

# Okan Üniversitesi MYO

## MUTK111

## HAVACILIK ve UÇAK BİLGİSİ

Ders Yürütücüsü:

Öğr. Gör. Eren Kayaoğlu

[eren.kayaoglu@okan.edu.tr](mailto:eren.kayaoglu@okan.edu.tr)

Ders **11**

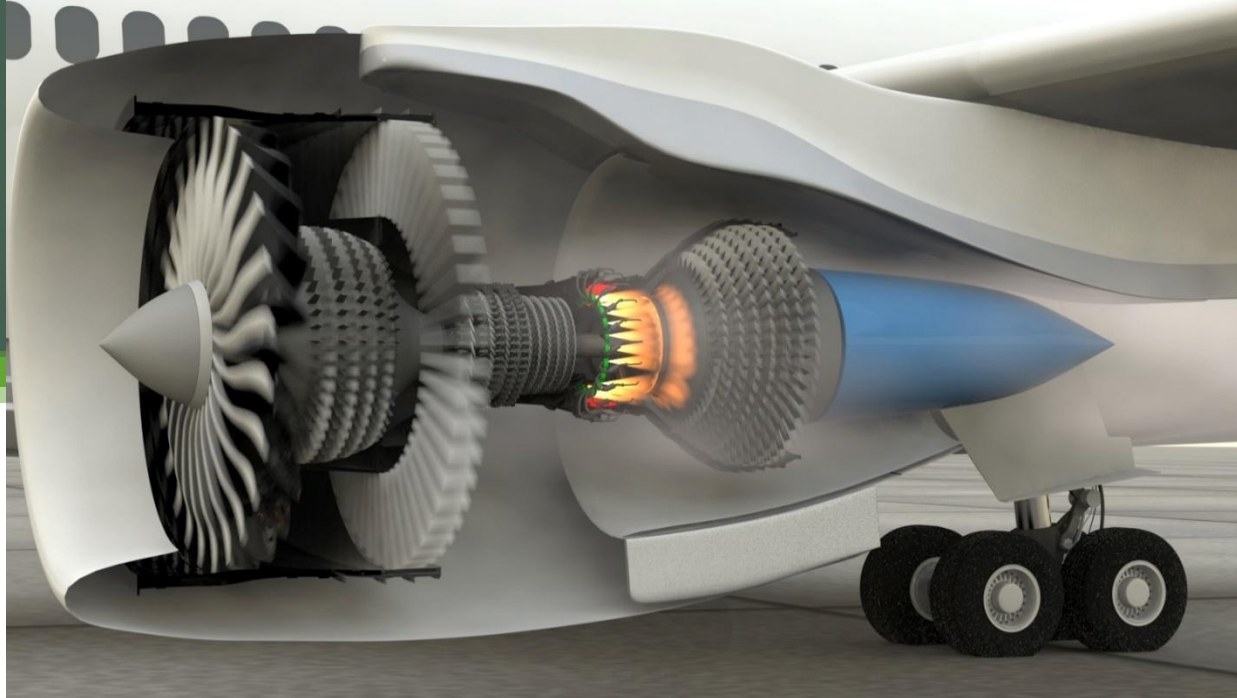
# Havacılık ve Uçak Bilgisi

## Ders Sunumları (.pdf) + Kaynaklar

[http://\*\*okanuni.eren.xyz\*\*](http://okanuni.eren.xyz)

Web adresinden indirebilirsiniz.

# MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi



GÜÇ ve İTKİ SİSTEMLERİ

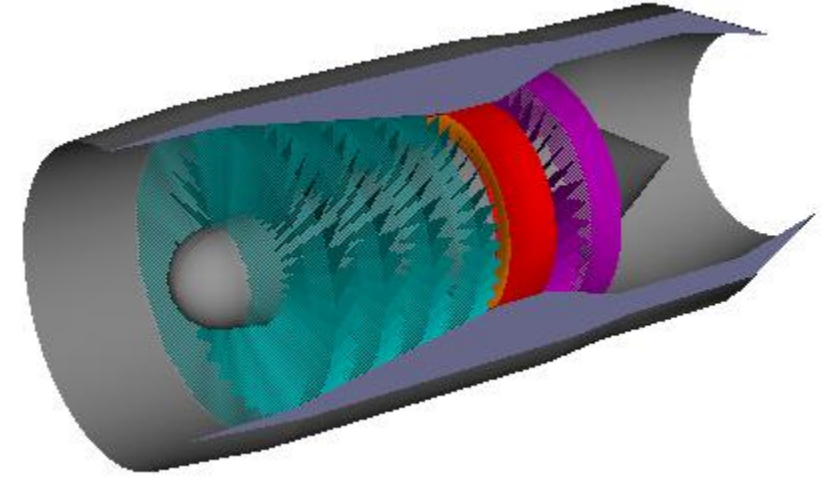
# Güç ve İtki Sistemleri

- ✓ **Pistonlu Motorlar**
- ✓ **Pervane**
- ✓ **Jet Motorları**
  - ✓ Turbojet Motorlar
  - ✓ Turboprop Motorlar
  - ✓ Turboşaft Motorlar
- ✓ **Turbofan Motorlar**
- ✓ **Türbinli ve Pistonlu Motorların Kıyaslaması**
- ✓ **Ramjet, Pulsejet, Roket**
- ✓ **Elektrik Tahrikli Uçuş**

# Güç ve İtki Sistemleri

## GÜÇ GRUPLARI / MOTORLAR

# Güç ve İtki Sistemleri



- Uçağın ihtiyacı olan kuvvet veya enerjiyi, yerde ve havada her an istenilen miktarda, istenilen süre kadar üreten sistemlere **güç grubu** denir.
- Uçaklarda kullanılan motorların iki ana görevi vardır.
  - Bunlardan biri, kalkış yapan bir uçağın yer sürüklemesinin yenilerek **uçağın ivmelendirilmesi**,
  - Diğeri de uçağın öngörülen hızlarda uçuşu esnasında meydana gelen sürüklenme kuvvetine eşit bir **çekme (tepki) kuvveti sağlanması**dır.

# Güç ve İtki Sistemleri / Güç Grupları

## ***Güç Gruplarının Görevleri:***

- 1) Uçakla yer arasındaki sürtünme kuvvetinin yenilmesi:*** Uçağın park pozisyonunda beklemekte olduğu aprondan piste kadar olan hareketi ve uçuş için gerekli hıza ulaşabilmesi için pist üzerinde yapmış olduğu hızlanma hareketi esnasında uçakla yer arasındaki sürtünme kuvvetinin yenilmesini sağlarlar.
- 2) Sürüklenme kuvvetini karşılayacak kuvveti oluşturmak:*** Uçak, uçuşu sırasında dört ana kuvvetle karşılaşır. Bunlar; taşıma, sürüklenme, ağırlık ve çekme kuvvetleridir. Uçak üzerine etkiyen aerodinamik direnç kuvvetinin sürüklenme bileşenini karşılayacak güç veya kuvveti oluşturmaktır.

# Güç ve İtki Sistemleri / Güç Grupları

## ***Güç Gruplarının Görevleri:***

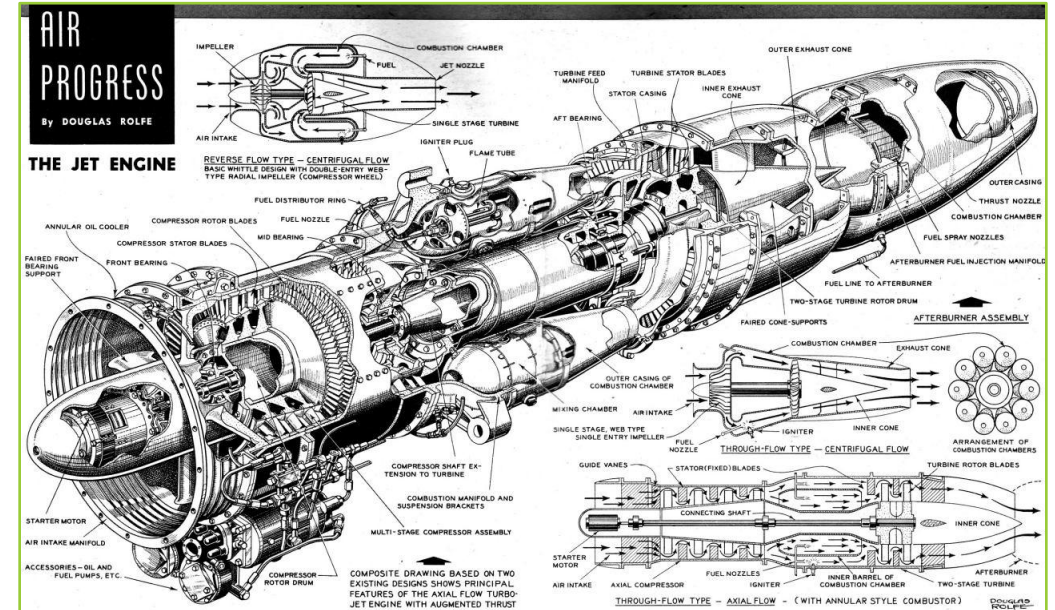
- 3) *Yerde ve havada istenilen hıza ulaşılması*: Uçağın yerde ve havada istenilen hıza kadar hızlanabilmesi için gerekli güç ve kuvveti oluşturmaktır.
- 4) *Elektrik enerjisi üretmek*: Uçaklarda elektrik enerjisi ile çalışan sistemlerin çalıştırılabilmesi için gerekli elektrik enerjisi üreten üreteçlerin çalıştırılabilmesi için gerekli ve yeterli güç ve kuvveti oluşturmaktır. Elektrik enerjisinin başlıca kullanıldığı sistemler:
  - Elektrikli ısıtıcılar
  - Aydınlatma
  - Mekanik güç üreteçleri
  - Elektronik cihazlar

# Güç ve İtki Sistemleri / Güç Grupları

## *Güç Gruplarında Aranılan Özellikler:*

Bir hava aracında, güç grubunun verimli bir şekilde kullanılabilmesi için bazı özelliklere sahip olması istenilir. Bunlardan en önemlileri:

- ✓ Hafiflik
- ✓ Güvenilirlik
- ✓ Ekonomiklik
- ✓ Aerodinamik Yapı
- ✓ Bakım Kolaylığı
- ✓ Esneklik
- ✓ Balans (denge, az titreşim)



# Güç Gruplarının Özellikleri / Hafiflik

Bir hava aracında **motor ağırlığı mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır**. Böylece uçağın taşıyabileceği faydalı yük miktarı artırılmış olur. Hafiflik iki başlıkta incelenebilir:

- **Üretilen birim gücün ağırlığa oranı**: Sistem tarafından üretilen gücün sistemin ağırlığına oranı (*Thrust / Weight*) ne kadar küçük olursa, güç grubu o oranda hafif olmaktadır.  $T_u/W_{GG}$

$$T_u / W_{GG}$$

$W_{GG}$  = Güç grubunun ağırlığı

$T_u$  = Üretilen güç

# Güç Gruplarının Özellikleri / Hafiflik

## *Thrust-to-Weight Ratio*

- Literatürde genellikle itki (güç) bölü ağırlık oranı şeklinde geçer.  $\frac{T}{W} =$
- Gaz türbinli motorun, pistonlu motorlarla karşılaştırıldığında, en büyük avantajlarından biri mükemmel bir ağırlık – güç oranına sahip olmasıdır. Turbo-şaft motorların güç/ağırlık oranı 8/1'den büyükken, pistonlu motorlarda bu oran 1/1 civarındadır.

# Güç Gruplarının Özellikleri / Hafiflik

- *Ağırlığın uçak ağırlığına oranı*: Güç grubunun ağırlığının uçak ağırlığına oranı ne kadar küçük olursa, güç grubu o oranda hafif ve başarılı/ekonomik olmaktadır.

$$“W_{GG} / W_{Uçak}”$$

$W_{GG}$  = Güç grubunun ağırlığı

$W_{Uçak}$  = Uçak ağırlığı

# Güç Gruplarının Özellikleri

## *Güvenilirlik*

Bir uçağın kullanım ömrü boyunca, ilk günkü gibi kendisinden beklenenleri yerine getirebilmesine güvenilirlik denir. Güç grupları kendinden beklenen performans ve fonksiyonları, istenilen sürede, kalitede, seviyede, şartlarda ve istenildiği kadar yerine getirebildiği kadar güvenilir sayılmaktadır.

## *Güç gruplarından güvenilirlik açısından beklenen özellikler:*

- İstenilen her an enerji verebilmesi
- Arıza olasılığının düşük olması
- Arıza sayısının düşük olması
- Arızalanma olasılıklarının deterministik olması (Nerede ve ne zaman arızalanacağı belirlenebilmeli)

# Güç Gruplarının Özellikleri

## ***Ekonomiklik***

- Güç grubunun satış fiyatının düşük olması
- Uçağın fiyatının içinde güç grubunun fiyatının oranı düşük olması
- Yedek parça maliyetlerinin düşük olması
- Birim zamanda, birim güç başına ürettiği enerjinin kullandığı yakıta oranı düşük olması

## ***Aerodinamik Yapı***

- Güç grubunun aerodinamik sürüklemesi minimum, motor boyutları uygun olmalıdır

# Güç Gruplarının Özellikleri



## *Bakım Kolaylığı*

- Güç grubu tamirat için kolaylıkla uçak üzerinden ayrılabilirmeli
- Güç grubu parçaları kolaylıkla sökülüp takılabilmeli
- Özel bir bakım alanına ihtiyaç duyulmamalı
- Özel bir bakım elemanına ihtiyaç duyulmamalı

## *Esneklik*

- *Bir motorun, rölanti ile tam güç arasındaki tüm devirlerde, her türlü atmosfer koşulunda düzgün bir şekilde çalışması ve kendinden beklenen performansı sağlamasına esneklik denir. Güç gruplarının tüm irtifalarda verimli bir şekilde çalışması, o güç grubunun esneklik özelliğini içermektedir.*

# Güç Gruplarının Özellikleri

## *Balans*

- Balans, birçok farklı anlamda kullanılabilir. Balans eksikliği, titreşimin en temel nedenlerindendir.
- Motor oldukça hafif ve esnek olmasına rağmen, motor titreşimi ve dengesizlik bazı parçaların, yapının (yorulma) ve motorun kullanım ömrünü kısaltabilir.
- Titreşim, pilot ve yolcuların uçuş konforunu olumsuz yönde etkileyen bir faktördür.
- Titreşim, uçak içindeki kablolar, cihazlar ve aksesuarlara zarar verebilir. Parçalar ve bağlantılar tamamen görevini yapamaz hâle gelebilir.

# Uçaklarda Kullanılan Güç Grubu Tipleri

Havacılıkta kullanılan motor tipleri:

- *Pistonlu motor ve pervane*
- *Tepkili (jet) motorlar*
- *Pulsejet ve Ramjet motorlar*
- *Roketler*
- *Elektrik motorları ve bataryalar*
- *İyonize hava akımı ile itki*



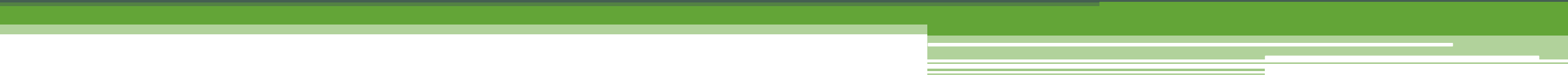
# Güç ve İtki Sistemleri



## PİSTONLU MOTOR ÇEŞİTLERİ & PERVANE

# MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi

## MOTORLAR



### PİSTONLU MOTOR VE ÇEŞİTLERİ

# Piston Motorlu Uçaklar

## Piston Motorlu ve Pervaneli Uçaklar

- Pistonlu uçaklar, uçağı yerde ve havada hareket ettirmek için itki sağlamak üzere bir pervaneye bağlı bir veya daha fazla pistonla çalışan motora sahiptir.
- Pistonla çalışan uçaklar en yaygın olarak 100 oktan düşük kurşunlu yakıt kullanır ve 15.000 feet altındaki irtifalarda uçar.
- 1-6 yolcu kapasiteli tipik bir piston motorlu uçağın içi, küçük bir binek otomobilin iç kısmına benzer şekilde yapılandırılmıştır.
- İş için kullanılan pistonlu uçaklar, genellikle hava trafik kontrol kuleleri olmayan çok küçük genel havacılık havaalanlarını kullanarak, genellikle 300-400 mil gibi nispeten kısa mesafelerde uçarlar.

# Uçaklarda Kullanılan Güç Grubu Tipleri

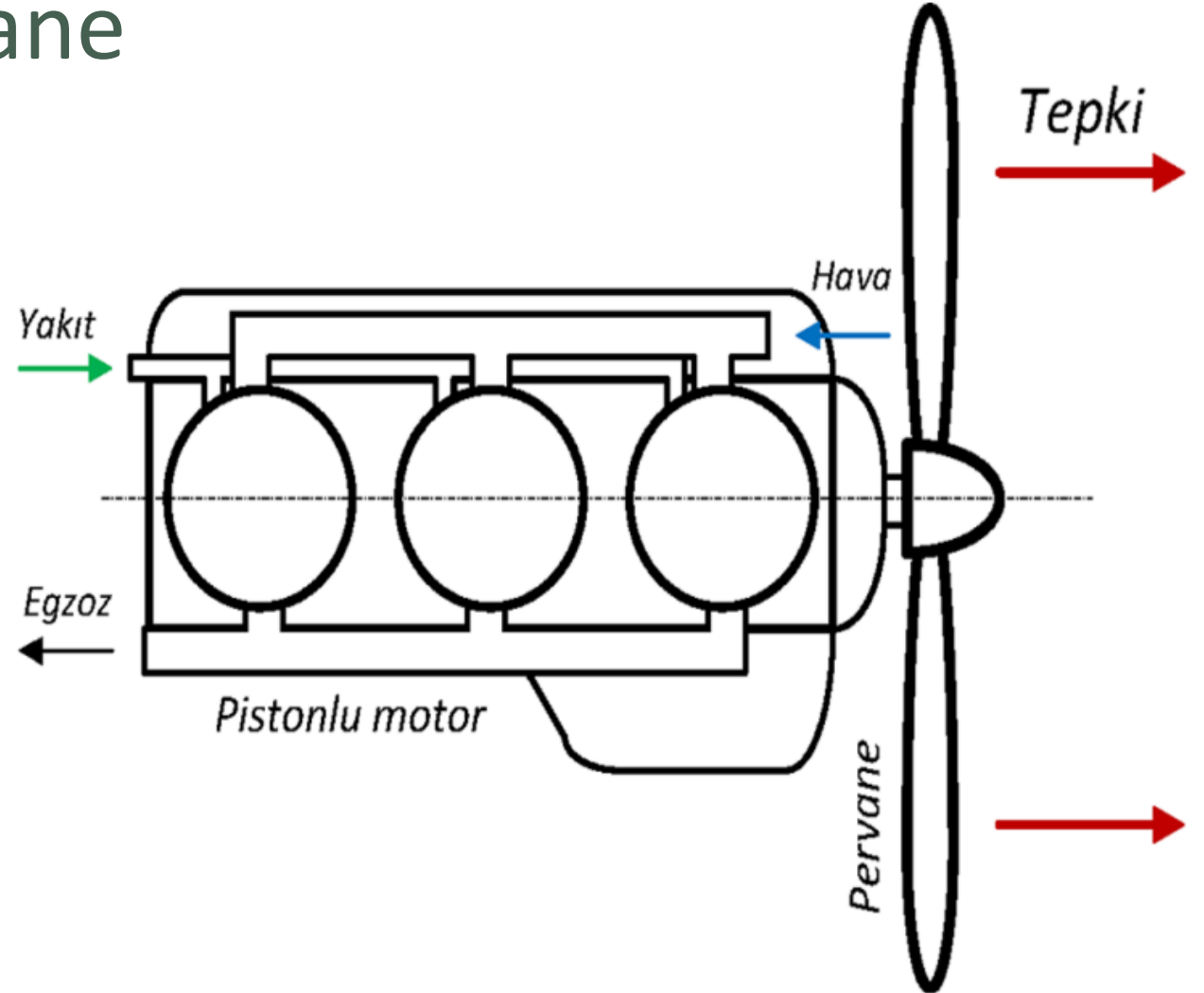
## Pistonlu Motor ve Pervane

- İçten yanmalı motor (ICE) tipi olan pistonlu motor ve pervane, havacılığın gelişmeye başladığı 20. yüzyılın başlarından beri kullanılmaktadır.
- Günümüzde de hızı **500 km/saat altında** olan birçok uçak tipi için seçilmektedir.
- Pistonlu motorların ve pervanenin **verimi hava yoğunluğu ile azaldığından**, yükseklerle çıkıldıkça güç azalacaktır. Bu nedenle bu tür motora sahip uçaklar **yüksek irtifalarda kullanılamazlar**.
- Dört zamanlı pistonlu motorlar ve pervane birleşimi, yakıtın kimyasal enerjisini mekanik çekiş kuvvetine çeviren bir kombinasyondur.

# Pistonlu Motor ve Pervane

Pistonlu motor ve pervane sisteminin performansı dört ana parametreye bağlıdır:

- Motorun devir sayısı
- Basınç irtifası
- Pervanenin devir sayısı
- Uçuş hızı

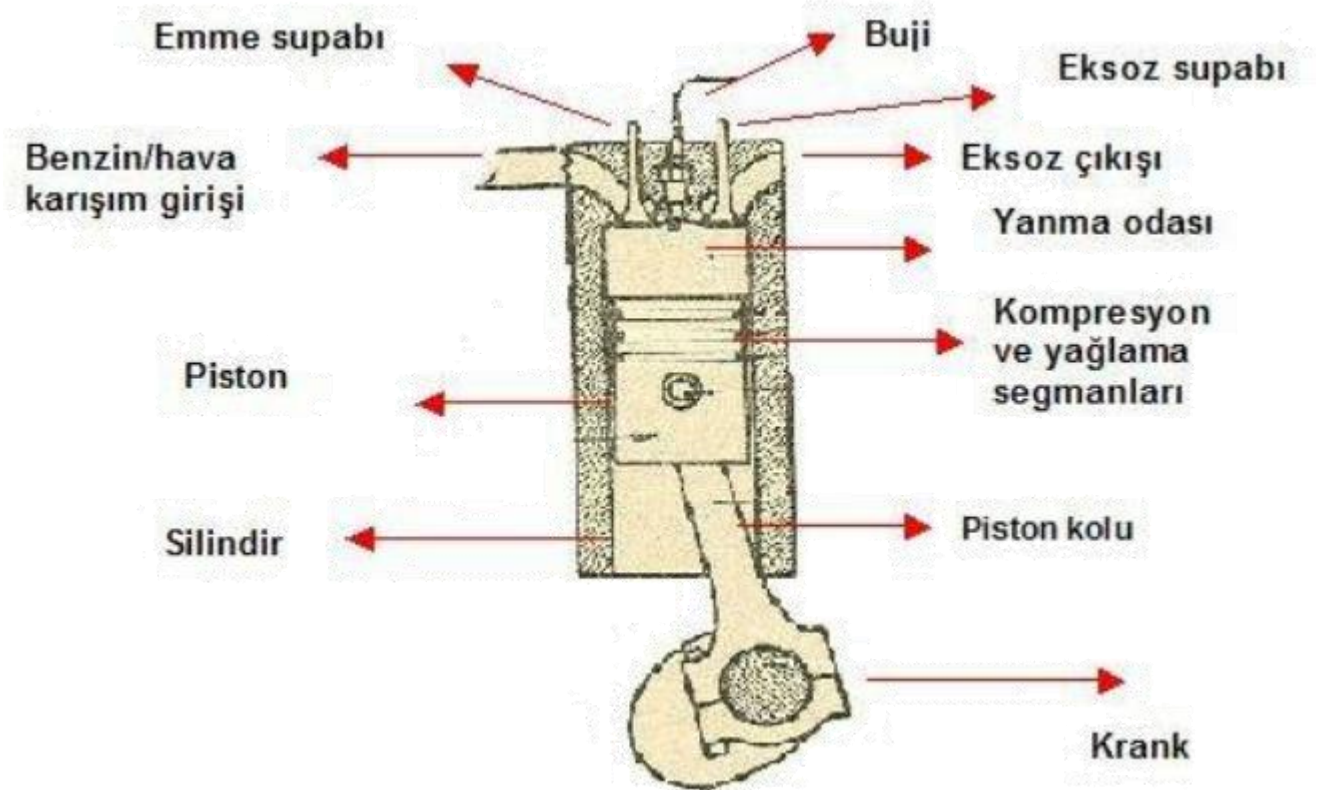


# Pistonlu Motor ve Pervane

## Pistonlu Motorun Çalışması

- Piston, **silindir** içinde aşağı–yukarı hareket eder. Bu hareket, **piston kolu** ile **krank miline** aktarılır ve krank milinin eksenine etrafında dönmesini sağlar.

İçten yanmalı motorun bir silindrinde bulunan ana parçalar ==>>

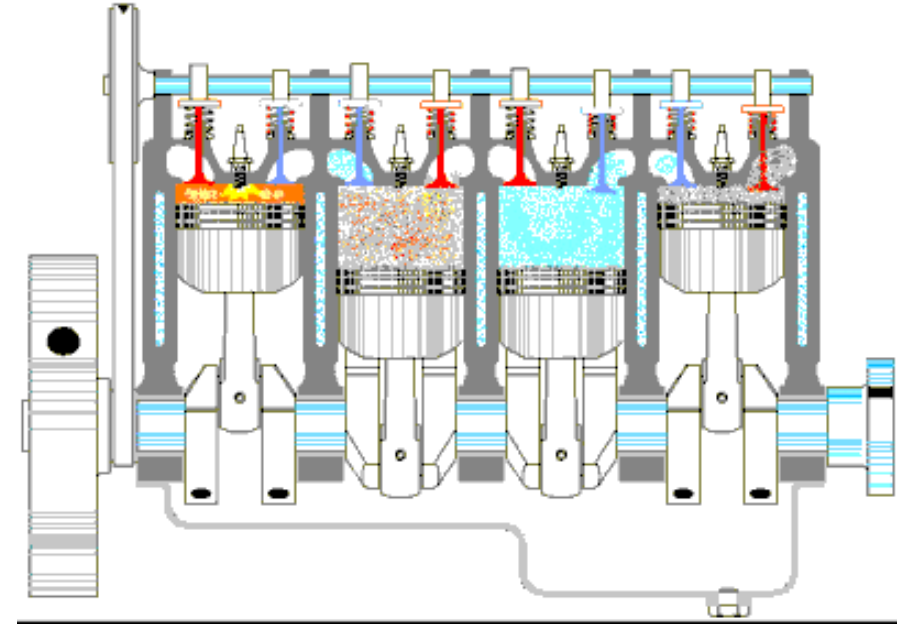


# Pistonlu Motor

## Pistonlu Motorun Çalışması

Bir pistonlu motorda gücün sağlanması **dört aşamada** gerçekleşir:

- **Birinci aşama:** Piston, silindirin üst seviyesinden aşağıya doğru hareket etmeye başladığında emme supabı açılarak yanma odasına benzin-hava karışımı alınır.
- **İkinci aşama:** Emme supabı kapandıktan sonra piston yukarı hareket ederek benzin-hava karışımını sıkıştırır.

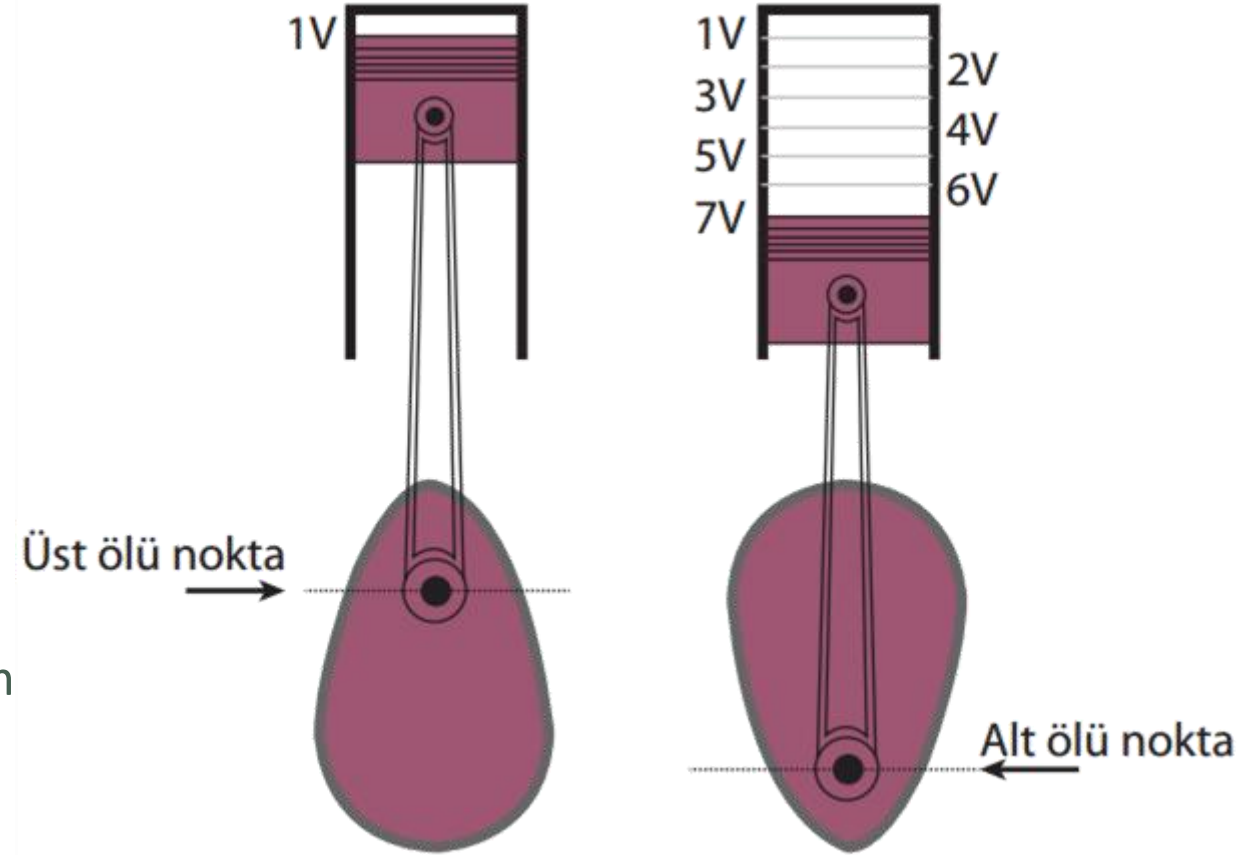


# Pistonlu Motor

## Pistonlu Motorun Çalışması

- **Üçüncü aşama:** Sıkıştırmanın en üst seviyesinde bujinin çıkardığı kıvılcımla benzin-hava karışımı ateşlenir. Benzin-hava karışımının yanmasıyla meydana gelen genleşme nedeniyle piston hızla aşağı hareket eder.
- **Dördüncü aşama:** Piston tekrar yukarı harekete başladığında egzoz supabı açılarak yanmış karışım dışarı atılır.

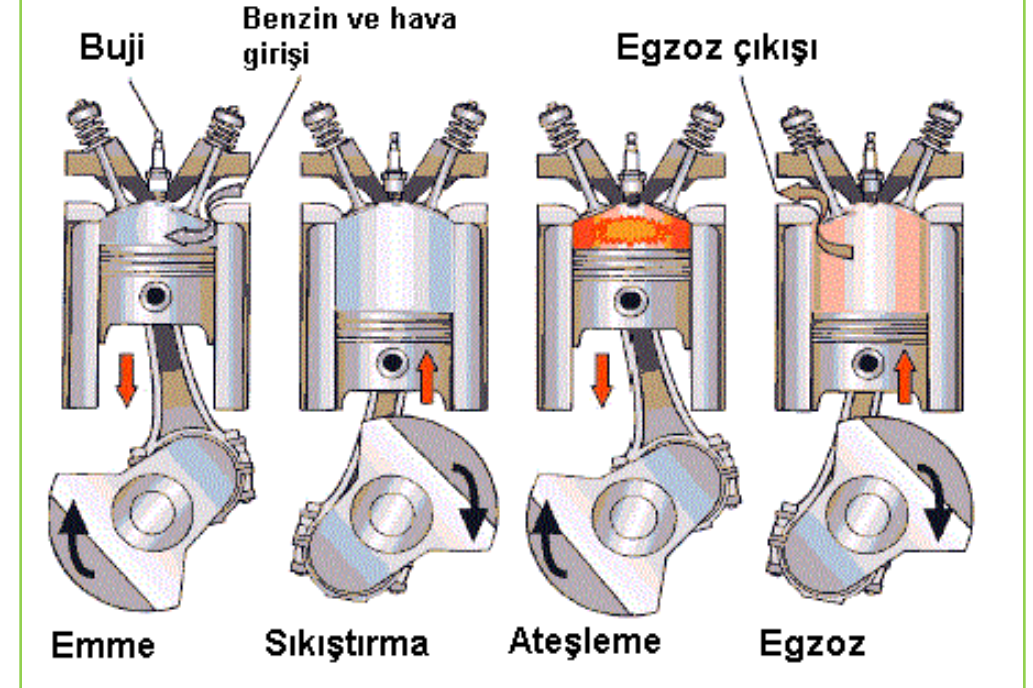
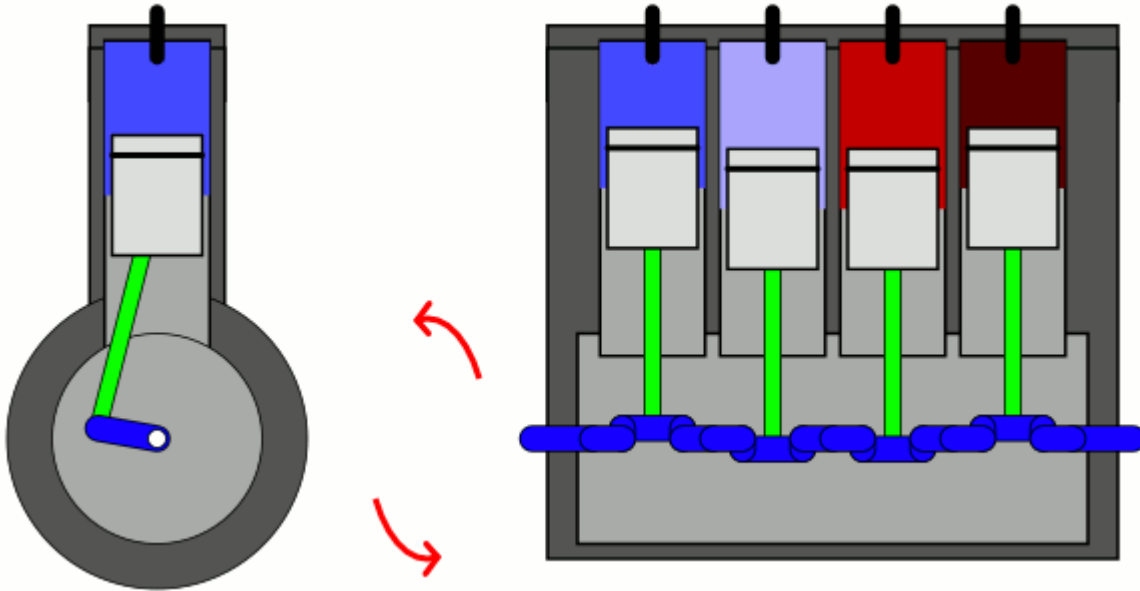
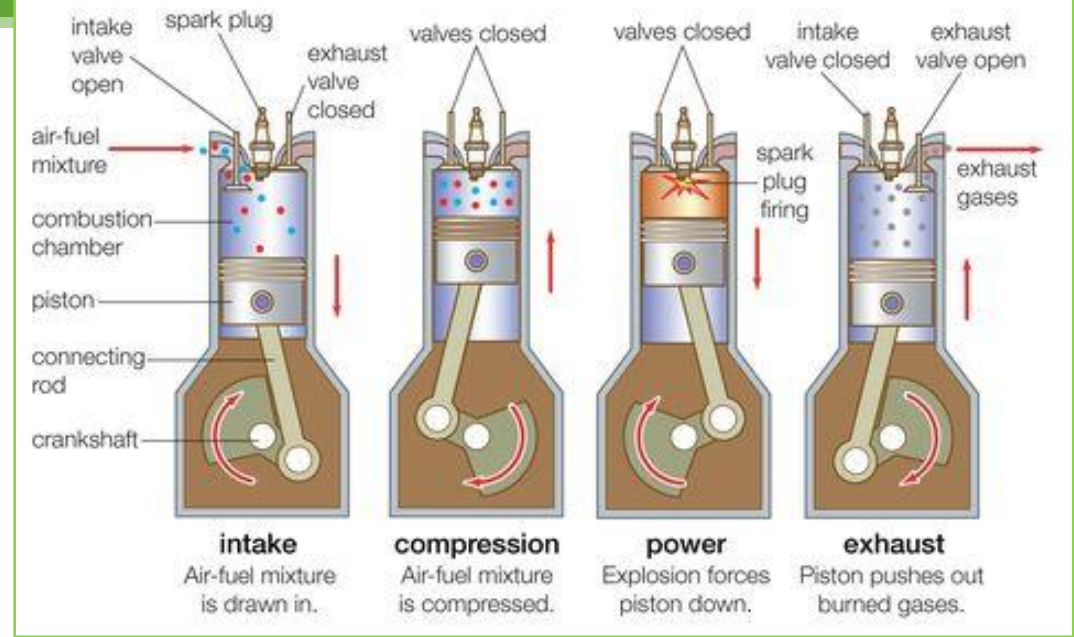
Bu şekilde çalışan motorlar, dört zamanlı motor olarak adlandırılır.



# Pistonlu Motor

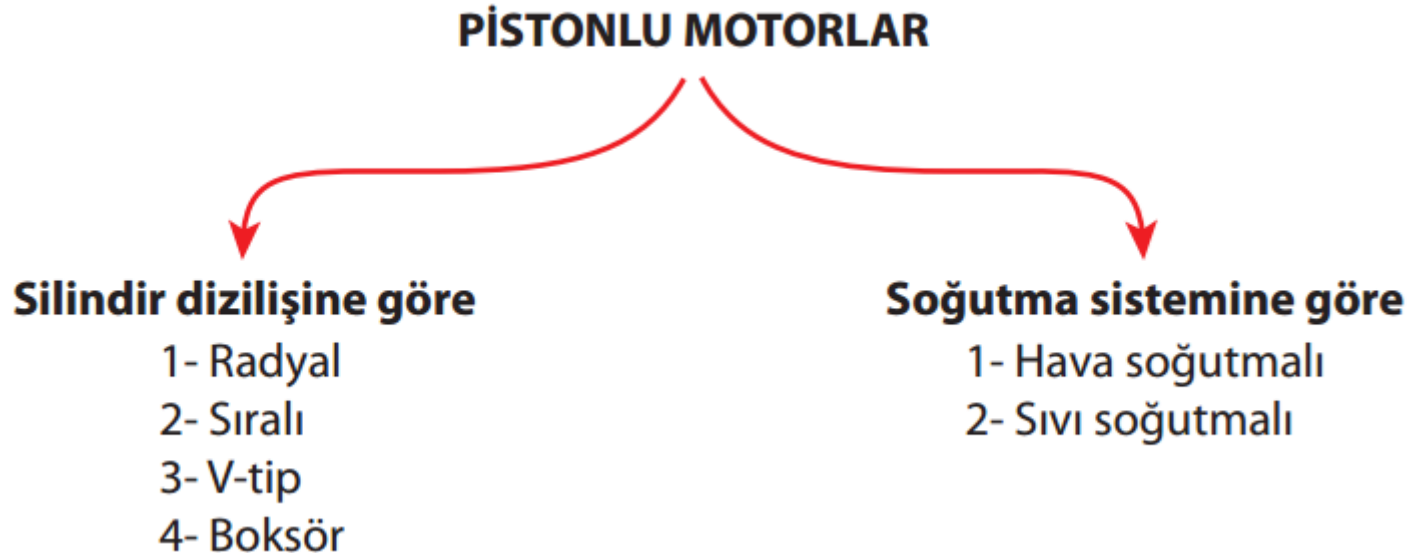
*Örnek Görseller:*

4-zamanlı benzinli (Otto) motor çevrimi



# Pistonlu Motor Tipleri

Wright kardeşlerin 1903 yılında gerçekleştirdikleri ilk motorlu uçuştan bu yana, havacılıkta birçok farklı pistonlu motor tipi kullanılagelmiştir. Bu motor tiplerini, silindir dizilişine ve soğutma sistemine göre iki ana başlık hâlinde sınıflandırmak mümkündür.



# Pistonlu Motor Tipleri

- Radyal Motorlar (*radial engine*)
- Sıralı Motorlar (*straight-four / inline-4 engine*)
- V-tip Motorlar (*V engine / V-type*)
- Boksör Motorlar (*boxer engine / flat engine*)



# Pistonlu Motor Tipleri

- *Örnek Görsel:* Çeşitli motor tiplerinde piston yerleşim konfigürasyonları



Single



V-Twin



Triple



Straight-4 or Inline-4



Straight-5



V-5



V-6



V-8



Boxer Twin



Flat-4

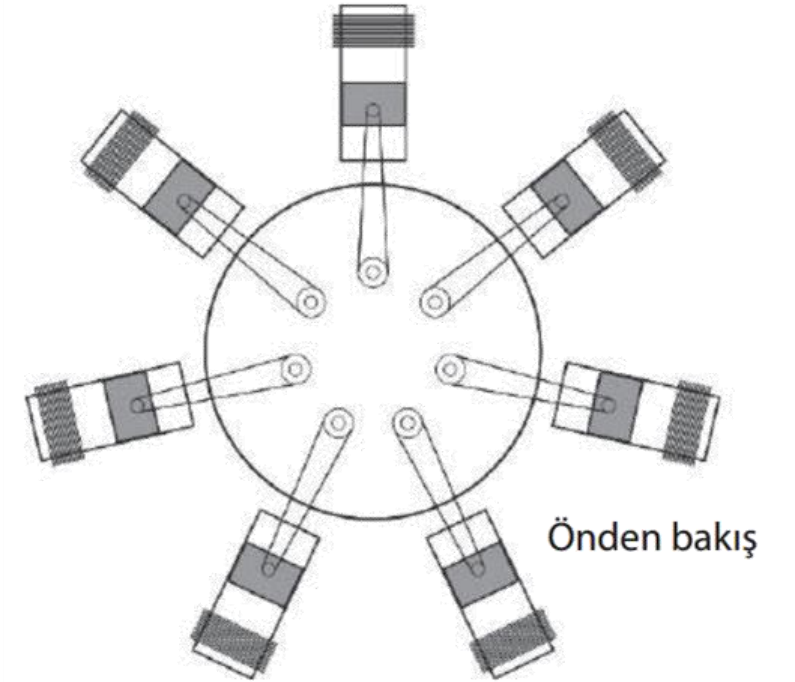
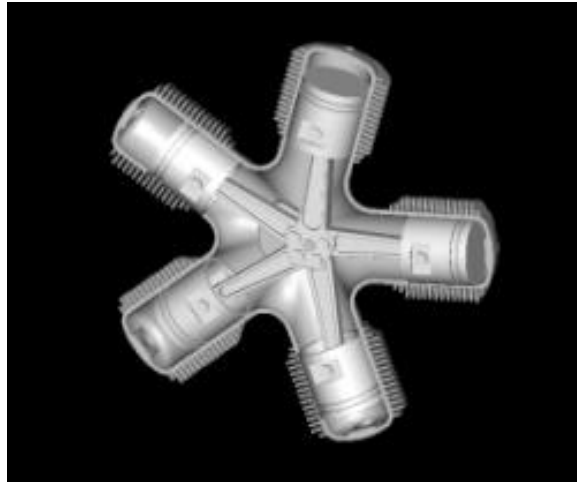


Flat-6

# Pistonlu Motor Tipleri

## *Radyal Motor*

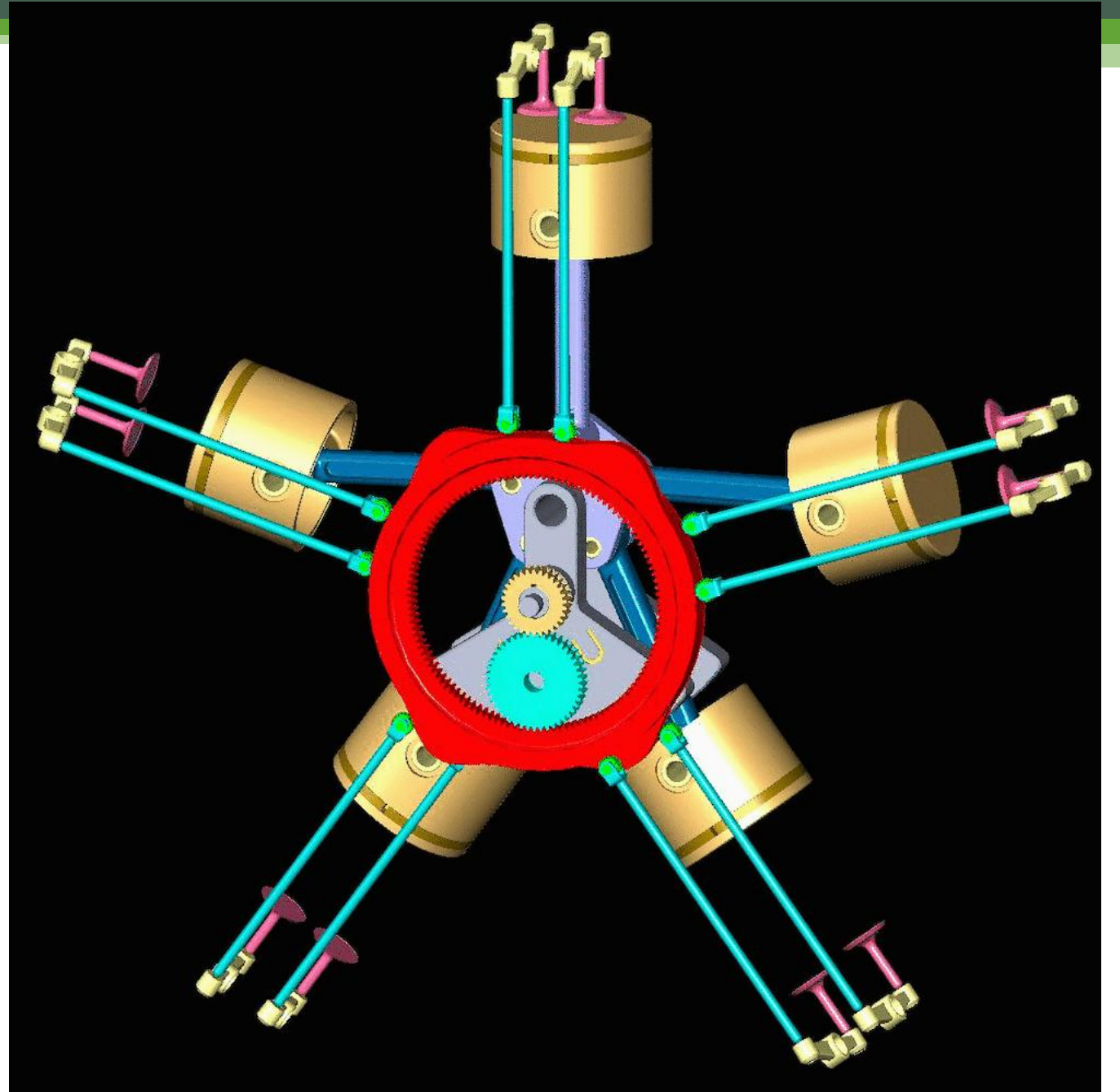
Bir krank gövdesi etrafında dairesel olarak sıralanmış bir veya birden fazla kademe şeklinde silindirlerden oluşur.



# Pistonlu Motor Tipleri

## *Radyal Motor*

*Örnek Animasyon:* Tipik bir küçük 5 silindirli radyal motorun çalışması sırasında hareketli parçalar. Pistonlar altın, valfler (supap) pembe, ana bağlantı soluk mor, piston kolları mavi, krank mili / karşı ağırlık gri ve zamanlama halkası ve kam profili kırmızı renktedir.



# Pistonlu Motor Tipleri

## *Radyal Motor*

### *Örnek Görseller:*

Tek kademeli  
9 silindirli (solda)  
ve  
çift kademeli  
14 silindirli (sağda)  
radyal motorlar



# Pistonlu Motor Tipleri

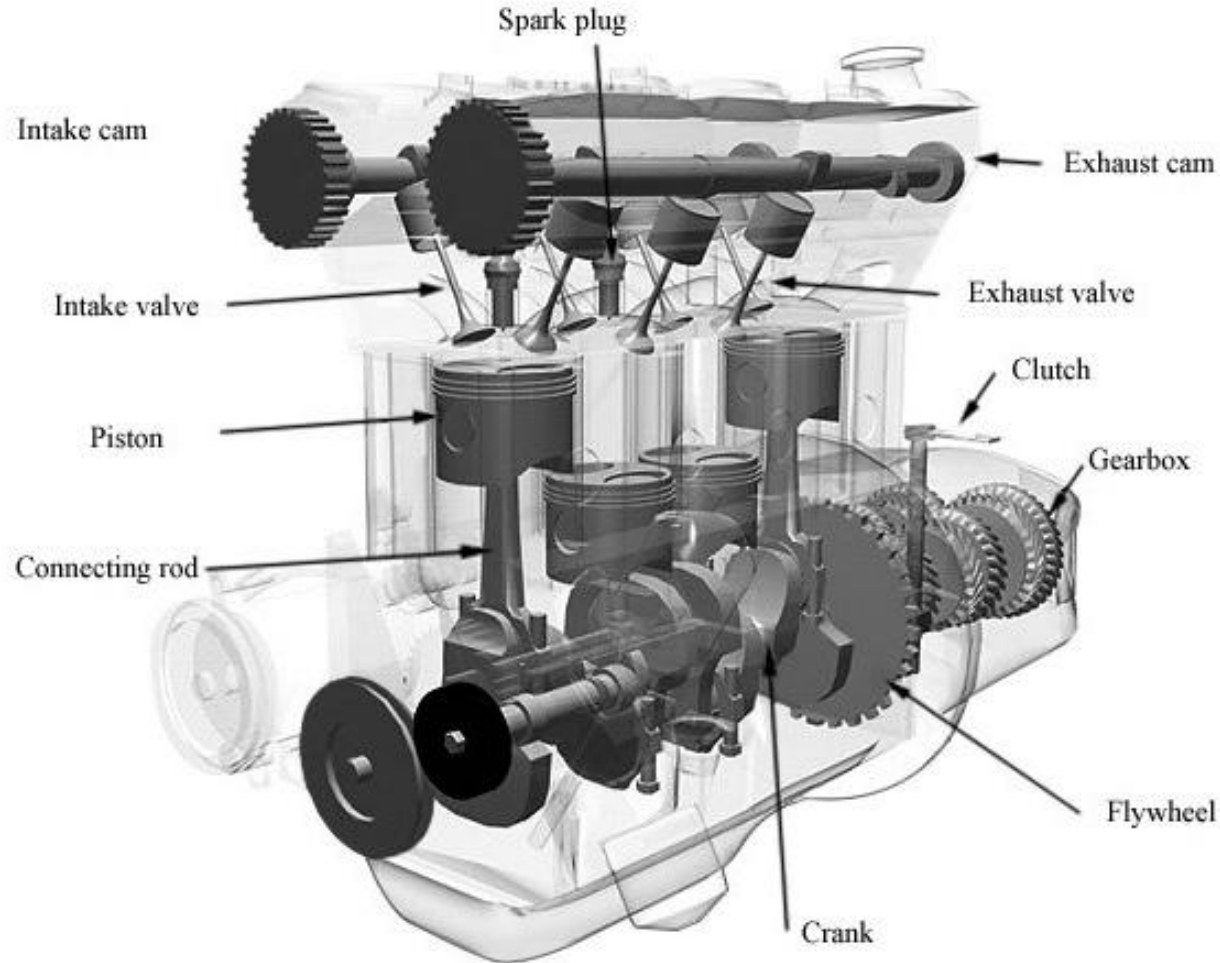
## *Sıralı Motorlar*

Genellikle çift sayıdaki silindirin krank miline paralel olarak hizalandığı motor tipidir.

Bu motorlarda hem su hem de hava soğutma sistemi kullanılabilir.



# Pistonlu Motor Tipleri



*Örnek Görseller:* Sıralı motorlar

DOHC (double overhead camshaft)



# Pistonlu Motor Tipleri

## *V-tip Motorlar*



Krank milinin iki yanında birbirinden  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  veya  $90^\circ$  açıyla yerleştirilmiş iki sıra silindirden oluşmaktadır.

Eşdeğer bir sıralı motorla (altı silindirden daha az için en yaygın konfigürasyon) karşılaştırıldığında, bir V motorun uzunluğu daha az ancak daha geniştir. Bu etki, motordaki silindir sayısı ile artar; V-ikiz ve düz-ikiz motorlar arasındaki uzunluk farkı önemsiz olabilir, ancak V8 motorlar düz motorlardan önemli ölçüde daha kısadır. Boxer motorla karşılaştırıldığında V motor daha dar, daha uzun ve daha yüksek bir ağırlık merkezine sahiptir.

# Pistonlu Motor Tipleri

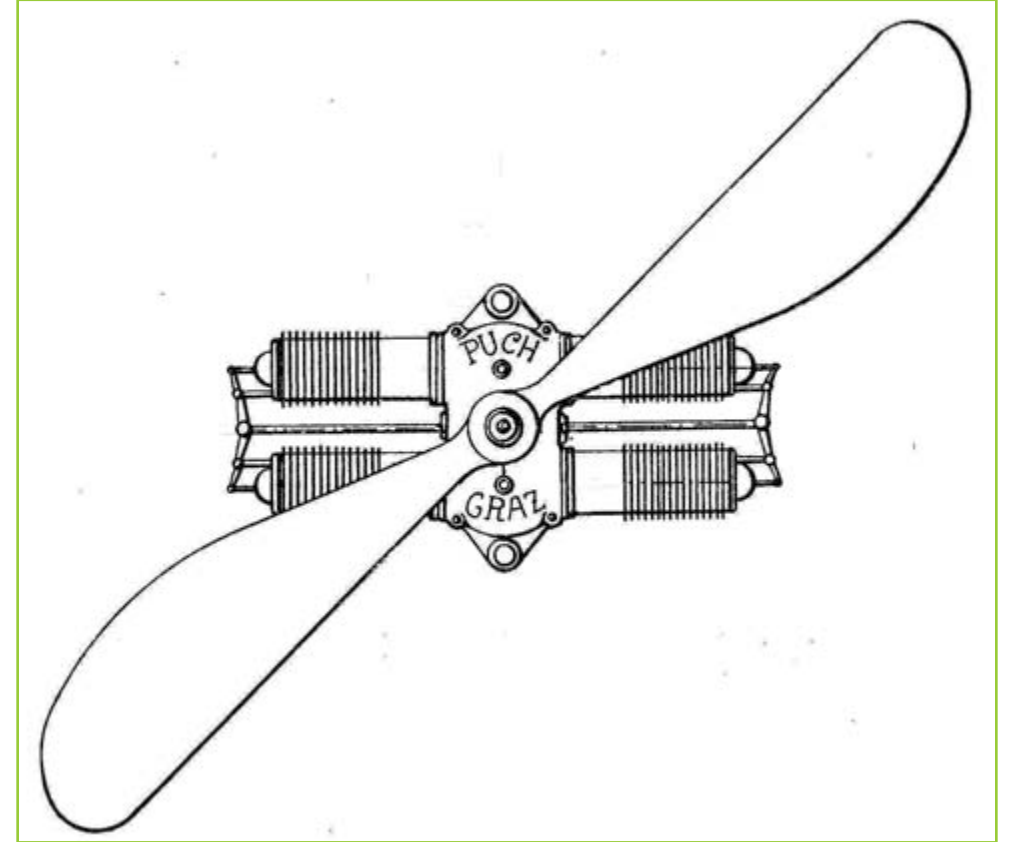
*Örnek Görseller:*  
V-tip motorlar



# Pistonlu Motor Tipleri

## ***Boksör (Boxer) Motorlar (Flat Engine)***

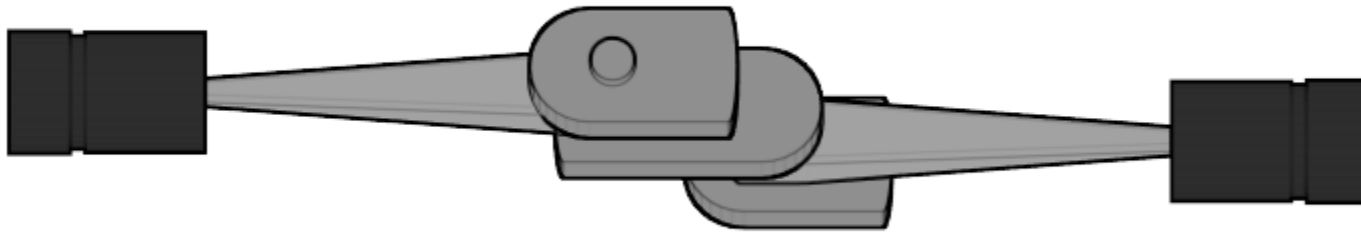
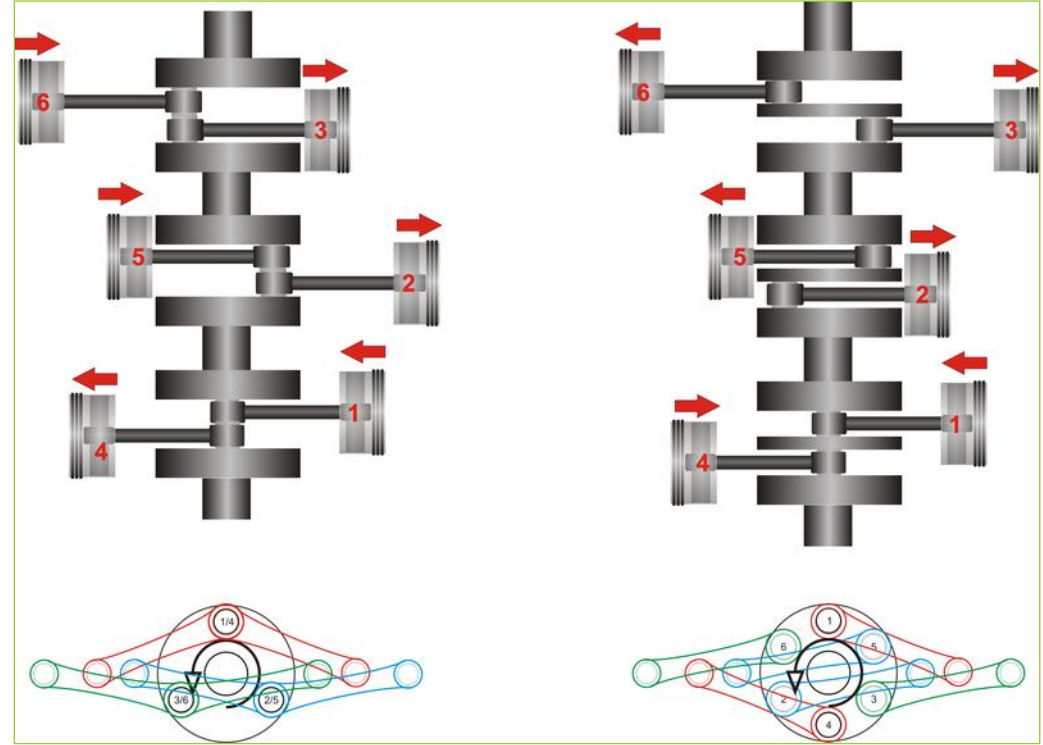
Günümüzde hafif uçaklar için en çok tercih edilen pistonlu motor tipidir. 400 HP'ye kadar güç üretilen bu motorlarda çoğunlukla hava soğutma sistemi kullanılmaktadır. Bu motorlarda birbirinin karşısına gelecek şekilde her zaman çift sayıda silindir kullanılır. Uçaklarda çoğunlukla yatay olarak kullanılır.



# Pistonlu Motor Tipleri

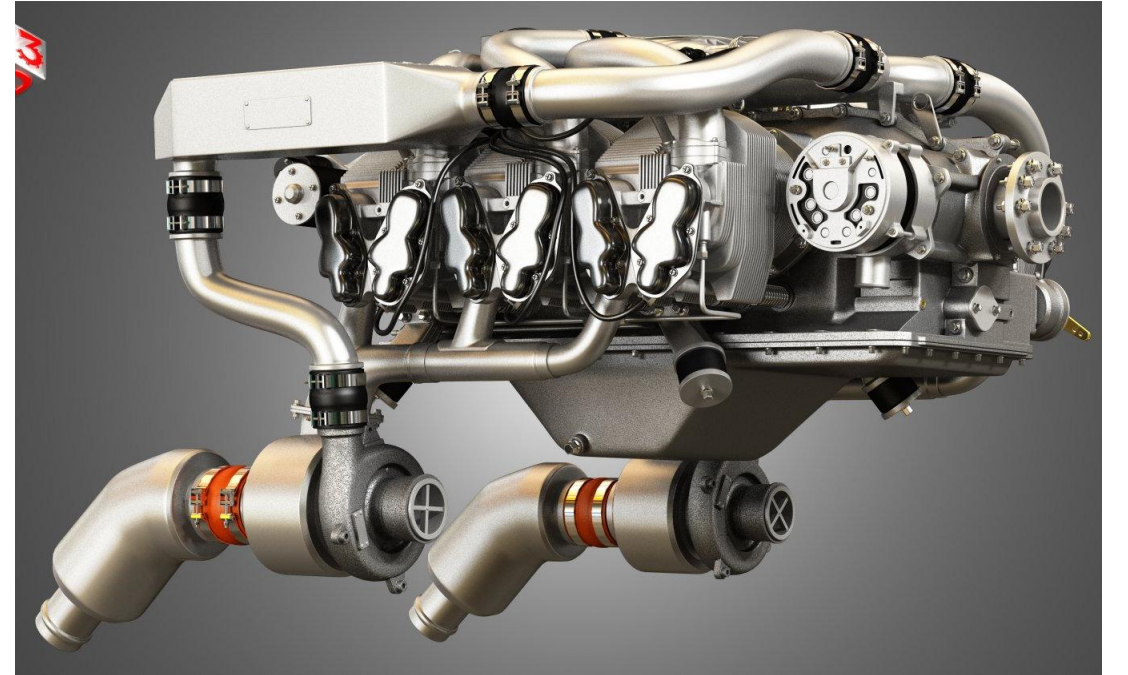
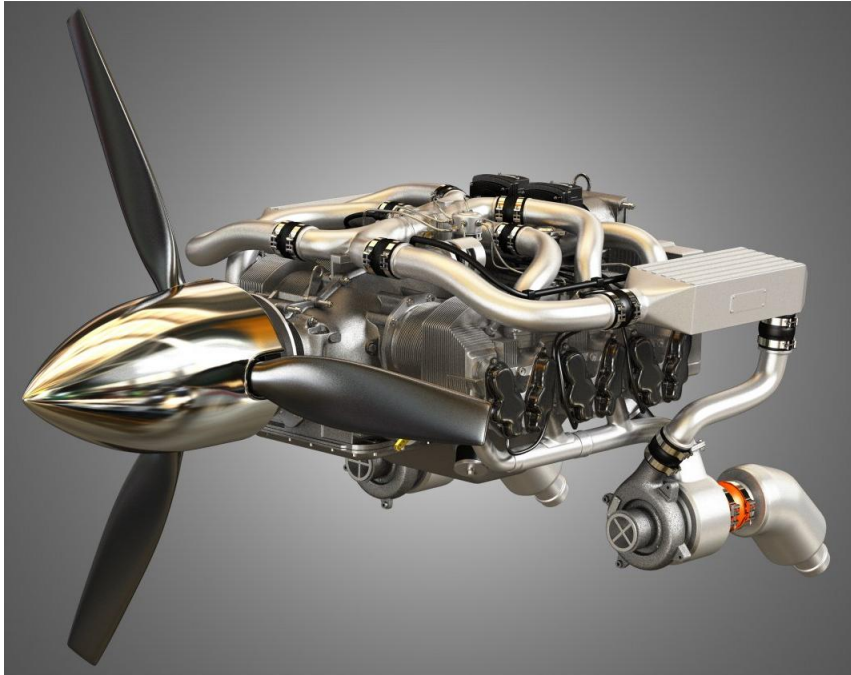
## *Boksör Motorlar*

Örnek Animasyon:



# Pistonlu Motor Tipleri

*Örnek Görseller:* Boxer Motor  
Continental IO-550 (6 silindirli, boxer)  
(Horizontally opposed, fuel injected, air-cooled)



# Pistonlu Motor Tipleri / Motor Tanımlama

Üretici firması hangisi olursa olsun, günümüzde kullanılan pistonlu motorlarda ortak bir tanımlama sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem içerisindeki harflerin açıklamaları aşağıda listelenmiştir:

*O: Yatay boksör motor*

*R: Radyal motor*

*I: Sıralı motor*

*V: V-tip motor*

*T: Turboşarjlı motor*

*I: Yakıt enjeksiyonlu motor*

*S: Süperşarjlı motor*

*G: Pervane devir düşürücü sistem (geared)*

*L: Ters saat yönünde dönüş*

*H: Helikopterler için yatay montaj edilmiş motor*

*V: Helikopterler için dikey montaj edilmiş motor*

*A: Akrobasi için modifiye edilmiş motor*

**ÖRNEK:** Bu harflerin yanında motorların toplam silindir hacimleri de inç küp olarak (1 inç = 2,54 cm) kullanılmaktadır. Örneğin, IO-320 kısaltması, motorun boksör tip ve enjeksiyonlu olduğunu, motor hacminin ise 320 inç küp (5.243 cc) olduğunu belirtmektedir.



# Piston Motorlu Uçak Üreticileri

- Beechcraft
- Cessna
- Cirrus
- Diamond
- Mooney
- Piper
- Tecnam



Kaynak: <https://nbaa.org/business-aviation/business-aircraft/piston-engine-aircraft/>

# Pistonlu Uçak Motoru Üreticileri

- Rotax
- Hirth Engines
- Minari Engine
- Lycoming
- Continental
- ULPower Aero Engines
- Jabiru
- D-MOTOR BVBA
- Superior Air Parts
- Aeromomentum Aircraft Engines
- RCV Engines Ltd

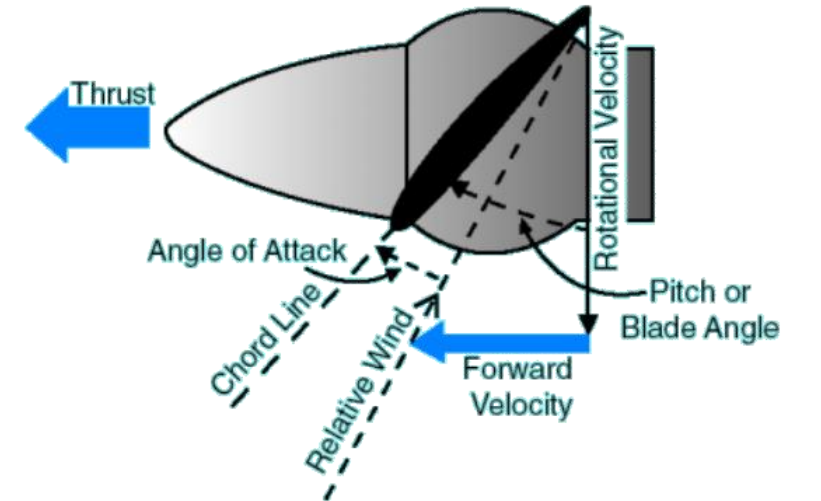


# MUTK105 – Temel Uçak Bilgisine Giriş

## GÜÇ VE İTKİ

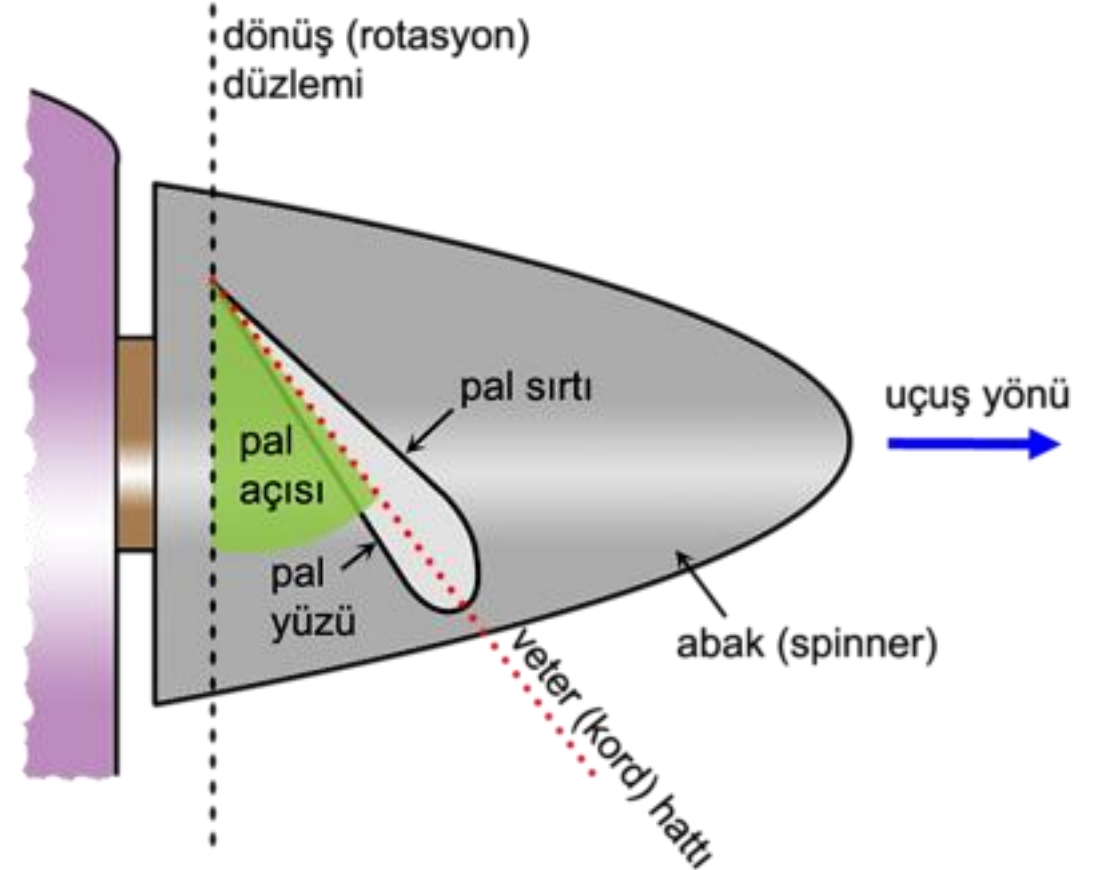


PERVANE



# Pervane (*Propeller*)

- Pistonlu motorun gücünün uçağı hareket ettiren kuvvete dönüştürülmesi gerekir.
- **Gücü** çekme veya itme şeklindeki **tahrik kuvvetine dönüştüren eleman** pervanedir.
- Uçak pervaneleri; **sabit hatveli** ve **değişken hatveli** olmak üzere iki gruba ayrılır.
- Hatve (*pitch or blade angle / pal açısı*) pervanenin bir dönüşü esnasındaki ilerleme miktarıdır.



# Pervane (*Propeller*)



- Pervane iki veya daha fazla palin (*blades*), motor krank şaftına bağlı merkez göbek (*hub*) çevresine takılmasıyla oluşur.
- Pervanelerin görevi, motorun çıkış gücünü alarak uçağa **çekme** veya **itme kuvveti** sağlayıp hava aracının havada tutunabilmesini ve ilerlemesini sağlamaktır.
- Kanat ile aradaki tek fark, kanadın kaldırıcı kuvveti sağlamak üzere yatay bir düzlemde hareket etmesi, **pervane**nin ise **ileri çekici/itici kuvveti sağlamak için dikey düzlemde hareket** etmesidir.
- Motor, ürettiği gücü içindeki motor ana miline aktarır. Aktarılan bu güç, tork kuvveti ile sağlanır.
- Tork gücünün mile uygulanması tek başına hava aracına itme veya çekme kuvveti yaratmaz. Dolayısıyla pervane, motor tarafından üretilen mekanik enerjiyi, kullanılabilir itki (*thrust*) yani ileri çekiş - itiş kuvvetine dönüştürür.

# Pervane (*Propeller*)

## Örnek Görseller:

- Sabit hatveli pervane (sağda)
- Değişken hatveli (solda)

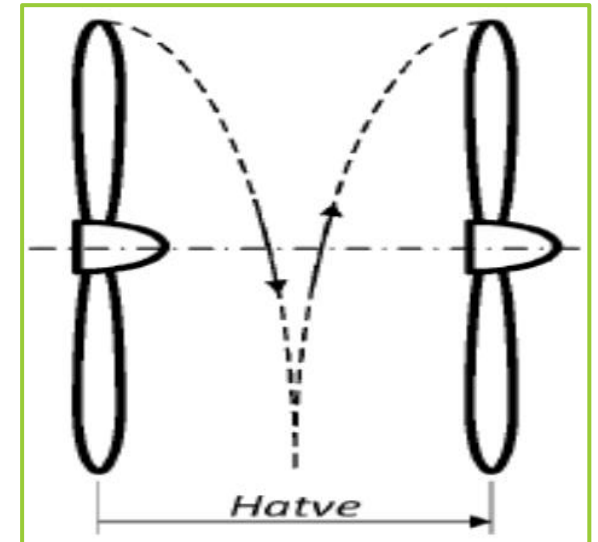
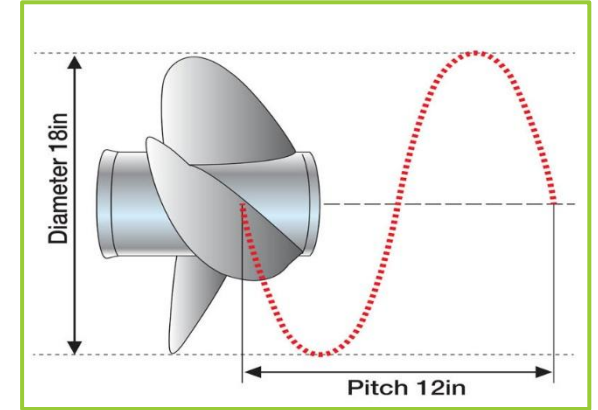
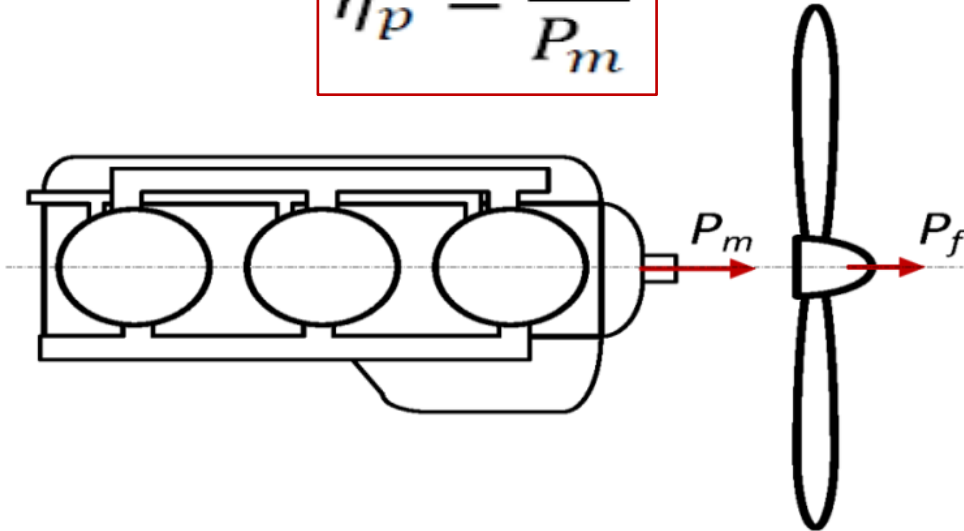


# Pervane (*Propeller*)

## *Pervane Verimi*

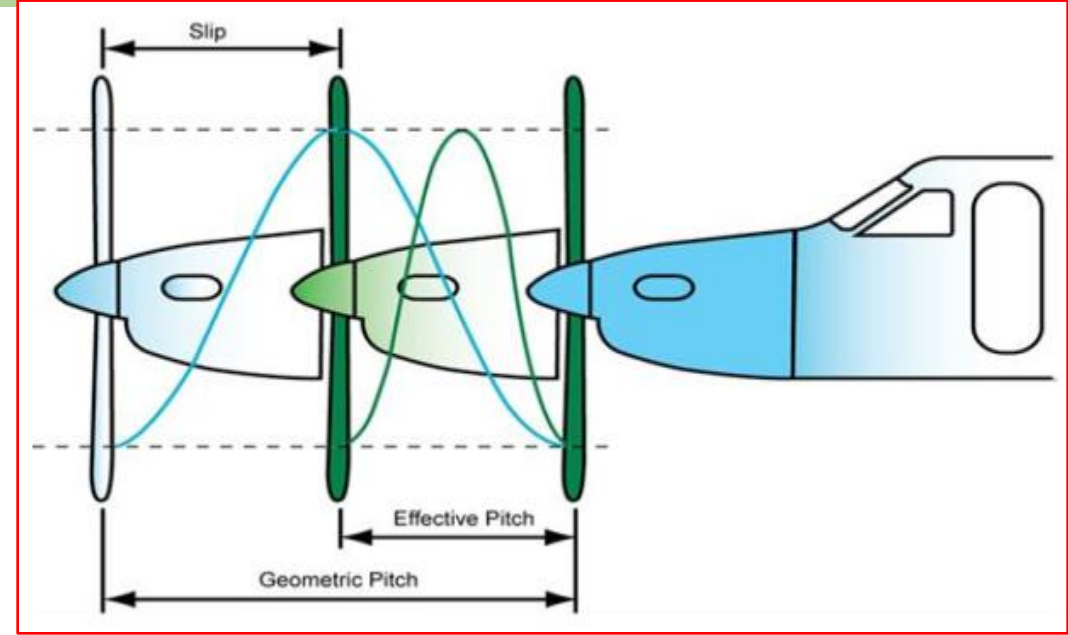
Pervaneden elde edilen faydalı gücün, motor milinden elde edilen mekanik güce oranıdır.

$$\eta_p = \frac{P_f}{P_m}$$



# Pervane (*Propeller*)

## *Pervanede Kayıp (Slip)*

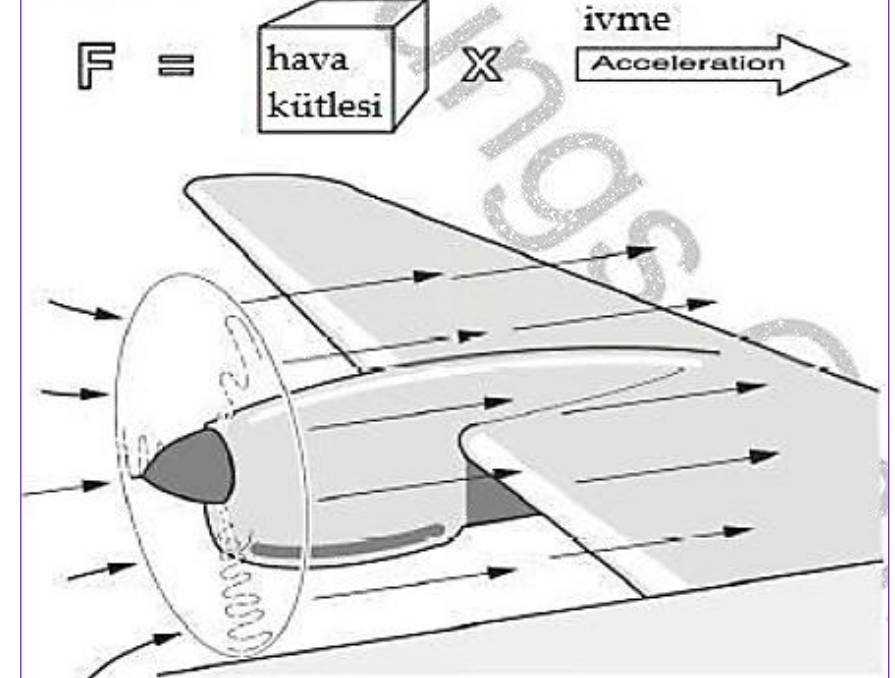
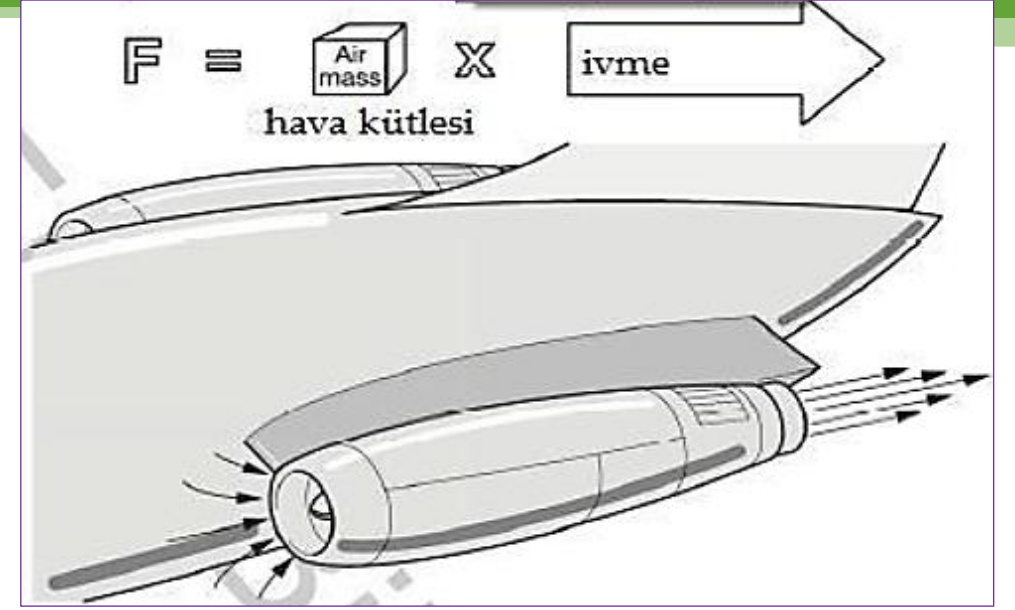


- Hava katı bir cisim olarak kabul edildiği takdirde, pervanenin böyle bir ortamda her dönüşünde kat edeceği toplam mesafeye **geometrik hatve** (*geometric pitch*) denir. Diğer bir anlatımla, pervanenin geri sürüklenme kuvveti dikkate alınmadığında bir tam dönüşünde alabileceği en büyük yoldur.
- Pervanenin kat ettiği gerçek mesafeye **etkin hatve** (*effective pitch*) denir. Yani, pervanenin geri sürüklenme kuvveti dikkate alındığında bir dönü hareketinde aldığı etkin hatvedir. Geometrik hatve ile etkin hatve arasındaki farka **kayma** (*slip*) denir.

# Pervane

## İtici Sistemlerin Kıyaslanması

- Jet motoru, pervaneli bir pistonlu motordan çok farklı görünüyor olsa da itici güç üretmek için aynı temel prensibi uygular. Her ikisi de sadece **büyük bir hacimdeki havayı arkaya doğru hareket ettirerek** uçağı ileri sürükler.
- Bugünün jet tahriki genelde gaz türbinli motora bağlansa da ramjet (dinamik tazyikli), pulsejet (kesik çalışan), roket, turbo-ramjet ve turbo-roket gibi diğer jet motor tipleri mevcuttur.

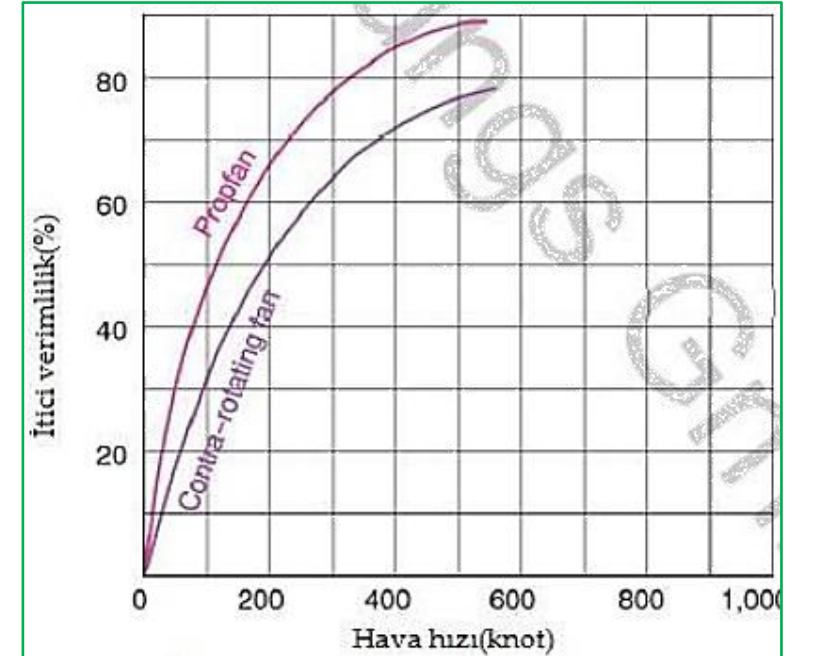
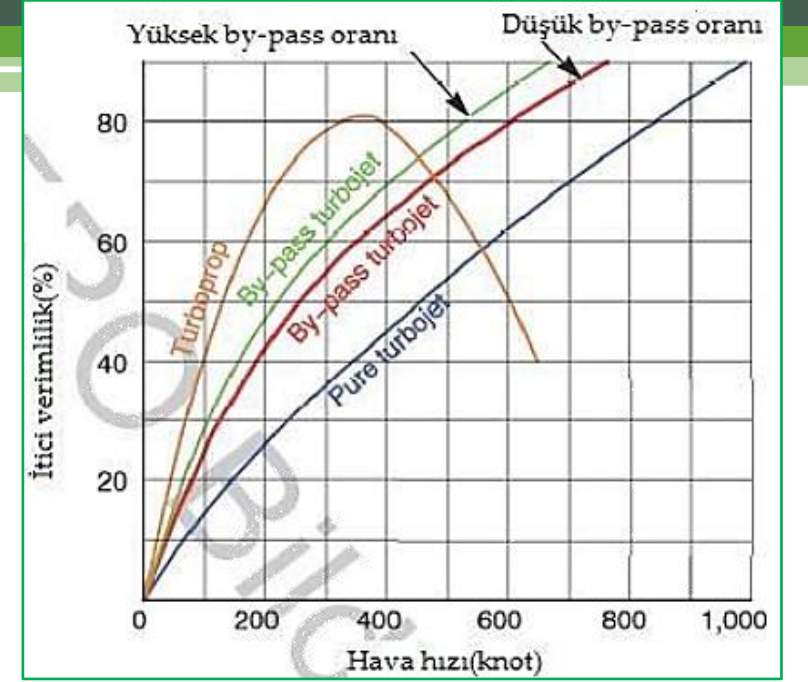


# Pervane

## İtici Sistemlerin Kıyaslanması

### İTİCİ VERİMLİLİKLERİNİN KİYASLANMASI

- Düşük hızlarda en verimli motor turboprop motorlardır.
- Turboprop motorlar yüksek hızlara çıkamazlar. Maksimum 650 knot.
- Turboprop motorlarda gürültü seviyesi daha yüksektir.
- Turboproplar yüksek irtifada düşük verimliliğe sahiptir.



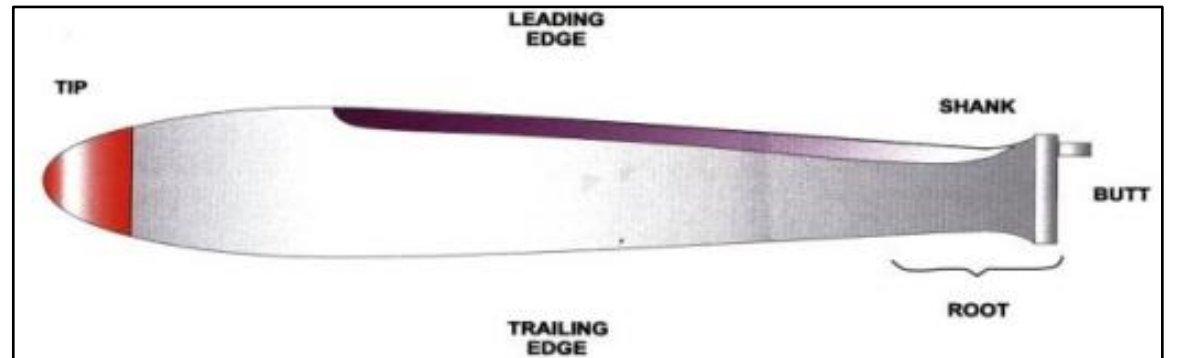
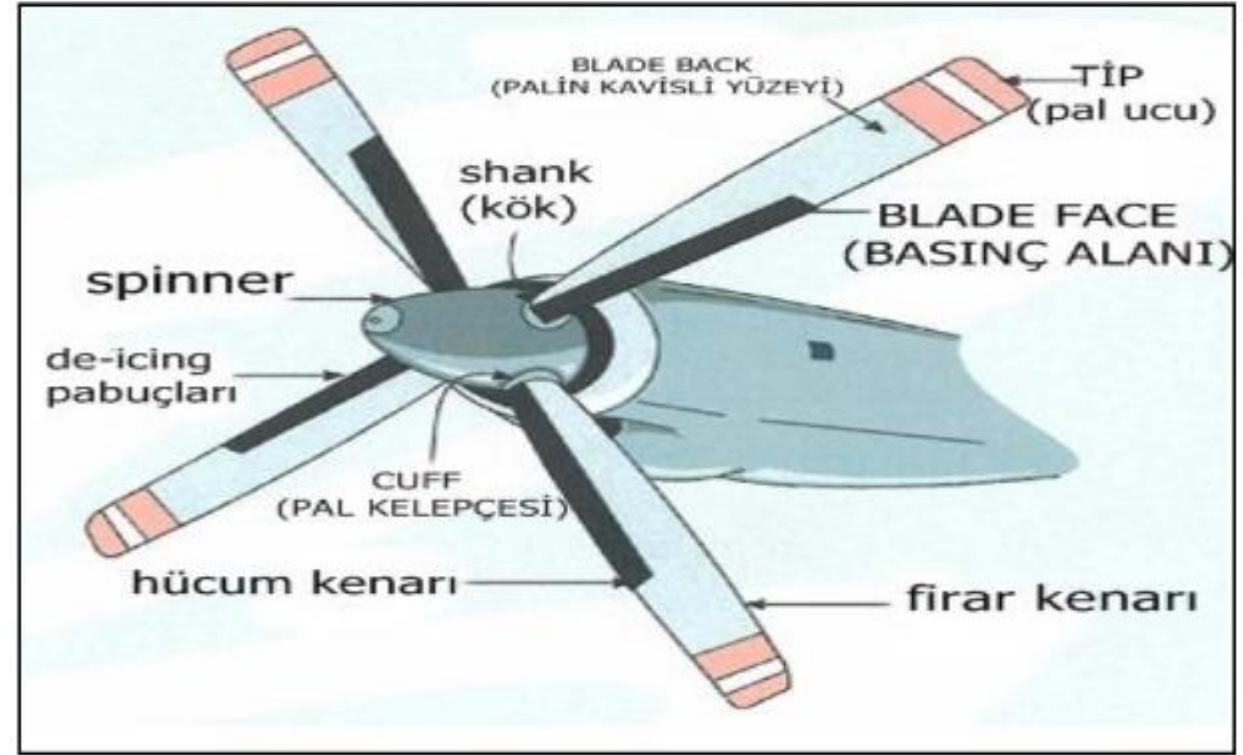
# Pervane Terimleri

- Kanat yapısına benzer olarak tasarlanmış olan pervane *blade*'leri kök (*root*), uç (*tip*), hücum ve firar kenarına sahip kamburluklu bir yapıdır. Ayrıca hücum ve firar kenarının merkezlerinden geçen bir veter (*chord*) hattına sahiptir. *Blade*'in kambur olan tarafına *blade back*, düz olan basıncın olduğu tarafa ise *blade face* denir.

## Pervane elemanları >>

- Palin kök kısmı silindirik bir şekildedir ve bu kısma *blade shank* denilmektedir. Hatve (*pitch*) değişim mekanizması olan uçaklarda *pitch* ayarı yapabilmek için şekilde görülen *blade butt* tasarlanmıştır.

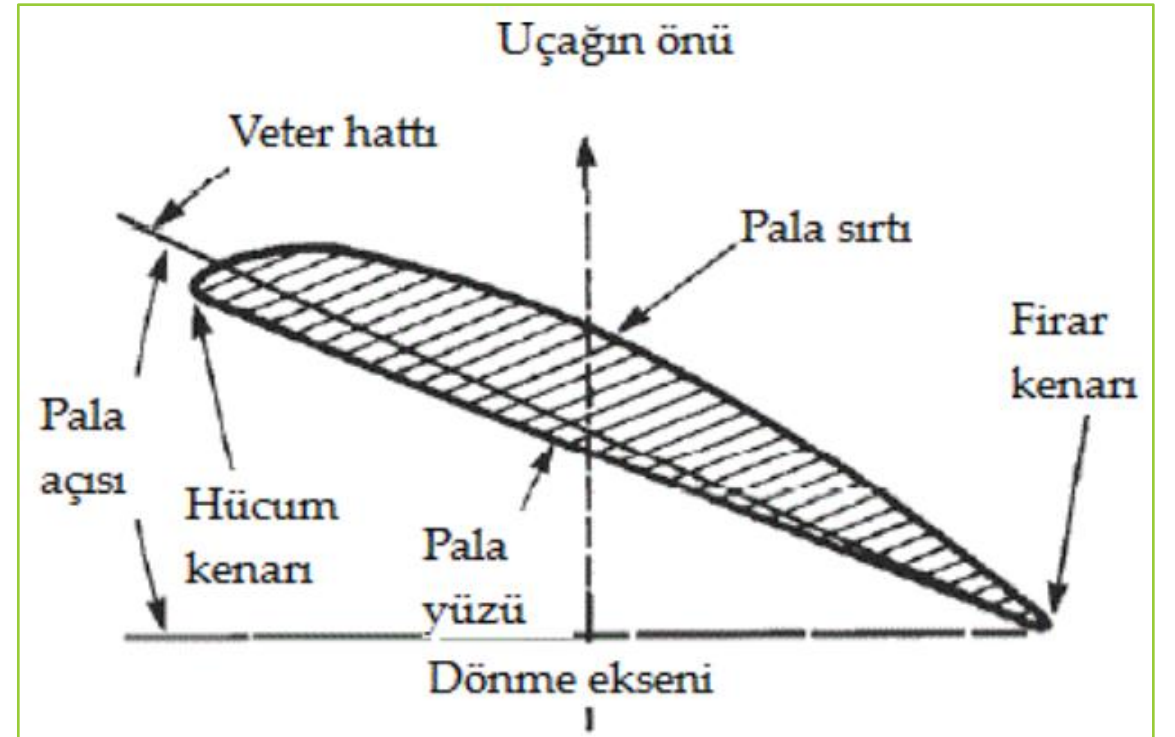
## Pal (blade) yapısı >>



# Pervane Terimleri

- Pal kesitinde, hücum kenarı ortasından firar kenarı ortasına uzanan hayali düz hatta, korda (veter) hattı denir.
- Korda hattı, ileri çekici kuvvetin hesaplanmasında veya pervanelerin balans ayarının yapılmasında önemli bir unsurdur.

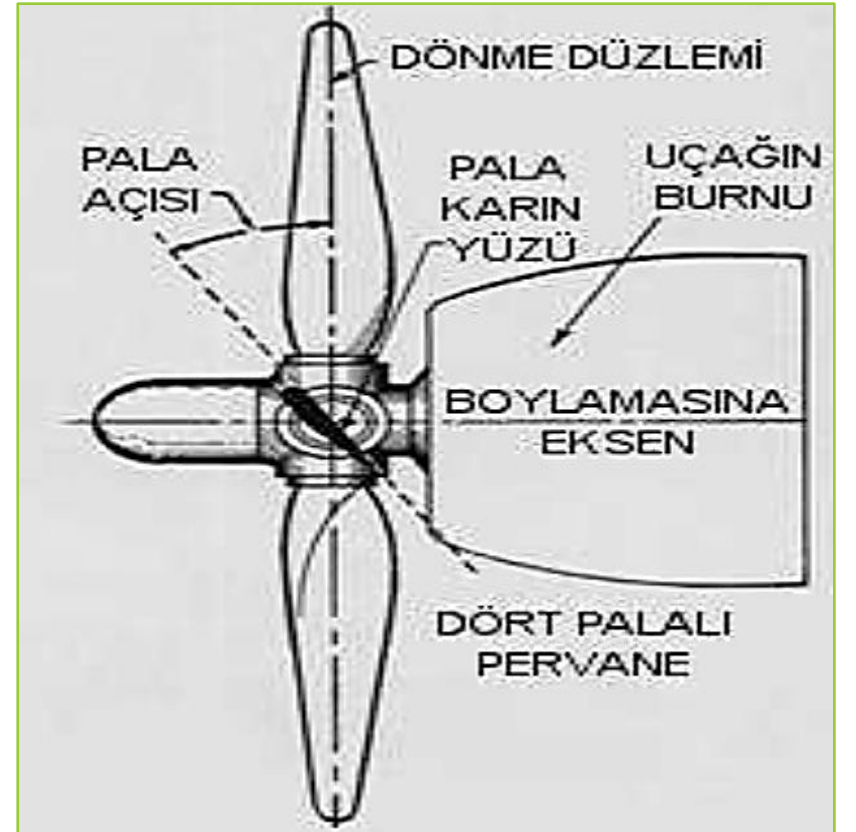
*Pal (blade) korda hattı >>*



# Pervane Terimleri

- Pal (pala) uçlarının merkezinden geçen ve motor şaftına dik olan hayali bir hat/hatların oluşturduğu düzlemdir.

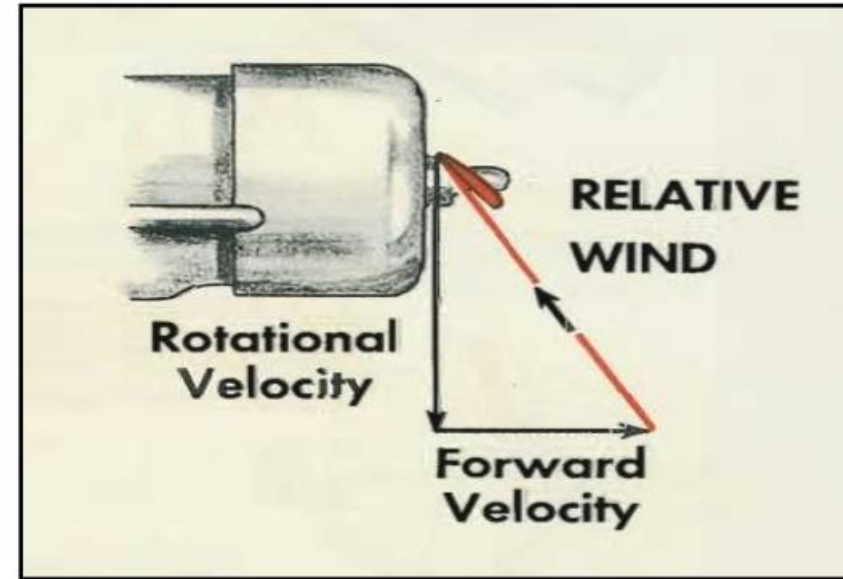
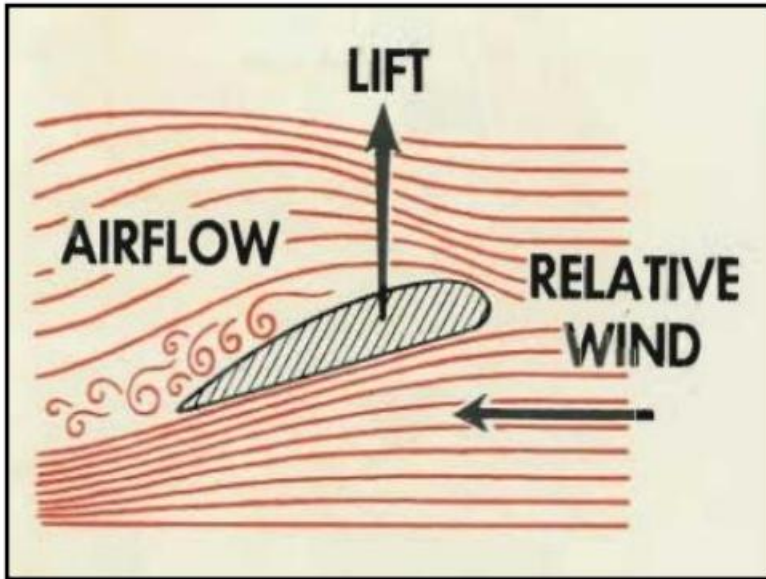
*Pervane dönü düzlemi >>*



# Pervane Terimleri

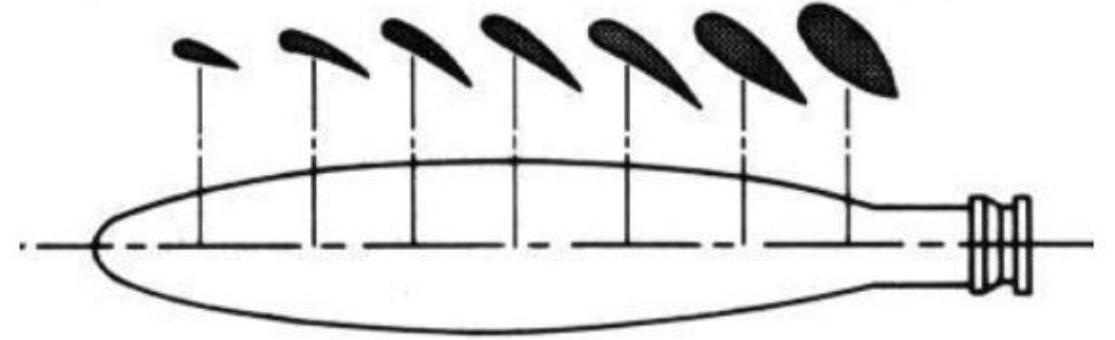
- Bağıl rüzgâr, pervane dönüş hızı (*rotational velocity*) ve ileri doğru hızın (*forward velocity*) bileşkesidir.

*Nispi (bağıl) rüzgar*



# Pervane (*Propeller*)

## *BLADE TWIST / TWISTED BLADE*



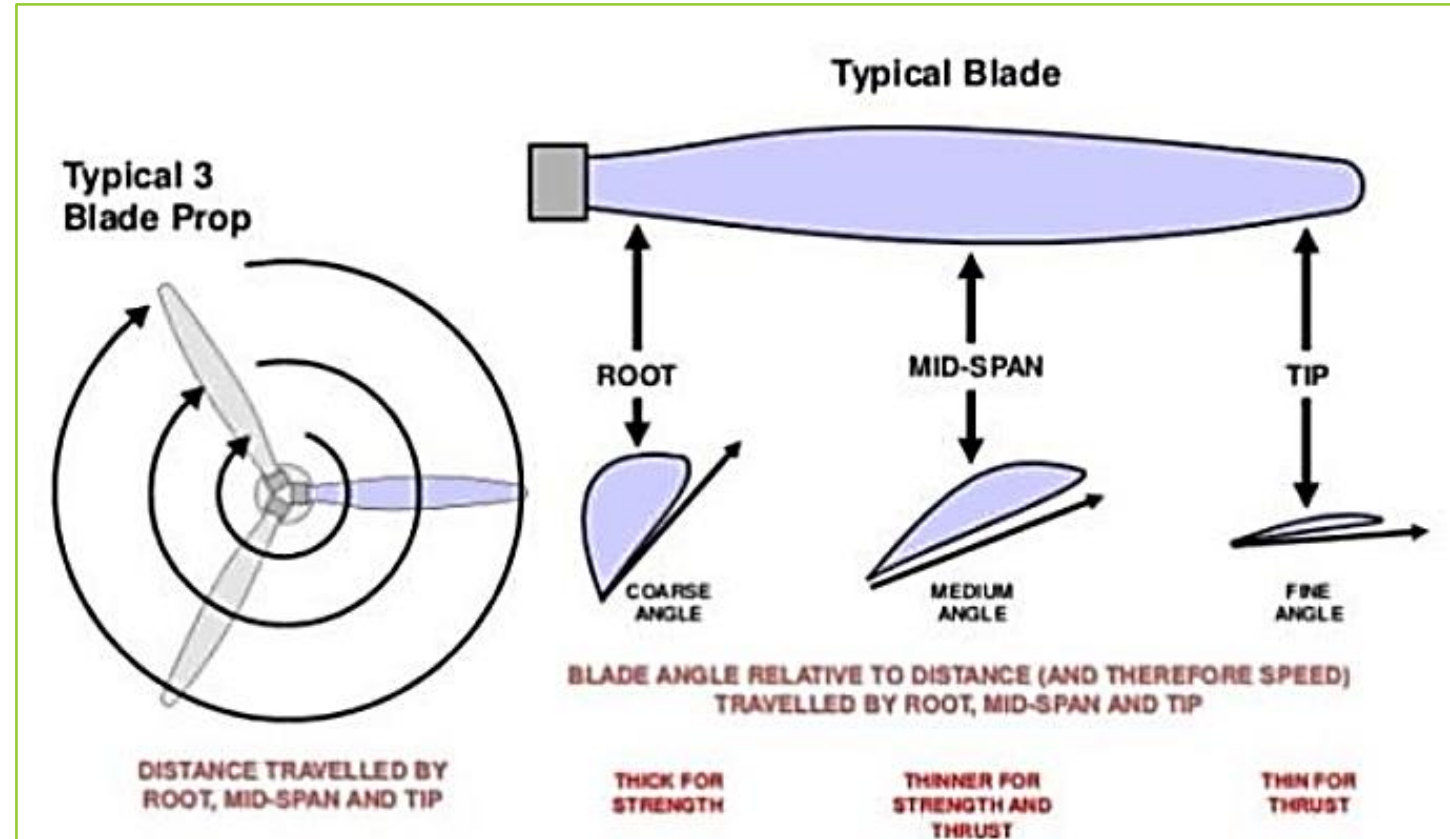
*\_ Pervane pali üzerindeki kesitler \_*

- Pervane, içten yanmalı veya türbinli bir motorun (turbo-prop) ürettiği mekanik enerjiyi, önündeki havayı uçağın hareket yönüne zıt yönde hızlandırmak suretiyle, itme ve çekme gücüne çevirir.
- Pervane aslında düz veya burkulmuş bir kanat kesitidir (*airfoil*). Burulmuş (*twisted*) olmasının ve uca doğru incelerek gitmesinin sebebi pervane boyunca düzgün dağılmış bir itme gücü oluşturmaktır.
- Pervane dönerken, pallerin ucuna yakın kısımları göbeğe yakın kısımlarından daha büyük bir daire çizer, bundan dolayı **uca yakın kısımlar daha yüksek hızla hareket eder**. Böylece pervanenin üzerinden akan hava akımı uç kısımda en yüksek hızına ulaşır. Bu durumda sabit kesitli bir pervane yüksek devirle kullanıldığında uç kısımlarda büyük sorunlara yol açar. **Palın tamamının eşit miktarda hava akımı çekmesini sağlamak** için pal; uçtan pal boynuna doğru gittikçe büyüyen bir hatve açısı verilerek dizayn edilir.

# Pervane (*Propeller*)

## BLADE TWIST / TWISTED BLADE

- Pal elemanları *airfoil* biçiminde yan yana birleşerek *blade* yapısını oluşturur. **Blade angle** pal kordası (veter) ile dönü eksenine dik bir düzlem arasındaki açıdır. **Pal açısı tüm pal boyunca aynı değildir.**
- Pal boynunda pal açısı en büyükken, **pal ucuna doğru bu açı küçülür.** Bunun nedeni palin çeşitli bölümlerinin hareketinin farklı hızlarda olmasıdır.



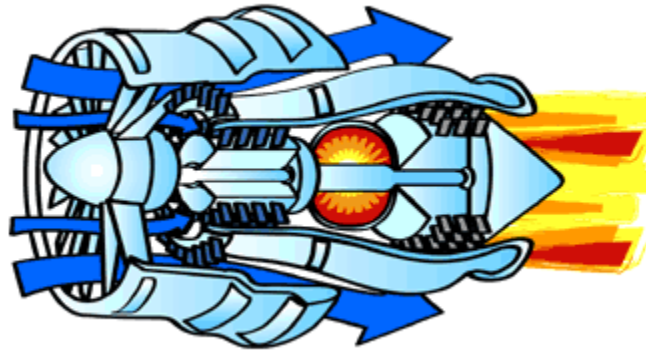
# MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi



JET MOTORLARI

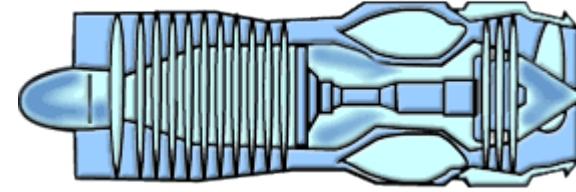
# Jet Motorları

Uçak motorları, uçağı hareket ettirecek olan tepki kuvvetini üretir. Bu kuvvet jet nozzle'dan çıkan kütle akışının ters yönünde oluşur. Jet tepkisi kullanılan bu motorlara tepki motoru da denir. Bu tip motorlar Newton'un hareket ve tepki kanunlarının teknik bir uygulaması olarak geliştirilmiştir.

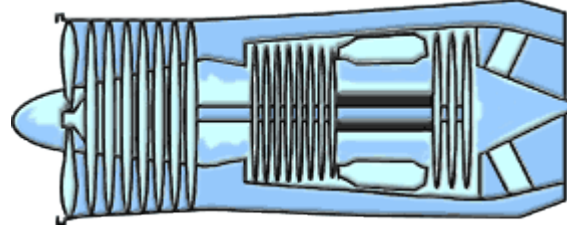


# Jet Motorları

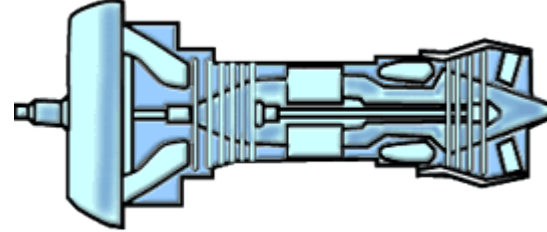
***Turbojet***



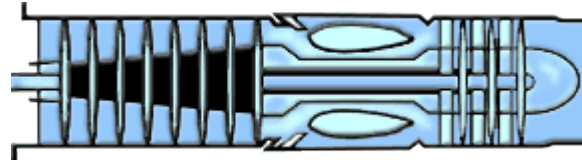
***Turbofan***



***Turboprop***



***Turboşaft***

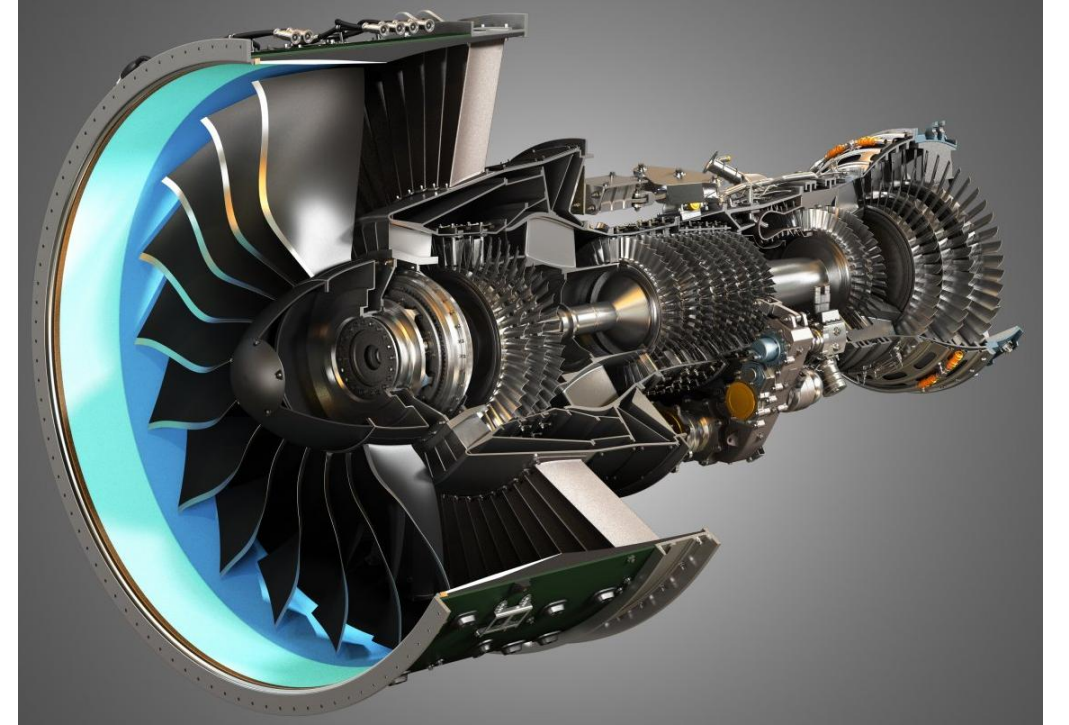
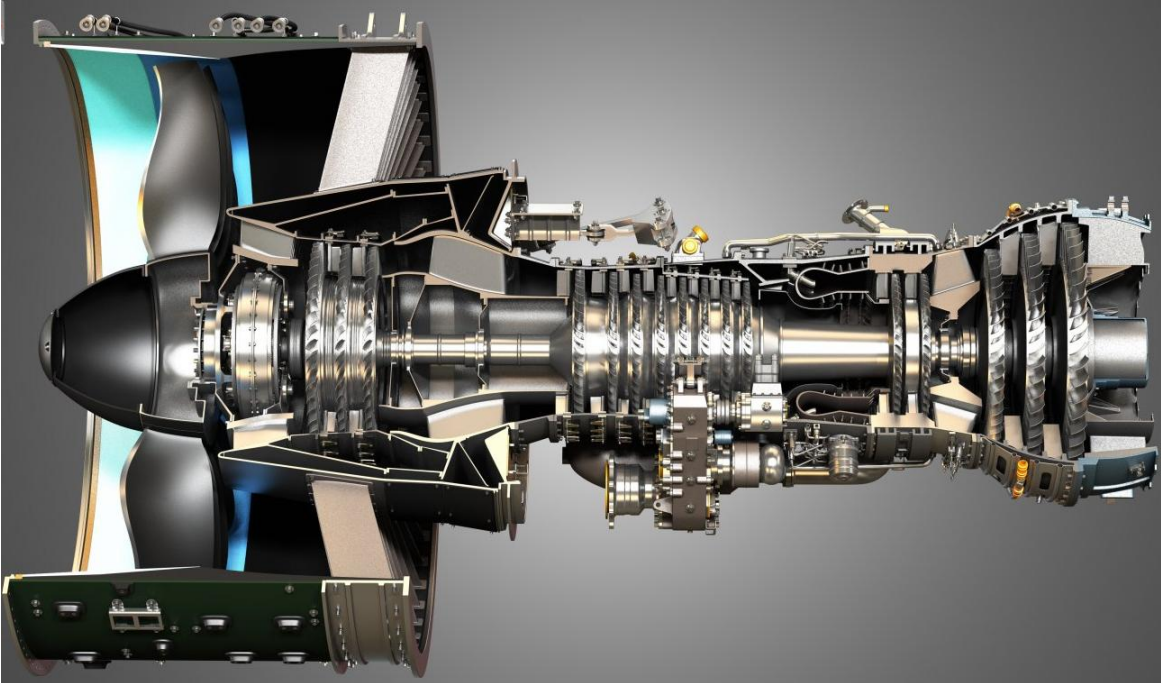


***Ramjet***



# Jet Motorları

*Örnek Görsel:* PW GTF Geared Turbofan Engine

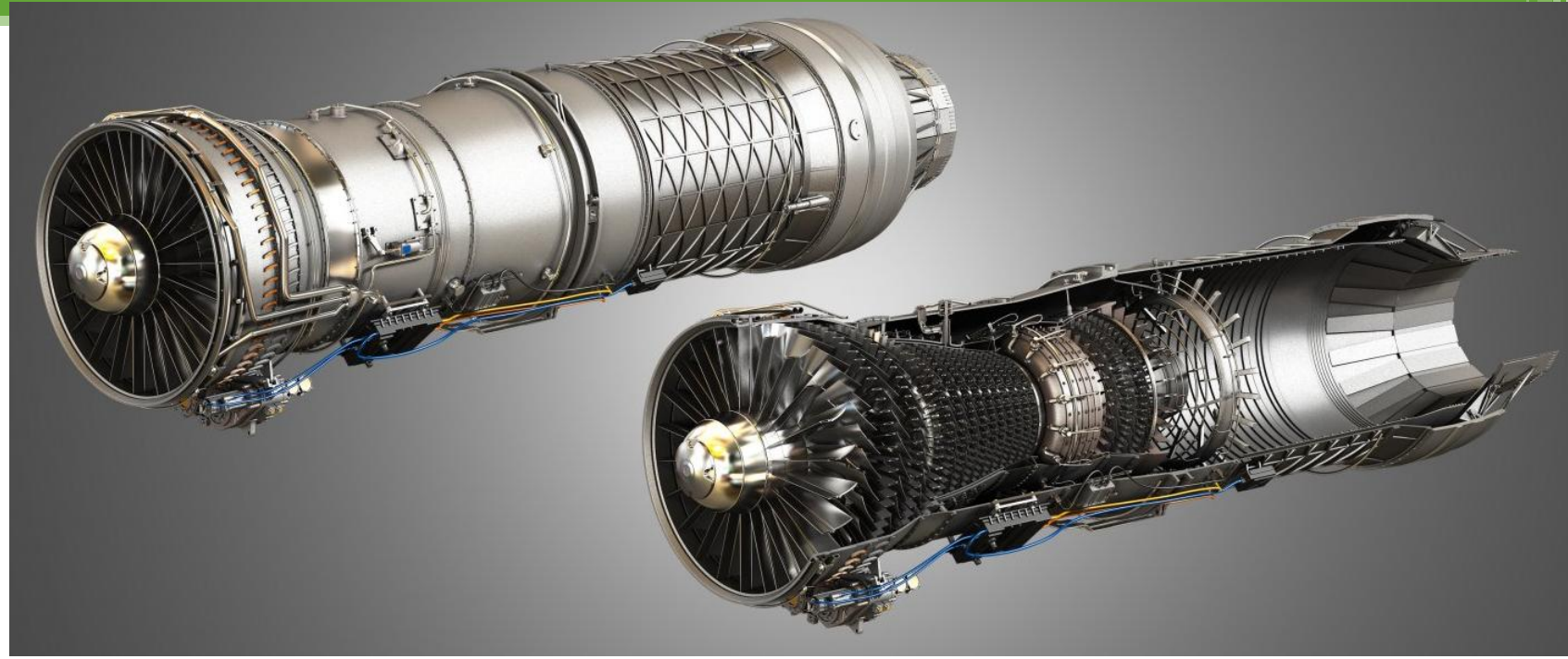


Pratt & Whitney PW1000G  
*high-bypass geared turbofan engine family*

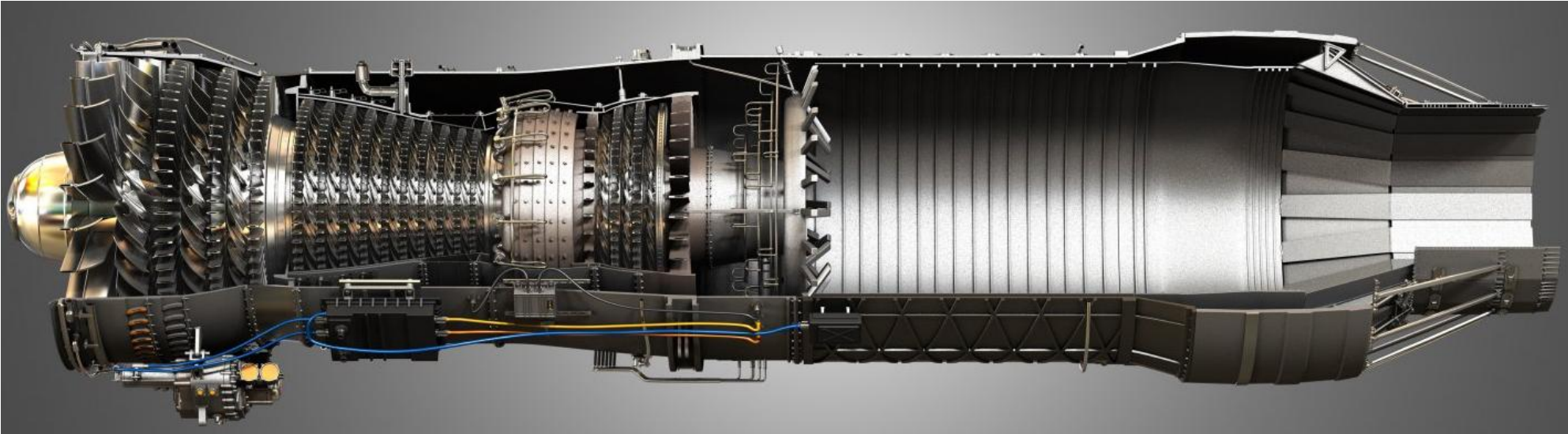
# Jet Motorları

*Örnek Görsel:*

F100 PW 220 Turbofan Engine  
(Afterburning turbofan)



F100 - Pratt & Whitney tarafından üretilen, F-15 Eagle ve F-16 Fighting Falcon'a güç sağlayan art yakıclı bir turbofan motordur.

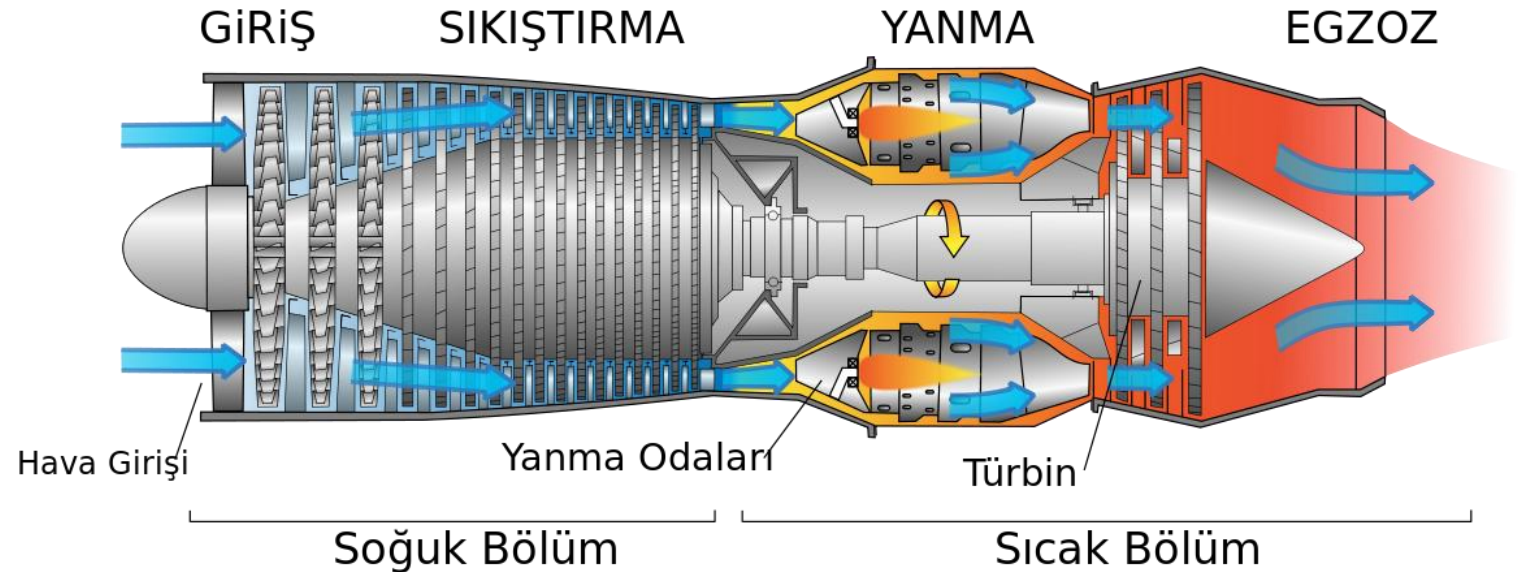


# Jet Motorları / Gaz Türbinli Motorlar

Günümüzde hava araçlarının büyük bir kısmında kullanılan motor tipi gaz türbinli motorlardır. Gerek sivil uçaklarda gerekse de askerî uçaklarda bu motorlar ihtiyaç duyulan performans parametrelerini sağlayabilecek kapasitede güç üretebilirler. Gaz türbinli motorların temelde dört farklı türü mevcuttur.

Bunlar:

1. Turbojet
2. Turbofan
3. Turboprop
4. Turboşaft

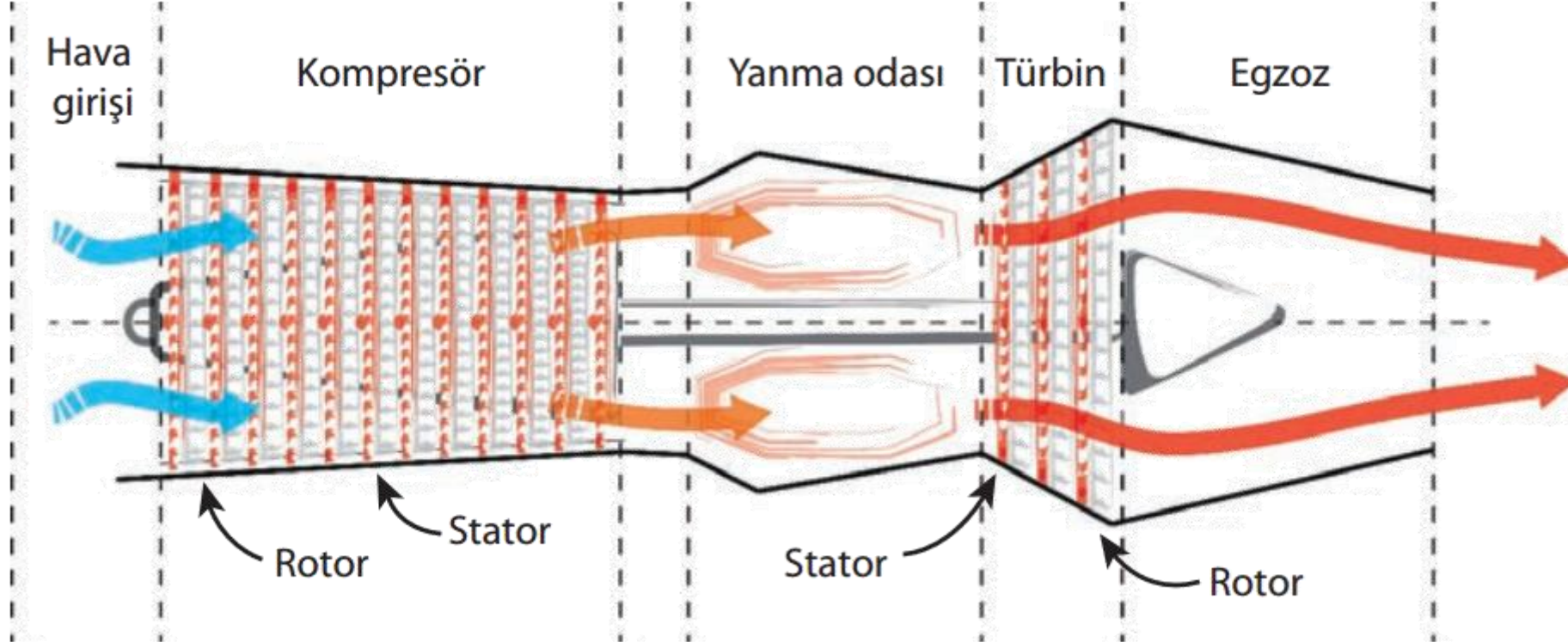


# Jet Motorları / Turbojet Motorlar

Gaz türbinli motor ailesinin en eski ve en temel üyesi olan turbojet motorların çalışma prensibi oldukça basittir. Turbojet motora hava, öncelikle *hava girişi* adı verilen bir geometrik yapı vasıtasıyla girer. Buradan itibaren motora giren havanın karşılaşacağı ilk motor bölümü *kompresördür*. Hava, bu bölümde sıkıştırıldıktan sonra yakıtla karıştırılarak, yanma işleminin gerçekleşeceği *yanma odası* bölümüne geçer. Sıcaklık ve basıncı en yüksek değerlere ulaşan yanmış gazlar, ısı enerjisinin de yardımıyla bir *türbin* bölümüne yönlendirilirler. Egzoz gazları, türbini çevirerek mekanik enerji üretilmesini sağlarken, türbinden çıktıktan sonra bir *egzoz bölümü* vasıtasıyla yüksek hızlarda atmosfere atılırlar (itki).

Suck >> Squeeze >> Bang >> Blow

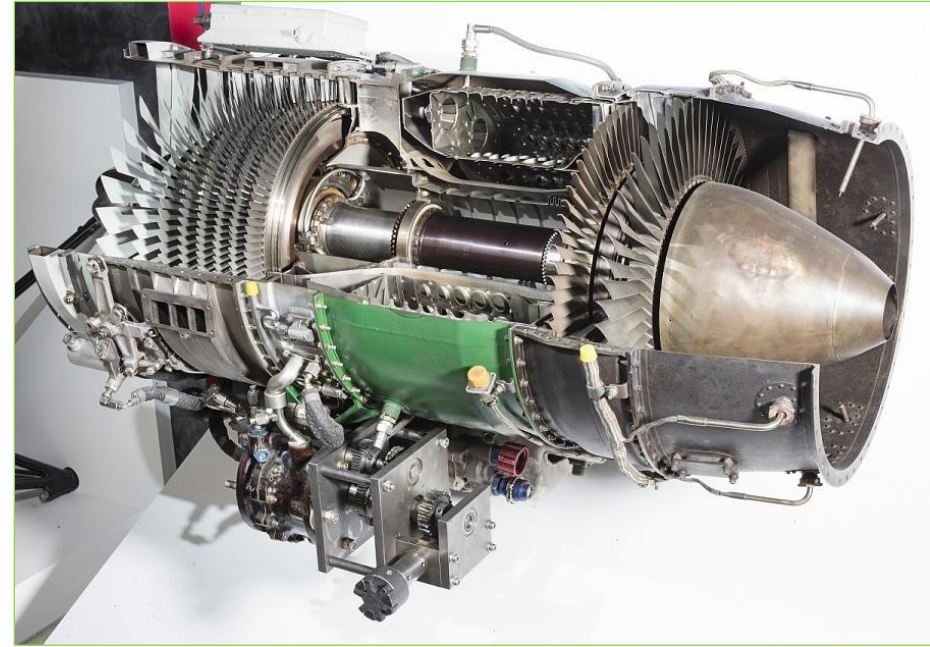
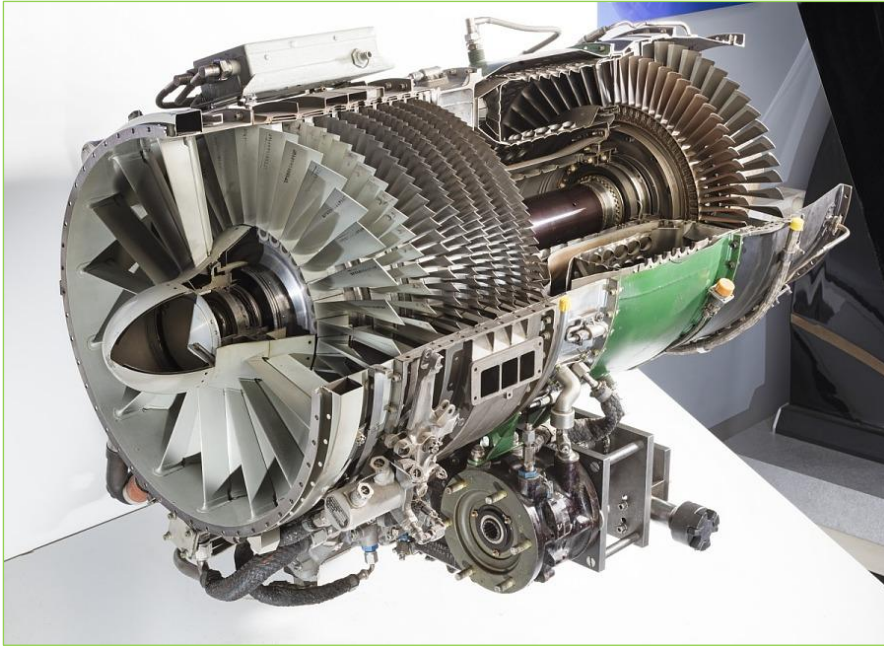
# Jet Motorları / Turbojet Motorlar



Uçağın hareket etmesini sağlayan ve motor itkisi olarak adlandırılan kuvvet, motordan çıkan ve motora giren hava/gaz akışının hız farkından oluşur. Türbinden elde edilen mekanik enerji ise kompresörlerin ve diğer aksesuarların (pompa, jeneratör vb.) çalıştırılması için kullanılır.

# Jet Motorları / Turbojet Motorlar

*Örnek Görseller:* General Electric J85-GE-17A (cutaway)

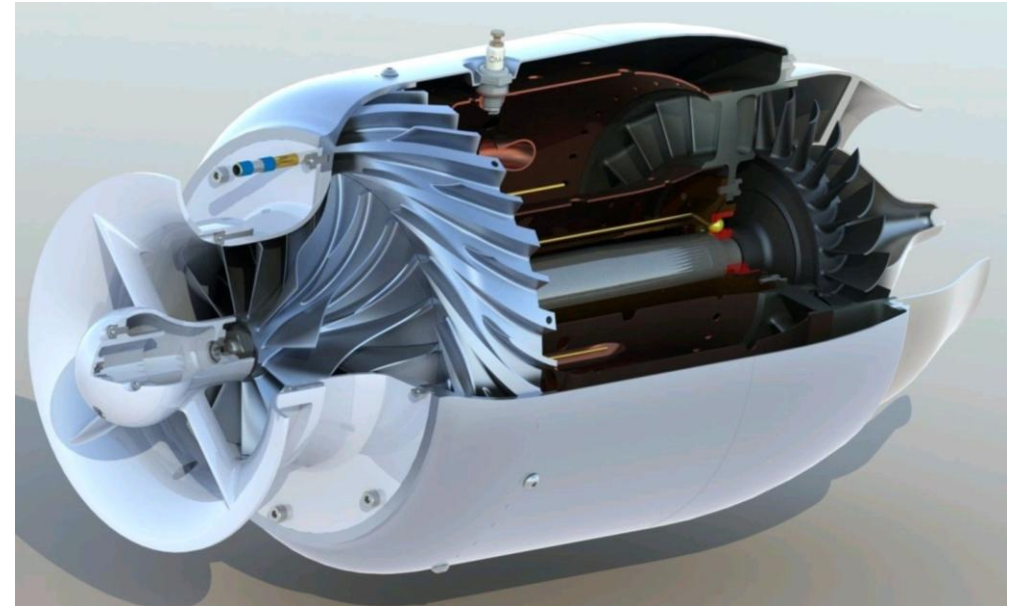
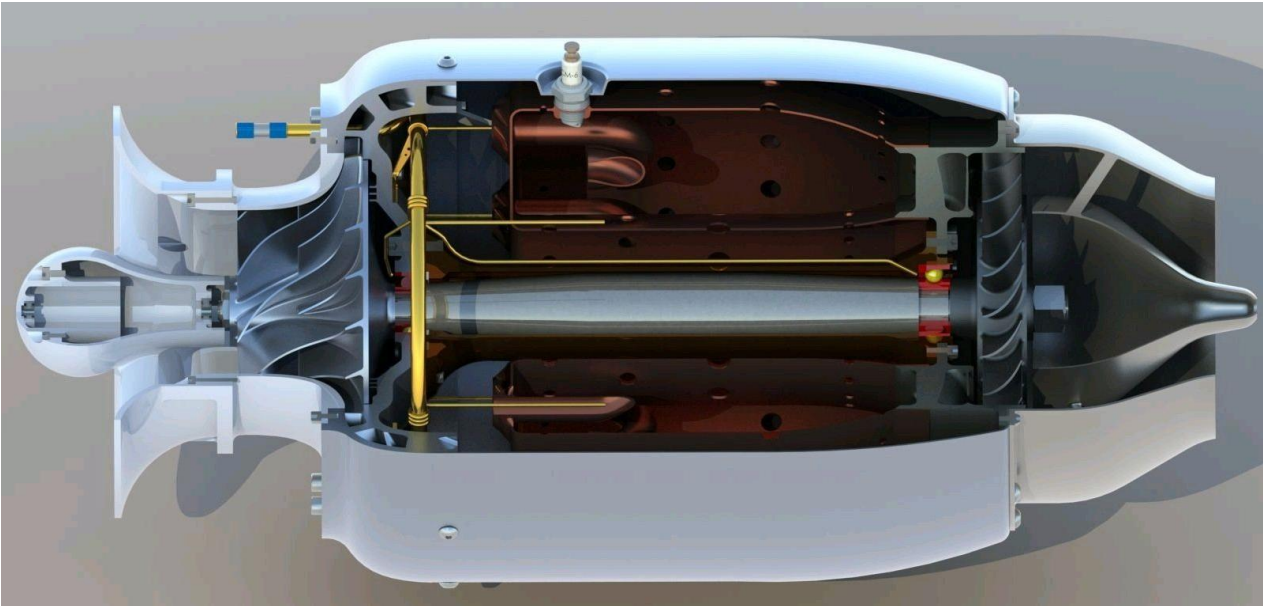
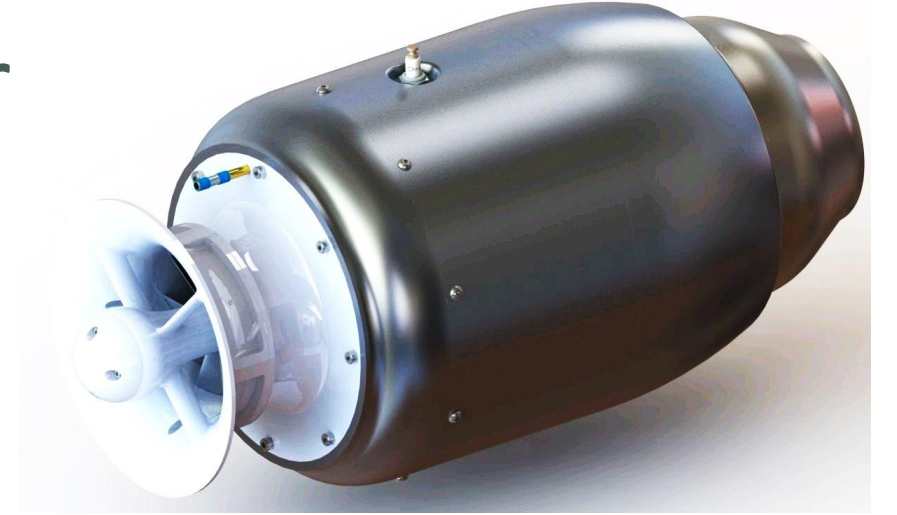


Kaynak: [https://airandspace.si.edu/collection-objects/turbojet-engine-cutaway-general-electric-j85-ge-17a/nasm\\_A19800072000](https://airandspace.si.edu/collection-objects/turbojet-engine-cutaway-general-electric-j85-ge-17a/nasm_A19800072000)

# Jet Motorları / Turbojet Motorlar

*Örnek Görseller:*

Turbojet motor (Kaynak: **TEI**)



# Turbojet Motorlar

*Örnek Görseller:*

Kullanılmış gaz  
türbin kanadı  
(*turbine blade*)

Kaynak: LinkedIn / Shane Turcott



**Turbine blade**



# Turbojet Motorlar

## Örnek Görseller:

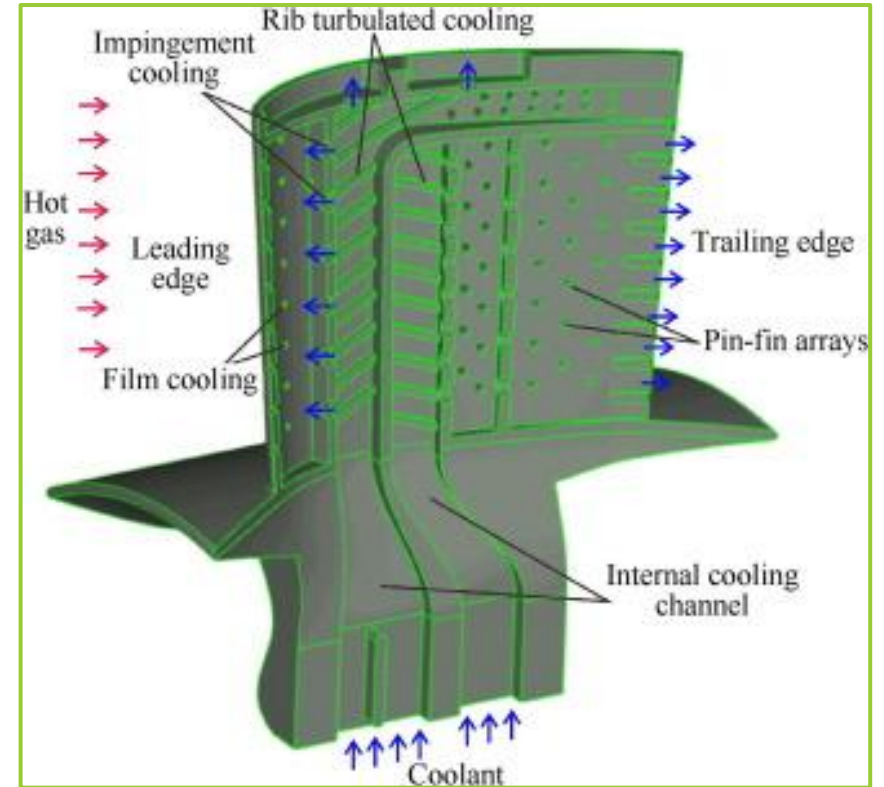
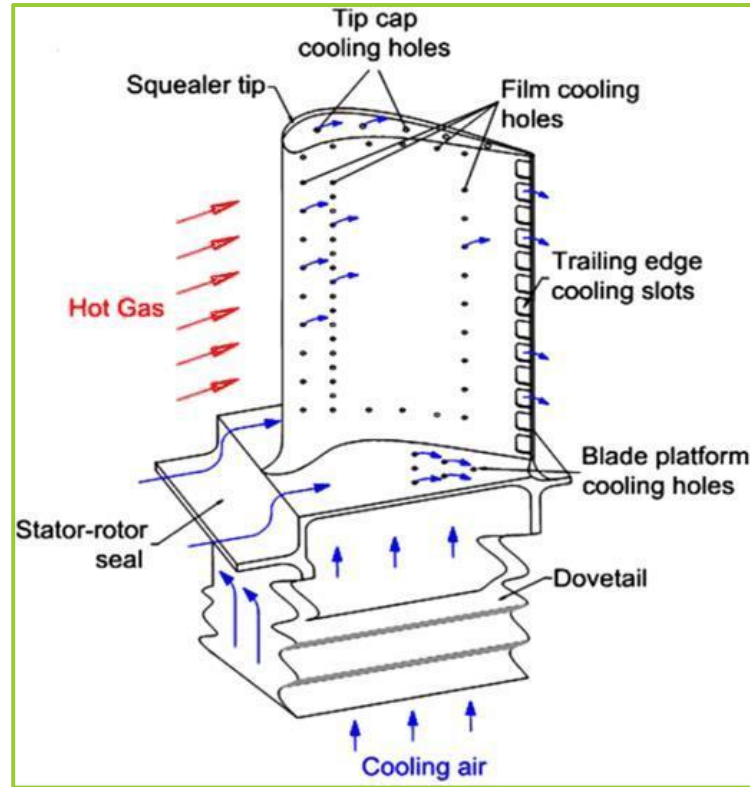
Türbin kanadı  
üzerindeki soğutma  
delikleri  
(*cooling holes*)



# Turbojet Motorlar

## Örnek Görseller:

Türbin kanatlarında  
soğutma kanalları



# Turbojet Motorlar

*Örnek Görsel:*

Türbin kanat kesiti  
(profil / *airfoil*)



Kaynak: LinkedIn / Shane Turcott

# Turbojet Motorlar

*Örnek Görsel:*

Türbin kanatlarının  
disk üzerine montajı



# Turbojet Motorlar

## Örnek Görsel:

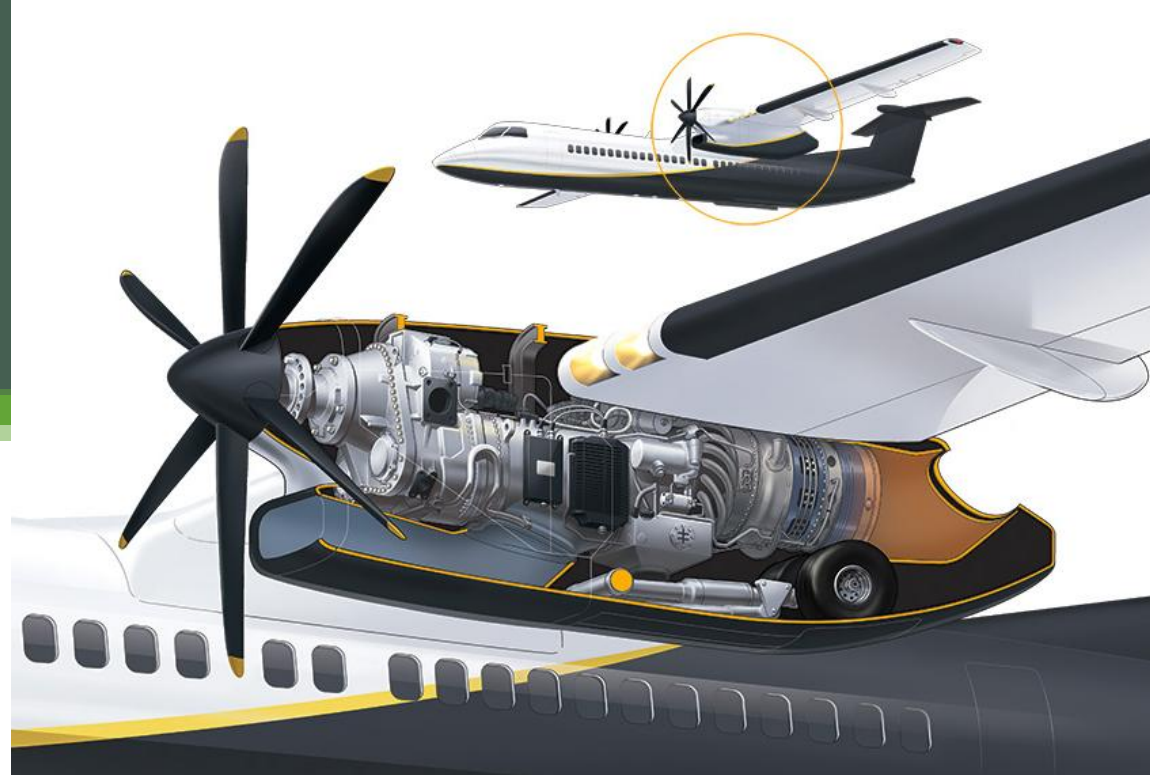
Pratt & Whitney PT6  
turboprop, yanma odası  
çıkışındaki 1. aşama disk

Kaynak:

<https://aviation.stackexchange.com/questions/14501/can-you-identify-this-jet-turbine-stage>



# MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi



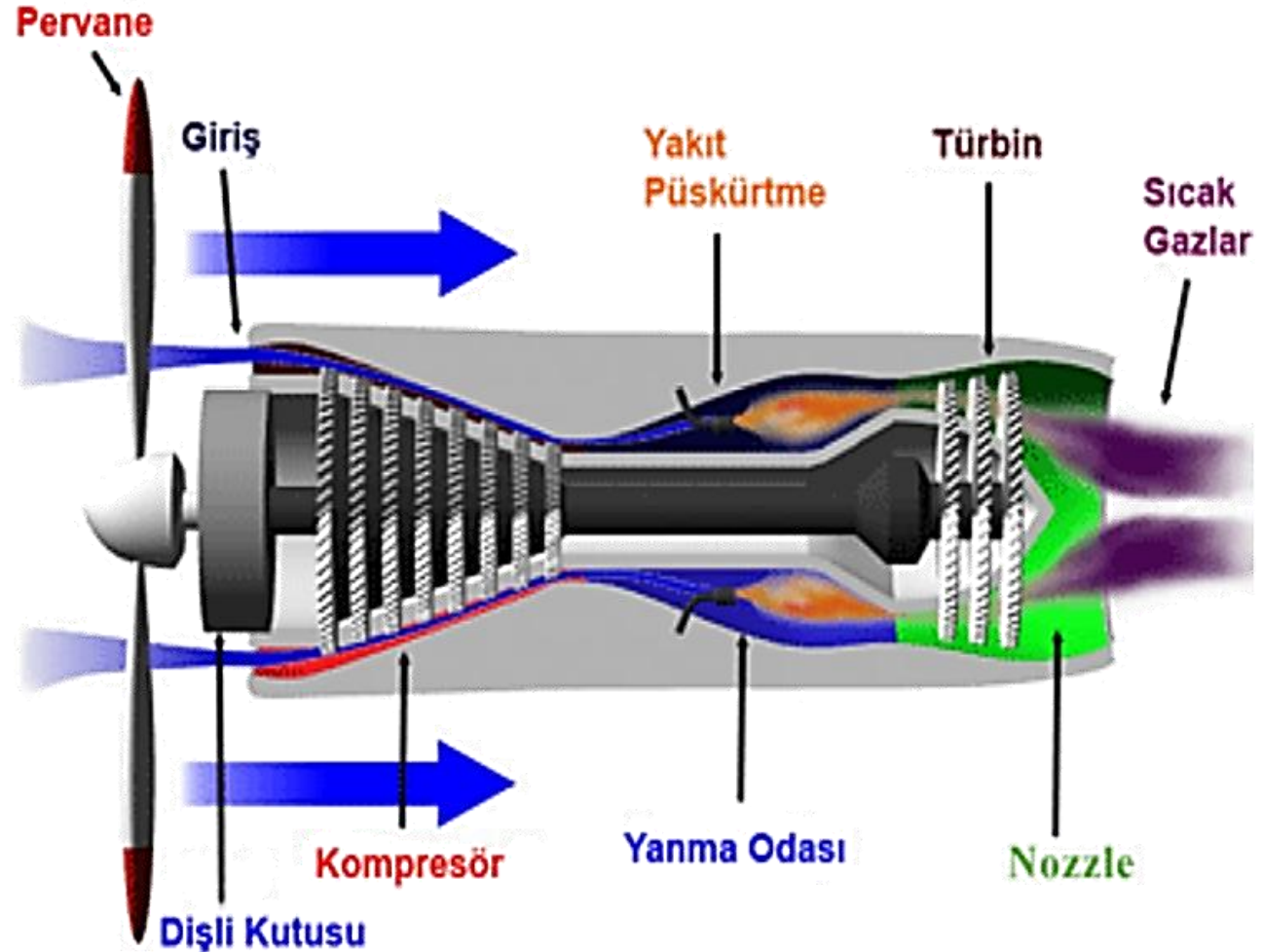
TURBOPROP MOTORLAR

# Jet Motorları / Turboprop Motorlar

Turboprop motorlar esasen bir çeşit gaz türbinli motor olup turbojet motorlardan en önemli iki farkı, motorun önünde bir pervanenin bulunması ve **motor itkisinin egzozdan çıkan yüksek hızlı gaz akışı yerine bu pervaneden elde** edilmesidir. Kompresör, yanma odası, türbin gibi ana bölümler bu motorda da bulunurlar. Türbinlerden elde edilen mekanik enerjinin bir kısmı kompresörleri döndürmek için kullanılırken, esas kısmı pervaneyi döndürmek amacıyla kullanılır. Aerodinamik etkenlerden dolayı pervanenin dönüş hızı, türbinlerin dönüş hızına oranla daha düşük olduğundan **pervane ile motor şaftı arasında devir düşürücü dişli sistem** yer almaktadır. Bu motorlara sahip hava araçları, 400-650 km/saat hızlarda en verimli şekilde uçabilmektedir. Turboprop motorlar diğer tüm gaz türbinli motor tipleri arasında **özellik yakıt tüketimleri en düşük motor tipleri** olarak bilinmektedir.

# Jet Motorları / Turboprop Motorlar

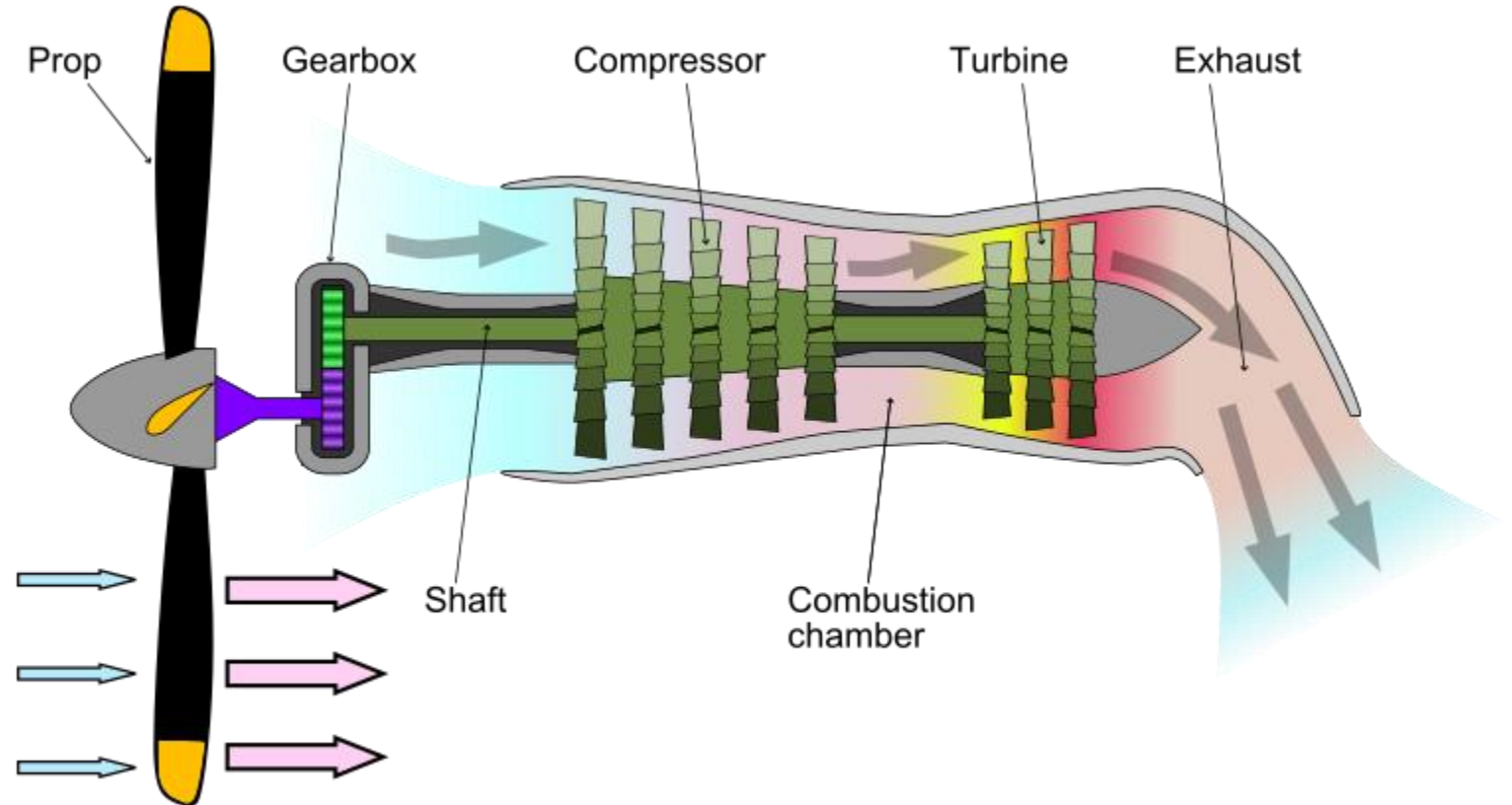
Turboprop  
(turbo-propeller)  
motor şematik  
görünüşü



# Jet Motorları / Turboprop Motorlar

Turboprop Motor ana elemanları:

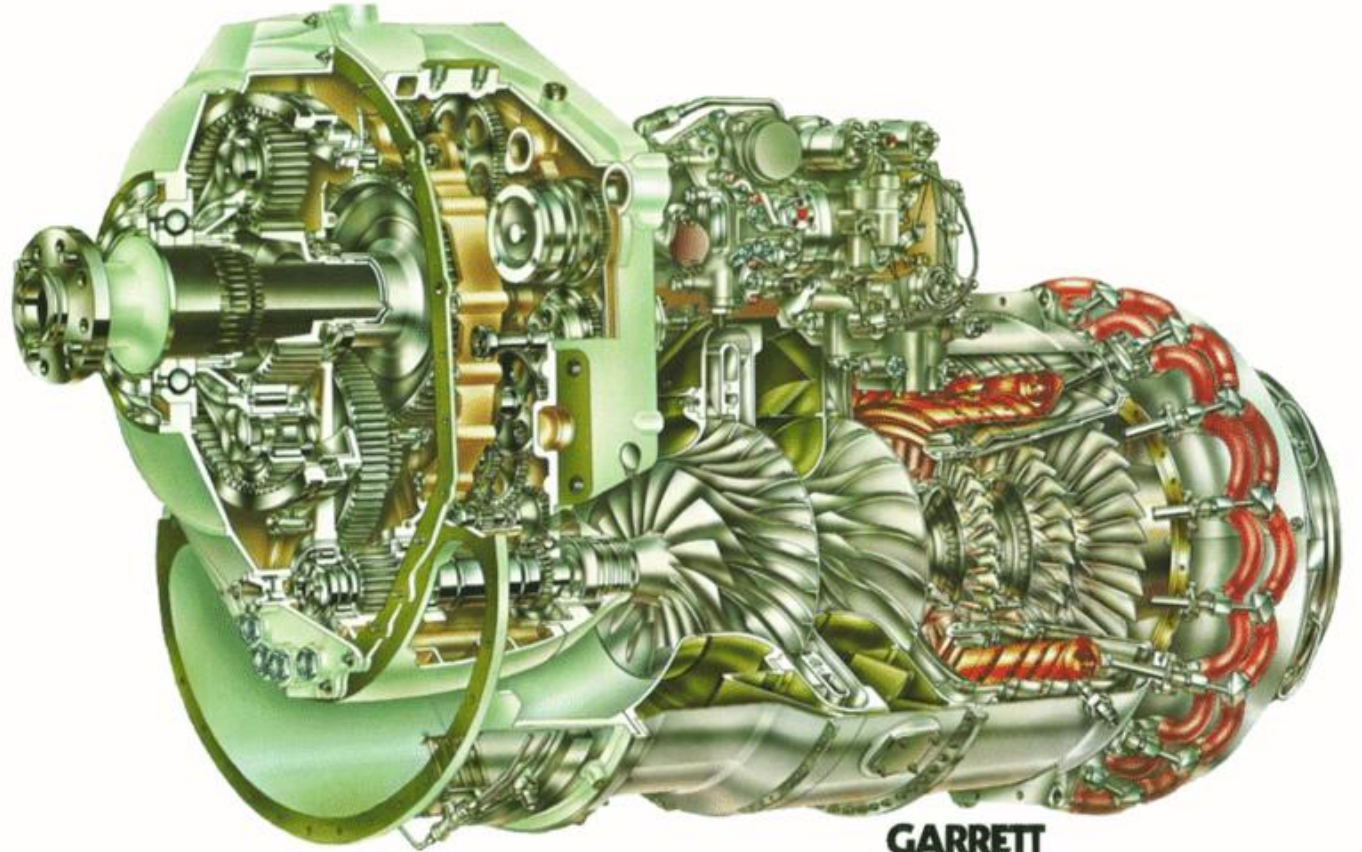
- Propeller
- Gearbox
- Shaft
- Compressor
- Combustion Chamber
- Turbine
- Exhaust



# Jet Motorları / Turboprop Motorlar

*Örnek Görsel:*

Garrett TPE331  
Turboprop  
motor kesit  
görünüm

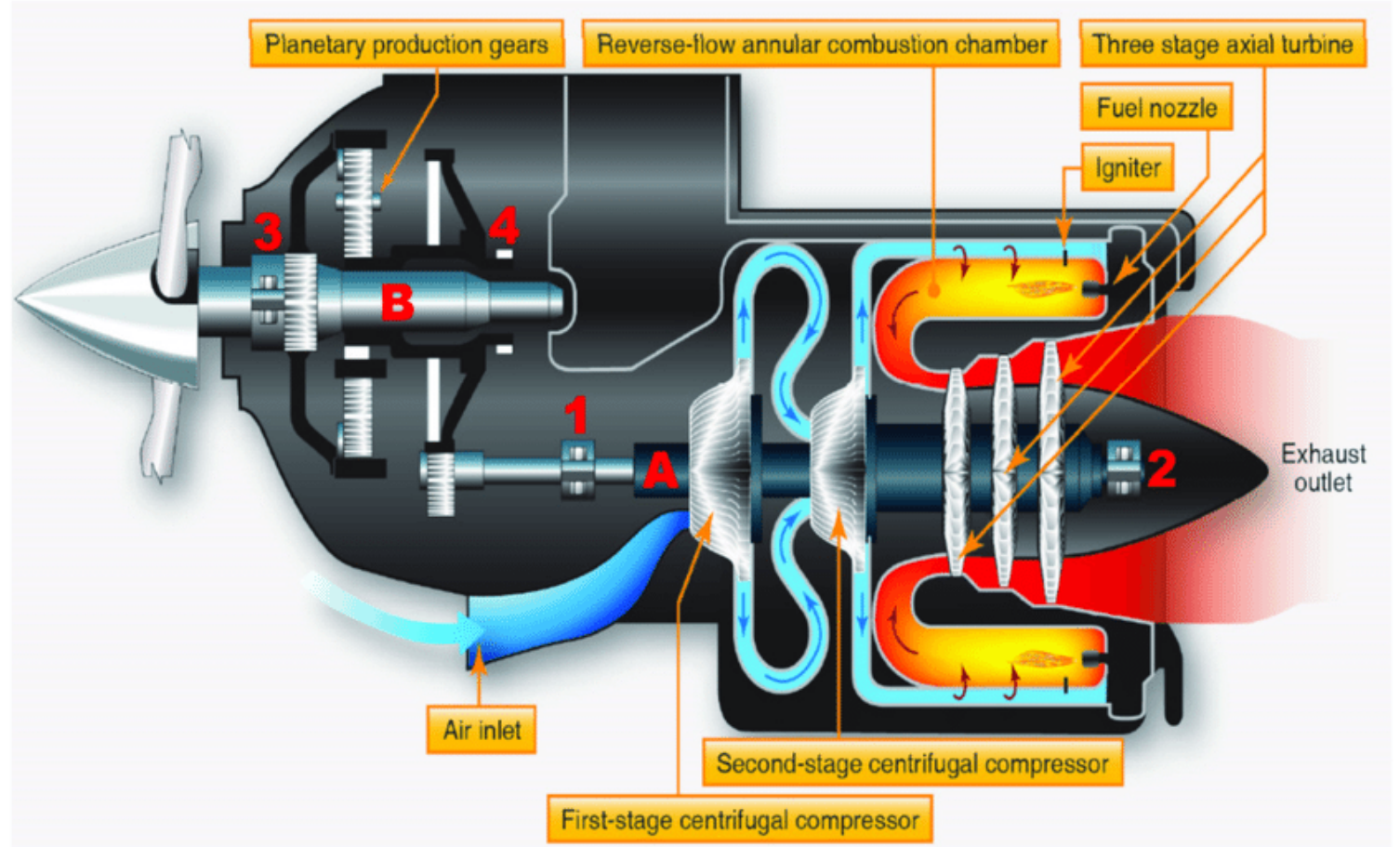


**GARRETT**  
TPE331-14 TURBOPROP  
Allied-Signal Aerospace Company

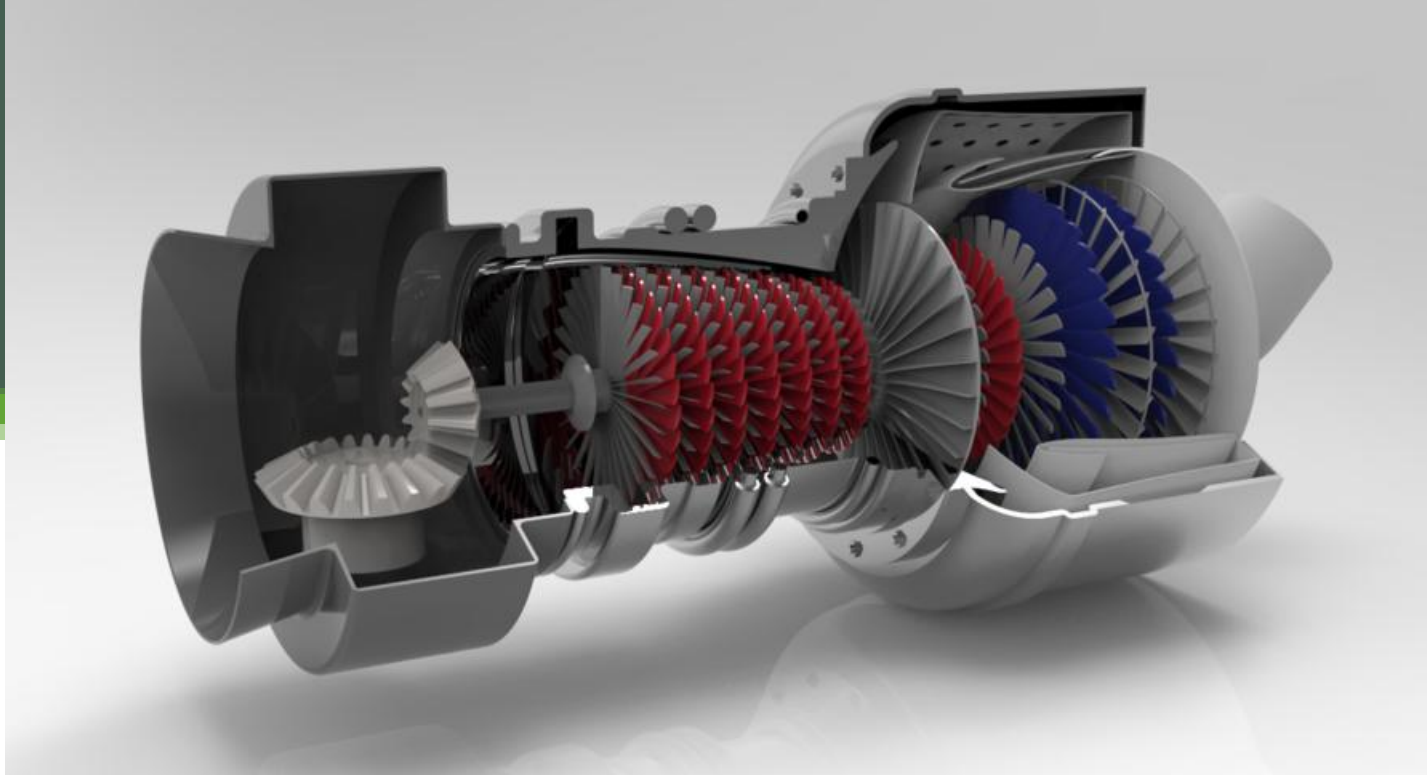
# Jet Motorları / Turboprop Motorlar

## Örnek Görsel:

Garrett TPE331  
Turboprop  
motor şematik  
kesit görünüm



# MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi

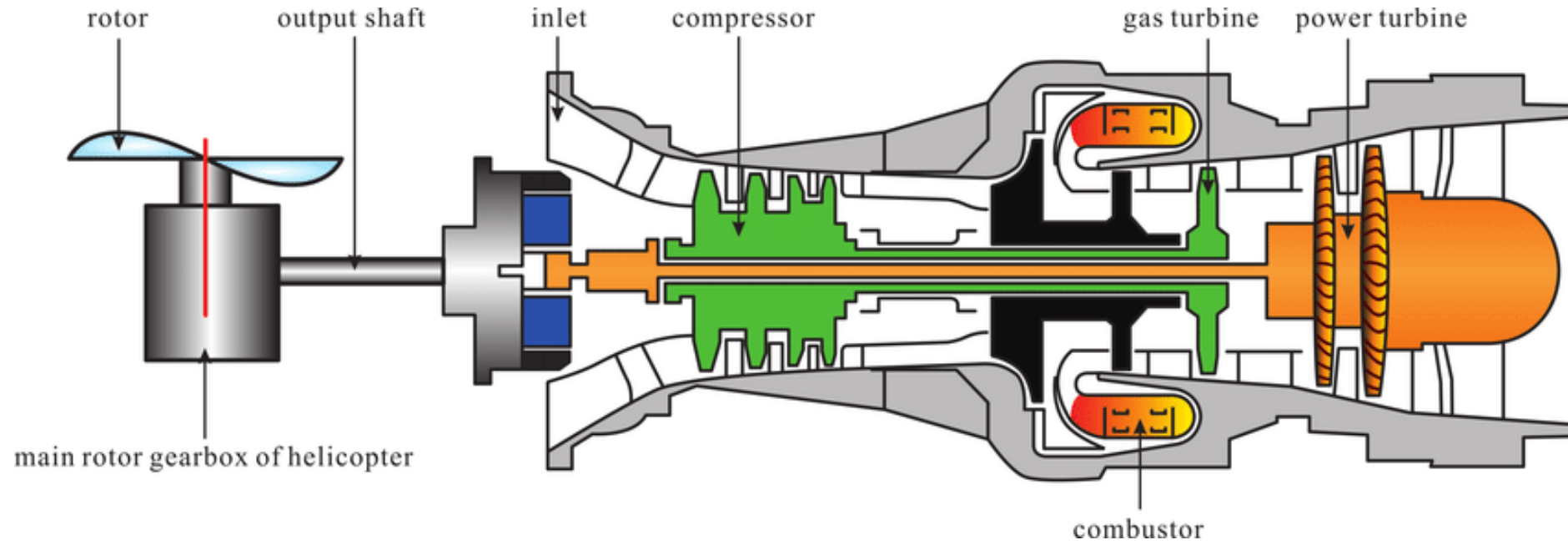


TURBOŞAFT MOTORLAR

# Jet Motorları / Turboşaft Motorlar

Pervane haricinde başka bir ünite için bir şaft vasıtasıyla güç üreten motorlara turboşaft motor denir. Gaz üretici ve güç türbin bölümü olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Gaz üretici bölüm, kompresör, yanma odası ve türbin bölümünden meydana gelmektedir. Güç türbin bölümü ise bağlı olduğu rotoru döndürmek için ayrı bir türbinden oluşur. Ek olarak bu iki bölüm birbirinde birbirinden bağımsız hızlarda dönenen iki ayrı şafta bağlıdır. Eski turboşaft motorlarda rotor şaftı, doğrudan doğruya gaz üretici bölümünde yer alan türbine bağlıdır. Günümüzde ise şaft, güç türbini adı verilen ayrı bir türbin tarafından döndürülmektedir. Bu tip motorlarda gaz üretici bölümdeki türbin yalnızca gaz üretici bölümde bulunan kompresörü döndürür. Turboprop motorun helikopterlerde kullanılan tipi olarak kabul edilebilir. Turboşaft motor dişli kutusu vasıtasıyla helikopterin rotorunu döndürür.

# Jet Motorları / Turboşaft Motorlar



Turboşaft motor yapısı

# Jet Motorları / Turboşaft Motorlar

*Örnek Görşel:* Helikopter üzerinde motor yerleşimi, egzoz ve hava girişi



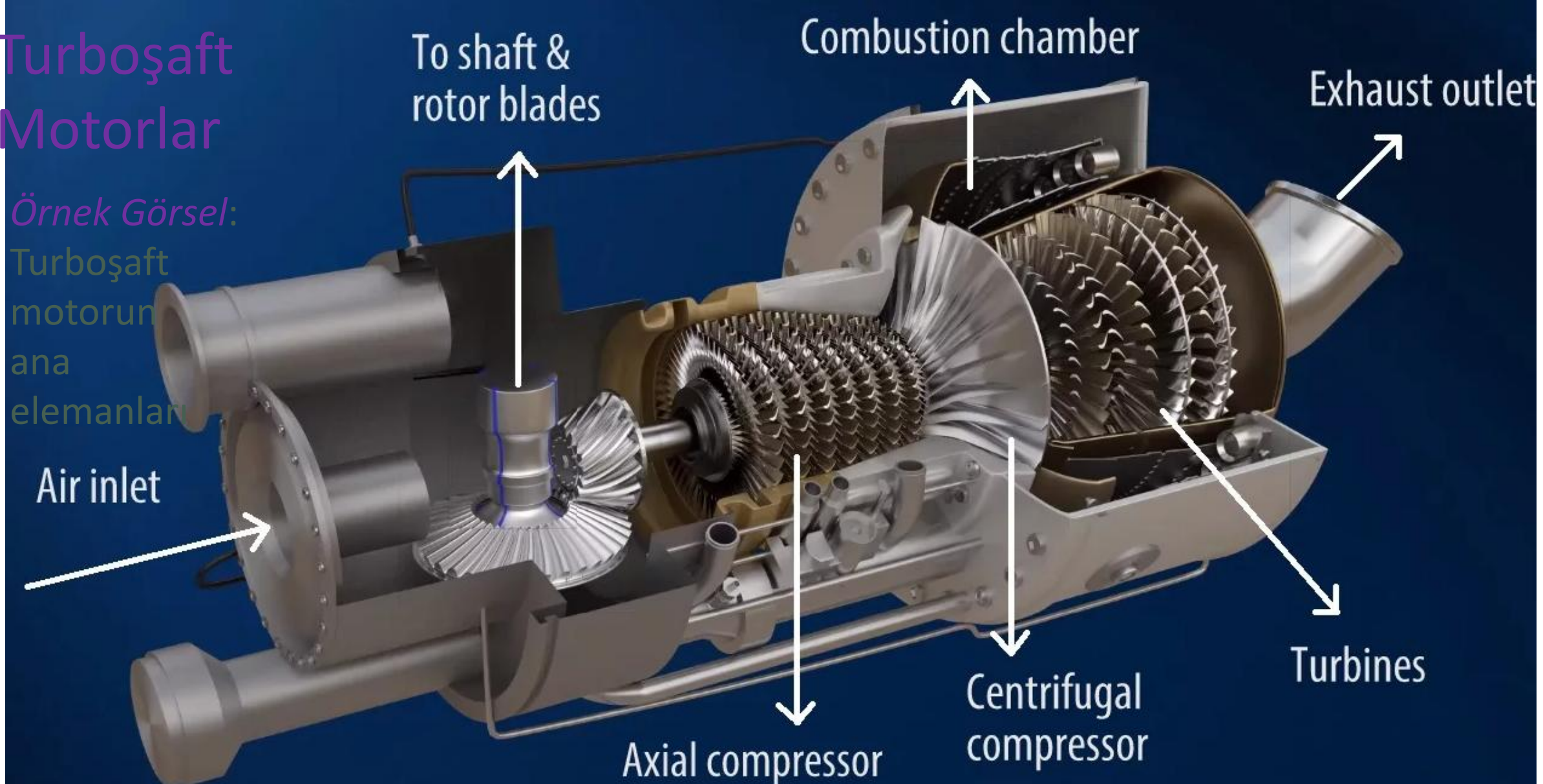
Kaynak:

<https://tei.com.tr/en/products/tei-ts1400-turboshaft-engine-development-project>  
[aft-engine-developed-by-tei-s-seasoned-team-of-experts-for-the-t625-helicopter-3546](https://tei.com.tr/en/products/tei-ts1400-turboshaft-engine-development-project)

# Jet Motorları

## Turboşaft Motorlar

*Örnek Görsel:*  
Turboşaft motorunun ana elemanları



# Jet Motorları / Turboşaft Motorlar

## Turboşaft Motorun Elemanları:

- Air inlet (hava girişi)
- Axial compressor (eksenel kompresör)
- Centrifugal compressor (şantrifüj kompresör)
- Combustion chamber (yanma odası)
- Turbines (gaz türbini)
- Exhaust outlet (egzoz çıkışı)
- Gearbox (dişli kutusu)
- Main rotor output shaft (çıkış şaftı ve rotor bağlantısı)

# MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi

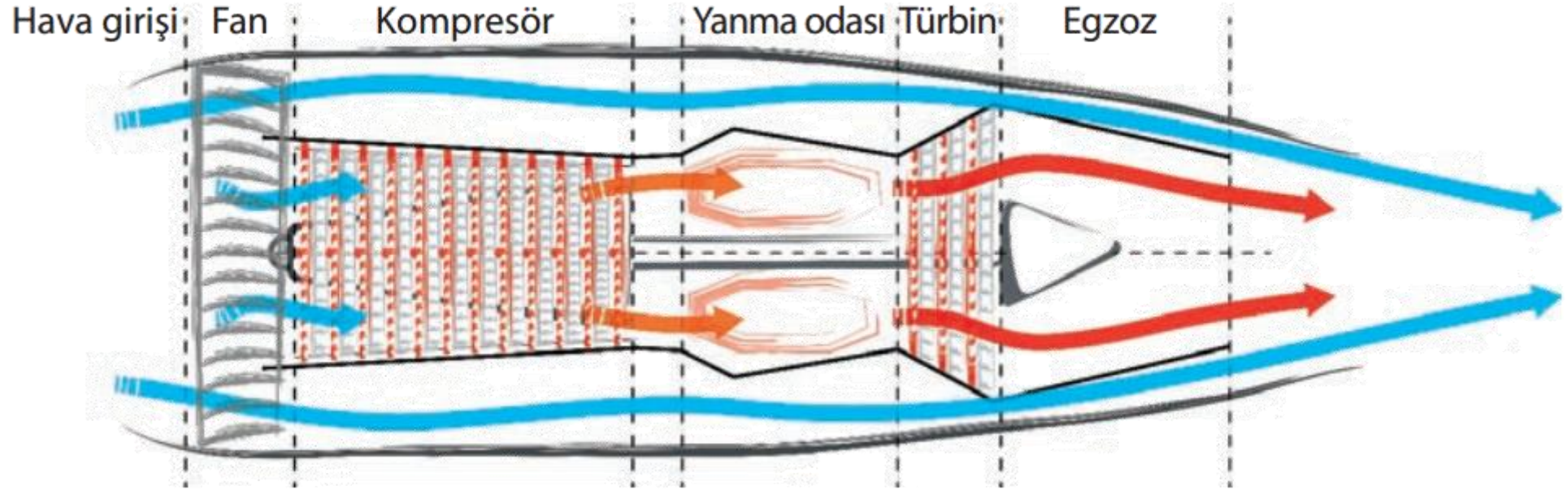


TURBOFAN MOTORLAR

# Jet Motorları / Turbofan Motorlar

Turbofan motorlar, turbojet ve turboprop motorlar arasındaki boşluğu doldurmak ve bu **iki motor türünün avantajlarını bir araya getirmek amacıyla geliştirilmişlerdir**. Bu motorlar, turbojet motorlar gibi hava araçlarının yüksek hızlarda uçmalarını sağlarken motor verimi olarak turboprop motorlara daha yakın değerler elde edilmesini sağlarlar. Günümüzde sadece sivil uçaklar değil, askerî uçaklarda da büyük bir çoğunlukla turbofan motorlar kullanılmaktadır. Turbofan motorları turbojet motorlardan **ayıran en temel özellikleri fan ünitesidir**. Bu ünite motorun önünde olabileceği gibi türbin bölümünün arkasında da bulunabilmektedir. Ancak bu motorların çok büyük bir oranında fan ünitesi motorun girişinde yer almaktadır.

# Jet Motorları / Turbofan Motorlar



Turbofan motorlarda motora giren hava akışı fan ünitesini geçtikten sonra iki kısma ayrılır. Bunlardan birincisi; kompresör, yanma odası, türbin ve egzoz bölümlerinden geçerek atmosfere atılırken, ikinci kısım fan ünitesini terk ettikten sonra kendisine özel bir akış kanalı içerisinde, egzoz bölümünde diğer akışla karışır.

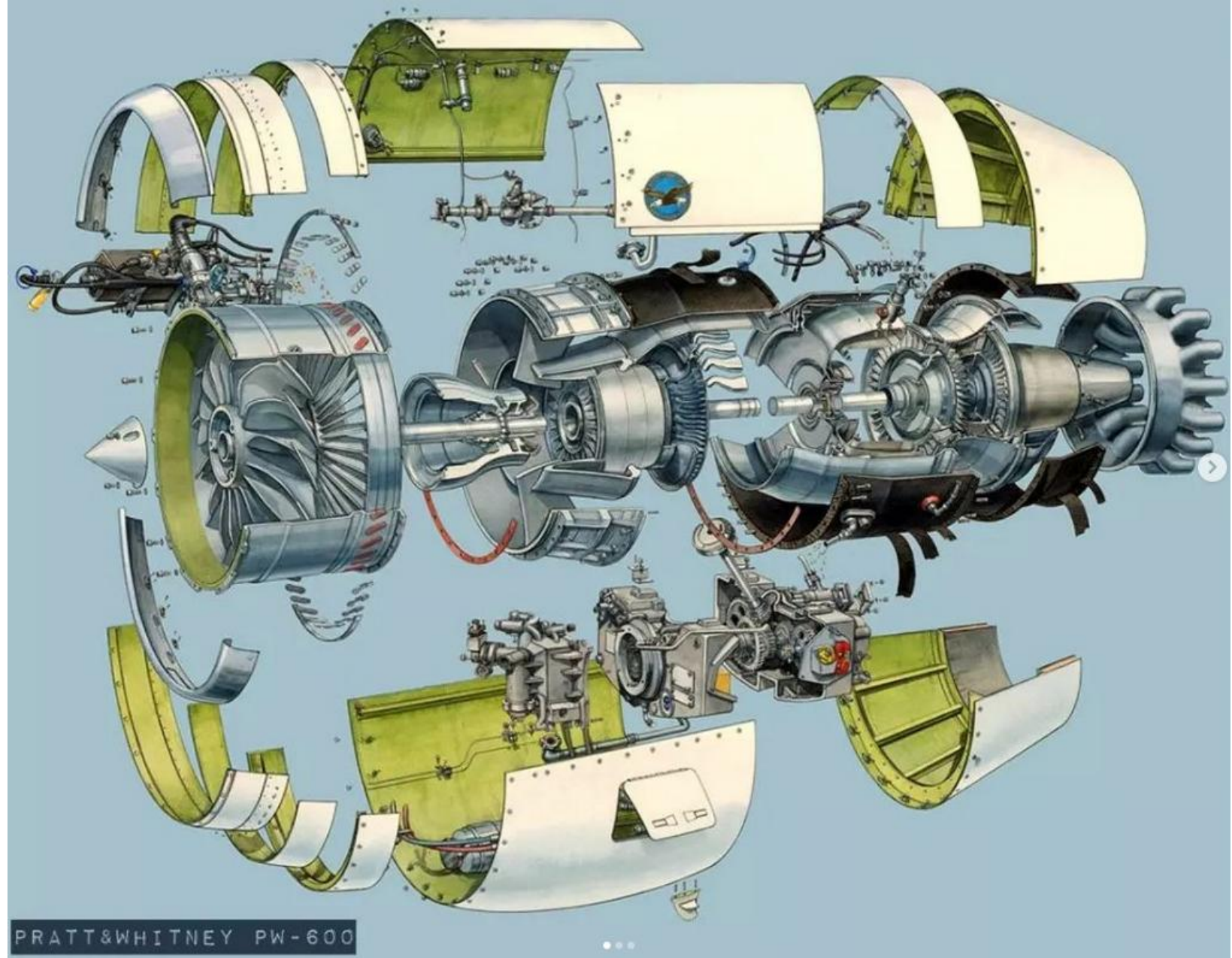
# Turbofan Motor

*Örnek GörSEL:*

Pratt & Whitney PW600  
turbofan motor

Pratt & Whitney PW600 turbofan engine exploded  
view. Art work by Richard Chasemore

Kaynak: <https://www.instagram.com/p/CdN4MNKMX-/>  
<https://www.instagram.com/the.cutaway.archive/>



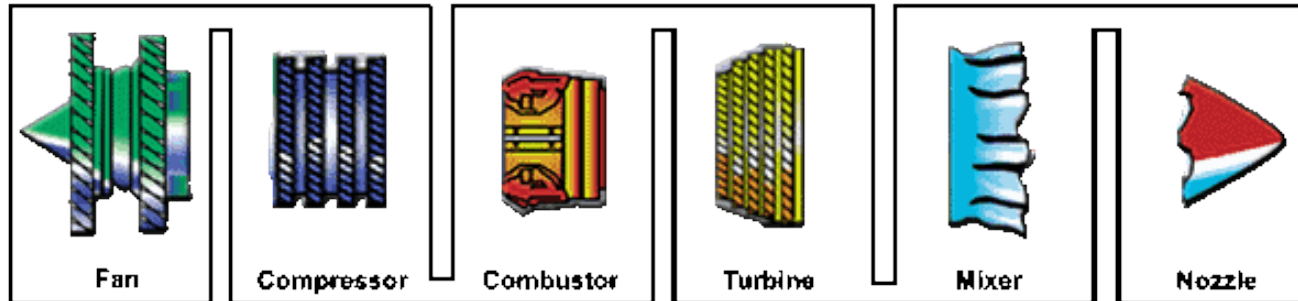
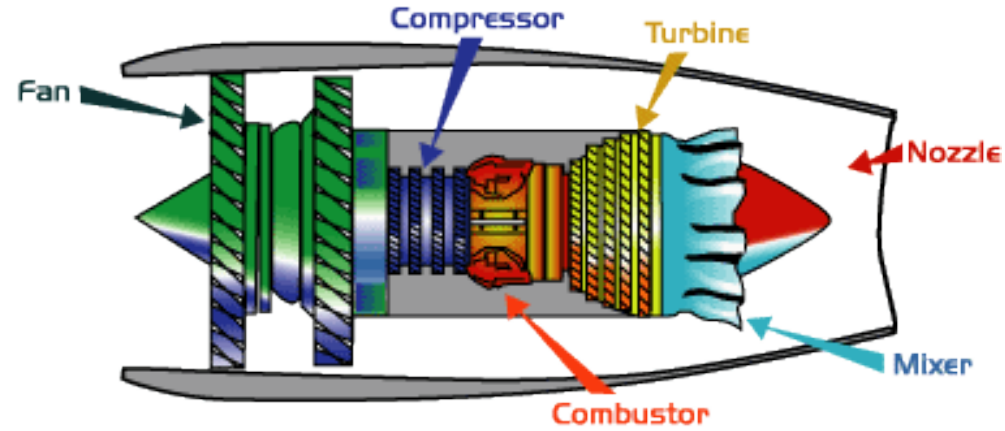
# Turbofan Motor

*Örnek Görsel:* Pratt & Whitney PW600 turbofan motor



Pratt & Whitney PW600 turbofan engine / Kaynak: <https://www.instagram.com/p/CdN4MNKMX-/> <https://www.instagram.com/the.cutaway.archive/>

# Jet Motorları / Turbofan Motorlar



Turbofan motor alt bölümleri

# Jet Motorları / Turbofan Motorlar

Turbofan motorlar ile ilgili bilinmesi gerekli üç tanım söz konusudur. Bunlardan ilki **itki oranı** olup fandan geçen havadan elde edilen itkinin türbinden gelen gazların oluşturduğu itkiye oranı şeklinde tanımlanır. **By-pass oranı** adı verilen ikinci tanım ise fandan geçen hava akışının motorun içinden geçen hava akışına oranıdır.

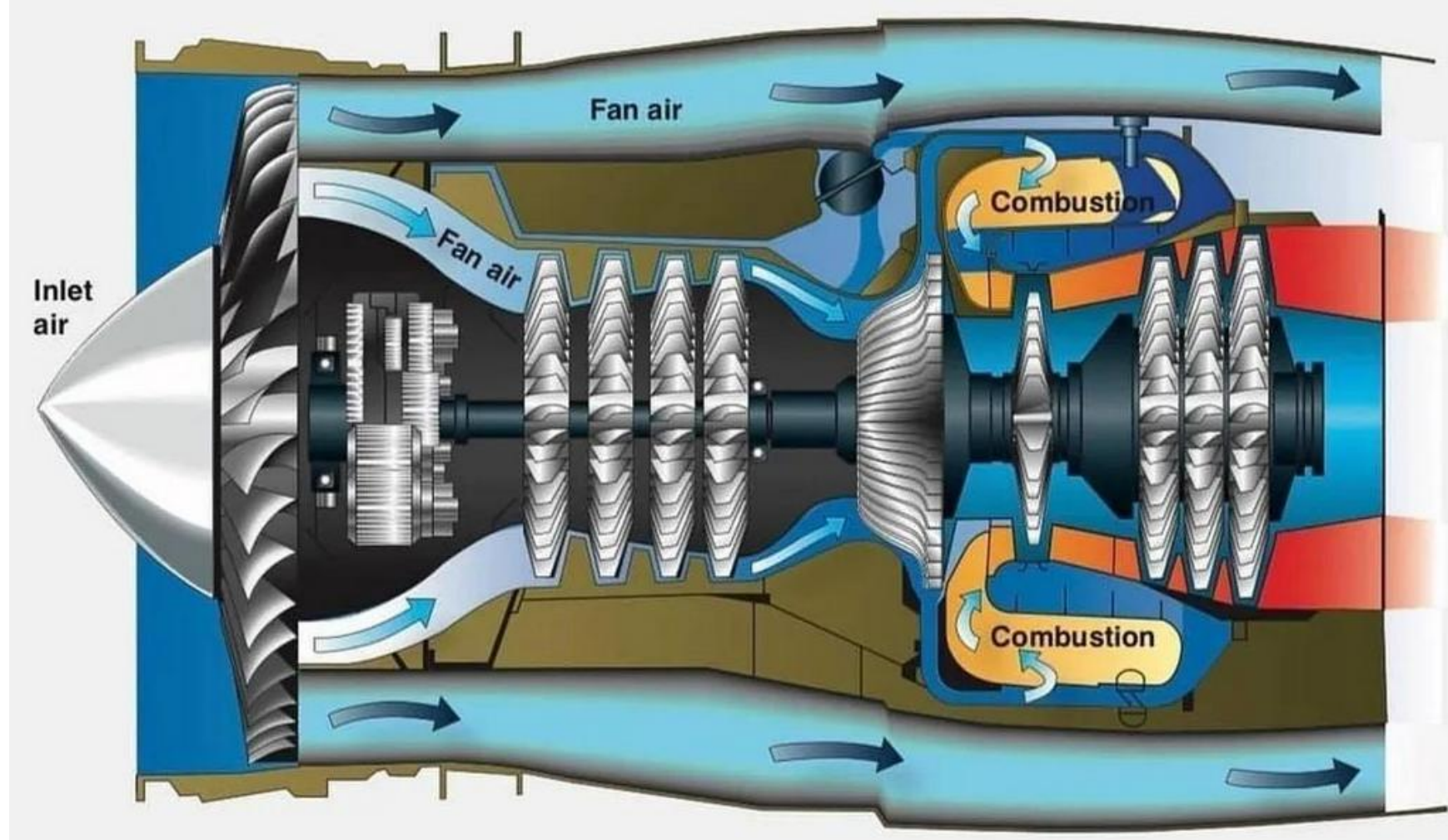
By-pass oranına göre turbofan motorlar genellikle aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

- Düşük by-pass oranlı motorlar ( $\leq 1:1$ )
- Orta by-pass oranlı motorlar ( $> 1:1$  ve  $< 4:1$ )
- Yüksek by-pass oranlı motorlar ( $\geq 4:1$ )

# Turbofan Motorlar

Diğer gaz türbinli motorlarda olduğu gibi, turbofan motorun kalbi gaz jeneratörüdür, sıcak ve yüksek hızlı gazları üreten motor bölümüdür. Turbopropalara benzer şekilde, turbofanlar, gaz jeneratörü tarafından üretilen enerjinin çoğunu kullanan düşük basınçlı bir türbin bölümüne sahiptir.

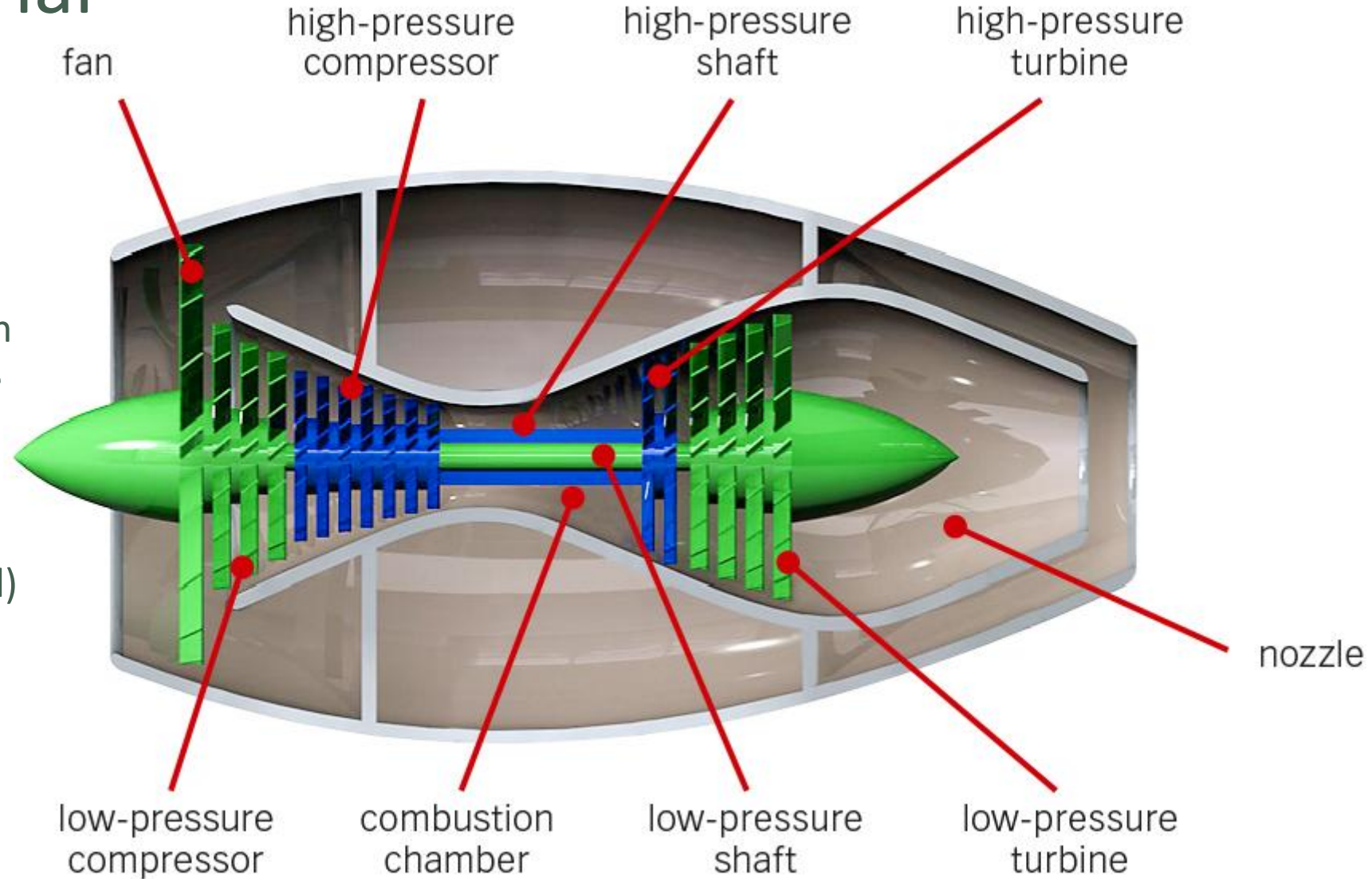
Kaynak: <https://www.instagram.com/p/CfHUbPEPT0Z/>  
<https://www.instagram.com/wing.vortex/>



# Turbofan Motorlar

Alçak basınç türbini (*low-pressure turbine*), gaz jeneratörünün içi boş milinden (*high-pressure shaft*) geçen ve onu motorun önündeki fana bağlayan eşmerkezli bir mil üzerine monte edilmiştir.

(bkz. sağdaki görsel)



# Jet Motorları / Turbofan Motorlar

Düşük by-pass oranlı motorlarda, itki oranı fan lehine az miktarda daha yüksek olabilmesine karşın genellikle fandan geçip motora girmeyen hava akış miktarı, motorun içerisinden geçen hava akış miktarı ile aynıdır (1:1). Bazı motorlarda fandan çıkan hava, kısa bir fan akış kanalından atmosfere atılırken diğer bazı motor tiplerinde ise daha uzun bir fan kanalı söz konusu olup fandan çıkan hava motor egzoz bölgesinde sıcak gaz akışı ile karıştırılmaktadır. Orta by-pass oranlı motorlarda ise itki oranları, by-pass oranlarına yakın olup fan çapları, düşük by-pass oranlı fan ünitelerine göre daha büyüktür. **Yüksek by-pass oranlı motorlarda fan çapı en yüksektir** ve bu motorlar yakıt tüketimi açısından daha düşük by-pass oranlı motorlara göre daha avantajlıdır. Bu sebeple özellikle **günümüzde büyük yolcu uçaklarında çoğunlukla yüksek by-pass oranlı motorlar kullanılmaktadır**. İlk üretilen motorların bazılarında by-pass oranı 0.3 seviyelerinde iken yeni nesil yüksek bypass oranlı motorlarda bu değer 10 gibi yüksek değerlere kadar çıkabilmektedir.

# Jet Motorları / Turbofan Motorlar

- *Fan sıkıştırma oranı*, fandan çıkan havanın basıncının fana giren havanın basıncına oranı şeklinde ifade edilir. Bu oran, düşük by-pass oranlı motorlarda 1.5:1 gibi değerlerde olup yüksek by-pass oranlı motorlarda çok daha yüksek olabilmektedir.
- Turbofan motorlara ismini veren fan ünitesi, turboprop'lardaki pervaneye benzetilebilir. Aralarındaki temel farklar:
  - Fan ünitesinin kapalı bir bölme (*duct*) içerisinde bulunması,
  - Üzerinde çok daha fazla sayıda pal bulunması,
  - Çapının benzer güçteki bir turboprop motora göre daha küçük olmasıdır.

# Jet Motorları

## Turbofan Motorlar

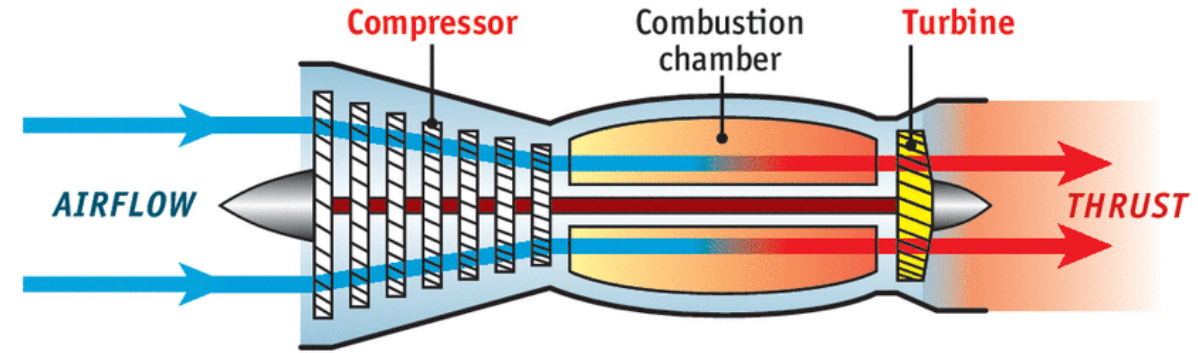
### Jet motorların gelişim aşamaları:

1. TURBOJET – gelen hava doğrudan kompresöre alınır
2. TURBOFAN – gelen havanın bir kısmı fan yardımıyla motor çekirdeği etrafından geçirilerek daha verimli itki sağlanır
3. GEARED TURBOFAN – dişli kutusu sayesinde daha büyük çaplı bir fan, motor devrinden daha yavaş döndürülerek, daha da büyük bir hava hacmini itmek için kullanılır

### Three jet ages

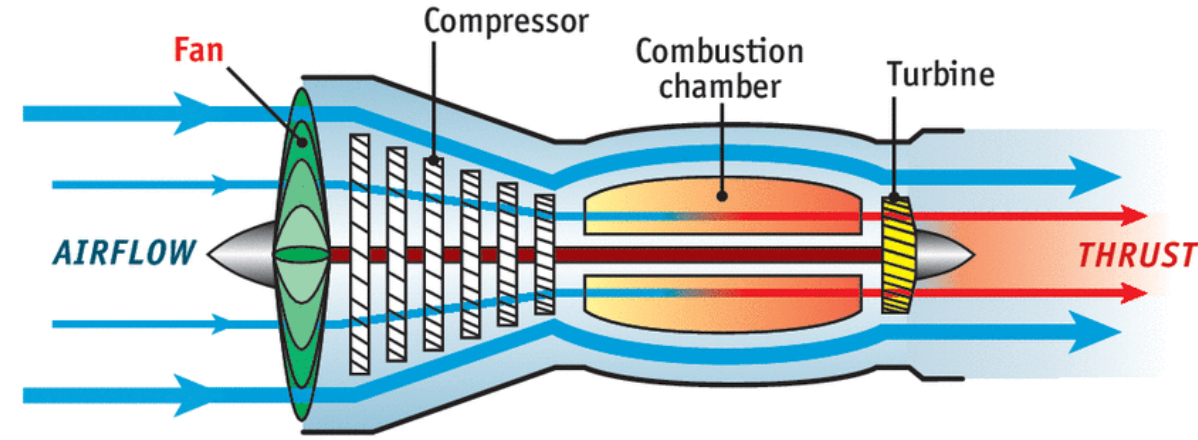
#### TURBOJET

In early jets incoming air was directed to the compressor and ignited with fuel to create thrust and drive a turbine



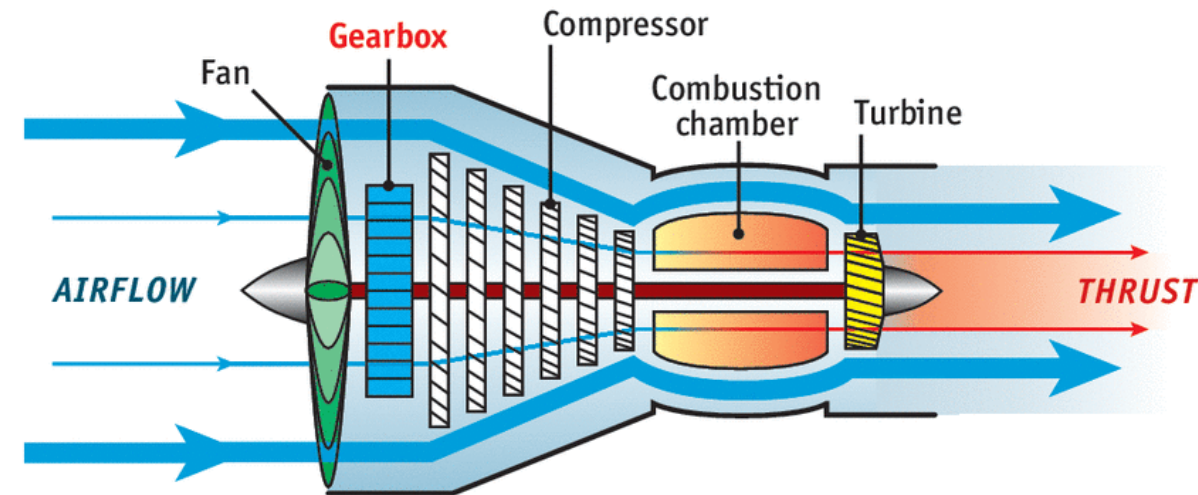
#### TURBOFAN

A fan is used to drive a proportion of the air more slowly around the core of the engine, to provide thrust more efficiently



#### GEARED TURBOFAN

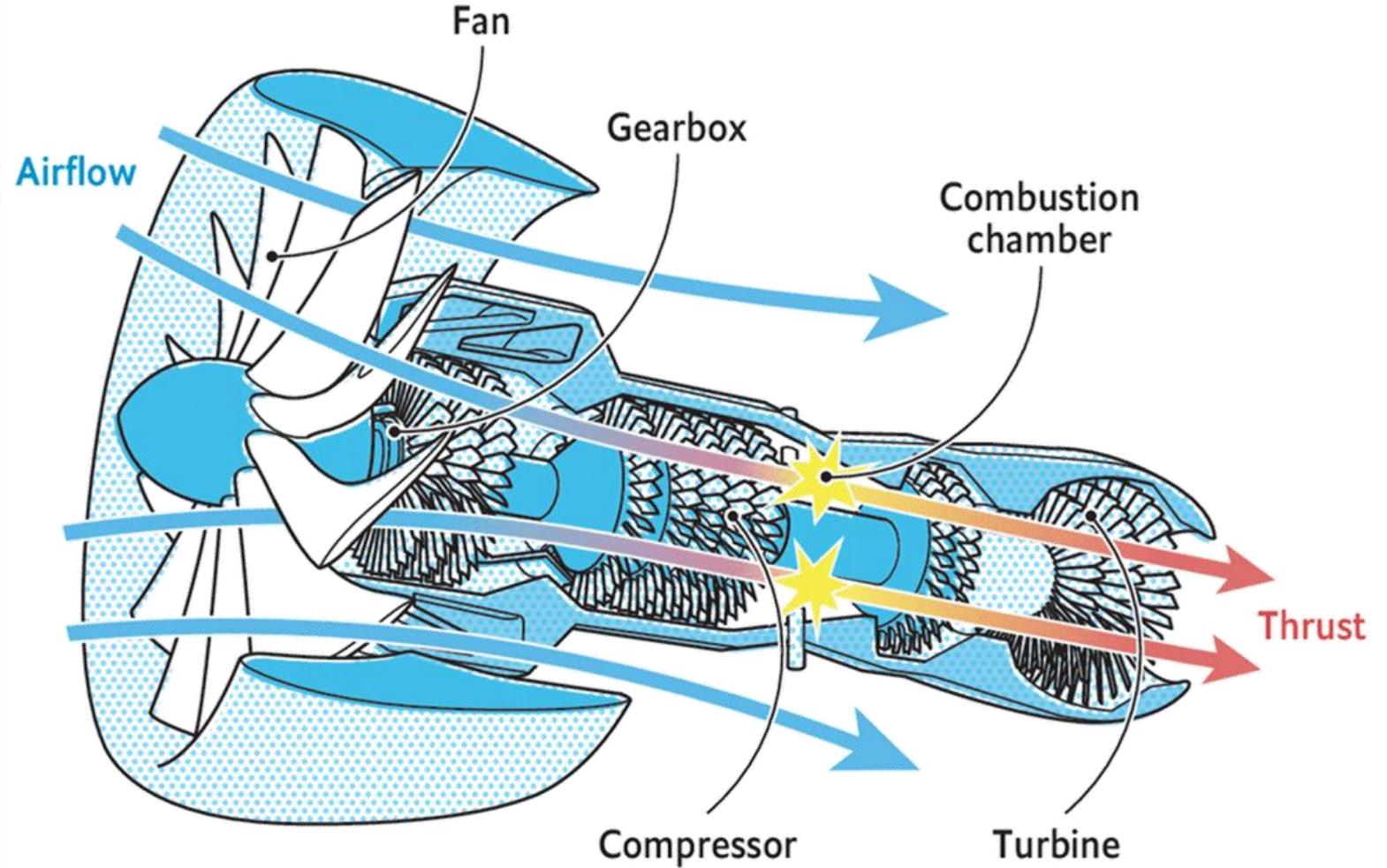
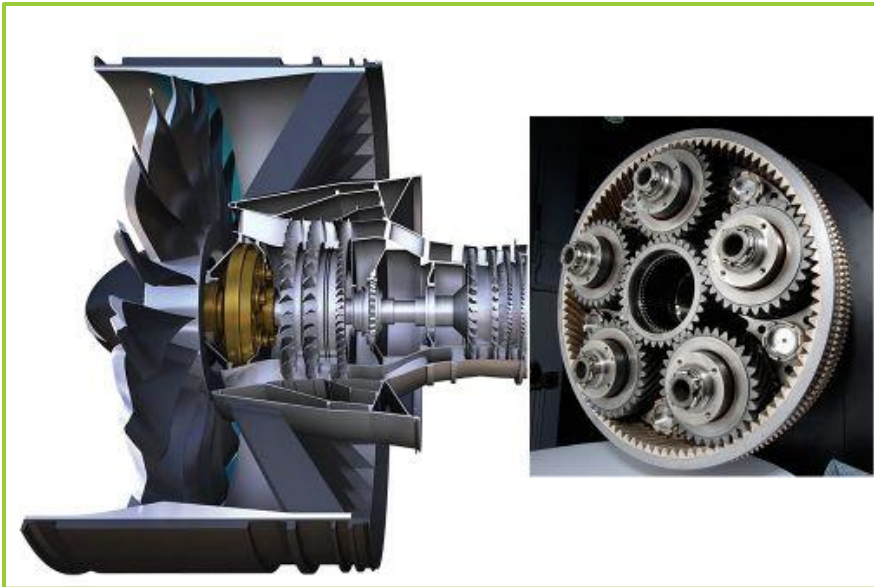
A gearbox allows a bigger fan to rotate more slowly than the rest of the engine, to push an even larger volume of air around the jet's core



# Jet Motorları

## Turbofan Motorlar

- Dişli kutulu turbofan motor (*geared turbofan*)

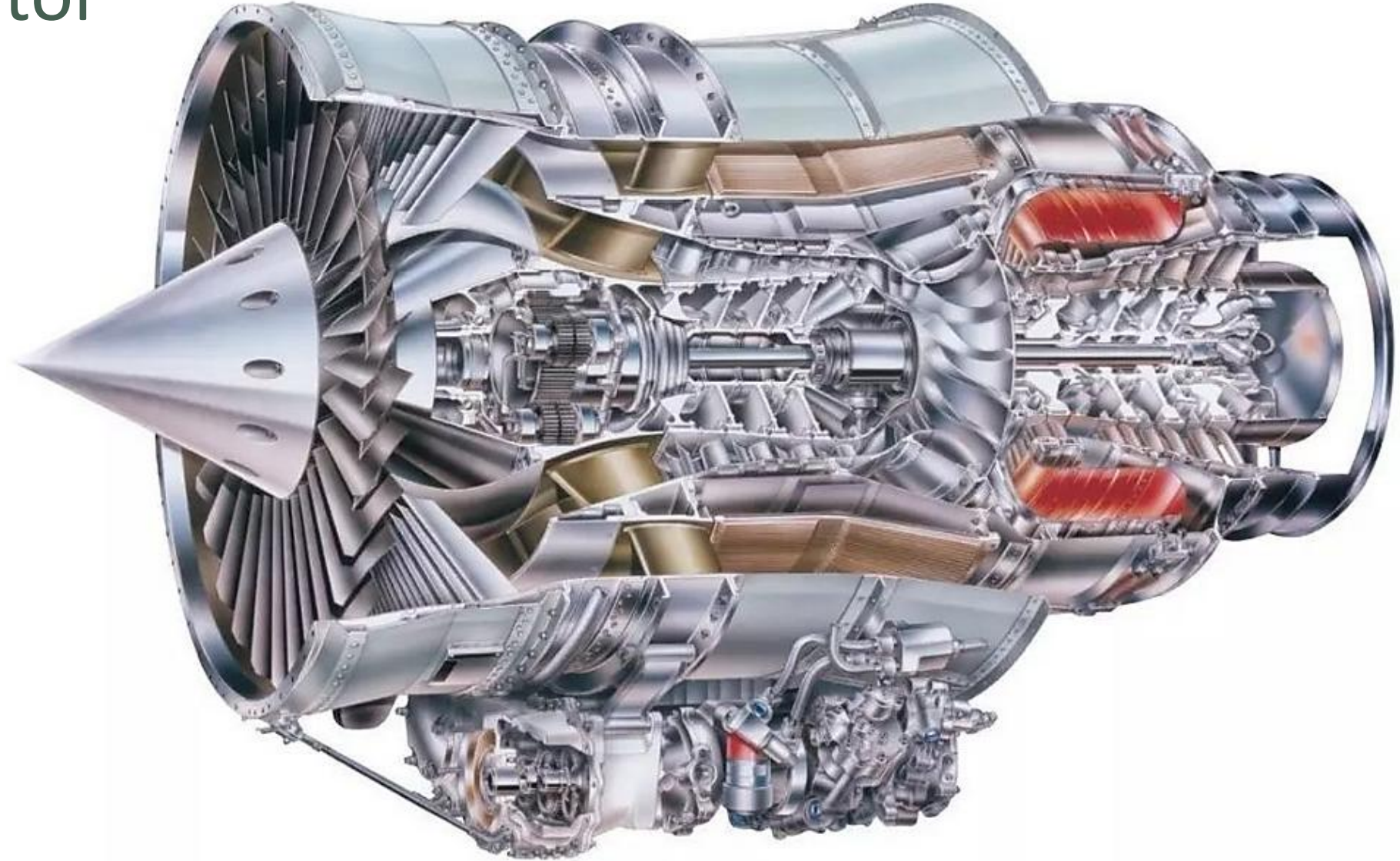


### Geared turbofan

A gearbox allows a bigger fan to rotate more slowly than the rest of the revolving components, to push an even larger volume of air around the jet's core

# Turbofan Motor

*Örnek Görsel:*  
Honeywell TFE731  
turbofan motor  
kesiti



Honeywell TFE731 turbofan engine cutaways and cross section

Kaynak:

<https://www.instagram.com/p/CdRDb74MY0Y/>

<https://www.instagram.com/the.cutaway.archive/>

# TURBOFAN Motor Üreticileri

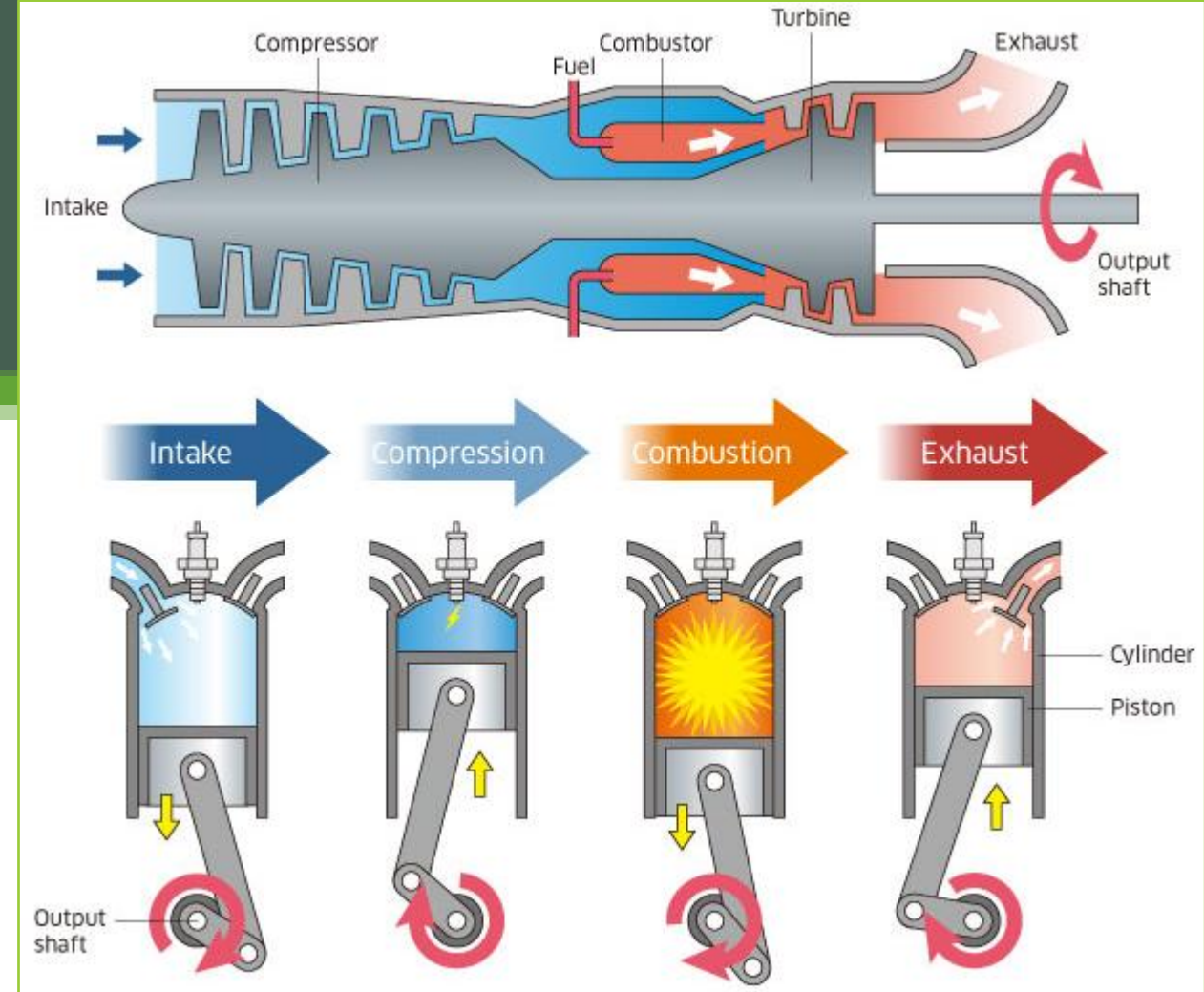
- Rolls Royce
- Pratt & Whitney
- Safran
- General Electric GE Aviation
- CFM International
- MTU Aero Engines
- Honeywell Aerospace
- Japanese Aero Engine Corporation
- Aviadvigatel
- Ivchenko-Progress
- NPO Saturn
- Xi'an Aero-Engine Corporation



# MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi

## KARŞILAŞTIRMA:

- ☐ Gaz Türbinli Motorlar
- ☐ Pistonlu Motorlar



# Türbinli ve Pistonlu Motorların Karşılaştırılması

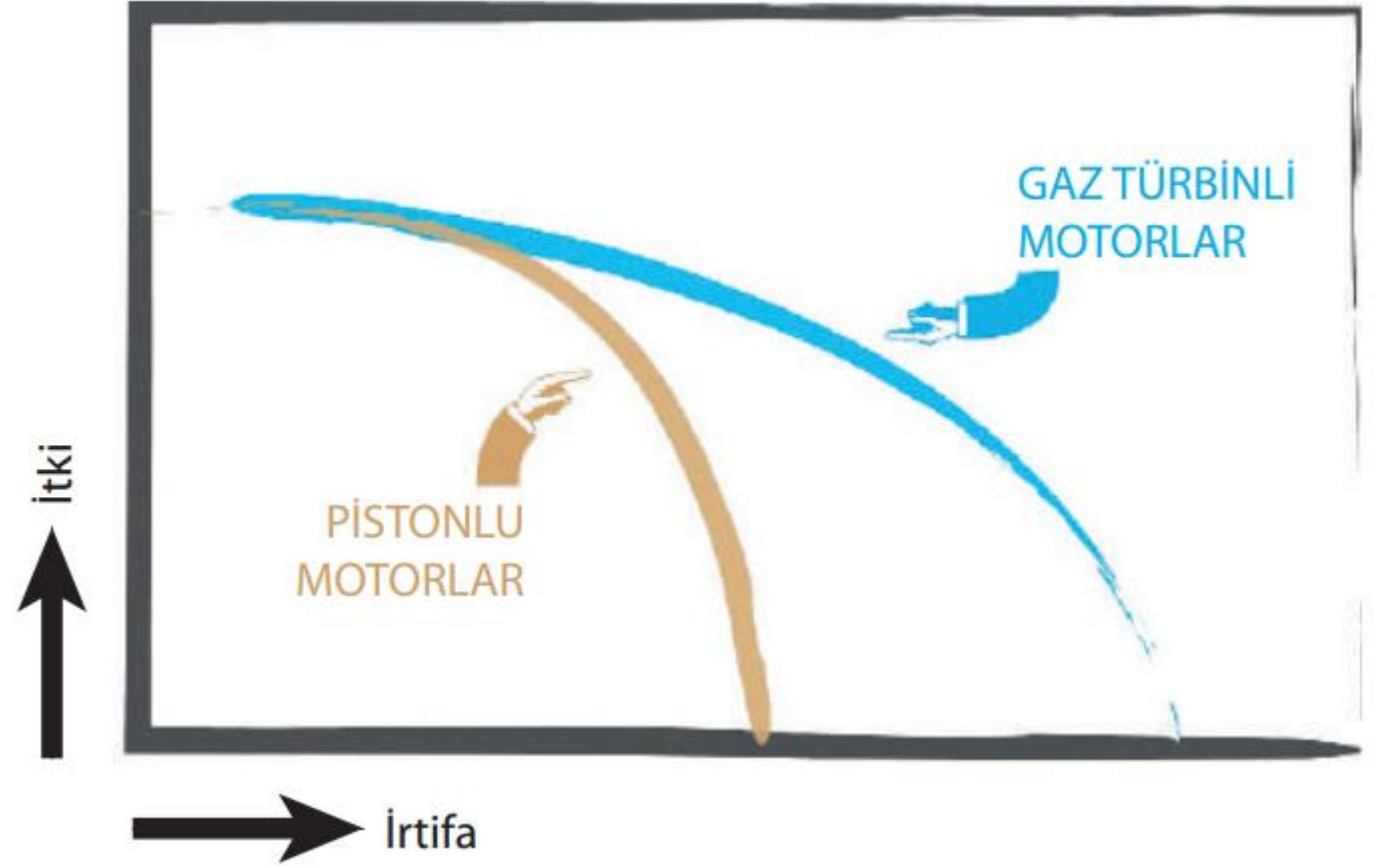
- İki farklı motor türü veya farklı büyüklüklerdeki motorlar arasında bir karşılaştırma yapılmak istendiğinde, bu karşılaştırma genellikle yakıt tüketimi cinsinden yapılmaktadır. Bununla birlikte eğer dikkatli olunmaz ise bu tür karşılaştırmalarda hatalar yapılabilmektedir.
- Örneğin, büyük türbinli motorlar pistonlu motorlara göre çok daha yüksek yakıt tüketimine sahiptir. Ancak iki farklı motor türünü bu şekilde doğrudan karşılaştırmak türbinli motorlara yanlış değerlendirmeye sebep olur.
- Bu tür karşılaştırmaları doğrudan yapmak yerine, **bir birim yakıt ile taşınan yolcu sayısı veya bir birim yakıtla bir birim mesafede taşınan yük miktarı** gibi karşılaştırma ölçüleri çok daha doğru sonuç verecektir.
- Diğer bir deyişle motorları karşılaştırırken kullanıldıkları uçak tipi ve motorların gücü, ayrı ayrı ele alınıp yukarıda belirtilen ortak özellikler kullanılmalıdır.

# Türbinli ve Pistonlu Motorların Karşılaştırılması

Motor anlamında pistonlu motorlar ile türbinli motorlar arasında temel bir farklılıktan söz edilmelidir. Pistonlu motorlarda termodinamik çevriminin tüm adımları aynı alanda yani silindir içerisinde ardışık bir şekilde gerçekleşir. Ancak türbinli motorlarda tüm çevrim adımları birbirini takip eden ve farklı bölümler içerisinde ve aynı zamanda gerçekleşmektedir. Yani bu bölümlerdeki termodinamik çevrim adımlarının gerçekleşebilmesi için bir önceki bölümdeki adımın tamamlanmasının beklenmesi söz konusu değildir. İrtifalar söz konusu olduğunda gaz türbinli motorların pistonlu motorla göre daha üstün olduğu açıktır. Bu da özellikle düşük sürüklemeyen dolayı yüksek irtifalarda uçan büyük yolcu uçaklarının neden türbinli motorları tercih ettiklerini ortaya koymaktadır. Bunun yanında türbinli motorların yüksek uçuş hızlarında pistonlu motorlara göre çok daha verimli oldukları ve pistonlu motorların kullanılamayacağı yüksek hızlarda dahi türbinli motorların gayet verimli bir şekilde kullanılabildikleri anlaşılmaktadır.

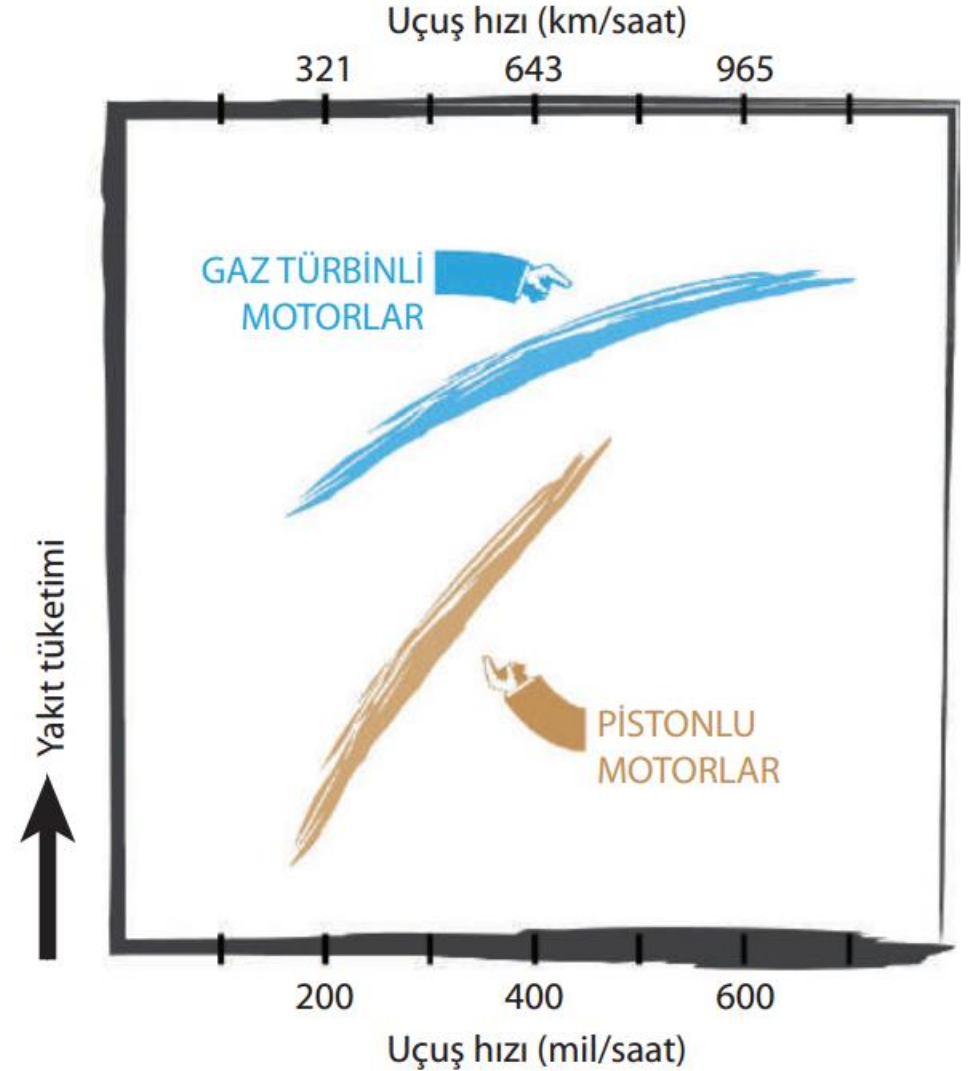
# Türbinli ve Pistonlu Motorların Karşılaştırılması

- Tablo / Grafik:  
**İtki - İrtifa** ilişkisi



# Türbinli ve Pistonlu Motorların Karşılaştırılması

- Tablo / Grafik:  
Deniz seviyesinde aynı güçteki motorların **hız ve yakıt tüketimi** karşılaştırması



# Türbinli ve Pistonlu Motorların Karşılaştırılması

## TERMODİNAMİK ÇEVİMLER AÇISINDAN İNCELEME

- Termodinamik çevrim, bir veya daha çok hal değişimi (termodinamik süreç) gerçekleştiren, iş veya enerji üreterek veya enerjiyi transfer ederek ilk haline dönen bir çalışma akışkanını içeren çevrimlerdir.
- Kapalı bir çevrim esnasında, sistem başlangıçtaki termodinamik sıcaklık ve basınç durumuna döner. Termodinamik sistemlerde ısı ve iş gibi tüm çevrim basamakları birbirlerinden bağımsızdır.
- Başlıca termodinamik çevrimler, güç çevrimleri ve ısı pompası çevrimleridir. **Güç çevrimlerinde ısı girişi ve mekanik iş çıkışı vardır.** Isı pompası çevrimlerinde ise mekanik iş girişi ile düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa ısı transferi yapılır.
- Basınç-Hacim (PV) (*Pressure-Volume*) ve Sıcaklık-Entropi (TS) (*Temperature – Entropy*) diyagramlarında saat yönündeki çevrim güç çevrimine, saat yönünün tersine olan çevrim ise ısı pompası çevrimine işaret eder.
- Termodinamik güç çevrimleri ısı motoru operasyonlarının temelidir. Isı motorları dünyadaki elektrik gücünün önemli bir kısmını sağlarken, motorlu taşıtların çok büyük çoğunluğu da ısı motorlarıyla çalışır. Güç çevrimleri iki kategoride incelenebilir: gerçek çevrimler ve ideal çevrimler. Güç çevrimleri kullandıkları ısı motoru tiplerine göre birbirlerinden ayrılırlar. İçten yanmalı motorlarda en sık rastlanan çevrimler: otto çevrimi; benzinli motor'da kullanır. Dıştan yanmalı motorlarda ise Brayton çevrimi; türbin motoru kullanır.

# Türbinli ve Pistonlu Motorların Karşılaştırılması

## Otto (Pistonlu/Benzinli Motor) ve Brayton (Gaz Türbini) Çevrimleri

**Otto Çevrimi:** Benzinli motor, bir tür içten yanmalı motordur. Benzinli motorlarda kullanılan yakıt benzin olup, yakıt dizel motordan farklı olarak karbüratör adı verilen bir düzenek sayesinde, sıvı olarak değil buharlaşıp hava ile karışarak silindire girer.

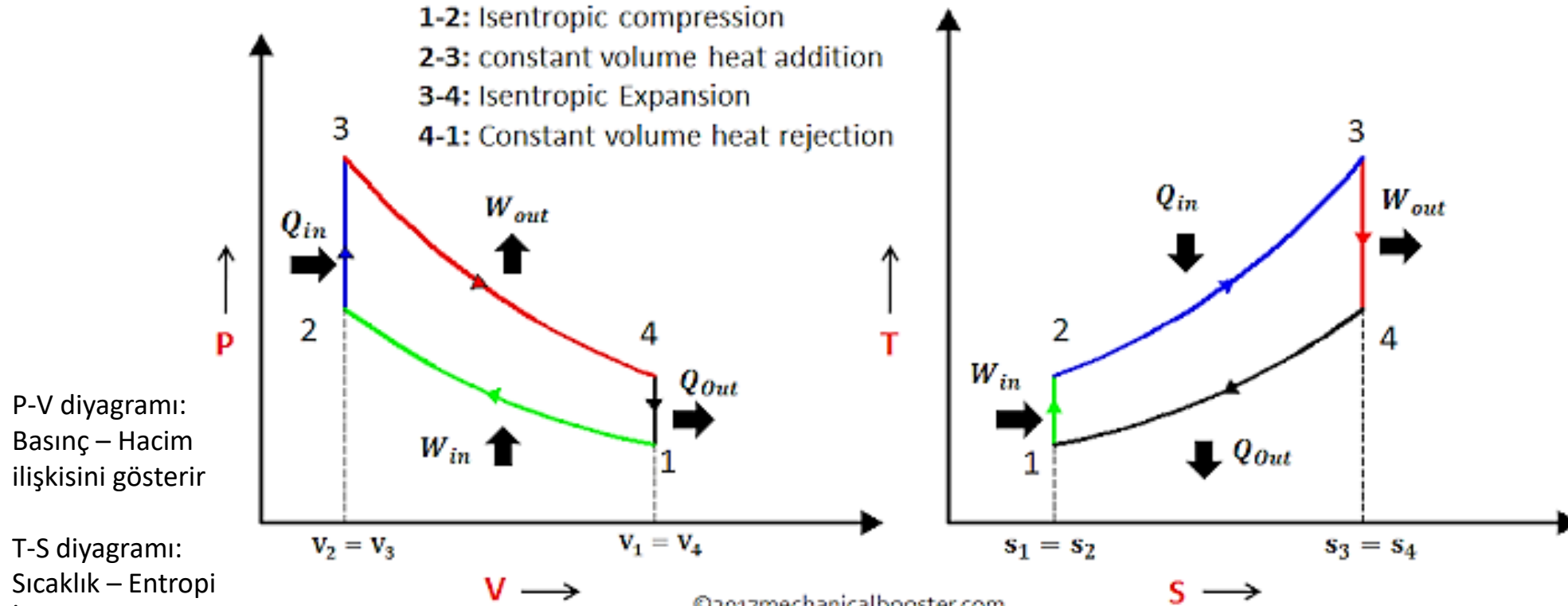
Benzinin oksijen (hava) ile oluşturduğu karışım sonucunda yanma gerçekleşir. Yakıt hava karışımının silindirin içinde bir kıvılcım ile yanması sonucu bir patlama meydana gelir. Burada yine dizel motordan farklı yanmayı sağlamak için kıvılcım yani buji kullanılır. Patlamanın ortaya çıkardığı basınç, piston tarafından hareket enerjisine dönüştürülür.

Benzinli motorun çalışma prensibini oluşturan çevrim **dört zamanlı çevrim ya da Otto çevrimi** olarak da anılır. Bu çevrim 1876 yılında Alman mühendis Nikolaus Otto tarafından bulunmuştur. Çevrim dört aşamadan oluşur:

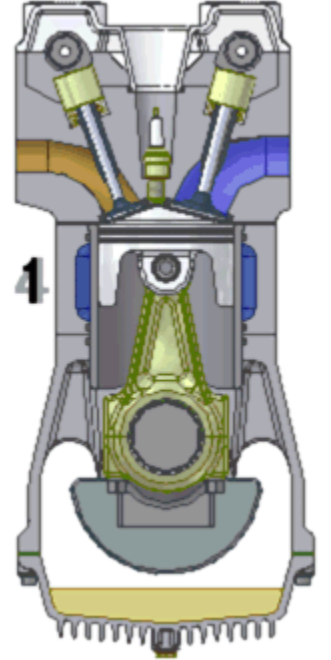
- **Emme:** Karbüratörden gelen benzin-hava karışımı, emme supabının açılması ile silindir içine çekilir.
- **Sıkıştırma:** Piston yukarı çıkarak benzin-hava karışımını sıkıştırır.
- **Yanma:** Sıkışan ve ısınan karışım, bujiden çıkan kıvılcım ile tutuşur. Oluşan patlama ile piston aşağı doğru itilir. **Hareket gücü** bu aşamada üretilmiş olur.
- **Egzoz:** Bu aşamada ise pistonun yukarı hareketi ile yanma sonucu oluşan gazlar egzoz supabından dışarı atılır ve bir çevrim tamamlanarak, diğer çevrim yeniden başlar.

# Türbinli ve Pistonlu Motorların Karşılaştırılması

## Otto (Pistonlu/Benzinli Motor) Çevrimi



P-V and T-S Diagram of Otto Cycle



# Türbinli ve Pistonlu Motorların Karşılaştırılması

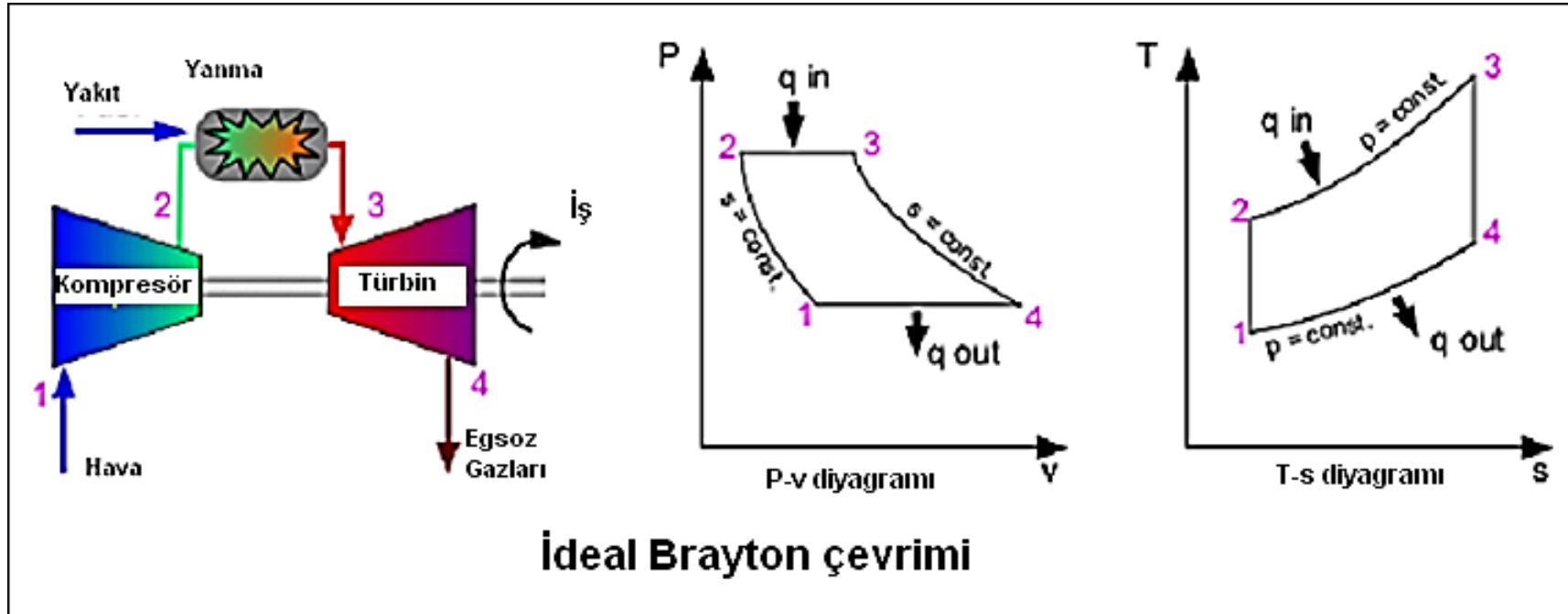
## Otto (Pistonlu/Benzinli Motor) ve Brayton (Gaz Türbini) Çevrimleri

**Brayton Çevrimi:** Genel olarak gaz türbinlerinde kullanılan, periyodik bir prosestir. Günümüzde geçerli olan gaz akışkanlı güç çevrimleri içinde önemli bir yer tutar. Diğer içten yanmalı güç çevrimleri gibi açık bir sistem olmasına rağmen; termodinamik analiz için egzoz gazlarının ikinci bir ısı değiştirgecinden geçtikten sonra içeri alınıp tekrar kullanıldığı farz edilir ve kapalı bir sistem gibi analize uygun hale gelir. İsmi, mucidi olan George Brayton'dan almıştır. Aynı zamanda Joule çevrimi olarak da bilinir.

Brayton sadece pistonlu motorlar yapmış olmasına rağmen günümüzdeki modern Brayton makinelerinin hemen hemen hepsi türbinlidir. Bunun en yaygın örneği olan gaz türbinlerinde de yine temel olarak üç eleman vardır: Gaz **kompresörü**, brülör (yakıcı) veya **yanma odası** ve **genleşme (gaz) türbini**. Burada da çevre havası kompresöre girer ve basınçlandırılır. (Teorik olarak izentropik prosestir.) Basınçlı hava yanma odasına girer, yakıt ilavesiyle birlikte yanma gerçekleşir ve hava ısınır. (Bu da izobarik bir prosestir.) Yanma ürünü, türbin veya türbinler boyunca genişleyerek enerjisini aktarır. (Teorik olarak yine izentropik bir prosestir.) **Türbinden elde edilen işin bir kısmı ile kompresöre güç verilir**. Ne sıkıştırma, ne de genişleme gerçekte izentropik olamaz. Kompresör ve genişletirici boyunca kayıplar, verim kaybını kaçınılmaz kılar. Genelde, sıkıştırma oranındaki artış, bir Brayton sisteminin tüm çıkış gücünü arttırmak için en çok kullanılan yoldur.

# Türbinli ve Pistonlu Motorların Karşılaştırılması

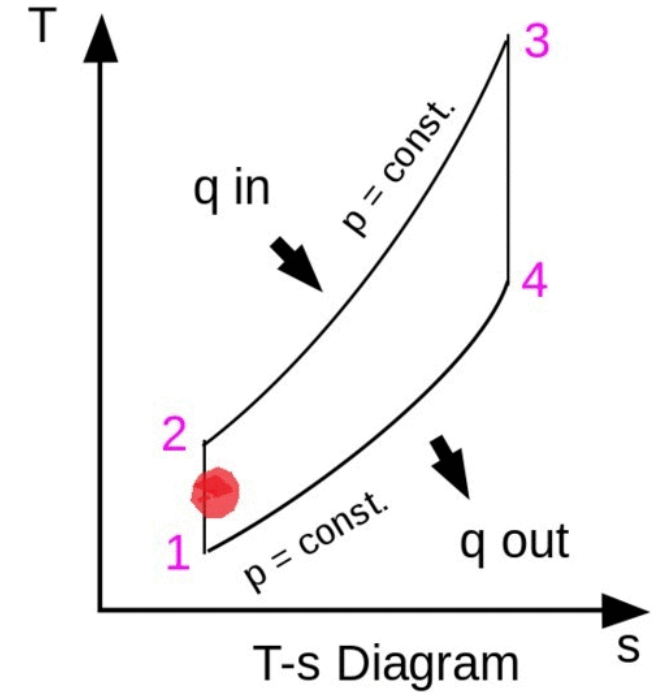
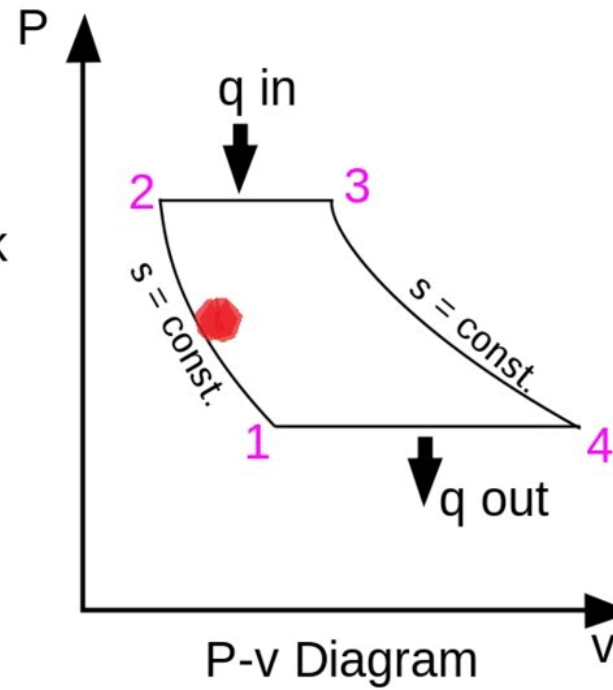
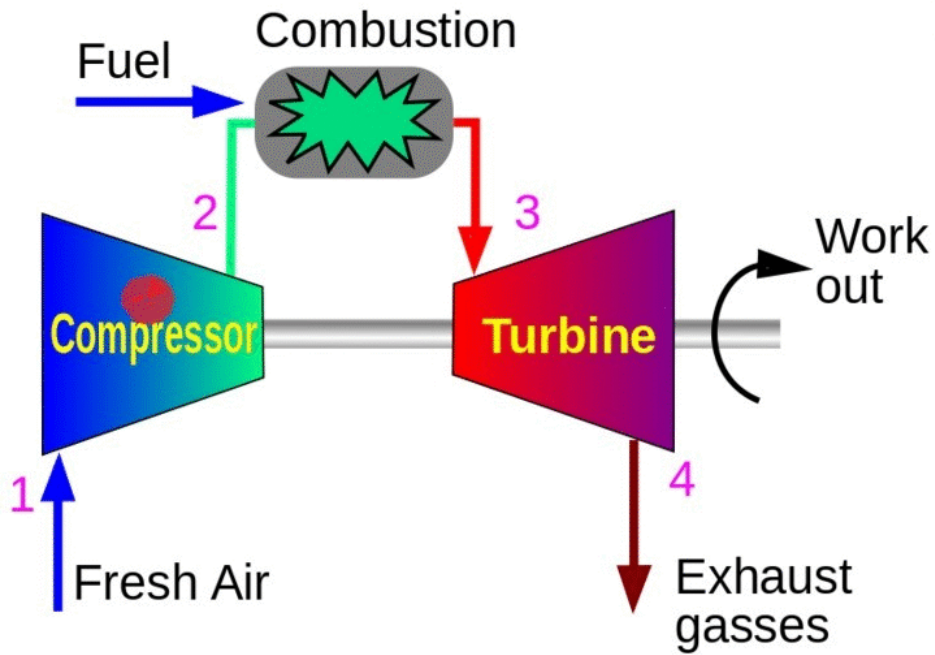
## Brayton (Gaz Türbini) Çevrimi



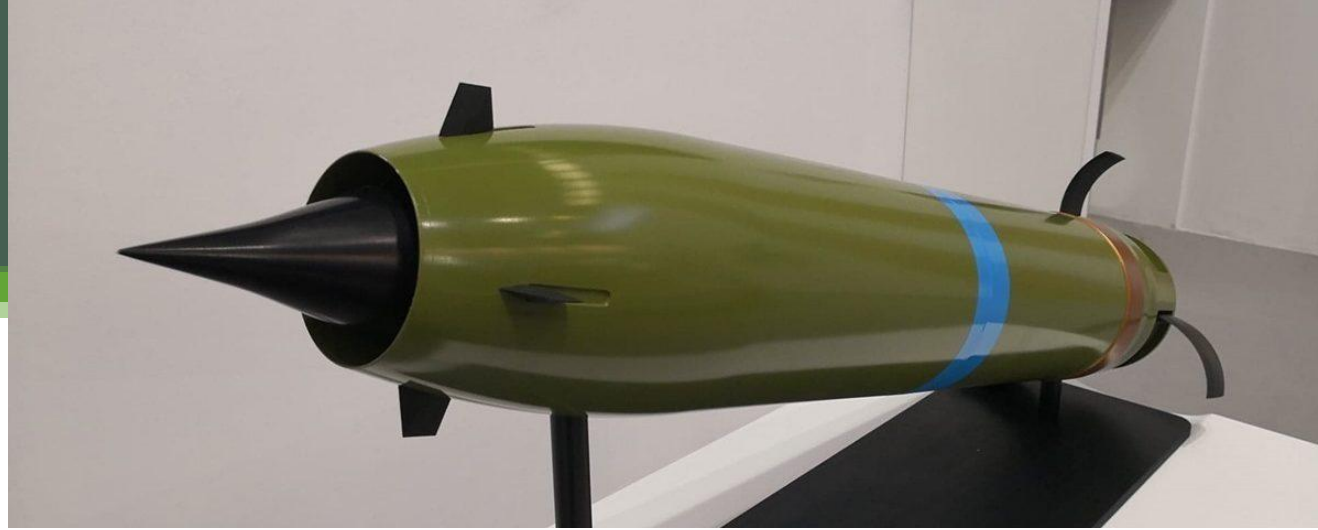
# Türbinli ve Pistonlu Motorların Karşılaştırılması

## Brayton (Gaz Türbini) Çevrimi

Kaynak: <https://i.makeagif.com/media/8-25-2015/WjCD4y.gif>



# MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi

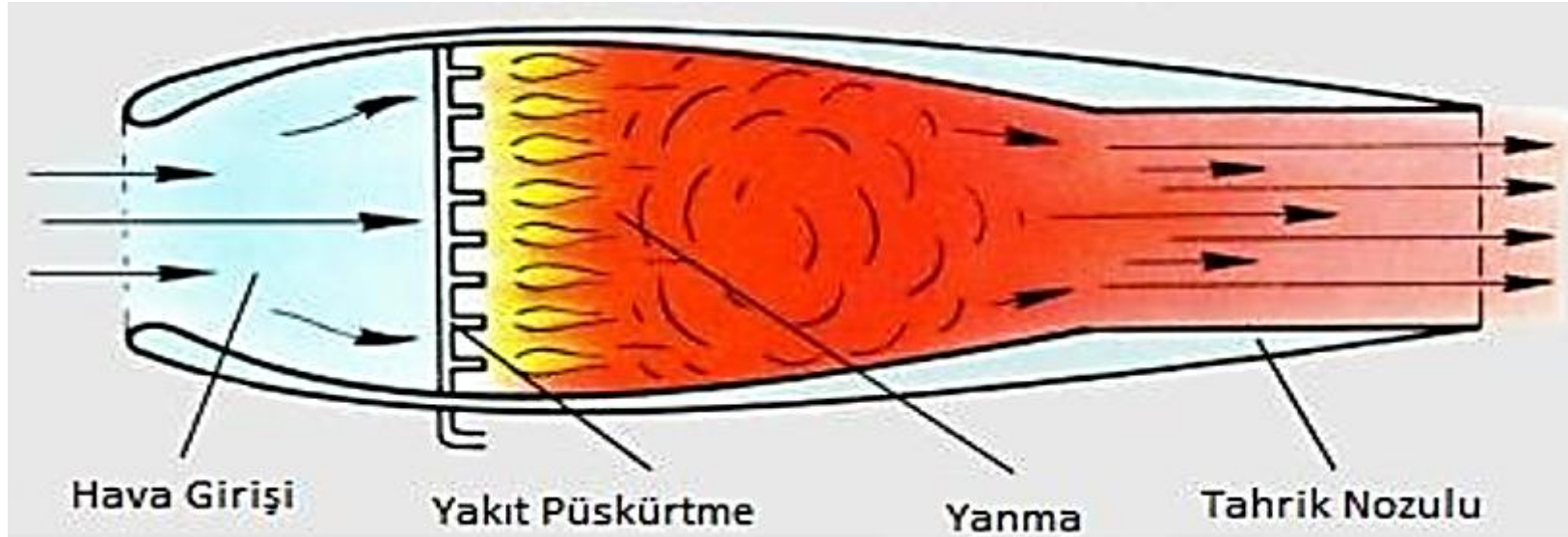


Ramjet / Pulsejet / Roket ...

# Jet Motorları / Ramjet

İçerisinde herhangi bir hareketli parçası bulunmayan jet motorlar, ramjet olarak adlandırılırlar. Hava giriş, yanma odası ve egzoz olmak üzere üç ana bölümden oluşurlar. Herhangi bir kompresör ünitesine sahip olmadıkları için bu motorların çalışabilmesi için çok yüksek hızlarda hareket etmesi gerekir. Ancak bu sayede motorun içerisine giren hava (ram = dalma, toslama), yüksek hız ve motor yapısının yardımıyla yanma için yeterli miktarda sıkıştırılabilmektedir. Hava, motorun içerisinde sıkıştığında, üzerine yakıt püskürtülerek ateşlenir ve yanma meydana gelir. Yanma sonucunda oluşan gazlar, yine çok yüksek hızlarda motorun egzoz bölümünden atmosfere atılırlar. Sadece yüksek hızlarda çalışabilmeleri, bu motorların kullanım alanlarını oldukça kısıtlamaktadır. Zira bu motorlar tek başlarına bir uçağın yerden kalkış yapmasında kullanılamazlar. Ancak örneğin, bir uçağın silah sistemlerindeki roketlerde veya yardımcı başka bir motor ile birlikte kullanılabilmektedirler.

# Jet Motorları / Ramjet

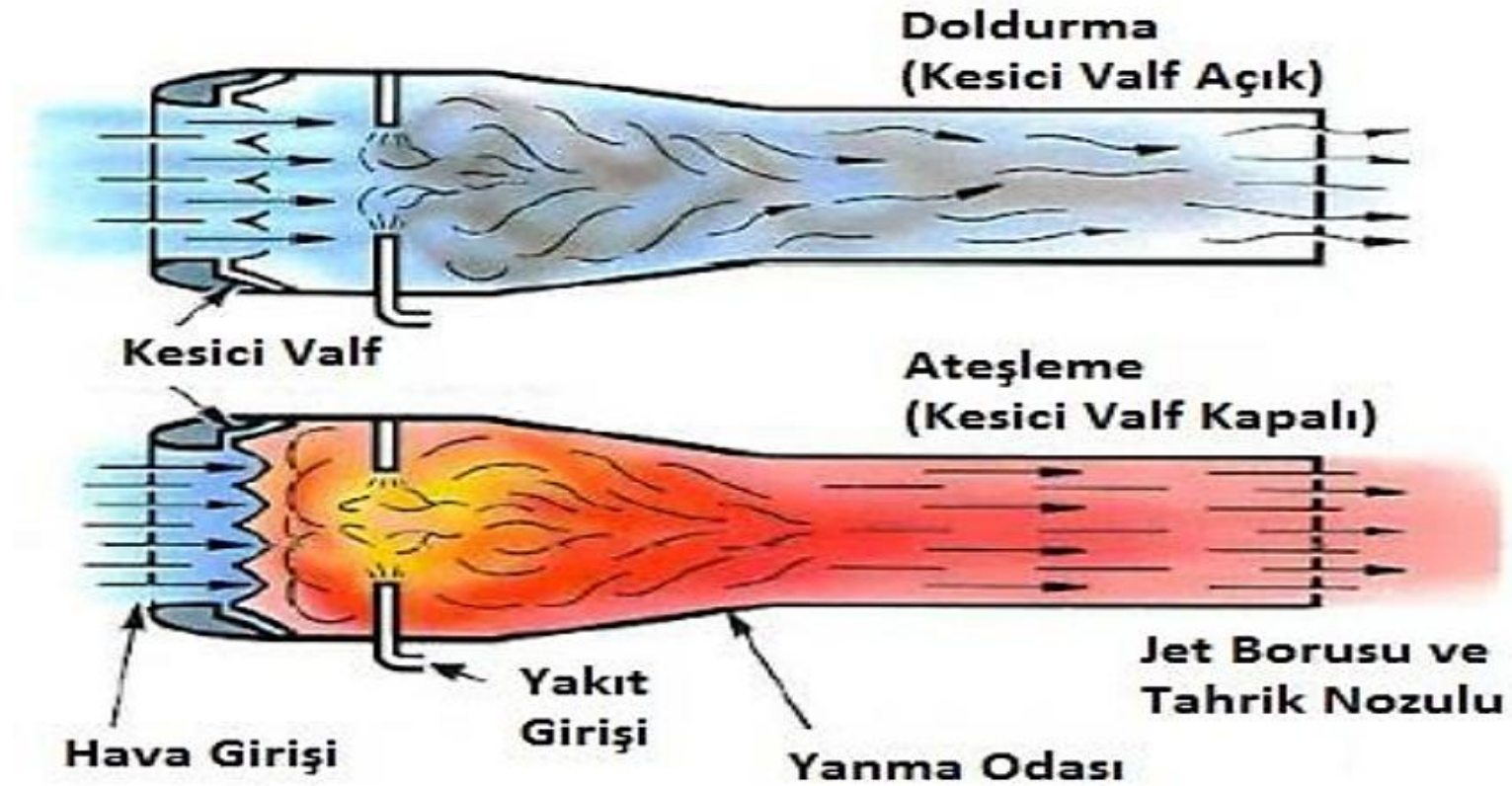


Ramjet motor kesiti şematik görünüm

# Jet Motorları / Pulsejet

Pulsejet motorlar, **ramjet motorlara benzerler**. Bu motorlarda da herhangi bir kompresör veya türbin bölümü bulunmaz. Bununla birlikte ramjetlerden temel farklılığı **bu motorlarda fotoğraf makinelerindeki açılır kapanır diyaframa benzeyen valflerin** (klape) kullanılmasıdır. Bu valfler yay yüklü olup normal pozisyonda açık şekilde durmaktadırlar. Yeterli miktarda hava, motorun içerisine girdiğinde yanma meydana gelir. Yanmanın etkisiyle yanma odasındaki basınç artarak valflerin kapanmasına neden olur. Böylece motora daha fazla hava girişi engellenirken yüksek basınçlı yanmış gazlar büyük bir hızla egzoz bölümünden atmosfere atılırlar. Bu esnada motoru ileriye doğru hareket ettirecek itki kuvveti üretilmiş olur. Bu işlem sonunda yanma odası içindeki basınç düşeceği için yay yüklü valfler açılarak motora taze hava girişine imkân verirler. Çevrim bu şekilde tekrar eder. Dolayısıyla diğer motor tiplerinin aksine bu motorda sürekli bir itki yerine **kısa aralıklı kesintili (darbeli = pulse) bir itki söz konusudur**.

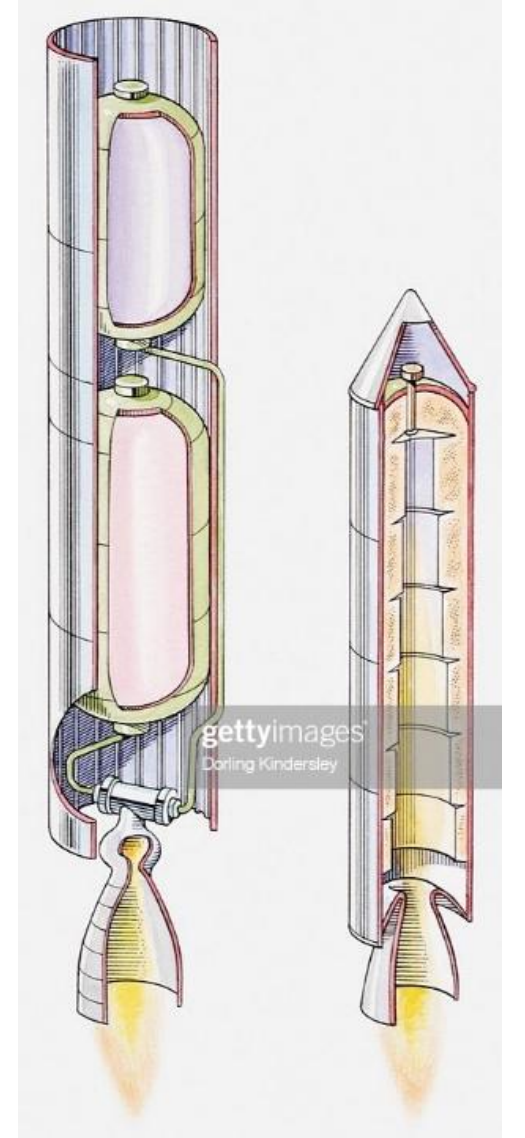
# Jet Motorları / Pulsejet



Pulsejet motor

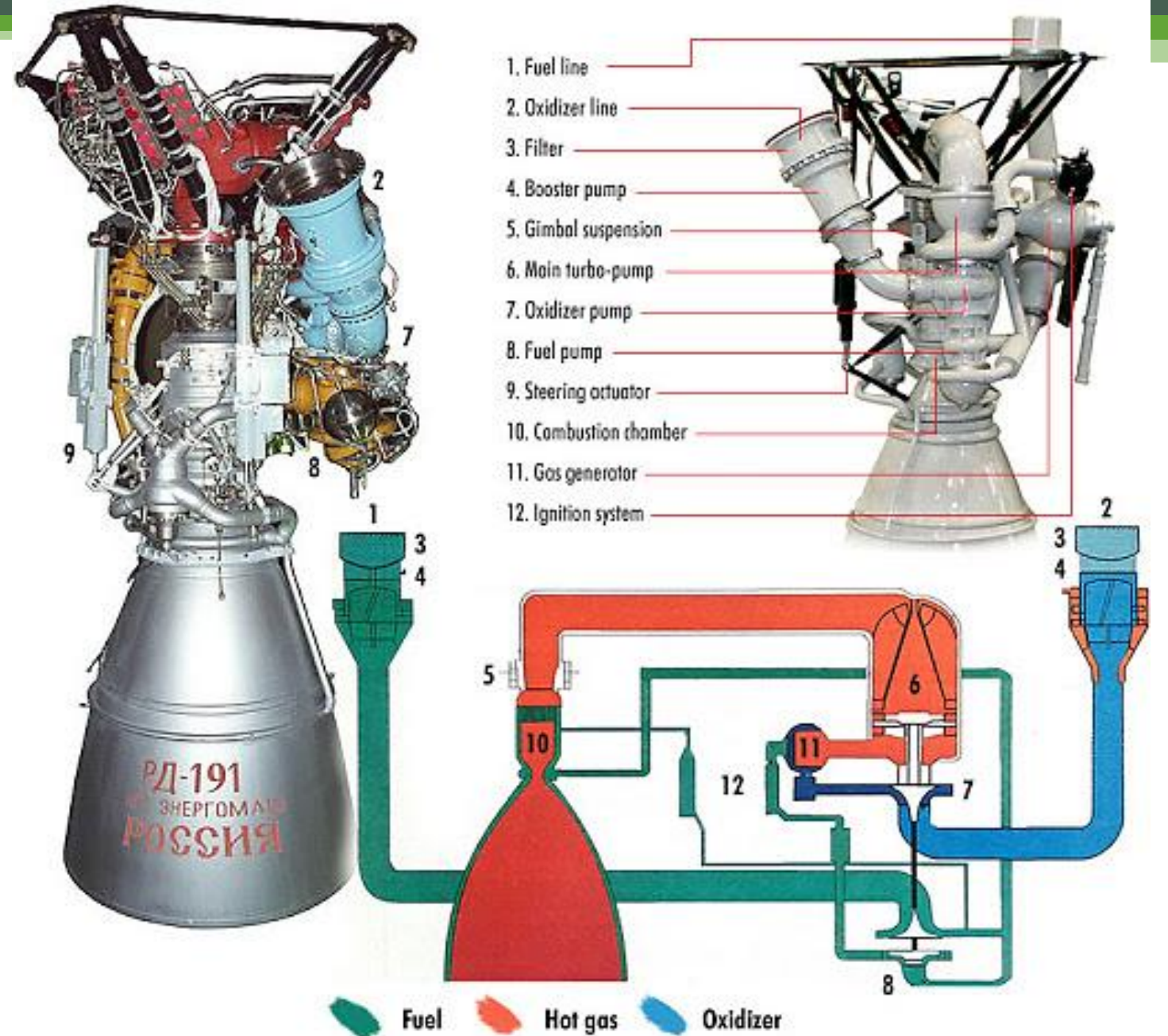
# Roketler

- Kendi yakıtını, yakıcısının içinde taşıyan ve jet prensibini kullanan motorlar roket olarak adlandırılır.
- Yakıt, birden fazla bileşenden meydana gelebilir. Buna oksijen de dahildir. Bu nedenle harici olarak dışarıdan oksijene ihtiyaç duymayan roketler, atmosfer harici uygulamalarda tercih edilmektedir.
- Katı ve sıvı yakıtlı olarak farklı türleri vardır. İki tip motorda da yakıt, yakıcı karışımının karışıp yandığı bir yanma odası ve yanmış gazların hızla atmosfere atıldığı jet nozülü bulunmaktadır.



# Roketler

- *Örnek Görsel:*  
Roket Motorunun Bölümleri



# MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi

## MOTORLAR

Elektrikli Uçuş  
(*Electric Flight*)

# Elektrik Gücüyle Uçuş

- Elektrik gücüyle uçuşta, hava aracının itki sistemi elektrikle tahrik edilir.
- Elektrikli uçaklar, havacılığın çevresel etkilerini azaltmanın, sıfır zararlı emisyon ve daha sessiz uçuşlar sağlamanın bir yolu olarak görülmektedir.
- Elektrik, en yaygını **pil (batarya)** olmak üzere çeşitli yöntemlerle sağlanabilir. Çoğu aracın pervaneleri veya türbinleri döndüren **elektrik motorları** vardır.



Kaynak: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_aircraft](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_aircraft)

# Elektrik Gücüyle Uçuş

## İtki / Tahrik Sistemleri (*Propulsion*)

- Elektrik Motorları (*electric motors*)
  - Neredeyse tüm elektrikli hava araçları, itme üreten pervaneleri veya taşıma üreten rotorları döndüren, elektrik motorları tarafından çalıştırılmıştır.
- Hibrit (*hybrid power*)
  - Hibrit elektrikli aktarma organlarına sahip uçaklar, genellikle iniş-kalkışta temiz ve sessiz elektrik gücünü kullanır; geleneksel piston veya jet motoru ile seyir yapar.
- Elektro-hidrodinamik (*electrohydrodynamics*)
  - Elektrohidrodinamik (EHD) kullanan hava araçları, yanma veya hareketli parçalara ihtiyaç duymadan havada taşıma veya itme sağlar. Günümüzde deneysel düzeydedir.

# Elektrik Gücüyle Uçuş

## Güç Depolama (*Power Storage*)

Gerekli elektriği depolamak için kullanılan sistemler:

- **Piller** (*batteries*): Elektrik üretmek için kimyasal bir reaksiyon kullanan piller, şarj edildiklerinde elektrik verilerek kimyasal tepkime tersine döndürülür.
- **Yakıt hücreleri** (*fuel cells*): Elektrik üretmek için kimyasal bir reaksiyonda yakıt ve bir oksitleyici tüketir. Yaygın olarak hidrojen kullanılmaktadır.

# Elektrik Gücüyle Uçuş

## Güç Depolama ve Diğer Yöntemler

- **Güneş Panelleri** (*solar cells / photovoltaics*): Güneşten gelen elektromanyetik ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Doğrudan motorların beslenmesi mümkün olabileceği gibi, depolama için batarya gereksinimi vardır.
- **Süperkapasitörler** (*supercapacitor / ultracapacitor*): Piller ve kondansatörler arasında köprü oluşturan hibrit bir elektrokimyasal enerji depolama sistemidir. Reaksiyon sadece kimyasal değil aynı zamanda elektriksel olduğundan şarj-deşarj döngü sayısında sınırlı olmamakla birlikte, daha yüksek tepe akımlarıyla çok daha hızlı şarj vedeşarj olabilme konusunda pillere göre bazı avantajları vardır. Enerji yoğunlukları (Wh/kg) pillerin oldukça altındadır ve daha uzun ömürleri hesaba katıldığında bile daha pahalıdırlar.

# Elektrikli Hava Aracı Çeşitleri

- Elektrikli uçaklar
- Hibrit uçaklar
- Dikey iniş kalkış yapan (*eVTOL*) hava araçları
- Dronlar (*drones*)
- İHA'lar (*UAVs*) insansız hava araçları
- Plazma ve iyonize hava kullanan deneysel araçlar

Ticari kullanım henüz az olmakla beraber sertifikalandırılmış örnekler vardır.

# Elektrik Motorlu Uçaklar

## *Electric Aircraft*

- Elektrik motorlu uçaklar ve insansız hava araçlarının geliştirilmesi ve güvenilirlik çalışmaları sürmektedir.
- Bataryaların toplam ağırlığı ve birim ağırlık başına güç-enerji yoğunluklarının fosil yakıtlardan düşük olması şu an için en önemli dezavantajlarıdır.



# Elektrik Motorlu Uçaklar

- *Örnek Görsel:*  
Harbour Air elektrik motorlu uçak çalışması (test uçuşu aşamasında)

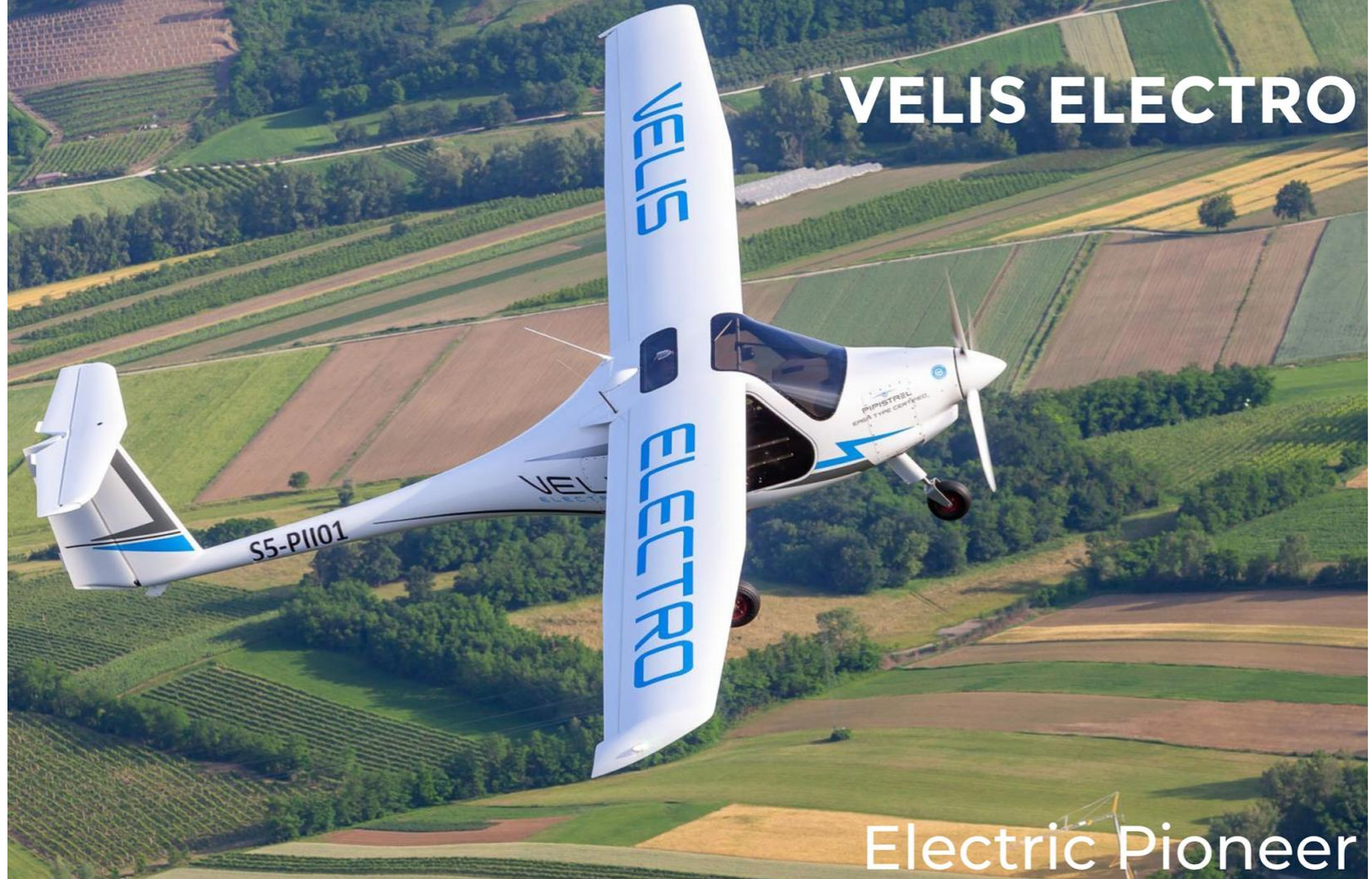
Kaynak: <https://harbourair.com/harbour-air-all-electric-aircraft-operates-first-point-to-point-test-flight/>



# Elektrik Motorlu Uçaklar

- Pipistrel Firmasının **Velis Electro** modeli dünyada **tip sertifikası alan mürettebatlı (crewed)** ilk elektrikli uçaktır.

Kaynak: <https://www.pipistrel-aircraft.com/products/general-aviation/velis-electro/>



# Elektrik Motorlu Uçaklar

Örnek Görsel:

Pipistrel

Velis Electro

Batarya yerleşimi

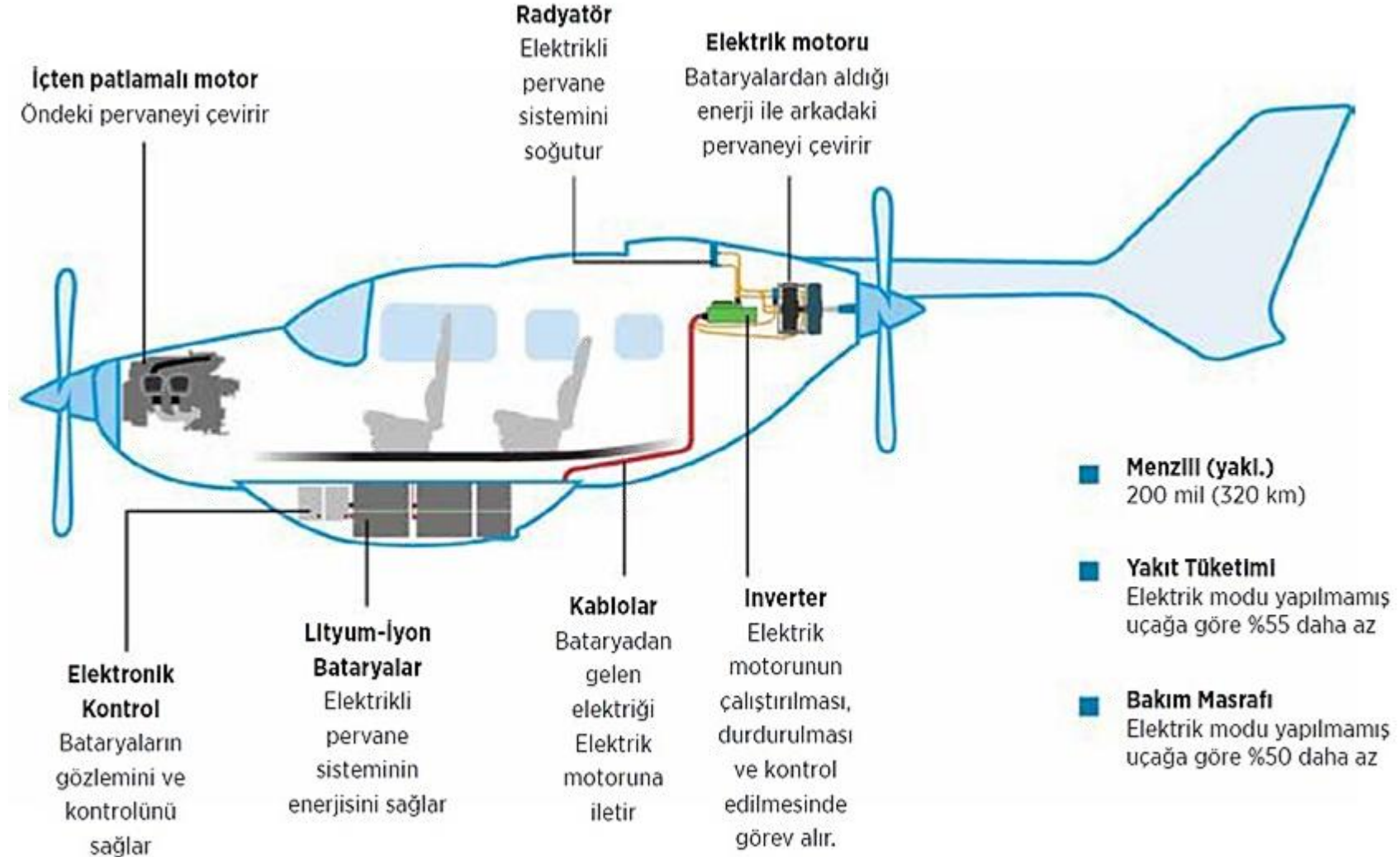


Tip sertifikası 2020 yılında alınmıştır. *Type Certificate (EASA.A.573 TCDS)*

[https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/tcnds\\_easa.a.573\\_is.5\\_0.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/tcnds_easa.a.573_is.5_0.pdf)

# Elektrik Motor + İçten Yanmalı Motor Hibrit Uçak

- Elektrik motoru ve içten yanmalı motor olmak üzere iki farklı motoru içeren **hibrit** tahrikli hava aracı örneği



# VTOL Hava Araçları

- VTOL, Dikey Kalkış ve İniş (İngilizce: **Vertical Take-Off and Landing**) sözcüklerinin kısaltmasıdır. Bu sınıflandırma az sayıda hava aracını kapsar; helikopterler, otocayrolar, balonlar ve hava gemileri (zeplinler) genellikle VTOL olarak sınıflandırılmazlar. Bazı hava araçları VTOL moduna ek olarak CTOL (Konvansiyonel Kalkış ve İniş / **Conventional Take-off and Landing**) ve/veya STOVL (Dikey İniş ve Kısa Kalkış / **Short Take-Off and Vertical Landing**) de yapabilirler. Bazı araçlar ise iniş takımları yatay hareketi desteklemediği için sadece dikey iniş-kalkış yapabilirler (Örneğin: Convair XFY).

*Örnek Görsel:* Bell X-22

Kaynak: <https://tr.wikipedia.org/wiki/VTOL>  
<https://en.wikipedia.org/wiki/VTOL>



# VTOL Hava Araçları

- VTOL yerine *tiltrotor* tabiri de kullanılmaktadır.
- Tiltrotor/VTOL tasarım konsepti elektrik motorları ve bataryalar ile birleştirilerek, **eVTOL** adı verilen, yeni nesil hava taşımacılık sistemleri üzerine pek çok farklı şirket ve kuruluş çalışmaktadır.
- Günümüzde pratik kullanımda olan iki VTOL uçak türü vardır:
  1. Rotor döndüren sistemler;  
Bell Boeing V-22 Osprey ve Bell V-280 Valor
  2. Yönlendirilmiş jet itekli sistemler;  
Harrier Jump Jet ailesi ve F-35



*Örnek Görsel:* Bell Boeing V-22 Osprey

# Elektrikli VTOL Hava Araçları

- Elektrikli tahrik sayesinde dikey iniş kalkış yapan hava araçlarında büyük gelişme, çeşitlenme ve atılım kaydedilmiştir.

eVTOL: *Electric Vertical Take-Off and Landing*

Kaynak: <https://en.wikipedia.org/wiki/EVTOL>  
<https://investor.vertical-aerospace.com/overview/default.aspx>  
VERTICAL-AEROSPACE VX4  
<https://vertical-aerospace.com/vx4/>



# Elektrikli VTOL Hava Araçları

- Pek çok eVTOL modeli uçuş için kanat kullanmamakla beraber, kanat ve çoklu pervaneleri bir arada kullanan daha verimli sistemler günümüzde ticari kullanım seviyesine gelmiştir.



# Elektrikli VTOL Hava Araçları

- Dikey iniş kalkış yapan ve yatayda yeterli hava hızına ulaşınca seyir uçuşunu kanatlardaki taşıma kuvveti ile gerçekleştiren uçak tipleri geliştirilmiştir.
- Bu tip uçakların, sivil-ticari uçuşları otonom olarak yapması planlanmaktadır.

Kaynak: <https://www.kittyhawk.aero/>



# Elektrikli VTOL Hava Araçları

*Örnek Görsel:*

İki koltuklu  
(Multirotor)  
Elektrikli  
Helikopter

*Volocopter 2X*

Kaynak:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Volocopter\\_2X](https://en.wikipedia.org/wiki/Volocopter_2X)

<https://www.volocopter.com/solutions/>



# Elektrikli VTOL Hava Araçları

## DEP (*Distributed Electric Propulsion*)

- Dağıtılmış elektrikli tahrik (DEP): Uçağın gövde ve kanatlarının herhangi bir yerinde birden fazla elektrikli kanallı fan (*ducted fan*) bulunur.
- DEP'nin diğer avantajları arasında çok daha iyi uçuş kontrolü ve emniyet yer alır: Elektrikli fanlardan birkaçı durursa, kalan fanlar uçağı indirebilir.



# Elektrikli VTOL Hava Araçları

## DEP (*Distributed Electric Propulsion*)

### Örnek Görsel:

Horizon Aircraft  
Cavorite X5

Kanatlar içine  
gizlenebilen fanlar ve  
hibrit motor tahrikli  
itki kullanılmıştır.

Kaynak:

<https://www.horizonaircraft.com/>

<https://evtol.news/horizon-aircraft-cavorite-x5>

<https://newatlas.com/aircraft/horizon-cavorite-evtol-prototype/>

<https://www.horizonaircraft.com/x5-aircraft/>



# Dron / İHA

Elektrik motorları ile uçuş yapan dronlar pek çok alanda kullanılmaktadır:

- Savunma sanayi ve askeri uygulamalar
- Lojistik ve kargo
- Tarım ve doğa
- Uzaktan algılama
- Arama ve kurtarma
- Keşif ve gözetleme
- Haberleşme
- Tanıtım, gösteri ve pazarlama
- İtfaiye
- Sürü operasyonları
- Sinema ve video çekim



# Dron / İHA

Sabit kanatlı, hareketli kanatlı ve bunların bir arada kullanıldığı sistemlerde, duruma göre genellikle 4, 6, 8, 12, 16 adet motorun yer aldığı, ihtiyaca göre şekillenen tasarımlar görülmektedir.

## Örnek Görseller:

Çeşitli dron/İHA konfigürasyonları

- Kurtarma amaçlı can simidi taşıyan
- Yangın söndürme bombası atan
- Sağlık malzemesi, aşı vb. taşıyan



# MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi

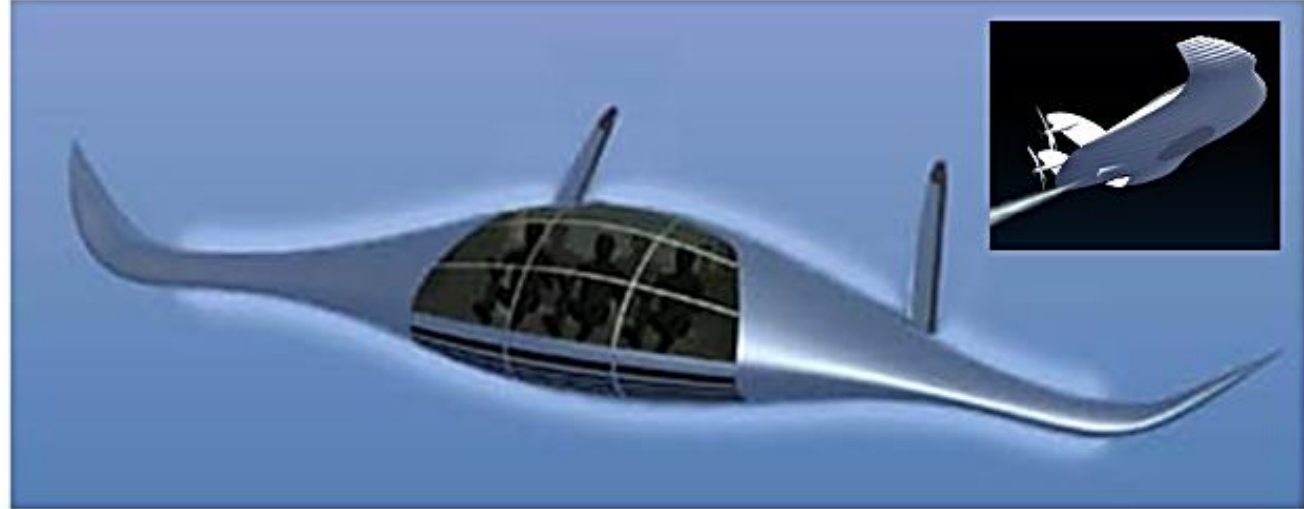
Ek Bilgi:

Havacılıkta Deneysel İtki Sistemleri

# Plazma Jet İtkisi (*Plasma Jet Propulsion*)

## - DENEYSEL SİSTEMLERDİR -

- Elektromanyetik esaslı bir 'de Laval Nozulu' ile oluşturulan plazma jeti tarafından itki sağlanır.

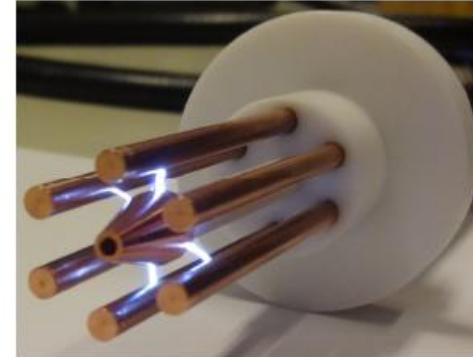


Hybrid flying wing with two 260 kW all-electric engines and distributed plasma jet propulsion.

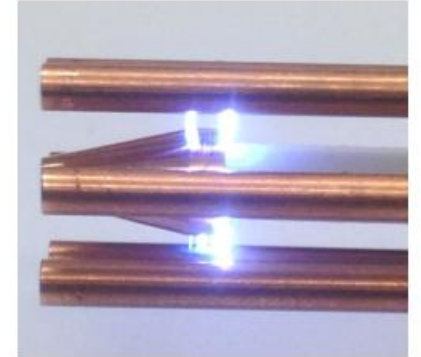
Kaynak: <https://www.electrofluidsystems.com/About-Us/Scientific-Publications>  
<https://www.electrofluidsystems.com/Systems/Plasma-Propulsion-Systems>



(a)



(b)

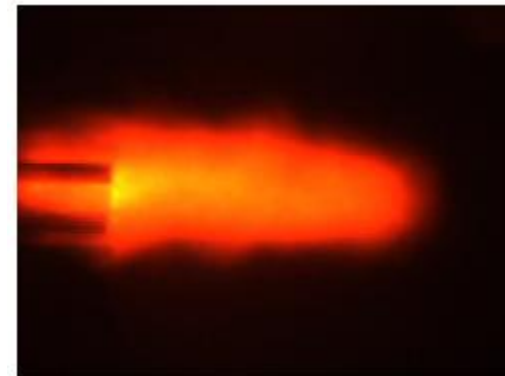
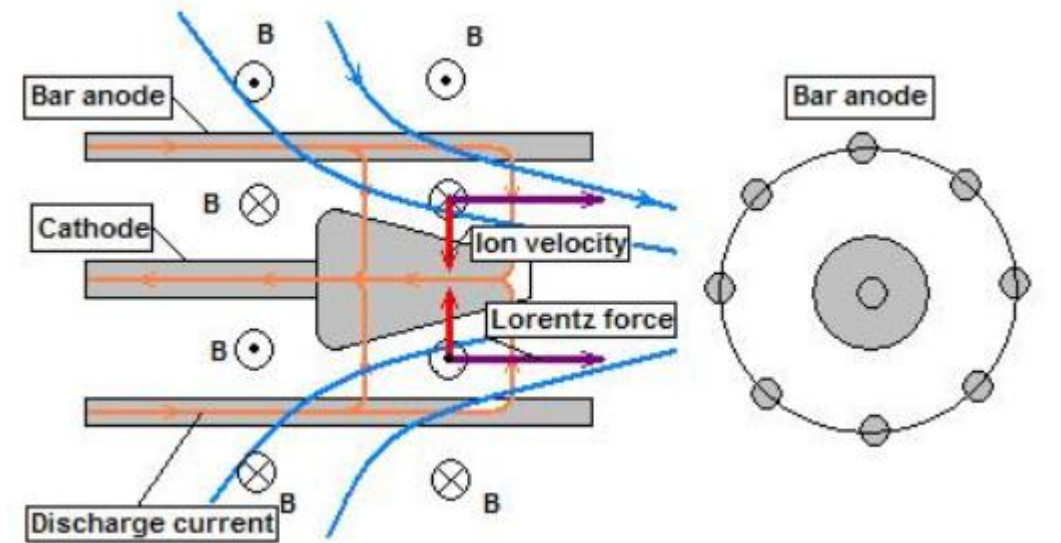


(c)

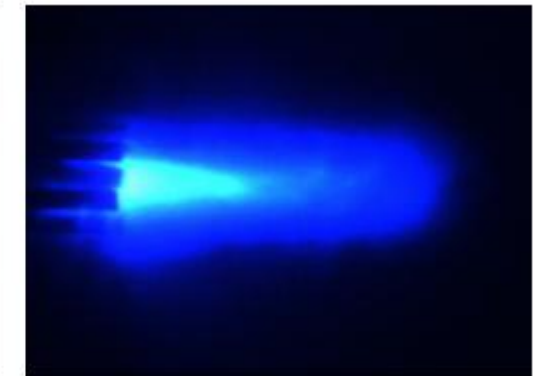
# Plazma Jet İtkisi (*Plasma Jet Propulsion*)

## - DENEYSEL SİSTEMLERDİR -

- Manyeto-plazma kompresörleri (MPC) tarafından üretilen yüksek hızlı plazma jetleri, süpersonik akış kontrolü ve hava soluyan tahrik için uygulanabilir.
- Koaksiyel (eş merkezli) elektrodlar ile elektromanyetik bir 'de Laval Nozulu' benzeri oluşturulur.
- Saniyede bin darbe ile çalıştırılan bu tür yeni, darbeli plazma tahrik sistemi, modern jet motorlarının itme/alan oranlarına ( $50\text{-}150\text{ kN/m}^2$ ) ulaşabilir. Bir dizi itici, gelecekteki uçakların ve hava araçlarının yerden başlayıp 50 km ve ötesine kadar irtifalara ulaşmasını sağlayabilir.



(a) 500 V, IR filter 680 nm,

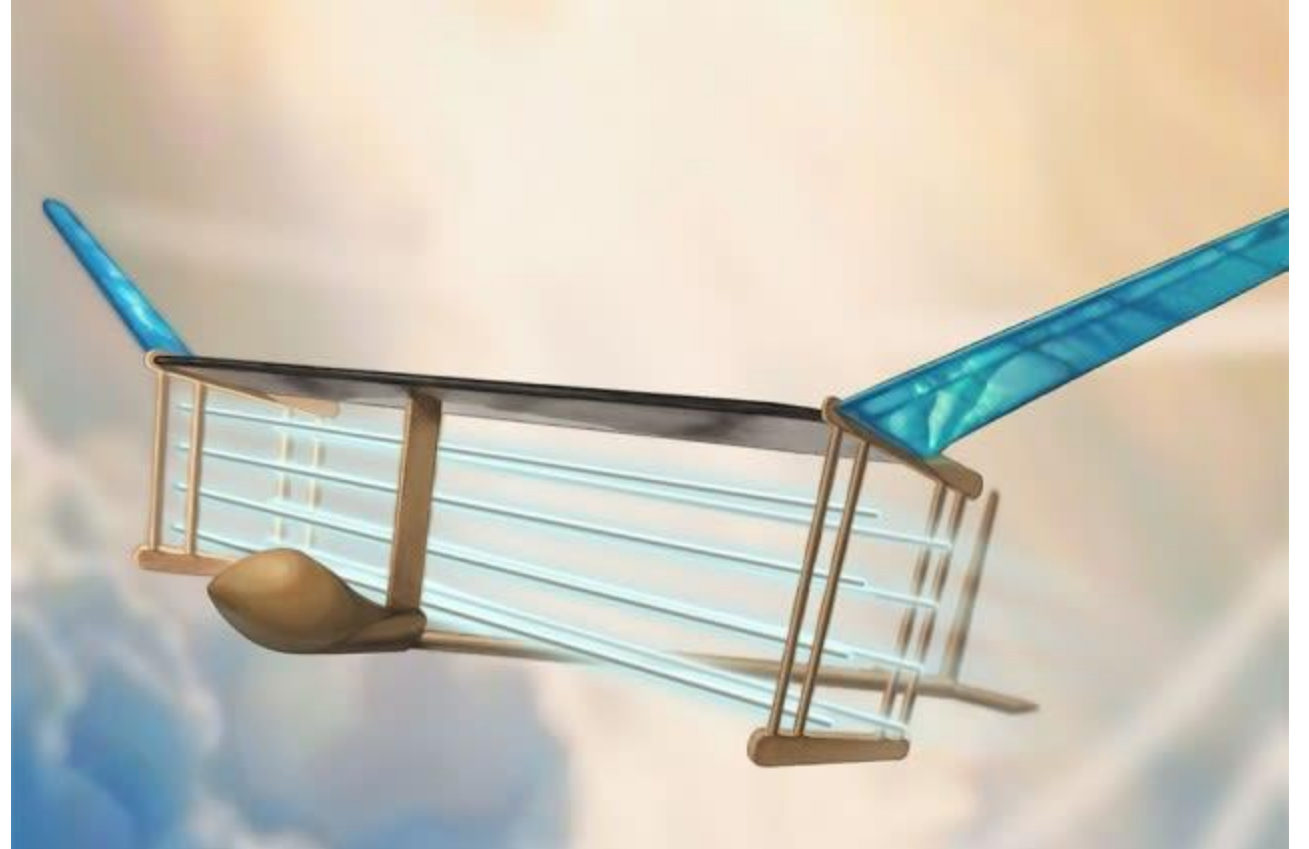


(b) 500 V, UV filter 480 nm.

# İyonize Hava Akımı İtkisi (*Ion-propelled aircraft*)

## - DENEYSEL SİSTEMLERDİR -

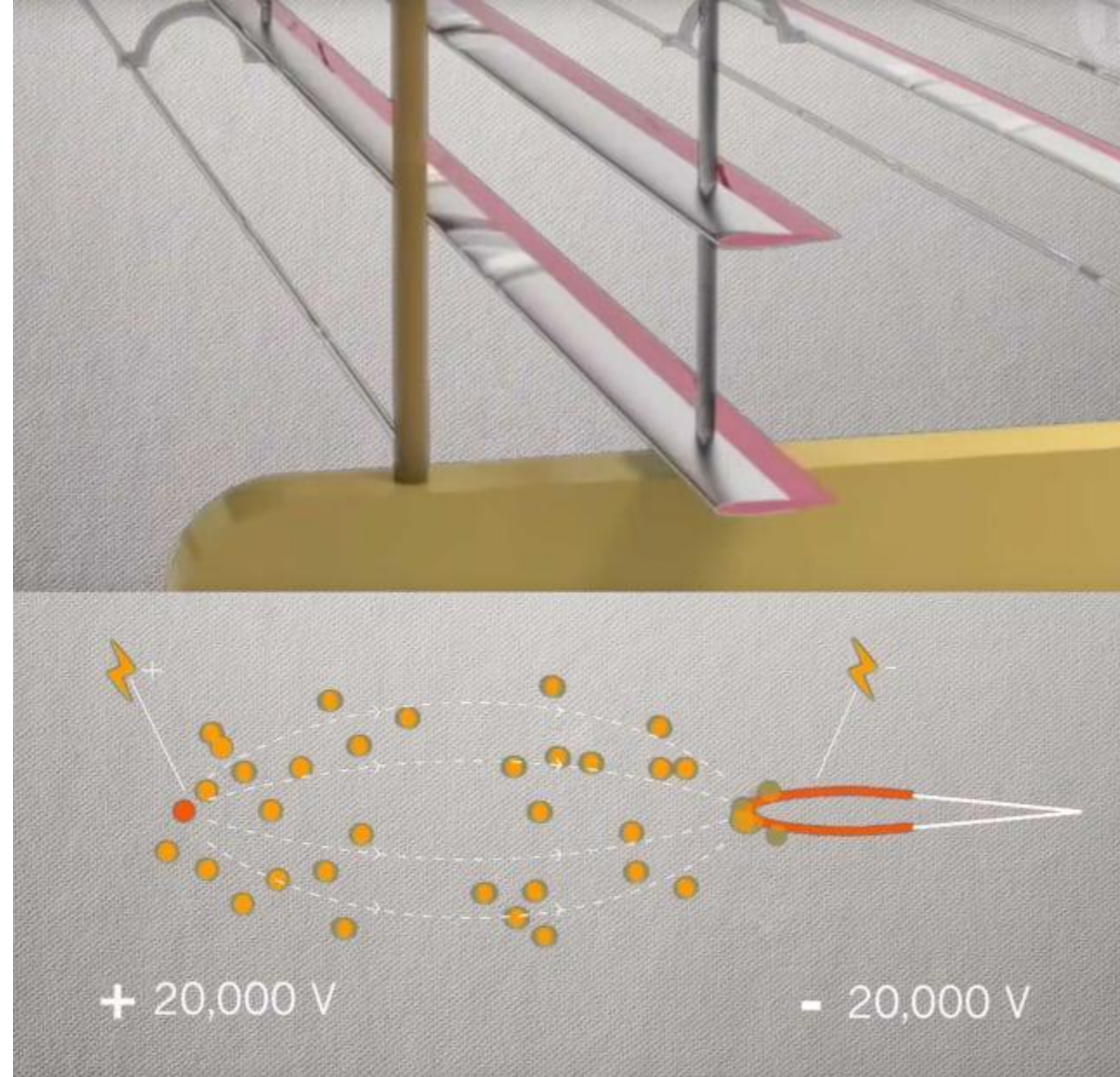
- Yüksek voltajlı elektrotların havayı iyonlaştırması ve uçağın arkasında hızlandırması esasına göre çalışır.
- Uçağın katı hal (*Solid State*) itme gücü (hareketli parça yoktur), elektro-aerodinamik itme kullanır.
- Temel prensip, havayı iyonize etmek ve ardından bu iyonize havayı hızlandırmak için elektrik alanları kullanmaktır.



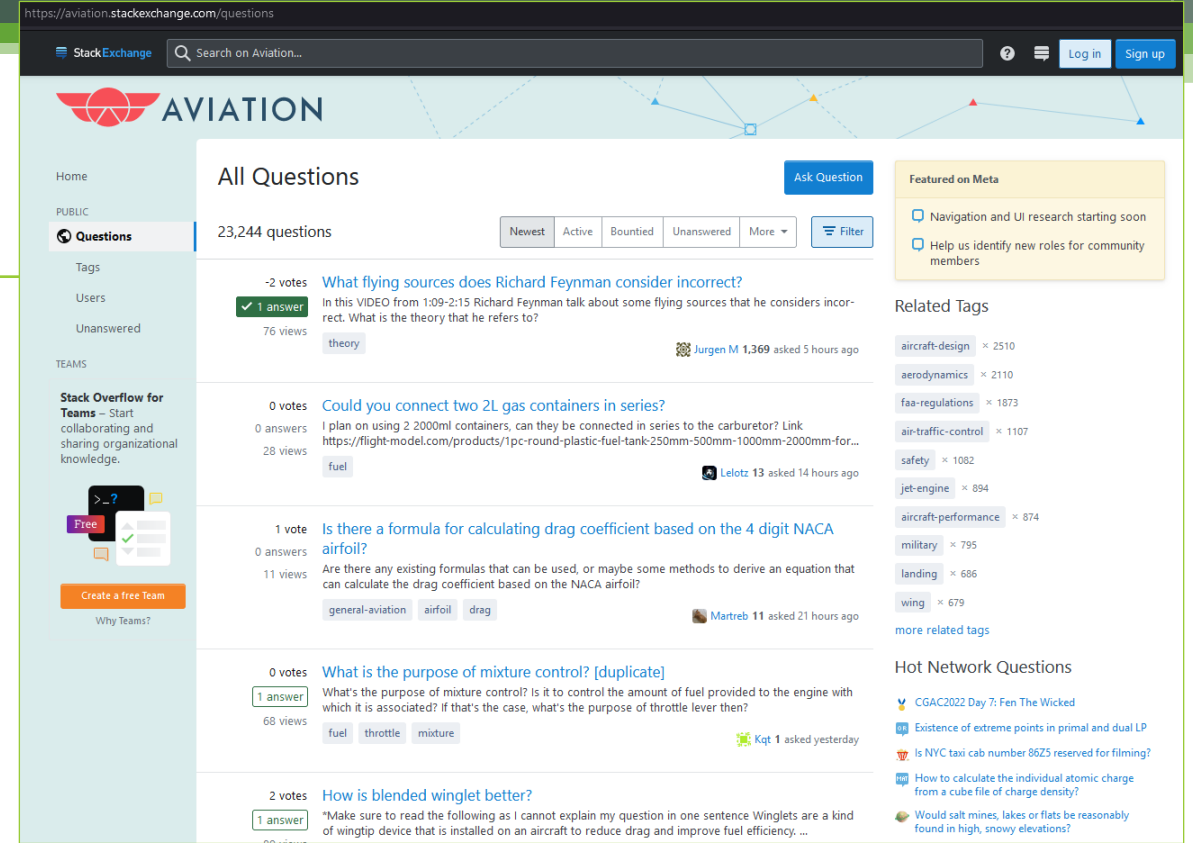
# İyonize Hava Akımı İtkisi

## - DENEYSEL SİSTEMLERDİR -

- İnce teller ve her bir telin arkasında bir kanat profili bulunan bir dizi elektrottan oluşur. İnce teller +20.000 V yüksek voltajda tutulur ve bu da havadaki nitrojenin telin etrafında iyonlaşmasına neden olur - pozitif yük, pozitif yüklü moleküller bırakarak negatif yüklü elektronları tam anlamıyla ayırır.
- Tellerin arkasındaki kanat profilleri -20.000 V olarak ayarlanmıştır, bu negatif yük pozitif iyonları çeker.
- İyonlar kanat profillerine doğru akarken, her iyon diğer milyonlarca hava molekülüyle çarpışarak iyonik rüzgar olarak bilinen bir hava akışı oluşturur.



# Kaynaklar: (web)



- AVIATION StackExchange \*
- <https://aviation.stackexchange.com/>  
Aviation Stack Exchange, uçak pilotları, teknisyenleri ve meraklıları için bir soru-cevap sitesidir.

\*(Tavsiye niteliğindedir)

# Kaynaklar: (web)

---

- **NASA – Glenn Research Center / Engines \***
- <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/UEET/StudentSite/engines.html>
- **NASA – Glenn Research Center / Beginner's Guide to Propulsion \***
- <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/bgp.html>
- [https://global.kawasaki.com/en/energy/equipment/gas\\_turbines/outline.html](https://global.kawasaki.com/en/energy/equipment/gas_turbines/outline.html)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Radial\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Radial_engine)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Flat\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Flat_engine)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/V\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/V_engine)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Straight-four\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Straight-four_engine)
- <https://www.scientificamerican.com/article/silent-and-simple-ion-engine-powers-a-plane-with-no-moving-parts/>
- <https://robbreport.com/motors/aviation/this-flying-saucer-electric-flying-taxi-2925948/>
- [https://www.researchgate.net/publication/308107457\\_First\\_Breakthrough\\_for\\_Future\\_Air-Breathing\\_Magneto-Plasma\\_Propulsion\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/308107457_First_Breakthrough_for_Future_Air-Breathing_Magneto-Plasma_Propulsion_Systems)
- <https://www.stm.com.tr/tr/cozumlerimiz/taktik-mini-ihha-sistemleri>
- <https://www.dasal.com.tr/>

# Kaynak Kitaplar: (.pdf)

---

- **Uçak Bilgisi ve Uçuş İlkeleri (T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 3301)**  
E-ISBN 9789750628139 / (Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 2164)
- <https://ets.anadolu.edu.tr/storage/nfs/HIS201U/ebook/HIS201U-16V1S1-8-0-1-SV1-ebook.pdf>
- **Uçuş Teorisi ve Temel Uçak Bilgisi / Ünite: 9 – Uçak Güç Sistemleri**  
Atatürk Üniversitesi AÖF Ders Notları - Uzm. Murat Topçu
- **Pervane – Ders Notu / Öğr. Gör. Tahir Soyugüzel**
- [https://gavsispanel.gelisim.edu.tr/Document/tsoyuguzel/20190617145651861\\_ac520170-9f78-4d16-979e-69b2d029c039.pdf](https://gavsispanel.gelisim.edu.tr/Document/tsoyuguzel/20190617145651861_ac520170-9f78-4d16-979e-69b2d029c039.pdf)
- **TEK MOTORLU BİR İHA İÇİN PERVANE PERFORMANS VE İTKİ HESABI**  
V. ULUSAL HAVACILIK VE UZAY KONFERANSI / UHUK-2016-074 / Coşkun TUNCA - Mehmet Şerif KAVSAOĞLU
- <http://uhuk.org.tr/bildiri.php?No=UHUK-2016-074>