

**T.C.  
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

**UÇAK BAKIM**

**PERFORMANS HESABI  
525MT0033**

**Ankara, 2011**

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

# İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR .....	ii
GİRİŞ .....	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....	3
1. DİNAMİK .....	3
1.1. Potansiyel Enerji ve Kinetik Enerji .....	3
1.1.1. Potansiyel Enerji .....	3
1.1.2. Kinetik Enerji .....	6
1.2. Newton'un Hareket Kanunu .....	7
1.2.1. Eylemsizlik Prensibi (Atalet Kanunu).....	8
1.2.2. Dinamiğin Temel Prensibi (Denge Kanunu).....	9
1.2.3. Etki- Tepki Prensibi (Hareket Kanunu).....	10
1.3. Kuvvet, İş, Güç, Enerji, Hız ve İvme Arasındaki İlişkiler .....	11
1.3.1. Kuvvet .....	11
1.3.2. İş.....	11
1.3.3. Güç .....	13
1.3.4. Enerji.....	14
1.3.5. Hız .....	14
1.3.6. İvme .....	15
UYGULAMA FAALİYETİ .....	16
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	18
ÖĞRENME FAALİYETİ-2 .....	19
2. MOTOR PERFORMANSI .....	19
2.1. Brüt Çekiş (Thrust), Net Çekiş, “Choked Nozzle” Çekişi, Çekiş Dağılımı, Bileşke Çekiş, Çekiş Beygir Gücü, Eş Değer Şaft Beygir Gücü ve Özgül Yakıt Tüketimi .....	19
2.1.1. Thrust .....	19
2.1.2. Toplam Thrust, Net Thrust, Toplam İtme Gücü, İtme Dağılımı, Bileşik Thrust .....	21
2.1.3. Beygir İtme Gücü (Thrust Beygir Gücü) .....	24
2.1.4. Özgül Yakıt Tüketimi (Sfc- Specific Fuel Consumption).....	25
2.2. Motor Verimleri .....	25
2.3. Baypas Oranı ve Motor Basınç Oranı .....	28
2.3.1. Baypas Oranı .....	28
2.3.2. Motor Basınç Oranı (EPR-Engine Pressure Ratio) .....	29
2.4. Gaz Akışının Basınç, Sıcaklık ve Hızı .....	29
2.4.1. Basınç ve Sıcaklık .....	29
2.4.2. Gaz Akış Oranı.....	30
2.4.3. Sıcaklık Oranı.....	32
2.5. Motor ‘Rating’leri .....	33
2.5.1. Thrust Derecelendirmesi (Thrust Rating).....	33
2.5.2. Flat Rating .....	34
2.6. Statik Çekiş .....	36
2.7. Hızın Etkisi .....	36
2.8. Yükseklik ve Sıcak İklimin Etkileri “Yüzey Oranı” .....	37
2.9. Sınırlamalar.....	37
UYGULAMA FAALİYETİ .....	41
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	43
MODÜL DEĞERLENDİRME .....	44
CEVAP ANAHTARI.....	46
KAYNAKÇA.....	47

# AÇIKLAMALAR

<b>KOD</b>	<b>525MT0033</b>
<b>ALAN</b>	<b>Uçak Bakım</b>
<b>DAL/MESLEK</b>	<b>Uçak Gövde-Motor</b>
<b>MODÜLÜN ADI</b>	<b>Performans Hesabı</b>
<b>MODÜLÜN TANIMI</b>	Dinamik ile ilgili hesaplamaların ve motor performans hesaplamalarının gösterildiği, bu hesaplamaları yapma becerisinin kazandırıldığı öğrenme materyalidir.
<b>SÜRE</b>	40/24
<b>ÖN KOŞUL</b>	Termodinamik Hesaplamalar modülünü başarmış olmak
<b>YETERLİK</b>	Motor performansı hesaplamaları yapmak
<b>MODÜLÜN AMACI</b>	<b>Genel Amaç</b> Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında bakım dokümanlarında (AMM) belirtildiği şekilde motor performansı hesaplamalarını yapabileceksiniz. <b>Amaçlar</b> <b>1.</b> Dinamik ile ilgili hesaplamaları bakım dokümanlarında belirtildiği şekilde yapabileceksiniz. <b>2.</b> Motor performans hesaplarını bakım dokümanlarında belirtildiği şekilde yapabileceksiniz.
<b>EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI</b>	<b>Ortam:</b> Atölye, işletme, internet ortamı, teknoloji sınıfı, kütüphane, uçak firmaları <b>Donanım:</b> Uçak bakım katalogları, el aletleri, ölçü aletleri, bilgisayar, projeksiyon cihazı, VCD, DVD, tepegöz, eğitim maketleri
<b>ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME</b>	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

# GİRİŞ

## **Sevgili Öğrenci,**

İnsanlarda kuşlar gibi uçma arzusunun başladığı çok eski tarihlerden beri yapılan çeşitli uçma girişimleri bir tarafa bırakılırsa gerçek anlamda ilk uçuşlar, 20. yüzyılda gerçekleştirildi. Yerçekimi kuvvetini mekanik enerjiyle yenme prensibine dayanan uçaklar kısa zamanda hızla geliştirildi. Planör, helikopter ve otoyol tipi uçuş araçları da uçağın havada kalma prensibine dayanır.

Kaldırma kuvveti uçan aracın sahip olduğu mekanik enerji vasıtasıyla kanat denilen kaldırma yüzeylerinde meydana gelir. Balon ve zeplinlerdeyse kaldırma kuvveti, havadan hafif gazların hava içinde yükselmesiyle oluşur.

Bu modülün amacı, sizleri uçak motorları performans hesabı hakkında bilgi sahibi olmanızı sağlamaktır. Bir çalışmada ön bilginin olması siz öğrencilere gerekli olan özgüveni sağlayacaktır. Gaz türbinli motor teknolojisini öğrenmek ve bunları en iyi şekilde uygular duruma gelmek asıl hedefiniz olmalıdır. Mesleğinizi tam öğrenip piyasada iş yapabilmemiz için gerekli bilgi ve birikime sahip olmanız ilk hedefiniz olmalıdır.

Uçak motor teknisyenliği önü gelişmeye açık en önemli mesleklerden biridir. Mesleğinizde başarılı olabilmek için çok çalışmanız ve bilgi birikimine sahip olmanız gerekir. Bilgi birikiminizi iş ahlakı ile bütünleştirmeniz daha iyi sonuçlar elde etmenizi sağlayacaktır.



# ÖĞRENME FAALİYETİ-1

## AMAÇ

Bu faaliyetin sonunda uygun ortam sağlandığında dinamik ile ilgili hesaplamaları tekniğine uygun hatasız olarak yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Kuvvet, iş, güç, enerji, hız ve ivme arasındaki ilişkileri araştırınız.
- Yaptığımız araştırmayı rapor hâline getiriniz ve arkadaşlarınızla paylaşınız.

## 1. DİNAMİK

### 1.1. Potansiyel Enerji ve Kinetik Enerji

Cisimlerin, konumlarından dolayı sahip oldukları enerjiye potansiyel enerji, cisimlerin hareketlerinden dolayı sahip oldukları enerjiye ise kinetik enerji adı verilir.

#### 1.1.1. Potansiyel Enerji

Cisimlerin konumlarından dolayı sahip oldukları enerjiye potansiyel enerji adı verilir. Diğer bir ifade ile bir cisim ya da bir sistemdeki işe çevrilebilir olan depolanmış enerji biçimidir. Resim 1.1'de iki işçi bir piyanoyu makara yardımıyla üçüncü kata çıkarıyor. İşçiler, yedikleri gıdalardan sağladıkları enerji sayesinde bu piyanoyu kaldırabilmektedir. Yukarı kaldırıldığında piyanoda bir çeşit enerji depolanmış olur. Depolanan bu enerji çekim potansiyel enerjisi olarak adlandırılır. İşçilerden biri makaranın ipini elinden bırakırsa diğer işçinin uyguladığı çekme kuvveti piyanoyu yukarıda tutmak için yeterli olmayabilir. Bu durumda piyano düşerek çekim potansiyel enerjisini kaybeder. Düşen piyano işçiyi yukarı çekerek bir iş yapmış olur. Bir cismin ağırlığı ve yerden yüksekliği arttıkça çekim potansiyel enerjisi de artar. Bu yüzden basketbol topunu daha yüksekte bıraktığımızda kum üzerinde daha derin bir iz bırakır.



Resim 1.1: Çekim potansiyel enerjisi

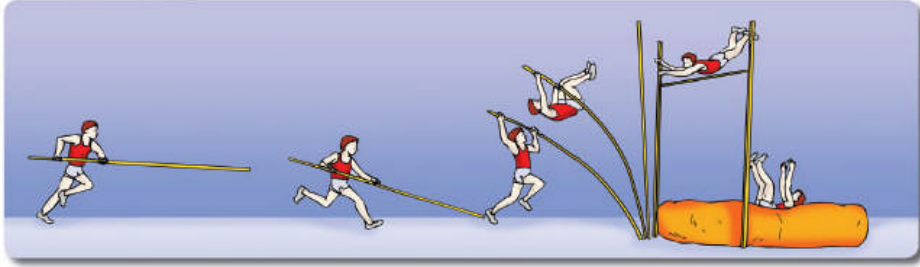
Kinetik ve potansiyel enerjinin birbirine dönüşebildiğini biliyor musunuz? Bir ipin ucuna cisim bağlayarak oluşturduğumuz basit bir sarkaçta bu durumu rahatlıkla gözlemleyebiliriz. Potansiyel enerji hem ağırlık hem de yükseklikle doğru orantılıdır.

Potansiyel enerji= Ağırlık x Yükseklik



**Resim 1.2: Kurmalı oyuncakların potansiyel enerjisi**

Resim 1.2’de görüldüğü gibi bazı kurmalı oyuncakların içinde bir yay bulunur. Bu yay kurularak oyuncakın hareket etme yeteneği kazanması sağlanır. Oyuncakın yayında potansiyel enerji depolanır. Yay boşalırken oyuncak hareket eder. Böylece yaydaki potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşmüş olur. Yayların (ya da daha genel olarak esnek cisimlerin) enerji depolama özelliğinden birçok alanda yararlanılmaktadır. Esneklik potansiyel enerjisi, lastiğin cinsine ve gerilme miktarına göre değişmektedir. Bu durum sadece lastik için değil bütün esnek maddeler için de geçerlidir. Esneklik potansiyel enerjisi sıkıştırma veya gerilme miktarına ve maddenin esneklik özelliğine bağlıdır. Her yayın esneklik potansiyel enerjisi farklıdır. Bu enerji yayın esnekliği, sertliği, yapıldığı maddenin cinsi ve yayın helozon sayısına bağlıdır. Esnekliğini kaybeden bir yay eski hâline dönemez.

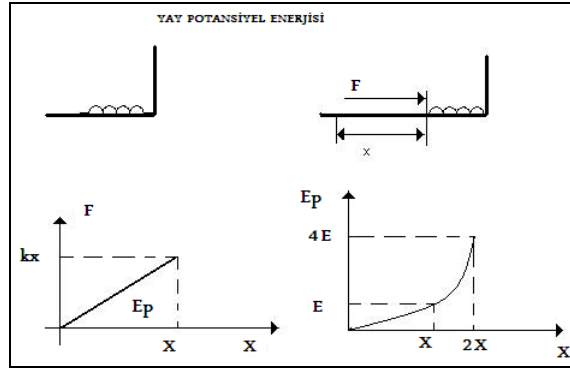


**Resim 1.3: Yüksek atlama yapan bir sporcunun kinetik enerjisi**

Yüksek atlama yapan bir sporcu düşünelim. Bu sporcu sırtı ile koşarken kinetik enerji söz konusudur. Yüksek atlama sırasında sırtı esner ve sporcunun kinetik enerjisi sırtta, esneklik potansiyel enerjisine dönüşür. Sırtı ile yükselen sporcu potansiyel enerji kazanır. Mindere düşerken ise bu sporcunun potansiyel enerjisi azalırken kinetik enerjisi artar. Kinetik enerji ile mindere çarpan sporcu minderin şeklini değiştirir hatta minderin bir miktar ısınmasını da sağlar. İlk aşamadan son aşamaya varıncaya kadar sporcunun sahip olduğu enerji türü değişmiş fakat toplam enerji miktarı aynı kalmıştır. Buna enerjinin korunumu denir. Enerjinin korunumuna göre enerji bir türden başka bir türe dönüşebilir ancak hiçbir zaman artmaz veya azalmaz.

Yaya uygulanan kuvvetin x sıkışma miktarına bağlı olan enerji grafiği Şekil 1.1’de görülmektedir. Yay x kadar sıkıştırılırsa yay üzerindeki yapılan iş ya da sistemde depolanan potansiyel enerji grafiğinin altındaki alandan bulunur.  $E_p = 1/2 kx^2$

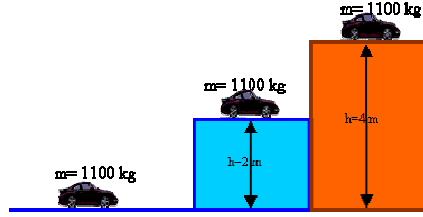




Şekil 1.1: Yay potansiyel enerjisi

- **Yeryüzü yakınlarında yerçekimi potansiyel enerjisi:** Yeryüzü yakınlarında yerden uzaklaştıkça  $g$ 'nin değerinde çok küçük değişimler olduğu için  $g$  (yer çekim ivmesi) sabit kabul edilebilir. Yerden  $h$  kadar yükseklikte B noktasına kaldırılan cismin üzerinde ya da cisim-yer sisteminde depolanan potansiyel enerjiye eşittir. Bu enerji A noktasına göre;  $E_p = mgh$  kadardır. Yapılan iş ya da kazanılan potansiyel enerji alınan yoldan bağımsızdır.
- **Mekanik enerjinin korunumu:** Bir sistemde sadece mekanik enerji değişimi varsa o sistemdeki toplam mekanik enerji miktarı sabittir. Hiçbir enerji kendi kendine var olmaz, kendi kendine de yok olmaz. Fakat bir türden başka bir tür enerjiye dönüşebilir. Bu dönüşüm sırasında toplam enerji daima sabittir.  **$E_T = \text{Sabit}$**   **$E_T = E_k + E_p$**  Toplam enerjinin sabit olması demek, bir enerjinin değeri azalırken başka türdeki bir enerji değerinin aynı miktarda artması demektir. Mesela belli bir yükseklikten yere doğru hızlanarak düşen bir cismin kinetik enerjisi artarken aynı miktarda potansiyel enerjisi de azalmaktadır. Barajda birikerek potansiyel enerji kazanan su daha sonra yüksekte düşerek kinetik, sonra elektrik ve oradan da ısı ve ışık enerjisine dönüşmektedir. Enerji birimleri iş birimlerinin aynıdır.
- **Genel anlamda çekim potansiyel enerjisi:** Yeryüzünden uzaklaştıkça yerçekimi ivmesi ( $g$ ) değerinin azaldığını biliyoruz, yeryüzünden yeteri kadar uzağa götürülen bir kütlenin bulunduğu yerdeki çekim alanı, yerin kütlesine ve yerin merkezinden olan uzaklığına bağlıdır.  $M =$  Yerin kütlesi,  $m =$  Cismin kütlesi,  $r =$   $m$  kütlesinin yerin merkezinden olan uzaklığıdır.  $m$  kütlesinin genel çekim potansiyel enerjisi ise  **$E_p = -G \frac{Mm}{r}$** 'dir.  $r$  değeri artırıldığında  $E_p$  de artar,  $r$  sonsuz değerine yaklaşırsa  $E_p$  de sıfır değerine doğru yükselir.

**Örnek:** Aşağıdaki şekilde bir arabanın farklı yüksekliklerde sahip olduğu potansiyel enerjiyi hesaplayınız.



**Şekil 1.2: Farklı yükseklikteki araçların potansiyel enerjileri**

İlk olarak aracın 2 metre yüksekliğindeki potansiyel enerjisini bulacak olursak,

$$E_{p1} = m \cdot g \cdot h \quad E_{p1} = 1100 \cdot 9,8 \cdot 2, \quad E_{p1} = 21560 \text{ jul}$$

4 metre yükseklikte arabanın potansiyel enerjisi ise

$$E_{p2} = m \cdot g \cdot h \quad E_{p2} = 1100 \cdot 9,8 \cdot 4 \quad E_{p2} = 43120 \text{ jul olarak hesaplanır.}$$

Potansiyel enerji, ağırlık ve yükseklikten başka şekillerde de bulunabilir. Elektriki olarak yüklenmiş parçalar, elektrik alanı içindeki konumuna göre potansiyel enerji içerir. Bir patlayıcı madde patladığı zaman ışık, ısı ve kinetik enerjiye dönüşen kimyasal bir potansiyel enerjiye sahiptir. Enerji iş için kullanılan birim ile ifade edilir ve tüm koşullarda enerji kuvvet ve yolun çarpımıdır.

**Örnek:** 50 pound ağırlık, 5 feet kaldırılıyor. Potansiyel enerjiyi hesaplayınız.

$$\text{Potansiyel enerji} = \text{Kuvvet} \times \text{Yol} = 50 \times 5 = 250 \text{ ft-lb}$$

### 1.1.2. Kinetik Enerji

Cisimlerin hareketlerinden dolayı sahip oldukları enerjiye kinetik enerji denir. Eğer bir varlık, hareket ediyorsa kinetik enerjiye sahip demektir. Örneğin, hareket hâlinde olan bir kamyon, koşan bir köpek, hareketli dönme dolap, akan bir nehir ve rüzgâr kinetik enerjiye sahiptir. Peki, “Bir varlığın hızının artması, o varlığın kinetik enerjisini de artırır.” diyebilir miyiz? Bir varlığın hızı arttıkça kinetik enerjisinin de arttığını biliyoruz. Resim 1.4’te görülen kamyon ve otomobil aynı hızla hareket ettiklerine göre kinetik enerjileri aynı mıdır? Bir cismin hızı arttıkça kinetik enerjisi de artar. Kinetik enerji cismin kütlesine ve hızına bağlıdır. Aynı hızla hareket eden varlıklardan kütlesi büyük olanın kinetik enerjisi, kütlesi küçük olandan fazladır.

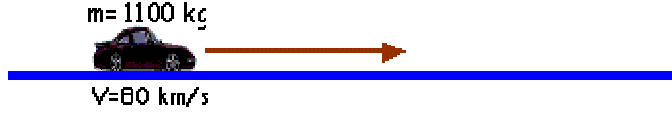


**Resim 1.4: Kamyon ve otomobilin aynı hızdaki hareketi**

Kütlesi  $m$ , hızı  $V$  olan bir cismin kinetik enerjisi;  $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$

$E_k$ = Kinetik enerji (jul)  $m$ = Cismin kütlesi (kg)  $V$ = Cismin hızı (m/sn.)

**Örnek:** Şekilde kütle ve hız bilgileri verilen otomobilin kinetik enerjisini hesaplayınız.



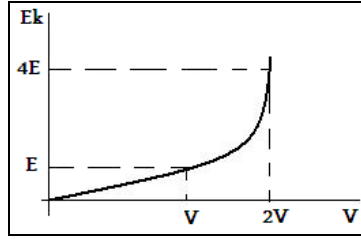
**Şekil 1.4: Otomobilin 2kinetik enerjisi**

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 \quad E_k = \frac{1}{2} \cdot 1100 \cdot 80^2 \quad E_k = 3520000 \text{ jul}$$

Enerjinin büyüklüğü nesnenin kütlesi ve hızına bağlıdır. Bu basit bir eşitlik ile gösterilir:

$$[\text{Enerji} = \frac{1}{2} m \cdot V^2] \text{ veya } \left[ \frac{w \cdot V^2}{2g} \right]$$

$m$  = kütle,  $v$  = hız (feet/sn., m/sn.),  $w$  = ağırlık,  $g$  = yerçekimi ivmesi (32 ft/sn.<sup>2</sup>) (9,81 m/sn.<sup>2</sup>)



**Şekil 1.3: Kütlesi  $m$ , hızı  $V$  olan bir cismin kinetik enerjisi**

Tüm enerji şekilleri uygun işlem ile başka şekillere dönüşebilir. Bu dönüşüm işleminde, ikisinden biri azalır veya artar fakat toplam enerji aynı kalmalıdır.

**Örnek:** 50 lbs ağırlık 5 ft yükseklikten düşünce kinetik enerjisi;

$$K.E = \frac{50 \times 25}{2 \times 32} = 1953 \text{ ft-lb's 'dir.}$$

## 1.2. Newton'un Hareket Kanunu

Hareket ve hareketin nedeni olan kuvvetler arasındaki ilişkileri birlikte inceleyen mekanik bölümüne dinamik denir. Dinamiğin kapsamı içindeki olaylar Newton'un hareket yasalarına dayanır.

Isaac Newton, 1678'de yazdığı Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Doğa Felsefesinin Matematik Prensipleri) adlı kitabında meşhur kanunlarını yayınlamıştır. Bu kanunlar:

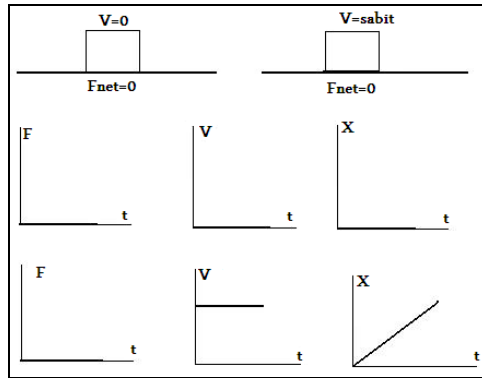
- Eylemsizlik prensibi
- Dinamiğin temel prensibi
- Etki-tepki prensibi

### 1.2.1. Eylemsizlik Prensibi (Atalet Kanunu)

Bir cisme uygulanan hiçbir kuvvet yoksa veya cisme uygulanan kuvvetlerin bileşkesi sıfır ise, cisim duruyorsa hareketsiz kalır ya da cismin bir hızı varsa yine bu hız ile hareketine devam eder.

Bir otomobilde giderken sürücü aniden frene bastığında vücudunuz hareket etmek isteyecektir. Hareketli bir cismi harekete devam ettirmeye çalışan etkiye atalet adı veriyoruz. Örnekteki otomobil durmaya başlasa bile atalet yüzünden vücudunuz hareketini devam ettirecektir. Emniyet kemerinizin çekmesi sebebiyle vücudunuz ileri doğru hareketten alıkonacaktır. Şayet emniyet kemeriniz bağlı değilse yaralanabilirsiniz veya incinebilirsiniz. Vücudunuz ileri doğru hareketine devam etmek suretiyle sizde cama çarpabilirsiniz. Atalet aynı zamanda duran bir cismin hareketsiz kalma eğilimidir.

Hareketsiz hâlde duran bir cisim üzerine bir kuvvet uygulanmadığı sürece hareketsiz kalacaktır. Newton (1642-1727) cisimlerin nasıl hareket edeceklerini açıklayan üç adet kanun ifade etmiştir. Buna göre birinci kanun şöyle ifade edilebilir: Hareket hâlindeki bir cisim veya durmakta olan bir cisim, üzerine herhangi bir kuvvet uygulanmazsa durumunu aynen koruyacaktır. Yani duran bir cisim durmaya devam edecektir. Hareketi başlatmak veya durdurmak için bir kuvvet gerekecektir. Hareket hâlindeki bir cisim bu hâlini korumak isteyecektir. Hareket hâlindeki bir cismin hızını veya yönünü değiştirmek için bir kuvvet gereklidir. Örneğin, hareket hâlindeki bir otobüste ayakta gidiyorsunuz. Otobüsün aniden durduğunu kabul edelim. Hareketsiz hâlde duran vücudunuz öne doğru fırlayacaktır. Duran bir otobüsün aniden harekete geçtiğini düşünelim. Şimdi de vücudunuz arkaya doğru yıkılacaktır. Bu iki durum, birinci hareket kanununun doğal bir sonucudur.

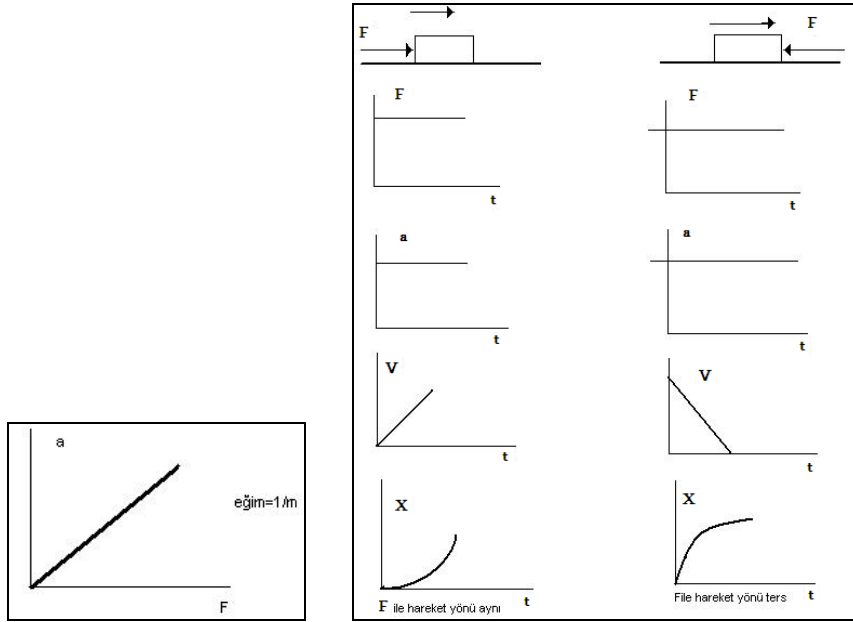


Şekil 1.5: Eylemsizlik prensibi (atalet kanunu)

## 1.2.2. Dinamiğin Temel Prensibi (Denge Kanunu)

Cisimlerin hareketini ve hızını değiştiren etki kuvvettir. Hızın değişmesi cisme ivme kazandırır, ivmenin değişmesi cismin kütlesine ve uygulanan kuvvete bağlıdır. Bir cisme uygulanan kuvvetin, cisme kazandırdığı ivmeye oranı sabittir. Bu sabit değere cismin kütlesi denir. Sabit bileşke kuvvet etkisindeki bir cismin hızı, düzgün değişecek (sabit ivmeli) şekilde gerçekleşir.  $m$  kütlesi bir cisme  $F_1, F_2, F_3, \dots$  kuvvetleri ayrı ayrı uygulandığında cisim  $a_1, a_2, a_3, \dots$  ivmelerini kazanır. Kuvvetin ivmeye oranı kütleli verir.

$$m = F_1/a_1 = F_2/a_2 = F_3/a_3 = \text{Sabit} \quad \text{Buradan } F = m \cdot a \text{ bağıntısı yazılabilir.}$$



Şekil 1.6: Dinamiğin temel prensibi (Denge Kanunu)

Yerde duran bir futbol topuna tekme atınız. Topun kısa mesafede yerden ayrılmadığını düşünürsek öne doğru ivmelenecektir. Topun kazanacağı ivme, topun kütlesine ve topa uygulanan kuvvete bağlı olacaktır. Topa ne kadar kuvvetli vurursanız, top o derece hızlı hareket edecektir. Bir futbol maçında kale atışı yapan bir oyuncu, ne kadar kuvvetli vurursa vursun topu santra çizgisinden çok uzağa atamaz. Aynı şeyi bir çocuğa yaptırınız. Onun atışı 10 m'yi geçemez. Newton'un ikinci hareket kanunu şöyle ifade edilir: Bir cisme tatbik edilen kuvvetin şiddeti arttıkça cismin ivmesi de artış gösterir. Yani cismin kütlesi arttıkça o cismi ivmelendirmek için daha büyük bir kuvvete ihtiyaç duyulur.

Denklem olarak Newton'un ikinci kanunu: Kuvvet = Kütle x İvme  $F = m \cdot a$  olarak yazılabilir. Kuvvet birimi Newton olup şu şekilde ifade edilir: Bir kilogramlık bir kütleye, bir metre/saniye karelik ivme kazandıran kuvvetin değeri 1 Newton'dur.

$$F = m \cdot a$$

$$F = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/sn}^2$$

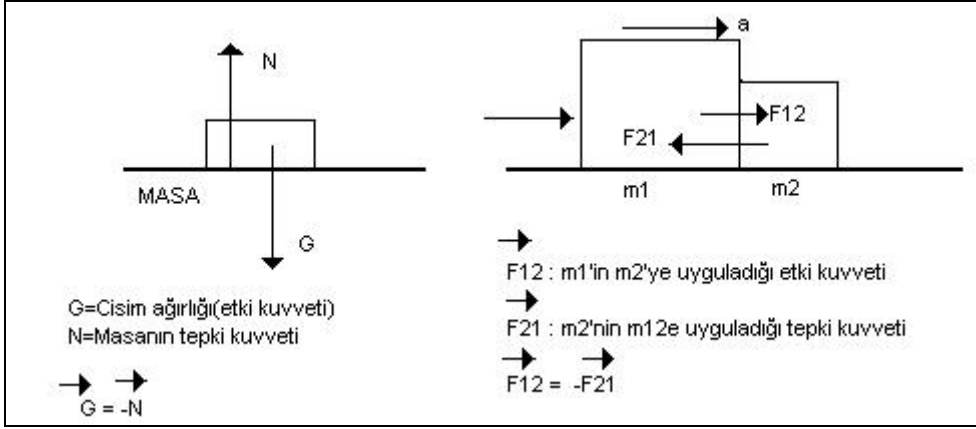
$$F = 1 \text{ N}$$

Kütlesi 0,5 kg olan bir top, 50 N' luk bir kuvvetle fırlatılıyor. Topun kazanacağı ivme nedir?

$$F = m \cdot a \quad a = F/m = 50 / 0,5 = 100 \text{ m/sn. olarak bulunur.}$$

### 1.2.3. Etki- Tepki Prensibi (Hareket Kanunu)

Doğada, her etkiye karşılık eşit büyüklükte ve zıt yönde bir tepki kuvveti vardır. Bir masanın üstüne mümkün olduğu kadar kuvvetli bir yumruk attığınızda elinizin ağrıdığını hissedeceksiniz. Burada atılan yumruk etkiyi, elimizin ağrması ise tepkiyi göstermektedir. Newton'un üçüncü kanunu şöyle ifade edilebilir: Her bir etki kuvvetine karşı eşit ve zıt yönde bir tepki kuvveti vardır.



Şekil 1.7: Etki-tepki prensibi (Hareket Kanunu)

İki cisimden birincisi ikinci cisme bir “etki” kuvveti uyguluyorsa ikincisi de birincisine eşit büyüklükte ve zıt yönde bir “tepki” kuvveti uygular. Etki ve tepki kuvvetleri birbirini yok etmez (tüfek veya top tepkisi gibi).

Herhangi bir cisme bir kuvvet etki ederse eşit ve zıt yönde bir tepki kuvveti meydana gelir. Örneğin tavana bağlı bir ipe bir ağırlık asalım. Ağırlık etkiyi, ipteki gerilme kuvveti ise tepkiyi temsil eder.

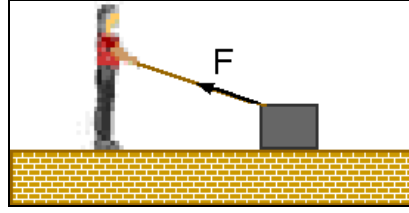
Etki ve tepki kuvvetleri aynı cisim üzerinde olsaydı, cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesi sıfır olacağından ivmeli hareket olamazdı. Pervaneli veya gaz türbinli bir motorun fonksiyonu bir gaz veya hava kütlesini geriye doğru ivmelendirerek thrust üretmektir. Eğer Newton kanunlarını uçak tepkisine uyarlırsak şunları söyleyebiliriz: Bir gaz veya hava kütlesini ivmelendirebilmek için bir kuvvet uygulanmalıdır (1. Kanun). Kütlelerin ivmelendirilmesi uygulanan kuvvet ile orantılıdır (2. Kanun). Eşit ve zıt yönde bir tepki, bizim örneğimizde bu thrust, bir ileriye etkiyen kuvvettir (3. Kanun).

### 1.3. Kuvvet, İş, Güç, Enerji, Hız ve İvme Arasındaki İlişkiler

İş, güç ve enerji birbirleriyle ilişkilidir. Verilen bir kuvvetin sebep olduğu hareket miktarına iş, iş yapabilme kabiliyetine enerji ve iş yapabilme oranına güç denir.

#### 1.3.1. Kuvvet

Kuvvet bir cisim üzerine uygulanan çekme veya basma işlemidir. Kuvvet bir cismin hareket etmesine, durmasına, hızını veya yönünü değiştirmesine sebep olabilir.



Resim 1.5: Kuvvetin cisimler üzerindeki etkileri

- Kuvvetin cisimler üzerindeki etkileri:
  - Kuvvet cisimleri hareket ettirir (Bir cismi elinizle iterseniz onu hareket ettirebilirsiniz.).
  - Hareket eden cisimleri durdurur (Hareket eden bir cisme hareket yönüne zıt bir kuvvet uygulanınca cisim yavaşlar ve durabilir.).
  - Hareket eden cisimlerin hareket yönünü değiştirir.
  - Cisimlerin şeklini değiştirir.

Newton Kanunu'na göre Kuvvet = Kütle x İvme =>  $F = m \cdot a$ 'dır. Kütle "m" ile gösterilir ve birimi kg'dır. Yerçekimi ivmesi "a" ile gösterilir ve birimi  $m/sn.^2$ dir. Kuvvet bir nesneyi itmek veya çekmek olarak tanımlanabilir. İngiliz sisteminde pound (1b) kuvvetin değerini ifade için kullanılır. Örneğin, bir hidrolik piston üzerine 30 lb kuvvet etkiliyor deriz. Kuvvetin birimi metrik sistemde Newton (N)'dur. Newton 1 kg'lık bir kütleyi  $1 m/sn.^2$  kadar ivmelendirebilmek için gereken kuvvete denir.  $1 N = 1 kg \cdot m/sn.^2$  Dyne (dayn) de aynı zamanda metrik sistemde kullanılır. 1 dyne 1 gramlık kütleyi  $1 m/sn.^2$ lik ivme ile hareket ettirebilecek kuvvettir. 1 newton = 100000 dyne (0,225 lb)

#### 1.3.2. İş

Günlük hayatımızda sayısız iş tanımı yapılabilir. Fakat fiziksel anlamda işin tanımı nettir. Düz bir yolda saatlerce yürüyen bir insan mı, masada oturup saatlerce ders çalışan öğrenci mi iş yapmıştır? Yoksa bir basamak merdiven çıkan öğrenci mi iş yapmıştır? Düz bir yolda yürüyen adam ile çalışan öğrenci fiziksel anlamda iş yapmamıştır. Ancak bir basamak merdiven çıkan öğrenci fiziksel anlamda bir iş yapmıştır.

Bir cisim, uygulanan kuvvetin doğrultusunda veya bileşenin doğrultusunda yer değiştirme yapıyorsa bu kuvvet etkisinde iş yapmış olur. Bu işin tanımından da anlaşıldığı üzere fen anlamında işin yapılabilmesi için üç şartın gerçekleşmesi gerekir. Bu şartlardan biri ve ya birkaçı eksik olursa iş yapılmış sayılmaz.

- Bir cisme bir kuvvetin uygulanması gerekir yani bir kuvvet olmalıdır.
- Bu kuvvetin bu cisme yol aldırması gerekir.
- Kuvvetle yolun aynı doğrultuda olması gerekir.

$$\text{İş} = \text{Kuvvet} \times \text{Yol} \Rightarrow W = F \times S$$

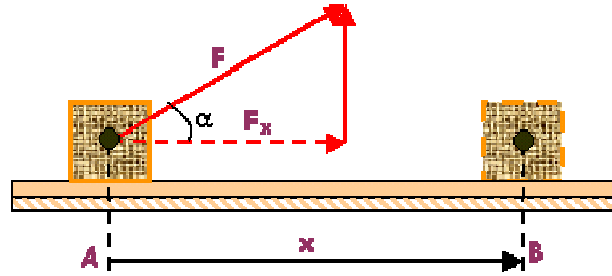
W: Yapılan iş

F: Hareket doğrultusundaki kuvvetlerin bileşkesi (Net kuvvet)

S: Net kuvvet doğrultusunda alınan yol

Bu formülün geçerli olabilmesi için kuvvet ile yolun aynı doğrultuda yani birbirine paralel olması gerekir. Kuvvet yola paralel değilse ya kuvvetin yol doğrultusundaki bileşeni alınarak ya da yolun kuvvet doğrultusundaki bileşeni alınarak kuvvetle yol aynı doğrultuya getirildikten sonra çarpma işlemi yapılır.

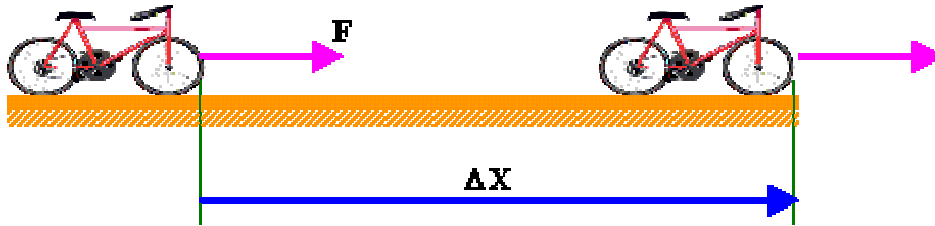
İş birimi olarak; Newton.metre= Jul, 1 Jul = 107 Erg,  $\text{kgm}^2 / \text{sn}^2 = \text{Jul}$  kullanılabilir.



**Resim 1.6: Bir cismin A noktasından B noktasına X kadar yer değişimi**

Şekilde olduğu gibi, bir F kuvvetinin bir cismin A noktasından B noktasına X kadar yerini değiştirdiğini varsayalım, F'nin x doğrultusundaki bileşeni  $F_x$  ile gösterelim. Bu durumda x yer değiştirmesi süresinde F tarafından yapılan işi bulmak için,  $W = F_x \cdot x$  olacaktır. Bu durumda  $F_x$ 'i bulmak için  $F_x = F \cdot \cos \alpha$  eşitliğinden yararlanılır. Bu iki formülden yararlanarak formülümüzü tekrar ele alacak olursak  $W = F \cdot \cos \alpha \cdot x$  olacaktır.

Örnek: Bir kişi 25 Newton kuvvet uygulayarak bisiklete 1500 metre yol aldırırsa yapılan iş kaç Jul'dir. 10 Newtonluk bir kuvvetle aynı işin yapılması için bisikletin ne kadar yol alması gerekir?



**Şekil 1.8: Bisikletlerin hareketi**

İlk olarak yapılan işin miktarını belirlemek gerekmektedir. Bunun için yukarıda verilen formülü kullanırsak  $F=25$  Newton,  $x=1500$  metre ise



$$W = F \cdot x, \quad W = 25 \cdot 1500 = 37500 \text{ Jul}$$

$$x = W/F \quad x = 37500/10 = 3750 \text{ m yol alması gereklidir.}$$

Yukarıda verilen örnekte görüldüğü gibi kuvvet ve yol arttıkça yapılan işin miktarı da artmaktadır. Yani aralarında doğru bir orantı vardır. Teknik anlamda iş, kuvvet ve mesafenin çarpımıdır. İş sadece bir kuvvet hareketiyle sebep olunca gerçekleşir. Normal olarak yolu feet veya inç olarak ve kuvveti pound veya ons ile ölçeriz. Bu bize işin foot-pound veya inç-ons olarak ölçmemizi sağlar.

**Örnek:** 500 poundluk bir yük 6 feet kaldırıldığında yapılan iş miktarı:  
İş = Kuvvet x Yol = 500 x 6 = 3000 foot-pounds olur.

### 1.3.3. Güç

Yapılan işin gerçekleşme süresi ne kadar kısa olursa o işi yapan sistemin gücü de o oranda büyük olur. Birim zamanda yapılan işe güç denir. Yani iş yapabilme hızının bir ölçüsüdür. Bu enerji üretilirken veya tüketilirken bir zaman geçer. Fabrikada çalışan bir işçinin yaptığı iş, zaman geçtikçe artar ve harcadığı enerji de artar. Fakat birim zamanda yaptığı iş aynıdır. Benzer şekilde bir elektrikli ısıtıcının harcadığı enerji birim zamanda aynıdır ama zaman geçtikçe harcadığı toplam enerjisi geçen zamanla artmaktadır. Güç P ile gösterilir ve birimi Watt'tır. Birim zamanda (t) cismin harcadığı enerji W ise güç;

$$\text{Güç} = \frac{\text{Yapılan iş}}{\text{İşi yapmak için geçen zaman}} \quad P = \frac{W}{t}$$

SI sisteminde İş= Jul, zaman ise saniye ile ifade edilir. Güç birimi ise jul/saniye olacaktır. Bunun da SI sistemindeki karşılığı Watt'tır. Watt biriminin kullanılmasının nedeni ise buhar makinesini icat eden İskoçyalı bilim adamı James Watt'tan dolayıdır. Watt küçük bir güç birimi olduğunda bunun yerine 1000 katını ifade eden kilowatt (kw) kullanılmaktadır. Taşıtlarda ise watt yerine beygir gücü ifadesi kullanılır. 1 BG=736 watt'tır.

**Örnek:** Recep ve Oktay tavana bağlı olan 10 metre uzunluğundaki bir halata tırmanmaktadır. Recep 75 kg, Oktay ise 62 kg'dır. Recep ipe 15 saniyede tırmanırken Oktay 20 saniyede tırmanmıştır. Bu durumda Recep mi yoksa Oktay mı daha güçlüdür?

(PR, Recep'in gücünü Po ise Oktay'ın gücünü ifade etmektedir,)

$$PR = W/t \quad PR = mgh/t \quad PR = (75 \cdot 9,8 \cdot 10)/15 \quad PR = 490 \text{ watt}$$

$$Po = W/t \quad Po = mgh/t \quad Po = (62 \cdot 9,8 \cdot 10)/10 \quad Po = 607,6 \text{ watt}$$

Yapılan işlemlerde de görüldüğü gibi Oktay Recep'ten daha güçlüdür.

Güç, birçok birim ile ifade edilir: {watt}, [ergs/saniye] ve [foot-pounds/saniye] gibi. Gücün USA'da en çok kullanılan birimi "horse power" (beygir)dir. Bir beygir (hp) = 550 ft-lb's veya 300 ft-lb/min'dir. Metrik sistemde ise birim watt (W) veya kilowatt (kW) [1 hp = 746 watt], [1 kW = 1.34 hp)tır.

**Örnek:** İçinde 10 kişi olan bir asansörü 5 saniyede 100 ft mesafe hareket ettirmek için gereken güç nedir? (Asansörün 2500 lb yüklü olduğu kabul edilecek.)

$$\text{Güç} = \frac{\text{Yapılan iş}}{\text{İş yapmak için geçen zaman}} = \frac{2500 \cdot 100}{5} = 50000 \text{ ft-lbs/s}$$

1 hp = 500 ft-lbs/s  $\Rightarrow$  50000 ft-lbs/s için Güç= 90,9 hp (67,81 kW sürtünme olmaksızın)

### 1.3.4. Enerji

Bir cismin veya sistemin iş yapabilme yeteneğidir. Enerjisi olan bir sistem iş yapabilir veya iş yapan bir sistemde enerji değişimi olur. Mekanik enerji; kinetik enerji (hareket enerjisi) ve potansiyel enerji olmak üzere ikiye ayrılır.

### 1.3.5. Hız

Bir hareketin birim zamandaki yer değiştirmesine hız denir.

V: Hız

$$V = \Delta X / \Delta t$$

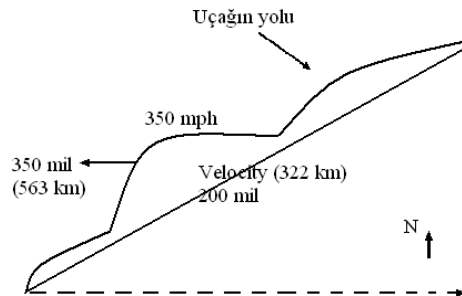
$\Delta X$ : Yer değiştirme

$\Delta t$ : Geçen süre

Bir doğru boyunca cisim eşit zamanlarda eşit yer değiştirmeler yapıyorsa hız sabit demektir. Bu harekete düzgün doğrusal hareket denir.

Velocity; vektörel hız, speed; skaler hızdır. Fark şudur: Speed skaler büyüklüktür, terimi ise hız ve yönünü beraber tanımlar. Velocity'nin tam tanımı, zamanla yer değiştirme ve yön değiştirmedir.

Şekil 1.9'da bir uçak düzensiz bir yolda A'dan B'ye bir saatte 350 mph ile uçuyor. Vektörel bir hız olarak ise 200 mph ile doğu-kuzeydoğu yönünde uçmaktadır.



Şekil 1.9: Bir uçağın düzensiz bir yolda A'dan B'ye hareketi

### 1.3.6. İvme

Bir doğru boyunca hareket eden bir cismin hızı zamanla düzgün olarak değişiyorsa (eşit zaman aralıklarında hız eşit miktarda değişiyorsa) bu harekete düzgün değişen doğrusal hareket denir. Bu harekette ivme sabittir. İvme; birim zamandaki hız değişimidir.

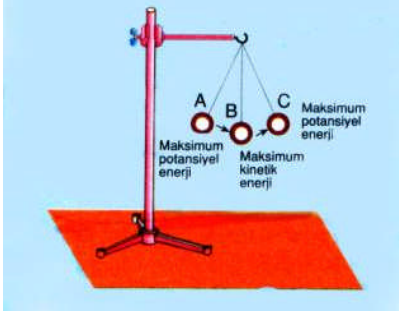
$$a = \text{İvme} \quad \Delta V = \text{Hız değişimi} \quad \Delta t = \text{Geçen süre} \quad a = \Delta V / \Delta t$$

Eğer bir nesne hızlanırsa pozitif ivmelenmeye; yavaşlarsa negatif ivmelenmeye sahiptir. Newton'un İkinci Hareket Kanunu'na göre ivmelenme prensibi açıklanır. İvmelenme düz bir hat üzerinde olursa liner ivmelenme, dairesel hareket yapan bir nesnede olursa açısız ivmelenme olur.

## UYGULAMA FAALİYETİ

**Potansiyel enerji- kinetik enerji dönüşümünü inceleyiniz.**

**Kullanılacak araç gereçler:** Sarkaç, hertz ayağı, üç ayak, statik çubuk

İşlem Basamakları	Öneriler
 <p>➤ Emniyet kurallarına uyunuz.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Çalışma alanının temiz ve düzenli olmasına dikkat ediniz.</li><li>➤ Bütün enerji çeşitleri birbirine dönüşebilir.</li><li>➤ Örneğin; barajlarda biriken suyun potansiyel enerjisi vardır.</li><li>➤ Barajdaki su, hidroelektrik santraldan geçerken potansiyel enerjinin bir kısmı kinetik enerjiye dönüşür.</li><li>➤ Bu enerji türbinleri döndürür. Dönen türbinler jeneratörlerde elektrik üretilmesini sağlar.</li></ul>
<p>➤ Sarkacı hertz ayağına bağlayarak şekildeki düzeneği kurunuz.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Top sabit durduğunda kinetik enerjisi sıfırdır.</li><li>➤ Potansiyel enerji ise yere göre minimumdur. Topu yukarı doğru kaldırdığınızda potansiyel enerjisi artar.</li><li>➤ Maksimum yükseklikte potansiyel enerji maksimumdur. Top yine bu noktada durduğu için kinetik enerjisi sıfırdır (A noktası).</li></ul>
<p>➤ Sarkaç topunun sabit kalmasını bekleyiniz.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Bu defa topu serbest bıraktığınızda yerçekiminin etkisiyle top aşağıya doğru düşerken potansiyel enerjisinin bir kısmını kaybeder ancak top hızlandığı için kinetik enerjisi artar.</li><li>➤ Topun B noktasındaki hızı ve kinetik enerjisi maksimum olurken, potansiyel enerjisi minimumdur.</li></ul>
<p>➤ Topu yana doğru çekip serbest bırakınız. Sonucu gözlemleyiniz.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ C noktasına doğru yükselen topun hızı azalacağından kinetik enerjisi de azalır, yukarı doğru yükselme olduğundan potansiyel enerjisi artar.</li><li>➤ Sarkaç topu C noktasında durduğunda potansiyel enerji maksimum, kinetik enerji ise sıfır olur. Topun yeniden geriye düşmesiyle sürtünme olmadığı takdirde bu olay sonsuza dek sürer.</li></ul>

## KONTROL LİSTESİ

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

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1	Gerekli çalışma ortamını hazırladınız mı?		
2	İşlem basamaklarını tespit ettiniz mi?		
3	Potansiyel enerji ile ilgili tanım ve problemleri öğrenebildiniz mi?		
4	Kinetik enerji ile ilgili tanım ve problemleri öğrenebildiniz mi?		
5	Eylemsizlik prensibi ile ilgili tanımlamayı öğrenebildiniz mi?		
6	Dinamiğin temel prensibi ilgili tanımlamayı öğrenebildiniz mi?		
7	Etki-tepki prensibi ile ilgili tanımlamayı öğrenebildiniz mi?		
8	Dinamik ile ilgili hesaplamaları bakım dokümanlarında belirtildiği şekilde yaptınız mı?		
9	Kuvvet, iş, güç, enerji, hız ve ivme arasındaki ilişkileri öğrenebildiniz mi?		
10	Kuvvet, iş, güç, enerji, hız ve ivme ile ilgili tanım ve problemleri öğrenebildiniz mi?		

## DEĞERLENDİRME

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

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

- 80 kg'lık bir at arabasına 5 m yol aldirmekle yapılan iş kaç juldür? (Sürtünme olmadığını kabul edersek)  
A) 250  
B) 750  
C) 1250  
D) 400
- 10 m derinliğindeki bir kuyudan 900 kg suyu 0,5 dakikada çekebilen motorun gücü kaç B.G'dir?  
A) 2  
B) 3  
C) 4  
D) 5
- Bir adam yüksekliği 50 m olan bir dama her biri 10N ağırlığında 20 tuğla çıkarıyor. Başka bir adam aynı yüksekliğe 15 tuğla çıkarıyor. Birinci adam, ikinci adamdan kaç jul fazla iş yapmıştır?  
A) 2500  
B) 4500  
C) 7500  
D) 10000
- Aşağıdakilerden hangisi 1 watt'a eşit değildir?  
A) 1 kg-f-m/sn.:9,81  
B) 1 kg-f-m . 9.81  
C) 1 jul/s  
D) 1BB/736
- Kütlesi 20 kg olan bir cisim 10 m/sn. hızla hareket ederken kinetik enerjisi kaç juldür?  
A) 250  
B) 500  
C) 750  
D) 1000
- 5 m yükseklikte bulunan 50 kg kütleli bir taşın yere göre potansiyel enerjisi kaç juldür? ( $g=10 \text{ m/sn.}^2$ )  
A) 250  
B) 1250  
C) 2500  
D) 5000

## DEĞERLENDİRME

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

# ÖĞRENME FAALİYETİ-2

## AMAÇ

Bu faaliyetin sonunda uygun ortam sağlandığında motor performans hesaplamalarını tekniğine uygun hatasız olarak yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Toplam thrust, net thrust, toplam itme gücü, itme dağılımı, bileşik thrust terimlerini araştırınız.
- Araştırma konusunda sanal ortamda ve ilgili sektörde kaynak taraması yapınız.
- Yaptığınız araştırmayı rapor hâline getiriniz.
- Hazırladığınız raporu sınıftaki arkadaşlarınızla sunu yaparak paylaşınız.

## 2. MOTOR PERFORMANSI

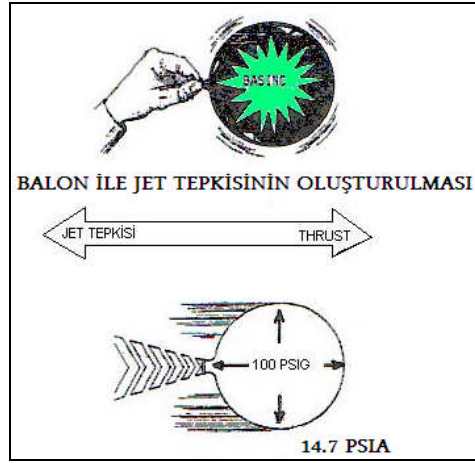
### 2.1. Brüt Çekiş (Thrust), Net Çekiş, “Choked Nozzle” Çekişi, Çekiş Dağılımı, Bileşke Çekiş, Çekiş Beygir Gücü, Eş Değer Şaft Beygir Gücü ve Özgül Yakıt Tüketimi

Motor performansını inceleyebilmek için çekiş gücü, beygir gücü ve özgül yakıt tüketimi gibi terimleri incelemek ve anlamak gerekir.

#### 2.1.1. Thrust

Turbojet motoru jet nozuldan çıkan yüksek hızlı gazların üretilmesi amacıyla dizayn edilmiş bir makinedir. İçinde değişik elemanları vardır ancak dışarıdan bakıldığında iki ucu açık boru gibi görülür. Bu borunun bir ucu havanın girdiği inlet (alık), diğer ucu ise tepkiyi oluşturacak, giren havanın hızına kıyasla daha hızlı havanın çıktığı nozul (lüle=orifis)dur. Tepkinin giren ve çıkan havanın hız farkına bağlı olduğu dikkate alınmalıdır.

Balon ile jet tepkisinin oluşturulmasını incelersek; balonun içerisine basılan hava, balon hacmi kadar bir basınç oluşturur. Bu basınç balonun bütün iç cidarlarında aynıdır. Balonun ağzı açıldığında jet pipe denilen bu ağızdan çıkan hava, jet tepkisi oluşturur, bu jet tepkisinin 180° zıt yönünde basınç olduğundan balonu bu yönde hareket ettirir. Balonun ağzından çıkan hava bir jet tepki oluşturur. Balonun ağız kısmında bir basınç düşümü olur. Ön tarafta basınç olduğundan bu basınç farkından dolayı balonun ağzından çıkan havanın hızı artıp statik basıncı düşer.



**Resim 2.1: Balon ile jet tepkisinin oluşturulması**

Motor kompresörün starter tarafından döndürülmesiyle çalışmaya başlar. İnlet duct'tan (hava alığından) emilen hava bir dizi LP (low pressure = düşük basınç) ve HP (high pressure = yüksek basınç) compressor stage'i (kompresör kademesi = rotor + stator) tarafından sıkıştırılır ve basıncı artırılarak 150 m/sn. hızla combustion chamber'a (yanma odası) sevk edilir. Hava, combustion chamber'a girmeden bir dizi işlemden geçirilerek diffuser'de (hız düşürüp basınç artırıcı) hızı, yakıtla tutuşup yanabilmesi için uygun limitlere düşürülür = 25 m/sn. Combustion chamber girişinde fuel nozul (yakıt üfleyici) etrafında bulunan swirl vane'den (helezon sabit bıçak yapısı) geçen hava burgu hareketi kazanarak combustion chamber'ın içinde bulunan flame tube'e (alev tüpü = alevin oluştuğu kısım) girer.

Combustion chamber'a giren havanın hızı uygun değere gelince yaklaşık motor N2 şaftının % 17 devrine tekamül eden bir devirde ignition on (bujilerin ateşlenmesi) durumuna geçer ve combustion chamber içine daldırılmış bulunan motorun alt iki yarısındaki bujiler ateşlenir. N2 şaftının % 21 devrinde HP fuel on (yüksek basınçlı yakıt açılır) olarak fuel nozullar (yakıt püskürtücü) vasıtasıyla yakıt combustion chamber'ın girişinden etrafından giren havanın merkezine doğru püskürtülür.

N2 şaftının % 26 devrine yakın bir değerde Light Up (tutuşmanın başlangıcı) gerçekleşir, N2 şaftının % 38 devri civarında bir değerde Self sustaining speed (alevin kendini devam ettirecek, kararlı hâle gelmesi) gerçekleşir. N2 şaftının yaklaşık % 45 devrinde Starter cut-out speed (starterin devre dışı kalması) olarak devreden çıkar. N2 şaftı % 60 devire gelindiğinde artık Idle (rölanti) devri olup motor kendi kendine çalışır vaziyete gelir. Combustion chamber'a 1/15 oranında (ideal yanma için) hava ve yakıt gönderildiğinde alev sönmeden yanmaya devam eder. Combustion chamber'ın flame tube'nün içinde yanan hava yakıt karışımının sıcaklığı = 1200 °C'ye ulaşır.

Bu sıcaklığın etkisini azaltmak için P3 (CDP= compressor discharge pressure = kompresör çıkış basıncı) ile gelen havanın % 20'si combustion chamber içerisinde yanmaya katılırken % 80'i combustion chamber'ı soğutmak için ve flame tube üzerindeki değişik açılı deliklerden girerek alevin merkezde tutulması ve alevle flame tube iç yüzünün temasını önleyerek hava filmi vazifesi görmesi için kullanılır.



Combustion chamber'den çıkan yanmış gazlar ve yanmaya katılmayan hava türbine nozul guide vane (türbin rehber, yönlendirici sabit bıçakları) tarafından bir sonraki HP türbin blade'lerine (yüksek basınç türbin hareketli bıçaklarına, pallerine) çarparak blade'leri ve bağlı oldukları rotor disklerini çevirir. Her stage'de (kademe) bu işlem tekrarlanarak HP türbinden sonra gelen LP türbin kademelerinde de akan gazların enerjisi türbin blade'leri tarafından emilerek N1 ve N2 şaftları vasıtasıyla LP ve HP kompresör stage'lerine iletilir, böylece türbinler kendi kompresörleriyle aynı devirde döner. HP türbin N2 şaftı vasıtasıyla HP kompresöre, LP türbinde N2 şaftının içinden geçen N1 şaftı vasıtasıyla LP kompresöre bağlı olduğundan aynı devirle döner. N1 ve N2 şaftı birbirlerinden bağımsız olduklarından farklı devirde döner, dolayısıyla LP ve HP kompresör hızları da aynı değildir.

Türbini terk eden gazlar exhaust nozul (egzoz nozul) vasıtasıyla atmosfere atılır. Exhaust nozulun özel yapısından dolayı egzoz gazları içinde akarken hız kazanır çünkü exhaust nozulun türbine bakan kısmı geniş, sonuna doğru daralan bir kesite sahiptir. Nozulun ucunda akan gazların hızı artar, statik basınçları düşer ve atmosfere çıkan gazlar akış yönünün tersine doğru thrust adı verilen bir itme kuvveti oluşturur. İşte bu kuvvet tonlarca ağırlığındaki uçağı, uçağın gövdesinin aerodinamik yapısının da yardımı ile havada uçurur.

### 2.1.2. Toplam Thrust, Net Thrust, Toplam İtme Gücü, İtme Dağılımı, Bileşik Thrust

Jet motoru tarafından geliştirilen tepki kuvveti motor içinde oluşan çok karışık etkilerin ve tepkilerin sonucudur. Nesneye ait iç kuvvetlerle sıcak gaz kütesinin ivmesi eşit olduğunda

$F = m \times a$  denklemi, itme kuvveti ölçme aletleriyle donatılmış motor test stantları gibi bazı mekaniksel ortalamaların alındığı yerlerde, itme kuvvetini hesaplamak için işe yaramaz.

$$F = \frac{W}{g} \times (V_2 - V_1)$$

**NOT: 1.**  $M = \frac{W}{g}$ , m = Kütle

**2.**  $(V_2 - V_1)$  ifadesindeki terimlerin hepsi saniyesindeki fit sayısı (ft/sn.) cinsinden hızdır. Hızların farkları ft/sn.<sup>2</sup> cinsinden ivmeyi (a) gösterir. Bu unutulmamalıdır ki  $F = m \times a$  formülündeki kütle (m) ya da ivme (a) de oluşan değişiklikler kuvvette de (F) bir değişikliğe neden olur. Bu nokta daha sonra daha iyi görülecektir.

Turbojet motoru tarafından üretilen itme kuvvetini bulmak için kullanılan denklem mühendis tarafından sadece pratikte kullanılacaktır. Bununla birlikte bu denklemin ne olduğu ve daha iyi servis yaparak turbojet itme gücünün nasıl artırılacağını göstermek için bu denklem türetilir.

Turbojetin bütün itme kuvvetini neden ve nasıl ürettiğini anlamak oldukça kolaydır. Bütün, jet motorlarıyla işi olan pilot, mekanisyen veya normal biri gibi kimseler, genellikle

bunu öğrenmek ihtiyacını hisseder. Eğer biri bu seviyenin üstüne çıkmak, hava ve gazların önden arkaya doğru tamamıyla yüzlerce delikten geçmesi gibi motorun içindeki her noktada ne olduğunu tümüyle öğrenmek isterse tesadüfi bilgidен çok termodinamik, aerodinamik ve fiziğin gazlarla ilgili kanunlarını öğrenmesi gerekir. Burada sadece thrust'ın üretiminin temellerinden söz edilecektir.

İlk zamanlar turbojet, yüksek hızlı gazlar üreten bir makine olarak belirlenmişti. Başka bir deyişle turbojet içinden geçen hava ve yakıt kütlesiyle momentumu yükselten bir makinedir.

Momentum, motordan geçen hava, yakıt ve yanmanın ürünlerinin açığa vurduğu itici güçtür. Matematiksel olarak momentum, cismin hareket sonucu ürettiği hızla kütle çarpımıdır. Yerçekimi bulunan yerlerde cismin ağırlığı olan kütle, yerçekimi ivmesine bölünür. Şu hâlde turbojetin momentumu:  $(W/g) \times V$ 'dir.  $W$  motordan geçen yakıt ve havanın pound/saniye cinsinden "akış oranıdır".

$F = M \times a$  denkleminin versiyonu olan  $F = (W/g) \times (V_2 - V_1)$  şu şekilde yeniden yazılabilir:

$$F = \left( \frac{W}{g} \times V_2 \right) - \left( \frac{W}{g} \times V_1 \right)$$

Böylece, bu denklemin parçaları olan  $W/g \times V_2$  ve  $W/g \times V_1$  ifadelerinde momentumun yerine kullanılan kelimenin, jet motorundan geçerken ivmelenen kütle ürettiği ve kütle son momentumu ile ilk momentumu arasındaki farka dönüşen kuvvet olduğu anlaşılabilir.

Egzoz gazlarının çıkış momentumundan, içeriye giren havanın ve yakıtın momentumu çıkarıldığında motor tarafından üretilen bütün momentum değişikliği gösterilmiş olur. Bu kuvvete tepki olan kuvvet şüphesiz motor thrust'ıdır.

$F_n$ : LBS cinsinden net thrust olduğunda:

$$F_n = \left[ \begin{array}{l} \text{dışarıya çıkan} \\ \text{eksoz gazı} \\ \text{momentumu} \end{array} \right] - \left( \left[ \begin{array}{l} \text{içeriye giren} \\ \text{havanın} \\ \text{momentumu} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{içeriye giren} \\ \text{yakıtın} \\ \text{momentumu} \end{array} \right] \right)$$

Thrust, balanssız kuvvetlerin sonucu olarak motorun içinde, motorun kendisi tarafından üretilen kuvvetlerin turbojet tarafından geliştirilmesiyle oluşur. Motorun statik basıncı, ortam havasının statik basıncını aştığında ek kuvvet ya da thrust nozuldan gelişir. net thrust ve brüt thrust olmak üzere iki çeşit thrust vardır.

**Net thrust**, motordan geçen yakıt ve hava filtresindeki momentum değişikliğinin sonucu olan thrust'tır. Aynı zamanda net thrust, nozuldaki statik basıncın ortam (dış) havasının statik basıncını aşması ile jet nozulunda oluşan ekstra thrustu da içerir.

Bu ek thrust, oyuncak balonun hareket etmesine sebep olan kuvvet olarak gösterilir. Çünkü balonun ağzı açıldıktan sonra balonun içinden dengesiz basınç oluşur. Jet motorunun nozulundaki statik basınçla ortam havasının statik basıncı arasındaki dengesizlik aynı etkiye neden olur. Jette, balonla aynı şekilde oluşan statik üst akış basıncı ki bu basınç thrust olarak bilinen itme kuvvetini daha da artırır (jet motorunun veya balonun hareket yönünde). Statik alt akış basıncından daha büyüktür. Aslında jet motorunun ve balonun nozullarından thrust ya da ek kuvvetin üretilme yolu bundan daha karışıktır. Açıklama daha kolay anlaşılabilir diye basite indirgenmiştir.

Eğer önceki denklemdeki, jet nozulu tarafından üretilen ek thrust'ı bir anlık ihmal eder ve kelimelerin yerine uygun sembollerini koyarsak net thrust denklemi şu hâle gelir.

$$F_n = \left( \frac{W_a + W_f}{g} \times V_j \right) - \left( \frac{W_a}{g} \times V_a + \frac{W_f}{g} \times V_f \right)$$

<b>F<sub>n</sub></b> : LBS cinsinden net thrust	<b>W<sub>f</sub></b> : LBS/sn. cinsinden yakıt akışı
<b>g</b> : Yerçekimi ivmesi	<b>V<sub>a</sub></b> : FT/sn. cinsinden giren hava hızı
<b>W<sub>a</sub></b> : LBS/sn cinsinden motordan geçen hava akışı	<b>V<sub>f</sub></b> : FT/sn. cinsinden giren yakıt hızı
<b>V<sub>j</sub></b> : FT/sn. cinsinden egzoz gaz hızı	

Bu denklemin dikkatli incelenmesiyle jet motoru versiyonu olan  $F = m \times a$  denkleminin başka bir yolla ifade edildiği gözlenir. Şimdi denklemi ele alalım. Denklemdeki motor tarafından, hava ve yakıtın birlikte tüketilmesiyle oluşan, dışarı çıkan egzoz gazları bir kütleyle ( $W / g$ ) sahip olacaklardır. İçeriye giren havanın hızı ( $V_a$ ) uçağın hızına yaklaşık olarak eşit olacaktır. İçeriye giren yakıtın hızı ( $V_f$ ) sıfır alınmıştır. Çünkü yakıt, uçağın gövdesinde taşınır ve bu yüzden motora bağlı olan bir ilk hızla sahip değildir. Böylece denklem şu şekilde yazılabilir:

$$F_n = \left( \frac{W_a + W_f}{g} \times V_j \right) - \left( \frac{W_a}{g} \times V_a + 0 \right)$$

Ya da

$$F_n = \frac{W_a}{g} \times (V_j - V_a) + \frac{W_f}{g} \times (V_j)$$

Yukarıdaki denklemlerdeki semboller daha önceden kabul edilen aynı birimleri temsil eder:

$V_a$  = ft/sn. cinsinden uçağın hızı

Birçok pratik durumda, özellikle konvansiyonel subsonic uçaklarda jet nozulları kullanılırken motorun içindeki tüm basınç hızla çevrelenemez. Hıza dönüştürülemeyen basınç jet nozulunda üretilen ek kuvvet (thrust) olarak gösterilir. Bu hızla çevrelenemeyen basınç ve thrust uçağın hızı arttıkça çok daha bariz bir şekilde üretilir. Daha önceden bahsedildiği gibi bu ekstra thrust ses ötesi hızlarda çok büyük bir anlam kazanır. Bu nedenle net thrust denklemi şu şekilde yazılmalıdır:

$$F_n = \frac{W_a}{g}(V_j - V_a) + \frac{W_f}{g}x(V_j) + A_j(P_j - P_{am})$$

$A_j$  : FT<sup>2</sup> cinsinden motor jet nozul alanı

$P_j$  : LBS/FT<sup>2</sup> cinsinden jet nozulundaki ortam havasının statik basıncı

$P_{am}$  : LBS/FT<sup>2</sup> cinsinden jet nozulundaki ortam havasının statik basıncı

Pratikte net thrust hesaplanırken yakıt akışı genellikle hesaba katılmaz. Çünkü motorun birçok bölgesinden sızan havanın ağırlığıyla tüketilen yakıtın ağırlığının eşit olduğu varsayılır. Bu yüzden turbojet motoru tarafından üretilen net thrust'ı hesaplamak için kullanılan denklem (yakıt akışına katmaksızın) son olarak şu hâli alır:

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

**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 thrustta hava ve yakıtın giriş momentumları göz önüne alınmaz. Giriş momentumu, sadece motor statik konumda iken 0 kabul edilir. Yakıt akışını katmaksızın brüt thrust denklemi şöyledir:

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

Birimler daha önceden kabul edilen birimlerle aynı iken

$F_a$ : LBS cinsinden brüt thrust

Uçak ve motor durgun hâlde iken, uçak park edilmiş iken veya motor kalkış öncesi pistin sonunda ısınırken net thrust ve brüt thrust eşittir. Aynı şey motor test standında çalışırken de doğrudur. Gaz türbinli motorlar tartışılırken thrust terimi tek başına kullanılır ve aksi belirtilmediği sürece genellikle referans olarak net thrust alınır.

### 2.1.3. Beygir İtme Gücü (Thrust Beygir Gücü)

Pistonlu, turboşaftlı, turboprop motorlar güçlerini dönen şaftlarından dağıttıkları için bunlar, test stantına motorun ürettiği beygir gücünü ölçmek için motor şaftındaki RPM ve tork'u (moment) kullanarak ölçüm yapabilen dinometre ile bağlanabilir. Jet motorları test stantları, motorun çıkış thrust'ını sadece pound cinsinden ölçtüğü için bu değer uygun bir biçimde beygir gücüne çevrilemez.

Uçakta tepki kuvvetini üreten jet motoruyla beygir gücü üreten pistonlu motor aynı hava hızında (air speed) kıyaslanabilir. 1 beygir gücü = 33000 foot-pound/dakika = 375 milpound/saattir. Güç için standart denklem, hava hızı saatte 375 mile ve itme kuvvetinin 1 pound'u bir beygir gücüne eşitken aşağıda gösterildiği gibi yazılabilir. Bu itiş kuvveti beygir gücü olarak adlandırılır. TPH= Jet motorunun verilen hava hızıyla seyahat ederken yaklaşık

olarak ürettiği thrust beygir kuvveti THRUST= Uçuşta motor tarafından açığa çıkarılan pound cinsinden thrustı ifade eder.

375 mph'da 1 lb itme kuvveti = 1 thrust beygircüğü 750 mph'da 1 lb itme kuvveti = 2 thrust beygircüğü

$$TPH = (THRUST \times MPH) / 375$$

Pistonlu ve turboprop motorları, pervaneyi döndürmek için ürettikleri gücü shaft boyunca iletir. Bu güç, genellikle dinamometre ile ölçülmüş fren beygir gücü ile orantılıdır. Bu motorlar tarafından test stantlarında üretilen fren beygircüğü, endüstri standardı olarak kabul edilen % 80 pervane verimi ile çarpılır. Yukarıdaki denklem geliştirilerek jet motorlarında thrust beygir gücü hesaplanabilir.

Soru: 30800 lbs'lik bir thrust'ın 130 mph'da THP karşılığı ne olur?

Cevap:  $(30800 \cdot 130) / 375 = 10677$  TPH

#### 2.1.4. Özgül Yakıt Tüketimi (Sfc- Specific Fuel Consumption)

Yakıt sarfiyatının net tepki ile ilişkisi;  $W_f / FN = SFC / 3600$  olarak biliniyor ise  $SFC = V_0 (3600 / (J \cdot FHV)) / \eta_{TH} \cdot \eta_{TR} \cdot \eta_p$  olarak bulunabilir. Motorun, thrust için gereksinimi olan yakıt miktarını gösterir. Farklı jet motorlarını kıyaslarken kullanabileceğimiz bir ölçüdür.  $SFC = \text{Yakıt} / (\text{thrust} \times \text{Zaman})$  (kg/kN.h) Örneğin: Bir turbojet motorun 1 Kn thrust elde edebilmesi için bir turbofan motordan daha fazla gereksinimi vardır. SFC, genellikle "standart day" koşullarında, takeoff thrust (kalkış itme gücü) için verilir. Ancak "cruise power setting" (tırmanma güç ayarı) gibi diğer çalışma hâlleri için veya "max. continuous thrust setting" (en yüksek devamlı itme gücü ayarı) gibi diğer çalışma hâlleri için de verilebilir. Motorlar arasında yapılabilecek bir kıyaslama, aynı "power setting" ve ölçme sistemi kullanılarak yapılmalıdır.

$$\begin{aligned} TSFC &= 38 \frac{\text{kg}}{\text{kN} \cdot \text{h}} \text{ International Measurement System} \\ &= 0.38 \frac{\text{kg}}{\text{kp} \cdot \text{h}} \text{ Old Metric Measurement System} \\ &= 0.38 \frac{\text{lbs}}{\text{lbs} \cdot \text{h}} \text{ English / American Measurement System} \end{aligned}$$

Resim 2.2: Özgül yakıt tüketimi hesabı

## 2.2. Motor Verimleri

Propulsive verim ( $\eta_p$ ) motor gücünün faydalı iş olarak kullanılabilme oranıdır. Kısaca tepki gücünün (PT), motor çıkış gücüne (PE) oranı olarak ifade edilebilir.

$$\eta_p = PT / PE$$

Motorun tepki gücü momentum denklemi kullanılarak hesaplanan (FN) net tepki ve mol hızı (V0) kullanılarak ifade edilebilir.

$$F_N = F_G - F_R$$

$$F_N = (W_9 / g_c) \cdot V_9 + A_9 (P_{s9} - P_0) - (W_0 / g_c) V_0$$

Eğer genişlemenin tam olduğu ( $P_{s9} - P_0$ ) ve debinin motor boyunca sabit kaldığı ( $W_0 = W_9$ ) kabul edilirse thrust;

$$W_0 = \text{Havanın giriş debisi} \quad W_9 = \text{Havanın çıkış debisi}$$

$F_N = W/g_c (V_9 - V_0)$  olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, motorun tepki gücü

$$P_T = F_N \cdot V_0 = W/g_c (V_9 - V_0) V_0 \text{ olarak bulunur.}$$

Diğer taraftan motorun çıkış gücü, motorun tepki gücü ile exhaust akışı içindeki atık gazların kinetik enerjisi toplamı olarak bulunabilir. Exhaust akışındaki kinetik enerji;  
 $W_f =$  Yakıt debisi  $W_a =$  Hava debisi

$$KEE = (W/2g_c)V^2 = ((W_a + W_f)/2g_c) \cdot (V_9 - V_0)^2 \text{ olarak ifade edilebilir.}$$

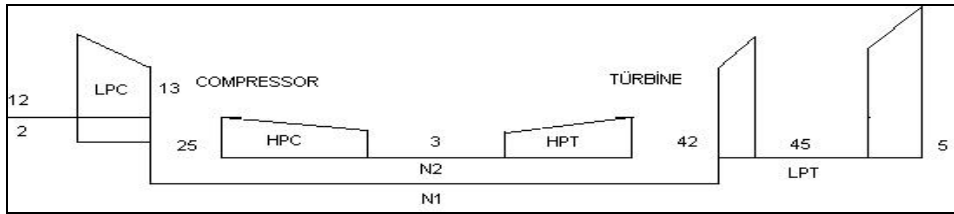
Eğer yanma sonucu bu kütleyle karışan yakıt debisi ( $W_f$ ) ihmal edilirse kinetik enerji;

$$KEE = (W/2g_c) \cdot (V_9 - V_0)^2$$

hâline gelir. Bu durumda motor çıkış gücü;  $P_E = P_T + KEE$  olarak bulunur. Bulunan güç ifadeleri propulsive verim ifadesinde kullanılırsa,

$$\eta_p = \frac{P_T}{P_T + KEE} = \frac{\frac{W}{g_c} (V_9 - V_0) V_0}{\frac{W}{g_c} (V_9 - V_0) V_0 + \frac{W}{2g_c} (V_9 - V_0)^2} \quad \eta_p = \frac{2V_0}{V_9 + V_0}$$

Propulsive verimin bu ifadesi verimin uçuş ve exhaust gazları hızına bağlılığını göstermektedir. Overall verim ( $\eta_{OA}$ ) ve özgül yakıt sarfiyatı bir jet motorunun overall (bütün) verimi, bu verimi oluşturan üç verimin çarpımına eşittir. Bu üç verim; thermal, transfer ve propulsive verim olarak adlandırılır.



**Şekil 2.1: İki çevrime sahip bir turbofan motor çevrimi**

Thermal verim ( $\eta_{TH}$ ) gaz jeneratörü verimi olarak da adlandırılan termal verim, gaz jeneratörü tarafından üretilen net ideal gücün yanma sırasında yakıttan sağlanan güce oranıdır.

$$P = W \cdot \Delta H \text{ (BTU/sec)} \quad \eta_{TH} = \text{Gaz jeneratörünün net ideal gücü} / \text{Yakıt ile sağlanan güç}$$

H=	Toplam enthalpy
HI=	Tam genişleme sonucu toplam enthalpy
FHV=	Fuel heating volume (Yakıt ısınma miktarı)

$$\eta_{TH} = (W_4(H_{45} - H_{45I}) - W_2(H_2 - H_0)) / W_f \cdot FHV$$

Transfer verimi ( $\eta_{TR}$ ) gaz jeneratörünün çıkış gücü iki akıma ayrılmıştır (Bu iki akımın ayrı işler yaptığı kabul edilir.). Fan akışı ve core akışı ile sağlanan net ideal güç toplamının gaz jeneratörü tarafından sağlanan üretilen net ideal güce oranı olan transfer verimi;

$$\eta_{TR} = (\text{Fan akışı net ideal gücü} + \text{core akışı net ideal gücü}) / \text{Gaz jeneratörü net ideal gücü}$$

$$H_2 = H_{12} \text{ (Kabul)} \quad HI = \text{Tam genişleme sonucu toplam enthalpy}$$

$$\eta_{TR} = \frac{([W_{13}(H_{13} - H_{13I}) - W_{12}(H_{12} - H_0)] + [W_5(H_5 - H_{5I}) - W_2(H_2 - H_0)])}{(W_4(H_{45} - H_{45I}) - W_2(H_2 - H_0))} = \frac{(W_{13}(H_{13} - H_{13I}) - W_5(H_5 - H_{5I})) - ((W_{12} + W_2)(H_2 - H_0))}{(W_4(H_{45} - H_{45I}) - W_2(H_2 - H_0))}$$

Propulsive verim ( $\eta_p$ ), gereken tepkisel iş miktarı exhaust nozulunda sağlanan net ideal güç toplamına eşittir (Fan ve core akışının ayrı işler yaptığı kabul edilir.).

$$\eta_p = \text{Gerçek tepkisel iş miktarı} / (\text{Fan akışı net ideal gücü} + \text{Core akışı net ideal gücü}),$$

$$FN = \text{Net thrust}, V_0 = \text{Uçuş hızı}$$

$$\eta_p = FN \cdot V_0 / J \cdot (W_{13}(H_{13} - H_{13I}) - W_5(H_5 - H_{5I})) - ((W_{12} + W_2)(H_2 - H_0))$$

Bu üç verim çarpıldığında (Pay ve payda da benzer değerler görüldüğünde ortaya motorun overall verimi çıkacaktır.);

$$\eta_{OA} = \eta_{TH} \cdot \eta_{TR} \cdot \eta_p = FN \cdot V_0 / W_f \cdot FHV \text{ olur.}$$

Sonuçta bulunan tepkisel verim, sağlanan gerçek tepkisel iş miktarının yakıt ile sağlanan güce oranıyla ilişkili olduğu bulunur. Gaz türbinli motorlarda thrust önemli olan tek parametre değildir.

Yakıt enerjisinin jet enerjisine ne kadar verimlilikle dönüştüğü (iç verim) ve bu hızın hangi verimlilikle uçağı ileri iten kuvvete dönüştüğü (dış verim) de önemlidir. Yakıt enerjisi esasen sıkıştırma için kullanılır ve az bir miktarı da çarpma (ram) basıncı için kullanılır. Bunlar enerji çevrimi içine geri döner. Kalan enerji (kayıplar dışında) uçağı hareket ettirecek tepki kuvvetine dönüşür.

Yakıt enerjisi; egzoz gaz termal kayıpları (kinetik enerjiye dönüşmeyen yüksek sıcaklıktaki egzoz gazı), egzoz jet kaybı (uçak ve egzoz gaz hızları arasındaki farkın oluşturduğu kayıplar) ve tepki enerjisi değerlerinin toplamına eşittir.

İç verim	= Yakıt enerjisinin egzoz gaz hızına dönüşme oranı
Dış verim	= Kinetik enerjinin uçak hareketine dönüşme oranı
Toplam verim	= Yakıt enerjisinin uçak hareketine dönüşme oranı
Kinetik enerji	= Egzoz jet kaybı+tepki enerjisi
İç verim	= Kinetik enerji/yakıt enerjisi
Dış verim	= Tepki enerjisi/kinetik enerji
Toplam verim	= Tepki enerjisi/yakıt enerjisi

## 2.3. Baypas Oranı ve Motor Basınç Oranı

Baypas oranı ve motor basınç oranı motor verimi ve motor gücünü etkileyen en önemli faktörlerdendir.

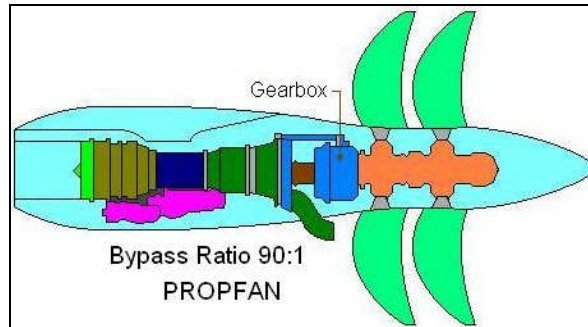
### 2.3.1. Baypas Oranı

Motor fanından geçen havanın core'dan geçen hava miktarına oranıdır. Modern turbofan motorlarda bu oran (4:1) ile (90:1) arasındadır.

Örneğin; JT8D-15 motoru için  
Baypas oranı = 1:1

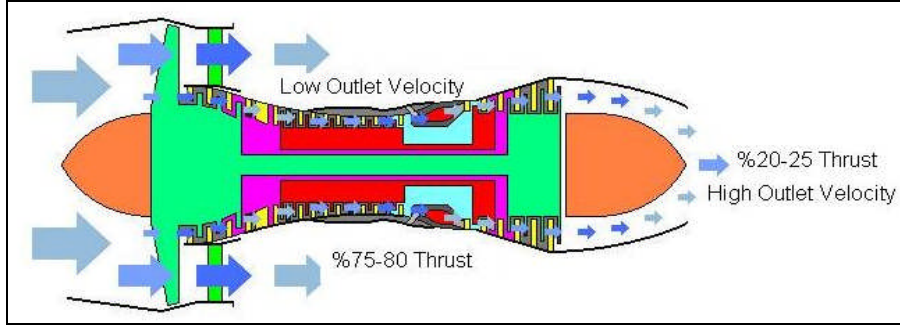
CFM56-5 motoru için  
Baypas oranı = 5:1'dir.

Turbofan motorlarda tüm thrust core (motorun merkezinden geçen) ve fandan elde edilen thrust'ların toplamıdır. Turbofan motorda fanın ivmelendirdiği hava akışı yüksek olmasına karşın çıkış hızı düşüktür. Core'un ivmelendirdiği havanın miktarı azdır. Fakat çıkış hızı yüksektir. Bu ortamda fan havasının ürettiği thrust, baypas oranına bağlı olarak toplam thrust'ın % 80'ninden fazladır, % 20'lik bir havayı core ivmelendirir.



**Resim 2.3: Turbo-prop fan baypas oranı**

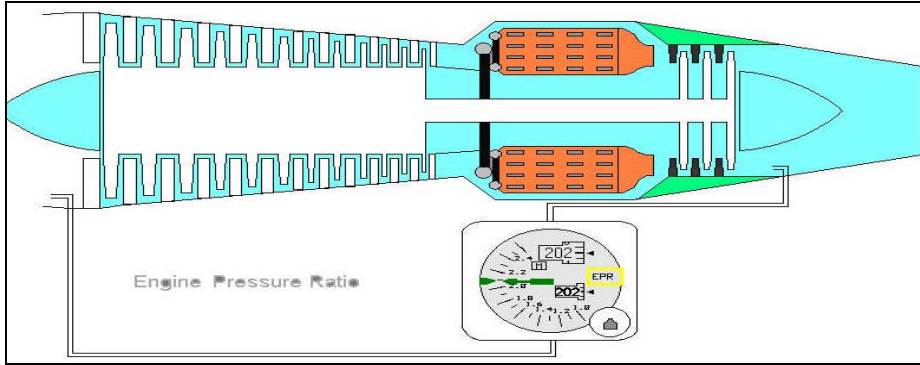




Resim 2.4: Turbofan baypas oranı

### 2.3.2. Motor Basınç Oranı (EPR-Engine Pressure Ratio)

EPR (motor basınç oranı) türbin arkasındaki toplam basıncın motor girişindeki toplam basınca oranıdır. Motordan geçen havanın ivmelenmesi ile orantılı bir değerdir. Pilot için thrust'ı ifade eder. Kokpitte bu değeri ifade eden EPR indikatörü bulunur.



Resim 2.5: Motor basınç oranı EPR (engine pressure ratio)

## 2.4. Gaz Akışının Basınç, Sıcaklık ve Hızı

Gaz akışının basıncı, sıcaklığı ve gaz akışının hızı motor verimini etkileyen faktörlerdendir.

### 2.4.1. Basınç ve Sıcaklık

Basınç oranı havanın motor girişindeki ve kompresör çıkışındaki basınç değerleri arasındaki orandır. İç verim yanma sıcaklığı ve basınç oranına bağlıdır. Basınç oranı, kompresör tip ve boyutuna bağlıdır. Kompresör kademe sayısı arttıkça basınç oranı artar. Modern motorlarda basınç oranı, (40:1)'dir.

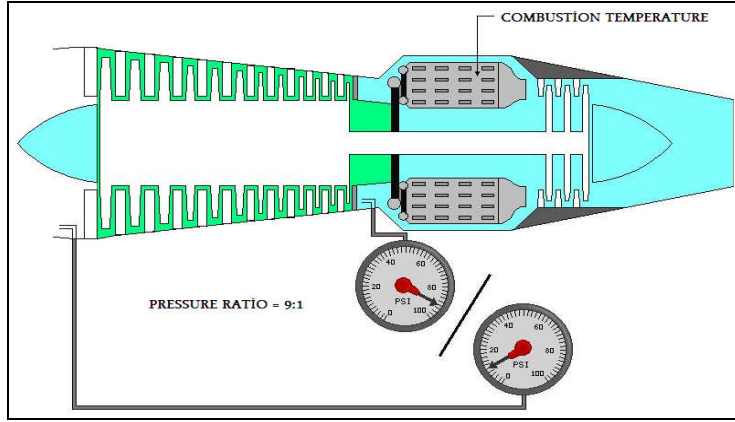
Basınç oranının yüksek olmasının avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Türbin ve jet nozulda daha fazla enerji
- Motorun yakıt enerjisinin daha iyi kullanılabilmesi (gazların daha efektif iş yapabilmesi)

Ancak iki önemli dezavantajı da beraberinde getirir:

- Daha büyük kompresör gerektiğinden motorun ağırlığının artması
- Yüksek kompresör çıkış sıcaklıklarının oluşması ( $T=500^{\circ}\text{C}$ )

Kompresör çıkış sıcaklığının yüksek olması, türbin giriş sıcaklığının da yüksek olması anlamına geleceğinden daima türbin malzemesinin hasar görmesine neden olacak limitlerin altında bir türbin giriş sıcaklığı sağlanmalıdır. Bu da yanma için gerekli yakıt miktarının kritik hâllerde limitlenmesi gereğini ortaya çıkarır.



Resim 2.6: Basınç oranı

## 2.4.2. Gaz Akış Oranı

İnlet duct'tan ram (çarpma) basıncıyla giren hava sırasıyla; fan, LP compressor, HP compressor kademelerinde, kademe sayısına bağlı olarak basınca ve motorun da devrine bağlı olarak akış hızı kazanır.

Hava combustion chamber'lara girmeden hızı, yakıtla tutuşabilmesi için belli limitlere düşürülür (25 m/sn.). Combustion chamber'larda yakıtla karıştırılan hava yanma sonunda egzoz gazına dönüşerek combustion chamber'ları soğutmaya yarayan ve yanmaya karışmayan havayla da birleşerek türbin blade'lerini çevirir. Daha sonra exhaust nozulda akan havanın nozulun özel yapısından dolayı hızı artarak statik basıncı düşer ve öyle bir an gelir ki havanın hızı ses hızına ulaşır veya ses hızını aşar.

Hava akış istasyon tanımlamalarını incelersek; bu amaçla motor önden arkaya doğru belirli yerlerden dönüş eksenine dik kesitler alınarak bölünmüştür. Genelde, önden arkaya doğru bir numaralandırma söz konusudur. Tanımlamalarda motor tiplerine ve imalatçıya göre farklılıklar çıkabilir. Tam sayılı numaralar arasındaki kısımlar, ana modüller oluşturur. Örneğin, motor giriş bölümü (1) ve (2) arasında, yanma odası (3) ve (4) arasında yer alır. Ana modülleri oluşturan alt modülleri ayırma da ondalık numaralar kullanılır. Alçak basınç ve yüksek basınç kompresörlerinde, kompresör ve türbin kademelerinde olduğu gibi.

<b>0:</b> Atmosfer/dış ortam (ambient)	<b>3:</b> HP kompresör çıkış
<b>1:</b> Motor giriş	<b>4:</b> HP türbin çıkış
<b>12:</b> Fan giriş (tip)	<b>4.5:</b> LP türbin giriş
<b>1.3:</b> Fan çıkış	<b>5:</b> LP türbin çıkış
<b>2:</b> Fan giriş (hub)	<b>8:</b> Motor egzoz
<b>2.5:</b> HP kompresör giriş	

Modern ticari uçak motorlarında, egzoz bölümüne geçtiğimizde numaralandırmanın (5)'ten (8)'e veya (9)'a atlayarak devam ettiğini görürüz. Yani (5-8) arası istasyon numarası kullanılmaz. Bu numaralar askerî uçaklarda kullanılır. **5-6**...difüzör **6-7**...after burner Sekonder hava akış istasyonlarında (10-19) arasındaki numaralar kullanılır.

İstasyon numaraları hava akışının herhangi bir noktadaki sıcaklık ve basınç değerlerinin belirtilmesinde/tanımlanmasında kullanılır.

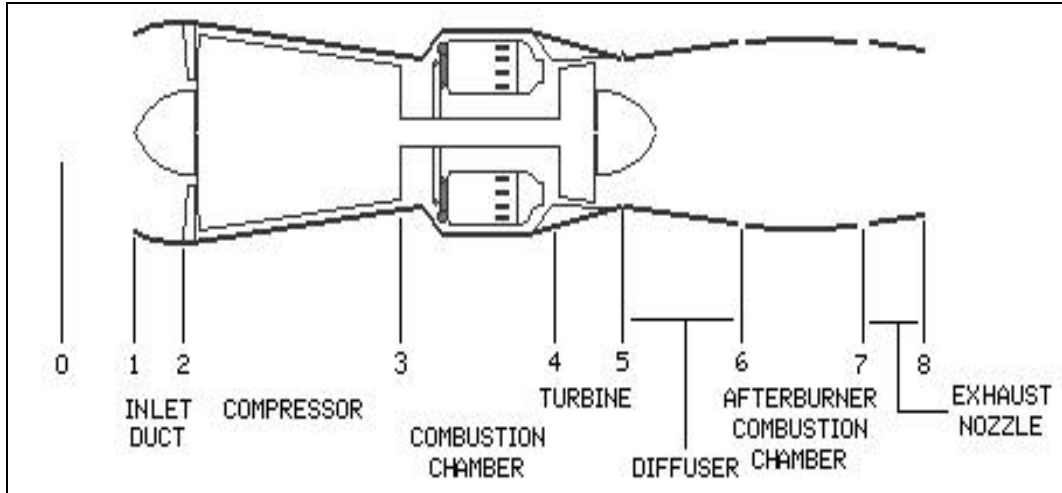
Örneğin;

T2: Fan girişindeki hava sıcaklığı

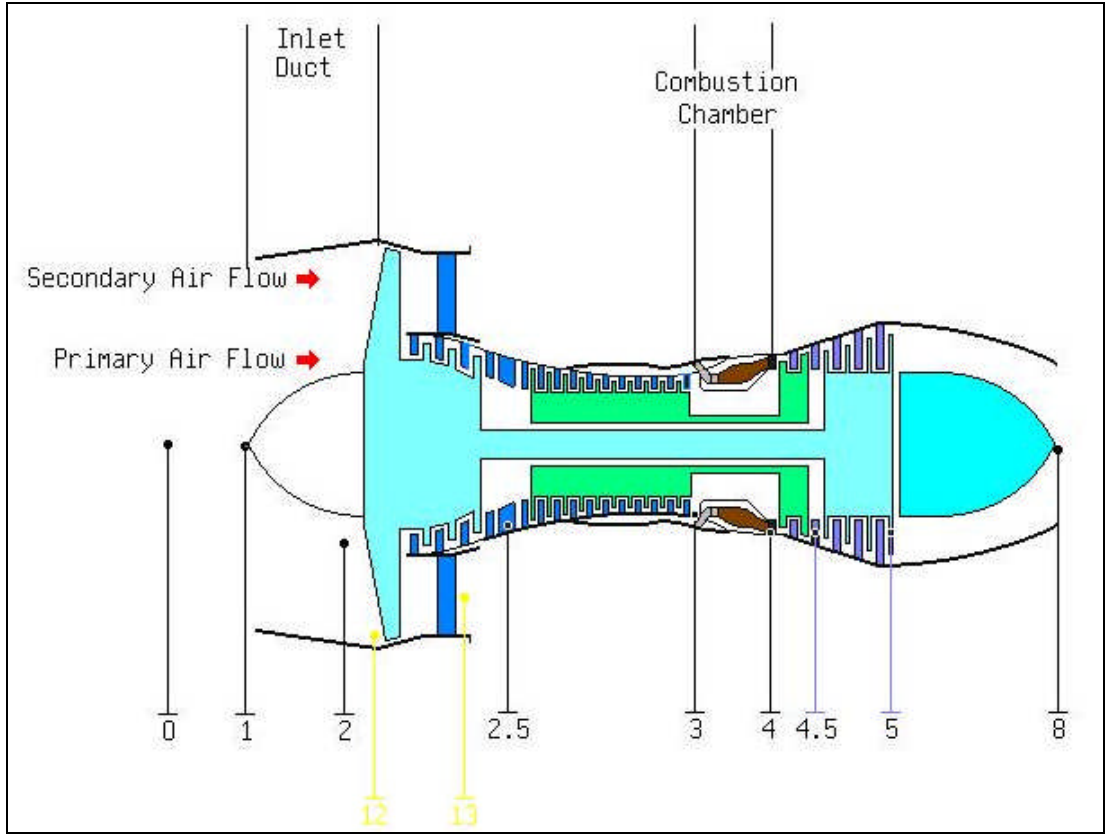
P3: Kompresör çıkışındaki hava basıncı vb.

s (statik) ve t (toplam) harfleri istasyon numaraları ile birlikte kullanılır. Statik veya toplam basıncı ve sıcaklığı gösterirler. Örnek: Pt5-Türbin çıkışındaki toplam basınç

Bazı motorlarda yukarıda anlatılan standart da istasyon tanımlamaları yoktur. Bu konuda imalatçının bakım kitabı başvuru kaynağı olacaktır.



**Resim 2.7: Turbo jet istasyon numaraları**



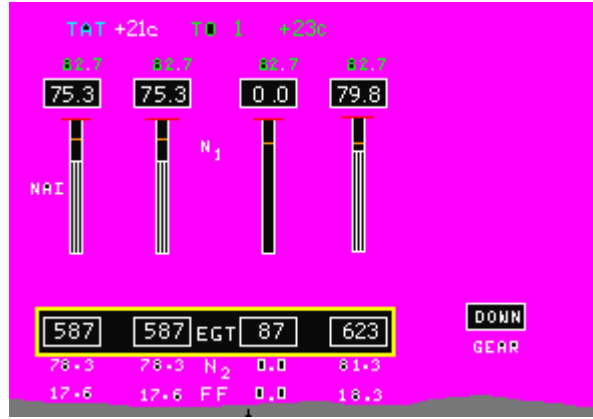
Resim 2.8: Turbo fan istasyon numaraları

### 2.4.3. Sıcaklık Oranı

İnlet duct'tan giren ambient (atmosfer) havasının sıcaklığı core'da (motorun içinde) ilerledikçe T0, T1, T2, T3 sıcaklıklarına erişerek her compressor kademesinde sıcaklığı da artar. T3 sıcaklığı compressor kademelerinin çıkışı olan en yüksek sıcaklıktır.

Combustion chamber'da yanma sonucu havanın sıcaklığı en yüksek sıcaklığa ulaşır ama bu sıcaklığı ve combustion chamber'dan sonra gelen türbine nozul guide vane sıcaklığını ölçmek pratikte çok zordur. Onun için **EGT** (egzoz gaz temperature) diye adlandırılan T5 sıcaklığı LP türbin ve HP türbin arasından veya LP türbinden sonra ölçülebilir. Exhaust nozuldaki gazlarda nozulun sonuna doğru sıcaklıklarını giderek kaybederler.

Standard Day Conditions; T= 15°C  
P= 14.7 psi



Resim 2.9: Sıcaklık değerleri

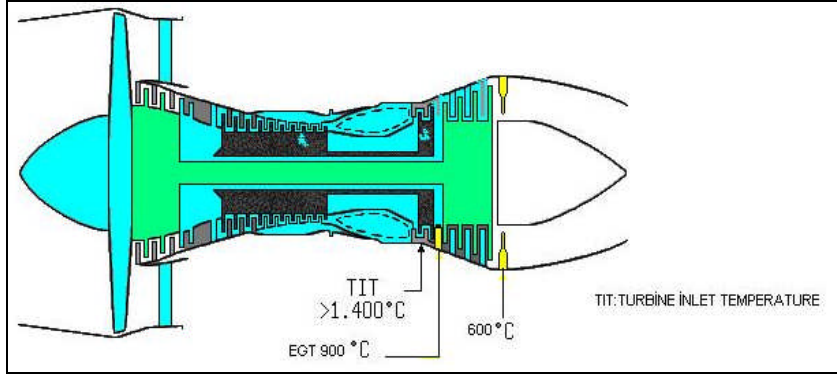
## 2.5. Motor ‘Rating’leri

### 2.5.1. Thrust Derecelendirmesi (Thrust Rating)

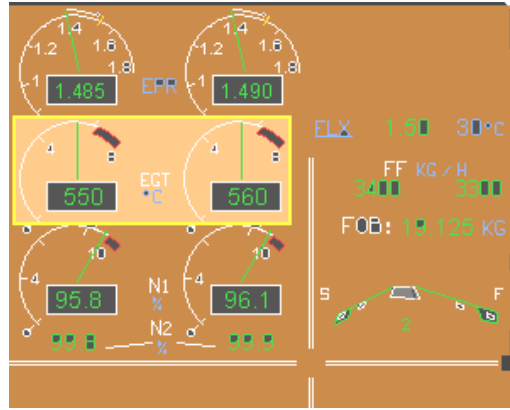
EGT kısaltması “egzoz gaz sıcaklığı” için kullanılır. Bu değeri gösteren indikatör kokpitte bulunur ve pilot tarafından sürekli izlenir. Bu sıcaklığın belirlenmiş limitleri aşması hâlinde (over temperature = aşırı sıcaklık) türbin elemanlarının çok kısa sürede hasarlanması söz konusudur. Dolayısıyla böyle limit aşımına izin verilmez, herhangi bir nedenle over temperature meydana geldiğinde “teknik log book”a kaydedilerek gerekli bakım işleminin yapılabilmesi sağlanır.

Motor performansı izlenerek EGT değerinin, imalatçının verdiği limitler içerisinde kalmasının yanı sıra olabildiğince düşük değerde kalması, motor servis ömrünü artıracak önemli bir faktördür. Motor çalışması ile ilgili limitasyonlar “engine thrust rating” olarak adlandırılır. Pilot bu ratingleri throttle lever (gaz koluna) kumanda ederek seçer. Modern motorlarda kullanılan 5 ana “thrust rating” vardır:

- **Max. takeoff (kalkış) thrust:** Takeoff için izin verilen thrust birkaç dakikayı geçmez. Bu thrust şekli savaş uçakları motorlarında A/B’nin çalıştırılması ile ilgili zaman limitinde de aynıdır.
- **Max. go-around (yer) thrust:** Go-around için izin verilen en yüksek thrust, birkaç dakikayı geçmez.
- **Max. Continuous (sürekli) thrust:** Zaman sınırlaması olmayan en yüksek thrust; acil durumlar içindir.
- **Max. climb (tırmanma) thrust:** Takeoff thrust’tan düşüktür. Sadece tırmanma sırasında cruise hızına ulaşana kadar sürer.
- **Max. cruise (düz uçuş) thrust:** Normal cruise, düz uçuş için en yüksek limittir.



**Resim 2.10: Türbin giriş sıcaklığı**



**Resim 2.11: Kokpitteki indikatörlerde sıcaklık değerleri**

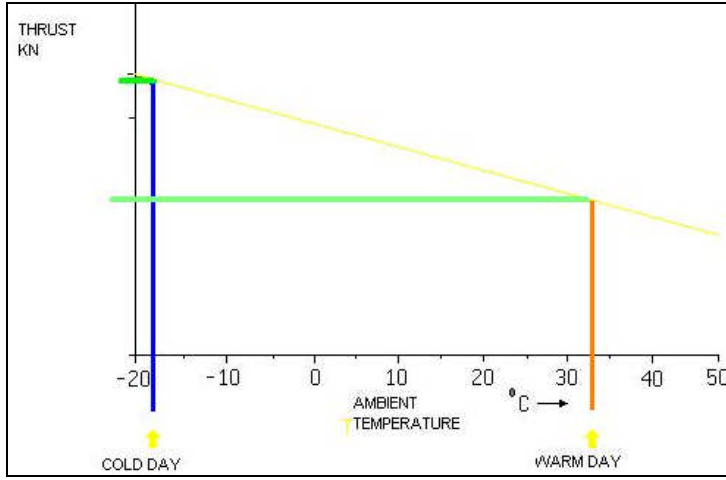
Şekilde de görüldüğü gibi TIT'den EGT ölçülmesi pratikte mümkün değildir. Çünkü sıcaklık 1400°C'den büyüktür. EGT, HPT ile LPT arasından veya LPT'den sonra termocouple'larla ölçülebilir ve kokpitteki indikatörlerden takip edilir.

## 2.5.2. Flat Rating

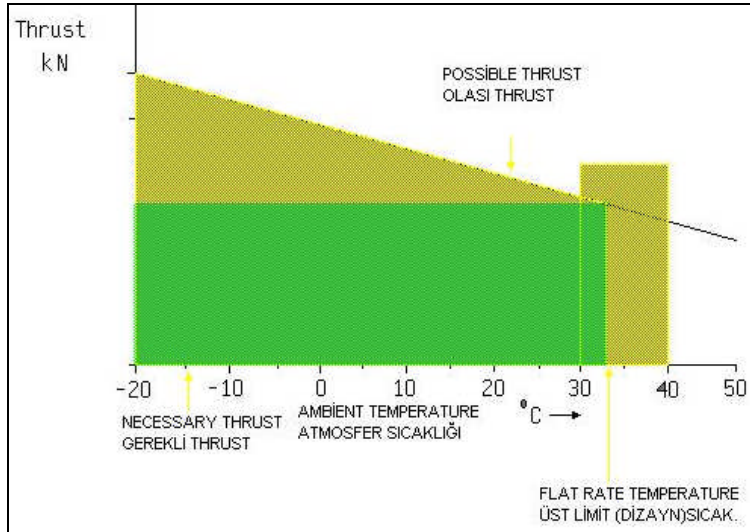
Sivil uçaklarda kullanılan diğer rating modelidir. Modelin servis ömrünü artıran ve max. thrust için sabit limitler getiren bir uygulamadır. Aşağıdaki thrust-sıcaklık diyagramına baktığımızda, atmosfer sıcaklığının değişmesine bağlı olarak thrust'ın da değiştiğini görürüz. Aynı gaz kolu pozisyonu için soğuk bir günde alınan thrust, daha sıcak bir günde alınan thrust'tan daha fazladır. -10°C max. Thrust verecek şekilde tasarlanmış bir motor düşünelim. Böyle bir motordan havanın normal sıcaklık değerlerinde yeterli thrust alınmaz. Şimdi de 40°C'de max. thrust verecek şekilde tasarlanmış bir motor düşünelim. Böyle bir motordan ise 40°C'de max. thrust daha düşük sıcaklıklarda ise max. üstünde thrust değerleri alınabilir. Bu da bize yakıt tasarrufu sağlar. Çünkü normal sıcaklıklarda daha az yakıtla aynı thrust'ı elde etmek mümkündür. Modern motorlar, max. takeoff thrust'ı 30°C ile 40°C arasında verebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Yukarıdaki örneklerde açıklandığı gibi söz konusu olan bu üst tasarım sıcaklık limiti “flat rated temperature” olarak tanımlanır.

- “Flat rating” motorlarda;
  - Üst sıcaklık limiti altındaki tüm koşullarında sabit bit thrust alınır.
  - Soğuk günlerde pilotun, mümkün olan max. thrust’ı gereksiz kullanması önlenir.
  - Bunun yanı sıra gerekli thrust’ın alınması daima mümkündür.
  - Tüm bu özellikler motorun servis ömrünü artırır.



Şekil 2.2: Flat rating thrust–sıcaklık değerleri



Şekil 2.3: Flat rating thrust–sıcaklık değerleri



Resim 2.12: Gaz kolu pozisyonu

## 2.6. Statik Çekiş

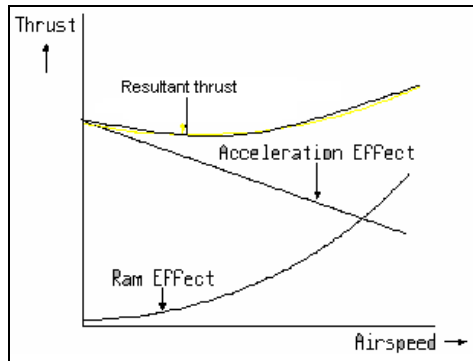
Bir turbo jet motorun statik thrust'ını hesaplamak için turbo jet motoru deniz seviyesinde sabit bir test standına bağladığımızı kabul ederiz. Statik thrust'ı hesaplamak için aşağıdaki bilgileri bilmemiz gerekir.

- Turbo jet motorun giriş ve çıkış alanı ( $m^2$ )
- Turbo jet motorun çıkışındaki hız ( $m/sn.$ )
- Turbo jet motorun çıkışındaki basınç ( $P_e$ ) pressure exit ( $N/m^2$ )
- Turbo jet motorun çıkışındaki sıcaklık ( $K$ )

Thrust eşitliği ve süreklilik eşitliği kullanılarak vinfinitive ( $V$  sonsuz) = 0 kabul edilerek hesaplanır.

## 2.7. Hızın Etkisi

Uçak hızının, hava akışının ivmelenmesine etkisi ters orantılıdır. Yani uçak hızı artarsa motordan çıkan ve motora giren havanın hızları arasındaki fark azalır. Dolayısıyla uçak hızı arttığında thrust'a etkisi negatif olur (thrust azalır). Diğer taraftan uçak hızının thrust'a pozitif (doğru orantılı) bir etkisi de vardır. Bu, motora giren hava akışına yaptığı **ram** (çarpma) etkisidir. Uçak hızı artarsa hava akışı (airflow) ve dolayısıyla thrust artar. Sonuç olarak hızın thrust üzerindeki net etkisi, ivmelenme ve ram etkilerinin kombinasyonudur.



Şekil 2.4: Uçak hızını thrust'a etkisi



## 2.8. Yükseklik ve Sıcak İklimin Etkileri “Yüzey Oranı”

Yükseklik arttıkça hava basıncı azalır. Sıcaklık ise 36000 fite kadar (11000 metre) azalır. Ancak bu yükseklikten sonra 36000-65000 ft arasında yaklaşık  $-70^{\circ}\text{F}$ 'da ( $-56.5^{\circ}\text{C}$ ) sabit kalır. Yüksek altitude'larda daha soğuk hava sıcaklığı thrust'ta küçük artışlara neden olur. Ancak bu koşulda oluşan düşük basıncın thrust'a olumsuz etkisi çok daha fazladır.

## 2.9. Sınırlamalar

Uçak motorları, uçağı hareket ettirecek tepki kuvvetini yaratır. Bu kuvvet jet nozuldan çıkan kütle akışının ters yönünde oluşur. Jet tepkisi kullanılan motorlara “teпки motoru” denir. Bu tip motorlar gerçekte Newton'nun hareket ve tepki kanunlarının bir teknik uygulaması olarak geliştirilmiştir. Bu kanunlar kısaca şunlardır:

- Hareket hâlindeki bir cismin, hareketinin değişmesi uygulanan kuvvete bağlıdır veya kuvvet, kütle ivmelendirilmesiyle oluşan hız değişim oranına bağlı olarak değişir.
- Bir cisme etki eden kuvvete eşit ve ters yönde bir tepki oluşur. Söz konusu kuvvet, kütle ivmelendirildiğinde üretilir. Bu kütle sıvı, gaz veya katı olabilir. Uçak için bu kütle yüzlerce kg'lık havadır.  
 $F = m \cdot a$  (Force= mass×acceleration)

Havanın ivmelendirilmesi için basınç artırılmalıdır. Bu iki yolla sağlanabilir:

- Mekanik yöntemle (kompresör kullanarak)
- Termal yöntemle (yanma veya ısıtma ile havanın hacmi artırılır.)

Her iki yöntemin kombinasyonu amaçlanan thrust'ı kazandırır. Uçağı hareket ettirmekte kullanılan jet tepkisi, basit bir prensibe dayanmasına karşın uygulamada zorluklar vardır. 1930'lu yılların sonuna kadar uçak motorlarında, sürekli ve yeterli büyüklükte hava akışını sağlayacak bir kompresör yoktu. 1937 yılında Hans Joachim Von Ohain “santrifuj akışlı kompresör ve radyal türbin” kombinasyonlu motoru yaptı. 1941 yılında bu kez Frank Whittle “santrifuj kompresör ve aksiyal türbin” kombinasyonlu motoru yaptı. Bu motorlar günümüz gaz türbinli motorların temelini oluşturmuştur. Yine bu tip motorların yapımı sürekli yanma söz konusu olduğu için ısıya dayanıklı malzemelerin gelişimiyle mümkün olmuştur.

Thrust kuvveti; motorun içinden geçen dış ortam havasının (ambient air) ivmelendirilmesi (acceleration) ile elde edilir. Burada belirleyici olan iki parametre vardır.

- İvmelenen hava kütlesi miktarı (m)
- İvmelenme miktarı (a)

Kütle: Örneğimizde belirli bir sürede motordan geçen hava akışı

İvmelenme: Motor çıkışındaki hava hızı ile motor girişindeki hava hızı arasındaki fark

Thrust eşitliği:

$$F = \dot{m} \times (V_2 - V_1)$$

F= Thrust kuvveti (kg)  
m= Hava kütlesi (kg/sn.)  
V2= Motor jet nozulundan çıkan hava hızı (m/sn.)  
V1= Motor girişindeki hava hızı (m/sn.)

Üretilen thrust'ın miktarı verilen bir zamanda geriye doğru itilen havanın kütlesi ve havaya verilmiş ivmelenme. [Thrust = Kütle x İvme] olarak ifade edilebilir.

“Kütle, cismin madde miktarıdır.” şeklinde tanımlanır.  $\frac{W}{g}$  olarak ifade edilir.

W: Cismin ağırlığı (lb veya Newton), g: yerçekimi sabitesi (32 ft/sn.<sup>2</sup> veya 9,81 m/sn.<sup>2</sup>)  
Havaya verilen ivmenin değeri, havanın giriş ve çıkış hızı arasındaki farktır.

V2: Havanın çıkış hızı  
V1: Havanın giriş hızı

Kütle ve ivme ifadesini alırsak motor veya pervane tarafından üretilen thrust şu formül ile hesaplanabilir:

$$\text{THRUST} = \frac{W}{g} (V_2 - V_1)$$

**Örnek 1:** Bir pervaneden hava akışı 256 lbs/sn., giriş hızı 0 ft/sn., çıkış hızı 700 ft/sn. Hesaplanan thrust:

$$\begin{aligned}\text{Thrust} &= \frac{W}{g} (V_2 - V_1) \\ \text{Thrust} &= \frac{256}{32} \times (700 - 0) \\ &= 560 \text{ lbs}\end{aligned}$$

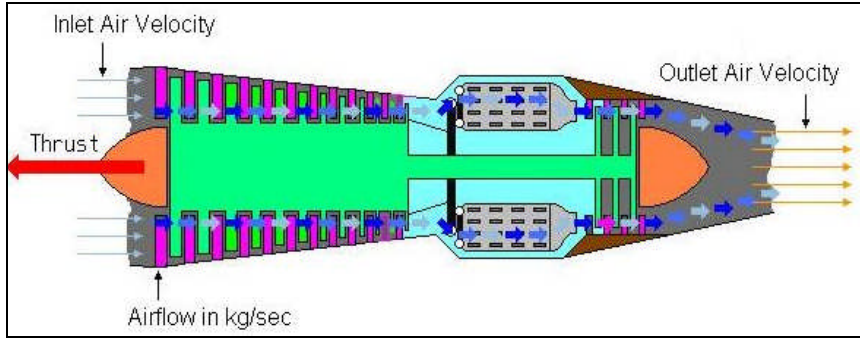
**Örnek 2:** Bir gaz türbinli motordan akan havanın kütlesi 128 lbs/sn., giriş hızı 0 ft/sn., çıkış hızı 1400 ft/sn.

Formülü kullanarak;

$$\begin{aligned}\text{Thrust} &= \frac{128}{32} \times (1400 - 0) \\ &= 560 \text{ lbs}\end{aligned}$$

bulunur.

İki örneği kıyaslayarak daha az bir kütleyi daha fazla ivmelendirerek gaz türbinli pervaneli ile aynı thrust'ı üretmektedir. Şu da söylenebilir; pervaneli daha fazla bir kütleyi daha fazla ivmelendirerek üretirken gaz türbinli az kütleli bir havayı daha fazla ivmelendirerek üretmektedir. Dikkat edilirse her iki örnekte de giriş hızı 0 ft/sn. Uçak eylemsiz, dolayısıyla üretilen thrust statik thrust olarak tabir edilir.



**Resim 2.13: İvmelenen hava kütlesi**

Dış ortam (atmosfer = ambient) koşullarını göz önüne aldığımızda jet motor thrust'ını etkileyen dört parametre karşımıza çıkar. Bunlar:

- Atmosfer basıncı (ambient air pressure)
- Hava sıcaklığı (air temperature)
- Yükseklik (altitude)
- Uçağın hızı (air speed)

Motordan geçen hava kütlesinin karakterini değiştiren en önemli faktörler havanın sıcaklığı ve basıncıdır (Havanın yoğunluğunu belirler.).

Yoğunluk (Density): Birim hacmin kütlesi (hacimdeki molekül sayısı). Yoğunluk birimi olarak ( $\text{kg/m}^3$ ) veya ( $\text{lb/ft}^3$ ) kullanılır.

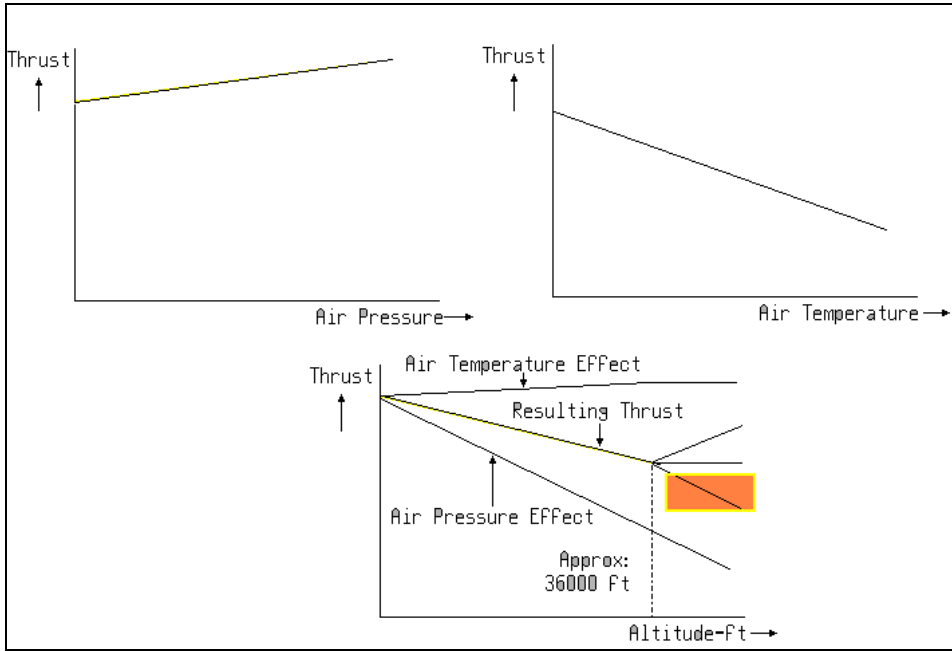
ALTITUDE		PRESSURE		TEMPERATURE	
(Ft)	(m)	(psi)	(h Pa)	(F)	(C)
40000	12192	2.5	170	-69.7	-56.5
35000	10668	3.2	222	-65.6	-54.2
30000	9144	4.4	300	-47.8	-44.4
25000	7620	5.4	370	-30.1	-34.5
20000	6096	6.7	462	-12.2	-24.6
15000	4572	8.3	570	5.5	-14.7
10000	3048	10.2	700	23.3	-4.8
5000	1524	12.3	850	41.2	5.1
		14.7	1013	59	15

**Şekil 2.5: Dış ortam (atmosfer= ambient) koşulları**

Yoğunluğun artması demek, sabit bir hacimde molekül sayısının artması demektir. Kütle değeri azaldığı için düşük yoğunluk düşük thrust oluşturur.

- Hava sıcaklığının artması havanın yoğunluğunu azaltır, thrust azalır.
- Hava basıncı artarsa yoğunluk artar, thrust artar.
- Altitude düşerse yoğunluk artar, basınç artacağından thrust artar.

Deniz seviyesinden 36000 ft'e kadar olan altitude artışı sırasında, thrust değeri (basınç düşümünün negatif etkisi, sıcaklık düşmesinin pozitif etkisinden daha fazla olduğundan) sürekli azalır. 36000 ft'ten daha yükseğe çıkıldığında ise hava sıcaklığının pozitif etkisi ortadan kalktığından (Bu yükseklikte sıcaklık sabit kalıyor.) thrust azalması daha hızlı olur.



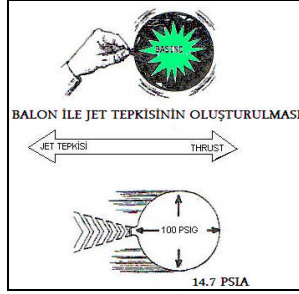
**Şekil 2.6: Thrust–basınç-sıcaklık-irtifa ilişkisi**

Thrust –basınç- sıcaklık-irtifa ilişkisi:

- Air temperature effect: Hava sıcaklığı etkisi
- Air pressure effect: Hava basıncı etkisi
- Approx: Yaklaşık
- Resulting thrust: İtme sonucu
- Acceleration effect: İvmelenme etkisi

## UYGULAMA FAALİYETİ

Balon ile jet tepkisi oluşturma işlemini yapınız.



İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Gerekli emniyet tedbirlerini alınız.	➤ Çalışma alanının temiz, düzenli ve aydınlık olmasına dikkat ediniz.
➤ Balon ile jet tepkisi oluşturmak için uygun bir ortam sağlayınız.	➤ Çalışma alanının temiz, düzenli ve aydınlık olmasına dikkat ediniz.
➤ Balonu yeterli miktarda hava ile doldurunuz veya şişiriniz.	➤ Balonun sağlam olup olmadığını kontrol ediniz.
➤ Balonu şişirme işlemi bittikten sonra balonu uygun ortama bırakınız.	➤ Balonun patlamamasına dikkat ediniz.
➤ Balonun yapmış olduğu hareketi gözlemleyiniz.	➤ Balonun patlamamasına dikkat ediniz.
➤ Balonun hareketlerini jet tepkisi ile kıyaslayınız.	➤ Balonun hareketlerini gözlemleyiniz.

## KONTROL LİSTESİ

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

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1	Çalışma ortamının temiz ve düzenli olmasını sağladınız mı?		
2	Brüt çekiş (thrust), net çekiş, “choked nozzle” çekişi, çekiş dağılımı terimlerini öğrenebildiniz mi?		
3	Bileşke çekiş, çekiş beygir-gücü, eş değer shaft beygir-gücü ve özgül yakıt tüketimi terimlerini öğrenebildiniz mi?		
4	Motor verimlerini öğrenebildiniz mi?		
5	Motorlarda kullanılan 5 ana “thrust rating”leri öğrenebildiniz mi?		
6	Baypas oranı ve motor basınç oranı terimlerini öğrenebildiniz mi?		
7	Hava akış istasyon tanımlamalarını öğrenebildiniz mi?		
8	Yükseklik ve sıcak iklimin etkileri “yüzey oranı” terimlerini öğrenebildiniz mi?		

## DEĞERLENDİRME

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

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

- Aşağıdakilerden hangisi baypas oranı hakkında doğru bilgi içermektedir?
  - Fandan geçen havanın core'dan geçen havanın miktarına oranıdır.
  - Fan havasının ürettiği thrust toplam thrust'ın % 80'den fazladır.
  - Modern turbofan motorlarda baypas oranı (4:1) ile (90:1) arasındadır.
  - Hepsi
- Aşağıdakilerden hangisi "flat rating" hakkında doğru bilgi içermemektedir?
  - Üst sıcaklık limiti altındaki tüm koşullarında sabit bit thrust alınır.
  - Soğuk günlerde pilotun, mümkün olan max. thrust'ı gereksiz kullanması önlenir.
  - Tüm bu özellikler motorun servis ömrünü azaltır.
  - Bunun yanı sıra gerekli thrust'ın alınması daima mümkündür.
- Aşağıdakilerden hangisi jet motor thrust'ını etkileyen parametreden değildir?
  - Hacim (volume)
  - Yükseklik (altitude)
  - Atmosfer basıncı (ambient air pressure)
  - Uçağın hızı (air speed)
- Statik thrust'ı hesaplamak için aşağıdakilerden hangisini bilmemiz gerekir?
  - Turbo jet motorun giriş ve çıkış alanı
  - Turbo jet motorun girişindeki hız
  - Turbo jet motorun çıkışındaki basınç
  - Turbo jet motorun çıkışındaki hız
- Aşağıdakilerden hangisi modern motorlarda kullanılan thrust ratinglerden biri değildir?
  - Max. Takeoff (kalkış) thrust
  - Max. Go-around (yer) thrust
  - Max. Continuous (sürekli) thrust
  - Max. Start thrust

## DEĞERLENDİRME

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

# MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. 1.150 kg'lık bir at arabasına 5 m yol aldirmakla yapılan iş sürtünme dikkate alınmadığında kaç juldür?  
A) 250  
B) 750  
C) 1250  
D) 400
2. m derinliğindeki bir kuyudan 1800 kg suyu 0,5 dakikada çekeabilen motorun gücü kaç B.B'dir?  
A) 2  
B) 3  
C) 8  
D) 5
3. Bir adam yüksekliği 40 m olan bir dama her biri 20 N ağırlığında 30 tuğla çıkarıyor. Başka bir adam aynı yüksekliğe 15 tuğla çıkarıyor. Birinci adam, ikinci adamdan kaç jul fazla iş yapmıştır?  
A) 2500  
B) 4500  
C) 7500  
D) 12000
4. Kütleli 30 kg olan bir cisim 5 m/sn. hızla hareket ederken kinetik enerjisi kaç juldür?  
A) 250  
B) 500  
C) 375  
D) 1000
5. 10 m yükseklikte bulunan 50 kg kütleli bir taşın yere göre potansiyel enerjisi kaç juldür? ( $g=10 \text{ m/sn.}^2$ )  
A) 250  
B) 1250  
C) 2500  
D) 5000
6. Aşağıdakilerden hangisi jet motor thrust'ını etkileyen parametreden değildir?  
A) Hacim (volume)  
B) Yükseklik (altitude)  
C) Atmosfer basıncı (ambient air pressure)  
D) Uçağın hızı (air speed)



7. Aşağıdakilerden hangisi modern motorlarda kullanılan thrust ratinglerden biri değildir?
- A) Max. Takeoff (kalkış) thrust
  - B) Max. Go-around (yer) thrust
  - C) Max. Continuous (sürekli) thrust
  - D) Max. Start thrust

## DEĞERLENDİRME

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

# CEVAP ANAHTARI

## ÖĞRENME FAALİYETİ 1'İN CEVAP ANAHTARI

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

## ÖĞRENME FAALİYETİ 2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	C
3	A
4	B
5	D

## MODÜL DEĞERLENDİRMENİN CEVAP ANAHTARI

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

# KAYNAKÇA

- KIRMACI Tefik, **Uçak Teknik Temel Motor**, Türk Hava Yolları Akademisi Basımevi, İstanbul, 2000.
- ŞAHİN Kaya, **Uçaklar ve Helikopterler**, İnkılap Kitabevi, İstanbul, 1999.
- UYARER Ali Yücel, Mehmet ÖZKAYMAK, **Termodinamik**, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul, 2003.
- [www.faa.gov](http://www.faa.gov) (31.03.2011/13.00)