerde Oluşan Surge

- Ön kademelerdeki blade'lerin büyük olması, genellikle kompresör blade'lerini etkiler. Kompresörün çalışmasına etkisi tehlikeli boyutta değildir.

Arka Kademelerde Oluşan Surge

- Arka kademelerde yüksek basınç ve kısa blade'ler olması nedeniyle kompresörün büyük bir bölümü çok çabuk etkilenir.
- Hava akışı çok hızlı azalır.
- Yanma odasından motor girişine kuvvetli ters akış meydana gelir.

Surge sırasında yüksek vibrasyon ve şiddetli bir gürültü oluşur. Motor hızında dalgalanma ve EGT'de artış görülür. Eğer önlem alınmaz ise takat kaybı sonucu uçağın kaybına neden olabilir.

3.2.2.4. Kompresörde Stall ve Surge Nedenleri

Kompresörde stall ve surge oluşmasının temel iki sebebi, motorun çalışması ile ilgili problemler ve motor parçalarındaki hasarlardır.

Motorun Çalışmasıyla İlgili Problemler

- Motorun tasarım hızının üstünde veya altında çalıştırılması
- Ani hızlanma veya ani hız kesme
- Ani ivmelenmeye bağlı olarak aşırı yakıt akışıyla geriye doğru basıncın artması

Motor Parçalarındaki Hasarlar

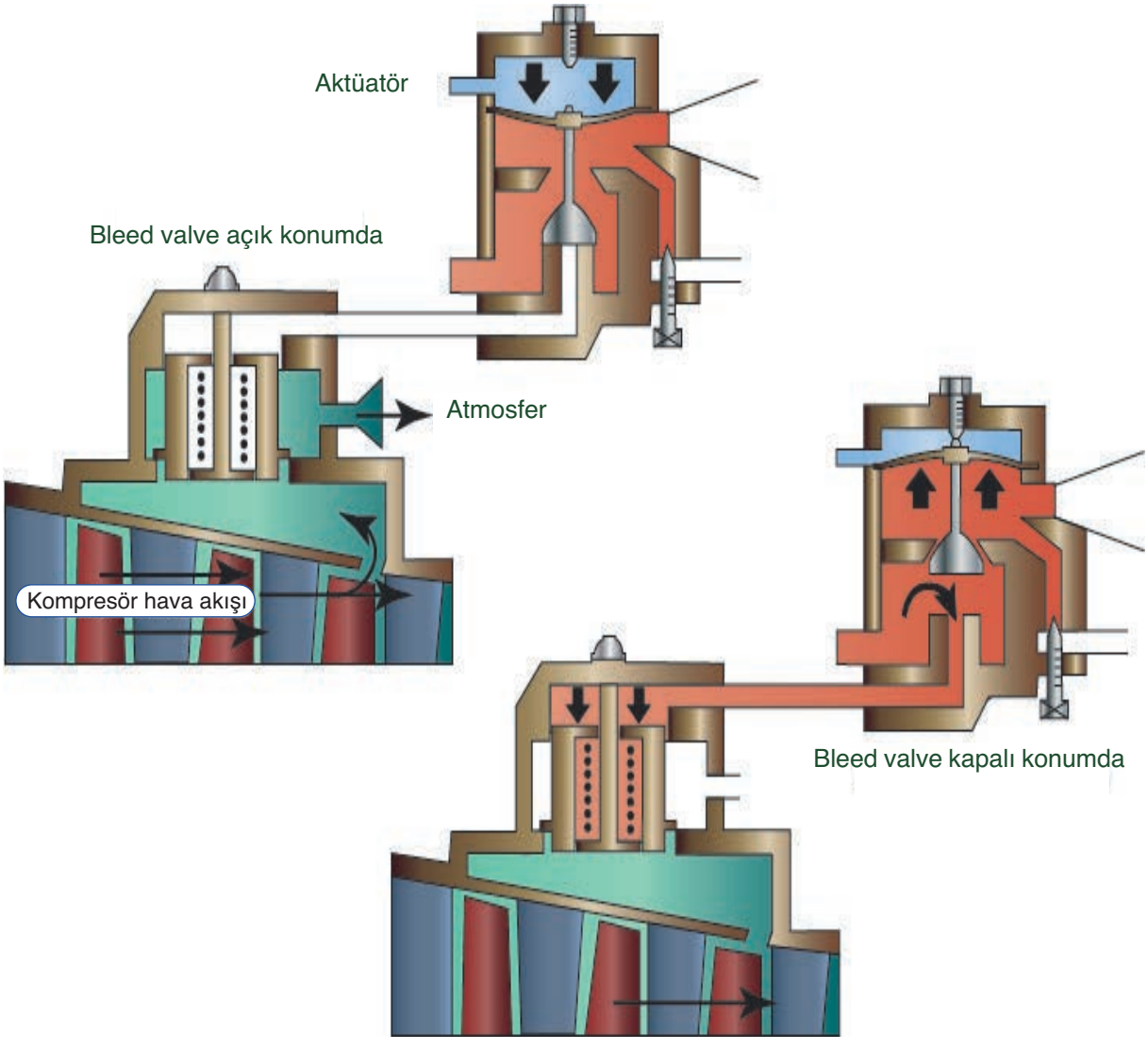
- Motor girişinde meydana gelen çentik, buzlanma gibi durumlar inlet cowl'da türbülansa neden olur.
- Akışın bozulması sonucu giriş hızı azalır.
- Hasarlı rotor blade ile stator vane'leri hava akışını bozar.
- Aşırı kirli kompresör parçaları akışı etkiler.
- Yanma odasında hasarlı veya kopmuş malzeme olması hava akışını etkiler.
- Kirlenmiş ve hasarlanmış türbin parçaları akışın azalmasına neden olur.
- Egzoz sistemindeki kırık veya kopmuş parçalar hava akışına engel olur.

3.2.2.5. Kompresörde Stall ve Surge Önleme Yöntemleri

Kompresörde stall ve surge önlemek için üç farklı yöntem geliştirilmiştir.

Kompresör Bleed Valve [Bleyd Valf (Hava Tahliye)] Kullanımı

- Stall'u önleminin yollarından olan bleed valve'ler basit ve etkili bir yöntemdir.
- Sadece düşük devirlerde açılarak ön kademelerden gelen fazla havanın dışarı atılmasını sağlar (Görsel 3.10).
- Valfler kompresörün orta kademesine veya arka kademesine yerleştirilir.
- Valfler düşük motor devrinde açılır, yüksek motor devrinde kapanır.
- Motor veriminde büyük kayıplara neden olur.



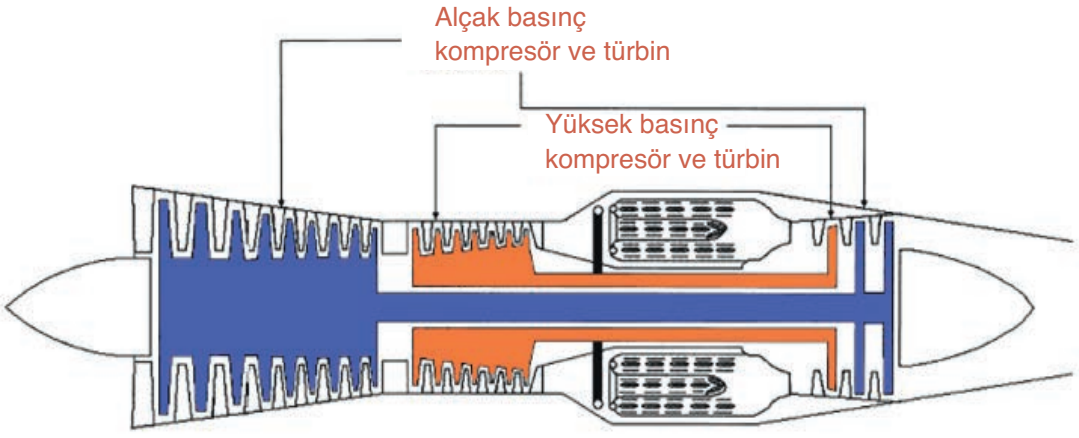
Görsel 3.10: Kompresör bleed valve'nin çalışması

Multi Spool'lu [Multay Sıpol (Çift Şaftlı)] Kompresör Kullanımı

- Multi spool kullanımı ile hava akışının bloke olma ihtimali azalmış olur.
- Önde alçak basınç kompresörü [LPC (low pressure compressor-lov preşır kompresör)] N1 şaf-

tına arkada yüksek basınç kompresörü [HPC (high pressure compressor-hay preşır kımpresır)] N2 şaftına bağlıdır. Her biri ayrı türbin tarafından tahrik edilir (Görsel 3.11).

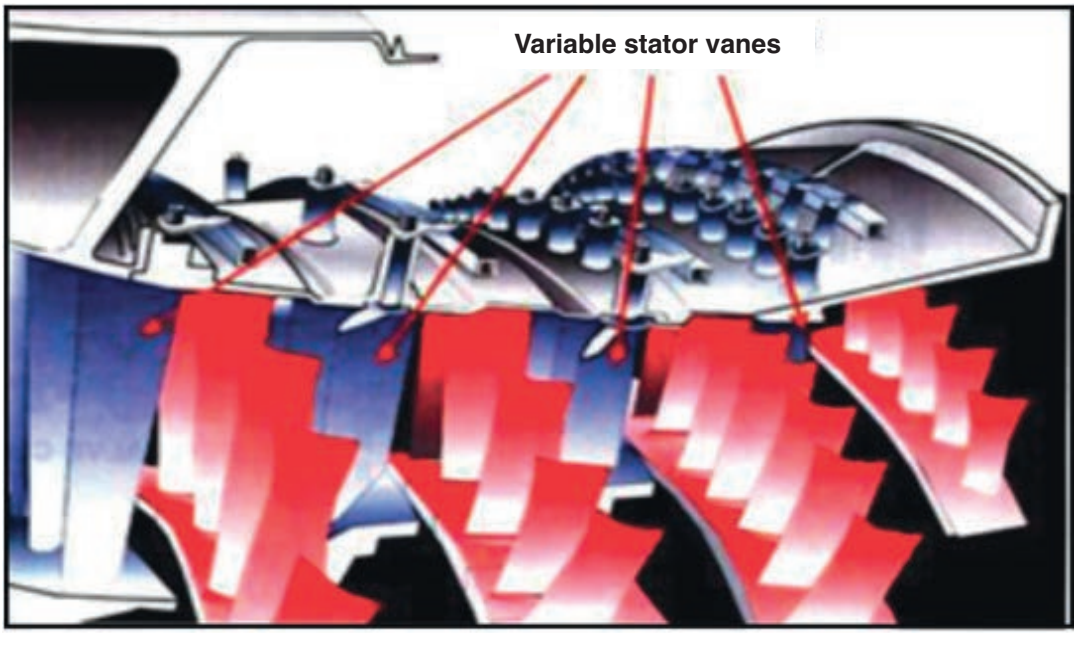
- Yüksek basınç kompresörü yüksek basınç türbininden tahrik alır. Bu durum hava akışının bloke olmasını engeller ve böylece stall önlenmiş olur.
- Multi spool'lu motorların bir başka avantajı küçük motor kütlesi sayesinde yüksek ivmelenme kabiliyetidir.



Görsel 3.11: Multi spool'lu motor

VSVs [Variable Stator Vane-Varyabıl Stator Veyn (Hareketli Stator Kanatçıkları)] Kullanımı

- Stall'u önlemede en etkili yöntemdir.
- HP kompresörün ön kademelerinde radyal eksende dönebilen vane'ler bulunmaktadır.
- VSVs ile kompresör, içindeki hava akışı arkasındaki rotor blade'ler için optimum yönde saptırarak kompresörün optimum verimde çalışmasını sağlar. Bu durumda stall önlenir (Görsel 3.12).
- VSVs her motor hızında optimum hücum açısı ve optimum verim sağlar.



Görsel 3.12: Stall'u önlemede kullanılan VSVs

3.3. UYGULAMA: AMM'ye Göre Kompresör Kısmının Bakımının Yapılması 1

Amaç: AMM talimatlarına göre kompresörü sökebilmek.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kompresör	Turbofan motor kompresörü	1 Adet
Temizleme sıvısı	Uçak tipine uygun	1 Adet
Pamuk	Tekstil, tiftiksiz pamuk	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde kompresör kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Öğretmeniniz eşliğinde AMM'ye göre kompresörü sökünüz.
7. Kompresör kademelerini inceleyiniz.
8. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
9. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Kompresör kademelerinde yer alan rotor ve stator arasındaki fark nedir? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

3.4. UYGULAMA: AMM'ye Göre Kompresör Kısmının Bakımının Yapılması 2

Amaç: AMM'ye göre kompresör kısmını sökerek bakımını yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kompresör	Turbofan motor kompresörü	1 Adet
Temizleme sıvısı	Uçak tipine uygun	1 Adet
Pamuk	Tekstil, tiftiksiz pamuk	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde kompresör kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Prosedüre göre kirlilik derecesini tespit ediniz.
7. Öğretmeniniz eşliğinde kompresörü yıkayınız.
8. AMM'ye göre kompresörün gerekli bakımlarını yapınız.
9. Bakımların hangi aralıklarla yapılması gerektiğini inceleyiniz.
10. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Kompresörü temizlerken hangi kimyasalların kullanıldığını ve bu seçimin hangi kriterlere göre yapıldığını açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

3.3. YANMA ODASI KISMININ BAKIMI

Yanma odası, kompresörden çıkan havanın yakıt ile birleştirilerek yakılmasıyla türbin ve jet nozul için sıcak gaz akımı üretir. Emniyetli ve verimli bir yanma için yanma odası şu koşulları sağlamalıdır:

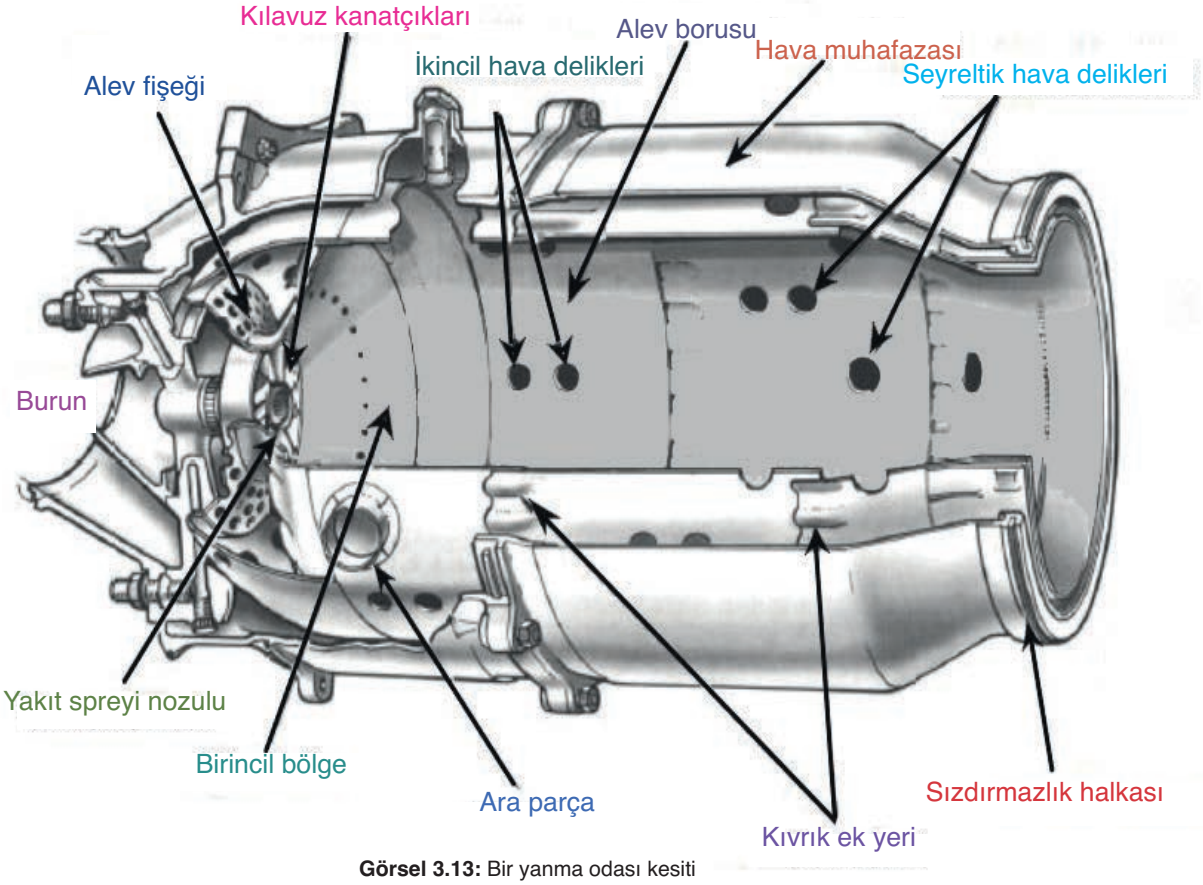
1. Hava aracı hem yerde hem de uçuş sırasında güvenli yanma gerçekleştirir.
2. Tüm çalışma koşullarında stabil yanmayı sağlamalıdır
3. Tam yanma olarak ifade edilen yakıtın tamamı yanmalıdır.
4. Uzun çalışma ömrü olmalıdır.
5. Yeteri kadar soğutma sistemine sahip olmalıdır.
6. Küçük ve hafif olmalıdır.
7. Motor verimini artırmak için minimum basınç kaybı olan bir yanma sağlamalıdır.
8. Yanma çıkışında eşit sıcaklık dağılımına sahip olmalıdır.

3.3.1. Yanma Odası Komponentleri

Jet motorlarında farklı tipte yanma odaları kullanılır ve bu tiplerde ortak iki ana komponent (bileşen) bulunmaktadır.

Case [Keys (Kasa)]: Yanma odasının dış koruması, iç ve dış motor bileşenlerini sıcak gazlardan korurken aynı zamanda tüm bileşenleri destekler. Ayrıca hava basıncı yüklerini karşılar.

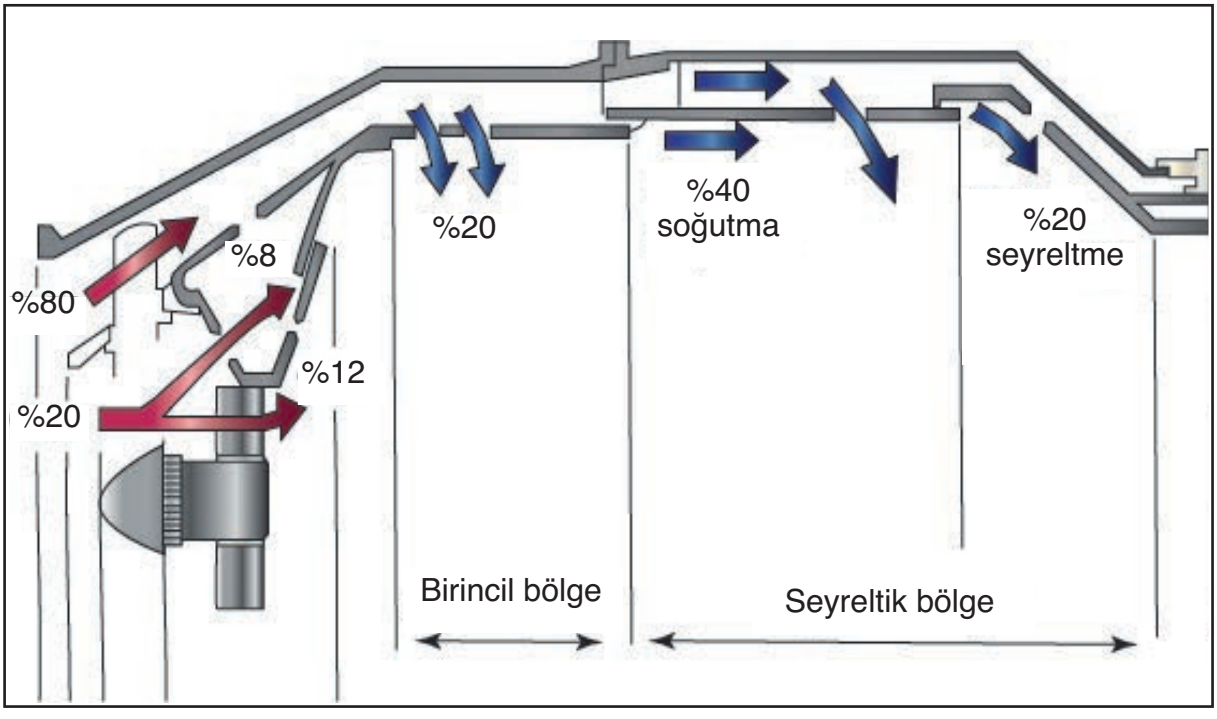
Flame Tube [Fıleym Tüyb (Alev Borusu)]: Delik ve slotları (oluk) olan birçok segmentten üretilmiştir. Flame tube'ün görevi, alevi kontrol ve yataklık ederek yönlendirmektir (Görsel 3.13).



Görsel 3.13: Bir yanma odası kesiti

3.3.2. Yanma İşlemi

Motor kompresöründen gelen sıkıştırılmış hava, saniyede 500 feet'e kadar bir hızda yanma odasına girer. Yanma için yüksek olan bu hız, yanma odası girişinde difüzör aracılığıyla azaltılır. Havanın hızının azaltılmasıyla alevin stabilize olması sağlanır ve bu, birincil (primer) bölgede tamamlanır. Böylelikle seyreltik (dilüsyon) bölgeye ve türbine sıçraması engellenir. Seyreltik havanın büyük bir kısmı, yanma odası malzemesinin yüksek sıcaklıktan etkilenmesini engelleyerek soğutma işlevi görür. Seyreltik havanın bir kısmı ise film soğutma tabakası oluşturarak birincil bölgedeki alevi flame tube duvarından uzak tutmak için kullanılır (Görsel 3.14).



Görsel 3.14: Bir yanma odasındaki hava akışı

Yakıt, yakıt nozulları ile sıkıştırılmış hava akışının merkezine doğru püskürtülür. Yakıt buharlaşarak hava akışına karışır. Bujilerde elektrikli ateşleme gerçekleşir ve yanma başlar. Yanma işlemi başladıktan sonra ateşleme durur. Yakıt ve hava temini kesintisiz devam ettiği için yanma devam eder. Doğru ve emniyetli yanma; doğru hava yakıt karışım oranı ve hava akış hızının tam yanmayı sağlayacak düşüklükte olması ile mümkündür.

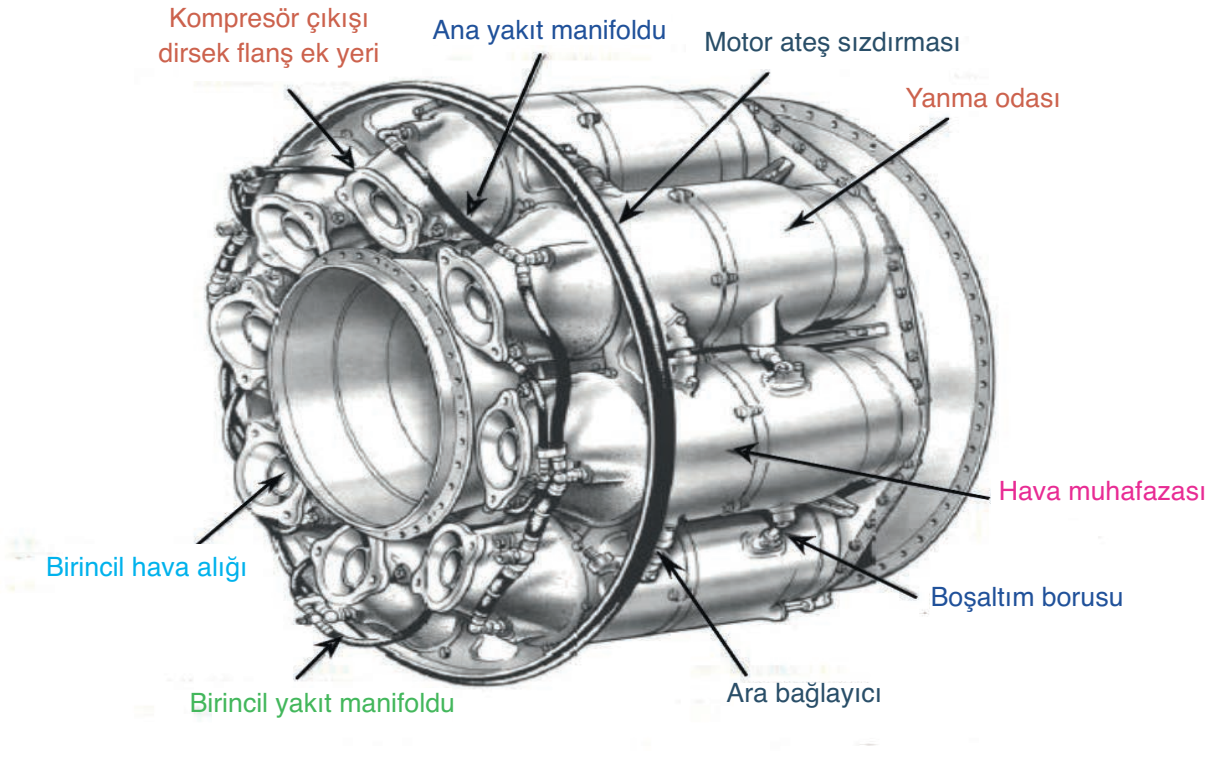
3.3.3. Yanma Odası Tipleri

Gaz türbinli motorlarda kullanılan üç tip yanma odası vardır:

1. Multiple can [multıpıl kın (çoklu bölmeli)] tip yanma odası
2. Tubo-annular [tubo anyılır (dairesel)] tip yanma odası
3. Annular (dairesel çevresel) tip yanma odası

3.3.3.1. Multiple Can Tip Yanma Odası

Multiple can tipi yanma odası; her yanma odacığının kendi hava kasası, alev tüpü ve brülör ile birbirine bağlı birkaç ayrı hazneden oluşur. Odacıklar birbirine iç bağlantı boruları ile bağlıdır. Bu durum, her borunun aynı basınçta çalışmasına ve ateşlemenin bir odacıktan diğerine geçmesine izin verir. Multiple can tipi yanma odası; turboprop, turbojet, APU [auxiliary power unit-agzilieri pauır yunıt (yardımcı güç ünitesi)] ve küçük gaz türbinli motorlarda kullanılır (Görsel 3.15).



Görsel 3.15: Multiple can tip yanma odası

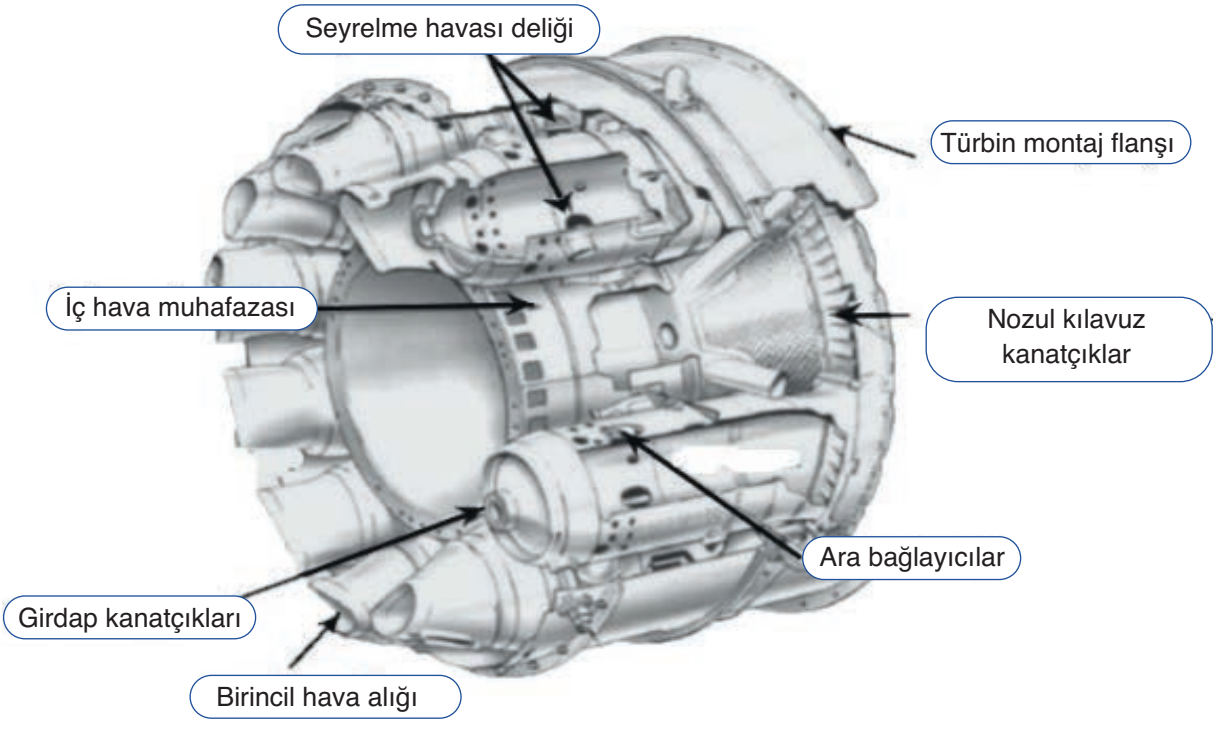
Multiple can tip yanma odasının avantaj ve dezavantajları Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Multiple Can Tip Yanma Odasının Avantaj ve Dezavantajları

Multiple Can Tip Yanma Odasının Avantajları	Multiple Can Tip Yanma Odasının Dezavantajları
Basit tasarımlıdır.	Büyük ve ağır oluşu nedeniyle fazla yer kaplar.
Odacıklar birbirinden bağımsız olarak değiştirilebilir.	Ateşlemenin bir odadan diğerine geçişi sırasında bazı zorluklar ortaya çıkabilir.
Yüksek dereceli ısıya dayanıklıdır.	Kompresör çıkış havasının komplike bir alık vasıtasıyla gelmesi, aerodinamik kayıpları artırır.
Yapısal mukavemeti iyidir.	-

3.3.3.2. Tubo-Annular (Turbo Dairesel) Tip Yanma Odası

Tubo-annular tip yanma odası, ortak bir hava kasası içine yerleştirilmiş çok sayıda alev borusu içerir. Bu sistemin multiple can tip yanma odası sisteminden farkı, her hava bölmesi için ayrı yanma odası karterinin olmamasıdır. Alev boruları birbirine iç bağlantı boruları ile bağlıdır. Tubo-annular tip yanma odası büyük turbojet ve turbofan motorlarda kullanılır (Görsel 3.16).



Görsel 3.16: Tubo-annular tip yanma odası

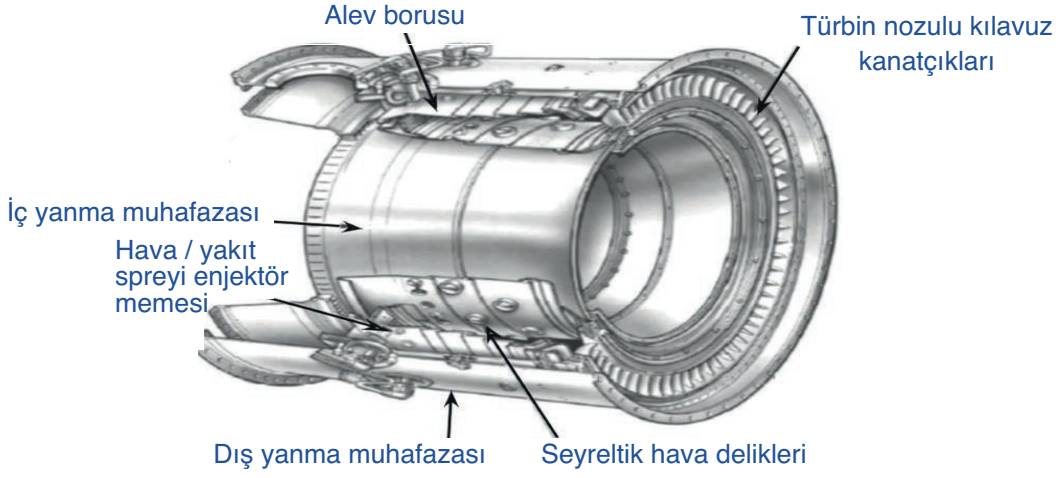
Tubo-annular tip yanma odasının avantaj ve dezavantajları Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Tubo-Annular Tip Yanma Odasının Avantaj ve Dezavantajları

Tubo-Annular Tip Yanma Odasının Avantajları	Tubo-Annular Tip Yanma Odasının Dezavantajları
Yanma odaları, sökülebilir kapak sayesinde motor sökülmeden kontrol edilebilir veya tamir edilebilir.	Alev naklinde zorluklar vardır.
Hava temini basittir.	Aerodinamik kayıplar oldukça fazladır.
Türbin girişinde düzenli ve eşit sıcaklık dağılımı sağlar.	-
Yapısal mukavemeti iyi, küçük ve hafiftir.	-

3.3.3.3. Annular (Dairesel Çevresel) Tip Yanma Odası

Annular tip yanma odası, iç ve dış gövdede bulunan, silindire benzeyen tek bir alev borusundan oluşur. Tek tek odacıklarda yanan alev yerine tek bir halka şeklinde alev oluşur. Annular tip yanma odası günümüzde kullanılan en modern ve en etkili yanma odasıdır (Görsel 3.17).



Görsel 3.17: Annular tip yanma odası

Annular tip yanma odasının avantaj ve dezavantajları Tablo 3.3'te açıklanmıştır.

Tablo 3.3: Annular Tip Yanma Odasının Avantaj ve Dezavantajları

Annular Tip Yanma Odasının Avantajları	Annular Tip Yanma Odasının Dezavantajları
Küçük ve hafiftir.	Üretim maliyeti yüksektir.
Yakıtın yayılma problemi yoktur.	Yüksek bakım maliyetine sahiptir.
Türbin üzerinde etkisi olan gazların basınç dağıtımı iyidir ve eşit sıcaklık dağılımı sağlar.	Söküm ve montajı zordur ve zaman alır.
Daha büyük yanma hacmi vardır. Verimi daha yüksektir ve tam yanma elde edilir.	-

3.3.4. Yanma Odası Performansı

Bir yanma odası, yakıtın büyük bir basınç kaybı olmadan uzun menzilde verimli şekilde yanmasına olanak sağlayacak kapasitede olmalıdır. Yanmanın mümkün olabilmesi için karışım oranı; minimum 7,5/1, maksimum 24/1 arasında olmalıdır. En ideal yakıt hava karışımı oranı 15/1'dir. Kötü yakıt / hava karışımı egzoz gazında kirliliğe neden olur. Modern gaz türbinli motorlarda aranılan bir diğer özellik ise egzoz gaz kirliliğinin minimum seviyede tutulmasıdır.

Egzoz gaz kirliliğine neden olan oluşumlar şunlardır:

1. Yanmamış hidrokarbonlar ve yakıt (HC)
2. Nitrojen oksitleri (NOx)
3. Karbon monoksit (CO)
4. Duman (karbon partikülleri)

Zengin yakıt karışımında yakıt çok fazladır ve yanmamış yakıt egzoza karışır. Bu durum, yanmamış hidrokarbon ve yakıt miktarını artırır. Karbonmonoksit oluşmasına neden olur. Fakir yakıt karışımında yakıt yetersiz kalır. Bu durumda çıkan gazdaki kirlilik azken alevin sönme tehlikesi vardır. Optimum yakıt / hava oranı sağlandığında egzoz gaz kirliliği azalır.

3.5. UYGULAMA: Yanma Odasının AMM'ye Göre Bakımının Yapılması

Amaç: Yanma odasını ilgili AMM'ye göre sökerek bakımını yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Yanma odası	Turbofan motor yanma odası	1 Adet
Uyarı notu / notları	-	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde yanma odası kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. İşlemden önce hidrolik sistemin basınçsız duruma getirilmesine dikkat ediniz.
7. AMM'ye göre yanma odası kısmını sökünüz.
8. AMM'ye göre yanma odası kısmının gerekli bakımlarını yapınız.
9. AMM'ye göre yanma odası kısımlarını yerlerine takınız.
10. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Yanma odası kısmının sökülmesinde nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Yanma odası kısmının parçalarına bakım yapılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız
- Bakım sonrası yanma odası parçalarının yerlerine takılmasında nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

3.6. UYGULAMA: Yanma Odasının AMM'ye Göre Bakımının Yapılması

Amaç: Yanma odasını ilgili AMM'ye göre sökerek tahliye vanasının [drain valve (dıreyn valf)] bakımını yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Yanma odası	Turbofan motor yanma odası	1 Adet
Uyarı notu / notları	-	1 Adet
Konteyner	3 l ölçülü	3 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde yanma odası kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. İşlemden önce hidrolik sistemin basınçsız duruma getirilmesine dikkat ediniz.
7. Çıkarılan sıvıyı konteynere boşaltıp yanma odasını eski pozisyonuna getiriniz.
8. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
9. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Yanma odası tahliye valfi sökülürken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

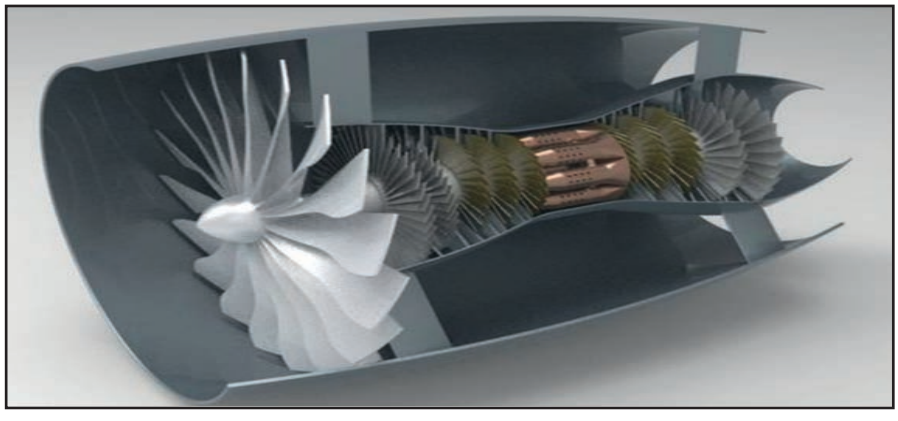
Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

3.4. TÜRBİN KISMININ BAKIMI

Türbin, yanma odasından çıkan yanmış gazların kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür. Yüksek hızlı yanmış gazların türbine çarpmasıyla dönen türbin rotoru kompresörleri ve aksesuarları çalıştırmak için kullanılır. Türbin bir veya birden fazla kademeden oluşabilir.Türbindeki her bir kademe rotor (blade) stator (nozzle) setinden oluşur. Yanma odası çıkışı türbin girişinde yanma odasından çıkan gazların ilk kademe türbin blade kısmına düzgün bir açı ile çarpmasını sağlayan nozzle guide vane (NGV) parçası bulunmaktadır.Türbin kısmının kesit alanı önden arkaya doğru artar. Yanma odasından sonra türbin kademelerinde sıcaklık ve basınç kademe kademe düşer (Görsel 3.18).

Türbin çalışırken şu aşamalardan geçer:

1. Yanma odasından çıkan gaz akışı ilk olarak statordan geçer.
2. Bu esnada gaz akışı hızlanır ve statik basınç azalır.
3. Stator, gaz akışını rotorların dönme yönüne doğru yönlendirir.
4. Gaz akışının rotorlara çarpması ile türbinin dönüş hareketi başlar. Böylece türbin şaftını çevirecek tork elde edilir.



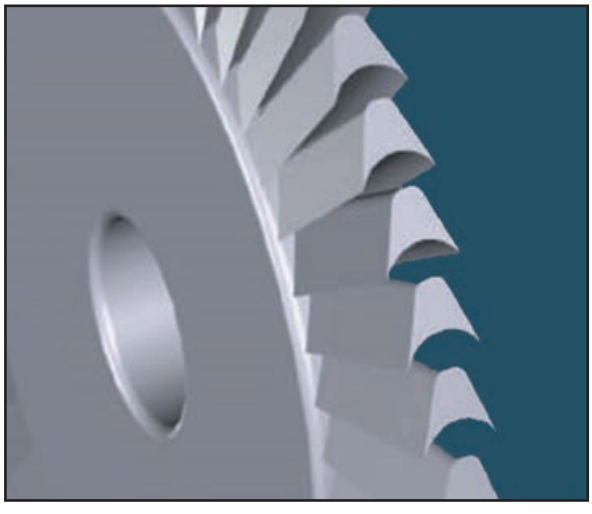
Görsel 3.18: Tipik bir türbin montajı

3.4.1. Türbin Tipleri

Bir gaz türbinli motorda türbinler; impulse [impuls (darbe)], reaction [riakşın (reaksiyon)], impulse-reaction (darbe-reaksiyon) ve radyal akışlı türbinler olmak üzere dört tiptir.

3.4.1.1. Impulse Türbinleri

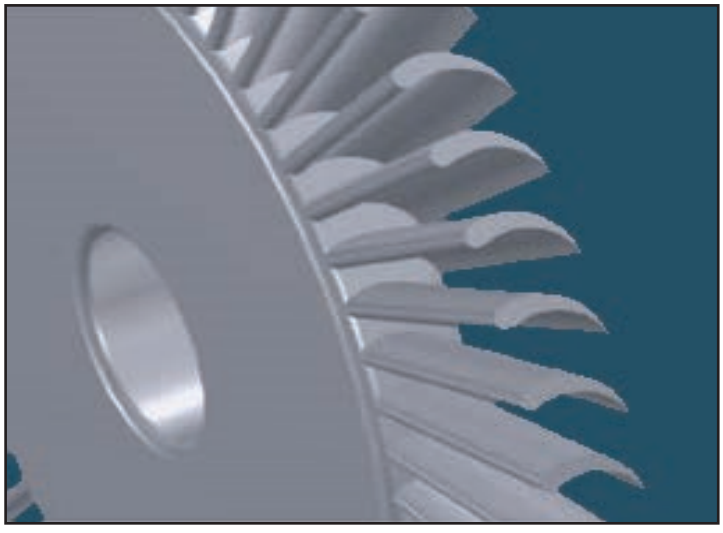
Impulse türbini gaz akışının enerjisini darbe ile türbin blade'lerine iletir ve böylece dönme hareketi oluşur. Blade'ler arasında oluşan akışın giriş ve çıkış alanı aynı boyuttadır. Bundan dolayı gaz akışı blade'leri sadece iter ve çeker. Hava hızını artırmak için sabit nozzle guide vanes [nozul gayd veyns-NGVs (nozul kılavuz kanatçıkları)] kullanılır. Impulse türbin genellikle eski tip gaz türbinli motorlarda kullanılır (Görsel 3.19).



Görsel 3.19: Impulse türbin blade'leri

3.4.1.2. ReactionTürbinleri

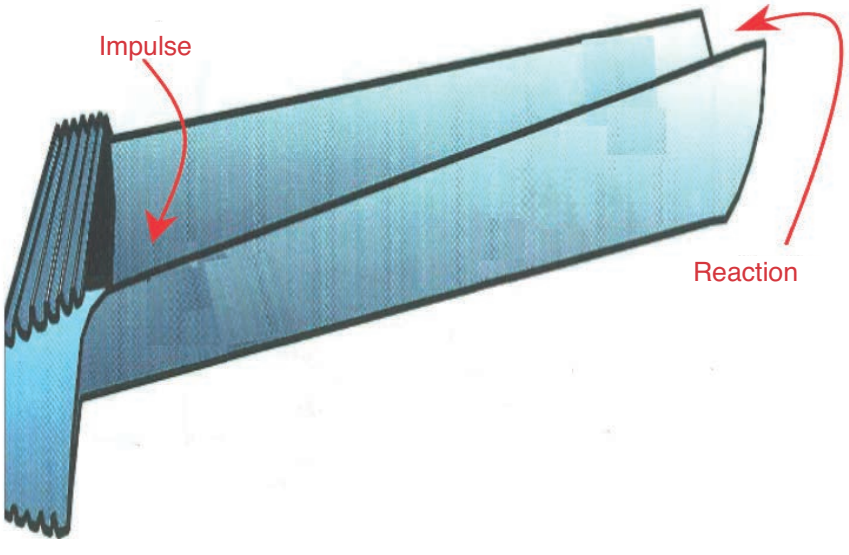
Reaction türbini, basıncı değiştirmeden gaz akışını NGVs ile yönlendirir. Dönme kuvveti sadece ivmelenme ile oluşturulur. Reaction türbinlerinin verimi azdır (Görsel 3.20).



Görsel 3.20: Reaction türbin blade'leri

3.4.1.3. Impulse-Reaction Türbinleri

Impulse-reaksiyon türbinde NGVs'ye gelen gaz akışı blade'lere çarpar. Çarpan gaz, blade'ler arasından geçerken hızlanır ve türbini terk ederken thrust kuvveti yaratır. Başka bir ifadeyle türbini döndüren gücün impulse ile reaction'ın sebep olduğu kuvvetlerin toplamıdır. Biçim olarak blade ucu, tabandakinden daha büyük bir açıya sahiptir. Rotor blade'leri büklümlüdür ve kökte impulse şeklinde iken uçta reaksiyon şeklindedir (Görsel 3.21). Modern gaz türbinli motorlarda kullanılır.

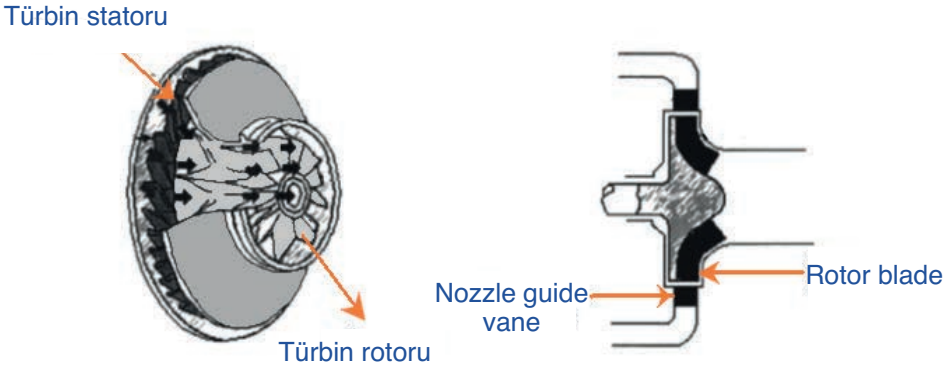


Görsel 3.21: Impulse-reaction türbin blade kombinasyonu

3.4.1.4. Radyal Akışlı Türbinler

Radyal akışlı türbinlerde gaz, dairesel olarak girer. Türbin stator vane'lere kuvvet uygulayarak iç merkeze doğru akar. Gaz akışı eksenel yönde atmosfere atılır. Hava akış oranının az olması ve aerodinamik

kayıplar nedeniyle verimi düşüktür. Bu tip türbinler, menzili düşük uçaklarda ve küçük gaz türbinli motorlarda kullanılır (Görsel 3.22).



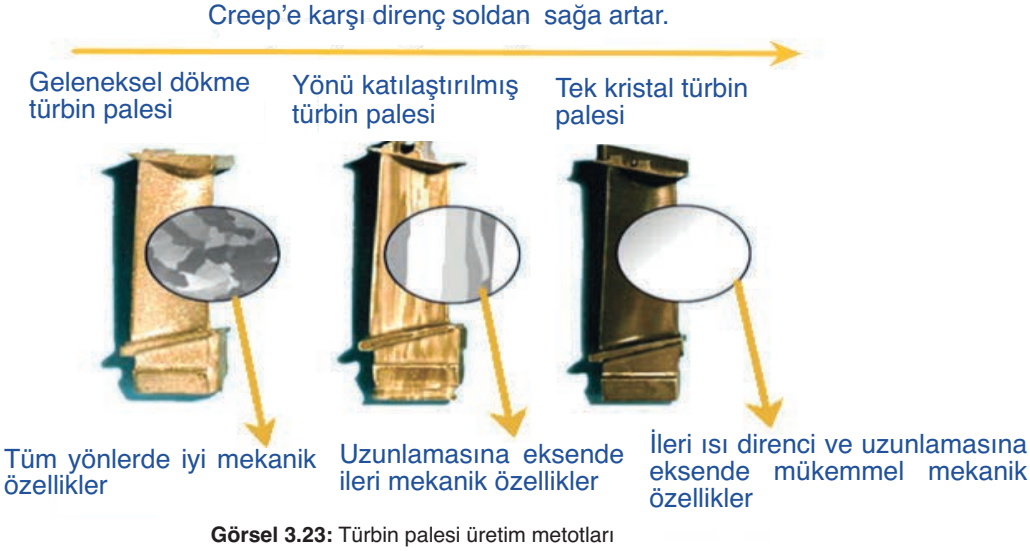
Görsel 3.22: Radyal akışlı türbin

3.4.2. Türbinin Yapısal Özellikleri

NGVs, blade (pal), nozzle ve türbin diski; türbinin ana parçalarıdır. Türbinler, yüksek sıcaklık ve santrifüj yükler altında çalışır. Türbin elemanları, motorun take off [teyk of (havalanma)] gibi yüksek güç elde edildiği durumlarda bu yüklere daha fazla maruz kalır. Bu esnada paleler hem ısısal hem de santrifüj yüke bağlı olarak bir miktar uzar. Paleler, normal çalışma koşullarına dönüldüğünde normale döner. Bu durum türbinin servis ömrünü olumsuz yönde etkiler. Take off esnasında türbinin maruz kaldığı ısısal ve santrifüj yüklerden dolayı palelerin uzamasına **creep** [kırıp (plastik deformasyon)] denir. İlgili yükler kalktığında pale, orijinal şekline dönmezse creep gerçekleşir. Normal koşullarda creep çok az olur veya hiç olmaz.

Motorun maksimum takata ulaştığı koşullarda creep başlar. Kullanılan ilk malzeme, yüksek sıcaklık çelik dövmeleridir. Ancak günümüzde bunların yerini iyi creep ve yorgunluk özelliği veren dökme nikel esaslı alaşımlar almıştır. Türbin paleleri geleneksel tane yapısı, eş eksenli tane yapısı ve kristal tane yapısına sahip çeşitli tiplerden üretilmiştir. Her bir metot, kullanılabilir creep ömrünü uzatır (Görsel 3.23).

Malzeme deformasyonunu önlemeyi güçleştiren iki zıt olgu vardır: Birinci olgu, optimum verim için türbin giriş ısısının yüksek olması gerekir. İkinci olgu ise plastik deformasyonu önlemek için düşük türbin sıcaklığına ihtiyaç duyulmasıdır. Birbirine zıt olan türbinleri soğutmak ve plastik deformasyonu en aza indirmek için türbin malzemesinin soğutulması gerekir.



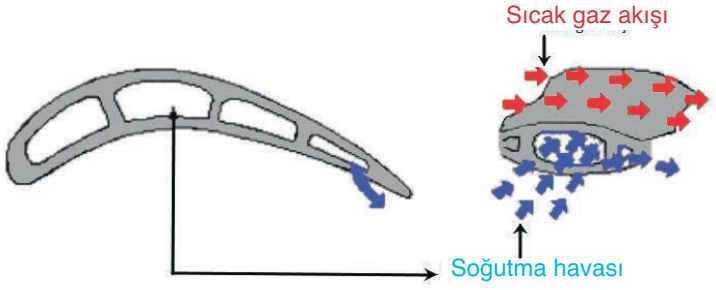
Görsel 3.23: Türbin palesi üretim metotları

3.4.3. Türbin Soğutma Yöntemleri

Gaz türbinli motorlarda türbin kanatçığının ve türbin palesinin soğutulmasında kullanılan birçok yöntem vardır. Kullanılan bu yöntemler; konveksiyon (ısı iletimi) soğutma, çarpma [Impingement (impicmınt)] soğutma ve film soğutmadır.

3.4.3.1. Konveksiyon Soğutma

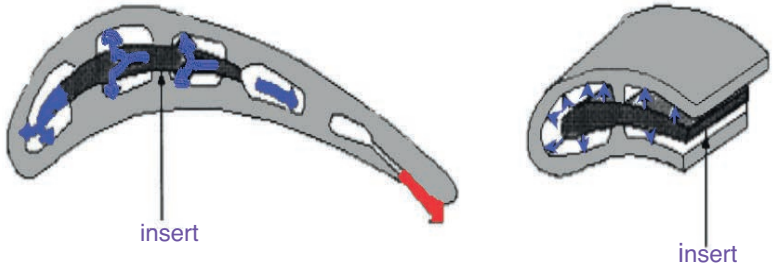
Soğutma havası türbin palelerinin dip kısmındaki deliklerden girer, firar kenarı ve pale uç kısmından paleyi terk ederek gazlara karışır (Görsel 3.24). Bu tip soğutma yöntemine **konveksiyon soğutma** denir.



Görsel 3.24: Konveksiyon soğutma yöntemi

3.4.3.2. Çarpma Soğutma

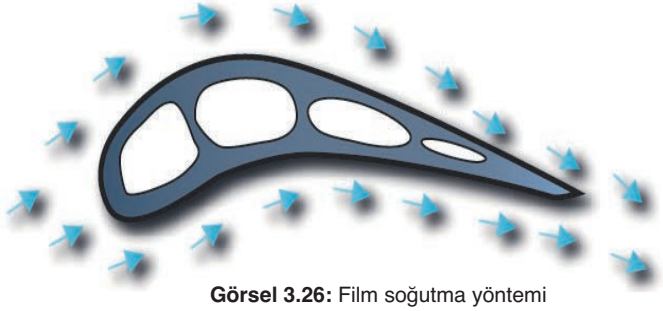
Bazı NGVs içine insert [insört (gömme parça)] olarak tanımlanan delikli jet nozullar konur. Soğutma havası, ilk önce bu deliklerden geçerek airfoilin [eirfoil (kanat profili)] iç duvarına çarpar. Böylece daha etkin bir soğutma gerçekleşir (Görsel 3.25). Hava firar kenarından malzemeyi terk ederek sıcak gaz akışına karışır. Bu soğutma şekline **çarpma soğutma** denir.



Görsel 3.25: Çarpma soğutma yöntemi

3.4.3.3. Film Soğutma

Airfoil üzerindeki küçük delikler vasıtasıyla çıkan soğutma havası arkaya doğru akar. Soğutma havası airfoilin şeklini alıp akarken sıcak gazlarla airfoil arasında ince bir hava film tabakası oluşturur. Bu yönteme **film soğutma** denir (Görsel 3.26). Film soğutma en etkili yöntemdir. Minimum soğutma havası ile maksimum soğutma etkisi sağlanır. Ancak imalat zorluğu sebebiyle yüksek maliyet gerektirir.



Görsel 3.26: Film soğutma yöntemi

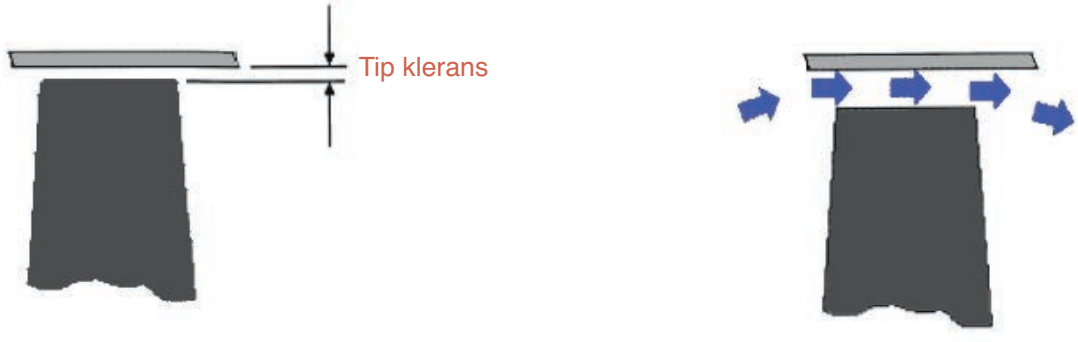
Bahsedilen soğutma yöntemlerinin üçünün aynı anda kullanıldığı modül, modern gaz türbinli motorların yüksek basınç türbinleridir. Genel olarak yüksek basınç türbinlerinde kullanılan soğutma yöntemleri Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Türbin Kademelerinde Kullanılan Soğutma Yöntemleri

KADEMELER	KONVEKSİYON	ÇARPMA	FİLM
Birinci kademe stator	X	X	X
Birinci kademe rotor	X	X	X
İkinci kademe stator	X	X	-
İkinci kademe rotor	X	-	-

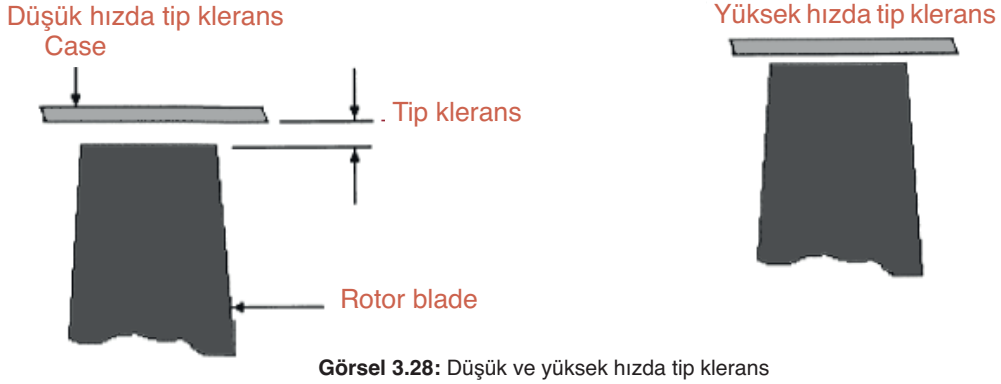
3.4.4. Türbin Klerans Kontrolü

Türbin rotor blade ucu ile stator case arasındaki boşluğa **tip klerans** (**boşluk**) denir. Türbin tip kleransın kontrol altında tutulması gerekir. Tip klerans küçük olduğunda blade case'e sürter. Bu da her iki parçanın hasar almasına neden olur. Tip klerans büyük olduğunda ise tip açıklığından istenmeyen miktarda gaz geçer. Bu durum türbin veriminin düşmesine neden olur (Görsel 3.27). Türbin rotor hızını artırmak için ek yakıta ihtiyaç vardır. Bu durumda da egzoz gazı sıcaklığı artar.



Görsel 3.27: Tip kleransta açıklık artması ile gaz akışı

Isı karşısında malzemelerin genleşme miktarı sıcaklığa ve malzeme boyutuna bağlıdır. İnce bir malzeme, aynı cins kalın bir malzemeden daha çabuk genleşir. Örneğin türbin case'in ince olmasından dolayı türbinden daha çabuk genleşir. Motor, hızlanma sırasındaki ivmelenmeye bağlı genleşir. Bir başka ifadeyle türbin blade'de tip kleransları motor start ve ivmelenme periyotlarında artar. Motorda gaz kesildiğinde ya da kapatıldığında rotor ve case çapları azalır (Görsel 3.28).



Görsel 3.28: Düşük ve yüksek hızda tip klerans

Günümüz modern gaz türbinli motorlarda, her durumda tip kleransı kontrol altında tutmak için aktif **klerans sistemi** kullanılır. Bu yöntem ile fan havası ile türbin case sürekli olarak soğutulmaktadır. Aktif klerans sistemi maksimum türbin verimliliği için blade uçları ile türbin case arasında optimum boşluk oluşumunu sağlar.

3.7. UYGULAMA: Türbinin AMM'ye Göre Bakımının Yapılması

Amaç: Türbini AMM'ye göre sökerek bakım yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Türbin	Turbofan motor türbini	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde türbin kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. AMM'ye göre türbin kısmını sökünüz.
7. AMM'ye göre türbin kısmının gerekli bakımlarını yapınız.
8. AMM'ye göre türbin kısımlarını yerlerine takınız.
9. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
10. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Türbinin sökülmesinde nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Türbin parçalarına bakım yapılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Bakım sonrası türbin parçalarının yerlerine takılmasında nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

3.8. UYGULAMA: Türbinin AMM'ye Göre Bakımının Yapılması

Amaç: AMM'yi kullanarak baroskop ile türbini incelemek.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Türbin	Turbofan motor türbini	1 Adet
Baroskop	-	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde türbin kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. AMM'ye göre baroskopla türbin kısmını inceleyiniz.
7. Türbin renk değişikliği, karbon birikimi, termal bariyer kaplamanın eksik yontulmuş veya parçalanmış olup olmadığına bakınız.
8. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
9. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Türbin incelenmesinde nelere dikkat ettiniz? Türbindeki hatalar izin verilen limitler içerisinde miydi? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

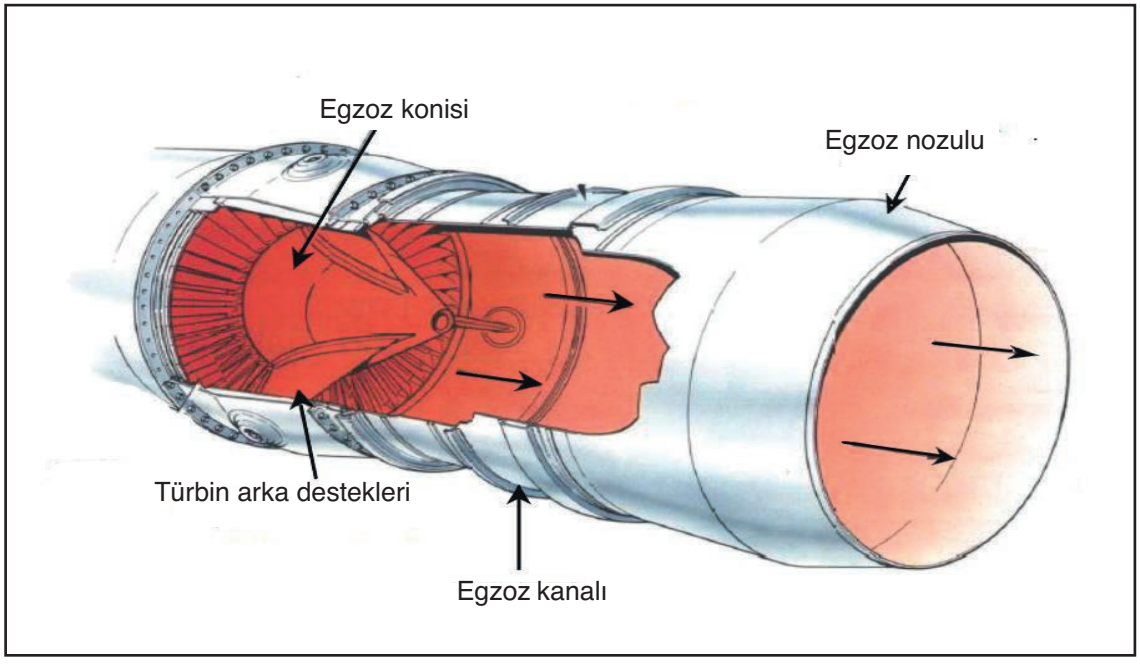
3.5. EGZOZ KISMININ BAKIMI VE TESTİ

Türbini ses süratinin üstünde terk eden gazların hızını istenilen değerde ayarlayarak eksenel yönde atmosfere veren, bileşke itkiyi sağlayan bölüme gaz türbinli motorlarda **egzoz** denir. Egzoz kısmının görevi, gaz akımının en düşük enerji kaybı ile mümkün olan en yüksek hızda atmosfere atmaktır.

3.5.1. Egzoz Komponentleri

Egzoz sistemi üç temel bileşenden oluşur (Görsel 3.29):

1. Egzoz kasası [exhaust casing (egzast keysing)], iç koni ve destekleri
2. Egzoz kanalı [exhaust duct (egzast dak)], [tailpipe teilpip (egzoz borusu veya jet borusu ve baypas kanalı)]
3. Egzoz nozulu [exhaust nozzle (egzast nozul)]



Görsel 3.29: Egzoz sisteminin temel gösterimi

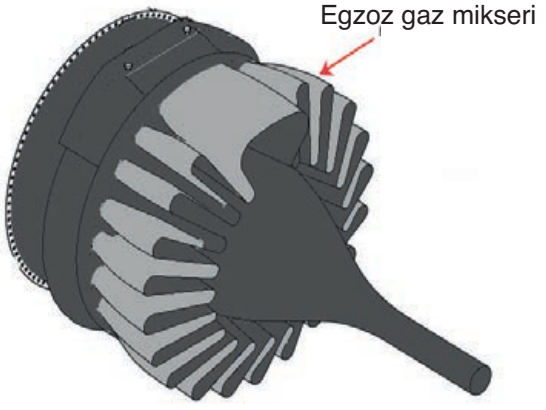
Exhaust casing, türbin kasasının arkasına takılır. İç egzoz konisini ve destek dikmelerini içerir. İç koni türbin diskinin arka yüzünü egzoz gazlarından korur ve gaz akışını yumuşatır. Arkadaki egzoz alanını artırır. Bu durum gaz hızını ve dolayısıyla egzoz kanalı veya jet borusundaki sürtünme kayıplarını en aza indirir. Egzoz konisi çıkış havasındaki yönlendirme sayesinde türbülansı önler. Ayrıca türbin arka kademesinde oluşacak ters akışı önler.

Egzoz kanalı, exhaust casing'e bağlıdır. Egzoz kanalı motorun uçaktaki konumuna bağlı olarak değişen uzunluktadır. Bu kanal, thurst reverser [tırast rivörsır (ters itme kuvveti)] ve varsa yeniden ısıtma sistemi için kullanılabilir veya susturucu görevi görebilir.

Egzoz nozulu motoru terk eden egzoz gazına hız kazandırır.

3.5.2. Egzozda Gaz Akışı

Turbofan motorlarda oluklu bir parça olan egzoz gaz mikseri [exhaust gas mixer (egzast ges miksır)] bulunur. Mikser, sıcak-soğuk gaz karışımını daha iyi sağlayarak thurst verimini artırır (Görsel 3.30). Egzoz gaz mikserinin olumsuz yanı motor ağırlığını artırmasıdır. Türbinden çıkan gazın egzoz sistemine girerken oluşturduğu hız 750-1200 ft/s arasındadır. Bu seviyedeki gaz hızı, yüksek sürtünme kayıplarına neden olur. Bundan dolayı difüzyon işlemi ile hız yaklaşık 950 ft/s'ye indirilir. Difüzyon işlemi, egzoz konisi olarak bilinen konik kısımla egzoz iç duvarı arasındaki genişleyen bölge tarafından yapılır.



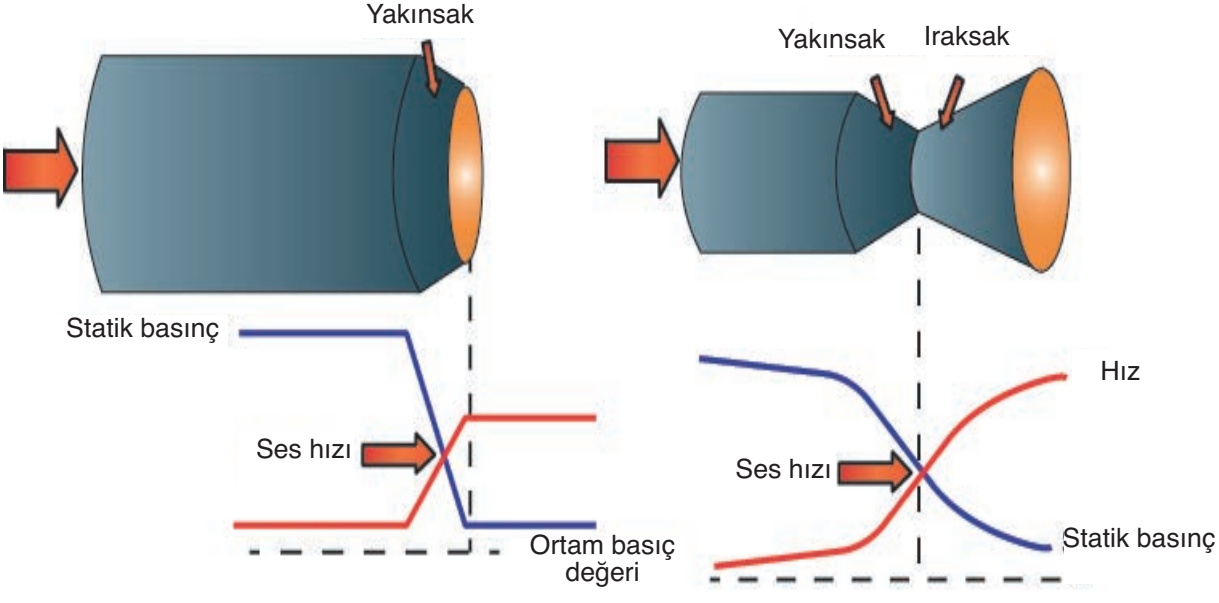
Görsel 3.30: Egzoz gaz mikseri

3.5.2.1. Yakınsak [(Convergent (Kınverjent)] Egzoz Nozulu

Yakınsak egzoz nozulu daralan bir yapıya sahip olduğu için geçen gazı hızlandırır. Bir turbojet motorda egzoz gazlarının çıkış hızı sadece düşük thrust durumunda ses altındadır. Birçok çalışma koşulunda çıkış hızı egzoz gaz sıcaklığına bağlı olarak ses hızına ulaşır. Bu noktada, nozulun en dar yerinde boğulma meydana gelir ve daha fazla gaz geçişi imkânsız hâle gelir. Sıcaklık artırılmadığı sürece hızda daha ileri bir artış olmaz. Eğer gaz basıncı artırılmaya devam edilirse jet nozulu çıkışındaki gazın statik basıncı, atmosfer basıncından büyük olur. Bu durum gaz akışının çıkışta hızla patlayıp, tüm yönlere dağılarak egzoz nozulunu terk etmesine neden olur. Egzoz jetinin böyle bir rejime girmesi thrust'ı büyük oranda düşürür (Görsel 3.31).

3.5.2.2. Yakınsak-Iraksak (Convergent-Dıvergent) Egzoz Nozulu

Yakınsak-ıraksak egzoz nozulunda elde edilen hız, ses hızının üzerindedir. Daha büyük basınç oranlarında egzoz gaz hızının artışını sağladığı için bu tip nozullarda yüksek thrust elde etmek mümkündür. Iraksak boru dışarı doğru genişler yapıdadır (Görsel 3.31). Sistem, motor hız değişimlerine duyarlı olduğundan nozul tipi açılır kapanır şeklinde tasarlanmıştır.



Görsel 3.31: Gaz parametre değişimleri

3.9. UYGULAMA: Egzoz Kısmının AMM'ye Göre Bakımının Yapılıp Test Edilmesi

Amaç: Egzoz kısmının AMM'ye göre parçalarını sökerek bakımını yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Egzoz	Turbofan motorun egzoz kısmı	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde egzoz kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Motorun çalışmadığından emin olunuz.
7. AMM'ye göre egzoz söküm prosedürünü kullanınız.
8. AMM'ye göre egzoz kısmının bakımını yapınız.
9. AMM'ye göre egzoz kısmının parçalarını yerine takınız.
10. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Egzoz sökülürken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Egzoz parçalarına bakım yapılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Bakım sonrası egzoz parçalarının yerlerine takılmasında nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

3.10. UYGULAMA: Egzoz Kısmının AMM'ye Göre İncelenmesi

Amaç: Egzoz kısmında EGT sıcaklık sensörlerini sökerek bakım ve değiştirme işlemlerini yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Egzoz EGT probu	Turbofan motorun egzoz kısmı	1 Adet
Bez	Tüy bırakmayan pamuklu bez	1 Adet
Alkol	İzopropil alkol	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde egzoz kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Motorun çalışmadığından emin olunuz.
7. AMM'ye göre EGT probu söküm prosedürünü kullanınız.
8. EGT kablolarını çıkardığınız veya taktığınız zaman bükmemeye dikkat ediniz.
9. Motorun hasar görmesini önlemek için sökülen tüm parçaları silerek temizleyiniz.
10. Tüy bırakmayan pamuklu bez ve izopropil alkol ile saplamaları ve somunları temizleyiniz.
11. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
12. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Egzoz EGT probunu çıkarırken hangi zorluklarla karşılaştınız? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. (….) Inlet cowl'da buzlanma, sıcaklık 10 °C'un altındaysa oluşabilir.

2. (….) Stator vane seti kompresör ünitesinin en önünde yer aldığında outlet case olarak tanımlanır.

3. (….) Flame tube'ün görevi, alevi kontrol ve yataklık ederek yönlendirmektir.

4. (….) Türbinin take off esnasında maruz kaldığı santrifüj ve ısısal yükler nedeniyle palelerin uzaması durumuna tip klerans denir.

B) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere uygun ifadeleri yazınız.

5. Motordan geçen hava akışı tamamen bozularak stall'un tüm kompresör kademelerini etkilemesi durumuna…….. denir.

6. Kompresörden çıkan havanın yakıt ile yakılması işlemi ……..…….. gerçekleşir.

7. Egzoz gaz kirliliğine duman (karbon partikülleri), yanmamış hidrokarbonlar ve yakıtlar (HC), ... ……., karbonmonoksitler (CO) neden olur.

C) Aşağıda verilen sorularda doğru olan seçeneği işaretleyiniz.

8. Belirli bir rotor hızında hava giriş hızının azalıp hucüm açısının artmasından kaynaklı olarak hava tabakasının blade yüzeyinden ayrılması olayı aşağıdakilerden hangisidir?

A) Kompresör Stall'u
B) Surge
C) Tasarım noktası
D) Tip klerans
E) Vibrasyon

9. Aşağıdakilerden hangisi tubo-annular tip yanma odasının avantajlarından değildir?

A) Hafif ve küçüktür.
B) Yanma odasında yakıt iyi yayılır.
C) Türbin üzerinde eşit sıcaklık dağılımı sağlar.
D) Verimi daha yüksektir ve tam yanma elde edilir.
E) Üretim maliyeti yüksektir.

10. Bir turbofan motorda motoru terk eden egzoz gazına hız kazandıran komponenet aşağıdakilerden hangisidir?

A) Exhaust case
B) Exhaust duct
C) Exhaust gas mixer
D) Exhaust nozzle
E) Thrust reverser

11. Gaz türbinli motorlarda akış aşağıdakilerden hangisi ile sağlanır?

A) Benzin
B) Gaz yağı
C) Hava
D) Kerosen
E) Su

12. Aksiyal akışlı kompresördeki stator vane'lerinin temel görevi aşağıdakilerden hangisidir?

A) Basınç enerjisini hız enerjisine çevirir.
B) Hız enerjisini basınç enerjisine çevirir.
C) Havanın ilk kademedeki rotor vane'lerine doğru açıyla gelmesini sağlar.
D) Hava sıkıştırma oranı ¼ oranındadır.
E) Stator vane hava akışını stator kademesine yönlendirir.

13. İmpeller'ın görevi aşağıdakilerden hangisidir?

A) Hava basıncını azaltır.
B) Hava basıncını artırarak difüzöre gönderir.
C) Havayı toplayarak yanma odasına gönderir.
D) Havanın hızını azaltır.
E) Havayı toplayarak türbine gönderir.

14. Motorda stall ve surge aşağıdakilerden hangisinde olur?

A) Egzoz
B) Hava girişi
C) Kompresör
D) Türbin
E) Yanma odası

15. Arka kademede meydana gelen surge için aşağıdakilerden hangisi doğru değildir?

A) EGT'de artış görülür.
B) Kompresörün çalışmasına etkisi tehlikeli boyuta gelmemiştir.
C) Motor hızında dalgalanma meydana gelir.
D) Surge esnasında yüksek vibrasyon meydana gelir.
E) Şiddetli bir gürültü oluşur.

4.
ÖĞRENME BİRİMİ



TURBOPROP MOTORLAR

KONULAR

4.1. GAZ KUPLAJLI / SERBEST TÜRBİNLERİN BAKIM VE ONARIMI

4.2. DİŞLİ KUPLAJLI TÜRBİNLERİN BAKIM VE ONARIMI

4.3. REDÜKSİYON DİŞLİLERİNİN BAKIM VE ONARIMI

4.4. PERVANE KUMANDALARININ BAKIM VE ONARIMI

4.5. AŞIRI HIZ EMNİYET TERTİBATININ BAKIM VE ONARIMI

TEMEL KAVRAMLAR

aşırı hız emniyet tertibatları, dişli kuplaj türbinli turboprop motorlar, FADEC, gaz kuplajlı ve serbest türbinli turboprop motorlar, hidromekanik yakıt kontrolü, motor ve pervane kumandaları,turboprop motorlarda redüksiyon dişli

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- **Turboprop motorların özellikleri**
- **Turboprop motorların çeşitleri**
- **Gaz kuplajlı / serbest türbinler ve özellikleri**
- **Redüksiyon dişli çeşitleri**
- **Turboprop motorların pervane kumanda kontrolleri**
- **Aşırı hız emniyet tertibatlarının özellikleri ve çeşitleri**

HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

1. **Turboprop motorların düşük irtifada uçan uçaklarda kullanılmasının nedeni neler olabilir? Düşüncelerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.**
2. **Turboprop motorların yüksek devirleri, redüksiyon dişlileri ile düşürülmez ise motorda ne tür arızalar meydana gelebilir? Düşüncelerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.**

4.1. GAZ KUPLAJLI / SERBEST TÜRBİNLERİN BAKIM VE ONARIMI

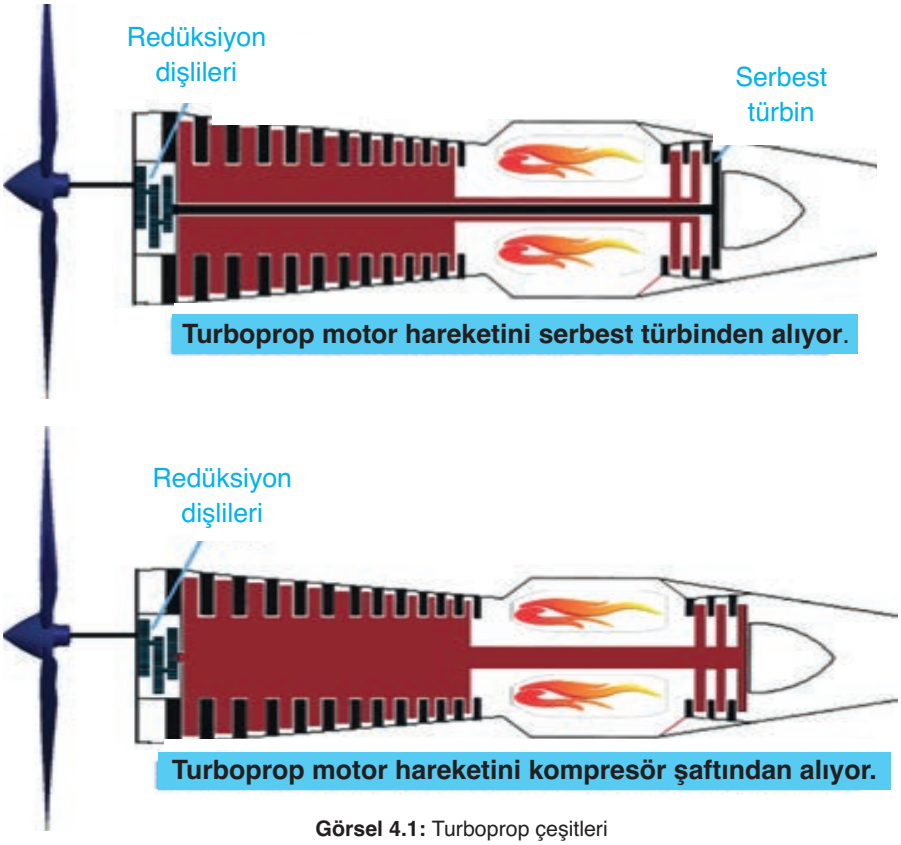
1940'lı yıllarda uçakların uçabilmesi için pistonlu motorlar geliştirilmiştir. Ancak daha yüksek irtifalara ve hızlara ulaşma ihtiyacı, havacılık endüstrisini yeni çözümler arayışına yöneltmiştir. Bu arayışlar sonucunda günümüzde kullandığımız turboprop motorlar geliştirilmiştir.

Turboprop motorlar, ilk olarak İkinci Dünya Savaşı'nda avcı uçaklarında kullanılmıştır. Daha sonra yolcu ve yük uçaklarında kullanılmıştır. Ayrıca pervanenin çıkarılarak helikopter rotorunun kullanılmasıyla özellikle günümüzde helikopterlerde yaygın olarak kullanılan turboshaft (turboşaft) motorlar geliştirilmiştir.

4.1.1. Turboprop Motorların Tanımı

Temel olarak turbojet ve turboprop motorların ana parçaları aynıdır. Turbojet motorunun ürettiği güç propeller'a [pıropelır (pervane)] iletilir. Turbojet motorlarda türbinin ana görevi, kompresörün dönmesini sağlamak ve egzoz gaz çıkış hızını istenilen seviyeye çıkarmaktır. Turboprop motorlarda ise türbinin başlıca görevi, kompresörü ve pervaneyi çevirmektir. Bu nedenle turboprop motorlarda gazdan elde edilen enerjinin büyük bir kısmı pervaneyi çevirmekte kullanılırken küçük bir kısmı ise jet tepkimesinde kullanıllır. Pervane, hareketi ya doğrudan kompresör şaftından alır ya da serbest türbin ve merkez şaftı aracılığıyla iletilir.

Pervaneler, yüksek dönme hızlarına dayanamadığından devri azaltmak için turboprop motorlarda pervane ile kompresör arasına bir dişli kutusu yerleştirilmiştir. Turboprop motorlarında hava ivmesi, turbojet motorlara kıyasla daha düşüktür ancak ivmelendirilen hava miktarı daha fazladır. Bu nedenle turboprop motorlar, düşük yakıt tüketimi ve kısa pistlerden kalkış avantajlarına sahip olması nedeniyle genellikle kargo uçakları ve küçük yolcu uçaklarında kullanılır (Görsel 4.1).



Görsel 4.1: Turboprop çeşitleri

4.1.2. Turboprop Motorların Özellikleri

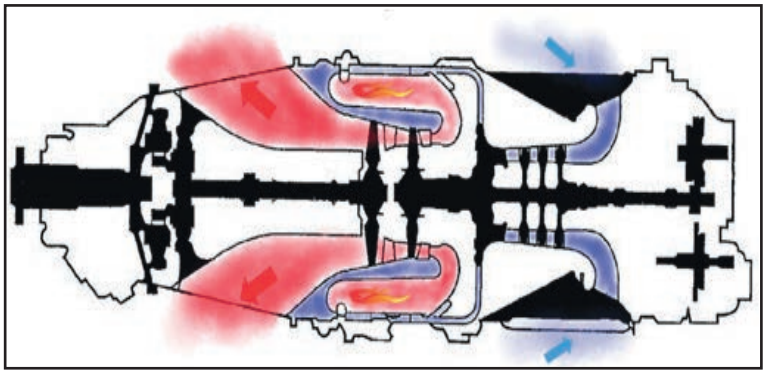
Turboprop motorlar; pistonlu, turbojet ve diğer motorlara kıyasla birçok avantaja sahiptir. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Turboprop motorlar, pistonlu motorlarla karşılaştırıldığında kullanılan kerozin yakıtının daha yüksek tutuşma sıcaklığına sahip olması nedeniyle daha güvenli bir seçenektir.
- Pistonlu motora kıyasla daha az titreşim üretir.
- Turboprop motorlar, aynı gücü üretmek için daha az sürüklenme kuvvetine sebep olur.
- Yakıt sarfiyatı dikkate alındığında gaz türbinli motorlar içerisinde en düşük özgül yakıt sarfiyatına sahip motorlardan biridir.
- Turboprop motorlarda pistonlu motorlara göre hareketli parça sayısı daha azdır. Bu nedenle aşınmaya bağlı hasar verme olasılığı pistonlu motorlara göre daha düşüktür.
- Turboprop motorların turbojet motorlara göre düşük hava hızlarında tepkisel verimi daha yüksektir.
- Turboprop motorlar, diğer motorlara göre daha kısa pistlerden kalkış yapabilir.

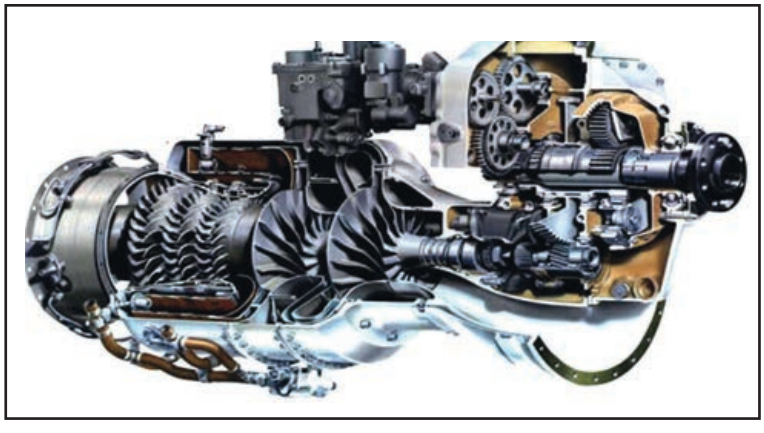
4.1.3. Turboprop Motor Çeşitleri

Pervanenin tahrik yöntemine göre turboprop motorlar, gaz kuplajlı ve serbest türbinli turboprop motorlar ile dişli kuplaj türbinli turboprop motorlar olmak üzere ikiye ayrılır.

Turboprop motorlarından gaz kuplajlı ve serbest türbinli turboprop motorlar, serbest türbin tarafından döndürülür. Dişli kuplajlı türbinli turboprop motorlarda pervane, doğrudan kompresör şaftına bağlıdır (Görsel 4.2 ve Görsel 4.3).



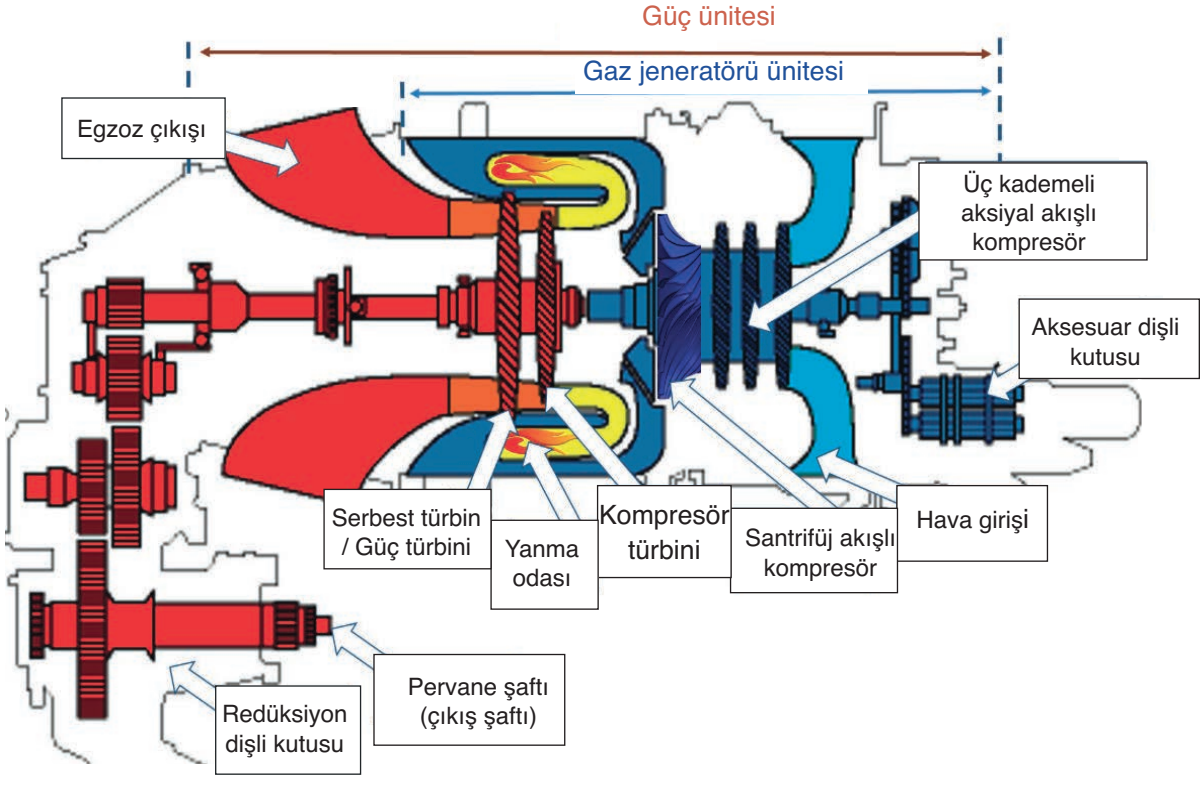
Görsel 4.2: Gaz kuplajlı ve serbest türbinli turboprop motorlar



Görsel 4.3: Dişli kuplajlı, türbinli turboprop motorlar

4.1.3.1. Gaz Kuplajlı ve Serbest Türbinli Turboprop Motorlar

Gaz kuplajlı ve serbest türbinli turboprop motorlarda türbin milinden bağımsız, kompresörü tahrik eden mil bulunur. Gaz jenaratörü kısmında üretilen enerjinin %80'i kompresörü döndürmek için gaz jenaratör kısmında bulunan türbin tarafından kullanılır. Geri kalan %20'lik enerji, helikopter rotorunu ya da pervaneyi döndüren serbest türbin tarafından kullanılır (Görsel 4.4).



Görsel 4.4: Serbest türbinli turboprop motor

Kargo, iş ve banliyo uçaklarında sıkça kullanılan turboprop motor modeli 750 ile 1000 beygir gücü aralığındadır. Gaz jeneratörü %100'lük çalışma performansında 38.000 RPM'de döner. Buna karşılık pervane de yaklaşık 2000 RPM'de döner. Hava giriş kısmından giren hava, üç kademeli aksiyal akışlı kompresör tarafından sıkıştırılır ve santrifüj akışlı kompresöre gelir. Daha sonra santrifüj akışlı kompresörden de geçen hava, yakıtın eklendiği ve yakıldığı ters akışlı yakıcıdan akar. Bir sonraki aşamada sıcak gazlar yön değiştirerek ilk önce tek kademeli kompresör türbinine, sonra da serbest türbinine geçerek hareket ettirir. Ardından motorun ön kısmındaki borulardan çıkar. Serbest türbininin dönmesiyle de pervane şaftı hareket eder.

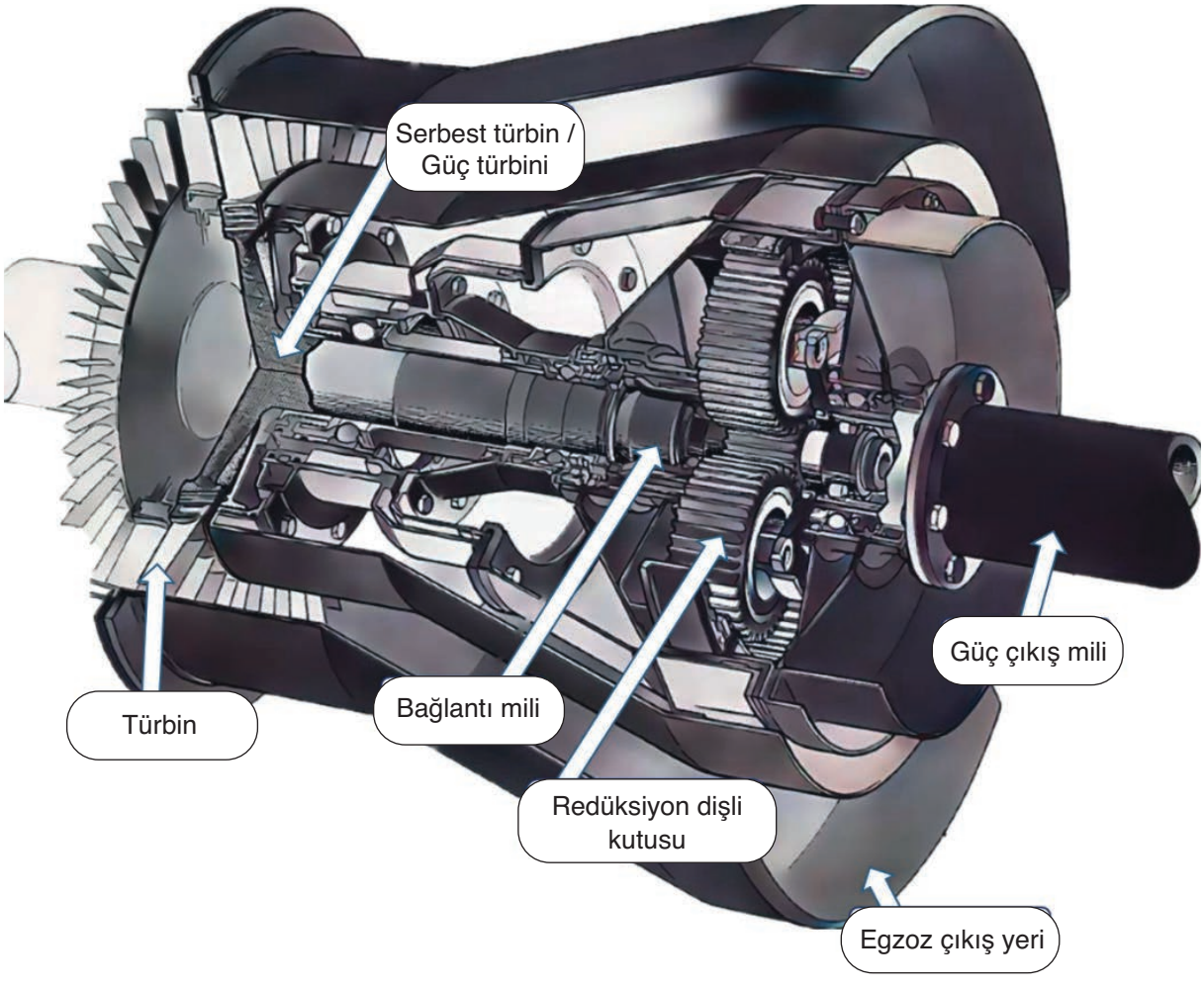
4.1.3.2. Gaz Kuplajlı ve Serbest Türbinli Turboprop Motorlarda Serbest Güç Türbini

Turboprop motorlardaki türbinlerin görevi, yanma odasında yakıtın yanması sonucu oluşan gazın enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmektir. Türbin, kompresörde en iyi sıkıştırmayı sağlayacak şekilde ayarlanır ve kompresörle uyumlu hâle getirilir. Türbin ile kompresörün eşleştirilmesine **spool** adı verilir. Spool'un hızı, kompresörün en iyi sıkıştırma noktasına göre ayarlanmıştır.

Serbest türbinler, kompresöre bağlı değildir. Bunlar, doğrudan pervaneye veya rotor düşürücü dişli kutusuna bağlanır. Bu sistemde serbest türbinlerden bir tanesi kompresörü döndürken diğeri, serbest

türbin dişli kutusu üzerinden pervanelerin dönmesini sağlar (Görsel 4.5). Bu tasarımın bazı avantajları şunlardır:

1. Türbinin en ideal tasarım hızında çalışmasını sağlar.
2. Uçak, taksi yapıyorken fren aşınmasını ve ses kirliliğini azaltır. İstenildiğinde pervanenin daha düşük RPM seviyesinde tutulmasını sağlar.
3. Daha az start torkuna ihtiyaç vardır.
4. Rotor park freninin montajı, yerdeyken rüzgârlı durumlarda oluşabilecek tehlikeleri önler.



Görsel 4.5: Gaz kuplajlı ve serbest türbinli turboprop motorun serbest güç türbini

4.1. UYGULAMA: Serbest Güç Türbininin AMM'ye Göre Sökülmesi ve Bakımının Yapılması

Amaç: Serbest türbinini AMM'ye göre söküp, bakımını yaparak yerine takmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Serbest türbin	Turboprop serbest türbini	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde sebest türbin kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Çalışma grubunuzla adil bir şekilde iş bölümü yapınız.
7. AMM'ye göre serbest türbin kısmını sökünüz.
8. AMM'ye göre sebest türbin kısmının gerekli bakımlarını yapınız.
9. AMM'ye göre serbest türbin kısımlarını yerlerine takınız.
10. Çalışma ortamını temizleyiniz.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

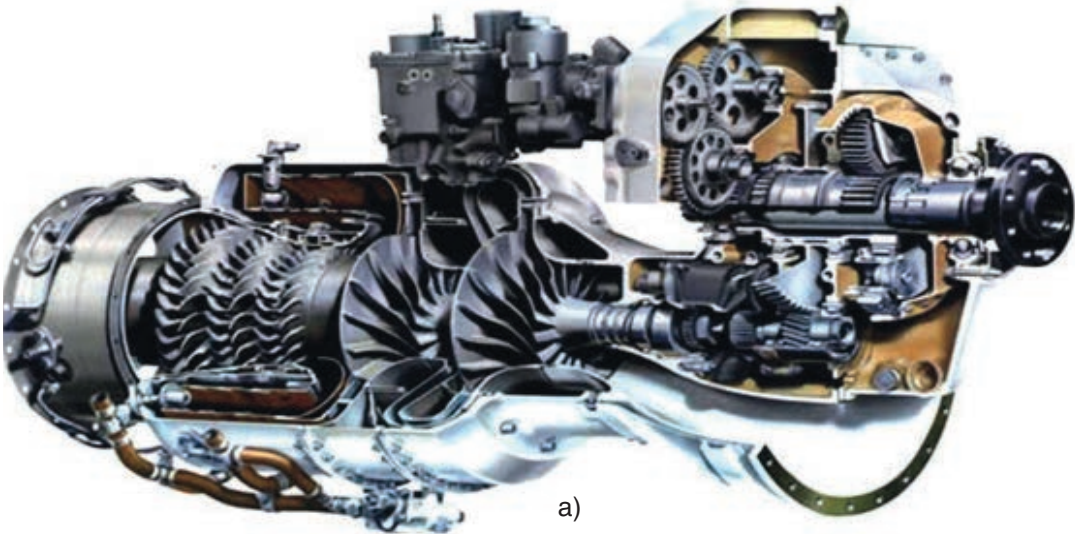
Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Serbest türbinin sökülmesinde nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Serbest türbin parçalarına bakım yaparken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Bakım sonrası serbest türbin parçalarını yerlerine takarken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

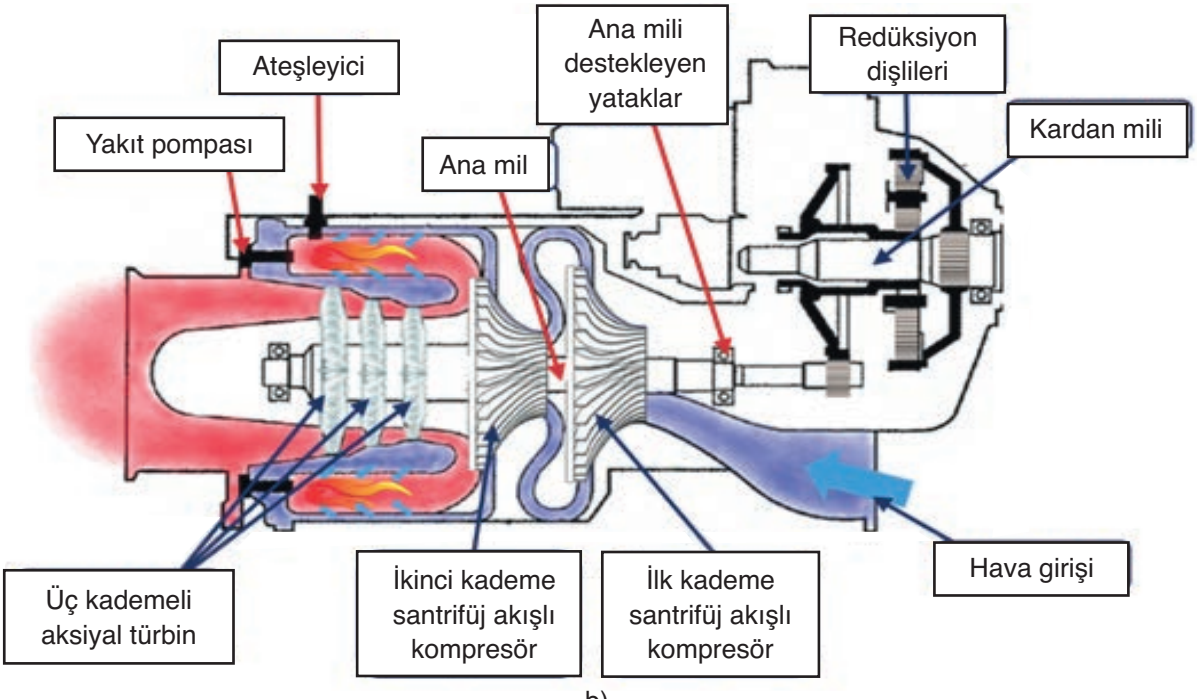
Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

4.2. DİŞLİ KUPLAJLI TÜRBİNLERİN BAKIM VE ONARIMI

Dişli kuplajlı (sabit milli) türbinli turboprop motorlar; single shaft [singı şaft (tek milli)], gear coupled [gir kopıld (dişli kuplajlı)], direct coupled türbine [dayrek kopıld türbin (direk kuplaj türbinli)] turboprop motorlar olarak da bilinmektedir. Tek şaftlı motorda gaz jenaratörü aynı şaft ile hem kompresörü döndürür hem de pervane hız düşürücü dişlilerini (redüksiyon dişlileri) çalıştırır. Görsel 4.6'daki turboprop motoru, tek şaftlı turboprop motorların bir örneğidir. Bu motor, gaz kompresörü ve gaz türbinini aynı şaft üzerinde bulunduran tek bir türbine sahiptir. Bu şaft, yüksek torklu 41,730 RPM'lik türbin hızını kardan mil aracılığıyla düşük torklu 1,591 RPM'ye indiren 26:1'lik bir redüksiyon dişli kutusuna bağlanır.



a)

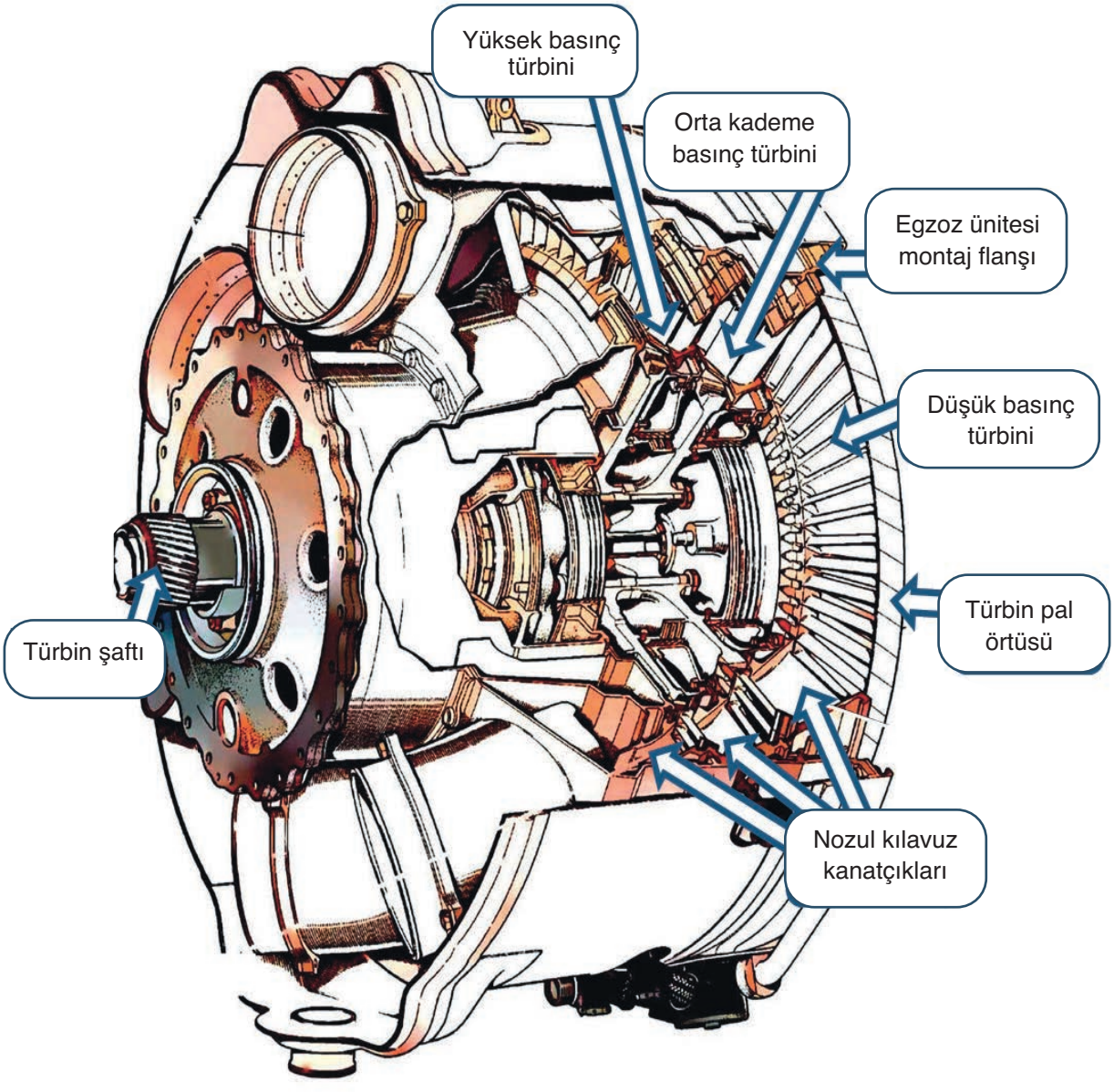


b)

Görsel 4.6: Dişli kuplajlı türbinli turboprop motor

4.2.1. Dişli Kuplaj Türbinli Turboprop Motorlarda Türbin Rotoru

Türbin, kompresörü çalıştırmak ve pervane veya rotora bağlı şaftı tahrik etmek için gereken enerjiyi sağlar. Bu enerji, yanma odasında oluşan sıcak gazların enerjisi ile elde edilir. Yanma sonucu oluşan bu sıcak gazlar, türbini saniyede 1500 feet hızında döndürebilir. Türbin aynı zamanda yanma odasından sürekli çıkan 850 ila 1700 derece sıcaklığındaki gazlara maruz kalır (Görsel 4.7).



Görsel 4.7: Dişli kuplaj türbinli turboprop motorlarda türbin rotoru

4.2. UYGULAMA: Dişli Kuplaj Türbinin AMM'ye Göre Sökülmesi, Bakımının Yapılması

Amaç: Dişli kuplaj türbinini AMM'ye göre söküp, bakımını yaparak yerine takmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Dişli kuplajlı türbin	Turboprop türbini	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde türbin kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Çalışma grubunuzla adil bir şekilde iş bölümü yapınız.
7. AMM'ye göre dişli kuplajlı türbin kısmını sökünüz.
8. AMM'ye göre dişli kuplajlı türbin kısmının gerekli bakımlarını yapınız.
9. AMM'ye göre dişli kuplajlı türbin kısımlarını yerlerine takınız.
10. Çalışma ortamını temizleyiniz.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Dişli kuplajlı türbinin sökülmesinde nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Dişli kuplajlı türbinin parçalarına bakım yapılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Dişli kuplajlı türbinin parçalarını bakım sonrası yerlerine takarken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

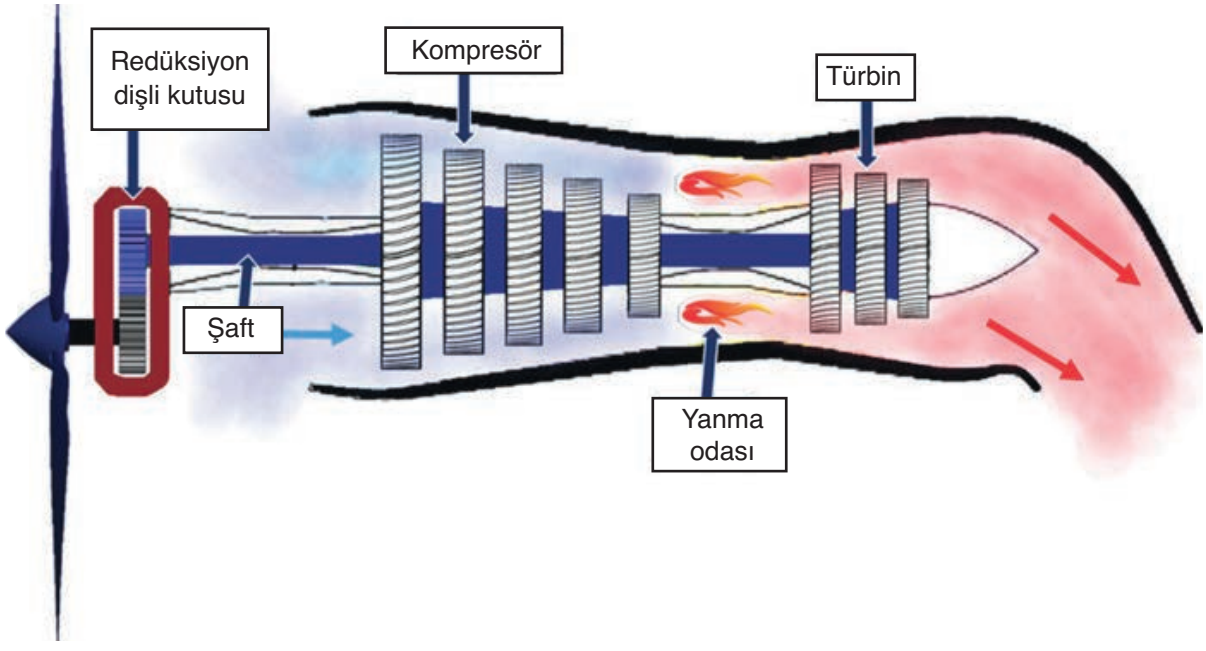
4.3. REDÜKSİYON DİŞLİLERİNİN BAKIM VE ONARIMI

Turboprop motorların güç türbinleri, diğer motor bileşenleriyle uyumlu bir şekilde tasarlanmıştır. Güç türbin milleri genellikle 8.000 ile 10.000 RPM arasında döner. Ancak bazı küçük çaplı motorlarda güç türbin milleri 40.000 RPM'nin üzerinde dönebilir. Pervane dönüş hızı için 2.000 RPM'nin üzerindeki değerler yüksek olarak kabul edilir. Bu dönüş hızı, pervanelerin dayanabileceği düzeye indirilmelidir. Güç mili dönüş hızı, pervanelerin dayanabileceği hıza düşürülmek için redüksiyon dişlileri kullanılır.

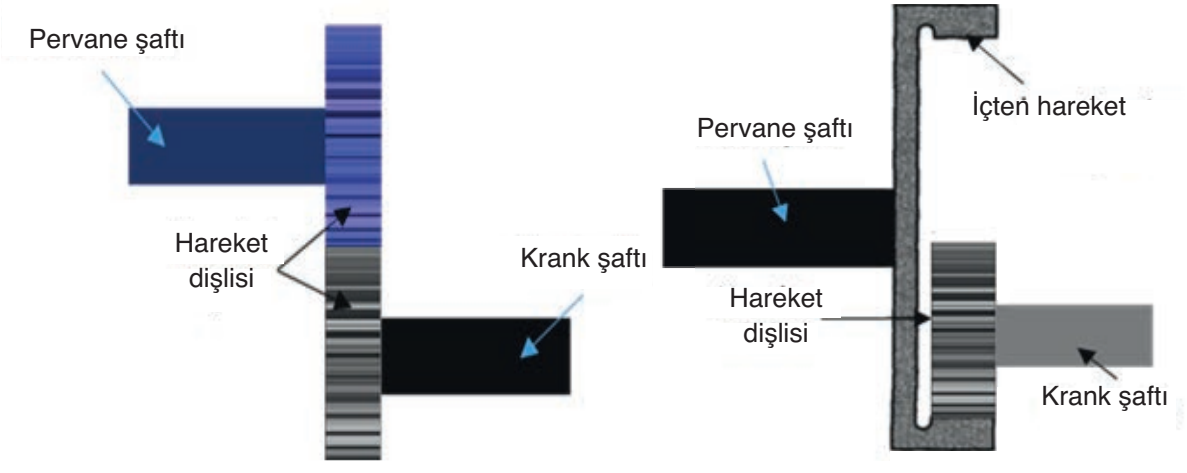
Redüksiyon dişlisi, **paralel düz dişli** ve **episiklik dişli** olmak üzere iki çeşittir.

4.3.1. Paralel Düz Dişli

Paralel düz dişliler, episiklik tip dişlilere kıyasla daha basittir. Bu nedenle üretimi ve bakımı nispeten ucuzdur (Görsel 4.8 ve Görsel 4.9).



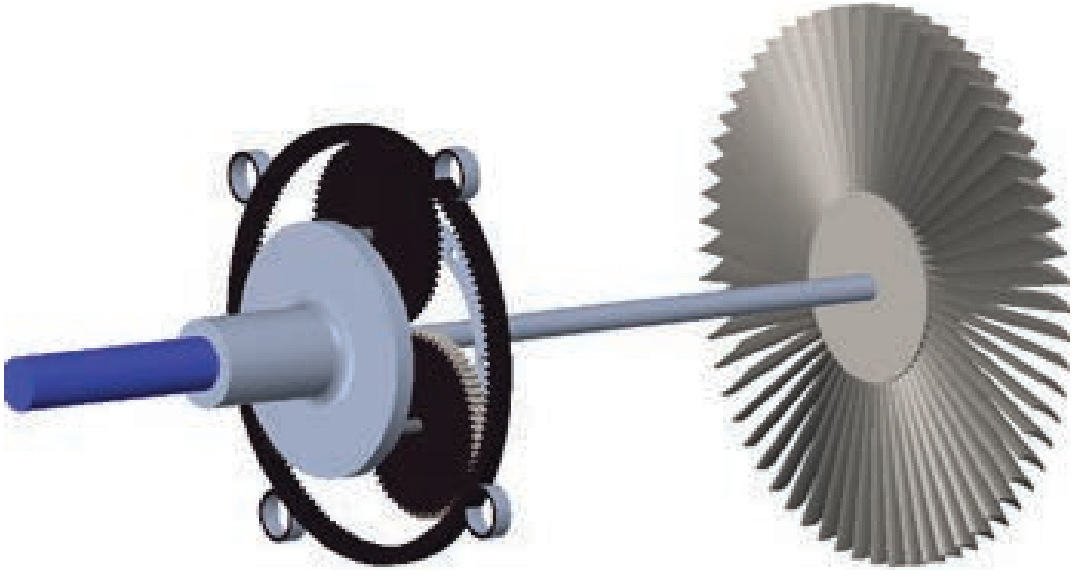
Görsel 4.8: Paralel düz redüksiyon dişli turboprop motor



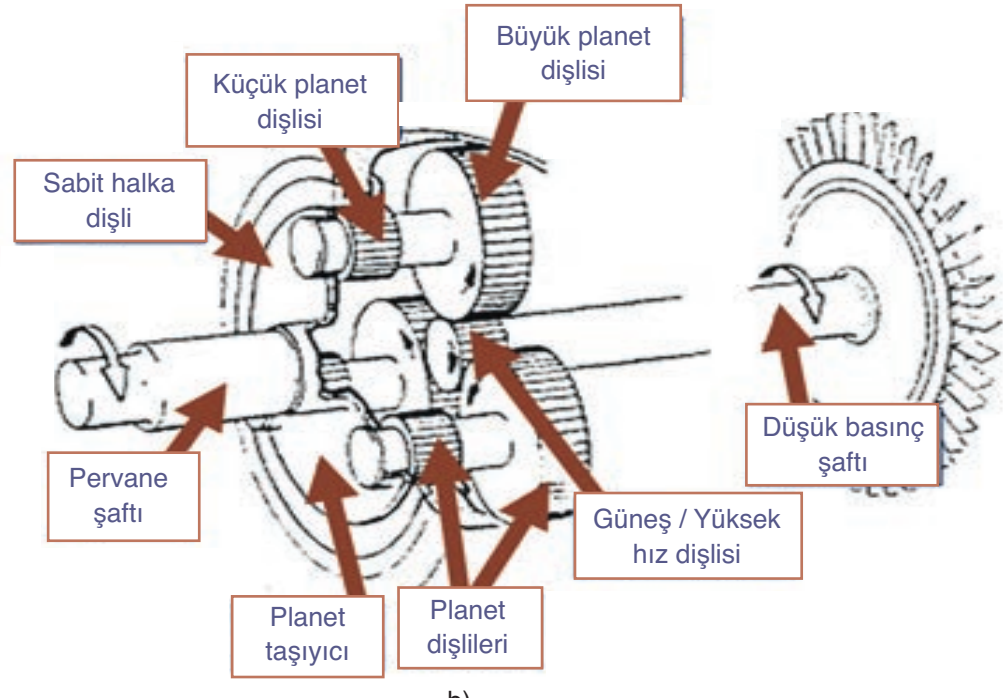
Görsel 4.9: Dıştan ve içten paralel düz redüksiyon dişliler

4.3.2. Episiklik Dişli

Episiklik redüksiyon dişliler, planet pinyonları olarak bilinen eşit aralıklarda dizilmiş üç veya daha fazla dişlinin merkezdeki güneş (tahrik) dişlisi tarafından tahrik edildiği dişli takımıdır. Pinyonlar, taşıyıcı üzerine montedir ve kendi aksları üzerinde bağımsız olarak döner (Görsel 4.10).



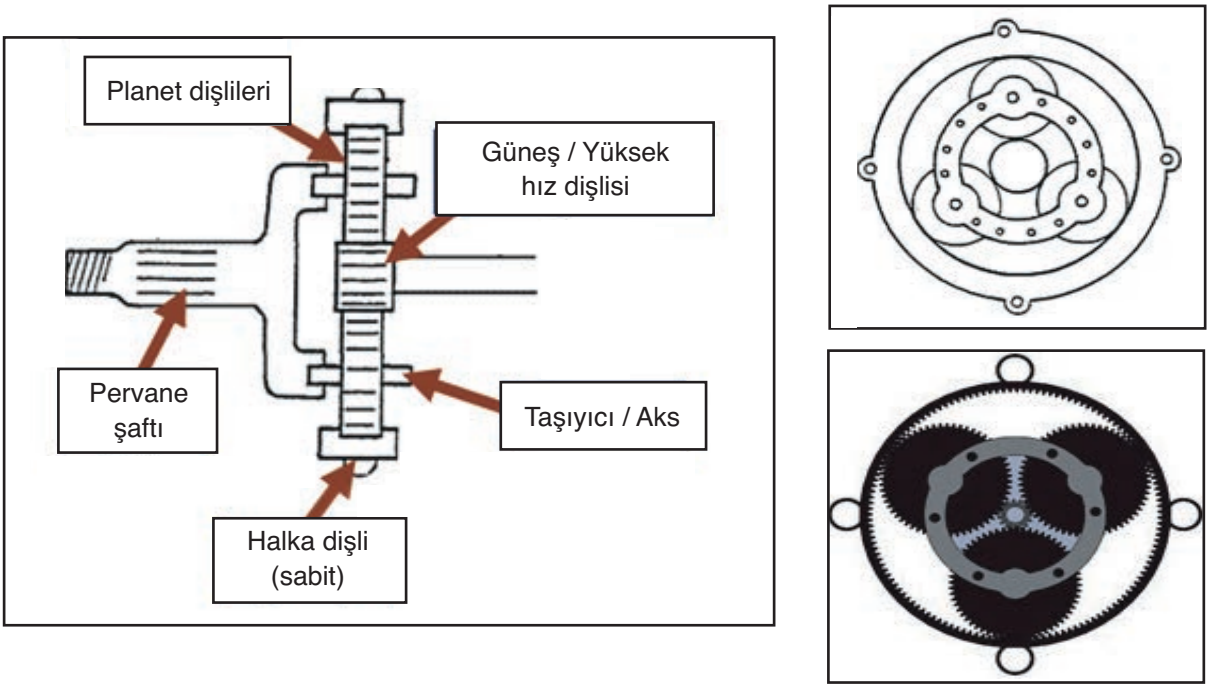
a)



b)

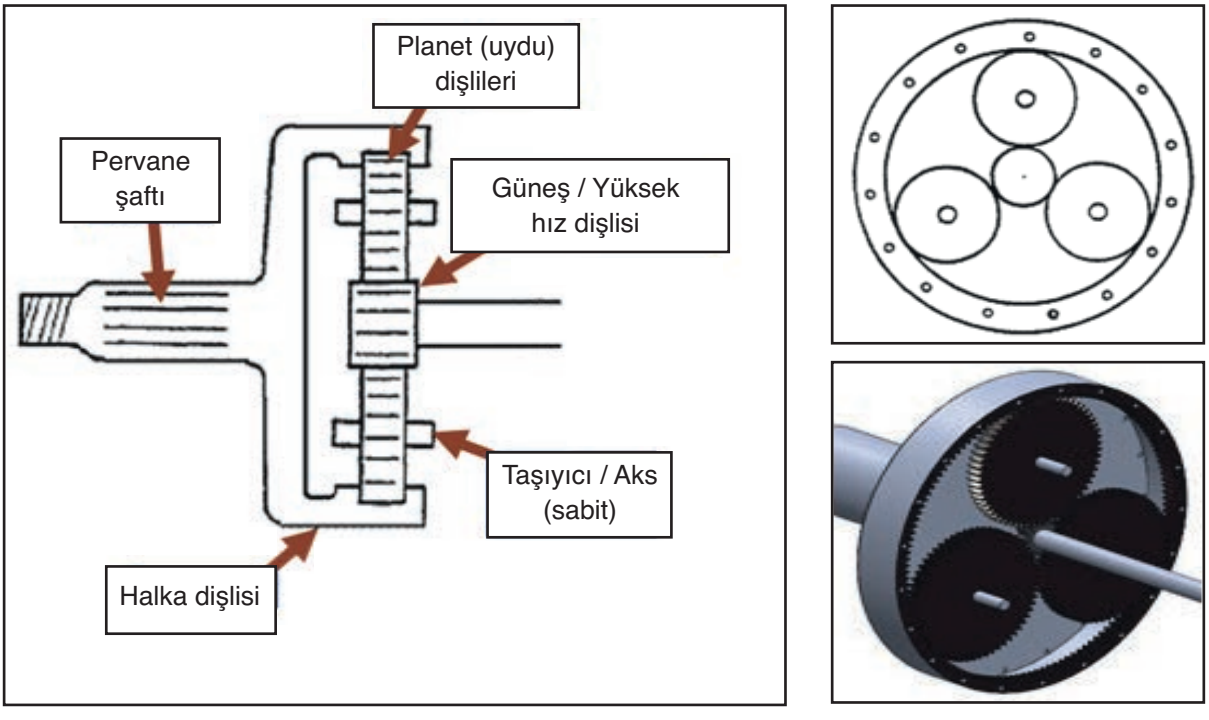
Görsel 4.10: Episiklik dişli

Halka dişli sabitse güneş dişlisinin dönmesi, halka dişli içerisindeki planet dişlilerinin kendi eksenleri etrafında dönmesine neden olur. Bu da gezegen taşıyıcının güneş çarkı ile aynı yönde fakat daha düşük hızlarda dönmesine neden olur (Görsel 4.11).



Görsel 4.11: Halka dişlisi, sabit episiklik dişli

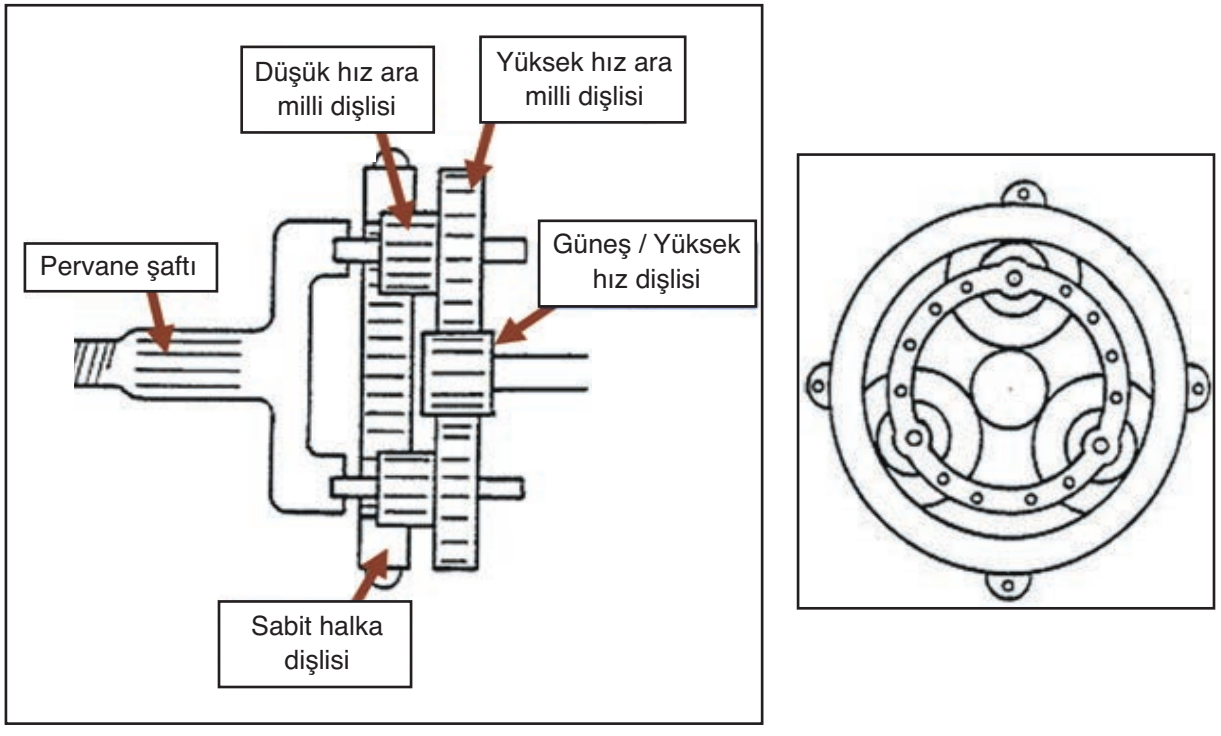
Halka hareketliyse güneş dişlisinin dönmesi, halka dişli içerisindeki planet dişlilerinin kendi aksları etrafında dönmesine sebep olur. Planet pinyon taşıyıcısı sabitlendiğinde ve kardan mili halka dişliye bağlandığında planet dişlilerinin dönmesi, pervanenin ve halka dişlisinin güneş dişlisine ters yönde ve daha düşük hızlarda dönmesine neden olur (Görsel 4.12).



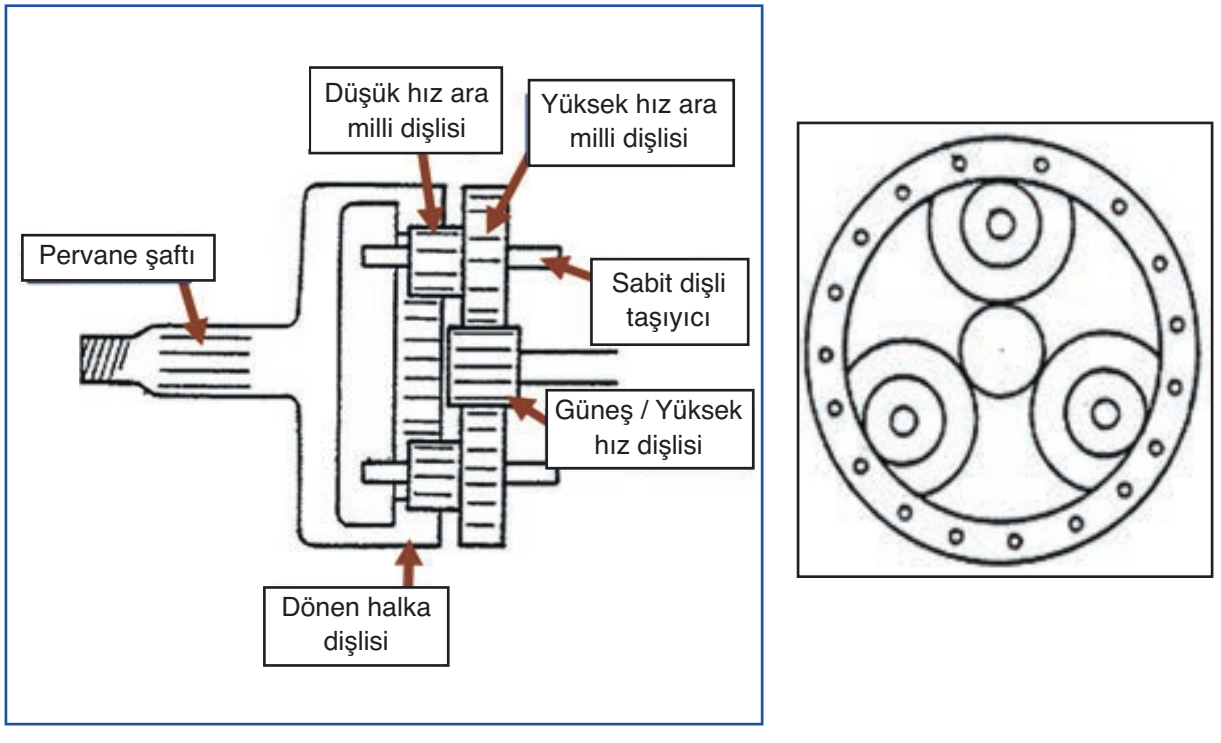
Görsel 4.12: Halka dişlisi, hareketli episiklik dişli

4.3.3. Bileşik Episiklik Redüksiyon Dişli

Bileşik episiklik redüksiyon dişlileri, diğer episiklik dişlilere kıyasla daha fazla hız azalması sağlar. Bu tür dişlilerin çeşitli tipleri vardır, bunlar sabit halka ve serbest halka olmak üzere ikiye ayrılır (Görsel 4.13 ve Görsel 4.14).



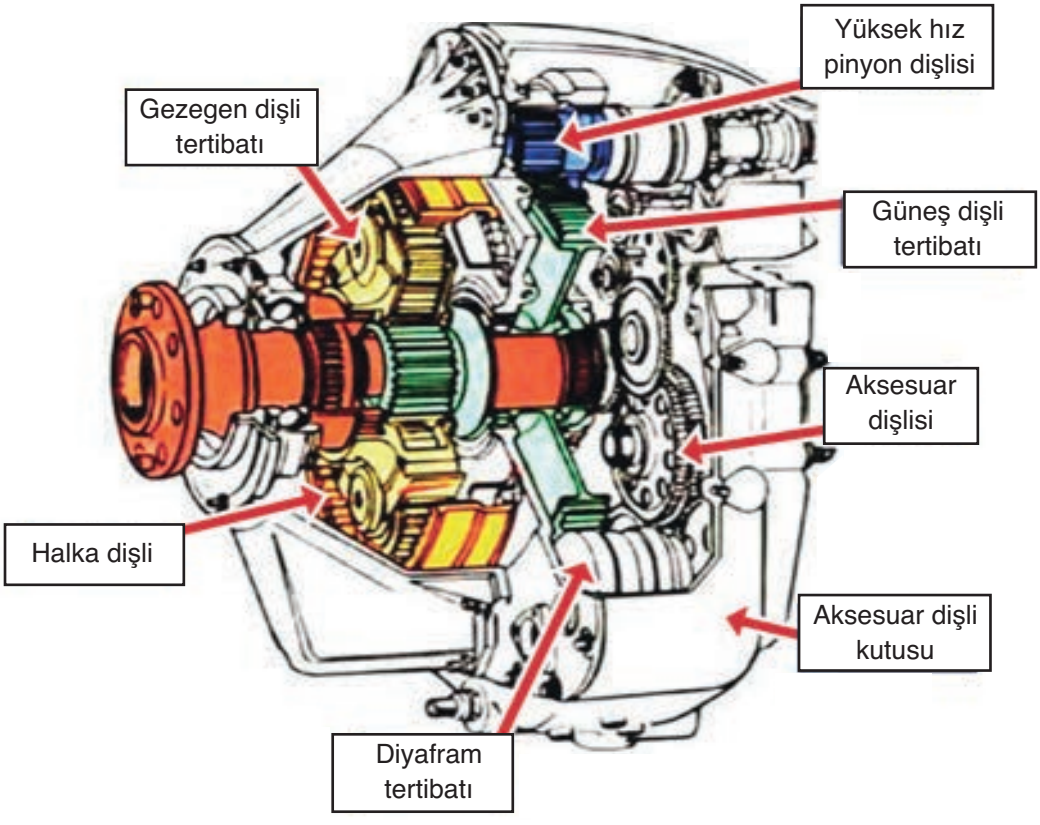
Görsel 4.13: Sabit bileşik episiklik redüksiyon dişli

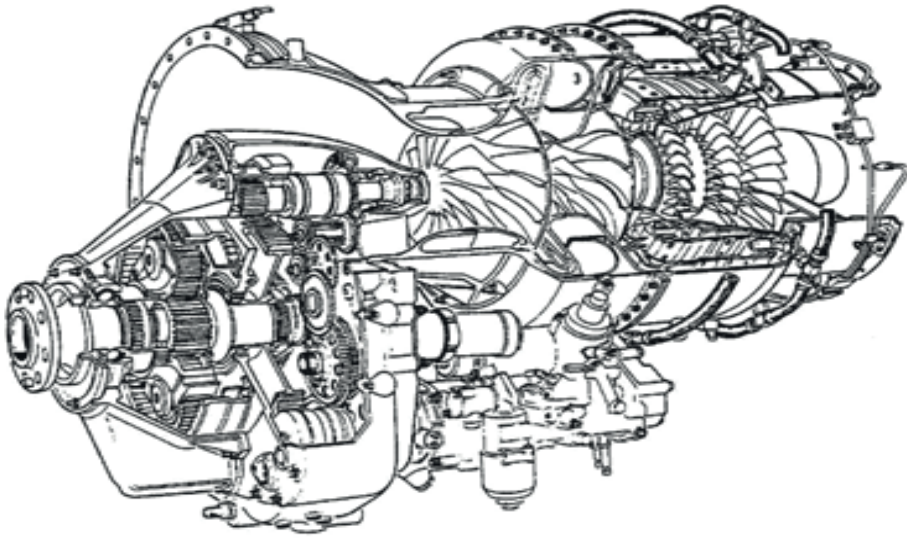


Görsel 4.14: Hareketli bileşik episiklik redüksiyon dişli

4.3.4. Turboprop Motorlarda Episiklik Dişliler

Turboprop motorlarda genellikle dişli takımları ile episiklik dişlilerin kombinasyonu kullanılır. Bunun nedeni daha az sayıda dişli ile daha fazla hız düşüşü sağlamasıdır (Görsel 4.15).





Görsel 4.15: Turboprop motorlarda episiklik dişli

4.3. UYGULAMA: Redüksiyon Dişli Kutusunun AMM'ye Göre Sökülmesi ve Bakımının Yapılması

Amaç: Redüksiyon dişli kutusunu AMM'ye göre söküp, bakımını yaparak yerine takmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Redüksiyon dişli kutusu	Truboprop motor dişli kutsu	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde redüksiyon dişli kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Çalışma grubunuzla adil bir şekilde iş bölümü yapınız.
7. AMM'ye göre redüksiyon dişli kısmını sökünüz.
8. AMM'ye göre redüksiyon dişli kısmının gerekli bakımlarını yapınız.
9. AMM'ye göre redüksiyon dişli kısımlarını yerlerine takınız.
10. Çalışma ortamını temizleyiniz.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Redüksiyon dişli kutusunun sökülmesinde nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Redüksiyon dişli kutusunun bakımı yaparkennelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Redüksiyon dişli kutusunun bakım sonrası parçalarının montajı sırasında nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

4.4. PERVANE KUMANDALARININ BAKIM VE ONARIMI

Pervane ve motor, turboprop motorlarda itiş gücü üretmek için birlikte çalışır. Turboprop motorunun kontrolü ile pervane regülatörü birbirine bağlıdır ve koordineli çalışır. Motorun ihtiyaç duyduğu güç, kokpitte bulunan güç kolu tarafından yakıt kontrolüne bir sinyal gönderilerek sağlanır. Yakıt kontrolü ve pervane regülatörü, doğru RPM elde edilmesini ve doğru yakıt akış kombinasyonunu sağlar. Pervane kanadı ise istenilen gücü meydana getirir.

4.4.1. Turboprop Motor Kontrolü

Turboprop motorlarda gaz jeneratörleri normal çalışma sırasında pervanenin RPM'sini ve güç emilimini kontrol etmek için aşağıda açıklanan üç yöntem kullanır.

Devir ve Yakıt Akışının Entegre Kontrolü: Kuplajlı güç türbini ve birleşik turboprop motorlar için uygundur.

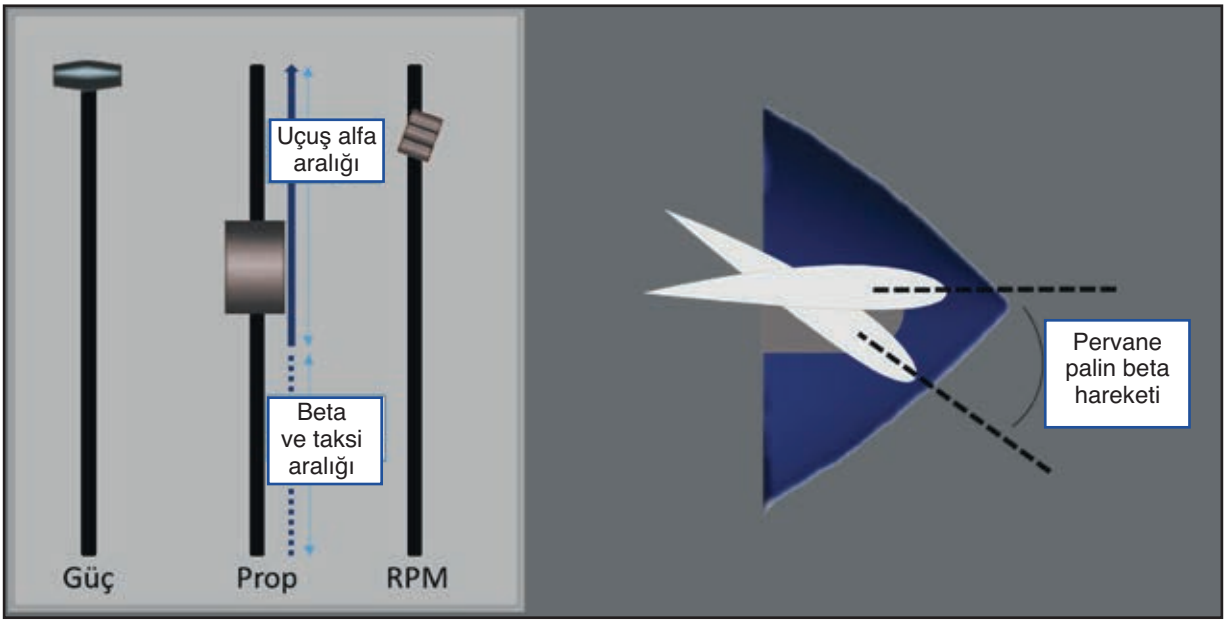
Gaz Jeneratörü Yakıt Akışının Doğrudan Kontrolü: Serbest güç türbinli turboprop motorlar için uygundur.

Pervane Kanat Açısının Doğrudan Kontrolü: Herhangi bir turboprop motorda kullanılabilir.

Pervane pallerinin yapmış olduğu açı ile üretilen itki kuvveti doğrudan ilişkilidir. Bundan dolayı uçuş sırasındaki pervane pal açıları ile uçağın yerde taksi yaptığı sırada kullandığı pal açıları birbirinden farklıdır. Uçuş esnasında kullanılan pal açısına **alfa**, uçağın yerde taksi yapmada kullandığı pal açısına **beta** aralıkları denilmektedir (Görsel 4.16).

Alfa Aralığı: Güç kolunun alfa aralığına getirilmesiyle pervane açısı, kanat açısı ve yakıt açısı; önceden belirlenmiş bir programa göre otomatik olarak yönetilir.

Beta Aralığı: Güç kolu, uçuş sırasında rölanti konumunun altına çekildiğinde koordineli RPM kanat açısı programı, motoru verimli bir şekilde kontrol edemez hâle gelebilir. Bu kontrol sorunu, yer hizmetlerinde kullanılan **beta aralığı** olarak adlandırılan bir yöntemle çözülür. Güç kolu, başlangıç konumunun altına çekilir ve inişten sonra uçağı hızla yavaşlatmak için pervane kanatçıklarının açısı ters yönde ayarlanarak ters itme oluşturulur.



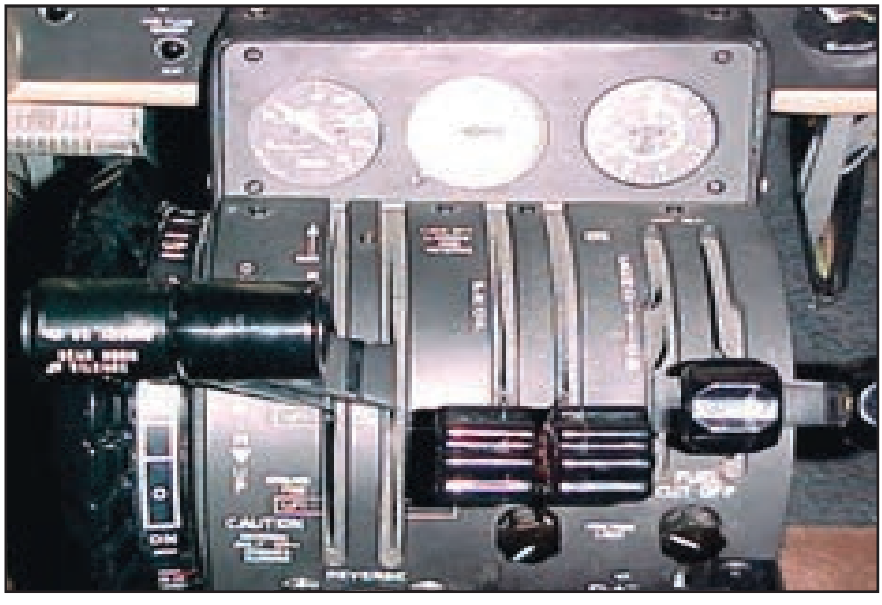
Görsel 4.16: Pervane palinin alfa ve beta hareketi

4.4.2. Motor Pervane Kontrolü

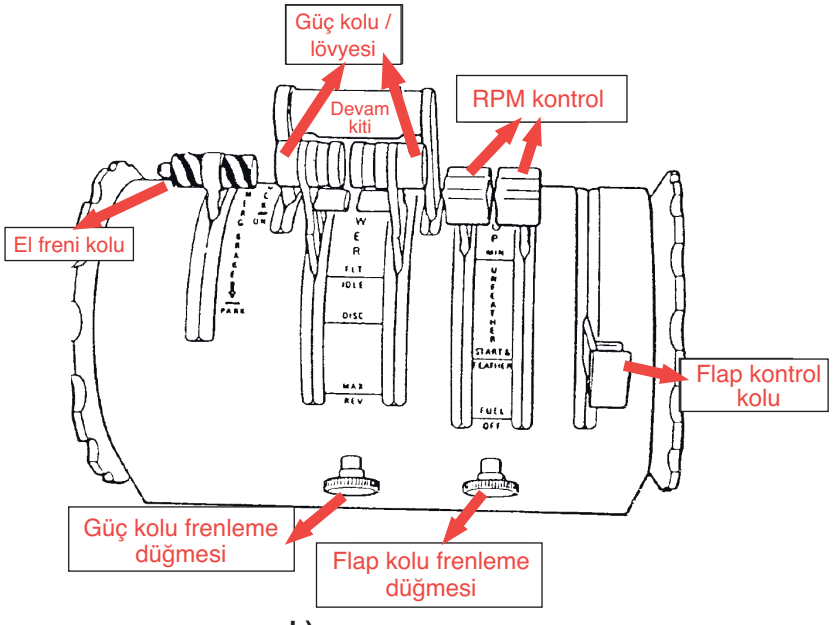
Turboprop motorlarda motor tipi dikkate alındığında genel olarak motor pervane kontrolleri, **hidromekanik yakıt kontrolü** ve **FADEC** [**full authority digital engine control** (**tam yetkili dijital motor kontrolü**)] olmak üzere iki gruba ayrılır.

4.4.2.1. Hidromekanik Yakıt Kontrolü

Motor arıza durumunda aşırı sürtünmeyi önlemek için turboprop motora geçiş yumuşatma kontrolü takılmıştır. Otomatik sistem, motor tork ölçeklerinden aldığı sinyaller doğrultusunda tork kaybına uygun olarak pervaneyi çevirir (Görsel 4.17).



a)



b)

Görsel 4.17: Turboprop motorunun pervane kontrolleri

Serbest Güç Türbinli Turboprop Motorun Pervane Kontrolleri

Motor pervane kontrolleri, iki farklı serbest güç türbinli turboprop motorda aşağıda açıklandığı şekilde gerçekleşir.

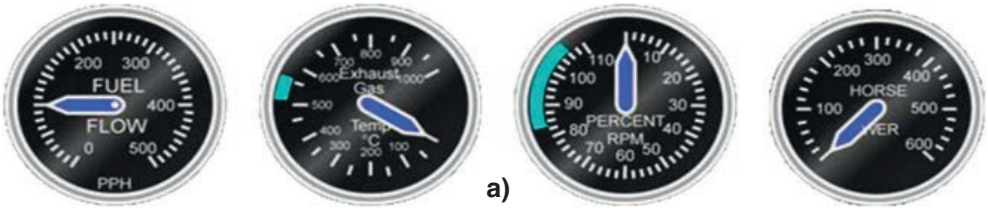
a) Dört Konuma Sahip Turboprop Motor

Kokpit kadranında güç kolu ve hız / koşul kolu olmak üzere iki motor kontolü kullanır. Güç kolu, yer operasyonu sırasında pilota pervane üzerinde kontrol sağlar. Yakıt akışını ve torku etkiler (Görsel 4.18a). Dört konuma sahiptir.

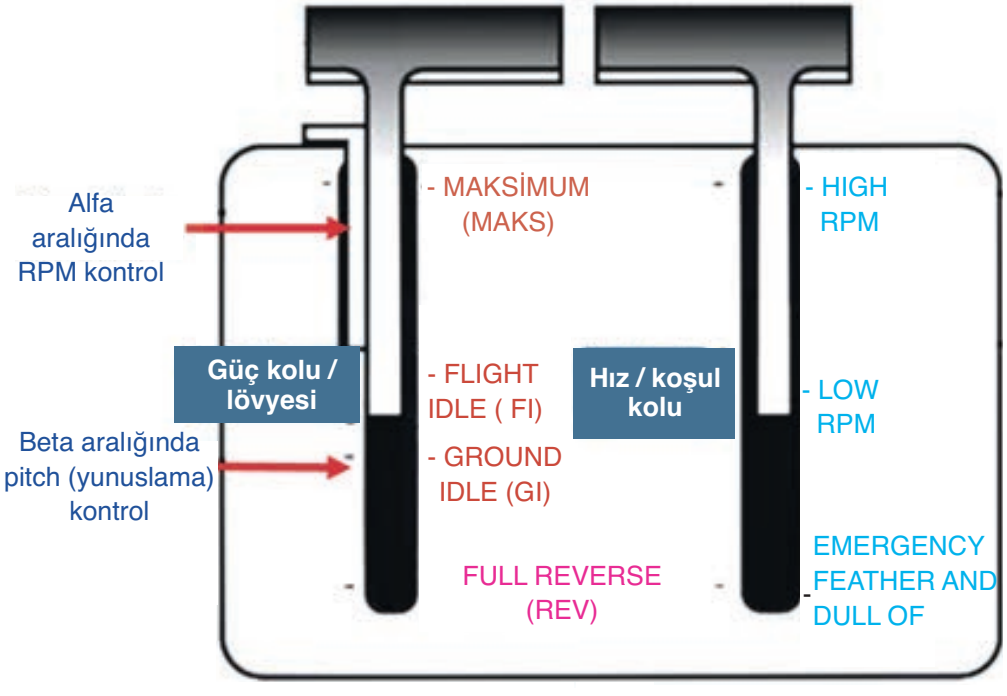
- REVERSE (REV): Geri
- GROUND IDLE (GI): Yer boşta
- FLIGHT IDLE (FI): Uçuş boşta
- MAXIMUM (MAX): Maksimum

Hız / koşul kolu, pervane kanat açısını değiştirerek motor devrini ayarlar. Uçuş sırasında bu kol, motor sabit hızda çalışırken ayarlanan konumda kalır. Bunun yanında bazı durumlarda acil durum kesme kolu görevi görür (Görsel 4.18b). Durum kolunun üç konumu vardır.

- EMERGENCY SHUT OFF: Acil kapatma
- LOW RPM: Düşük devir
- HIGH RPM: Yüksek devir



a)

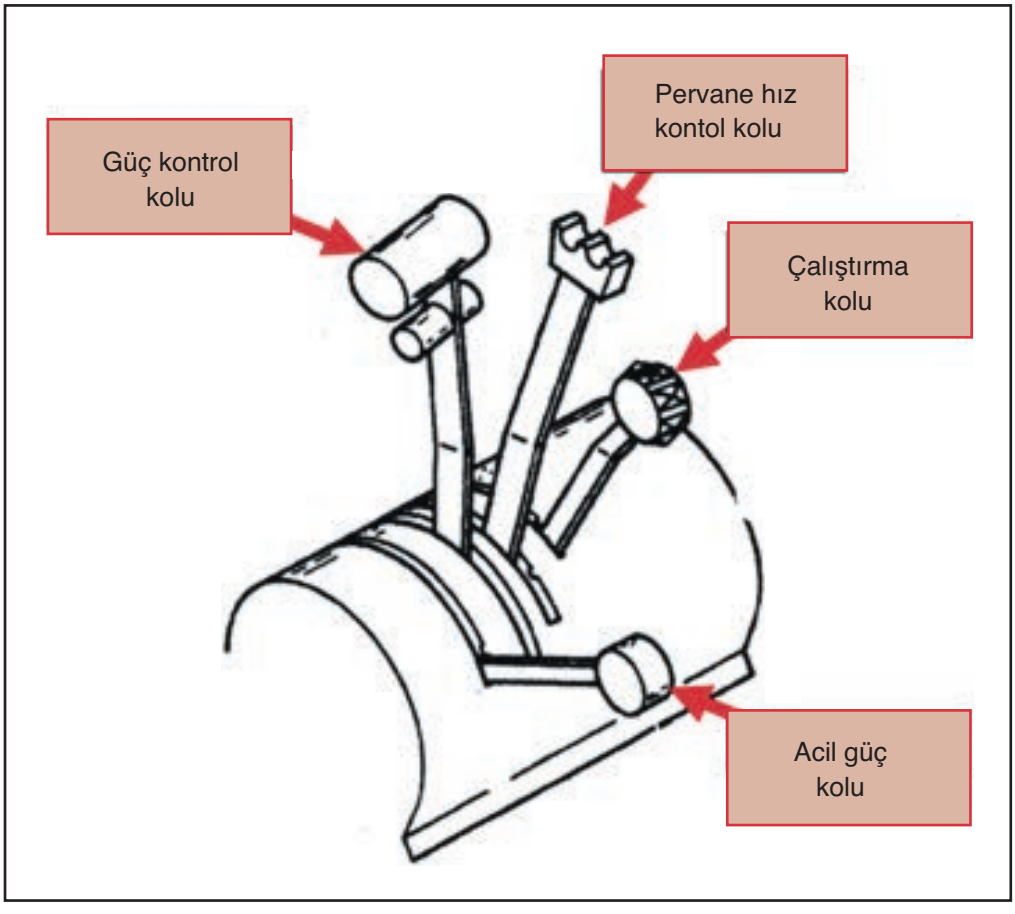


b)

Görsel 4.18: Dört konuma sahip turboprop motor

b) Üç Konumlu Turboprop Motor

Acil kapatma, pervane kolu, güç kolu ve bir başlatma kolu olmak üzere dört kol tarafından çalıştırılır. Güç kontrol kolu, kalkışa kadar motor gücünü (tork) kontrol eder. Pervane hız kontrol kolu, pervanenin pal açısını ve pervanenin açısını korumak için pervane regülatörüne bağlıdır. Kol en arka konuma getirildiğinde pervanenin yumuşamasını sağlar. Çalıştırma kolu, yakıt kontrolüne bağlıdır. Çalışma kolunun kesme, boşta ve çalışma olmak üzere üç konumu vardır (Görsel 4.19).



Görsel 4.19: Üç konumlu turboprop motor

4.4.2.2. FADEC (Full Authority Engine Control)

Tam yetkili dijital motor kontrol ünitesi (FADEC) sisteminde motor kontrolleri **güç kontrolü** ve **acil kapatma** olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Güç kontrol sistemi, iki pilottan gelen manuel girişleri değiştirerek elektrik veya elektronik sinyallere dönüştürür. Elektrik ve elektronik çıkış sinyalleri, motor kontrollerinin konumuyla ilgili giriş verilerini FADEC'e ileterek kontrol sağlar. Acil durumlarda ise yakıt, hidrolik ve pnömatik sistemlere giden enerji akışını keser.

FADEC yazılımının bir parçası olan hatve kontrol ünitesi (PCU), FADEC kontrollü pervanelerde pervanenin pal açısını ayarlar. Aşırı hız regülatörü, güç türbini rotorunda aşırı hız oluştuğunda gücün anlık olarak düzenlenmesine yardımcı olur. Arıza durumlarında acil durum koruması sağlar. Ayrıca pervane güç türbin hızının belirlenen limiti aştığı durumlarda FADEC yazılımı, yakıt akışını keserek motor gücünü azaltır. FADEC ayrıca mikroişlemciden bağımsız olarak aşırı hız korumasına sahiptir ve motoru potansiyel olarak zararlı aşırı hız durumlarından korur.

4.4. UYGULAMA: Pervane Kumanda Mekanizmasının AMM'ye Göre Sökülmesi ve Bakımının Yapılması

Amaç: Pervane kumanda mekanizmasını AMM'ye göre söküp, bakımını yaparak yerine takmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Redüksiyon dişli kutusu	Truboprop motor dişli kutsu	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde pervane kumanda mekanizması kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Çalışma grubunuzla adil bir şekilde iş bölümü yapınız.
7. AMM'ye göre pervane kumanda mekanizmasını sökünüz.
8. AMM'ye göre pervane kumanda mekanizmasının gerekli bakımlarını yapınız.
9. AMM'ye göre pervane kumanda mekanizmasını yerine takınız.
10. Çalışma ortamını temizleyiniz.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Pervane kumanda mekanizmasının sökülmesinde nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Pervane kumanda mekanizmasının bakımı yapılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Pervane kumanda mekanizmasının parçaları, bakımdan sonra yerlerine takılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

4.5. AŞIRI HIZ EMNİYET TERTİBATININ BAKIM VE ONARIMI

Turboprop motorlarda pervanenin yüksek hızlarda dönmesi, yüksek merkezkaç kuvveti oluşmasına neden olur. Pervanenin aşırı hız yapması pervane göbeğindeki merkezkaç kuvvetini ciddi miktarda artırır. Yüksek miktardaki merkezkaç kuvveti, pervane pallerinin göbekten ayrılmasına ve ciddi kazalara neden olur. Aşırı hız emniyet tertibatları, mekanik kontrollü ve FADEC kontrollü pervanelerde farklı özellikler gösterir.

Pilot; turboprop motorun performansını ve pervane dönüş hızında olası sorunları kokpitte bulunan takometre, torkölçer, yakıtölçer ve EGT (egzoz gazı sıcaklığı) göstergelerini takip ederek anlar (Görsel 4.20).



Takometre

Takometre: Kompresörün RPM'sini anma hızının yüzdesi olarak gösterir.



Torkmetre

Torkmetre: Üretilmekte olan torku veya mil gücünü gösterir.



Yakıt akış hızı

Yakıt akış hızı: Motora kaç litre yakıt verildiğini gösteririr.



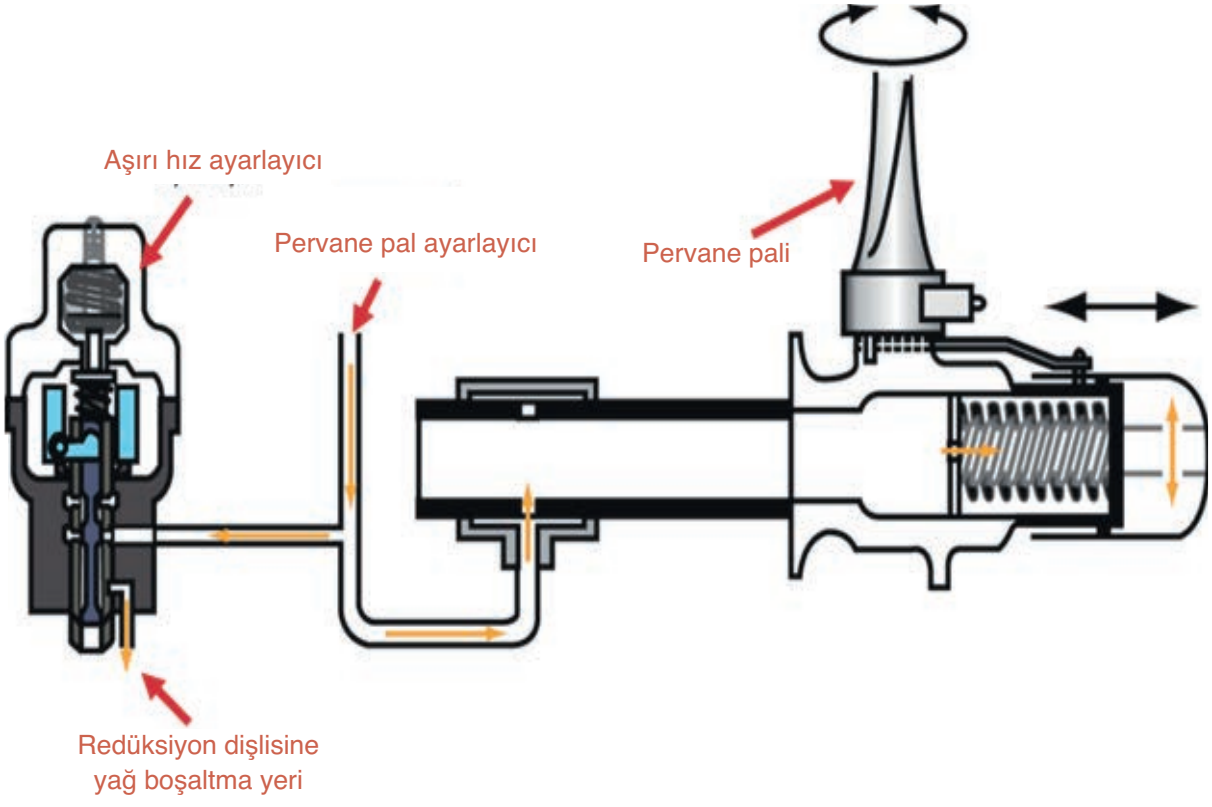
Egzoz gaz sıcaklığı (EGT) göstergesi

Egzoz gaz sıcaklığı (EGT) göstergesi: Egzoz gazlarının türbinden ayrıldıktan sonraki sıcaklık değerini gösterir.

Görsel 4.20: Tuboprop motor performans göstergeleri

4.5.1. Mekanik Kontrollü Pervanelerde Aşırı Hız Emniyet Tertibatları

Aşırı hız regülatörü, pervane regülatörünün yedeğidir ve redüksiyon dişlilerinden oluşmaktadır. Güç kolu ileri doğru hareket ettirildiğinde pervane regülatörü, pervane palinin açısını artırarak üretilen gücün artmasını sağlar. Güç kolu geriye doğru hareket ettirildiğinde ise pervane regülatörü kanat pal açısını azaltarak gücü düşürür. Pervane devri daha önceden belirlenen çalışma sınırının üzerine çıktığında yağ, pervaneden serbest bırakılır. Merkezkaç kuvveti etkisiyle pilot valfi kalkar ve serbest kalan yağ, redüksiyon dişli kutusu karterine akar. Dişli kutusuna akan yağ, pervane pal açısını değiştirerek motora daha fazla yük binmesini sağlar ve pervaneyi yavaşlatır (Görsel 4.21).



Görsel 4.21: Mekanik kontrollü pervanelerde aşırı hız emniyet tertibatları

4.5.2. FADEC Kontrollü Pervanelerde Aşırı Hız Emniyet Tertibatları

FADEC kontrollü pervanelerde pervane / güç türbini rotorunun hızını sınırlama işlevleri şunlardır:

- FADEC yazılımı, pervane hızını hatve kontrol ünitesiyle (PCU) pervane kanat açısını ayarlayarak yapar.
- Hidromekanik aşırı hız regülatörü, bir pervane / güç türbini rotorunda aşırı hız durumu meydana gelir, güç anlık olarak değişir veya bir arıza meydana gelirse acil durum koruması sağlar.
- FADEC yazılımı, pervane / güç türbin hızı pervane regülatörü limitini aşması durumunda yakıt akışını dolayısıyla motor gücü seviyesini azaltan sinyaller gönderir.
- FADEC'in mikroişlemciden bağımsız aşırı hız koruması vardır. Pervane / güç türbin hızı, pervane regülatörü limitini aşması durumunda yakıt akışını durdurur.

4.5. UYGULAMA: Aşırı Hız Emniyet Tertibatlarının AMM'ye Göre Sökülmesi ve Bakımının Yapılması

Amaç: Aşırı hız emniyet tertibatlarını AMM'ye göre söküp, bakımını yaparak yerine takmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Redüksiyon dişli kutusu	Truboprop motor dişli kutsu	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde aşırı hız emniyet tertibatı mekanizma kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Çalışma grubunuzla adil bir şekilde iş bölümü yapınız.
7. AMM'ye göre aşırı hız emniyet tertibatı mekanizmasını sökünüz.
8. AMM'ye göre aşırı hız emniyet tertibatı mekanizmasının gerekli bakımlarını yapınız.
9. AMM'ye göre aşırı hız emniyet tertibatı mekanizmasını yerine takınız.
10. Çalışma ortamını temizleyiniz.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Aşırı hız emniyet tertibatı mekanizmasının sökülmesinde nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Aşırı hız emniyet tertibatı mekanizmasının bakımı yapılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Aşırı hız emniyet tertibatı mekanizmasının parçaları, bakımdan sonra yerlerine takılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. (….) Turboprop motorlarda gazdan elde edilen enerjinin tamamına yakını, propeller'ı döndürmede kullanılırken küçük bir kısmı jet tepkimesinde kullanıllır.

2. (….) Havanın ivmelendirmesi; turboprop motorlarda turbojet motorlara göre daha fazla fakat ivmelendirilen havanın miktarı daha azdır.

3. (….) Turboprop motorlar, düşük yakıt sarfiyatı ve kısa pistlerden kalkış avantajlarından dolayı büyük yolcu uçaklarında kullanılmaktadır.

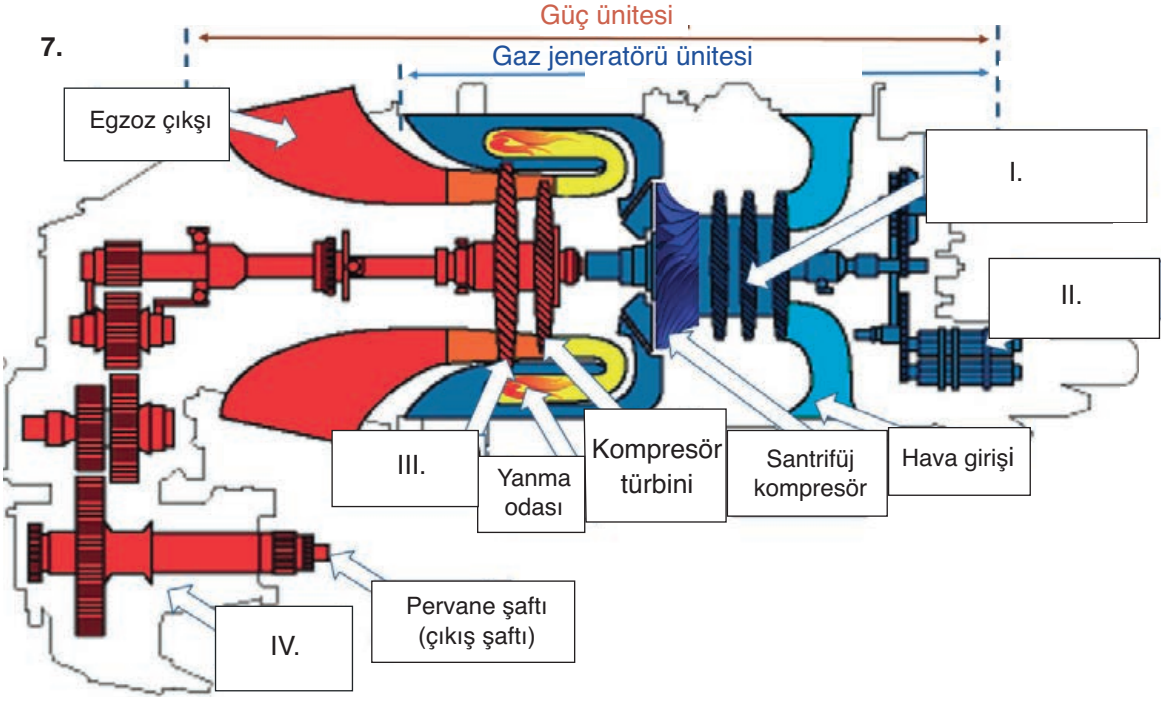
4. (….) Turboprop motorlar pervanenin tahrik yöntemine göre gaz kuplajlı serbest türbinli turboprop motorlar ve dişli kuplaj türbinli turboprop motorlar olmak üzere iki gruba ayrılır.

5. (….) Gaz kuplajlı ve serbest türbinli turboprop motorlarda gaz jenaratörü kısmında üretilen enerjinin %80'i gaz jenaratör kısmında bulunan türbin tarafından kompresörü döndürmek için kullanılır.

6. (….) Redüksiyon dişli çeşitlerinden olan episiklik tip dişliler paralel düz dişlilere göre daha basit bir yapıya sahiptir.

B) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere uygun ifadeleri yazınız.

7.



Yukarıdaki şekilde gaz kuplajlı ve serbest türbinli turboprop motora ait parçaların isimleri verilmiştir. Roma rakamları ile boş bırakılan yerleri uygun şekilde doldurunuz.

I. ……..

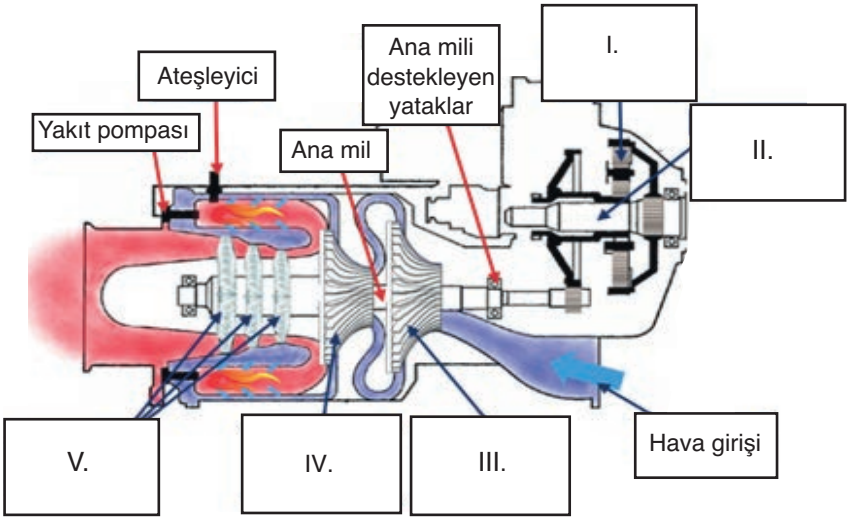
II. ……

III. ……

IV. ……

8. Gaz tübinli motorlarda türbinin kompresörde en iyi sıkıştırmayı sağlayacak şekilde ayarlanıp kompresörle eşleştirilmesine …….... adı verilir.

9.



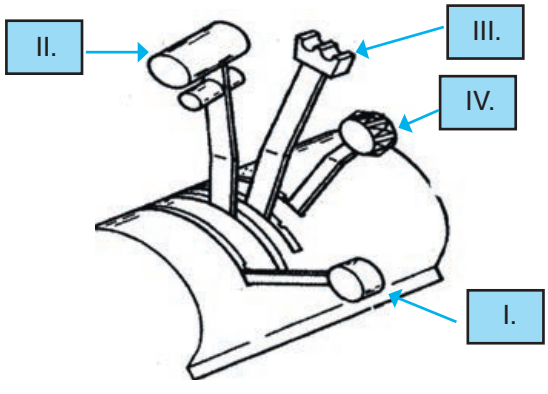
Yukarıdaki şekilde dişli kuplaj türbinli turboprop motorlara ait parçaların isimleri verilmiştir. Roma rakamları ile boş bırakılmış yerleri uygun şekilde doldurunuz.

I. …….....
II. …….....
III. …….....
IV. …….....
V. …….....

10. Turboprop motorlarda bulunan redüksiyon dişliler …….....ve …… dişli olmak üzere iki çeşittir.

11. Eşit aralıklarla dizilen, planet pinyonları olarak da bilinen üç veya daha fazla dişlinin merkezdeki güneş (tahrik) dişlisi tarafından tahrik edildiği dişli takımına …….... dişliler denir.

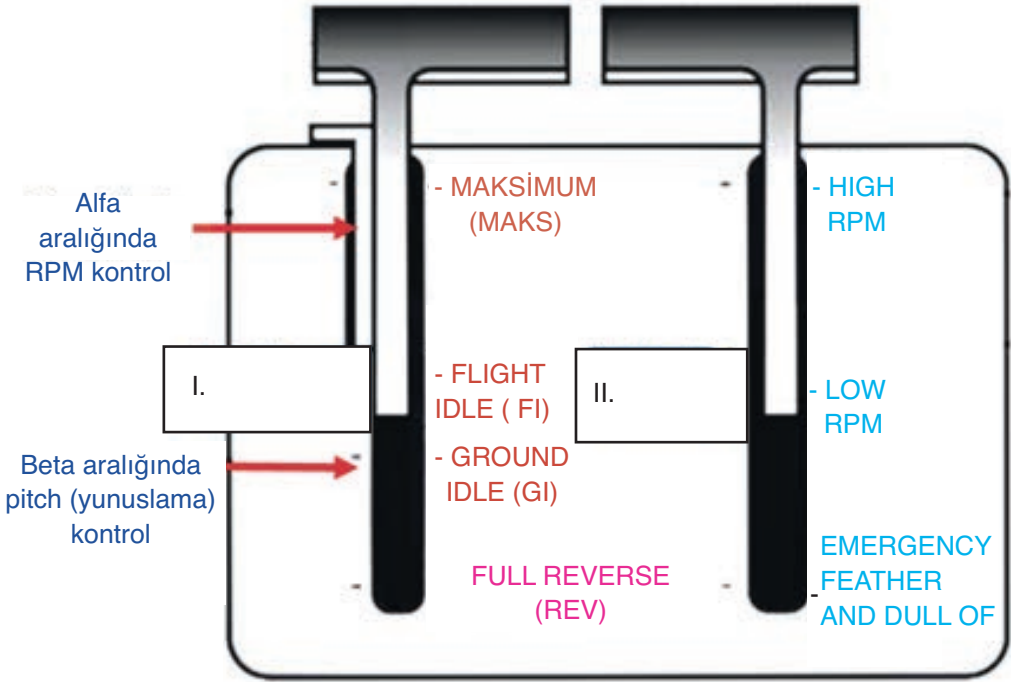
12.



Yukarıdaki şekilde üç konumlu turboprop motora ait kollar verilmiştir. Roma rakamları ile boş bırakılmış yerleri uygun şekilde doldurunuz.

I. …….....
II. …….....
III. …….....
IV. …….....

13.



Yukarıdaki şekilde dört konumlu turboprop motora ait kollar verilmiştir. Roma rakamları ile boş bırakılmış yerleri uygun şekilde doldurunuz.

I. ……

II. ……

C) Aşağıda verilen sorularda doğru olan seçeneği işaretleyiniz.

14. I. Pistonlu motorlarla kıyaslandığında turboprop motorlarda kullanılan kerozin yakıtının tutuşma sıcaklığının daha yüksek olması, turboprop motorları daha güvenli yapar.

II. Turboprop motorlar, diğer motorlara göre kısa pistlerden kalkış yapma konusunda daha üstündür.

III. Turboprop motorların aşınmadan kaynaklı hasar verme ihtimali pistonlu motorlara göre daha yüksektir.

IV. Turboprop motorların turbojet motorlara göre yüksek irtifada verimi daha yüksektir.

Yukarıda turboprop motorlarla ilgili verilen bilgilerden hangileri doğrudur?

A) I ve II

B) II ve III

C) I-II ve III

D) II-III ve IV

E) I-II ve IV

15. Aşağıdaki turboprop motorla ile ilgili verilen bilgilerden hangisi yanlıştır?

A) Devir ve yakıt akışının entegre kontrolü kuplajlı güç türbini ve birleşik turboprop motorlar için uygundur.

B) Gaz jeneratörü yakıt akışının doğrudan kontrolü serbest güç türbinli turboprop motorlar için uygundur.

C) Pervane kanat açısının doğrudan kontrolü herhangi bir turbprop motorda kullanılabilir.

D) Uçak yerde taksi yaparken pervane palleri beta açısına ayarlanır.

E) Yeni nesil uçaklarda motor pervane kontrolleri için hidromekanik yakıt kontrolü kullanılır.

16. Pilot turboprop motorun performansını kokpitte bulunan göstergelerden anlayabilmektedir.

I. Altimetre

II. Takometre

III. Torkmetre

IV. Egzoz gaz sıcaklığı (EGT)

Bu duruma göre yukarıda verilen göstergelerden hangileri doğrudan motor performansı ile ilgilidir?

A) I ve III

B) II ve III

C) I-II ve III

D) II-III ve IV

E) I-II ve IV

17. Aşağıda FADEC kontrollü pervanelerde pervane / güç türbini rotorunun hızını sınırlama işlevleri hakkında verilen bilgilerden hangisi yanlıştır?

A) Pervanede herhangi bir arıza meydana gelmesi durumunda hidromekanik aşırı hız regülatörü acil durum koruması sağlar.

B) Pervane / güç türbin hızının pervane regülatörü limitini aşması durumunda FADEC yakıt akışını durdurur.

C) Pervane / güç türbin hızı pervane regülatörü limitini aşması durumunda FADEC yazılımı motor gücünün seviyesini azaltan sinyaller gönderir.

D) FADEC kontrollü pervanlerde pervane kanat açısının ayarlayarlanması hatve kontrol ünitesi (PCU) tarafından gerçekleştirilir.

E) Pervane devri daha önceden belirlenen çalışma sınırının üzerine çıktığında FADEC yazılımı tarafından yağ, pervaneden serbest bırakılır.

5.
ÖĞRENME BİRİMİ



YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİ (APU)

KONULAR

5.1. YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİNİN (APU) UÇAKTAN SÖKÜLMESİ
5.2. YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİ (APU) KISIMLARININ KONTROLLERİ
5.3. YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİ (APU) SİSTEMLERİNİN KONTROLLERİ
5.4. YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİNİN (APU) UÇAĞA TAKILMASI

TEMEL KAVRAMLAR

APU, APU kısmı ve sistemleri, sökme, takma

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- **APU'yu uçaktan sökme**
- **APU'nun kısımlarının kontrollerini yapma**
- **APU sistemlerinin kontrollerini yapma**
- **APU'yu uçağa takma**

HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

1. **Uçaklar yerde iken bazı sistemlerin çalıştırılabilmesi için hangi yöntemler kullanılır? Fikirlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.**
2. **Uçaklarda bulunan yardımcı güç ünitesi nerelerde konumlanmış olabilir? Fikirlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.**

5.1. YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİNİN (APU) UÇAKTAN SÖKÜLMESİ

Uçaklar üzerinde uçuş öncesi ve sonrası yapılması gereken bazı işlemler vardır. Bu işlemleri gerçekleştirmek için bazı yardımcı cihazların kullanılması gerekir. Bunlardan biri de uçak sistemlerinden tamamen ayrı düşünülerek tasarlanmış ve uçağa monte edilmiş bir yardımcı güç ünitesidir [APU (auxiliary power unit- agzılieri pauır yunit)]. APU, AMM'de belirtilen talimatlara göre uçaktan sökülür. APU sökülürken APU'nun konumunun ve APU giriş kapağının açılması işleminin bilinmesi gerekir.

5.1.1. Yardımcı Güç Ünitesinin (APU) Uçaklardaki Konumu

APU konumu, kullanıma bağlı olarak gövde veya kanat içerisine yerleştirilir. APU, Görsel 5.1'de gösterilen uçağın basınçsız bölmesine ve boylam eksenine dik olarak yerleştirilmiştir.



Görsel 5.1: APU'nun boylam eksenine dik konumu

APU; bazı uçaklarda basınçsız bölgelerde, iniş takımı bölmesinde, motor kaportalarında, ön gövdede veya kanat yapılarında bulunabilir. Diğer uçaklarda ise uçağın dikey stabilizatörün altındaki kuyruk konisinde yangından korunmuş basınçsız bir bölgeye yerleştirilmiştir (Görsel 5.2). Günümüz ticari uçaklarında kullanılan APU kuruk konisinin içinde bulunmaktadır.

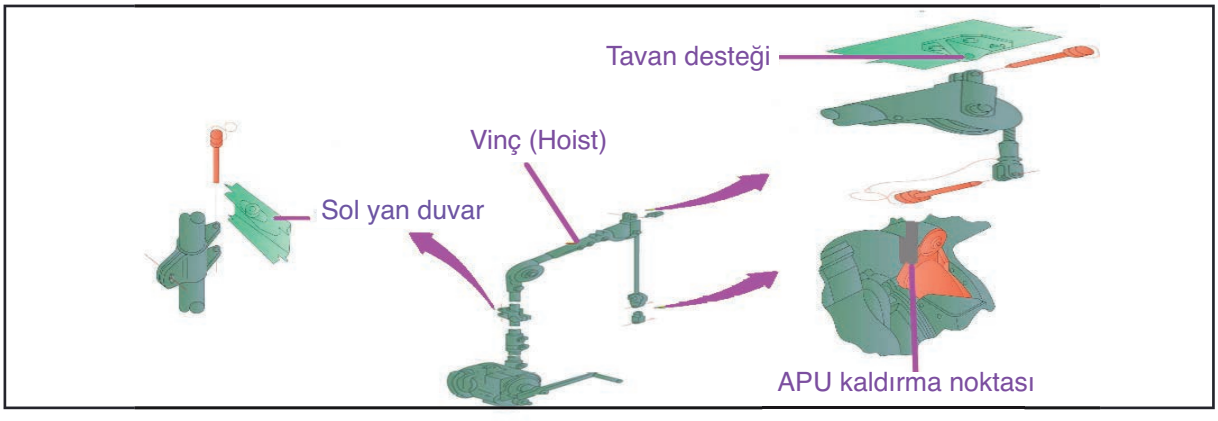


Görsel 5.2: APU'nun dikey stabilizer altındaki konumu

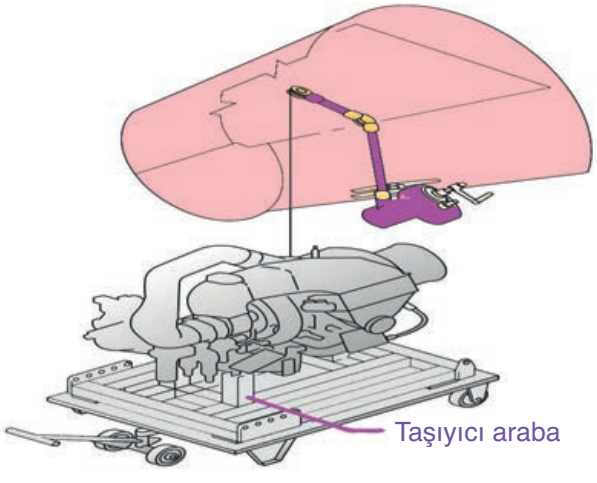
5.1.2. Yardımcı Güç Ünitesinin (APU) Uçaktan Sökülmesi

APU'nun uçaktan sökülme işlemi, AMM'de belirtilen talimatlara göre yapılır. Genel itibariyle işlem basamakları şu şekildedir:

1. Bütün elektrik bağlantıları, yakıt hatları ayrılır.
2. Hidrolik sistemin basınçsız olduğundan emin olunur.
3. Kokpitte APU'nun çalıştırılmaması için personelin görebileceği şekilde uyarı notu asılır.
4. APU'nun daha rahat sökülmesi ve hasar riskini azaltmak için APU giriş kapakları açılır, daha sonra kapaklar sökülür.
5. Exhaust muffler [ıgzost mafır (egzoz susturucu)] ve APU'nun diğer bağlantıları sökülür.
6. APU ağırlığını kaldırabilecek uçak üzerindeki tavan ve yan hoist equipment [hoyst ikvitmınt (asansör ekipmanı)] duvar bağlantılarına sabitlenir. APU'ya bağlantılar yapıldıktan sonra cıvatalar sökülür (Görsel 5.3).
7. APU'da meydana gelebilecek sarsıntıları üzerine alan vibrasyon izolatör [shock mount (şok mont)] sökülür.
8. APU hoist equipment ile APU, kompartımandan taşıyıcı araba üzerine güvenli şekilde indirilir (Görsel 5.4).



Görsel 5.3: APU'nun hoist'a bağlanması



Görsel 5.4: APU'nun taşıyıcı araba üzerine yerleştirilmesi

5.1. UYGULAMA: AMM Talimatlarına Göre Uçak Üzerinden APU'nun Sökülmesi

Amaç: APU'nun uçak üzerindeki bağlantılarını sökerek uçak üzerinden indirmek.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Taşıyıcı araba	APU'nun yerleştirildiği araç	1 Adet
Vinç (Hoist)	APU'nun bağlandığı araç	1 Adet
Destek çerçevesi (Support frame)	APU'nun takıldığı çerçeve	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde APU'nun sökülmesini içeren kısmı bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Elektrik bağlantılarını jeneratörden ve marş motorundan ayırınız.
7. Pnömatik hava kanalını yağ soğutucu çıkışından ayırınız.
8. Vinci tavan desteğine, ardından sol duvara bağlayınız ve kelepçeyi APU kaldırma noktasına bağlayınız.
9. APU montaj somunlarını çıkarınız ve APU montaj dişlilerini koruyunuz.
10. Bağlantıları kullanarak APU'yu destek çerçevesine takınız.
11. APU'yu vince yerleştiriniz.
12. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
13. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

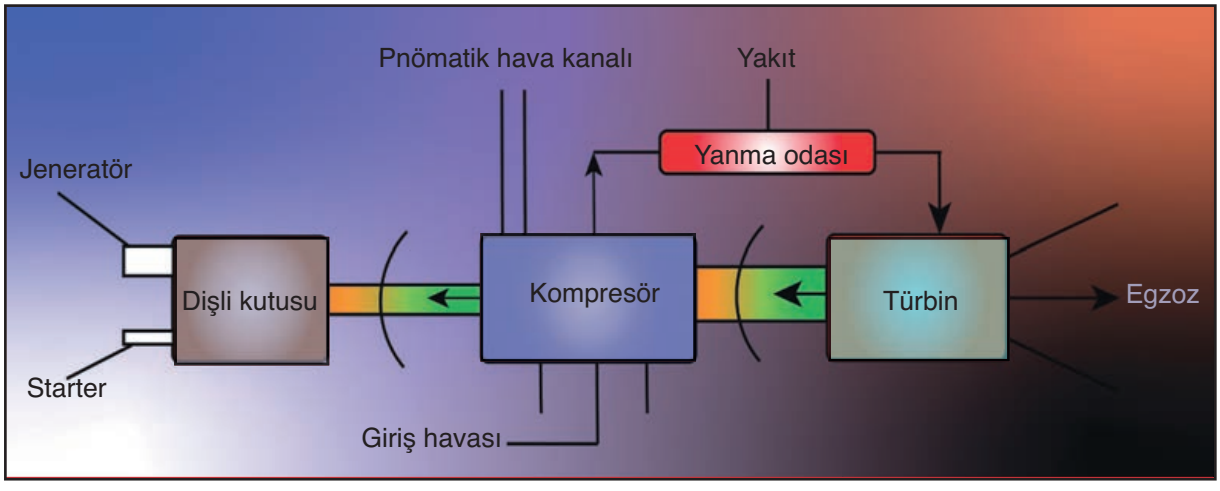
- APU'nun sökülme işleminde nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

5.2. YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİ (APU) KISIMLARININ KONTROLLERİ

APU, otomatik çalışan mekanik özelliklere sahip bir gaz türbinli motor sistemidir. Tipik bir gaz türbinli motor olan APU, jet tepkisi yerine üzerine monte edilmiş jeneratörü çevirerek elektrik ve tazyikli hava üretir. Farklı uçak tiplerine göre çeşitli görevler üstlenir. Genel olarak APU'nun görevleri; motor startı, iklimlendirme için gerekli hava temini ve elektrik kaynağı olarak sıralanabilir. APU beş kısımdan oluşur (Görsel 5.5):

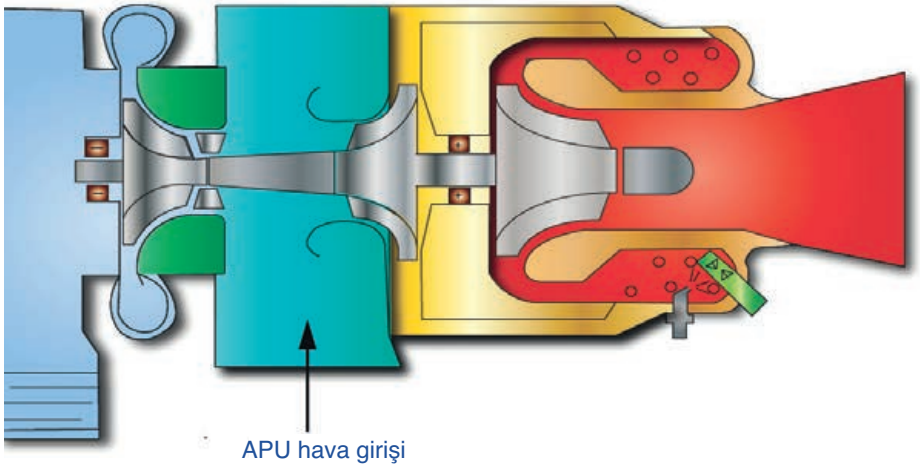
a) Hava giriş kısmı
b) Kompresör
c) Yanma odası
ç) Türbin
d) Dişli kutusu



Görsel 5.5: APU kısımlarının şematik gösterimi

5.2.1. Hava Giriş Kısmı

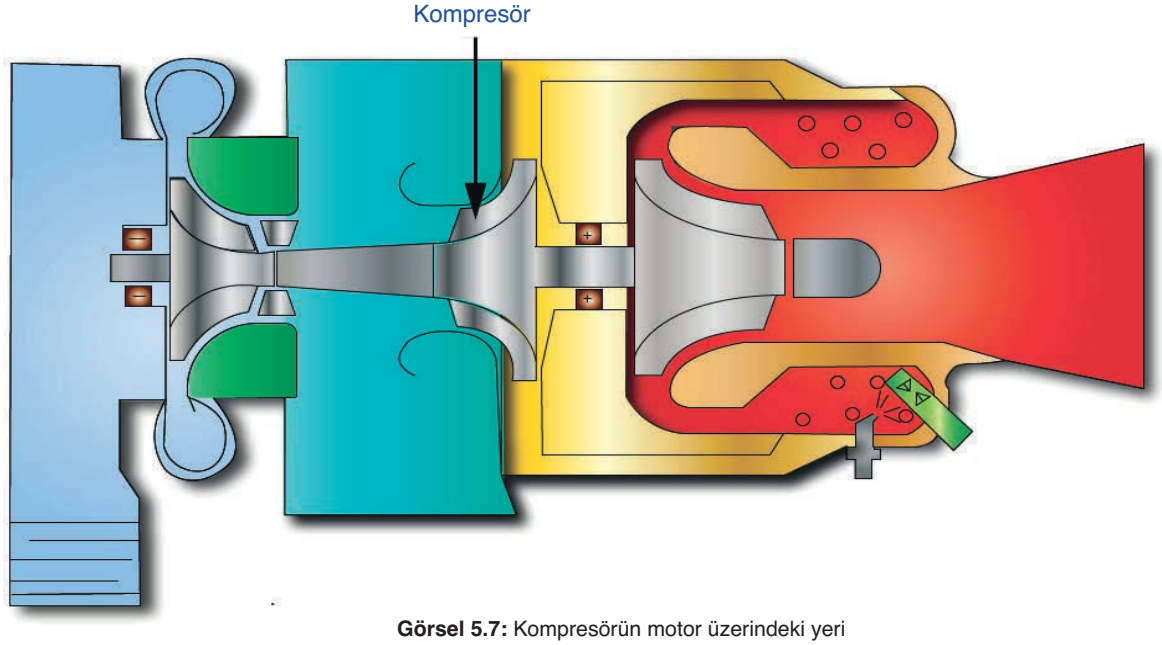
Hava alığı, ortam havasını APU kompresör bölmesine verir. Kurulum pozisyonu, ana motordaki egzoz gazlarının ve istenmeyen yabancı maddelerin APU tarafından yutulmasını engeller. Genellikle hava direncini ve hava giriş bozukluğunu minimumda tutacak şekilde tasarlanmıştır (Görsel 5.6).



Görsel 5.6: APU hava girişinin motor üzerindeki yeri

5.2.2. Kompresör

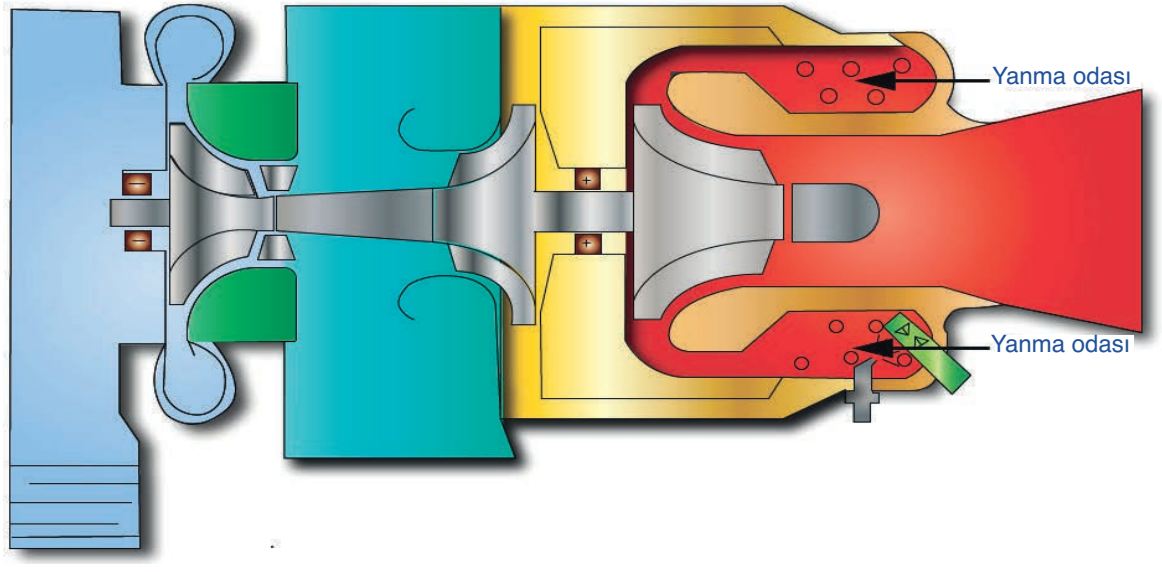
Kompresörlerin amacı mekanik dönüş hareketiyle elde edilen enerjiyi pnömatik enerjiye dönüştürmektir (Görsel 5.7). APU'nun modeline göre değişik miktarda kademe bulunur. Her kademede impeller ve difüzör mevcuttur. Birinci kademedeki impeller'dan çıkan havanın hızı difüzörden geçerken düşer. Basıncı artarak ikinci kademe impeller'ına giren hava difüzöre geçerek gerekli hava akışı sağlanır.



Görsel 5.7: Kompresörün motor üzerindeki yeri

5.2.3. Yanma Odası

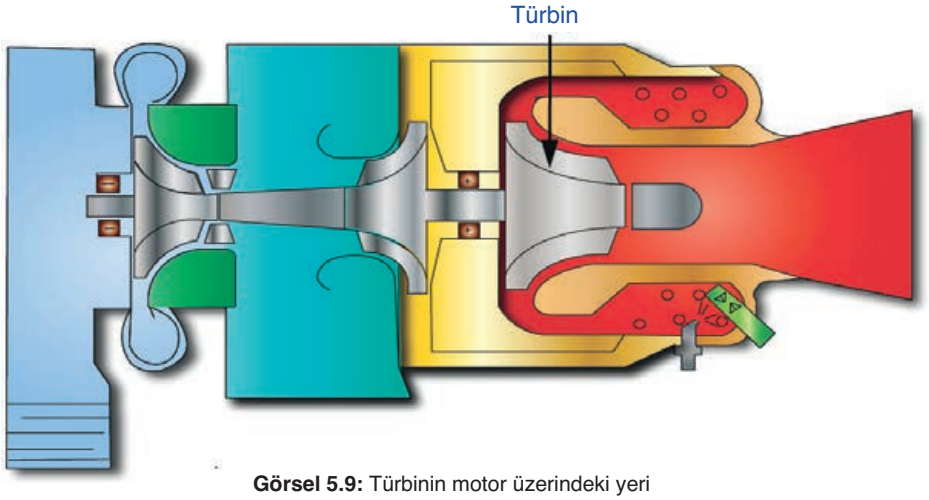
Yanma olayı yanma odasında gerçekleşir. Yanma odası, iyi bir yanma oranı ve doğru hava-yakıt karışım oranı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Görsel 5.8). Yakıt hava karışımı, buji aracılığıyla ateşlenir ve böylece yanma meydana gelir. Yanan gazlar türbini çevirdikten sonra egzozdan dışarı atılır. Yanma odası soğutma ve alevi ortada tutma gibi görevleri de yerine getirir.



Görsel 5.8: Yanma odasının motor üzerindeki yeri

5.2.4. Türbin

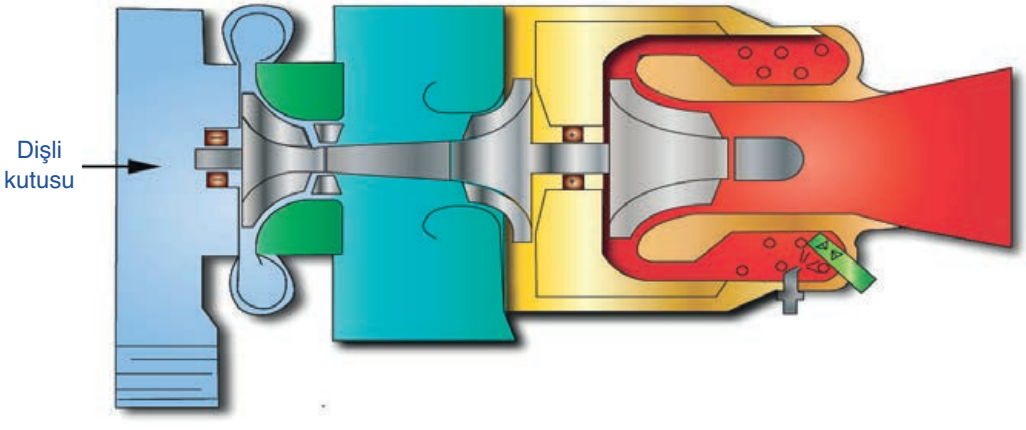
Yanma odasından çıkan yanmış gazların kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür. Yanma odasından çıkan gazların basıncı düşerek hızı artar ve gaz türbin palelerine çarparak yüksek devirle döner. Böylece şaft gücü elde edilir ve gazlar egzozdan dışarı atılır (Görsel 5.9). Türbin paleleri, yüksek sıcaklığa maruz kalacağından ısıya dayanıklı metallerden yapılmıştır. Bundan dolayı pahalı metallerden üretilir.



Görsel 5.9: Türbinin motor üzerindeki yeri

5.2.5. Dişli Kutusu

APU'nun ön tarafında bulunan dişli düzeneğidir. Dişli kutusu, APU'dan güç alınabilmesi için yüksek devirle dönüş hareketi sağlamalıdır. Dişli kutusu, türbinin döndürülmesiyle şaft hareketi elde eder ve gerekli bileşenlerin düşük devirle dönmesini sağlar (Görsel 5.10).



Görsel 5.10: Dişli kutusunun motor üzerindeki yeri

Aksesuar dişli kutusuna monte edilen bileşenler şunlardır:

1. Starter
2. Jeneratör
3. Yağ pompası [oil pump (oyl pamp)]
4. Yakıt kontrol ünitesi [fuel control unit-FCU (fuli kontırıl yunit)]
5. Soğutma fanı [cooling fan (kuuling fen)]
6. Santrifüj anahtarı [centrifugal switch (sentrıfıgıl sıviç)]

5.2. UYGULAMA: APU Kompresör Kısımlarının Sökülmesi, Temizliği ve Kontrol İşlemleri 1

Amaç: APU kompresör kısmını AMM talimatlarına göre sökerek bu kısımların temizliğini ve kontrolünü yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Tapa	Körleme	1 Adet
Emniyet klipsi	Devre kesici	1 Adet
Temizlik ekipmanı	Kompresöre uygun	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde APU'nun kompresör kısmının sökülmesi ve temizliğini içeren kısmı bulunuz
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Hidrolik sistemlerin basınçsız olduğundan emin olunuz.
7. AMM'de verilen talimatlara göre APU erişim kapılarını açınız ve işlem basamaklarını gerçekleştiriniz.
8. Kompresör yıkama solüsyonu ile temizleme işlemini gerçekleştiriniz.
9. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
10. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- APU'nun kompresör kısmını temizlerken nelerle karşılaştınız? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

5.3. UYGULAMA: APU Kompresör Kısımlarının Sökülmesi, Temizliği ve Kontrol İşlemleri 2

Amaç: AMM talimatlarına göre APU kısımlarının baroskop ile kontrolünü yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Anahtar	Cırcır	1 Adet
Emniyet klipsi	Devre kesici	1 Adet
Tork anahtarı	İstenilen tork değerinde	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde APU'nun bölümlerinin baroskop ile kontrolü kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
6. Hidrolik sistemlerin basınçsız olduğundan emin olunuz.
7. Devre kesicilerini açınız ve emniyete alınız.
8. AMM'de verilen talimatlara göre APU bölümlerini kademeli olarak inceleyiniz.
9. APU kısımlarını incelerken kademelerde meydana gelen hasar kontrolünü yapınız.
10. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

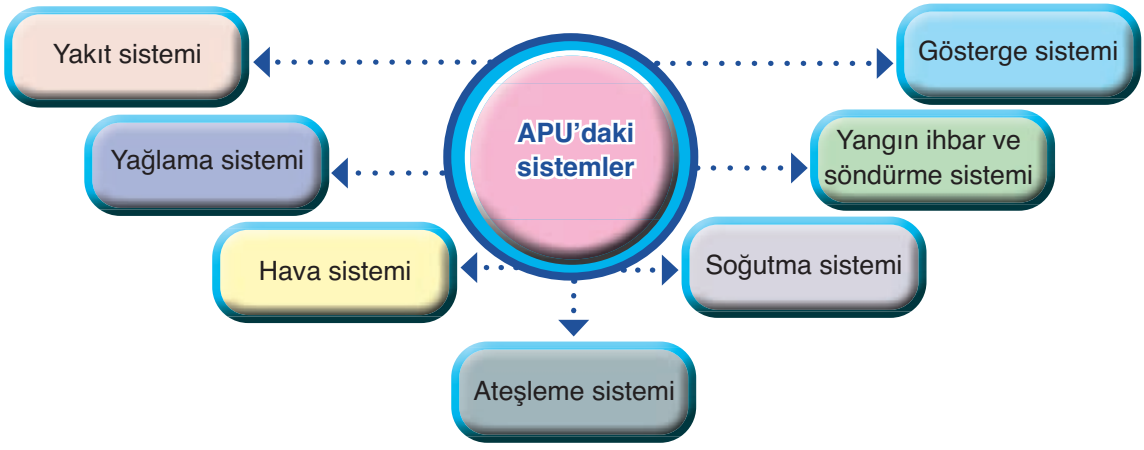
Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- APU kısımlarını incelerken hangi kademelerde hasar belirtileriyle karşılaştınız? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

5.3. YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİ (APU) SİSTEMLERİNİN KONTROLLERİ

APU sistemleri ana motorlara benzemektedir. Otomatik çalışan bir sistem olması ile birtakım değişiklikler göstermektedir. APU'da bulunan sistemler Şema 5.1'de gösterilmiştir.



Şema 5.1: Yağlama sisteminin çalışma prensibi

5.3.1. Yakıt Sistemi

Yakıt sistemi, sistemin ihtiyacı olan ölçülü yakıtı sağlar. Ayrıca APU, egzoz sıcaklık limitlerinin belirli değerlerde kalmasını sağlayarak APU'nun düzenli çalışmasını sağlar. APU yakıt sisteminin genel bileşenleri şunlardır:

1. Alçak basınç yakıt filtresi [low pressure fuel filter (lov pıreşır fül filtır)]
2. Yakıt kontrol ünitesi [fuel control unit (fül kıntrol yünit)]
3. Yüksek basınç yakıt filtresi [high pressure fuel filter (hay pıreşır fül filtır)]
4. Atomizer
5. Tahliye çek valfi [drain check valve (dıreyn çek valf)]

5.3.1.1. Alçak Basınç Yakıt Filtresi

Yakıt pompasından gelen yakıtın içerisinde olabilecek partiküllerin arındırılmasını sağlar. Bu filtre genellikle kâğıt malzemeden üretilir. Filtre, düzenli aralıklarla kontrol edilir ve gerektiğinde değiştirilir. Filtrenin tıkanma riskine karşı, sistemin yakıtsız kalmamasını sağlamak için baypas sistemi bulunur.

5.3.1.2. Yakıt Kontrol Ünitesi (FCU)

Yakıtın ölçülü bir şekilde yanma odasına iletilmesini sağlayarak APU'nun düzenli çalışmasını sağlayan bir bileşen olan yakıt kontrol ünitesi [FCU (fuel control unit)], dişli kutusu üzerine monte edilmiştir. Bu ünite üzerinde yakıt pompası, yüksek basınç filtresi, yakıt solenoid valfi, düzenleyici ve hız limit vanası bulunmaktadır. FCU'da yer alan yakıt solenoid valfi, APU devri %7-10 RPM seviyesine ulaştığında enerji alarak açılır ve yakıt akışını sağlar

5.3.1.3. Yüksek Basınç Yakıt Filtresi

Yüksek basınç filtresi, APU yakıt pompasının çıkışında bulunur. Bu filtre düzenli aralıklarla kontrol edilir ve gerektiğinde değiştirilir. Filtre, genellikle kâğıt malzemeden üretilir.

5.3.1.4. Atomizer

Yanma odasına monte edilmiştir. Uçak tiplerine göre değişik sayılarda bulunabilir. APU yakıt sisteminden gelen yakıtın yanma odasına pulverize bir şekilde püskürtülmesini sağlar.

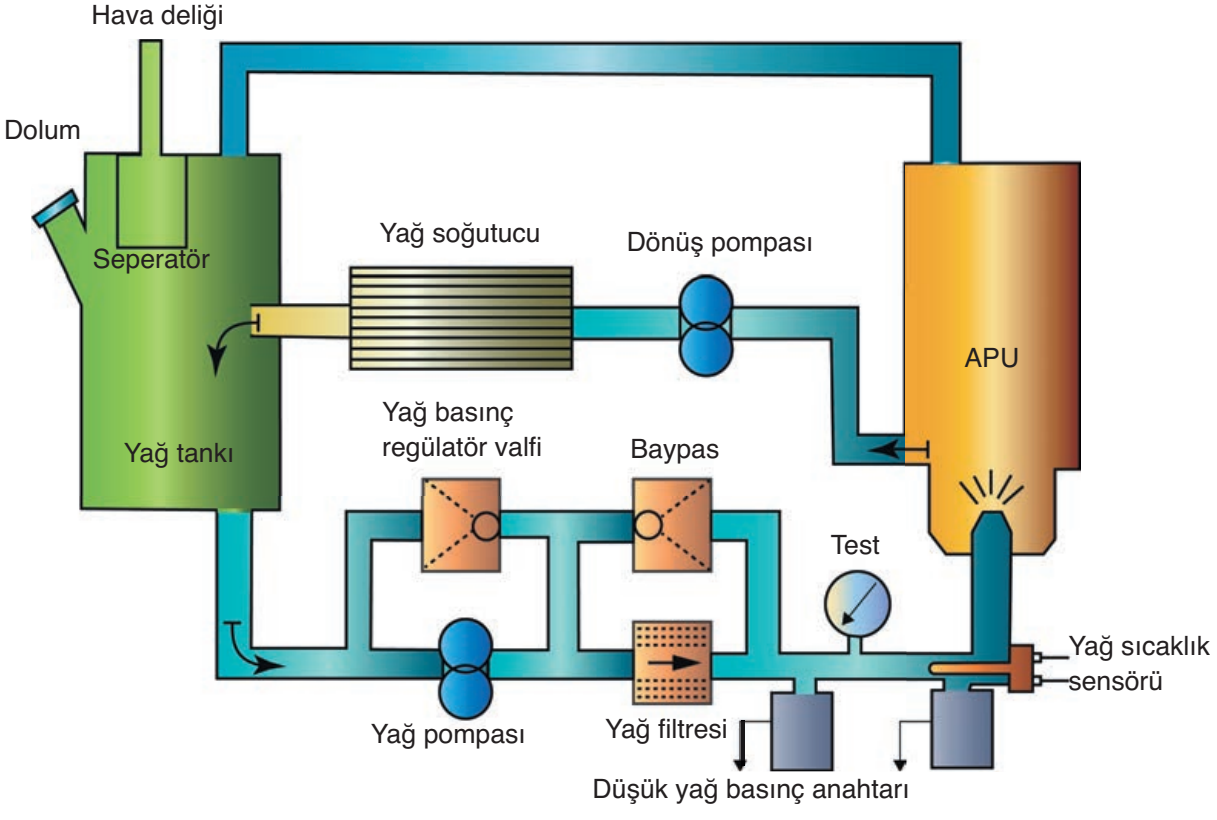
5.3.1.5. Tahliye Check Calfi

APU'nun startı esnasında yanma olmadığı zaman biriken yakıtın dışarı atılmasını sağlar. Normalde açık bir valftir.

5.3.2. Yağlama Sistemi

Yağlama sisteminin temel görevi yataklar, dişliler ve çevrilen cihazların yağlanmasını sağlamaktır. Bununla birlikte sistem üzerinde ısınan kısımlardaki ısıyı üzerine alarak soğutma görevi yapar. Bir diğer görevi ise çalışan parçalar arasındaki sürtünmeyi azaltmaktır. Yağlama sistemi temel çalışma prensibi Görsel 5.11'de gösterilmiştir. Sistem şu parçalardan oluşur:

1. Yağ tankı [oil tank (oyl tank)]
2. Yağ pompası [oil pump (oyl pamp)]
3. Dönüş pompası [scavenge pump (sıkevınç pamp)]
4. Yağ basınç regülatör valfi [oil pressure regulator valve (oil pıreşır regulator valf)]
5. Yağ filtresi
6. Yağ soğutucusu



Görsel 5.11: Yağlama sisteminin çalışma prensibi

5.3.2.1. Yağ Tankı (Oil Tank)

APU'nun ihtiyaç duyduğu yağ, yağ tankında depolanır. Bu yağ tankı genellikle APU'nun dişli kutusunun alt bölümünde konumlanmıştır. Yağ ikmali için bir dolum noktası ve yağ seviyesini gösteren bir gösterge bulunmaktadır (Görsel 5.12).



Görsel 5.12: APU yağ tankı

5.3.2.2. Yağ Pompası (Oil Pump)

Yağ pompası, depodan alınan yağı sisteme ileterek yağlama işlemini sağlar. Bu pompa, hareketini dişli kutusundan alır. APU'nun yağ pompası her zaman pozitif yer değiştirmeli bir pompadır.

5.3.2.3. Dönüş Pompası (Scavenge Pump)

APU'da gereken yağlama işlemi tamamlandıktan sonra, sistemden alınan yağı emerek yağ soğutucusuna iletir, böylece soğutma işlemi gerçekleştirir. Soğutma işlemi tamamlandıktan sonra da yağı depoya geri gönderir.

5.3.2.4. Yağ Basınç Regülatör Valfi (Oil Pressure Regulator Valve)

Yağ pompasından basınçla iletilen yağ, basınç düzenleyici valf tarafından düzenlenir ve istikrarlı bir yağ beslemesi sağlanır. Bu valf, yağlama sisteminin aşırı basınç almasını önler.

5.3.2.5. Yağ Filtresi (Oil Filter)

Yağın sisteme iletilmeden önce içerisinde bulunabilecek kir ve metal parçacıklarının temizlenmesini sağlayarak sisteme temiz yağın iletilmesini sağlar. Bu bileşen genellikle bir filtre baypas valfi ve filtre tıkanma göstergesi ile donatılmıştır.

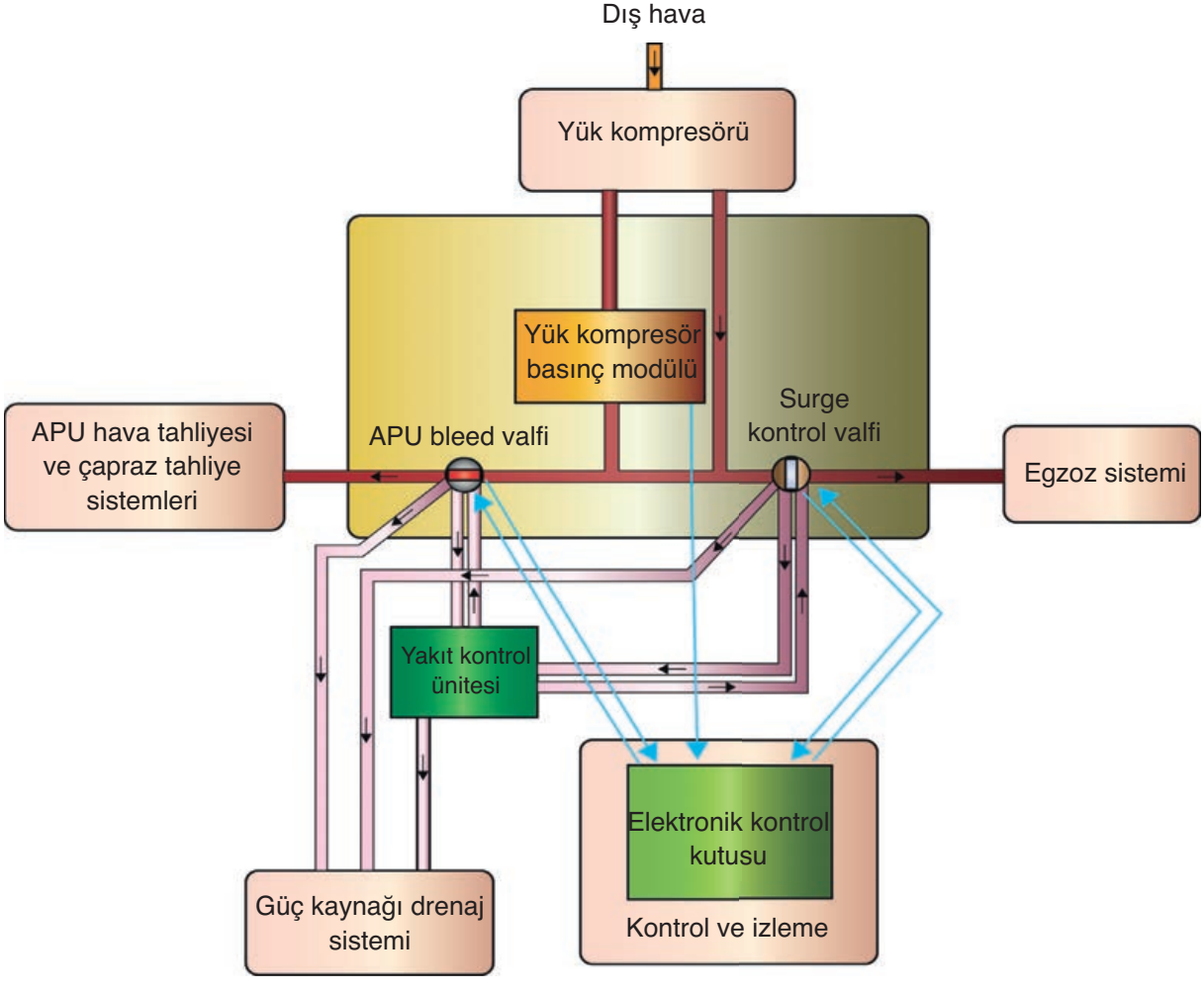
5.3.2.6. Yağ Soğutucusu (Oil Cooler)

Bir dizi alüminyum boru içerir. Soğutma havası bu boruların içinden geçerken yağı soğutur ve yağın daha düşük sıcaklıklara gelmesine yardımcı olur.

5.3.3. Hava Sistemi

APU sistemine gerekli olan havayı kontrol edilerek sağlar. Tipik olarak APU, yük almaya başladığında ve devri %95'e ulaştığında hazır durumdadır. Kompresörden gelen hava, egzoz sıcaklığına göre modülasyonlu bir şekilde çalışan yük kontrol valfi ile kontrol edilir ve istenilen miktarı uçak sistemlerine yönlendirir. Hava sisteminin temel çalışma prensibi, Görsel 5.13'te görüldüğü gibi işler. Bu sistemin temel bileşenleri şunlardır:

1. Yük kompresör kontrol sistemi
2. Kontrol termostadı
3. Yük kontrol valfi



Görsel 5.13: Hava sistemi

5.3.3.1. Yük Kompresör Kontrol Sistemi

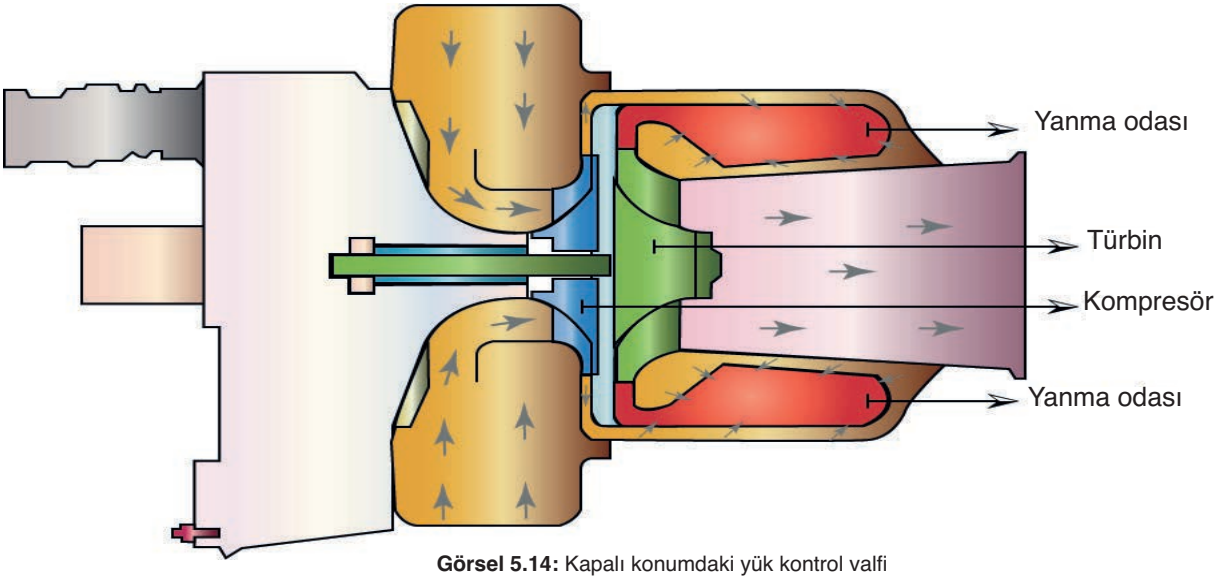
Yük kompresörü, uçağın pnömatik sistemine hava akışını sağlar. Giriş kılavuz kanatları, yük kompresörüne yönlendirilen hava miktarını kontrol eder. Bu sayede uçak sistemlerinin ihtiyacı olan yeterli hava temin edilir.

5.3.3.2. Kontrol Termostadı

Kontrol termostatı, egzoz sıcaklığını kontrol altında tutmak için kullanılır. Bu termostat egzoz flanşına monte edilmiştir.

5.3.3.3. Yük Kontrol Valfi

APU devri %95'in üzerine çıktığında, kokpitte bulunan ve ilgili valf ile bağlantılı olan anahtar devreye alındığında, valf elektriksel olarak otomatik şekilde açılır (Görsel 5.14). Bu valf, havanın sisteme gönderilmesini sağlayarak bir musluk görevi görür.



Görsel 5.14: Kapalı konumdaki yük kontrol valfi

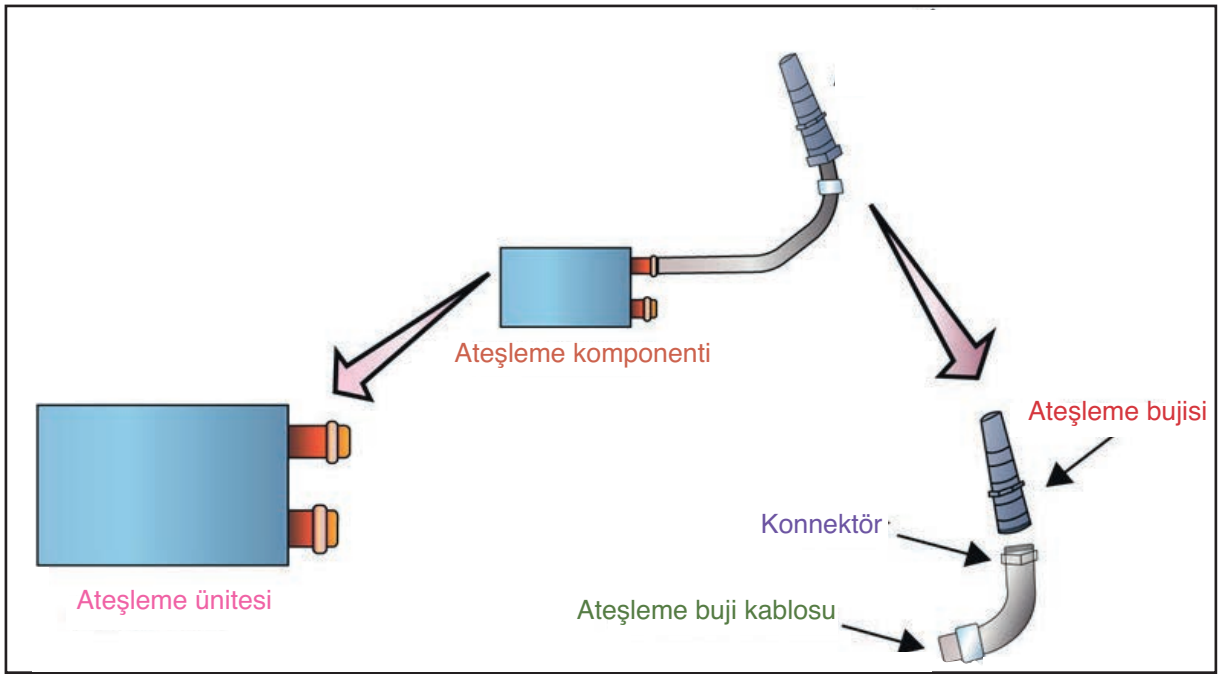
5.3.4. Ateşleme Sistemi

Ateşleme sistemi, motorun çalıştırılması sırasında yakıt-hava karışımının yanmasını sağlayan bir sistemdir. 28 V DC güç bataryadan alınır ve yüksek voltaja dönüştürülerek bujilere iletilir. Bujiler saniyede bir kıvılcım oluşturur. Böylece yanma odasındaki yakıt-hava karışımının ateşlenmesi gerçekleşir ve yanma süreci başlar (Görsel 5.15).

Ateşleme sistemi içindeki bujiler, genellikle %7-10 devir aralığında ateşlemeye başlar. Devir %95'e ulaştığında otomatik olarak devre dışı kalır.

Ateşleme sisteminin bileşenleri şunlardır:

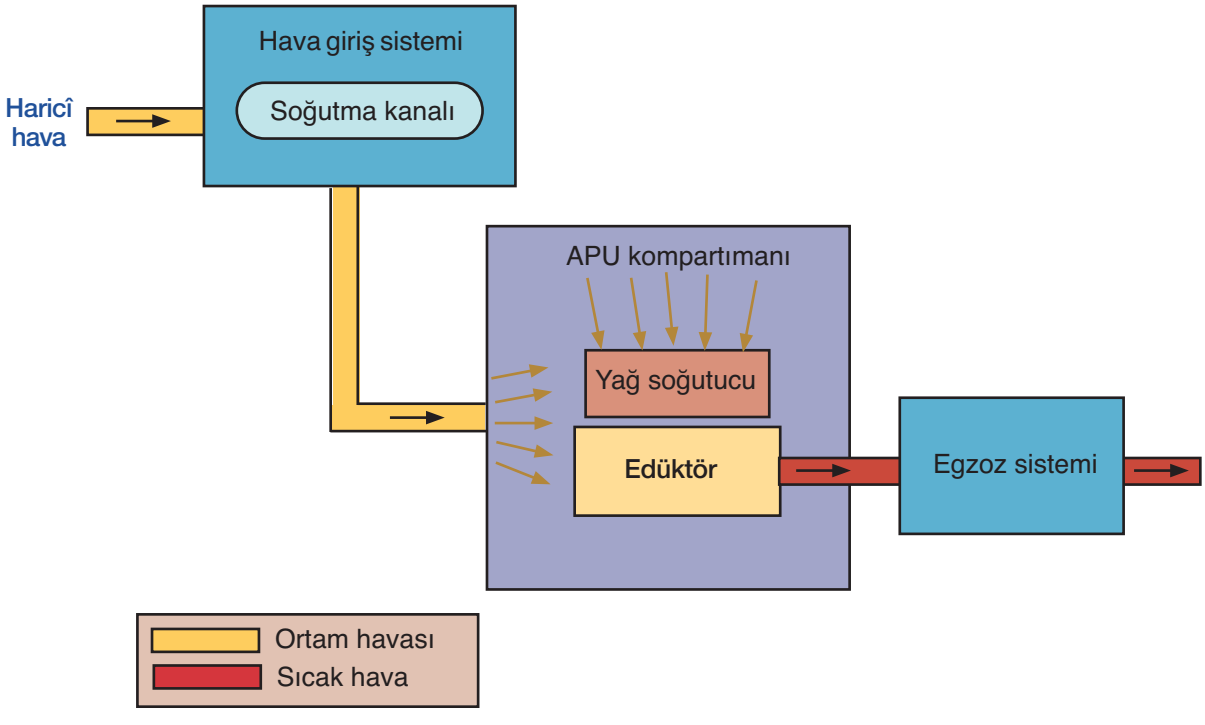
1. Ateşleme bujisi
2. Ateşleme ünitesi
3. Ateşleme buji kablosu



Görsel 5.15: Ateşleme sisteminin elemanları

5.3.5. Soğutma Sistemi

APU soğutma sistemi; APU kompartımanını, jeneratörü ve motor yağını soğutmak için kullanılır. APU kompartımanının soğutulmasında dışarıdan gelen havanın APU kompartımanına yönlendirilmesi için bir aktüatör kullanılır. APU egzozunun yüksek hızlı çıkışı, düşük basınç bölgesi oluşturur. Böylece dışarıdaki havanın aktüatör aracılığıyla APU kompartımanına çekilmesini sağlar. Soğutma havası daha sonra yağ soğutucusundan geçer ve APU egzoz kanalından dışarı çıkar (Görsel 5.16).



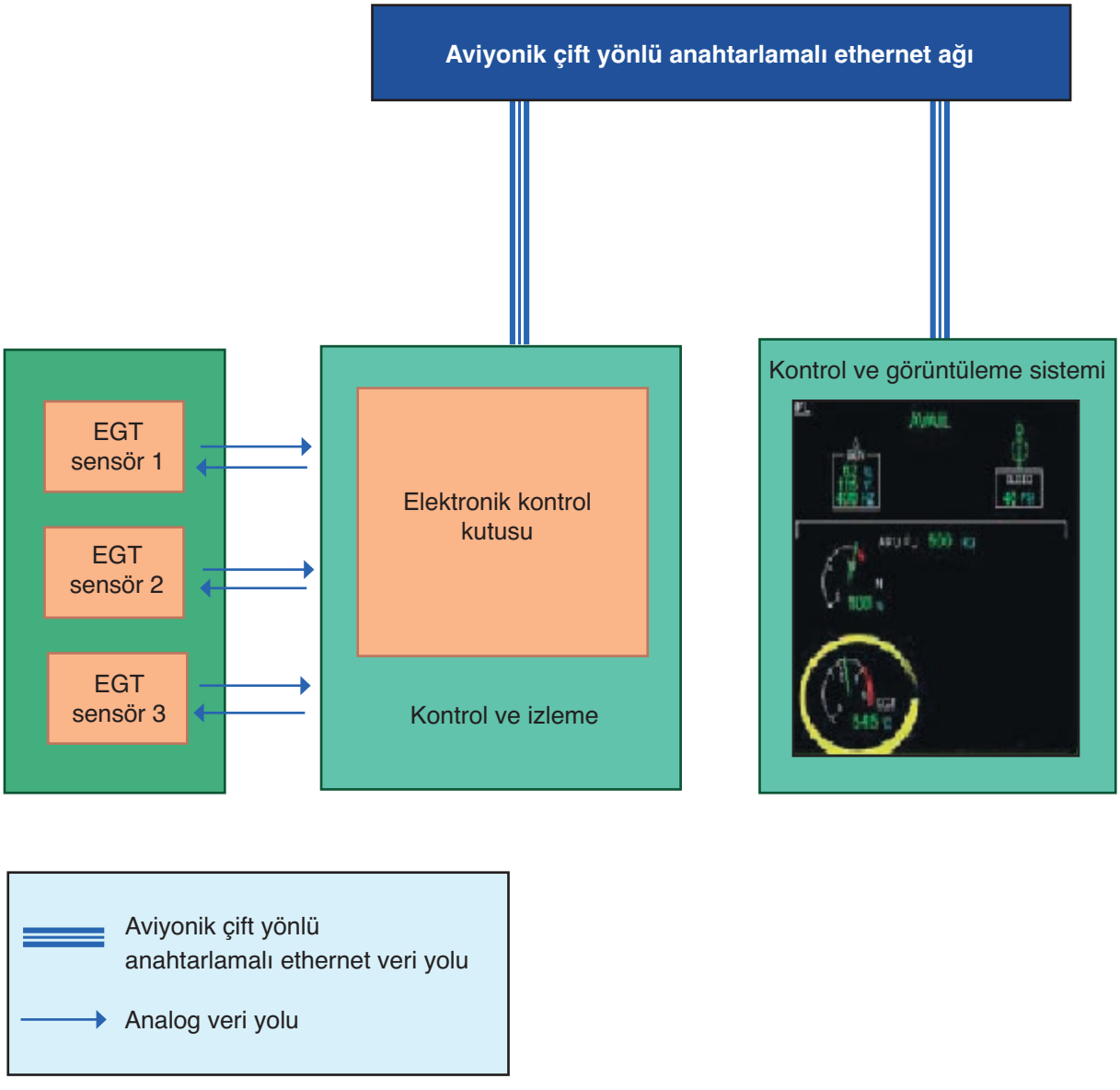
Görsel 5.16: Soğutma sistemi

5.3.6. Yangın İhbar ve Söndürme Sistemi

APU'da yangın durumunda sistemin kontrol altına alınmasını sağlar. Sistem; yangın tüpleri, ikaz kornaları ve lambaları ile kontrol anahtarlarından oluşur. APU'nun çalıştırılmasından önce yangın testi gerçekleştirilir. APU yangın anahtarları kullanılarak herhangi bir yangın durumunda APU otomatik olarak durdurulur ve yangın tüpleri ateşlenir. Bu tür durumlar, genellikle uçaklarda otomatik olarak gerçekleşir.

5.3.7. Gösterge Sistemi

APU'nun işleyen sistemlerinin normal değerlerini belirlemek için kullanılan göstergeler; genellikle APU devri, egzoz sıcaklığı, yağ seviyesi ve APU'nun çalışma süresini gösteren göstergelerden oluşur. Bu göstergeler, APU'nun düzgün bir şekilde çalışıp çalışmadığını izlemek ve gerektiğinde müdahalede bulunmak için kullanılır. Görsel 5.17'de egzoz gaz sıcaklığına ait gösterge sistemi verilmiştir.



Görsel 5.17: APU sıcaklık göstergesi

5.4. UYGULAMA: APU Sistemlerinin AMM'ye Göre Sökülmesi, Temizliği ve Kontrol İşlemlerinin Yapılması

Amaç: APU yakıt kontrol ünitesini AMM talimatlarına göre sökerek bu ünitelerin temizlik ve kontrolünü yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Erişim platformu	Ayarlanabilir	1 Adet
Emniyet klipsi	Devre kesici	1 Adet
Konteyner	İstenilen litrede	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. İlgili uçak AMM'sinde APU yakıt kontrol ünitesi sökümünü içeren kısmı bulunuz.
3. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
4. İlgili noktalara uyarı notlarını yerleştiriniz.
5. Hidrolik sistemin basınçsız olduğundan emin olunuz.
6. Tüm yakıt veya yağlama sistemi bileşenlerine ve hatlarına plastik kapak ya da tapayı takınız.
7. Elektrik konnektörlerini çıkarınız.
8. Konteyneri yakıt kontrol ünitesinin ve havalandırma ile boşaltma valfinin altına yerleştiriniz.
9. APU yakıt hattını yakıt kontrol ünitesinden ayırınız.
10. Öğretmeniniz ile birlikte yakıt kontrol ünitesini inceleyip gerekli temizliği yapınız.
11. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
12. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- APU yakıt kontrol ünitesini sökerken hangi elemanları devre dışı bıraktınız? Açıklayınız.
- APU yakıt kontrol ünitesi temizliğinde nelerle karşılaştınız? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

5.5. UYGULAMA: APU Sistemlerinin AMM'ye Göre Sökülmesi, Temizliği ve Kontrol İşlemlerinin Yapılması

Amaç: APU yağ filtresini AMM talimatlarına göre sökmek, ardından filtrenin temizlik ve kontrolünü yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Erişim platformu	Ayarlanabilir	1 Adet
Emniyet klipsi	Devre kesici	1 Adet
Konteyner	İstenilen litrede	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. İlgili uçak AMM'sinde APU yağ filtresi sökümünü içeren kısmı bulunuz.
3. Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz.
4. İlgili noktalara gerekli uyarı notlarını yerleştiriniz.
5. Sökme işlemine başlamadan önce yağ sıcaklığını kontrol ediniz ve gerekiyorsa yağı soğutunuz.
6. Hidrolik sistemin basınçsız olduğundan emin olunuz.
7. İlgili talimatlar doğrultusunda filtre yuvasını yağ pompasından çıkarınız.
8. Yağ filtresi ve keçeleri çıkarıp atınız.
9. Öğretmeniniz ile birlikte yağ filtresini inceleyip gerekli temizliği yapınız.
10. Çalışma ortamını temiz bırakınız.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- APU filtresini inceleyiniz ve filtrenin ne durumda olduğu hakkında not alınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

5.4. YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİNİN (APU) UÇAĞA TAKILMASI

APU'nun uçağa montajı, ilgili AMM talimatlarına uygun olarak gerçekleştirilir. Genel olarak, bu montaj işleminin adımları şu şekildedir:

1. APU'nun ağırlığını taşıyabilen asansör ekipmanı, uçağın tavan ve yan duvar bağlantı noktalarına sabitlenir. APU'ya gerekli bağlantılar bu aşamada gerçekleştirilir.
2. APU vinç ile kuyruk konisindeki kısma kaldırılır.
3. APU'nun üzerine şok bağlantıları kurularak destekleyici çubukların bağlantıları gerçekleştirilir ve AMM'de belirtilen tork değerine uygun şekilde sıkılır.
4. Egzoz susturucusu ve APU ekipman bağlantıları yapılır.
5. Uçak gövdesinin giriş kapağı pim bağlantıları gerçekleştirilir ve iç kısma destek çubukları takılır.
6. APU giriş kapağı kilitli mandallar kullanılarak güvenli bir şekilde kapatılır.

5.6. UYGULAMA: APU'yu Uçağa Takma İşlemi

Amaç: APU'yu AMM talimatına göre uçağa takmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Taşıyıcı araba	APU'nun yerleştirildiği araç	1 Adet
Vinç (Hoist)	APU'nun bağlandığı araç	1 Adet
Destek çerçevesi (Support frame)	APU'nun takıldığı çerçeve	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız. **2.** Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız. **3.** Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz. **4.** İlgili uçak AMM'sinde APU takılmasını içeren kısmı bulunuz. **5.** Referansın güncel ve uçağa efektif olduğundan emin olunuz. **6.** APU vinç ile kuyruk konisindeki kısma kaldırınız. **7.** APU'nun üzerine şok bağlantılarını yaparak destekleyici rodların (çubuk-rod) bağlantısını yapınız ve torklayınız. **8.** APU'nun belirtilen tüm ekipman bağlantılarını yapınız. **9.** Uçak gövdesi giriş kapağı pim bağlantılarını yaparak rodları takınız. **10.** APU giriş kapağını kilitli mandallar ile kapatınız. **11.** Çalışma ortamını temiz bırakınız. **12.** İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- APU takma işleminde nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. (….) APU, kullanıma bağlı olarak gövde veya kanat içerisine yerleştirilir.

2. (….) Kompresörün birinci kademesindeki impeller'dan çıkan havanın hızı difüzörden geçerken artar.

3. (….) Yanma odası, alevi ortada tutma ve soğutma görevlerini yerine getirir.

4. (….) Yanma odasından çıkan gazların basıncı artar, hızı azalır.

B) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere uygun ifadeleri yazınız.

5. Alçak basınç yakıt filtresinde tıkanma ihtimaline karşın sistemin yakıtsız kalmaması için ……..... sistemi bulunur.

6. Yakıt kontrol ünitesi üzerinde yüksek basınç filtresi, yakıt solenoid valfi, düzenleyici ve …….. ..... vanası bulunur.

C) Aşağıda verilen sorularda doğru olan seçeneği işaretleyiniz.

7. Aşağıdakilerden hangisi aksesuar dişli kutusuna monte edilen bileşenlerden değildir?

A) FCU
B) Jeneratör
C) Starter
D) Yağ pompası
E) Yük kontrol valfi

8. FCU üzerinde bulunana yakıt selenoidi APU devri, % kaç RPM olduğunda enerjilenerek açılır ve yakıta yol verilir?

A) 1-6
B) 3-5
C) 5-8
D) 7-10
E) 9-12

9. Yağlama sistemi ile ilgili aşağıda verilen bilgilerden hangisi yanlıştır?

A) Dişliler ve çevrilen cihazların yağlanmasını sağlayan bir sistemdir.
B) Isıyı üzerine alarak sistem parçalarının soğumasını sağlar.
C) Sistem parçaları arasından geçerek sürtünme oranını azaltır.
D) Yağ soğutucusu soğutma havası borular arasından geçerken yağı ısıtır.
E) Sistem elemanları; yağ tankı, yağ pompası, dönüş pompası,yağ basınç regülatör valfi, yağ filtresi, yağ soğutucusundan oluşur.

10. Ateşleme sisteminde bulunan bujilerin ateşlemesi, motor devri yüzde kaç RPM olunca otomatik olarak devre dışı kalır?

A) 30
B) 42
C) 78
D) 80
E) 95

11. APU, uçak üzerinde genel olarak nerelere monte edilmiştir?

A) Basınçlı ve boylam eksenine dik, özel yerlerine
B) Basınçsız ve yalıtılmış özel yerlerine
C) Sadece talecone denilen kuyruk kısmına
D) Ön iniş takımı yuvasına
E) Kargo kompartmanına

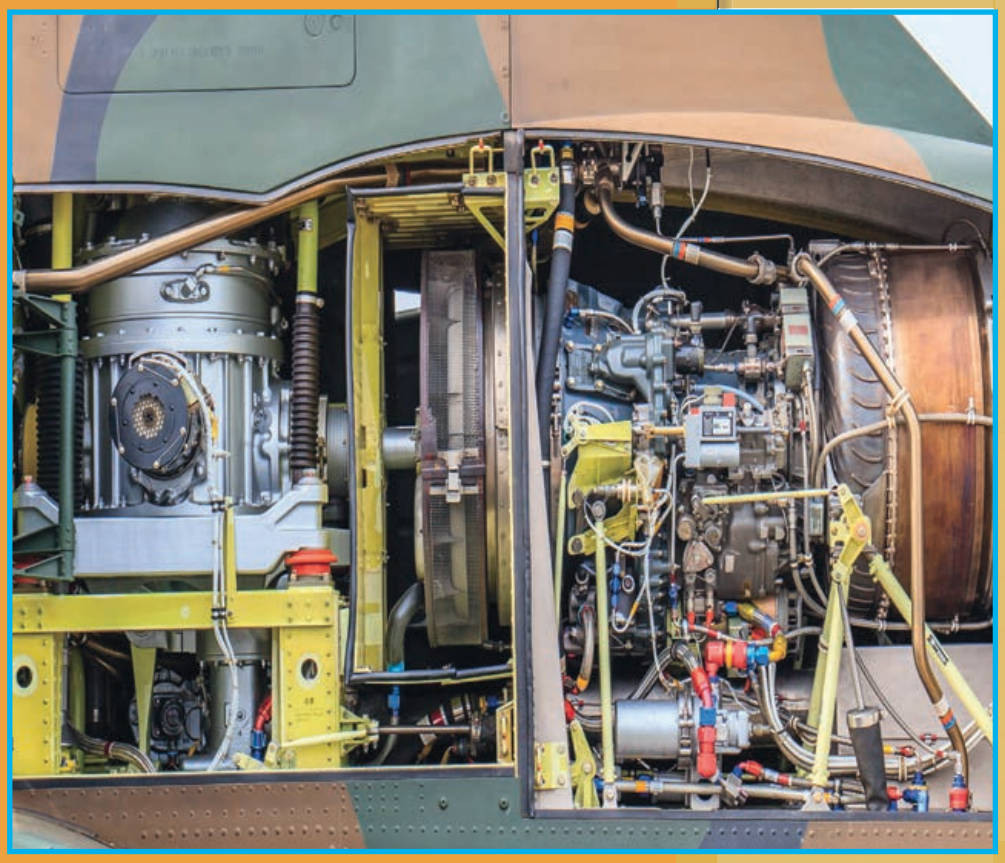
12. APU'nun ana kısımları aşağıdakilerden hangisinde doğru şekilde sıralanmıştır?

A) Kompresör, yanma odası, dişli kutusu ve egzoz
B) Kompresör, yanma odası, türbin ve egzoz
C) Kompresör, türbin, yanma odası ve dişli kutusu
D) Türbin, yanma odası, kompresör, egzoz
E) Türbin, kompresör, yanma odası, dişli kutusu

13. Yağlama sistemi ile ilgili aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

A) APU'nun ihtiyacı olan yağı dempolamak için yağ tankı bulunur.
B) Yağ pompası ile depodaki yağı sisteme basar.
C) Dönüş pompası aracılığıyla sisteme gerekli yağı gönderir.
D) Yağın içerisinde bulunabilecek kir ve metal parçacıkları yağ filtresi ile temizler.
E) Yağ soğutucusu ile yağın soğuması sağlanır.

6.
ÖĞRENME BİRİMİ



TURBOSHAFT MOTORLAR

KONULAR

6.1. TURBOSHAFT MOTOR KISIMLARININ BAKIMI
6.2. REDÜKSİYON DİŞLİLERİNİN KONTROL VE BAKIMI
6.3. TURBOSHAFT MOTOR BAĞLANTILARININ KONTROL VE BAKIMI
6.4. TURBOSHAFT MOTOR SİSTEMLERİNİN BAKIMI

TEMEL KAVRAMLAR

dişli, dişli kutusu, kuplaj (kavrama), mil, sistem

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- **Turboshaft motorun bölümleri**
- **Turboshaft motorlarda devire azaltma dişlileri çeşitleri**
- **Turboshaft motor kuplajlar ve diğer bağlantı elemanları**
- **Turboshaft motorlarda kullanılan sistemler ve görevleri**

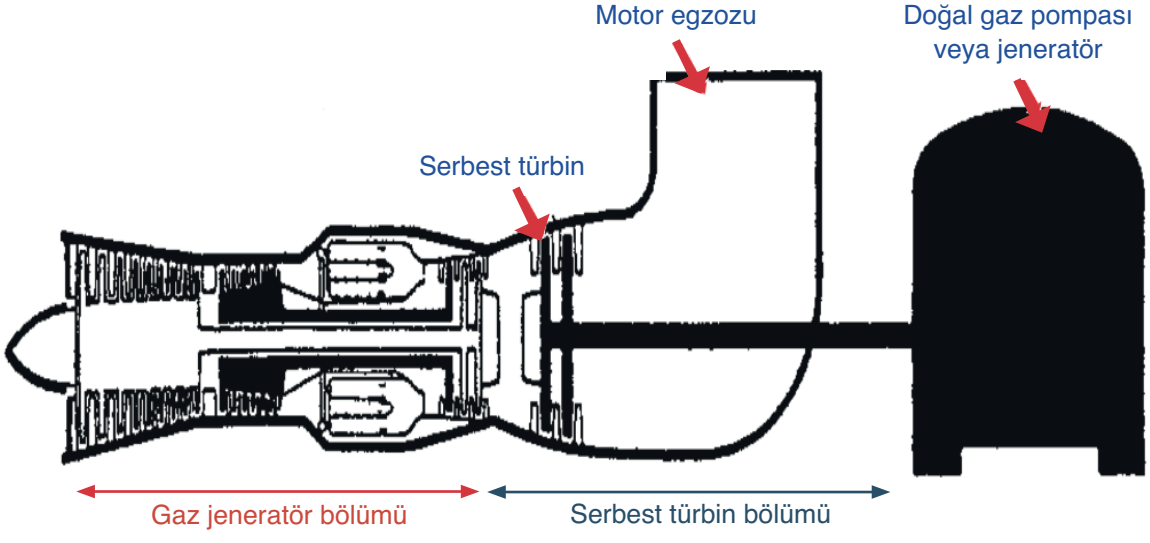
HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

1. **Turboshaft motorların araba, gemi, helikopter gibi farklı araç ve alanlarda kullanılmasının nedeni ne olabilir? Fikirlerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.**
2. **Turboprop motorlarda olduğu gibi turboshaft motorlarda da bulunan devir azaltma dişlileri sizin için ne anlam ifade ediyor? Turboshaft motorlardaki devir azaltma dişlilerinin işleyişi ile ilgili fikirlerinizi arkadaşlarınız ile paylaşınız.**

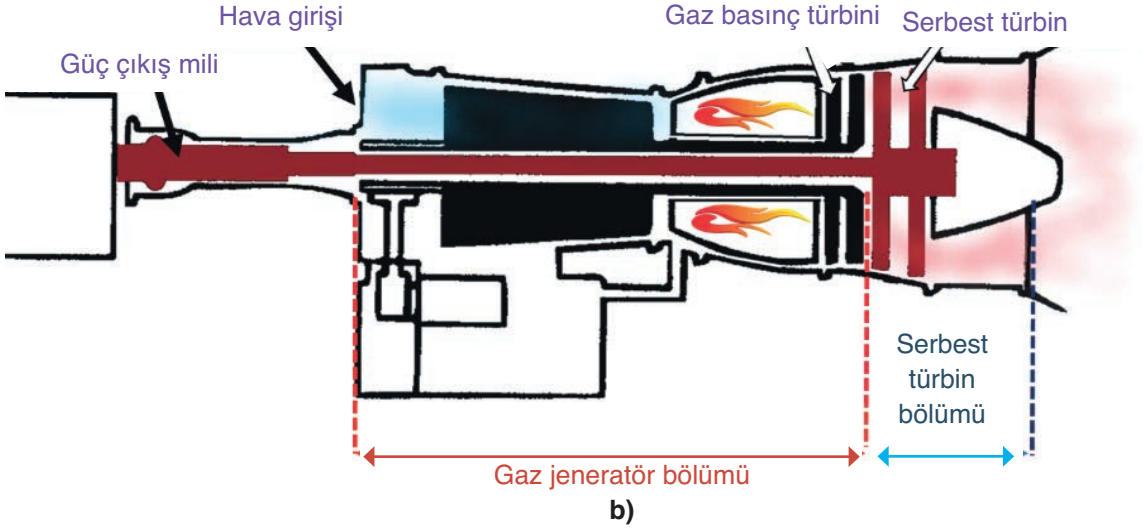
6.1. TURBOSHAFT MOTOR KISIMLARININ BAKIMI

Tubojet motorların çalışma şeklinde motora alınan hava kompresörde sıkıştırılır, yanma odasında yakıt ile karıştırılır ve ateşlenir, ateşlenmenin sonucunda oluşan gaz itme kuveti oluşturur. Turbojet, turboprop ve turboshaft motorlar aynı şekilde çalışır. Aralarındaki fark, turboprop motorlarda üretilen itme kuvvetinin türbin ve mil aracılığıyla motorun önünde bulunan pervaneyi döndürmesidir. Turboshaft motorlarda ise milin ucunda bir pervane bulunmaz. Üretilen güç, çark, dişli ve benzeri parçaları döndürmek için bir mile iletilir (Görsel 6.1a, b)

Redüksiyon dişlisine sahip turboshaft motorlar; gemi, araba, helikopter gibi araçlara güç sağlamak için kullanılır. Ayrıca bazı ülkelerde doğal gaz pompalamak ve elektrik üretmek amacıyla da kullanılmaktadır. Turboshaft motorlar, farklı araçlarda çeşitli amaçlarla kullanılsa da özellikle helikopterler için büyük öneme sahiptir. Helikopterlerde kullanılan turboshaft motorlar, pilot güç kaybı yaşadığında tahrik sistemlerinin otomatik olarak iniş yapabilmesini sağlamak için debriyajlarla donatılmıştır. Büyük helikopterler genellikle şanzıman sistemiyle birlikte çalışan iki motora sahiptir. Helikopterde bulunan bir kavrama sayesinde tek motorla da çalışma imkânı bulunur.



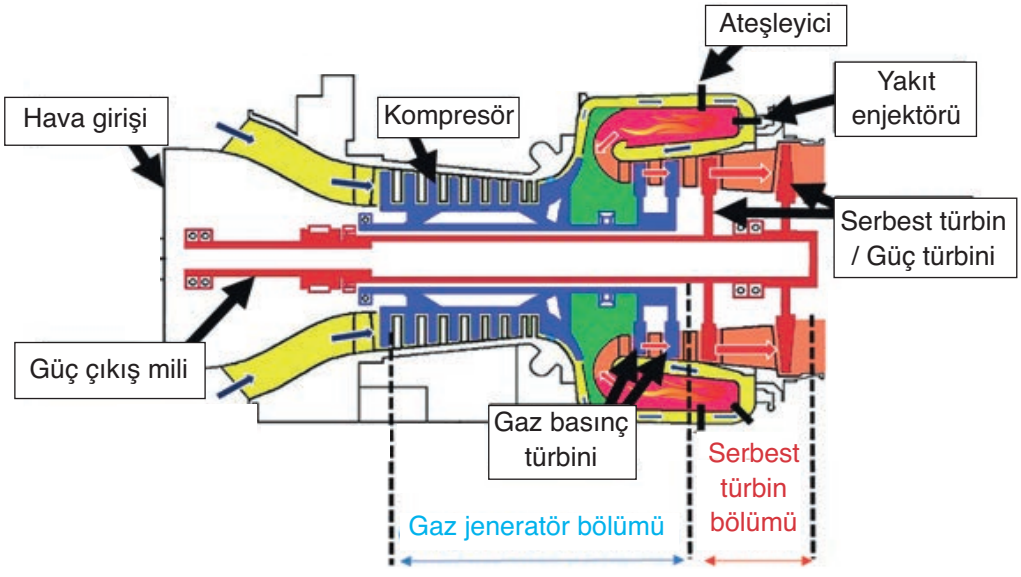
a)



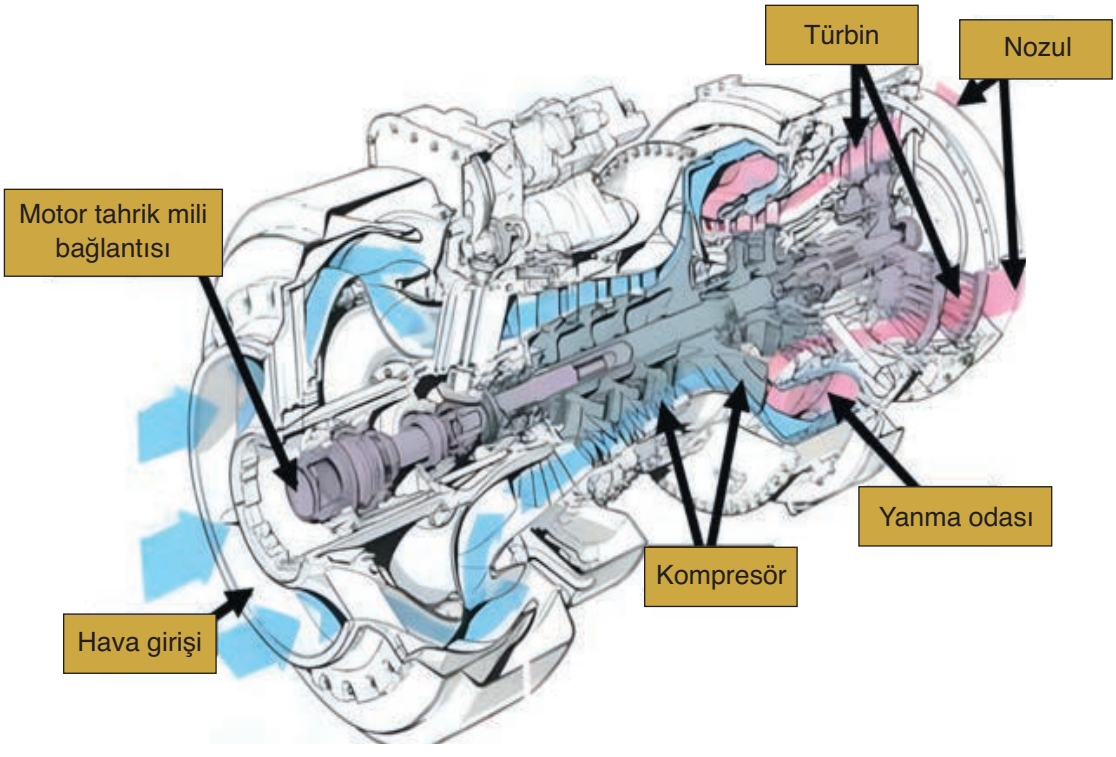
b)

Görsel 6.1: Turboshaft motor çeşitleri

Turboshaft motorları, havacılık sektöründe birçok helikoptere güç sağlamak için kullanılır. Bu tip motorlar gaz jeneratörü ve güç türbini (serbest türbin) olmak üzere iki ana bölümden oluşur (Görsel 6.2a, b). Gaz jeneratörü, güç türbini için gerekli enerjiyi üretir. Gaz jeneratörü, kompresörün dönmesini sağlamak için gaz basınç türbini tarafından kullanılan enerjinin bir kısmını harcar. Kalan enerji ise güç türbinini döndürmek için kullanılır. Güç türbini ve güç çıkış mili birbirine bağlıdır. Güç türbinin dönmesi bağlı olduğu mili de döndürür. Milin hareketi, devir azaltma dişlilerine iletilir.



a)



b)

Görsel 6.2: Turboshaft motorun ana kısımları

6.1. UYGULAMA: Turboshaft Motor Kısımlarının İlgili AMM'ye Göre Sökülmesi ve Bakımının Yapılması

Amaç: Turboshaft motor kısımlarını ilgili AMM'ye göre söküp, bakımını yaparak yerine takmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Turboshaft motor	Turboshaft motor	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipmanlar kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili uçak AMM'sinde turboshaft motor kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve helikoptere efektif olduğundan emin olunuz.
6. AMM'ye göre turboshaft motorun parçalarını sökünüz.
7. AMM'ye göre turboshaft motorun parçalarına gerekli bakımları yapınız.
8. AMM'ye göre turboshaft motor parçalarını yerlerine takınız.
9. Çalışma ortamını temizleyiniz.
10. Kullanılan araç gereci aldığınız yere koyduğunuzdan emin olunuz.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Turboshaft motorun parçaları sökülürken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Turboshaft motorun parçalarına bakım yapılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Bakım sonunda turboshaft motorun parçaları takılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

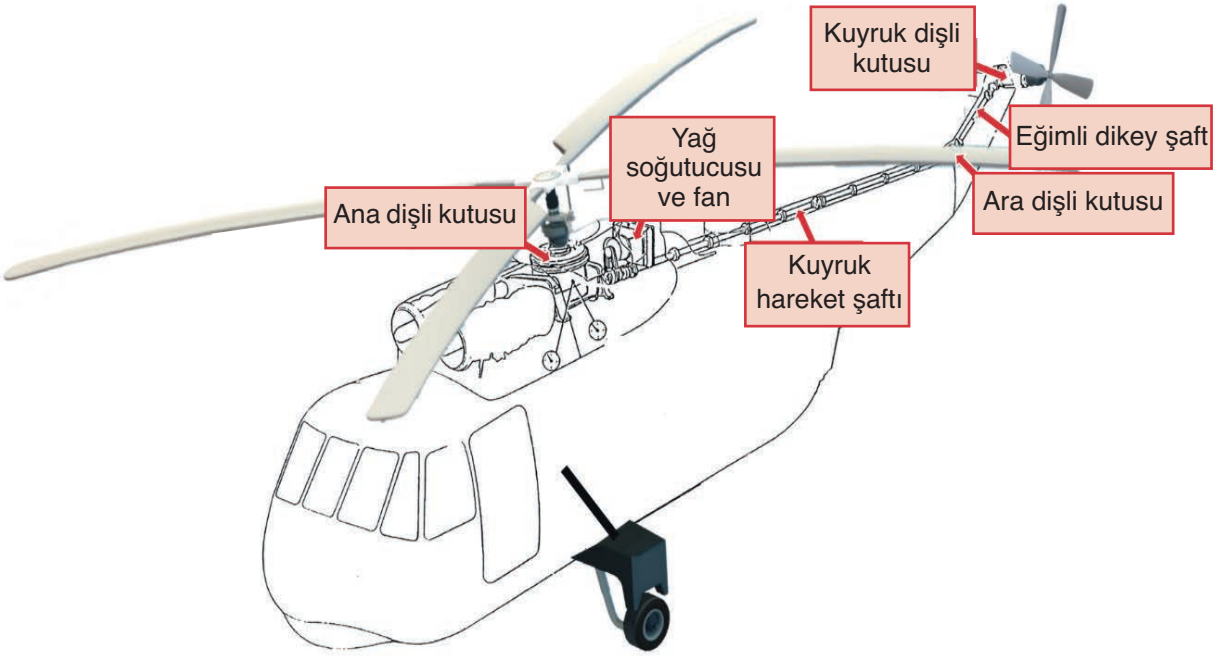
Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

6.2. REDÜKSİYON DİŞLİLERİNİN KONTROL VE BAKIMI

Turboshaft motorlarda farklı işlevlere sahip birden fazla dişli kutusu bulunur. Kutular arasında redüksiyon dişli kutusu, ana dişli kutusu, ara dişli kutusu ve kuyruk dişli kutusu yer alır. Dişli kutuları, motor gücünü çeşitli yollarla iletmek ve yönlendirmek için kullanılır.

Redüksiyon dişli kutusu, motorun yüksek devirli dönme hareketini daha düşük devirli bir çıkışa dönüştürerek ana rotora aktarır. Ana dişli kutusu, motor gücünü ana rotor miline ileten anahtar bir bileşendir. Ara dişli kutusu, motor gücünün çeşitli aksesuarları (hidrolik pompalar, jeneratörler vb.) çalıştırmak için yönlendirilmesini sağlar. Kuyruk dişli kutusu ise kuyruk rotorunu hareketlendirir.

Dişli kutuları, motor güç milinin yüksek devir sayısını düşürerek daha uygun bir hızda çalışmasını sağlar. Aynı zamanda hareket yönünü ve açısını değiştirerek farklı bileşenler arasında verimli bir hareket iletimi gerçekleştirir (Görsel 6.3).



Görsel 6.3: Turboshaft motorlarda devir azaltma dişlileri

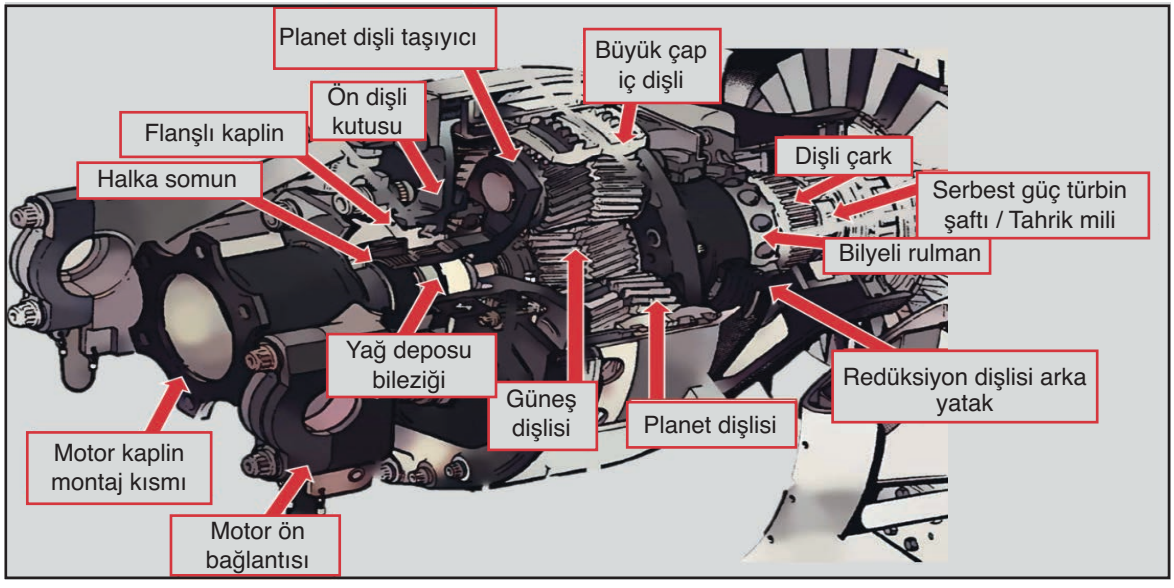
6.2.1. Redüksiyon Dişli Kutusu

Turboshaft motorlarda yanma sonucu üretilen güç, motor güç miline iletilir ancak helikopterlerin ana rotorları sabit ve düşük hızlarda dönmelidir, bu nedenle tahrik milinin yüksek devir hızı doğrudan ana rotora aktarılmaz. Bunun yerine, tahrik milinin çıkışına devir azaltma dişlileri (redüksiyon dişli kutusu) yerleştirilir. Bu dişliler, tahrik milinin yüksek devir hızını azaltarak uygun bir hıza dönüştürür.

Helikopterlerde motor ve dişli kutusu tasarımı; motorun sökülmesi, redüksiyon dişli kutusunun bakımı, onarımı gibi işlemleri kolaylaştıracak şekilde yapılmıştır. Bazı motorlarda redüksiyon dişlisi, doğrudan motora monte edilmiştir. Böylece redüksiyon dişlisi motorun içerisinde bulunur. Bu düzenlemeler, helikopterlerdeki güç aktarımını optimize ederek motorun yüksek devirli dönme hareketini uygun hıza dönüştürür. Ana rotor, bu durumda istenilen sabit ve düşük hızlarda dönebilir.

Bazı turboshaft motorlarda dişli kutusu redüksiyon şanzımanı motorun önünde bulunur. Dişli kutusu, güç türbin milinden gelen 27.000 RPM'lik çıkış hızını alır ve iki kademeli episiklik dişli takımı kullanarak bu hızı yaklaşık 6000 RPM'ye düşürür. Bu, yaklaşık olarak 4,5:1'lik bir hız düşüşüdür. Düşürülen hız, doğrudan ana rotor dişli kutusuna aktarılır. Bu hız, ana rotor dişli kutusuna uygun bir hız sağlamak

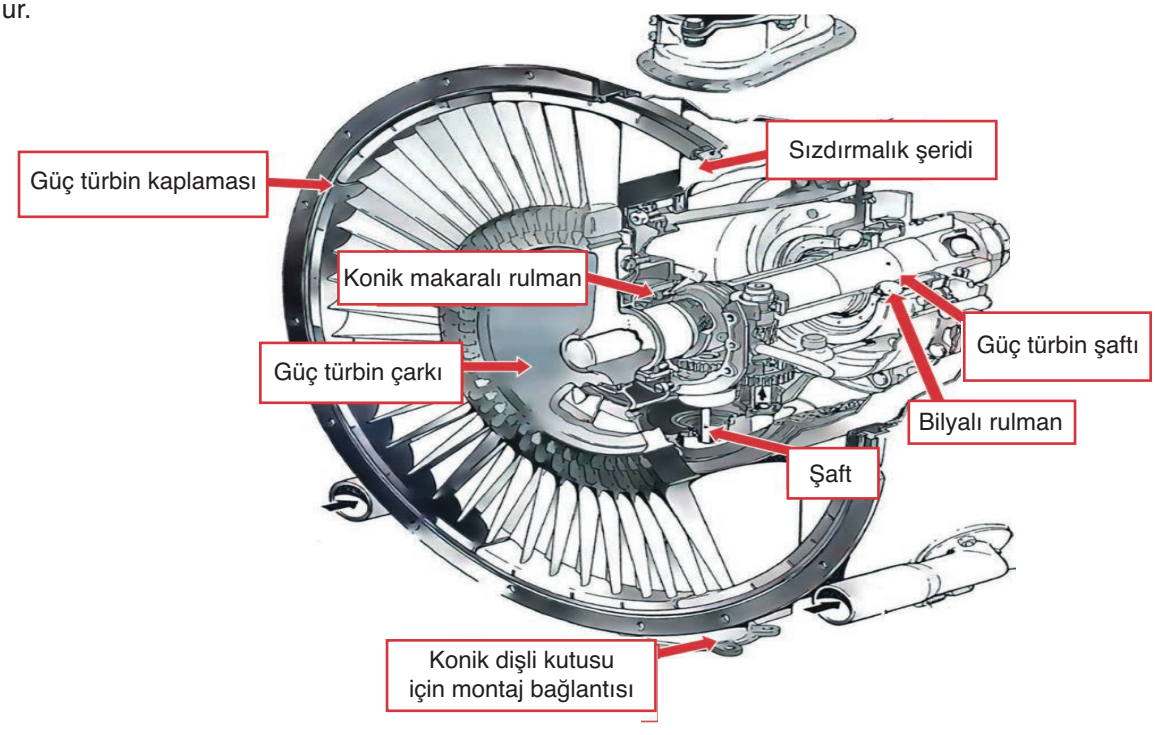
amacıyla belirlenmiştir. Ana rotor dişli kutusundan çıkan hız ise 250-300 RPM aralığına düşer (Görsel 6.4).



Görsel 6.4: Redüksiyon şanzımanı motorun önünde bulunan turboshaft motor

Redüksiyon mekanizması sayesinde turboshaft motorları sadece helikopterlerde değil, aynı zamanda deniz araçlarında, elektrik üretim istasyonlarında, pompa istasyonlarında vb. birçok yerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

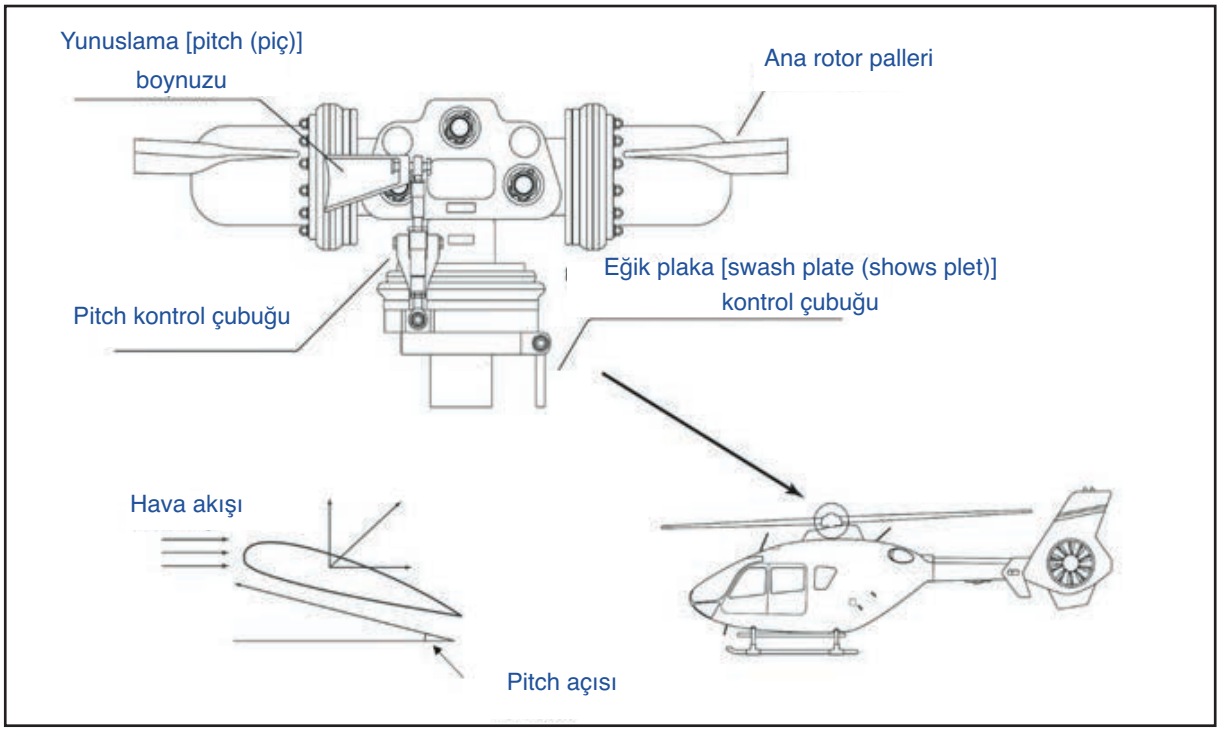
Bazı turboshaft motorların güç türbin hızı diğer turboshaft motorlara göre daha düşüktür. Bu nedenle redüksiyon dişli kutusu, gücü doğrudan ana rotor dişli kutusuna iletir (Görsel 6.5). Bir başka deyişle motorun çıkış hızı doğrudan ana rotorun dönme hızını sağlamak için kullanılır. Bu düzenleme, redüksiyon dişli kutusu aracılığıyla gücün doğrudan ana rotora iletilmesini sağlayarak daha verimli bir güç aktarımı sağlar. Turboshaft motorlarının bu özelliği, helikopterin güvenilir ve etkili bir şekilde çalışmasına yardımcı olur.



Görsel 6.5: Türbin hızı daha düşük turboshaft motoru

6.2.2. Ana Rotor

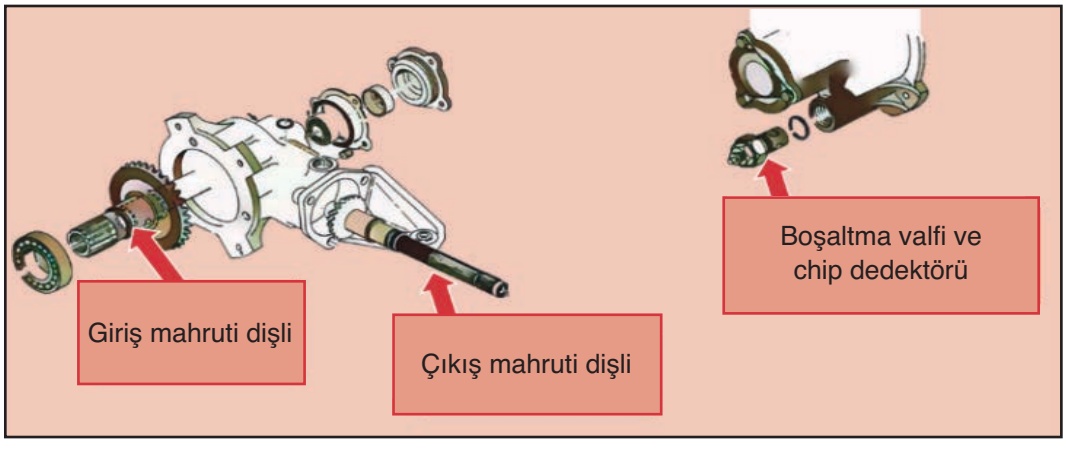
Helikopterlerde **ana rotor** bir diğer adı ile **pervane**, helikopterin dikey kalkış yapmasını ve ileri doğru hareket etmesini sağlayan dönen kanatların toplamına verilen isimdir. Pervaneyi oluşturan kanatların her birine ise **pal** denilir. Ana rotorun pallerinin açıları değiştirilerek helikopterin hareket yönünde değişiklik yapılabilir. Bir başka deyişle pal açıları değiştirilerek helikopterin sağa sola dönmesi sağlanır (Görsel 6.6). Kontrol mekanizması sayesinde helikopter pilotu istenilen yönde ve hızda hareket edebilir.



Görsel 6.6: Turboshaft motorlarda ana rotor

6.2.3. Kuyruk Rotor Dişli Kutusu

Kuyruk rotor dişli kutusu, bir giriş dişlisi ve bir çıkış dişlisi olan basit dişli kutusudur. Kuyruk rotorunun ihtiyacına göre iki dişli arasına hızı artırmak yada azaltmak için dişli gurubu eklenir. Dişli kutusu genellikle titreşim emici cihazlar olmadan doğrudan gövdenin arka ucuna monte edilir (Görsel 6.7).



Görsel 6.7: Kuyruk rotor dişlisi

6.2. UYGULAMA: Turboshaft Motorunun Ana Rotor ve Redüksiyon Dişlilerinin İlgili AMM'ye Göre Sökülmesi ve Bakımının Yapılması

Amaç: Turboshaft motorunun ana rotor ve redüksiyon dişlilerini ilgili AMM'ye göre söküp, bakımını yaparak yerine takmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Turboshaft motor	Turboshaft motor	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili helikopter AMM'sinde turboshaft motor kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve helikoptere efektif olduğundan emin olunuz.
6. AMM'ye göre ana rotoru sökerek bakımını yapınız.
7. AMM'ye göre ana rotorun bakımını yaptıktan sonra redüksiyon dişlilerini sökerek bakımını yapınız.
8. AMM'ye göre ana rotor ve redüksiyon dişlilerinin bakımını yaptıktan sonra sırasıyla yerlerine takınız.
9. Çalışma ortamını temizleyiniz.
10. Kullanılan araç gereci aldığınız yere koyduğunuzdan emin olunuz.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Ana rotor ve redüksiyon parçaları sökülürken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Ana rotor ve redüksiyon parçalarına bakım yapılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Bakım sonunda ana rotor ve redüksiyon parçaları takılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

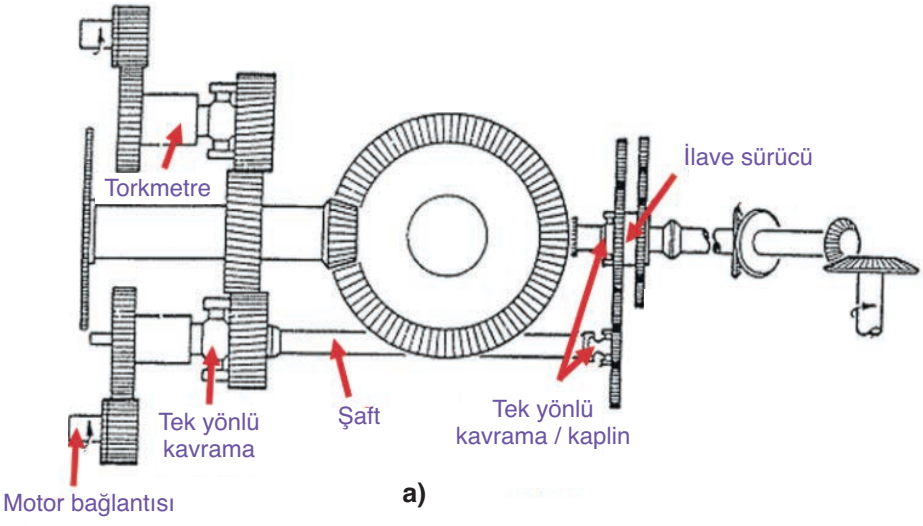
6.3. TURBOSHAFT MOTOR BAĞLANTILARININ KONTROL VE BAKIMI

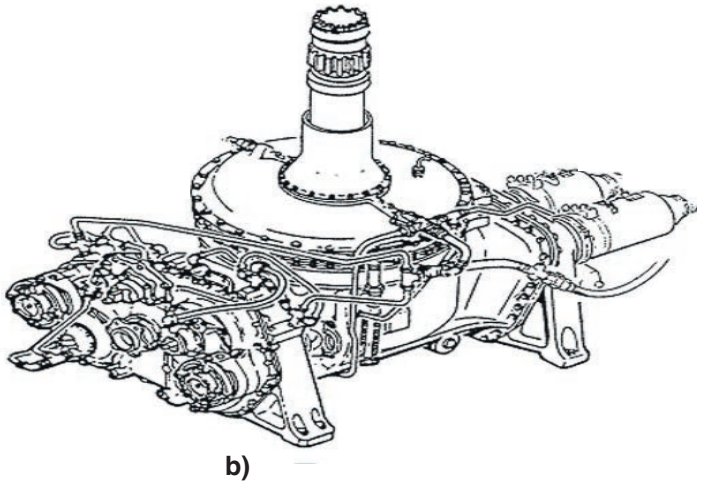
Turboshaft motorunun bağlantıları, güç türbini tarafından üretilen dairesel hareketi ana rotor ve kuyruk rotor arasında iletmek için kullanılır. Helikopterlerde motorun ürettiği gücü ana rotor ve kuyruk rotoruna aktaran sisteme **ana güç aktarma sistemi** denir. Ana güç aktarma sistemi; motor-main gear box (ana dişli kutusu) bağlantı şaftları, ana dişli kutusu, ana dişli kutusu yağlama ünitesi, rotor freni, ana dişli kutusu bağlantılarından oluşmaktadır.

6.3.1. Ana Dişli Kutusu Bağlantı Şaftları

Birçok helikopterde motor ile ana dişli kutusu arasındaki hareket iletimi, kısa şaft sistemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu şaftların bazıları yağsız çalışırken bazıları gres yağı ile yağlanması gereken bölümlere sahiptir. Ayrıca hem rotorun hem de motorun bağımsız olarak hareket etmesine izin vermek için kaplinler veya kavramalar kullanılır. Bu elemanlar, iki bileşen arasında güvenli bir şekilde enerji ve hareket iletimini sağlar.

Görsel 6.8'de helikoptere ait motor ile ana rotor arasındaki bağlantı elemanları gösterilmektedir. Bu helikopterde yaklaşık 1400 SHP (şaft beygir gücü) üreten turboshaft motor bulunur.





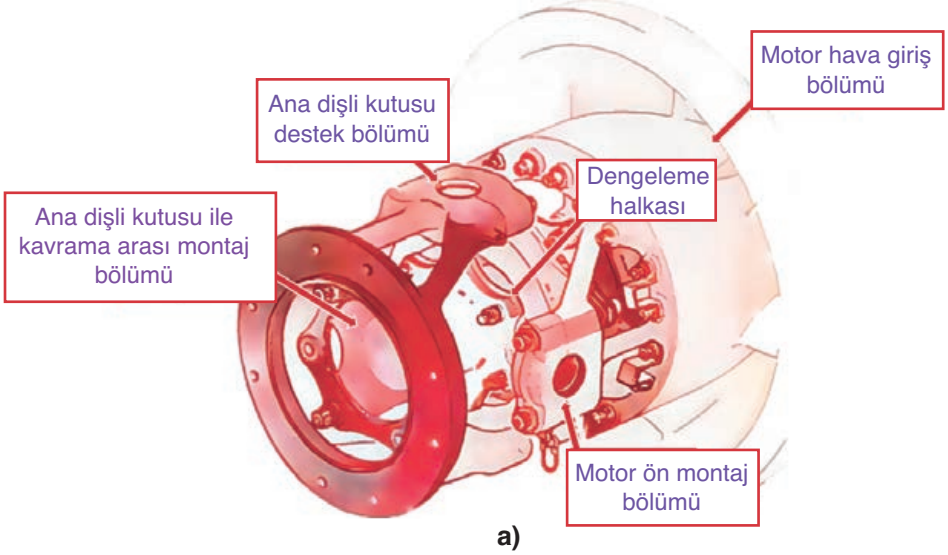
Görsel 6.8: Motor ile ana rotor arasındaki bağlantı elemanları

Helikopterlerde yaygın olarak kullanılan kaplin çeşidi Thomas (Tomıs) kaplinidir. Bu kaplin, yüksek hızlı tahrik mili olarak da bilinir (Görsel 6.9). Kaplinin montajlanması sırasında doğru hizalamayı sağlamak için bir dizi çelik disk kullanılır. Şaft; rondela, cıvata ve somunlar kullanılarak motora sabitlenir. Böylece kaplinin doğru şekilde yerleştirilmesi ve bağlanması sağlanır.

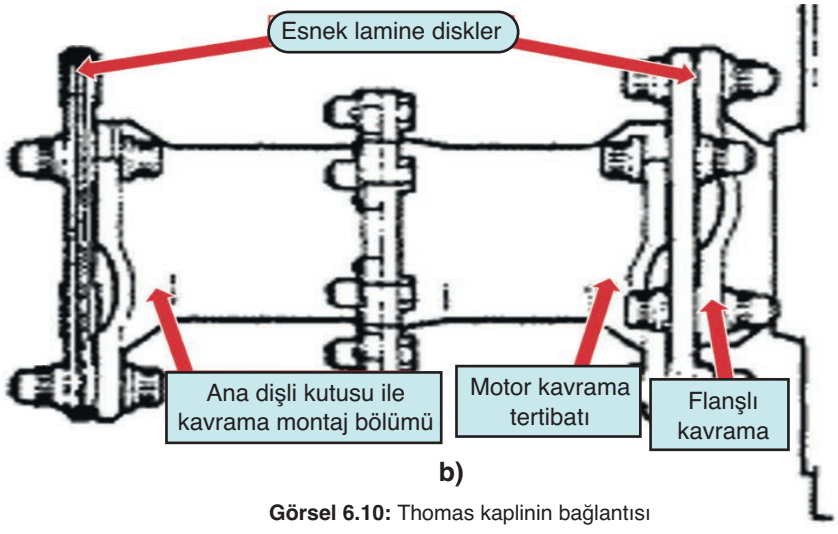


Görsel 6.9: Thomas kaplin

Thomas kaplini, motora farklı yöntemlerle monte etmek de mümkündür. Bu yöntemlerden biri, motorun ön kısmının redüksiyon dişli kutusuyla hava giriş kutusuna cıvatalanmasıdır. Bu montaj şekli, motora ek destek sağlama avantajına sahiptir (Görsel 6.10a, b). Böylece motorun daha sağlam bir şekilde yerleştirilmesi sağlanır.



a)

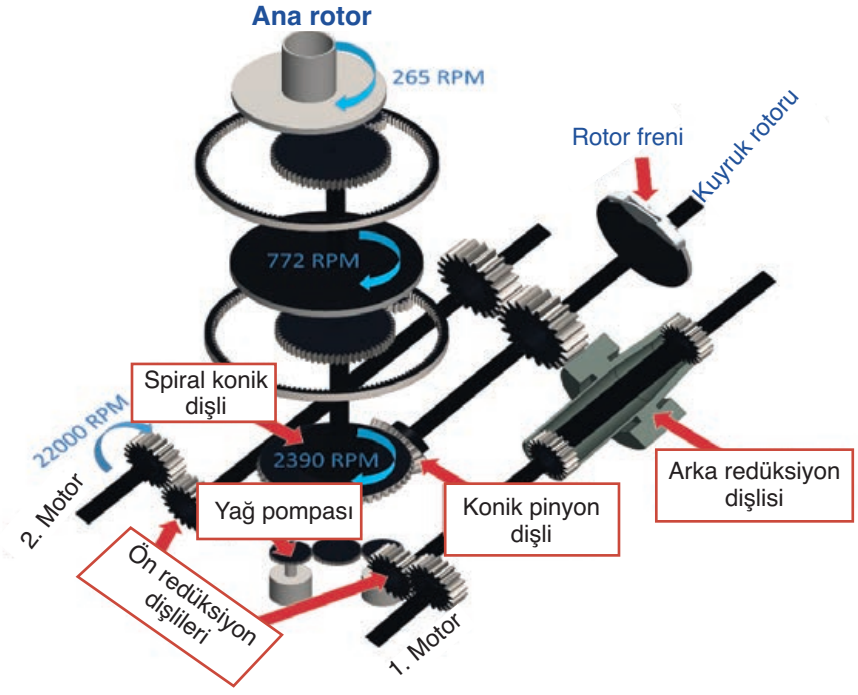


b)

Görsel 6.10: Thomas kaplinin bağlantısı

6.3.2. Ana Dişli Kutusu

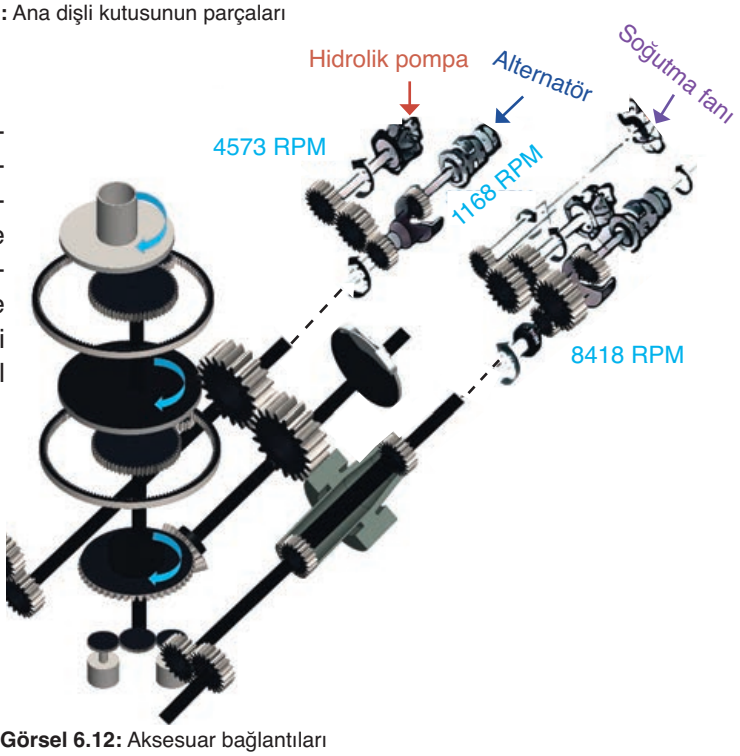
Helikopterlerde ana dişli kutuları ayna mahruti dişli, planet çevre dişli, pinyon dişli gibi makine elemanlarını barındıran yapıdır (Görsel 6.11). Ana dişli kutusunun görevi helikopterde bulunan diğer dişli kutuları gibi motorun güç çıkış milinden gelen yüksek devri düşürmek ve hareket yönünü değiştirmektir. Tipik bir ana rotor dişli kutusu giriş muhafazası, alt muhafaza ve yatak desteği, arka kapak, episiklik halka muhafazası, üst muhafazadan oluşur. Alt yatak ve yatak desteği alt tahrik milini taşır. Episiklik dişli sistemi devir sayısında kısa mesafede büyük bir azalma sağlar. Üst yuva ana rotor milini bir çift dişli ile destekler. Motoru çalıştırmak için arka kapak ve alt muhafaza aksesuarları kapağın içindeki düz dişlilerden oluşan bir dişli takımını destekler.



Görsel 6.11: Ana dişli kutusunun parçaları

6.3.2.1. Aksesuar Bağlantısı

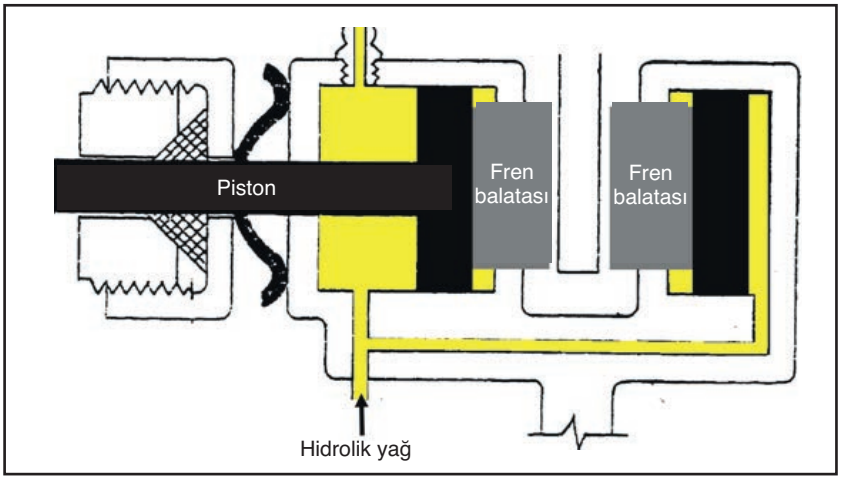
Alternatör, hidrolik pompa gibi eklentilerin (aksesuar) çalışmasını sağlayan bağlantılardır. Aksesuarların doğru biçimde çalışması hayati öneme sahiptir. Aksesuarlar doğru çalışmazsa helikopterin elektrik sistemlerinde aksama, motorda aşırı ısınma gibi problemler meydana gelir (Görsel 6.12).



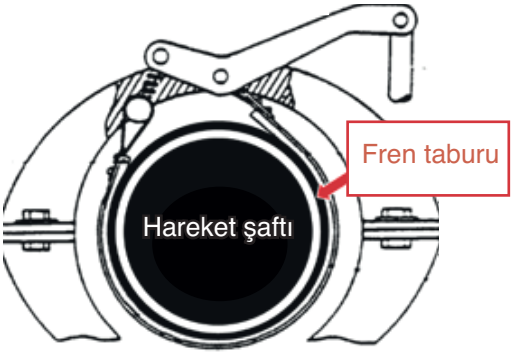
Görsel 6.12: Aksesuar bağlantıları

6.3.3. Rotor Freni

Rotor frenleri, helikopter rotorlarının inişten sonra rüzgârla kendi kendine dönmesini engeller. Tek yönlü kavrama ünitesinden sonra şanzıman sistemi içerisinde herhangi bir yere takılabilir. Hidrolik (Görsel 6.13) ve mekanik (Görsel 6.14) olmak üzere iki tip rotor freni vardır.



Görsel 6.13: Hidrolik rotor freni



Görsel 6.14: Mekanik rotor freni

6.3.4. Güç Aktarma Dişlilerinin Kontrol Noktaları

Ön redüksiyon dişlileri, arka redüksiyon dişlileri, konik dişliler ve yağ pompasını döndüren dişlilerin yağ bakımlarını kontrol etmek için manyetik tapalar ve filtreler kullanılır. Ayrıca ana dişli kutusundaki pinyon dişlilerinin kontrolünü gerçekleştirmek için baroskop kullanılarak bir tarama yapılır (Görsel 6.15a, b). Bu sayede dişli kutusundaki önemli parçaların durumu incelenir ve gerekli önlemler alınır.



Görsel 6.15: Güç aktarma dişlilerinin kontrol noktaları

UYGULAMA 6.3: Turboshaft Motorunun Motor-Ana Dişli Kutusu Bağlantı Şaftları, Güç Aktarma Dişlileri ve Ana Dişli Kutusunun İlgili AMM'ye Göre Sökülmesi ve Bakımının Yapılması

Amaç: Turboshaft motorunun motor-ana dişli kutusu bağlantı şaftlarını, güç aktarma dişlilerini ve ana dişli kutusunu ilgili AMM'ye göre söküp, bakımını yaparak yerine takmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Turboshaft motor	Turboshaft motor	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipman kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili helikopter AMM'sinde turboshaft motor kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve helikoptere efektif olduğundan emin olunuz.
6. AMM'ye göre motor-ana dişli kutusu bağlantı şaftlarını sökerek bakımını yapınız.
7. AMM'ye göre güç aktarma dişlilerini sökerek bakımını yapınız.
8. AMM'ye göre ana dişli kutusunu sökerek bakımını yapınız.
9. AMM'ye göre motor-ana dişli kutusu bağlantı şaftlarını, güç aktarma dişlilerini ve ana dişli kutusunun bakımını yaptıktan sonra sırasıyla yerlerine takınız.
10. Çalışma ortamını temizleyiniz.
11. Kullanılan araç gereci aldığınız yere koyduğunuzdan emin olunuz.
12. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

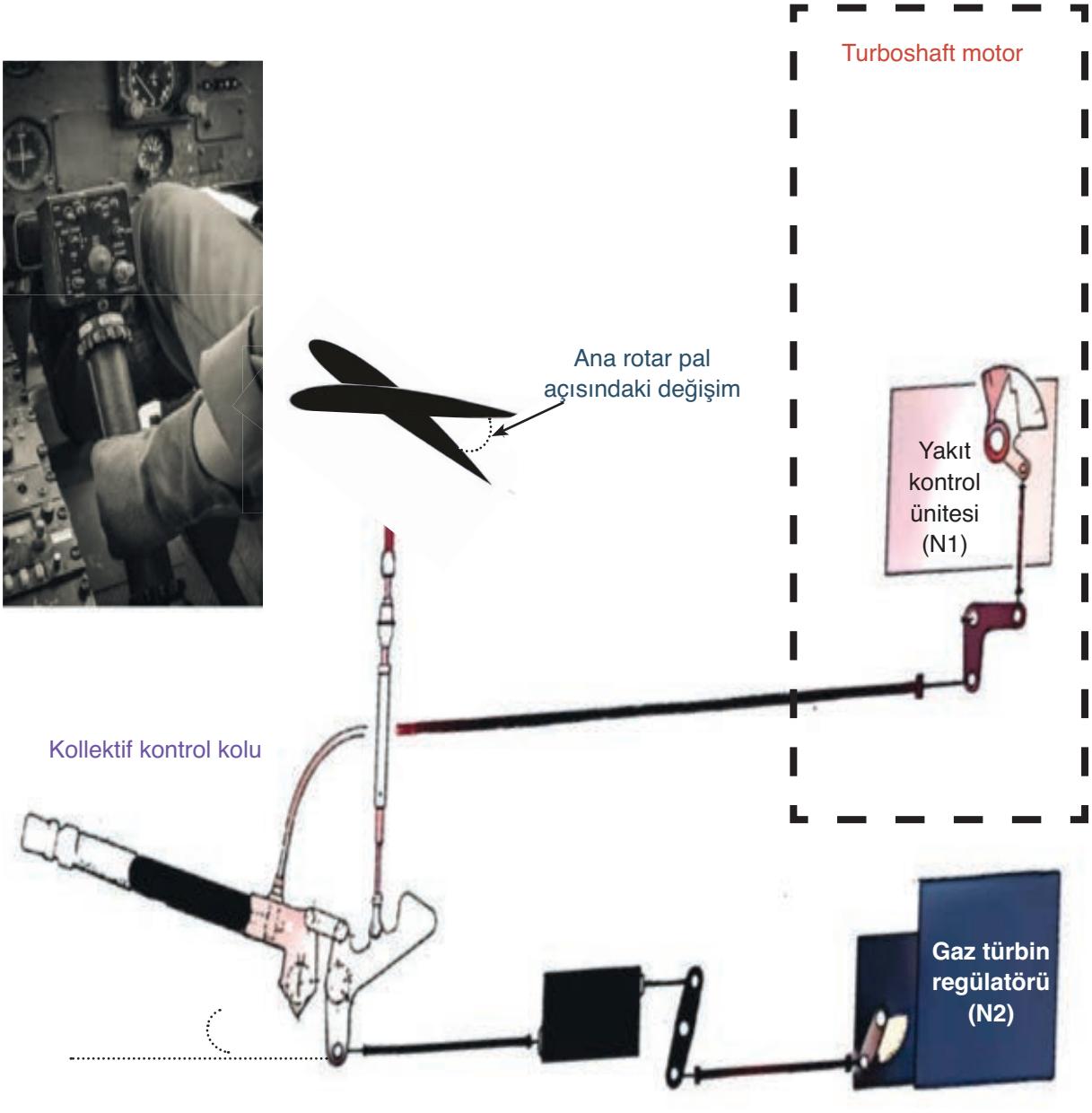
Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Motor-ana dişli kutusu bağlantı şaftları, güç aktarma dişlileri ve ana dişli kutusunun parçaları sökülürken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Motor-ana dişli kutusu bağlantı şaftları, güç aktarma dişlileri ve ana dişli kutusunun bakımı yapılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Bakım sonunda motor-ana dişli kutusu bağlantı şaftları, güç aktarma dişlileri ve ana dişli kutusunun parçaları takılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

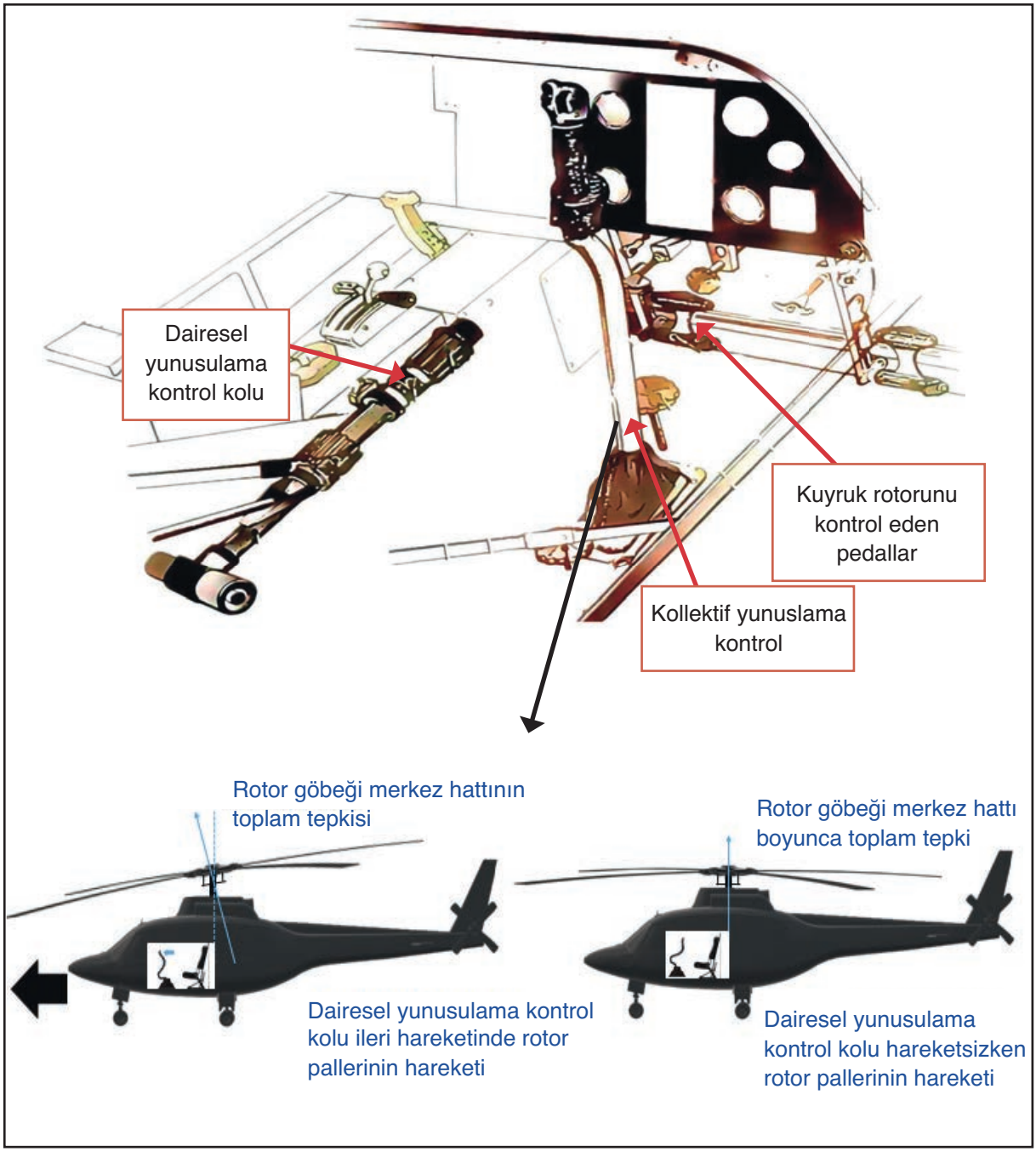
6.4. TURBOSHAFT MOTOR SİSTEMLERİNİN BAKIMI

Helikopterlerin dengeli uçabilmesi için kumanda sistemleri son derece önemlidir. Pilotlar, motor sistemlerini kontrol kolu ve pedallar aracılığıyla yönetir. Pilot, rotor hızını ayarlamak için kolektif çubuğun ucundaki hareketli çubuğu kullanır. Kolektif çubuğunu yukarı doğru çektiğinde ana rotor kanatlarının saldırı açısı ve yanal eğim açısı artar. Aynı zamanda yakıt akışını da artırır. Kolektif çubuğu aşağı doğru hareket ettirdiğinde ise motora giden yakıt akışı azalır. Standart bir turboshaft motoru için serbest güç türbin regülatörü (N2), yakıt kontrol ünitesi (N1), güç türbini giriş sıcaklığı (PTIT), ana rotor hızı (Nr), gaz kelebeği konumu ve tork parametreleri kullanılır. Bu parametreler, bilgisayarlar ve kokpit göstergeleri aracılığıyla izlenir (Görsel 6.16).



Görsel 6.16: Kollektif kontrol kolu

Pilotlar, helikopterin yönünü kontrol etmek için dairesel kontrol kolunu kullanır. Dairesel kontrol kolunu hareket ettirmek, rotor başının yukarı veya aşağı hareket etmesini ve böylece helikopterin istenilen yönde dönmesini sağlar (Görsel 6.17). Ana rotorun ürettiği torkun dengelenmesi gerekmektedir. Eğer ana rotorun ürettiği tork dengelenemezse helikopter gövdesi kontrolsüz bir şekilde ana rotorun tersi yönde döner (Newton'un üçüncü yasası: Eylem-reaksiyon yasası). Helikopterlerde en yaygın dengeleme yöntemi, helikopterin kuyruk kısmına yerleştirilen kuyruk rotorudur. Kuyruk rotoru bulunan helikopterlerde kuyruk rotorunun kontrolü pilot tarafından ayak pedallarıyla gerçekleştirilir.



Görsel 6.17: Dairesel yunuslama ve kuyruk rotor kontrolü

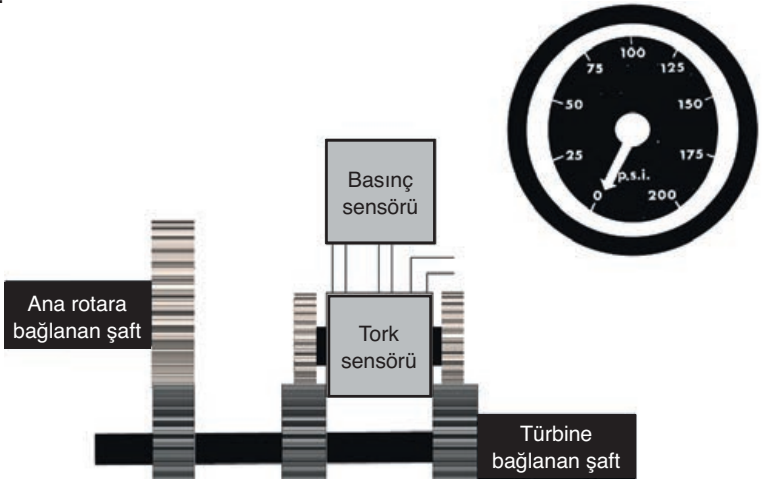
Dengeleme ihtiyacı, bazı helikopterlerde kuyruk rotoru yerine zıt yönde dönen iki ana rotor tarafından sağlanır. Bu tür helikopterlerde farklı rotor sistemleri kullanılır. Koaksiyel rotor sistemi, tek bir gövde üzerinde birbirine iç içe yerleştirilmiş iki ana rotorla çalışır. Geleneksel rotor sistemi tek bir ana rotor üzerine kuruludur. Tandem (ardışık) rotor sistemi ise arka arkaya konumlanmış iki ana rotordan oluşur. Tilt (eğilen) rotor sistemine sahip helikopter modellerinde ise rotorlar eğilebilir ve hem dikey kalkış hareketini hem de ileri uçuşu gerçekleştirebilir. Çeşitli rotor sistemlerine sahip helikopter modelleri, Görsel 18'de gösterilmiştir.



Görsel 6.18: Helikopter modelleri

6.4.1. Torkmetre Sistemi

Turboshaft ve turboprop motorları, turbojet ve turbofan motorları gibi yüksek itme kuvveti üretmez. Bu nedenle motorun ürettiği itme kuvvetini belirlemek için motor basınç oranı [EPR (engine pressure ratio-encın preşır reşıyo)] yöntemi kullanılmaz. Motorların ürettiği güç, **motor torku** olarak adlandırılır ve torkmetre göstergesinden okunur. Motor torku, beygir gücüyle doğru orantılıdır. Kokpit göstergesi olarak kullanılan hidromekanik tork gösterge sistemi; elektrikli verici, hidromekanik sensör mekanizması, ana tahrik dişlisi ve burulma dişlilerini içerir. Ana ve burulma milleri, onları tahrik eden türbin miliyle aynı hızda döner (Görsel 6.19).



Görsel 6.19: Torkmetre sistemi

6.4.2. Hareketli Hava Giriş Yön Kanatçıkları Sistemi

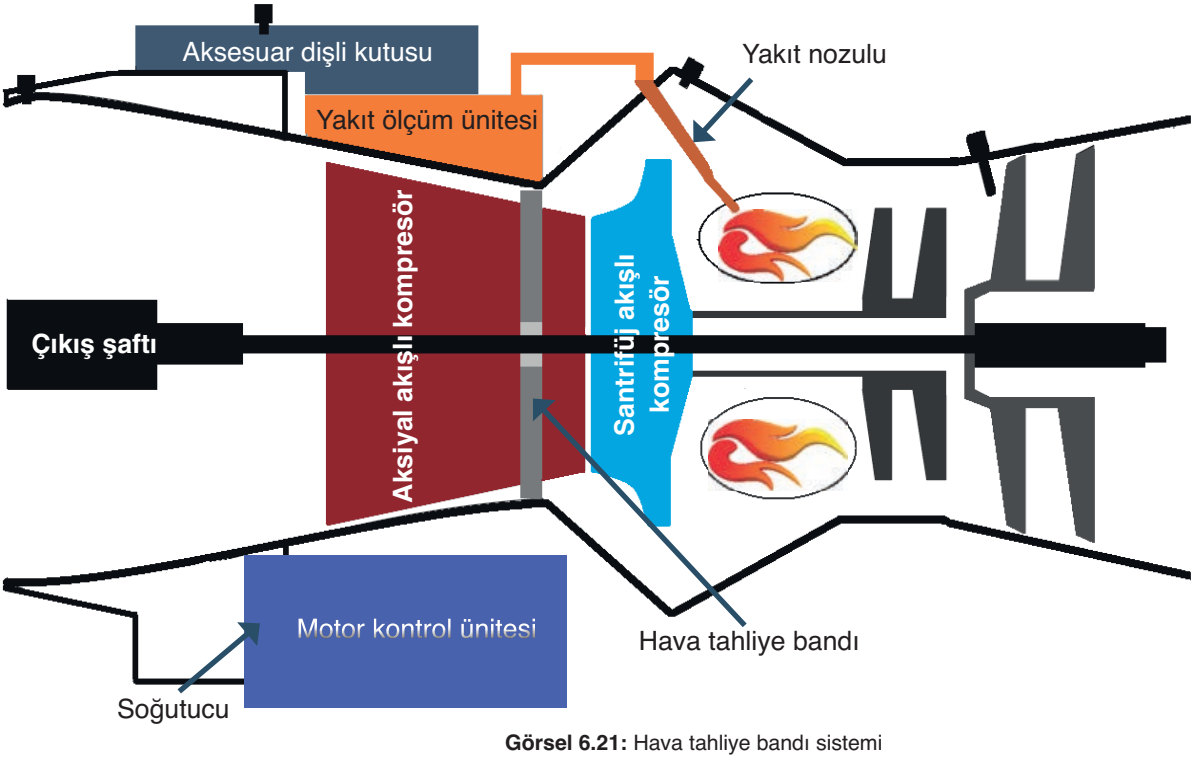
Turboshaft motorlarda motor güç modundayken fanın yükünü hafifletmek için kompresör rotorunun önüne daha büyük boyutlarda sabit ve hareketli kanatçıklardan oluşan bir dizi yerleştirilmiştir. Kanatçıklar, yakıt kontrol cihazından aldıkları komutlarla çalışır (Görsel 6.20).



Görsel 6.20: Hareketli hava giriş yön kanatçıklari sistemi

6.4.3. Hava Tahliye Bandı Sistemi

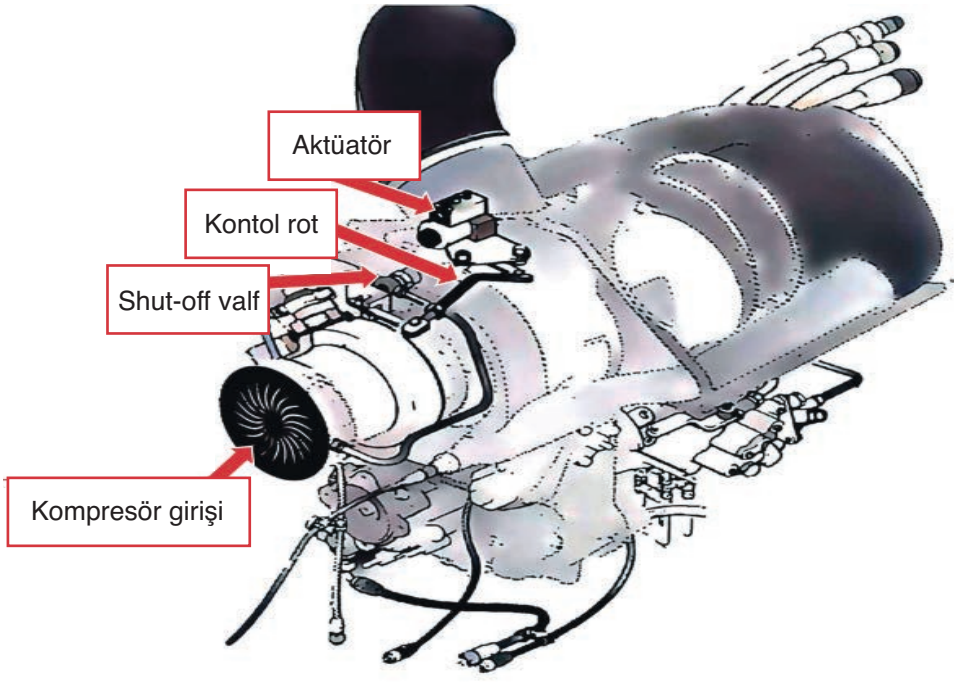
Turboshaft motorlarda hava tahliye sistemi, motorun ilk çalışma esnasında ve motor düşük devirde çalışıyorken motorun hızlanması için kullanılır. Yüksek devirde çalışan bir motor için gaz kesilmesi gibi arıza durumunda normal bir yavaşlama sağlamak için kompresördeki havanın bir kısmını atmosfere bırakarak basıncı düşürür. Bu işlem, tahliye bandı adı verilen iki saç levhanın yer aldığı kanalların üzerine yerleştirilmiştir. Havanın kompresörden tahliye edilmesi, tahliye bantlarının açılıp kapanmasıyla gerçekleşir. Tahliye bantlarının açılıp kapanması, piston ve silindirlerden oluşan bir kontrol cihazı olan aktüatör tarafından kontrol edilir (Görsel 6.21).



Görsel 6.21: Hava tahliye bandı sistemi

6.4.4. Buz Önleme Sistemi

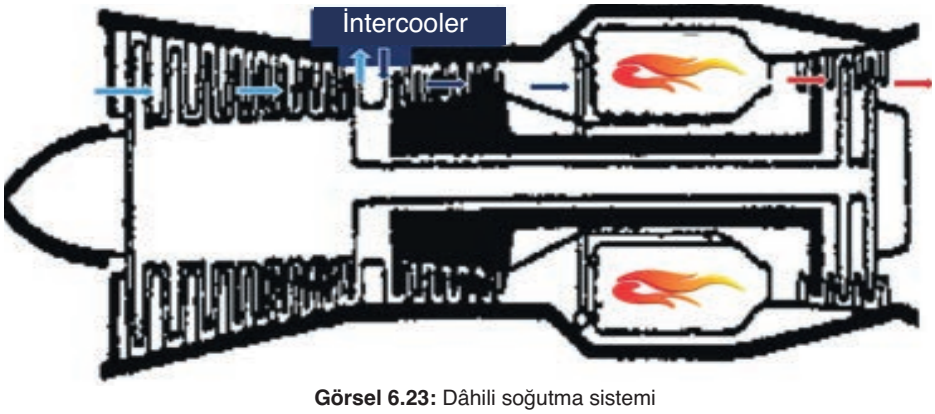
Turboshaft motorlarda buz önleme sisteminin parçaları marka ve modele göre değişebilir. Turboshaft motorlarında genel olarak buz önleme sistemi; hava kapama valfi, aktüatör, borular ve bağlantı parçalarından oluşur. Kapatma valfi ve aktüatör, motorun üst kısmına monte edilmiştir. Hava, kompresörün ön yüzündeki tahliyeden kesme valfi ve aktüatör tarafından kontrol edilerek çekilir (Görsel 6.22). Valf açık konumdayken sıcak hava; valf aracılığıyla sırasıyla kompresör girişine, kılavuzlara ve ön yatak göbeğine yönlendirilir. Bu sayede buzlanma önlenmiş olur.



Görsel 6.22: Buz önleme sistemi

6.4.5. Dâhili Soğutma Sistemi

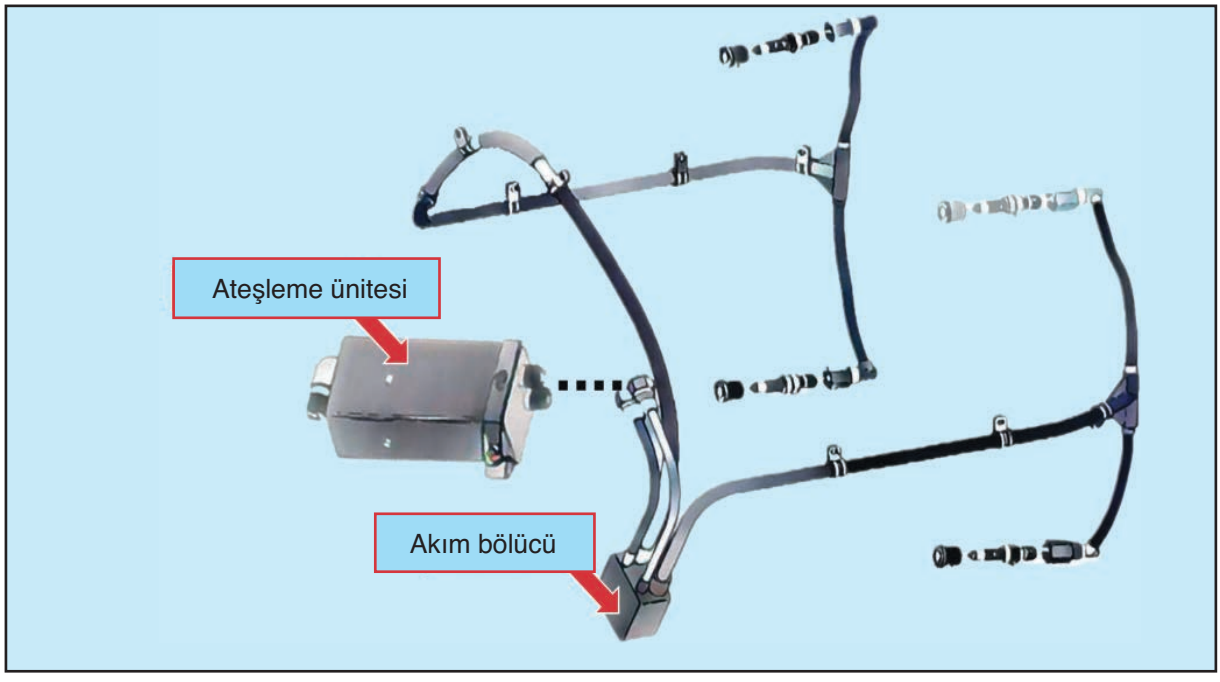
Dâhili soğutma sistemi [intercooler system (interkoolır sistım)], aynı zamanda ara soğutma sistemi olarak da bilinir. Bu sistem; yanma odası, kompresör, türbin gibi motor parçalarının daha etkili bir şekilde soğumasını sağlayarak motor verimini artırır (Görsel 6.23). Ayrıca sistemin yanma odasına giren havanın sıcaklığını düşürmesi nedeniyle azot oksit (NOx) adı verilen zararlı emisyonların seviyesinde azalma sağlar. Bu da çevresel etkileri en aza indirmeye yardımcı olur.



Görsel 6.23: Dâhili soğutma sistemi

6.4.6. Ateşleme Sistemi

Helikopterden ateşleme ünitesine 24-28 volt arasında değişen DC voltajı iletilir. Ateşleme ünitesi bu voltajı, 2500 voltluk bir DC voltaja yükseltir. Ardından 2500 voltluk DC akım, tüm bujilere akım bölücü yardımıyla aynı anda gönderilir (Görsel 6.24). Ateşleme ünitesi içerisinde radyoaktif parçalar bulunduğundan ciddi bir hasar durumunda özel kurallara uygun olarak imha edilmelidir. Bu işlem, güvenlik önlemlerinin sağlanması için gereklidir.



Görsel 6.24: Ateşleme sistemi

6.4.7. Elektrik Sistemi

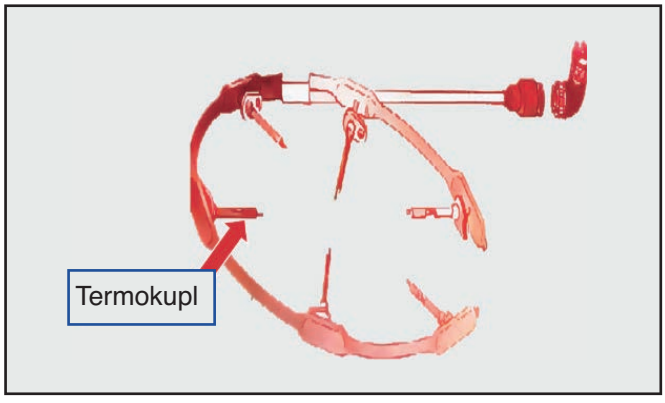
Turboshaft motorlara sahip helikopterler, ilk hareket motoru / jeneratör sistemini kullanır. İlk hareket motoru, kalıcı olarak dişli kutusuna bağlanmış durumdadır. Starterin birçok görevi vardır ancak en önemlilerinden biri, turboshaft motorunun ilk çalıştırma işlemini gerçekleştirmektir. Starter, turboshaft motorunun ilk çalışması sırasında gücünü aküden alır. Turboshaft motoru çalışmaya başladıktan sonra, starter hâlâ devrede kalarak turboshaft motorunu çalıştırmaya devam eder ve aynı zamanda bir jeneratör olarak görev yapar. Starter, bu şekilde hem motoru başlatır hem de jeneratör olarak elektrik gücü üretir.

Alternatör veya jeneratörden gelen elektrik akımı, voltaj regülatörü aracılığıyla ahtop kabloları adı verilen özel kablolarla iletilir. Kablolar, göstergelere ve sistemlere soketler aracılığıyla bağlanmıştır. Voltaj regülatörü, alternatörün veya jeneratörün çıkışını düzenleyerek elektrik sisteminin ihtiyaç duyduğu sabit voltajı sağlar. Sistemdeki akımı izlemek için ampermetre kullanılır ve ampermetre, akünün giriş ve çıkışına giden akımı gösterir. Ayrıca sistemleri aşırı yüklenmeye karşı korumak için devre kesiciler ve sigortalar bulunur. Bu önlemler, elektrik sisteminin güvenli ve düzgün bir şekilde çalışmasını sağlar.

6.4.8. Egzoz Sistemi

Yanma sonucunda ortaya çıkan egzoz gazlarının atmosfere atılmadan önceki sıcaklıklarını ölçen bir sistemdir. Bu sistem, helikopterin elektrik sisteminden bağımsız çalışır. Sistemin temel parçası, termoelektrik etkiyle voltaj üreten **termokupl**dur. Termokupl, egzoz yayıcısına monte edilir. Termokuplun uç (prop) kısmı, **alumal** ve **kromel** adı verilen iki farklı metal içerir. Egzoz gazları uç kısma temas

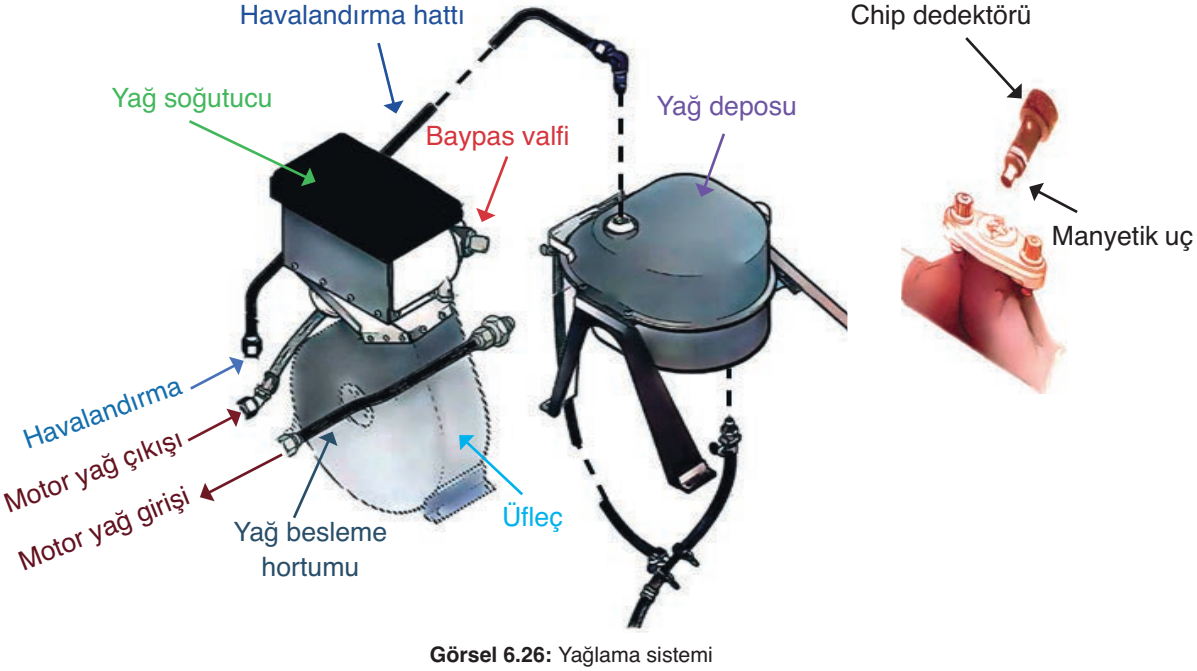
ettiğinde alumal ve kromel arasında milivoltluk bir potansiyel farkı oluşur. Milivoltluk akımlar, daha sonra tek bir noktada (dirsek) bir araya gelir (Görsel 6.25). Toplam akım göstergede görüntülenir ve egzoz gazlarının sıcaklık değeri okunur. Bu sayede egzoz gazlarının ısı değeri ölçülmüş olur.



Görsel 6.25: Egzoz sistemi

6.4.9. Yağlama Sistemi

Turboshaft motorlarında kullanılan yağlama sistemi (Görsel 6.26) marka ve modele göre değişmektedir. Kullanılan sistemlerden biri de kuru karter sistemidir. Yağ, soğutma gövdesinin arka üst kısmında bulunan bir yağ soğutucusunda bulunur. Yağ, dişli tipi bir pompa aracılığıyla aksesuar tahrik dişli kutusuna monte edilmiş boşaltma pompasına yönlendirilir. Dönüş yağı, motor yağı çıkış noktasından yağ soğutucusuna, oradan da depoya yönlendirilir. Yağ deposu, motoru beslemek ve yağın sistemde dolaşımını sağlamak için giriş ve çıkış noktalarına sahiptir. Soğutma havası, kuyruk rotoru tahrik miline monte edilmiş bir üfleyici kullanılarak yağ soğutucusuna iletilir. Bazı helikopterlerde fan ve soğutucu ayrı olarak monte edilir. Ayrıca motor yağının toplandığı bölümde metal artıkları toplayan manyetik bir çip dedektörü bulunur. Çip dedektörü, metal parçacıkları biriktirdiğinde gösterge panelinde uyarı ışığı yanar. Yağda kirlilik olması durumunda ilgili AMM yönergelerine göre yağın değiştirilmesi gerekir. Değiştirilmediği takdirde hem helikopter hem de motor parçaları zarar görebilir.



Görsel 6.26: Yağlama sistemi

6.4.10. Yakıt Sistemi

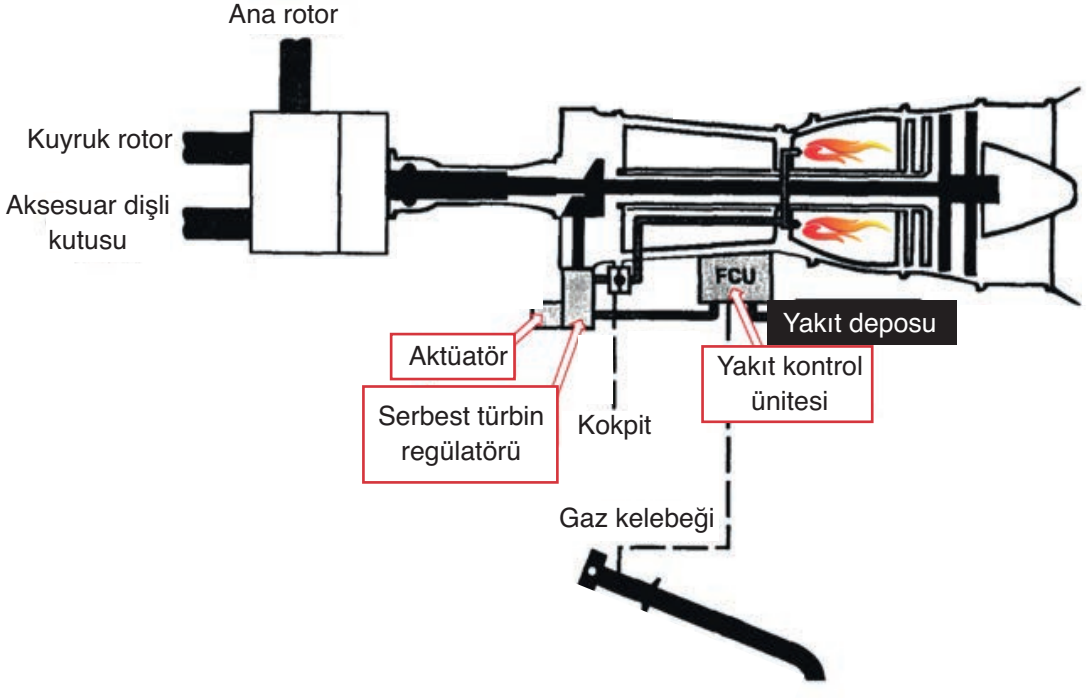
Turboshaft motorlarda yakıt kontrolü, pilotun kontrol kolu aracılığıyla gönderdiği sinyal ile gerçekleştirilir. Pilot, kontrol kolunu kullanarak istenen gücü belirler. Bu sinyal, yakıt kontrol sistemi tarafından alınır ve motorun RPM (devir) ve türbin giriş sıcaklığı sınırlamalarıyla birlikte yakıt karışımını ayarlamak için kullanılır. Yakıt kontrol sistemi, motorun ihtiyaç duyduğu gücü elde etmek için doğru miktarda yakıtı sağlar. Böylece motor, pilotun istediği güce uygun şekilde çalışır.

6.4.10.1. FADEC Yakıt Kontrol Sistemi

Tam donanımlı bağımsız dijital motor kontrol ünitesi (FADEC), pilot tarafından önceden gerçekleştirilen birçok kontrol işlevini otomatik olarak gerçekleştirir. Bu sistem, elektronik kontrol ünitesi (ECU) ve hidromekanik kontrol ünitesi (HMU) arasındaki etkileşim ile çalışır. HMU; hızlanma sınırlaması, durma ve alev koruması, gaz jeneratörü hız sınırlaması gibi işlevleri yerine getirerek güç taleplerine hızlı bir şekilde tepki verilmesini sağlar. ECU ise rotor hızını korumak, yük paylaşımını düzenlemek ve türbin giriş sıcaklıklarını sınırlamak için HMU'yu ayarlar. Yakıt akışının ölçülmesi ve temel motor kontrol hesaplamaları da HMU içerisinde gerçekleştirilir. FADEC sistemi böylece motorun kontrolünü hassas bir şekilde yöneterek performansı ve güvenliği en uygun duruma getirir.

6.4.10.2. Hidromekanik Yakıt Kontrol Sistemi

Hidromekanik kontrol sistemi, yerden kalkışa kadar olan süreçte gaz kelebeği döndürme kolu tarafından kontrol edilir. Pilot, bu kol sayesinde motorun güç çıkışını istediği şekilde ayarlayabilir ancak uçuş sırasında, uçuş gücü ile maksimum güç arasındaki kontroller otomatik olarak gerçekleştirilir. Bu işlevi yerine getiren bileşen, serbest türbin regülatörüdür. Serbest türbin regülatörü, motorun hava girişinde bulunan gaz kelebeği pozisyonunu algılar ve motor gücünü otomatik olarak ayarlar. Böylece pilotun sürekli olarak gaz kelebeğini kontrol etmesine gerek kalmaz ve motorun güç çıkışı istenen seviyede tutulur. Pilot, sistem sayesinde uçuş sırasında daha fazla odaklanabilir ve motorun performansını uygun duruma getirebilir (Görsel 6.27).

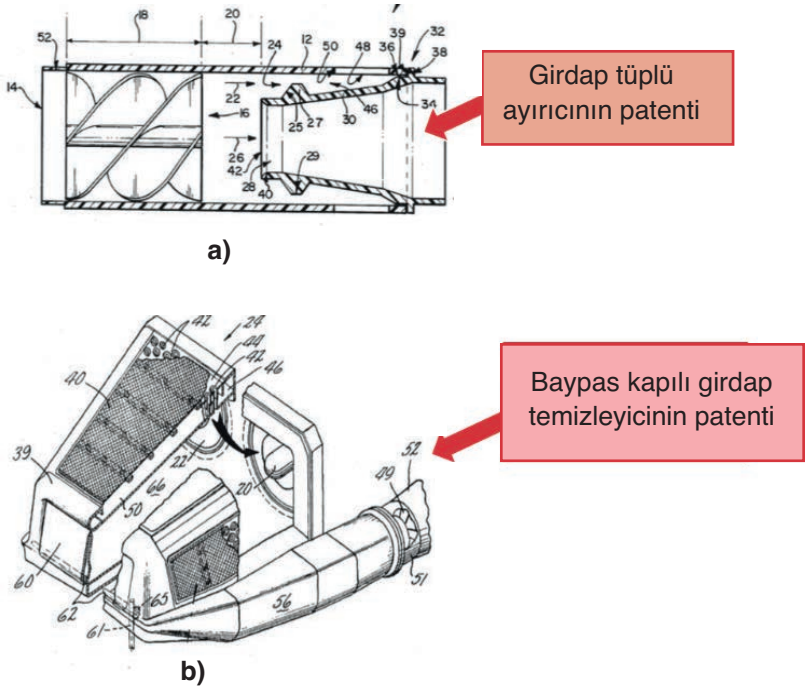


Görsel 6.27: Hidromekanik yakıt kontrol sistemi

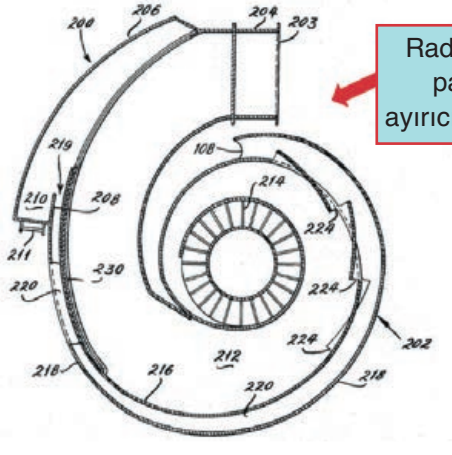
6.4.11. Toz / Kum Ayırıcı Sistemi

Gaz türbinli motorlarda hava kalitesi oldukça önemlidir çünkü motorlar havayı yakmak ve birçok parçasıyla temas etmek için havayı kullanır. Özellikle helikopterlerin düşük irtifada uçması ve tozlu ortamlarda çalışması durumunda, hava kalitesi daha da kritik hâle gelir. Bu nedenle gaz türbinli motorlar için toz ve kum ayırma sistemleri büyük önem taşır. Bu sistemler, motorlara zarar verebilecek toz parçacıklarının girişini engeller, böylece yabancı madde hasarını önler.

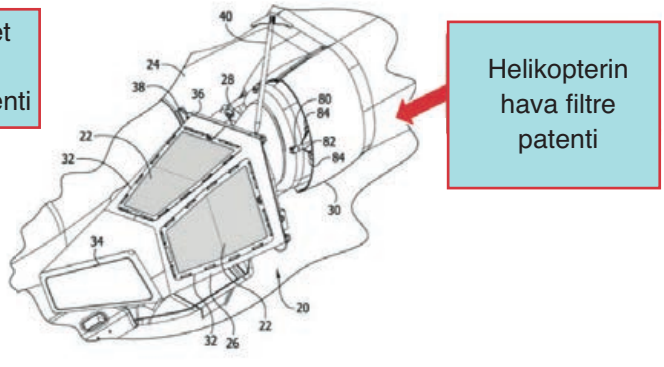
Helikopterlerde yaygın olarak kullanılan üç farklı toz / kum ayırma sistemi vardır: girdap tüplü ayırıcılar VTS [vortex tube separator (vorteks tüb seperedır)], atalet parçacık ayırıcılar IPS [inertial particle separators (ineşıl perdikıl eperedır)] ve giriş bariyer filtreleri IBS [inlet barrier filters (inlet beriır fildır)]. Girdap tüplü ayırcılar, bu sistemler arasında hava basıncında en az düşüşe neden olur. Bariyer filtreleri havadaki parçacıkları en etkili şekilde tutma performansına sahiptir. Bu nedenle helikopterlerde genellikle parçacık kontrolü için bariyer filtreleri tercih edilir (Görsel 6.28, Görsel 6.29, Görsel 6.30). Bu sistemler, havadaki toz parçacıklarının motorlara zarar vermesini önlemek ve motor performansını korumak için kullanılır.



Görsel 6.28: Girdap tüplü ayırıcılar



Görsel 6.29: Radyal atalet parçacık ayırıcı



Görsel 6.30: Giriş bariyer filtresi

6.4. UYGULAMA: AMM'ye Göre Yağlama Sistemindeki Çip Dedektörünün, Yağ Seviyesinin Kontrolü ile Yağ İkmali ve Değiştirme İşlemlerinin Yapılması

Amaç: AMM'ye göre yağlama sistemindeki çip dedektörünün ve yağ seviyesinin kontrolünü yaparak, yağ ikmali ve değiştirme işlemlerini yapıp yağlama sisteminin parçalarını yerine takmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Turboshaft motor	Turboshaft motor	1 Adet
Havacılık takım çantası	Mekanik	1 Adet

İşlem Basamakları

1. İş elbisesi, koruyucu gözlük, maske ve eldiven; gürültülü ortamlarda kulaklık veya kulak tıkacı gibi koruyucu ekipmanlar kullanınız.
2. Atölye havalandırma sistemini çalıştırınız.
3. Kesici, delici, yanıcı vb. tehlike barındıran makineleri kullanırken dikkatli olunuz.
4. İlgili helikopter AMM'sinde yağlama sistemi kısmını bulunuz.
5. Referansın güncel ve helikoptere efektif olduğundan emin olunuz.
6. AMM'ye göre çip dedektörünün manyetik uç kısmında birikme olup olmadığını kontrol ediniz.
7. AMM'ye göre yağ seviye kontrolünü yapınız.
8. AMM'ye göre yağın değiştirilmesi gerekiyorsa yağ ikmalini ve yağ değiştirme işlemlerini yapınız.
9. Çalışma ortamını temizleyiniz.
10. Kullanılan araç gereci aldığınız yere koyduğunuzdan emin olunuz.
11. İşlem basamaklarını öğretmeninizin belirlediği sürede tamamlayınız.

Uygulamaya İlişkin Değerlendirmeler

- Çip dedektörünün kontolü yapılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Yağ seviyesi kontrolü yapılırken nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.
- Yağ ikmali ve yağ değiştirme işlemleri sırasında nelere dikkat ettiniz? Açıklayınız.

Öğrencinin Adı ve Soyadı ..... Sınıfı / Numarası	DEĞERLENDİRME	Alanlar ve Puanları	İş Sağlığı ve Güvenliği	Bilgi	Beceri	Temizlik Düzen	Süre Kullanımı	Toplam	Tarih …/…/20...
			10	30	40	10	10	100	
Öğretmenin Adı ve Soyadı		Aldığı Puan							Onay (İmza)

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. (….) Helikopterlerde bulunan dişli kutularının amacı motor gücünü iletmek, yönlendirmek ve motor güç milinin yüksek devir sayısını düşürmektir.

2. (….) Güç türbini tarafından üretilen dairesel hareket, turboshaft motor bağlantıları ile ana rotor ve kuyruk rotora iletilir.

3. (….) Helikopterde bulunan aksesuar bağlantılarının amacı devri düşürmektir.

4. (….) Kolektif çubuğun ucundaki hareketli çubuk rotor hızını ayarlar.

5. (….) Rotor frenleri turboshaft motor miline takılarak acil durumda turboshaft motorun durmasını sağlar.

6. (….) Rotor başını aşağı yukarı hareket ettirerek helikopterin istenen yönde dönmesi, dairesel kontrol kolu tarafından gerçekleştirilir.

B) Aşağıdaki cümlelerin boş bırakılan yerlere doğru kelimeleri yazınız.

7. Turboshaft motorlar turboprop motorlarda olduğu gibi …….. ve ……. olmak üzere iki ana bölümden oluşur.

8. Helikopterin dikey kalkış yapmasını ve ileri doğru hareket etmesini sağlayan dönen kanatların her birine……..denir.

9. Yüksek tahrik mili olarak da bilinen ve helikopterlerde yaygın olarak kullanılan kaplin çeşidi ……. kaplinidir.

10. Turboshaft ve turboprop motorlar turbojet ve turbofan motorları gibi yüksek itme kuvveti üretemediğinden itme kuvvetini belirlemek için ……. sistemi ile kullanılır.

11. Turboshaft motorlarda motorun ilk çalışma esnasında ve motor düşük devirde çalışıyorken motorun hızlanması için ……. sistemi kullanılır.

12. Helikopterlerde ateşleme sisteminde bulunan ……ünitesi 24-28 volt arasında değişen DC voltajı 2500 voltluk bir DC voltaja yükseltir.

C) Aşağıda verilen sorularda doğru olan seçeneği işaretleyiniz.

13. Aşağıdakilerden hangisi turboshaft motorun kullanıldığı yerlerden biri değildir?

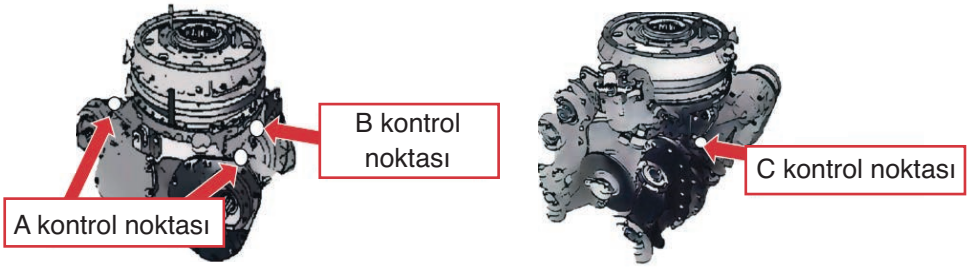
A) Supersonik savaş uçakları
B) Elektrik santralleri
C) Helikopter
D) Gemi
E) Araba ve motosiklet

14. I. Mil
II. Yay
III. Dişli
IV. Kuplaj (kavrama)

Yukarıda verilen makine elemanlarından hangileri güç türbini tarafından üretilen dairesel hareketi ana rotor ve kuyruk rotora iletmede kullanılır?

A) I ve III
B) II ve III
C) I-II ve III
D) I-III ve IV
E) I-II ve IV

15.



Yukarıda verilen güç aktarma dişlilerinin kontrol noktaları ile ilgili aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

A) C kontol noktasından ayna mahruti dişliler kontrol edilir.
B) A konrol noktasından arka redüksiyon dişliler konrtol edilir.
C) C kontol noktasından ön redüksiyon dişliler kontrol edilir.
D) B kontrol noktasından ayna mahruti dişliler kontrol edilir.
E) B kontol noktasından ön redüksiyon dişliler kontrol edilir.

16. Aşağıdakilerden hangisi turboshaft motorunun kumanda sistemlerinden değildir?

A) Ateşleme
B) Buz Önleme
C) Dâhili soğutma
D) Transmisyon
E) Yağlama

17. Turboshaft motorlarda motor güç modundayken fanın yükünü hafifletmek için kullanılan sistem aşağıdakilerden hangisidir?

A) Egzoz
B) Hareketli hava giriş yön kanatçıkları
C) Dâhili soğutma
D) Hava tahliye bandı
E) Yağlama

18. Aşağıda verilen parçalardan hangisi turboshaft motorunun buz önleme sisteminin bir parçası değildir?

A) Aktüatör
B) Kompresör
C) Kontrol rot
D) Shut off valf
E) Termokupl

19. I. Motordan atmosfere salınan azot oksit (NOx) adındaki zararlı emisyonların seviyesini düşürür.
II. Termokupl sistemin temel parçasıdır.
III. Ara soğutma sistemi olarak bilinir.
IV. Yanma odasına alınan havanın sıcaklığını düşürür.

Dâhili soğutma sistemi ile ilgili yukarıda verilen bilgilerden hangileri doğrudur?

A) I ve II
B) II ve III
C) I-II ve III
D) I- III ve IV
E) I-II ve IV

20. I. Egzoz gazlarının atmosfere bırakılmadan önceki sıcaklıklarını ölçer.
II. Termokupl sistemin temel parçasıdır.
III. Egzoz yayıcısına termokupl monte edilir.
IV. Helikopterin elektrik sistemiyle birlikte çalışır.

Yukarıda egzoz sistemi ile ilgili verilen bilgilerden hangileri doğrudur?

A) I ve II
B) II ve III
C) I-II ve III
D) I-III ve IV
E) I-II ve IV

21. Aşağıdakilerden hangisi yağlama sisteminde metal artıkları toplayan ve metal parçacıkları biriktiğinde gösterge panelinde uyarı ışığının yanmasına neden olan parçadır?

A) Akım bölücü
B) Aktüatör
C) Chip dedektörü
D) Güç türbin regülatörü
E) Manyetik tapa

22. I. Hidromekanik yakıt kontrol sisteminde uçuş sırasında, uçuş gücü ile maksimum güç arasındaki kontroller serbest türbin regülatörü tarafından otomatik olarak gerçekleştirilir.

II. FADEC sisteminde bulunan hidromekanik kontrol ünitesi (HMU) yakıt akışının ölçülmesi ve temel motor kontrol hesaplamalarını gerçekleştirir.

III. FADEC yakıt kontrol sistemindeki elektronik kontrol ünitesi (ECU) hızlanma sınırlaması, durma ve alev koruması, gaz jeneratörü hız sınırlaması gibi işlevleri yerine getirir.

IV. FADEC sisteminde uçak yerden kalkıncaya kadar gaz kelebeği döndürme kolu tarafından kontrol edilir.

Yukarıda yakıt sistemi ile ilgili verilen bilgilerden hangileri doğrudur?

A) I ve II

B) II ve III

C) I-II ve III

D) I- III ve IV

E) I-II ve IV

23. I. Toz / kum ayırıcı sistemler toz parçacıklarının girişini engelleyerek motorların tozlar nedeniyle hızla aşınmasını ve yabancı madde hasarını önlemeye yardımcı olur.

II. Helikopterlerde yaygın olarak kullanılan girdap tüplü ayırcılar, atalet parçacık ayırıcılar ve giriş bariyer filtreleri olmak üzere üç farklı toz / kum ayırma sistemi vardır.

III. Havadaki parçacıkları tutmada en iyi performansa sahip toz / kum ayırıcı sistem atalet parçacık ayırıcılardır.

IV. Hava basıncında en fazla düşüşe neden olan toz / kum ayırma sistemi girdap tüplü ayırıcılardır.

Yukarıda toz / kum ayırıcı sistemi ile ilgili verilen bilgilerden hangileri doğrudur?

A) I ve II

B) II ve III

C) I-II ve III

D) I-III ve IV

E) I-II ve IV

CEVAP ANAHTARLARI

	A		B	C	
1. ÖĞRENME BİRİMİ	1	Y		17	C
	2	D		18	C
	3	D		19	C
	4	Y		20	B
	5	Y		21	B
	6	D		22	A
	7	D		23	B
	8	Y		24	A
	9		termodinamik	25	B
	10		sıcaklık	26	C
	11		T	27	B
	12		kaynama noktası	28	A
	13		İngiliz	29	C
	14		m	30	E
	15		0,3048 m	31	A
	16		barometre		
2. ÖĞRENME BİRİMİ					
	1	D		12	E
	2	Y		13	E
	3	Y		14	C
	4	D		15	C
	5		enerji korunumu yasası	16	B
	6		vektörel	17	A
	7		skaler	18	D
	8		ivme	19	C
	9		Güç	20	D
	10		baypas oranı	21	E
	11		bremze işlemi	22	D
				23	A
				24	B
				25	E
				26	D

	A		B	C	
3. ÖĞRENME BİRİMİ	1	D		8	A
	2	Y		9	E
	3	D		10	D
	4	Y		11	C
	5		kompresörde surge	12	B
	6		yanma odasında	13	B
			nitrojen oksitleri (NOx)	14	C
				15	B
4. ÖĞRENME BİRİMİ					
	1	D		14	A
	2	Y		15	E
	3	Y		16	D
	4	D		17	E
	5	D			
	6	Y			
	7		I. Üç kademeli aksiyol kompresör II. Aksesuar dişli kutusu III. Serbest (Güç) türbini IV. Redüksiyon dişli kutusu		
	8		Spool		
	9		I. Redüksiyon dişli II. Kardan mili III. İlk kademe santifüj akışlı kompresör IV. İkinci kademe santrifüj akışlı kompresör V. Üç kadameli aksiyal türbin		
	10		Paralel dişli ve episiklik dişli		
	11		Episiklik redüksiyon dişliler		
	12		I. Acil güç kolu II.Güç kontrol kolu III. Pervane hız kontrol kolu IV. Çalıştırma kolu		
	13		I. Güç kolu / lövyesi II. Hız / koşul kolu		

	A		B	C	
5. ÖĞRENME BİRİMİ	1	D		7	E
	2	Y		8	D
	3	D		9	D
	4	Y		10	E
	5		baypas	11	B
	6		hız limit vanası	12	B
				13	C
6. ÖĞRENME BİRİMİ	1	D		13	A
	2	D		14	D
	3	Y		15	A
	4	D		16	D
	5	Y		17	B
	6	D		18	E
	7		gaz jeneratörü ve güç türbini (serbest türbin)	19	D
				20	C
	8		pal, ana rotor (ana pervane)	21	C
	9		Thomas	22	A
	10		torkmetre sistemi	23	A
	11		hava tahliye bandi sistemi		
	12		ateşleme ünitesi		

KAYNAKÇA

A Subsidiary of Parth College. Helicopter Transmission Systems Jar. 66-B1:3/004, 2005.

A330 Maıntenance Manuel Chapter 49, AİRBUS, France: 2005.

A330 Maıntenance Manuel Chapter 77, AİRBUS, France: 2022.

A330 Maıntenance Manuel Chapter 78, AİRBUS, France: 2022.

Atlı, S. Fizik Öğretiminde Bilim Tarihi: Sarkaç Örneği. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara: 2019.

Basic Helicopters, The Open Polytechnic of New Zealand: 555-3-1.

Bayraktutar, R. Gaz Türbinli Motorlar. THY Yayınları, İstanbul

Gülcan, H. E. Otto Çevrimi İle Çalışan Buji Ateşlemeli Bir Motorun Atkinson Çevrimine Dönüştürülmesi ve Testleri (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.

Helicopter Gas Turbine Installations, The Open Polytechnic of New Zealand, 555-3-9.

Helicopter Transmission Systems, The Open Polytechnic of New Zealand, 555-3-7.

Kara, N. Tek Silindirli Otto Çevrimi İle Çalışan Bir Motorun Performansına Atkinson Çevriminin Etkisi (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.

Karaman, E. Yanma Verimi Yaklaşımıyla İkili Çevrim Analizi (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.

KLM Uk Engineering. Jar 66 Category B1 Module 15 Gas Turbine Engines, Kıngıston Unıversıty, Uk, 2003.

Koçkesen, İ. Uçak Teknik Temel APU. İstanbul: MNG Tecnic Training Center, 2005.

Koçkesen, İ. Uçak Teknik Temel Motor, İstanbul: MNG Tecnic Training Center, 2005.

SR Tecnics Tecnical Training. Gas Türbine Engine Modulle 15 B1.

THY. Hava Alıkları, THY Uçuş Akademi Müdürlüğü, İstanbul, 2004.

THY. Uçak Teknik Temel APU, M. Göçmen, İstanbul.

Turkısh Tecnic. Gas türbine engine for EASA PART -66, İstanbul, 2016.

T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Uçak Bakım Alanı Çerçeve Öğretim Programı (2020). Ankara: MEB Yayınları.

Ünal, E. Brayton Soğutma Makinesi Tasarımı ve Performans Analizi (Yayımlanmamış Yüksek lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

*Kaynakça yazımında Chicago On Beşinci Baskı yöntemi kullanılmıştır.

GENEL AĞ KAYNAKÇASI VE GÖRSEL KAYNAKÇASI



Ders materyalinin genel ağ kaynakçasına ve görsel kaynakçasına ulaşmak için yandaki kodu tarayınız veya aşağıdaki linke erişim sağlayınız.

http://kitap.eba.gov.tr/karekod/Kaynak.php?KOD=1608

DERS NOTLARI

DERS NOTLARI