

Okan Üniversitesi MYO

MUTK111

HAVACILIK ve UÇAK BİLGİSİ

Ders Yürütücüsü:

Öğr. Gör. Eren Kayaoğlu

eren.kayaoglu@okan.edu.tr

Ders **10**

Havacılık ve Uçak Bilgisi

Ders Sunumları (.pdf) + Kaynaklar

<http://okanuni.eren.xyz>

Web adresinden indirebilirsiniz.

BAŞLIKLAR

- Hava Hızı
- Mach Sayısı
- Ölçüm Araçları
 - Pitot-Statik Sistem
 - TAT Probu
 - AoA Probu
- Uçuş Kontrol (Kumanda)

MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi

Temel Kavramlar



Hava Hızı / Mach Sayısı / Uçuş Kumanda

MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi

Uçak Operasyonlarında Genel Kavramlar

Hava Hızı / Mach Sayısı / Ölçüm Araçları

Uçak Operasyonlarına Ait Genel Tanımlar

- Havadan ağır araçlar olan uçakların performansları motor gücüne, gövde yapısına, ağırlığa ve kanat tasarımına bağlı olarak değişir.
- Bir uçağın uçabilmesi için hareket etmesi gerekir. **Hava hızı**, uçağın birim zamanda hava içindeki hareket miktarıdır. Hava hızı uçak performanslarının en temel fiziki parametresidir.
- **Ağırlık**, uçağın ilk tasarımından itibaren servisten çıkışına kadar göz önüne alınması gereken önemli bir değerlendirme faktörüdür.
- Büyük kapasiteli (kargo, yolcu) ve süpersonik uçaklarda ağırlık bilgileri ve ağırlık değişimi önemli bir faktör olarak göz önünde bulundurulmalıdır.
- Uçakların dış görünüşü olarak ince, zarif ve aerodinamik şekilli ve hafif olmaları istenir. Aynı zamanda yapısal olarak çok dayanıklı olmaları gerekmektedir.

MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi

Uçak Operasyonlarında Genel Kavramlar

Hava Hızı

Operasyon Hızları / Hava Hızı

- Havadan ağır bir cismin, havada belli bir irtifada tutunabilmesi ve hava içerisinde hareket edebilmesi uçuşma olarak tanımlanır. Uçuşmanın tanımından anlaşılabacağı üzere bir uçağın uçuşabilmesi için hareket etmesi gerekir. Birim zamandaki hareket miktarına hız denir.
- **Hava hızı**, uçağın birim zamanda hava içindeki hareket miktarıdır. **Hava hızı uçak performanslarının en temel fiziki parametresidir.**

Operasyon Hızları / Hava Hızı Ölçümü

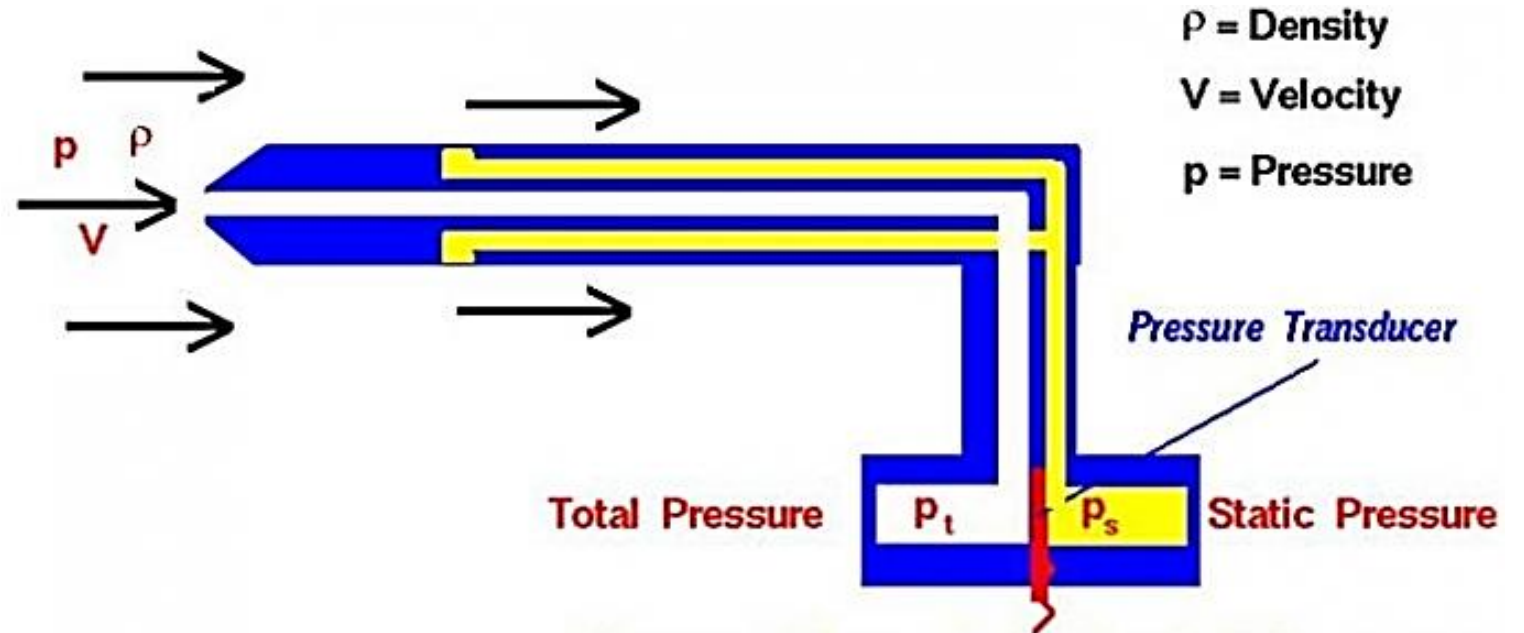
- Hava araçlarında **hız ölçümü için kullanılan sistemlerden biri de pitot-statik sistem**dir. Sistem, hava aracının maruz kaldığı hava basıncını ölçmek amacıyla kullanılan bir **pitot tüpü** ve statik hava basıncını ölçmek amacıyla kullanılan **statik portlar**dan oluşur.
- Sistemin çalışma prensibi, pitot tüpünde ölçülen basınç değerinin sürat saatine iletilmesine dayanır. İletilen bu basınç değeri dinamik hava basıncı veya çarpma basıncı olarak adlandırılır.
- Statik portlar çoğunlukla uçak gövdesinin yan tarafına yerleştirilir. Statik portlar atmosfer basıncının asgari bozulmayla ölçülmesinde kullanılır. Ölçülen bu atmosfer basıncı değeri, doğrudan kokpitte bulunan hava sürati göstergesi, dikey sürat göstergesi ve altimetre gibi çeşitli göstergelere iletilir.

Hava Hızı Ölçümü / Pitot Tüpü

- Pitot tüpü, statik ve dinamik basınç ölçümünde kullanılır. (Pitot-Static Tube / Prandtl Tube)
- Ölçülen dinamik basınç, hız ile orantılı olduğundan hava hızı ölçümünde de kullanılır.

(Kaynak: NASA GRC web site

<https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/pitot-static-tube-speedometer/>)



Bernoulli's Equation:

static pressure + dynamic pressure = total pressure

$$\left(p_s + \rho \times \frac{V^2}{2} \right) = p_t$$

Solve for Velocity:

$$V^2 = \frac{2(p_t - p_s)}{\rho}$$

Measure difference in total and static pressure

Hava Hızı Ölçümü / Pitot Tüpü ve Statik Port



- *Örnek Görsel:* Pitot tüpleri (a) ve statik portların (b) uçak üzerindeki yerleri

Operasyon Hızları / Hava Hızı

- **Gösterge Hava Hızı (Indicated Airspeed – IAS)**

Hava hızı göstergesinden okunan irtifa ve hava sıcaklığı gibi etkenlere karşı düzeltilmemiş hız değeridir.

- **Kalibre Hava Hızı (Calibrated Airspeed – CAS)**

Uçağın hücum açısı, flap konfigürasyonları, yer etkisinin varlığı veya yokluğu, rüzgâr yönü gibi uçuşu etkileyen parametreler özellikle statik basıncın ölçümünde hatalara neden olur. Kalibre hava hızı, uçağın pitot statik sistem tarafından meydana gelen pozisyon ve alet hatalarının düzeltilmesi ile elde edilen hava hızıdır.

- **Eşdeğer Hava Hızı (Equivalent Airspeed –EAS)**

Uçağın ilgili irtifa için adyabatik sıkıştırılabilir akış düzeltmesi yapılmış kalibre hava hızıdır. Eşdeğer hava hızı standart atmosferde, deniz seviyesinde kalibre hava hızına eşittir.

- **Gerçek Hava Hızı (True Airspeed – TAS)**

Uçak hareketini hava kütlesi içerisinde yaparken, hava da yere göre hareket etmektedir. Uçağın bozulmamış havaya göre hızı olan gerçek hava hızı, 'Eşdeğer Hava Hızı'nın yoğunluk düzeltmelerinin yapılmasıyla elde edilir. Gerçek hava hızı eşdeğer hava hızının izafi hava yoğunluğunun kareköküne bölümüne eşittir.

- **Yer Hızı (Ground Speed - GS)**

Uçağın yere göre olan hızıdır. Gerçek hava hızında rüzgâr düzeltmesi yapılmasıyla elde edilir.

Operasyon Hızları

Hava Hızı

Gösterge Hava Hızı

- (Indicated Airspeed – IAS)

Kalibre Hava Hızı

- (Calibrated Airspeed – CAS)

Eşdeğer Hava Hızı

- (Equivalent Airspeed –EAS)

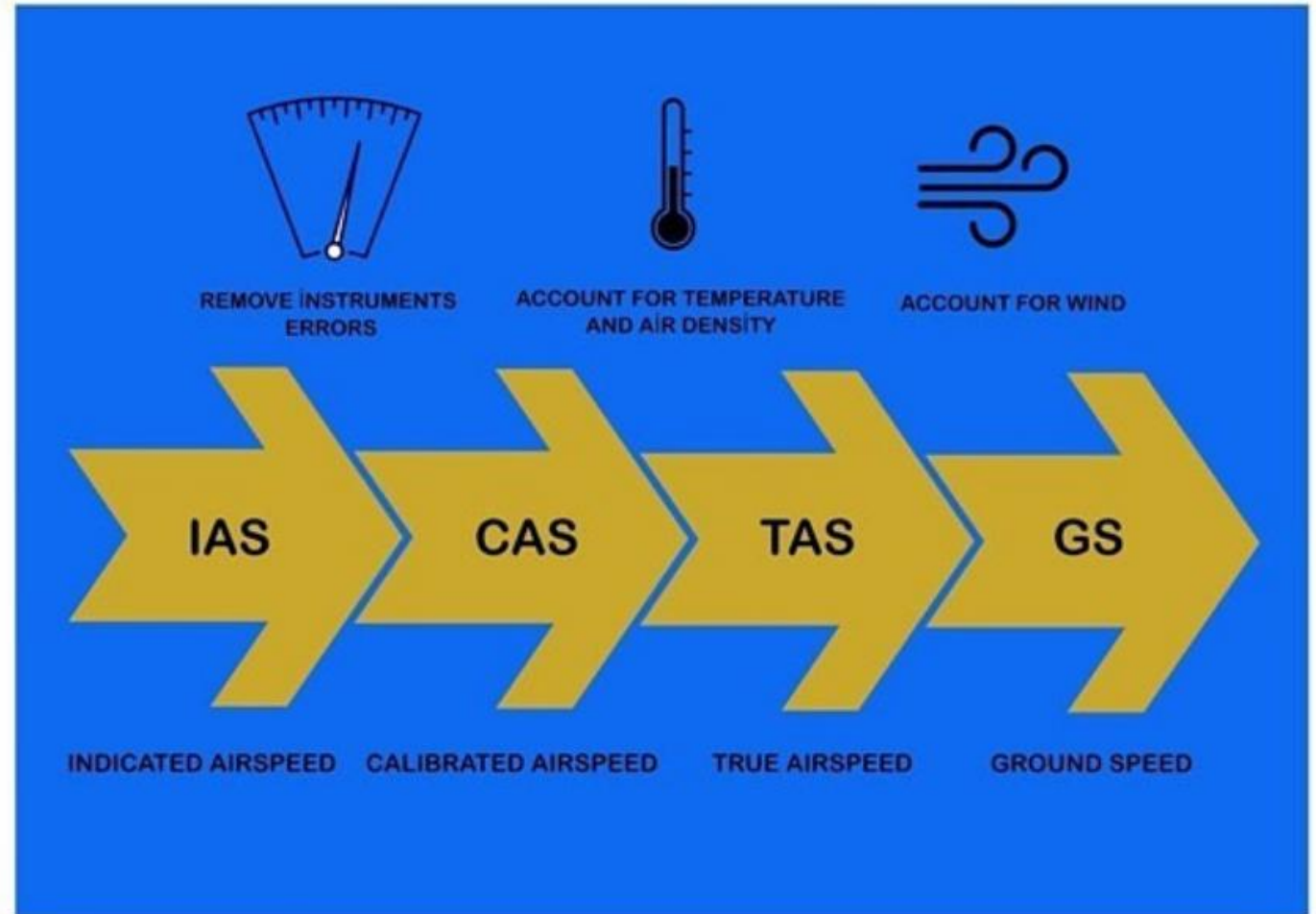
Gerçek Hava Hızı

- (True Airspeed – TAS)

Yer Hızı

- (Ground Speed - GS)

IAS – CAS – EAS – TAS – GS - Speed Definitions



EAS: Equivalent airspeed (EAS) is defined as the speed at sea level, under ISA conditions, that would produce the same incompressible dynamic pressure that is produced at the true airspeed and the altitude at which the vehicle is flying.

Hava Hızı / *Pitot-Static Tube*

- Pitot-statik sistem**, bir sıvının hızındaki artışın aynı anda sıvının basıncında düşüşe veya sıvının potansiyel enerjisinde azalmaya neden olması gerektiğini belirten **Bernoulli Denklemi** ilkesine göre çalışır:

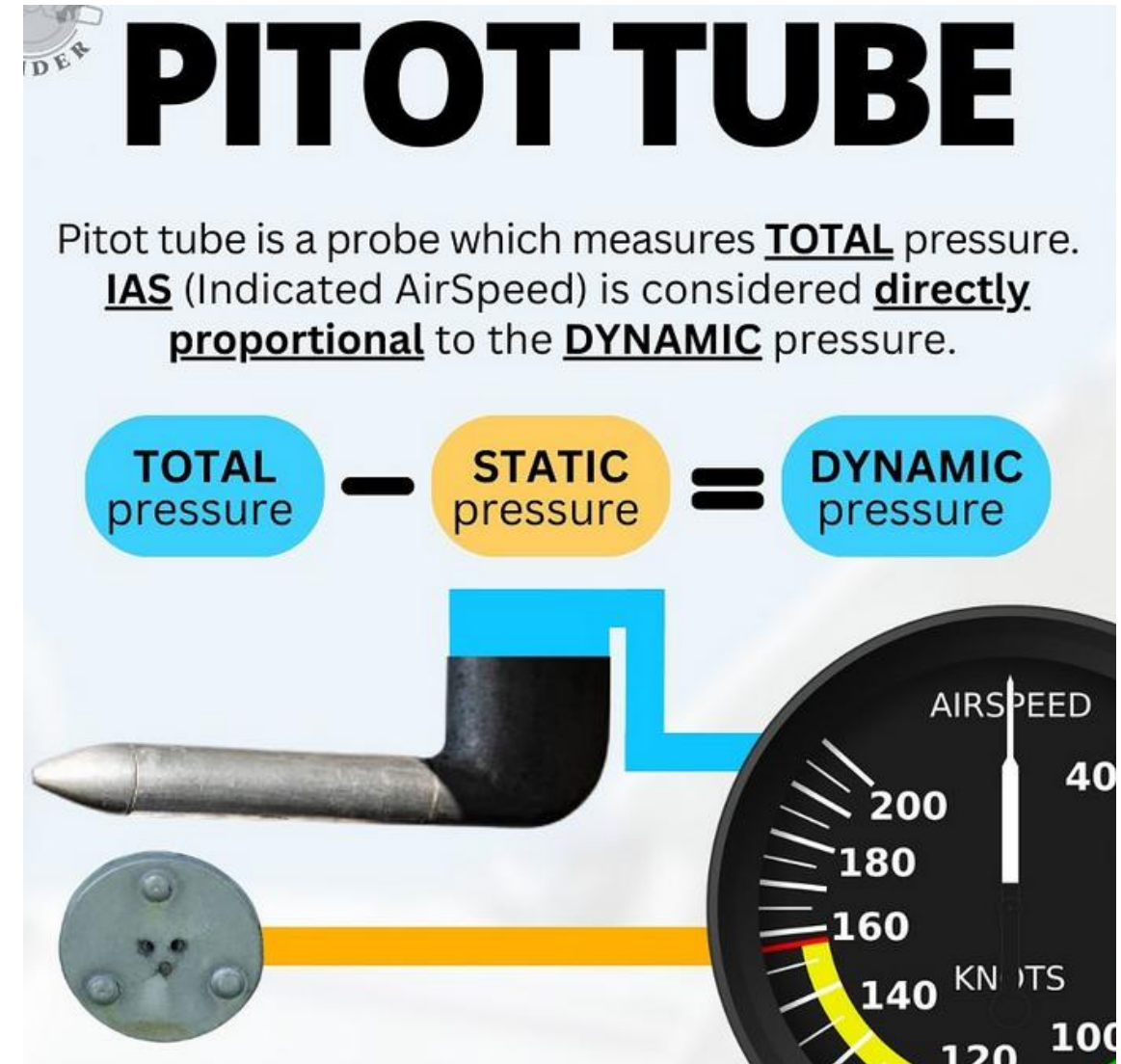
The diagram illustrates Bernoulli's Equation, showing the sum of three energy components equals a constant. Each component is represented in a colored box with its name and formula:

- Static Pressure** (Blue box): Labeled **Pressure Energy** below and **Fluid Pressure** with an arrow pointing to the symbol P above.
- Dynamic Pressure** (Orange box): Labeled **Kinetic Energy** below. The formula $\frac{\rho}{2} V^2$ is inside. Arrows point from **Density** to ρ and **Velocity** to V .
- Hydrostatic Pressure** (Green box): Labeled **Potential Energy** below. The formula $\rho g h$ is inside. Arrows point from **Density** to ρ , **Elevation** to h , and **Gravitational Acceleration** to g .

The equation is shown as: $P + \frac{\rho}{2} V^2 + \rho g h = \text{constant}$

Hava Hızı / *Pitot-Static Tube*

- Toplam basınçtan statik basıncın çıkarılması ile bulunan dinamik basınç değeri hava hızının belirlenmesinde kullanılır.



Hava Hızı / *Indicated Airspeed*

- Belirtilen hava hızı, pilotların hava hızı göstergesinde (AirSpeed Indicator - ASI) gördüğü hava hızı okumasıdır ve uçaktaki **pitot-statik sistem** tarafından yönlendirilir. Sistem, bir hava hızı okumasına dönüştürülen dinamik basıncı belirlemek için toplam basınç (pitot probu tarafından ölçülen) ve statik basınç (statik portlar tarafından ölçülen) arasındaki farkı kullanır.

$$P_{Static} + P_{Dynamic} = P_{Total}$$

$$P_{Static} + \cancel{\rho gh} + \frac{1}{2}\rho V^2 = P_{Total}$$

Static Pressure Dynamic Pressure Total Pressure

ρgh : Change in height along the streamline is negligible.

ρ : Air density.

V : Aircraft velocity (airspeed).

Kaynak: <http://aerotoolbox.com/airspeed-conversions/>

Hava Hızı / *Indicated Airspeed*

- Toplam basınç (durgunluk basıncı veya pitot basıncı olarak da bilinir) pitot probu ile ölçülür. Hareketli hava sondaya girer ve sondanın geometrisi tarafından hareketsiz hale getirilir. Ölçülen statik basınç, uçağın mevcut irtifasındaki havanın barometrik basıncı olan durgun havanın ortam basıncıdır. Statik basınç sadece hava hızını hesaplamak için değil aynı zamanda uçuş sırasında irtifa (altimetre) ve dikey hızı (vertical speed - VSI) hesaplamak için kullanılır. Statik portlar her zaman aynı hizada kurulur, bu da port açıklığının havanın hareket etmediği sınır tabakasının içinde olmasını sağlar. Bu nedenle hava hızı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$IAS = \sqrt{\frac{2 (P_{TOTAL} - P_{STATIC})}{\rho_0}}$$

IAS: Indicated Airspeed

ρ_0 : Density of Air in Standard Atmosphere (1.225 kg/m³)

Kaynak: <http://aerotoolbox.com/airspeed-conversions/>

Hava Hızı / *Indicated Airspeed*

- Paydadaki yoğunluk terimi sabit değildir; irtifa ve sıcaklığa göre değişir. Ancak kokpitteki hava hızı göstergesi her zaman **standart bir günde deniz seviyesi yoğunluğuna** göre kalibre edilir (standart atmosfer). Bu nedenle, uçak daha yüksek irtifalarda ve farklı sıcaklıklarda uçtuğu için gerçek hava hızı (gerçek hava hızı) belirtilen hava hızından önemli ölçüde değişecektir.
- Kokpitte IAS kullanmanın en büyük avantajı, irtifa veya ortam sıcaklığından bağımsız olarak uçağın her zaman aynı belirtilen hava hızında (belirli bir uçak konfigürasyonu için) stall olacak olmasıdır. Bu, çalışma zarfını tanımlayan kritik hızlar, ortam koşullarından bağımsız olarak aynı kaldığından, bir pilotun uçağı uçurmasını çok daha kolay hale getirir.

$$IAS = \sqrt{\frac{2 (P_{TOTAL} - P_{STATIC})}{\rho_0}}$$

IAS: Indicated Airspeed

ρ_0 : Density of Air in Standard Atmosphere (1.225 kg/m³)

Kaynak: <http://aerotoolbox.com/atmcalc/>

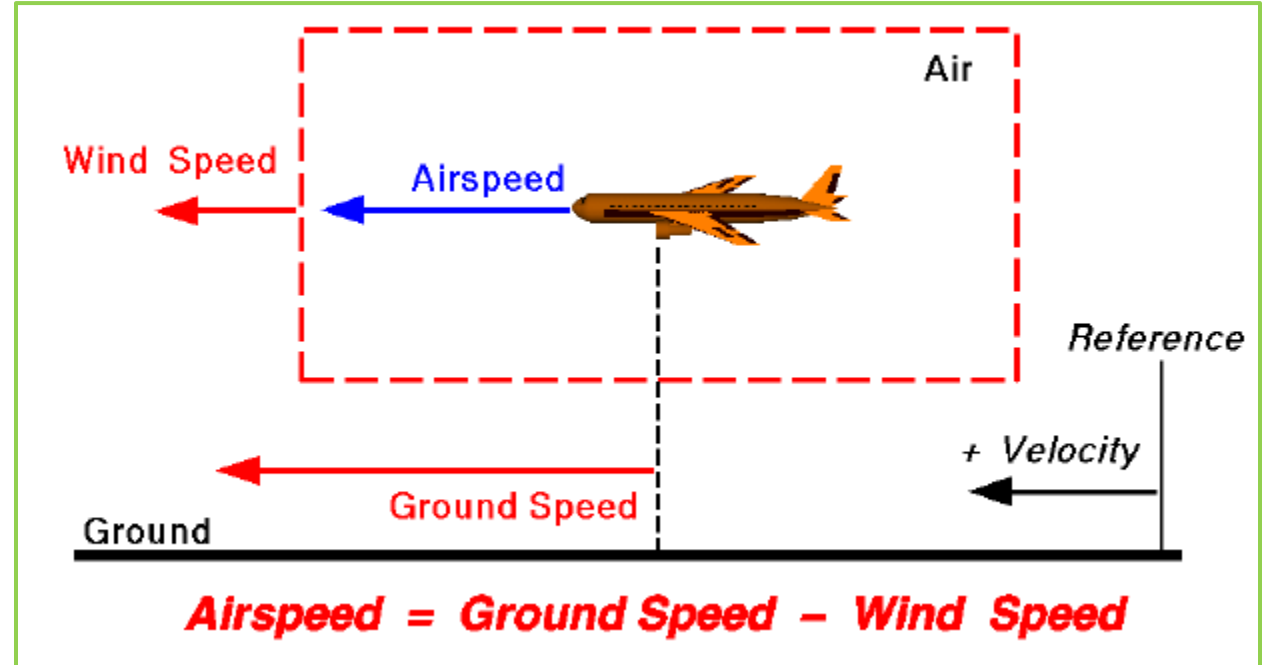
Hava Hızı

- Aerodinamik kuvvetler, bir akışkan (sıvı veya gaz) içinde hareket eden bir nesne tarafından üretilir. Durgun bir sıvıdaki sabit bir nesne, aerodinamik kuvvetler oluşturmaz. (Sıcak hava balonları, aerodinamik kuvvetler değil, kaldırma kuvvetleri nedeniyle "kalkar".) Kaldırma oluşturmak için bir nesnenin havada hareket etmesi veya havanın nesnenin üzerinden akması gerekir. [Bazı uçaklar (Harrier gibi) aracı "kaldırmak" için motor itiş gücü kullanır. Bu aerodinamik kaldırma değildir.]
- Aerodinamik kaldırma, nesne ile hava arasındaki hızın karesine bağlıdır. Sadece nesne havada hareket etmekle kalmaz, aynı zamanda havanın kendisi de hareket eder. Hızı doğru bir şekilde tanımlamak için sabit bir referans noktası seçmek ve sabit noktaya göre hızları ölçmek gerekir. Takip eden slaytta, referans noktası yere sabitlenmiştir, ancak aynı kolaylıkla uçağa da sabitlenebilir. Rüzgar hızı ile yer hızı ve hava hızı arasındaki ilişkileri anlamak önemlidir.

Hava Hızı

- Bağlı Hızlar (*Relative Velocities*)
Referans Yer

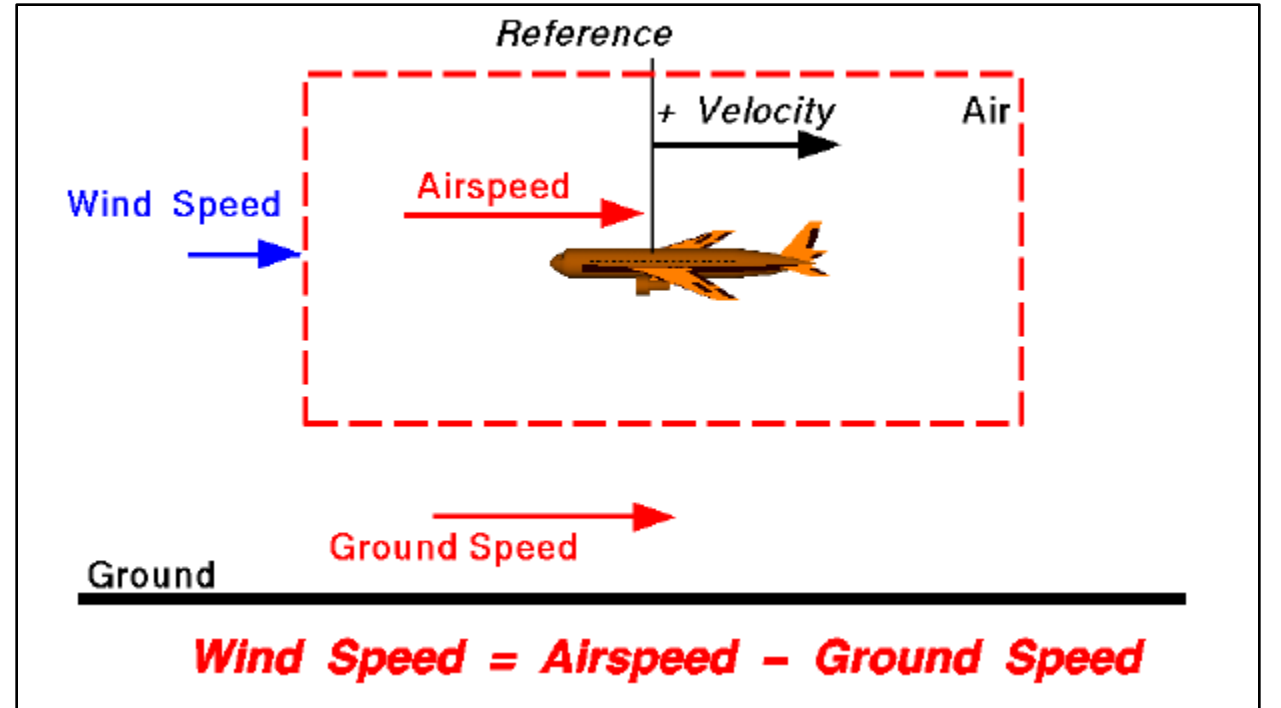
Hava Hızı = Yer Hızı – Rüzgâr Hızı



Hava Hızı

- Bağlı Hızlar (*Relative Velocities*)
Referans Noktası Uçak

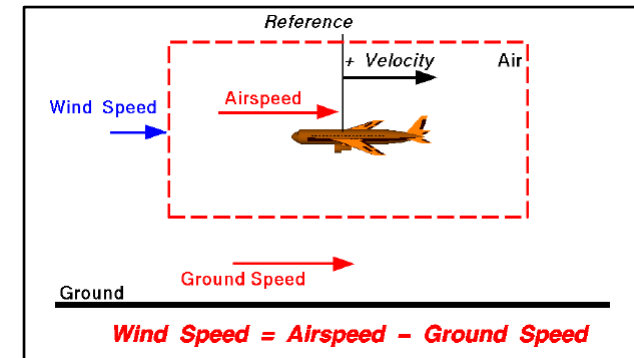
Rüzgâr Hızı = Hava Hızı – Yer Hızı



Kaynak: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/move2.html>

Hava Hızı

- Aerodinamik kuvvetler, havada hareket eden bir nesne tarafından üretilir. Örneğin aerodinamik taşıma (kaldırma), nesne ile hava arasındaki hızın karesine bağlıdır.
- Sadece nesnenin havada hareket etmekle kalmaması, aynı zamanda havanın kendisinin de hareket etmesi kafa karıştırıcı olabilir. Hızı doğru bir şekilde tanımlamak için sabit bir referans noktası seçmek ve sabit noktaya göre hızları ölçmek gerekir.
- Önceki slaytta, referans noktası uçağa sabitlenmiştir (*aircraft reference*), ancak aynı kolaylıkla yere de sabitlenebilir.

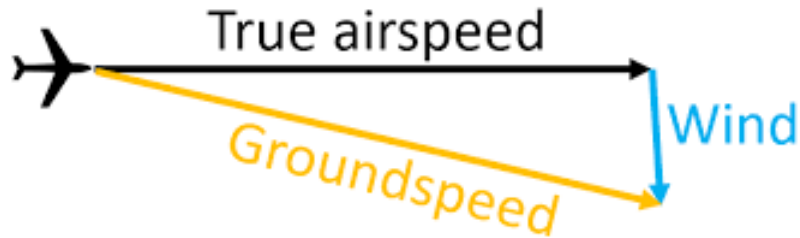


Hava Hızı

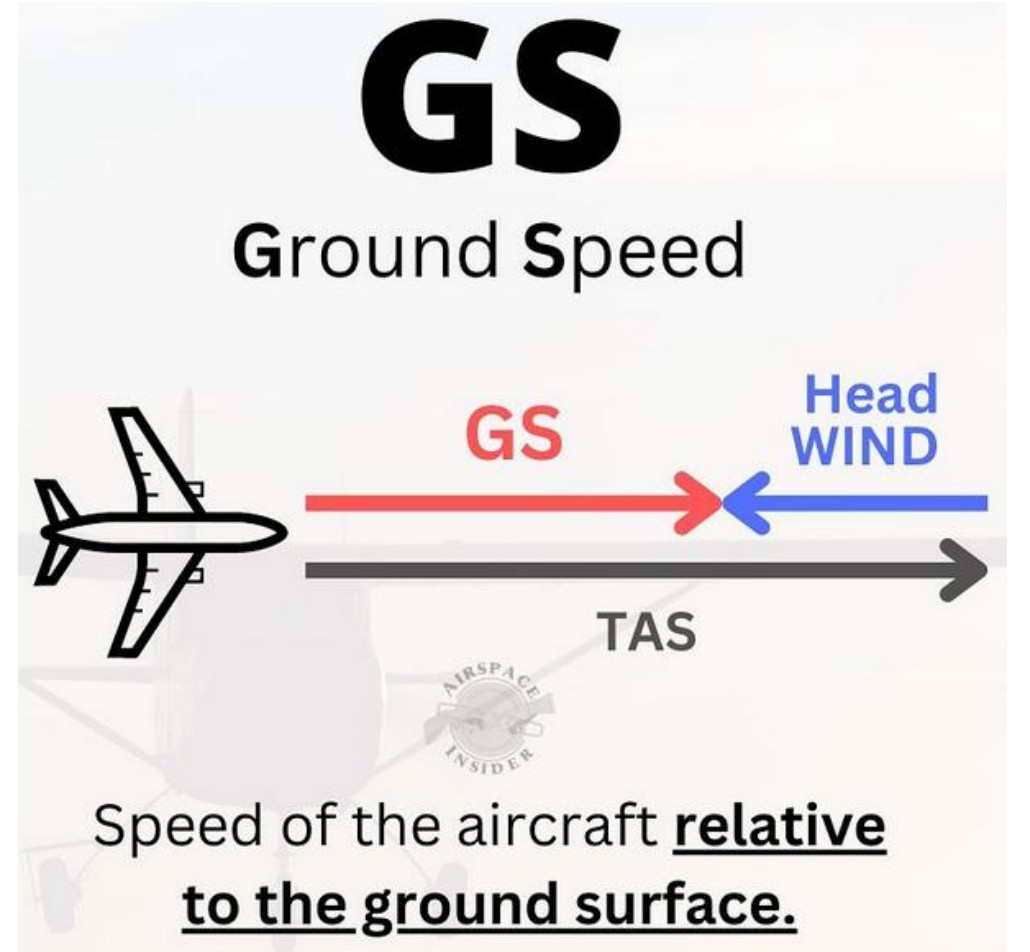
- Taşıma oluşumundaki önemli etken, **nesne ile hava arasındaki bağıl hız**dır. Nesne üzerinde seçilen bir referans noktası için hava, hava hızında referans noktasına göre hareket eder. Hava hızı bir vektör büyüklüktür ve hem şiddeti hem de yönü vardır.
- Pozitif bir hız, uçağın kuyruğuna doğru olarak tanımlanır. Hava hızı, bir pitot tüpü kullanılarak uçakta doğrudan ölçülebilir. Uçaktan, zemin, yer hızı adı verilen bir hızda arkaya doğru hareket ediyor gibi görünecektir. Yine bu bir vektörel büyüklüktür.
- Uçağın içinde uçtuğu hava üç yönde de hareket edebilir. Bu şekilde, sadece uçağın uçuş yolu doğrultusundaki hızları dikkate alıyoruz ve uçuş yoluna dik fakat yere paralel olan çapraz rüzgarları ve yere dik olarak meydana gelen yukarı ve aşağı çekişleri ihmal ediyoruz. Uçaktan rüzgar hızını doğrudan ölçemeyiz, ancak rüzgar hızını yer hızı ve hava hızından hesaplamalıyız. Rüzgar hızı, hava hızı ile yer hızı arasındaki vektör farkıdır. Tamamen durgun bir günde rüzgar hızı sıfırdır ve hava hızı yer hızına eşittir. Ölçülen hava hızı gözlemlenen yer hızından büyükse, rüzgar hızı pozitiftir.

Hava Hızı

- Uçak ile hava arasındaki bağıl hız önemlidir.
- Örneğin, uçak gidiş yönüne zıt yönde bir baş rüzgarı varsa (*head wind*), göstergedeki hava hızından rüzgar hızını çıkarıp yer hızını (*GS*) bulabiliriz.
- Hava hızı vektörel bir büyüklüktür ve hem şiddeti hem de yönü vardır.



- Yer hızı, Gerçek Hava Hızı (TAS) ve rüzgar hızının vektörel toplamıdır.



Hava Hızı

What actually differs **TAS** from **IAS** which is displayed on a typical Airspeed Indicator?

If the density of air molecules was everywhere the same, TAS would simply equal IAS at all times.

However, as we climb higher (or when temperature rises), there are less and less air molecules.

And then, although the aircraft flies with the same speed, less pressure is created (less air molecules enters the pitot tube), and the typical ASI would display smaller speed.

That's why we use TAS to correct for those errors.



- Gerçek hava hızı, uçağın içinde hareket ettiği hava kütesine göre olan hızıdır.
- TAS ve IAS değerlerinin eşit olmama nedeni, irtifa ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak hava basıncı ve havadaki molekül sayısının değişmesi; molekül sayısının azalmasıyla pitot tüpüne giren molekül miktarının azalması ve ASI 'nin bundan ötürü daha küçük değer göstermesidir.
- IAS değerinin düzeltilmesi ile TAS değeri elde edilir.

TAS

True AirSpeed

Speed of the aircraft relative to the airmass through which it is flying.



Hava Hızı

Örnek:

- Rüzgarsız bir günde 100 mil hızla kalkabilen bir uçağımız olduğunu varsayalım (kalkış hızı 100 mil). Şimdi, rüzgarın batıya doğru 20 mil ile estiği bir gün olduğunu varsayalım. Uçak Doğu'ya doğru havalanırsa, 20 mil/saatlik bir rüzgar (yüzünüze doğru rüzgar) alır. Pozitif bir hız kuyruğa doğru olarak tanımlandığından, ters rüzgar pozitif olacaktır.
- Uçak pistte hareketsiz dururken, yer hızı 0 ve hava hızı 20 mph (rüzgar hızı (20) = hava hızı (20) - yer hızı (0)). Kalkışta, hava hızı 100 mph, rüzgar hızı 20 mph ve yer hızı 80 mph olacaktır (rüzgar hızı (20) = hava hızı (100) - yer hızı (80)). Uçak Batı'ya havalandıysa 20 mph kuyruk rüzgarı olurdu (arkanızdan rüzgar). Bu negatif bir rüzgar hızı verir. Kalkışta, hava hızı hala 100 mph, rüzgar hızı -20 mph ve yer hızı 120 mph olacaktır (rüzgar hızı (-20) = hava hızı (100) - yer hızı (120)). Bu nedenle, **rüzgar arkadayken havalanma koşullarını sağlamak için uçağın yer boyunca daha hızlı (ve daha uzağa) hareket etmesi gerekecektir.**

MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi

Uçak Operasyonlarında Genel Kavramlar

Mach Sayısı

Mach Sayısı

- Hava araçlarının hızlarının ölçümünde alışlagelen, mesafenin zamana oranı şeklindeki hız birimlerinden farklı olarak Mach sayısı adı verilen bir birim de kullanılır.
- Mach sayısı hava aracının hızının, aracın içinde uçtuğu atmosfer ortamındaki ses hızına oranı ile ifade edilen **boyutsuz bir hız birimidir**.
- Örneğin hava aracı ses hızının 589 kn olduğu 30.000 ft yükseklikte, 500 kn hız ile uçuyorsa, aracın Mach sayısı $500/589 = 0,85$ olur.
- Mach sayısı bağıl bir ölçü birimidir.

Mach Sayısı

- Bağıl bir ölçü birimidir.
- Objenin hava hızının yerel ses hızına oranıdır.

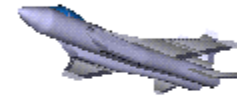
Kaynak: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/mach.html>

$$\text{ratio} = \frac{\text{Object Speed}}{\text{Speed of Sound}} = \text{Mach Number}$$

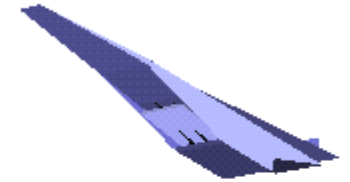


Subsonic
Mach < 1.0

Transonic
Mach = 1.0



Supersonic
Mach > 1.0

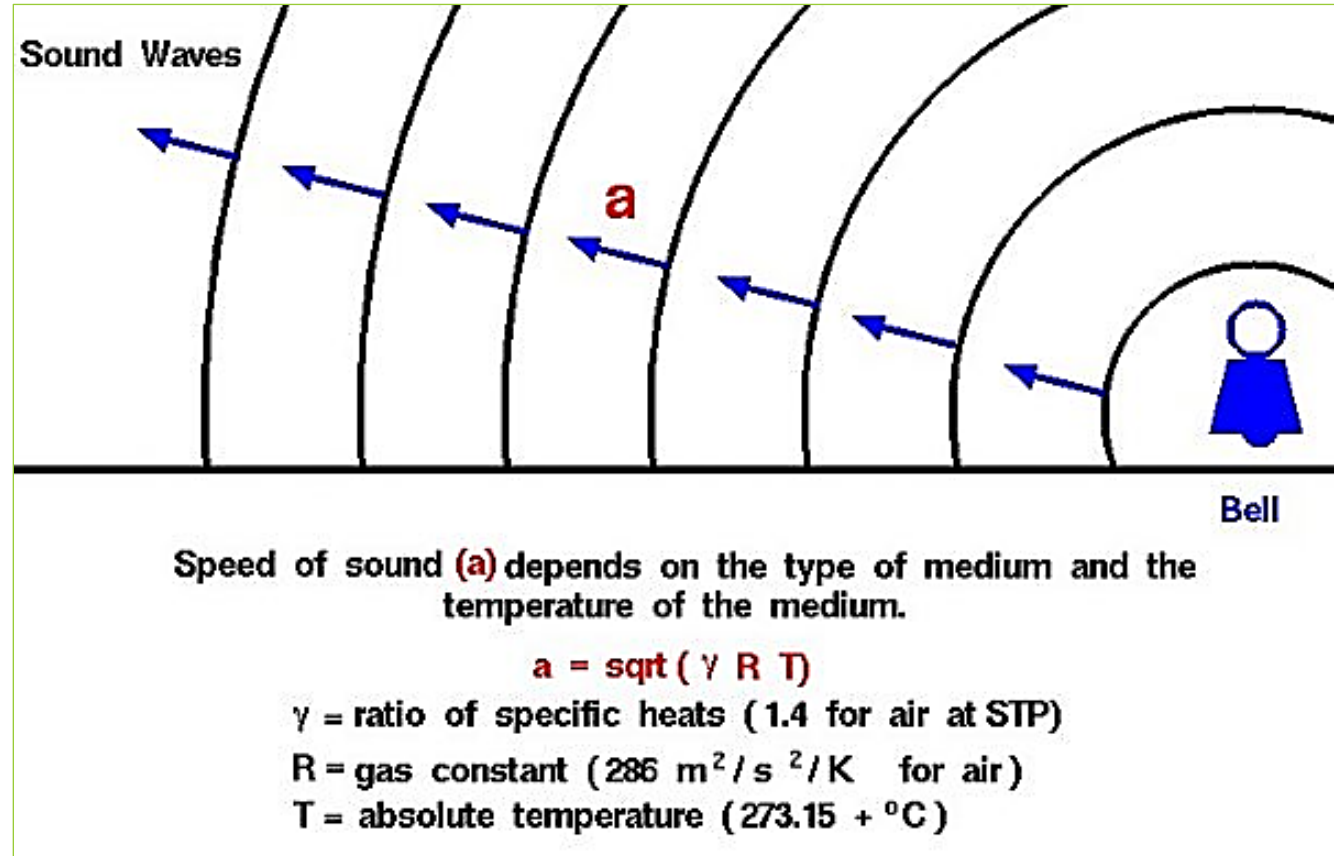


Hypersonic
Mach > 5.0

Mach Sayısı / Ses Hızı

- Belirli bir gaz içinde sesin hızı sabittir; sabitin değeri gazın türüne (hava, saf oksijen, karbondioksit vb.) ve gazın sıcaklığına bağlıdır.
- Kütle ve momentumun korunumuna dayalı bir analiz, ses hızının (a), özgül ısıların oranı gama (γ) ile gaz sabiti (R) ve sıcaklık (T [°K]) çarpımının kareköküne eşit olduğunu göstermektedir.

$$a = \sqrt{\gamma R T}$$



Mach Sayısı

- Mach sayısı iki hızın oranı olarak tanımlandığından boyutsuz nicelikte bir sayıdır. Mach sayısı 0,2-0,3 değerlerinden küçük ve akış yarı sabit ve izotermal ise, sıkıştırılabilirlik etkileri küçük olacaktır ve basitleştirilmiş sıkıştırılamaz akış denklemleri kullanılabilir.



Mach Sayısı

- Örneğin, deniz seviyesinde, 1 atm basınçta ve 15°C hava sıcaklığında
1 Mach = 1226,5 km/saat (340 metre/saniye) olarak belirtilir.
(Yerdeki ses hızı yüksek irtifalara oranla daha yüksek değerdedir.)
- Yerden yükseldikçe hava sıcaklığı düşer. Deniz seviyesinden 11 km yüksekliğe kadar (Stratosfer sınırına kadar) olan atmosfer tabakasına troposfer adı verilir. **Ses hızının karesi hava sıcaklığı ile doğru orantılı olarak değiştiğinden, yerden yükseldikçe ses hızı azalır.** Buna bağlı olarak da o yükseklikteki mach sayısı deniz seviyesine göre daha az olur.
- Örneğin, Stratosfer sınırında 11.000 metrede 1 Mach = 1062,2 km/saattir.

Kaynak: https://tr.wikipedia.org/wiki/Mach_say%C4%B1s%C4%B1

Mach Sayısı – İrtifa Tabloları

- Tablo Metrik Sistemdedir ve - 4.000 m'den 122.000 m'ye kadar olan yükseklikler için ses hızını 2.000 m'lik artışlarla saatte kilometre (km/h), saniyede metre (m/s) ve knot (kts) cinsinden göstermektedir.

Kaynak:

<https://aerospacweb.org/question/atmosphere/q0112.shtml>

Speed of Sound Values in the Atmosphere of Earth

	altitude 1000 m	Mach 1		
		km/h	m/s	kts
Troposphere	-4	1279.2	355.3	690.7
	-2	1252.4	347.9	676.2
	0	1225.0	340.3	661.5
	2	1197.1	332.5	646.4
	4	1168.5	324.6	631.0
	6	1139.2	316.5	615.1
	8	1109.2	308.1	598.9
	10	1078.3	299.5	582.2
Tropopause	12	1062.3	295.1	573.6
	14	1062.3	295.1	573.6
	16	1062.3	295.1	573.6
	18	1062.3	295.1	573.6
	20	1062.3	295.1	573.6
Stratosphere	22	1067.0	296.4	576.1
	24	1071.8	297.7	578.7
	26	1076.6	299.1	581.3
	28	1081.4	300.4	583.9
	30	1086.2	301.7	586.5
	32	1090.9	303.0	589.0
	34	1103.4	306.5	595.8
	36	1116.4	310.1	602.8
	38	1129.2	313.7	609.7
Mesosphere	40	1141.9	317.2	616.6
	42	1154.4	320.7	623.3
	44	1166.8	324.1	630.0
	46	1179.1	327.5	636.6
	48	1187.3	329.8	641.1
	50	1187.3	329.8	641.1
	52	1183.7	328.8	639.2
	54	1171.5	325.4	632.6
	56	1159.2	322.0	625.9
	58	1146.8	318.6	619.2
	60	1134.3	315.1	612.4
	62	1121.6	311.6	605.6
Thermosphere	64	1108.8	308.0	598.7
	66	1095.8	304.4	591.7
	68	1082.7	300.8	584.6
	70	1069.4	297.1	577.4
	72	1056.4	293.4	570.4
	74	1046.7	290.8	565.2
	76	1036.9	288.0	559.9
	78	1027.1	285.3	554.6
	80	1017.1	282.5	549.2
	82	1007.1	279.8	543.8
	84	997.0	276.9	538.3
	86	986.5	274.0	532.8
	88	986.5	274.0	532.8
	90	986.5	274.0	532.8
	92	986.8	274.1	532.8
	94	988.8	274.7	533.9
	96	992.9	275.8	536.1
	98	999.3	277.6	539.6
	100	1008.0	280.0	544.3
	102	1019.4	283.2	550.4
	104	1034.1	287.2	558.4
	106	1053.0	292.5	568.6
	108	1078.4	299.6	582.3
	110	1082.8	300.8	584.6
	112	1087.1	302.0	587.0
	114	1091.4	303.2	589.3
	116	1095.8	304.4	591.7
	118	1100.1	305.6	594.0
	120	1104.5	306.8	596.4
	122	1108.8	308.0	598.7
	124	-	-	-
	126	-	-	-

Mach Sayısı – İrtifa Tabloları

Atmosfer katmanlarında yukarı çıktıkça ses hızının değişimi:

- Azalan sıcaklık (mavi), sabit sıcaklık (yeşil) ve artan sıcaklık (kırmızı) bölgelerine bölünmüştür.

Kaynak: <https://aerospaceweb.org/question/atmosphere/q0112.shtml>



Atmospheric Region	Altitude			Speed of Sound Behavior
	miles	1000 feet	kilometers	
Exosphere	310.7	1640.4	500.0	Undefined
Thermosphere	55.9	295.3	90.0	Increasing
Mesopause	53.4	282.2	86.0	Constant
Mesosphere	31.9	168.7	51.4	Decreasing
Stratopause	29.4	155.3	47.4	Constant
Stratosphere	12.5	65.8	20.1	Increasing
Tropopause	6.8	36.2	11.0	Constant
Troposphere		sea level		Decreasing

Mach Sayısı – İrtifa İlişkisi ($V = M \cdot a$)

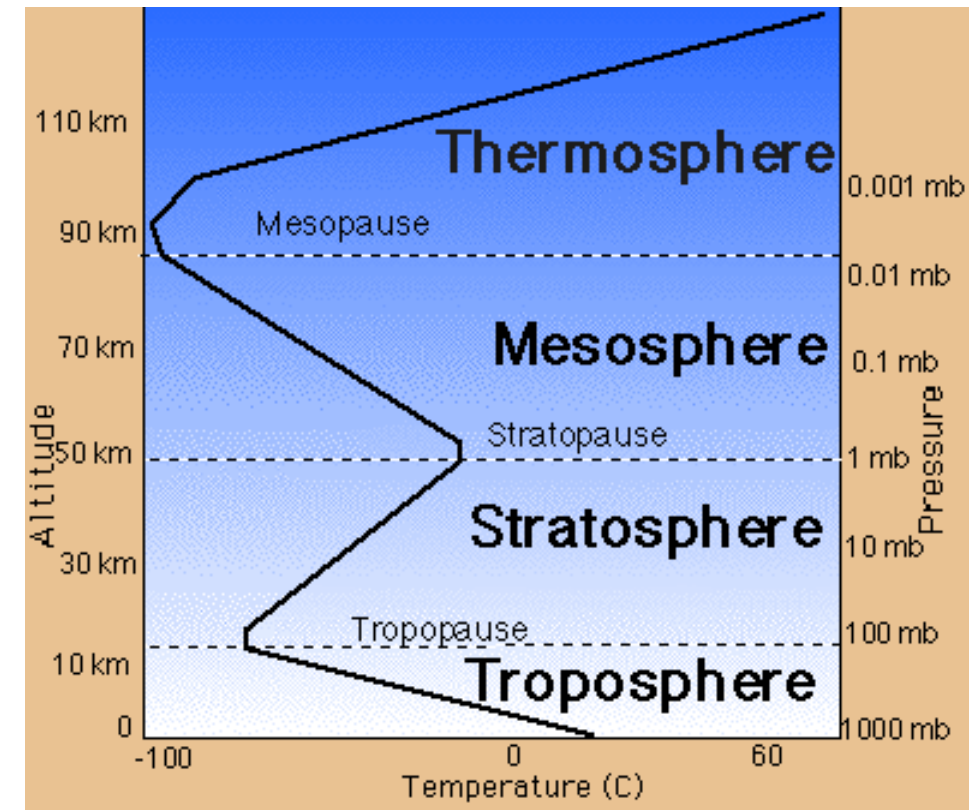
Atmosferin katmanları boyunca sıcaklığın değişimi:

- Herhangi bir irtifadaki (*altitude*) ses hızının katlarını bilmek istiyorsak, seçilen irtifadaki Mach 1 değerini istenen Mach sayısı ile çarpmak yeterlidir. Örneğin, deniz seviyesindeki Mach 5; 0 ft (0 m) yükseklikteki Mach 1 değerinin 5 katıdır. $\text{Mach } 5(\text{SL}) = 5 * (340,3 \text{ m/s}) = 1701,5 \text{ m/s}$

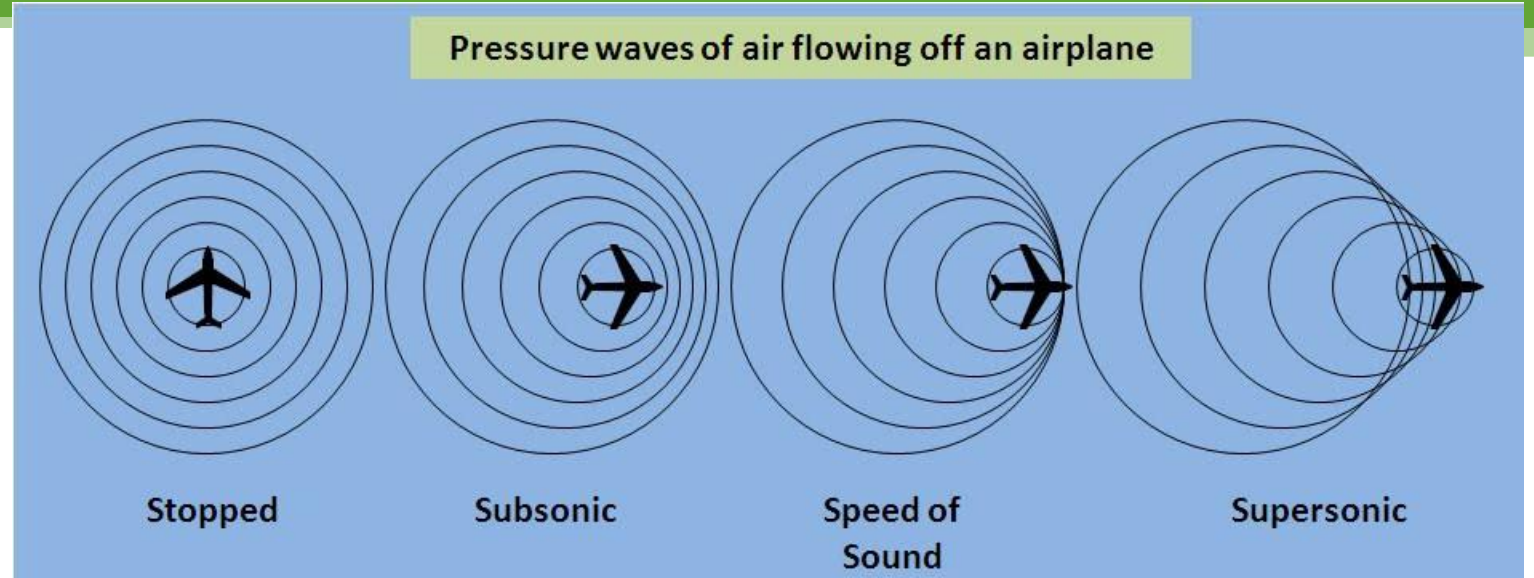
$$M = \frac{V}{a}$$

$$V = M \cdot a$$

Kaynak: <https://aerospacweb.org/question/atmosphere/q0112.shtml>



Mach Sayısı



- Mach sayısı, Avusturyalı fizikçi ve filozof Ernst Mach'ın adını taşır ve 1929'da havacılık mühendisi Jakob Ackeret tarafından önerilmiştir. Mach sayısı ölçü birimi yerine boyutsuz nicelik olduğundan, sayı birimden sonra gelir; iki birim Mach, 2 Mach yerine Mach 2'dir. (Ancak Türkçe kullanımında bu detay atlanarak 2 Mach olarak kullanıldığı görülebilir.)
- Ses altı ve süpersonik terimleri, en saf anlamıyla, sırasıyla sesin yerel hızının altındaki ve üzerindeki hızlara atıfta bulunurken, aerodinamikçiler genellikle Mach değerlerinin belirli aralıkları hakkında konuşmak için aynı terimleri kullanırlar.

Mach Sayısı / Hava Hızı

- Teorik olarak pilotların 28.000 feet'e ulaştıklarında hızın nasıl ölçüleceğini değiştirmelerine gerek yoktur. Belirtilen hava hızı geçerli bir ölçüm olmaya devam etmektedir ve hâlâ uçağın aerodinamik performansı için iyi bir genel göstergedir.
- Mach ölçeğine geçişin önemi, uçağın ses hızına göre ne kadar hızlı hareket ettiğini anlamak için daha kesin bir ölçüme sahip olmaktır.
- Uçakların tasarlanma şekli nedeniyle, uçağın hızı çok altında olsa bile kanadın bazı kısımları ses duvarına yakın olabilir veya onu aşabilir. Ticari bir uçakta ses hızına çok yakın uçmak çok büyük aerodinamik dirençler yaratır ve bunu yapmak genellikle güvenli değildir. Üreticiler bu nedenle Mmo adı verilen bir hız veya maksimum Mach operasyon hızı belirler. Bu hızın aşılması durumunda kanadın bazı kısımları Mach 1'e yaklaşabilir ve yapısal sorunlar yaşayabilir.

Mach Sayısı / Hava Hızı

- Belirtilen hava hızından Mach hızına geçiş genellikle 27.000 ila 28.000 feet (8534 m) arasında gerçekleşir çünkü burası iki hızın kesiştiği yerdir.
- Daha düşük irtifadaki bir uçak, daha yoğun havada çok daha fazla dirençle karşılaşır. Dolayısıyla o yükseklikte yapısal sınırları aşmadan ses hızına yakın herhangi bir yerde hızlanamaz.
- Yaklaşık 28.000 feet'te hava yoğunluğu, Mach ölçüm değerinin yapısal bütünlüğü korumaya ilişkin daha doğru veri sağlanmasına yetecek kadar düşüktür.

Mach Sayısı / Ses Hızı

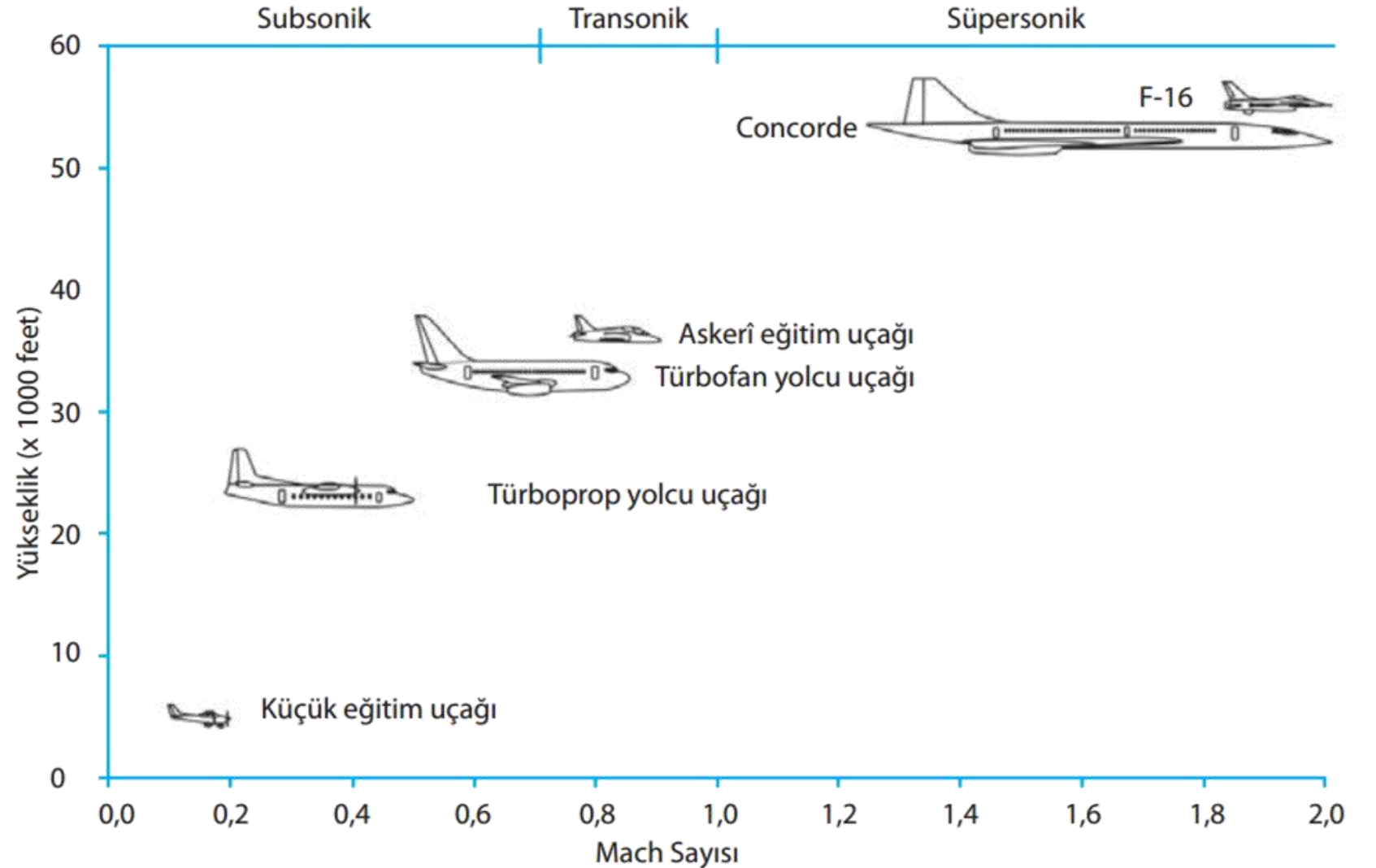
- Mach sayısının hesaplanması:

$$M = \frac{V}{c} = \frac{\text{Uçağın hava hızı}}{\text{Ses hızı}}$$

- **Ses hızı**, sesin içinde bulunduğu ortamdaki (irtifadaki) yayılma hızıdır.
- Ses, sesi çıkaran cismin içinde bulunduğu ortama uyguladığı basınçtır.

Mach Sayısı / Ses Hızı

- Uçakların Mach sayıları ve uçuş yükseklikleri



Mach Sayısı / Uçuş Hızı

	(Mach)	(knots)	(mph)	(km/h)	(m/s)
Sesaltı	<0,8	<530	<609	<980	<273
Transonik	0,8 –1,2	530 –794	609 –914	980–1,470	273–409
Süpersonik	1,2–5,0	794-3.308	915-3.806	1.470–6.126	410–1.702
Hipersonik	5,0–10,0	3.308–6.615	3.806–7.680	6.126–12.251	1.702–3.403

MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi

Uçak Operasyonlarında Genel Kavramlar

Ölçüm Araçları (*Probes*)

Ölçüm Araçları ve Sensörler

- Hava Hızı Ölçümü
 - Pitot Tüpü
 - Pitot Statik Sistemi
- TAT Sensörü
 - Sıcaklık Sensörü
- AOA Sensörü
 - Hücüm Açısı Sensörü

Ölçüm Araçları (*Probes & Sensors*)

- Uçaklara takılan tüm sensörler uçuş aletleri (*flight instruments*) içindir. Bunlara takometreler, motor sıcaklık göstergeleri, yakıt ve yağ miktarı göstergeleri, basınç göstergeleri, altimetreler, hava hızı ölçüm göstergeleri, dikey hız göstergeleri ve diğerleri dahildir.
- Yer testleri, uçuş testleri, titreşim, çevre, hücum açısı (AoA) ve statik sensörler bulunmaktadır.
- Ayrıca doppler radarları, yıldırım tespit radarları, arazi radarları, çarpışma önleyici uyarı sistemleri ve perdövites (*stall*) uyarı sistemleri de bulunmaktadır.
- Bu aletlerin ve kontrol sensörlerinin çoğu, kokpit göstergelerine ek sinyaller göndererek pilotları uygun eylem ve önlem almaları ve her türlü felaket veya kazayı önlemeleri konusunda bilgilendirir.

Ölçüm Araçları (*Probes & Sensors*)

- Uçak bilgisayar sistemleri, hava sıcaklığı problemleri, hücum açısı problemleri ve pitot-statik basınç sistemleri dahil olmak üzere çeşitli sensörlerden veri alır. Bu bilgisayarlar, bu sensörlerden gelen girdileri işler, telafi edici faktörleri uygular ve bilgileri kokpitteki ekranlara iletir. Pilotlar kokpitten sürekli olarak motorların ve ortamın durumunu izler.
- Farklı ticari uçaklar için binlerce sensör bulunmaktadır. Farklı nesil uçaklar, yüzlerce model ve marka, çok geniş ve kapsamlı bir kategorizasyon gerektirir. Burada, uçaklarda çeşitli amaçlarla kullanılan en yaygın sensörler ele alınmaktadır.

Kaynak: <https://www.electronicsforu.com/market-verticals/sensors-strength-aviation-aerospace>

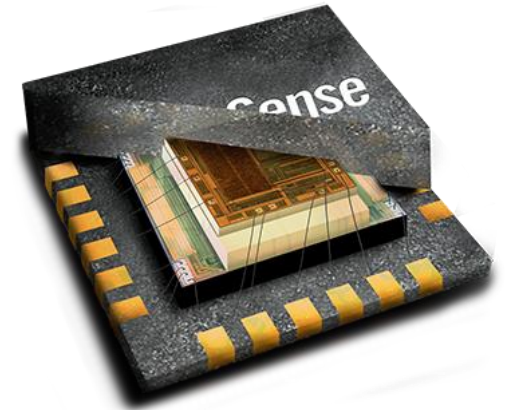
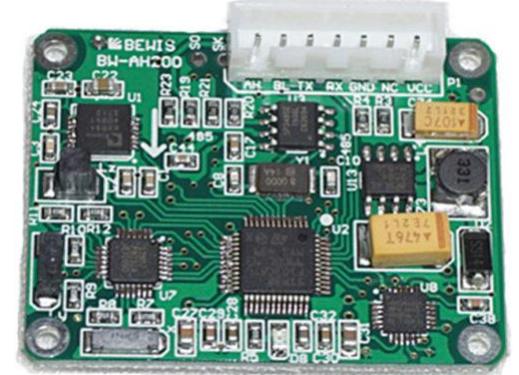
<https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=1614>

<https://electronics360.globalspec.com/article/9934/what-you-need-to-know-about-aircraft-sensors>

Ölçüm Araçları (*Probes & Sensors*)

Sensörler:

- Akış sensörleri (flow sensors)
- Basınç sensörleri (pressure sensors)
- Sıcaklık sensörleri (temperature sensors)
- Altimetreler (altimeters)
- Hava hızı göstergeleri (airspeed indicators)
- Pozisyon sensörleri (position sensors)
- Oksijen sensörleri (oxygen sensors)
- Kuvvet ve titreşim sensörleri (force and vibration sensors)
- Pusula ve magnetometreler (compasses and magnetometers)
- Jiroskoplar (gyroscopes)
- Devir göstergeleri (tachometers)
- Konum ve rota referans sistemleri (attitude heading and reference systems)



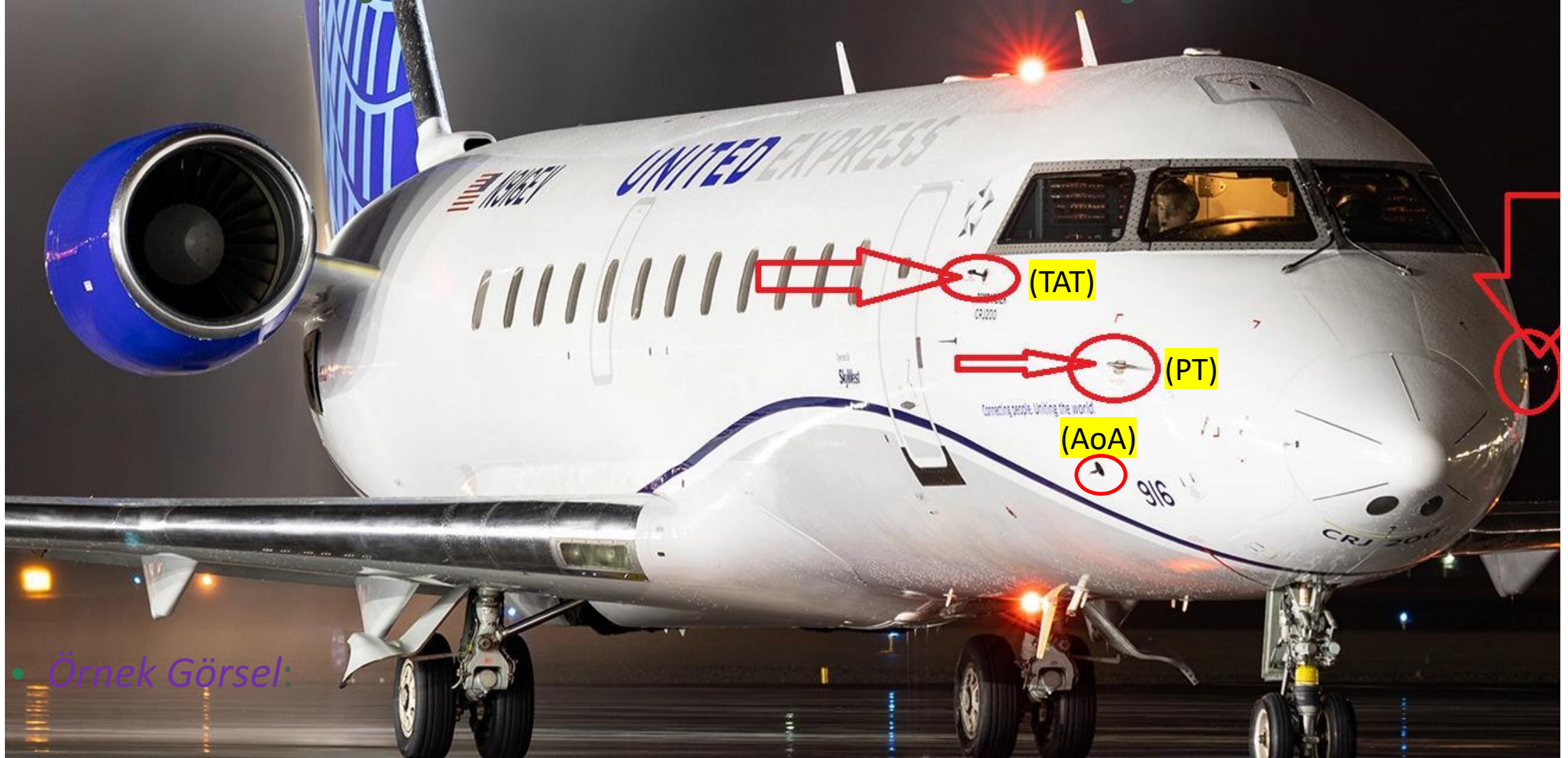
Ölçüm Araçları (Probes & Sensors)

Örnek Görsel:

- Pitot, TAT, AOA problemleri ve çeşitli antenlerin uçak üzerindeki yerleşimleri.
- Capt. ve F/O olmak üzere 2 adet olanlar görülmektedir.



Hava Hızı Ölçüm, Sıcaklık ve Hücum Açısı Problemleri



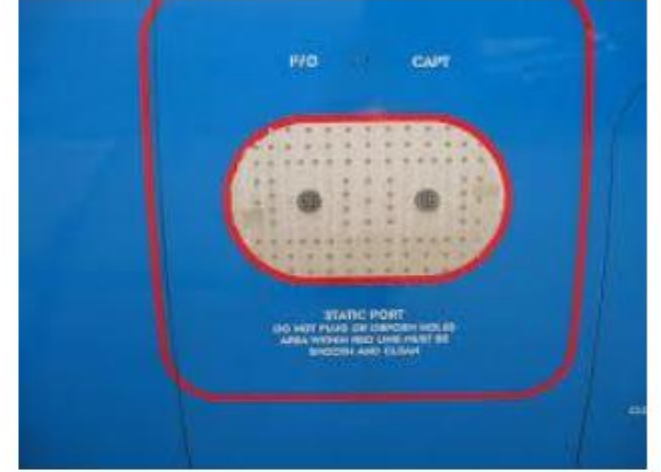
• Örnek Görsel:

Hava Hızı Ölçümü / Pitot-Statik Sistem

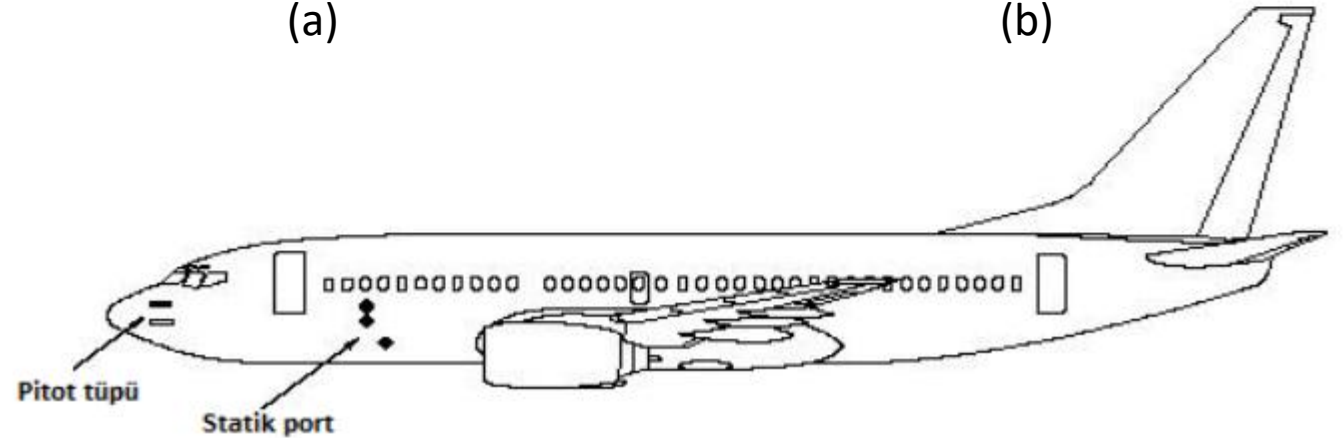
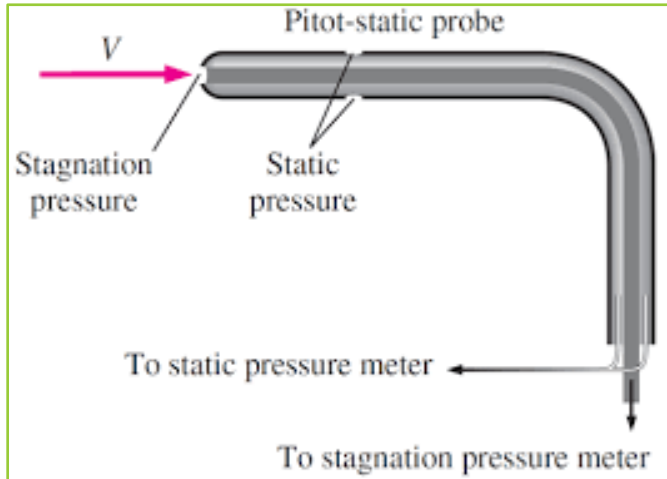
- *Örnek Görsele*: Pitot tüpü (a) ve statik portların (b) uçak üzerindeki yerleri



(a)



(b)

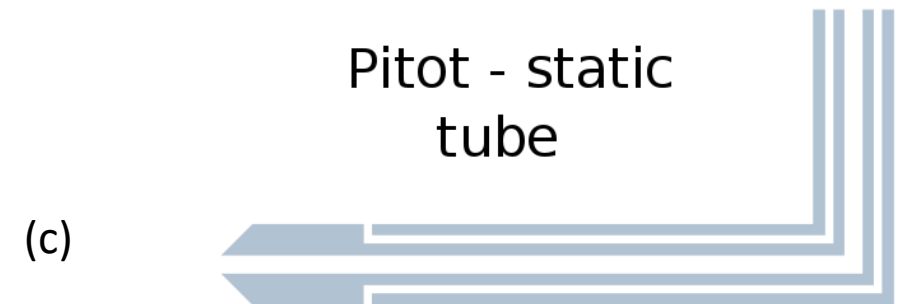
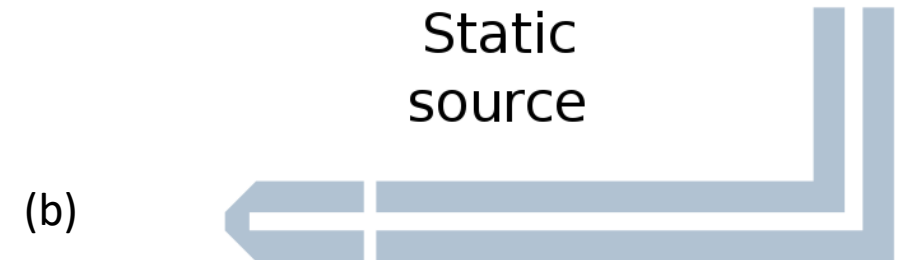
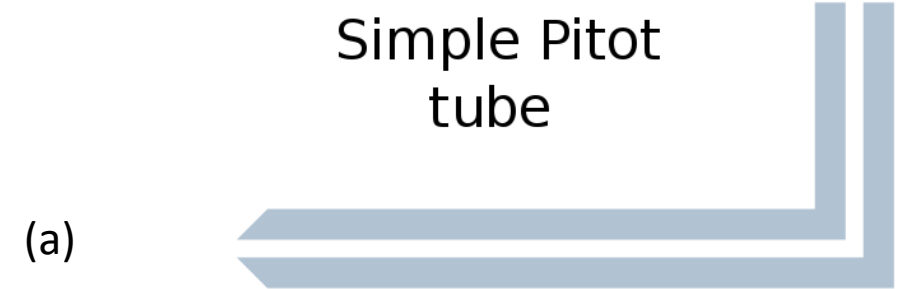


Hava Hızı Ölçümü

Pitot-Statik Sistem

Örnek Görsel: Pitot tüpü çeşitleri

- (a) basit pitot tüpü
- (b) statik port
- (c) pitot – statik sistem bir arada



Hava Hızı Ölçümü / Pitot-Statik Sistem

- *Örnek Görseller:* Pitot tüpü (solda) ve statik port (sağda) uçak üzerinde



Hava Hızı Ölçümü / Pitot-Statik Sistem

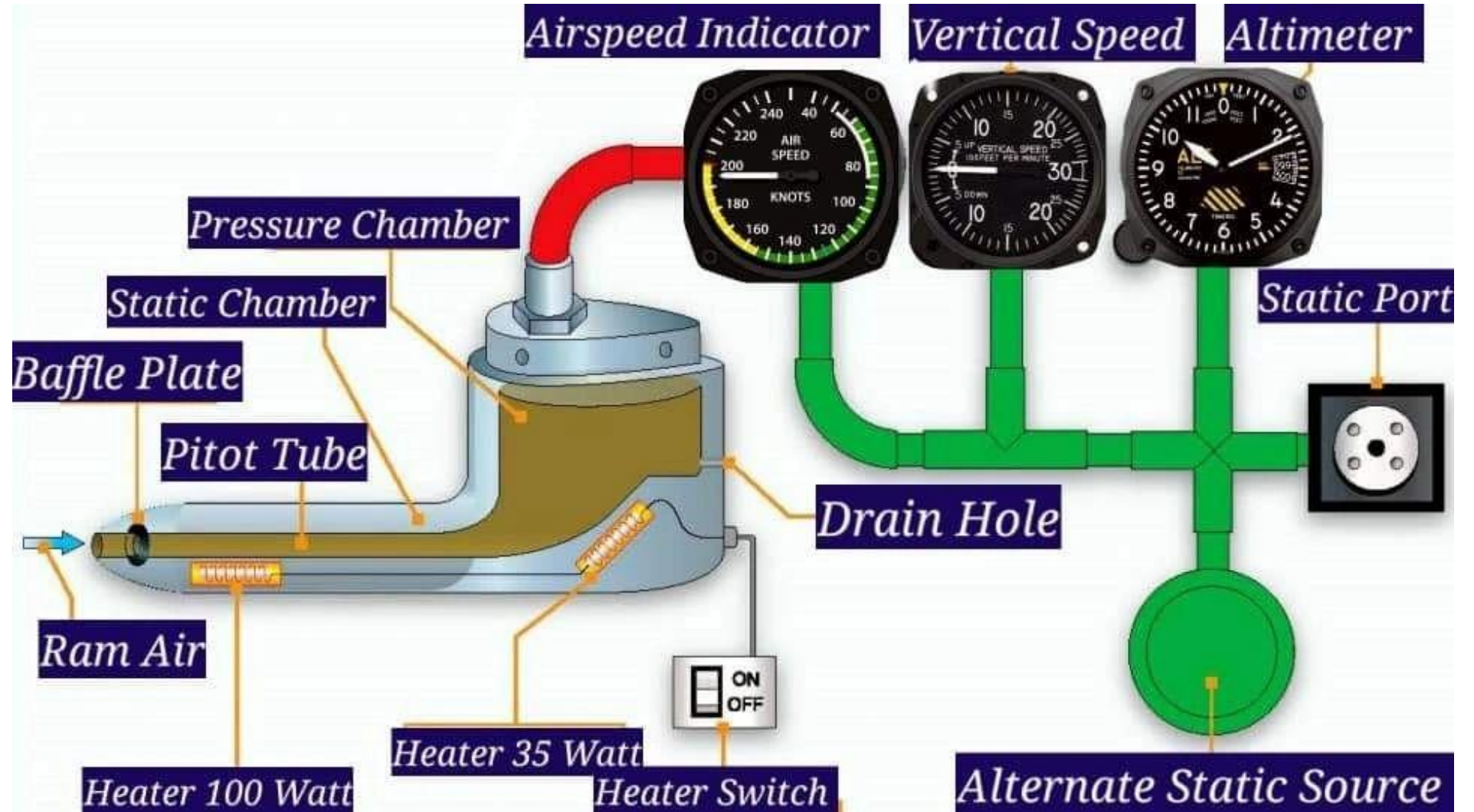
- Pitot tüpleri ileri yöne bakacak şekilde olmak kaydıyla uçağın burun kısmı ve dikey stabilize gibi çeşitli yerlerinde bulunabilir. Uçuş sırasında sağlıklı veri alınabilmesi için temiz tutulmaları ve korunmaları gerekir.



Hava Hızı Ölçümü / Pitot-Statik Sistem

Pitot Static Flight Instrument

- Hava hızı
- Düşey hız
- Altimetre gibi göstergelere çıktı verir.



Sıcaklık Ölçümü / *TAT Probe*: Total Air Temperature

- Yüksek hızlarda, sürtünme ve sıkışma nedeniyle TAT ölçümü OAT 'den daha yüksektir. (*OAT: Outside Air Temperature*)
- Havacılıkta durgunluk sıcaklığı, toplam hava sıcaklığı olarak bilinir ve uçağın yüzeyine monte edilen bir sıcaklık probu ile ölçülür. Prob, havayı uçağa göre hareketsiz hale getirmek için tasarlanmıştır. Havanın durmasıyla kinetik enerji iç enerjiye dönüşür.

Kaynak: https://en.wikipedia.org/wiki/Total_air_temperature

TAT
Total Air Temperature

TAT PROBE

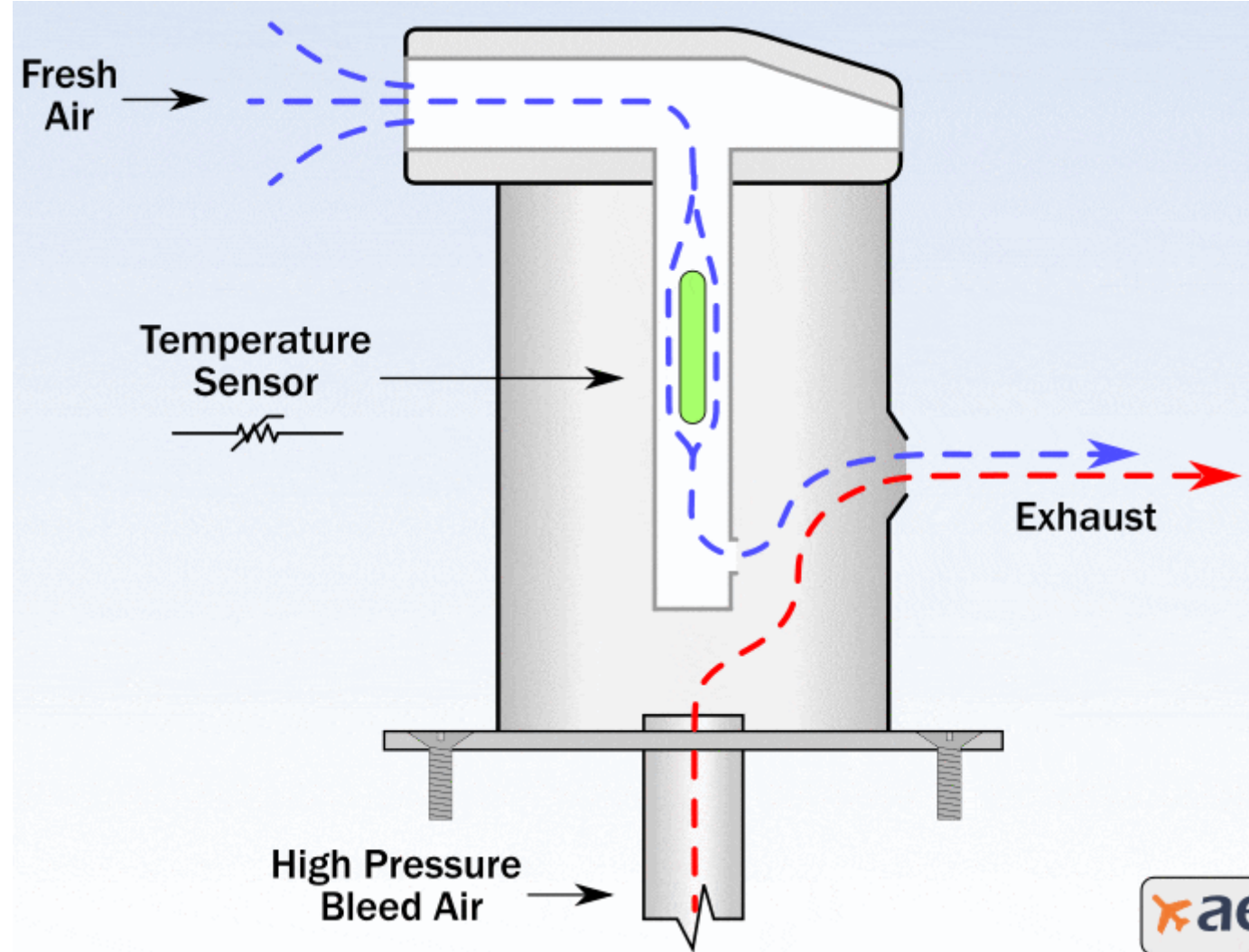


TAT represents the air temperature **at the sensor**.

At high speeds, this temperature is significantly **higher** than OAT (Outside Air Temperature), due to **friction** and air stagnation which causes local air **compression**.

Sıcaklık Ölçümü / *TAT Probe*: Total Air Temperature

- Hava sıkıştırılır ve sıcaklıkta adyabatik bir artış yaşanır. Bu nedenle toplam hava sıcaklığı, statik (veya ortam / OAT) hava sıcaklığından daha yüksektir.
- Toplam hava sıcaklığı (TAT), statik hava sıcaklığının ve dolayısıyla gerçek hava hızının hesaplanması için hava veri bilgisayarının önemli bir girdisidir.

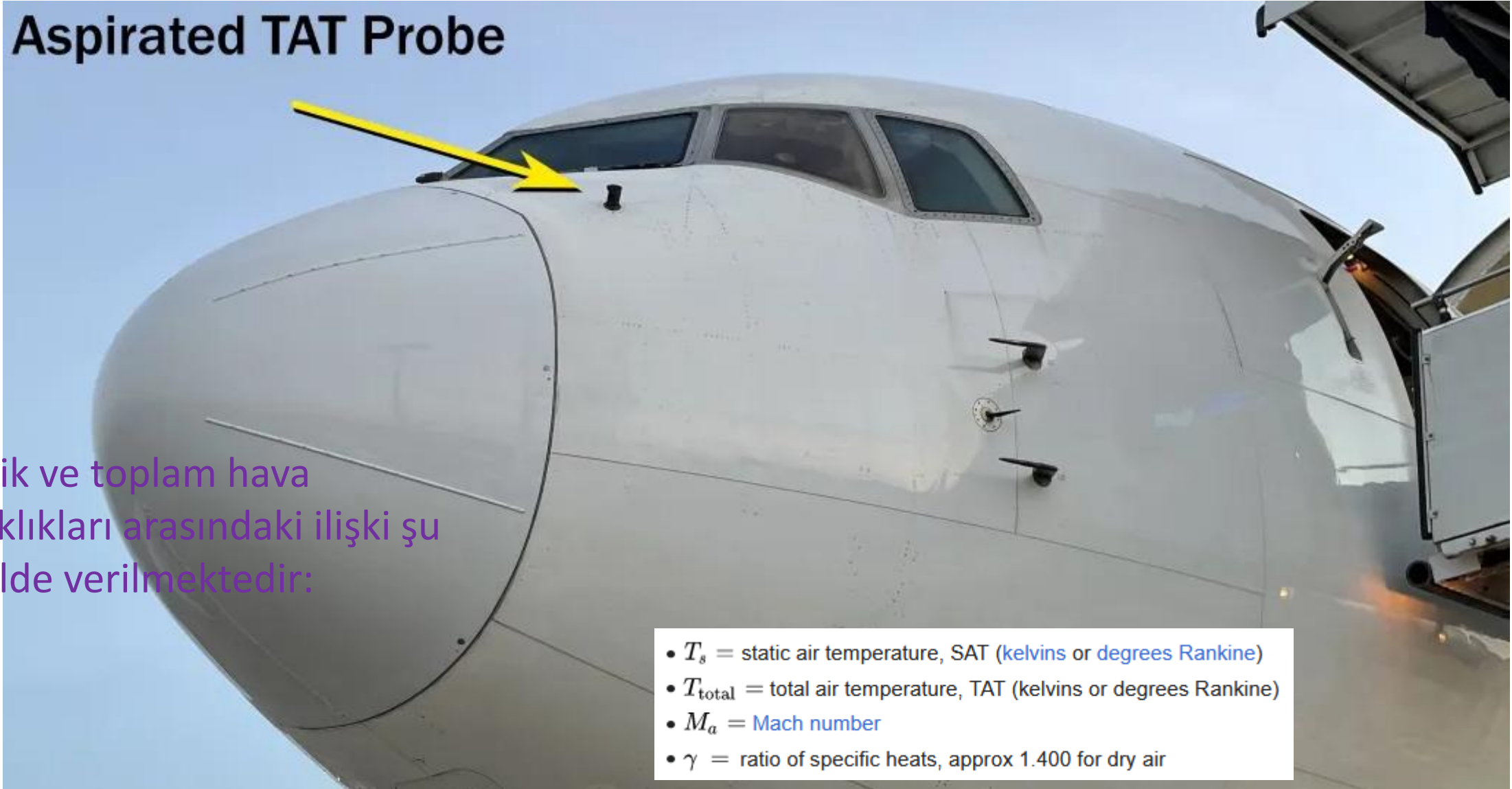


TAT

Aspirated TAT Probe

- Statik ve toplam hava sıcaklıkları arasındaki ilişki şu şekilde verilmektedir:

- T_s = static air temperature, SAT (kelvins or degrees Rankine)
- T_{total} = total air temperature, TAT (kelvins or degrees Rankine)
- M_a = Mach number
- γ = ratio of specific heats, approx 1.400 for dry air

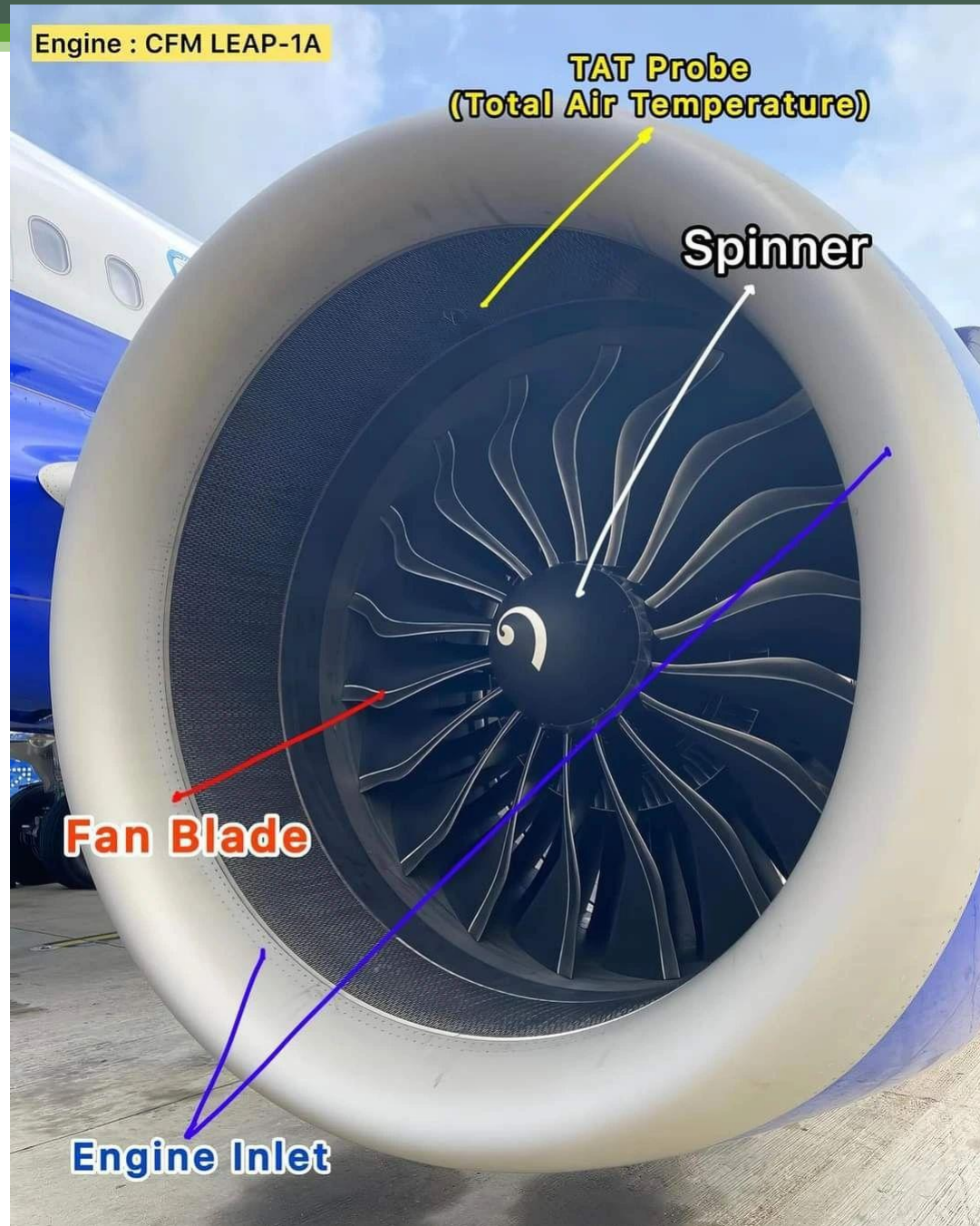


TAT

- CFM LEAP-1A uçak motoru hava girişinde yer alan TAT probu

Örnek Görsel:

- TAT Probu (*Total Air Temperature*): Toplam hava sıcaklığını ölçer.
- Spinner (Fan Göbek Konisi): Motor fanı merkezindeki koni şeklindeki kısım, hava akışını yönlendirmeye yardımcı olur.
- Fan Kanadı (*Fan Blade*): Havayı motora çeken büyük kanatlar.
- Motor Hava Girişi (*Engine Inlet*): Havanın motora girdiği dış kenar.



TAT

- Toplam Hava Sıcaklığı (TAT) Probları, uzun yolculuklarda yakıt sıcaklıklarını etkileyerek, hem TAT hem de statik hava sıcaklığına (SAT) dayalı buz önleme sistemi kullanımını yönlendirerek, seyir uçuşu ve navigasyon için gerekli olan Mach sayısı ve gerçek hava hızı hesaplamalarına yardımcı olarak ve motor itki ayarları ve otomatik gaz kumandası için gerekli verileri sağlayarak uçuş operasyonlarında önemli bir rol oynar.
- Uçuşa özgü TAT Probları, radyatif (ışınım) ısı transferi ile ilişkili hataları azaltmak, çeşitli çevre koşullarına dayanmak ve Mach 1'e kadar hızlarda çalışmak üzere tasarlanmıştır.

Kaynak: <https://www.aeroprobe.com/total-air-temperature-probe/>

Motor Hava Girişi TAT Sensörü

T12 (TAT) sensörü. “T12” sensörü CFM56-7 motor girişinde 2:30 konumunda görülmektedir. Bu sensör, (Electronic Engine Control) EEC'den sabit bir voltaj alan iki platin algılama elemanından oluşur. Elemanlarda, mevcut sıcaklık direnci hava sıcaklığına orantılıdır, sinyal EEC'ye geri gönderilir.

EEC çıkış voltajı ile giriş voltajı arasındaki farkı ölçer ve bu da Fan Giriş Sıcaklığına dönüştürülür.

Bu sensörün gerçek işlevi, Fan Girişindeki Toplam Hava Sıcaklığı verilerini EEC'ye iletmektir ve EEC bu TAT verilerini şunlar için kullanır:

- Yakıt gereksinimi (itki) hesaplamaları
- Değişken Hava Tahliye Vanalarının Ayarlanması
- Değişken Stator Kanatçıklarının Ayarlanması
- Düşük Basıncı Türbin Aktif Boşluk Kontrolü



Motor Hava Girişi TAT Sensörü

Bu T12 verileri tek başına yalnızca uçak yerde olduğunda ve PSEU (Proximity Switch Electronic Unit) uçağın uçuşta olduğunu belirledikten sonraki ilk beş dakika boyunca EEC tarafından kullanılır. Bu koşullar sırasında, en az bir T12 değeri geçerliyse, EEC, (buz korumalı) ısıtılmış (Air data inertial reference unit) ADIRU TAT probu üzerinde yeterli hava akışı olmadığında hataları önlemek için TAT için yalnızca motor T12 problemlerini kullanır. EEC, havada beş dakika kaldıktan sonra dört TAT sinyalini karşılaştırır:

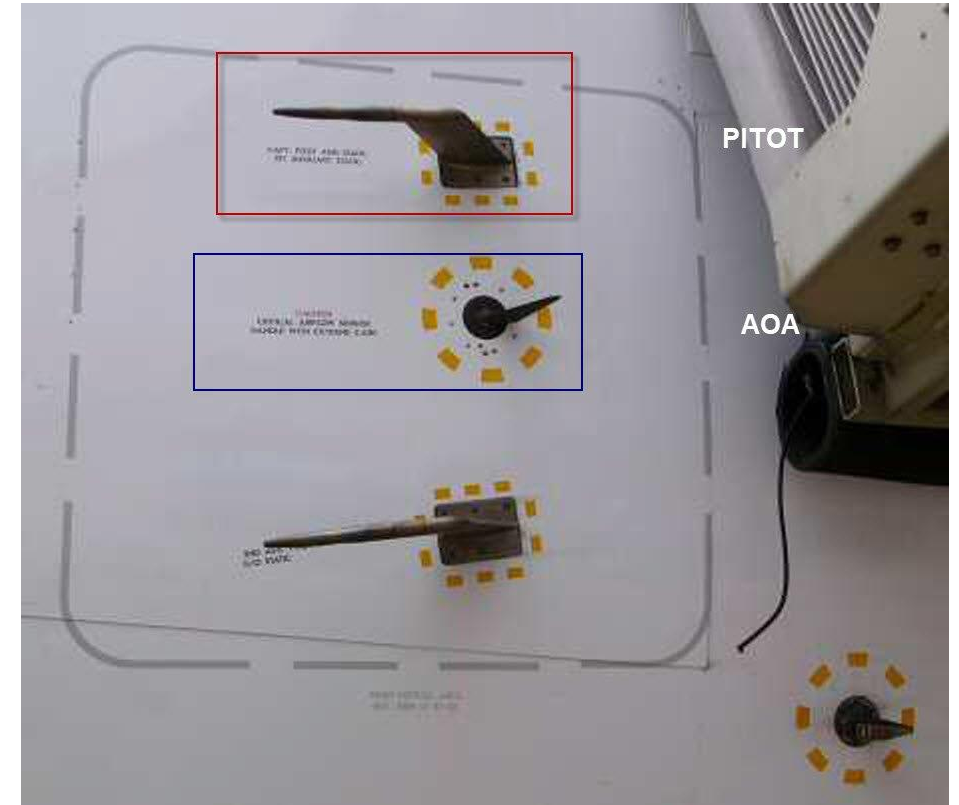
- Aktif EEC kanalından T12
- Bekleme EEC kanalından T12
- ADIRU 1'den toplam hava sıcaklığı
- ADIRU 2'den toplam hava sıcaklığı

Dört sinyal de geçerliyse ve sınırlar içindeyse, ADIRU'lardan gelen toplam hava sıcaklığı, daha önce açıklanan çalışma işlevleri için kullanılır. EEC, mümkün olduğunda her iki motorun da TAT için aynı değeri kullanması için motor T12 sensör sıcaklığını kullanmadan önce ADIRU sıcaklığını kullanır. Her iki ADIRU sıcaklığı da geçerli değilse, EEC, TAT girişi için T12 değerlerini kullanır.

ADIRU: Pilotların elektronik uçuş enstrüman sistemi ekranlarına ve motorlar, otopilot, uçak uçuş kontrol sistemi ve iniş takımı sistemleri gibi uçaktaki diğer sistemlere hava verisi (hava hızı, hücum açısı ve irtifa) ve eylemsizlik referansı (pozisyon ve durum) bilgisi sağlayan temel bir bileşendir.

Hücum Açısı Probu / AOA Probe / Alpha Vane

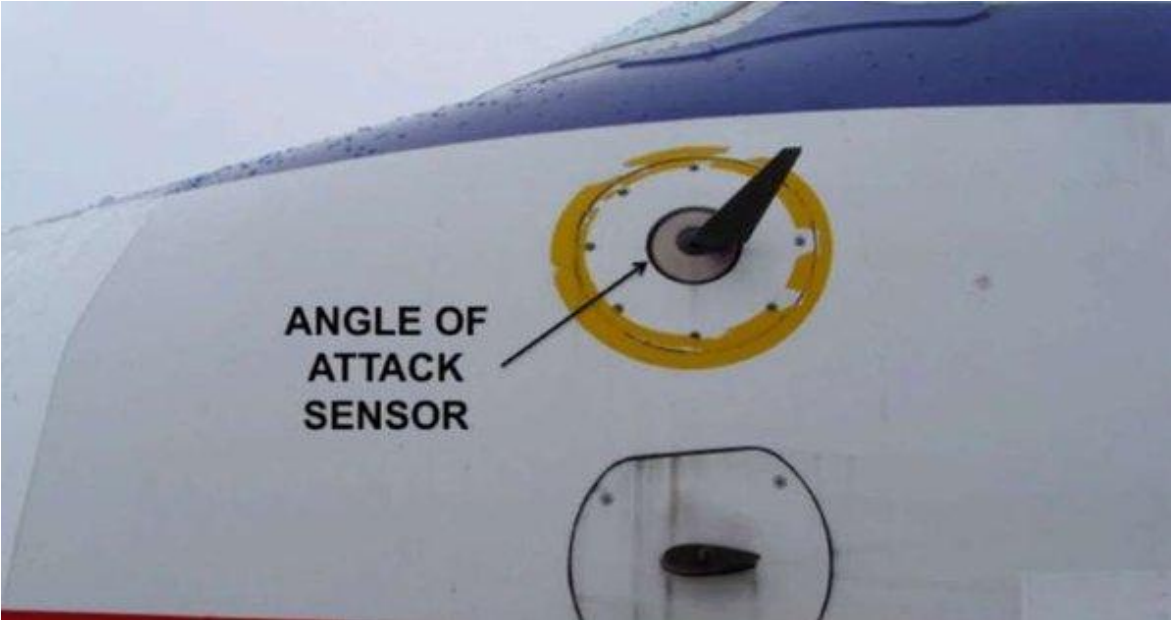
- Hücum açısı (AoA) proları, hava hızı vektörü ile uçak kanadının bir kesiti üzerinde önceden tanımlanmış bir çizgi arasındaki açıyı ölçer. Bu çizgi genellikle sıfır taşıma çizgisi veya kanat profilinin veter çizgisi olarak seçilir.
- AoA genellikle Yunanca alfa harfiyle gösterilir. Bu açı genellikle söz konusu kanat bölümünün taşıma kuvvetini hesaplamak için kullanılır.
- AoA probuna, alfa kanatçığı (*alpha vane*) da denir.



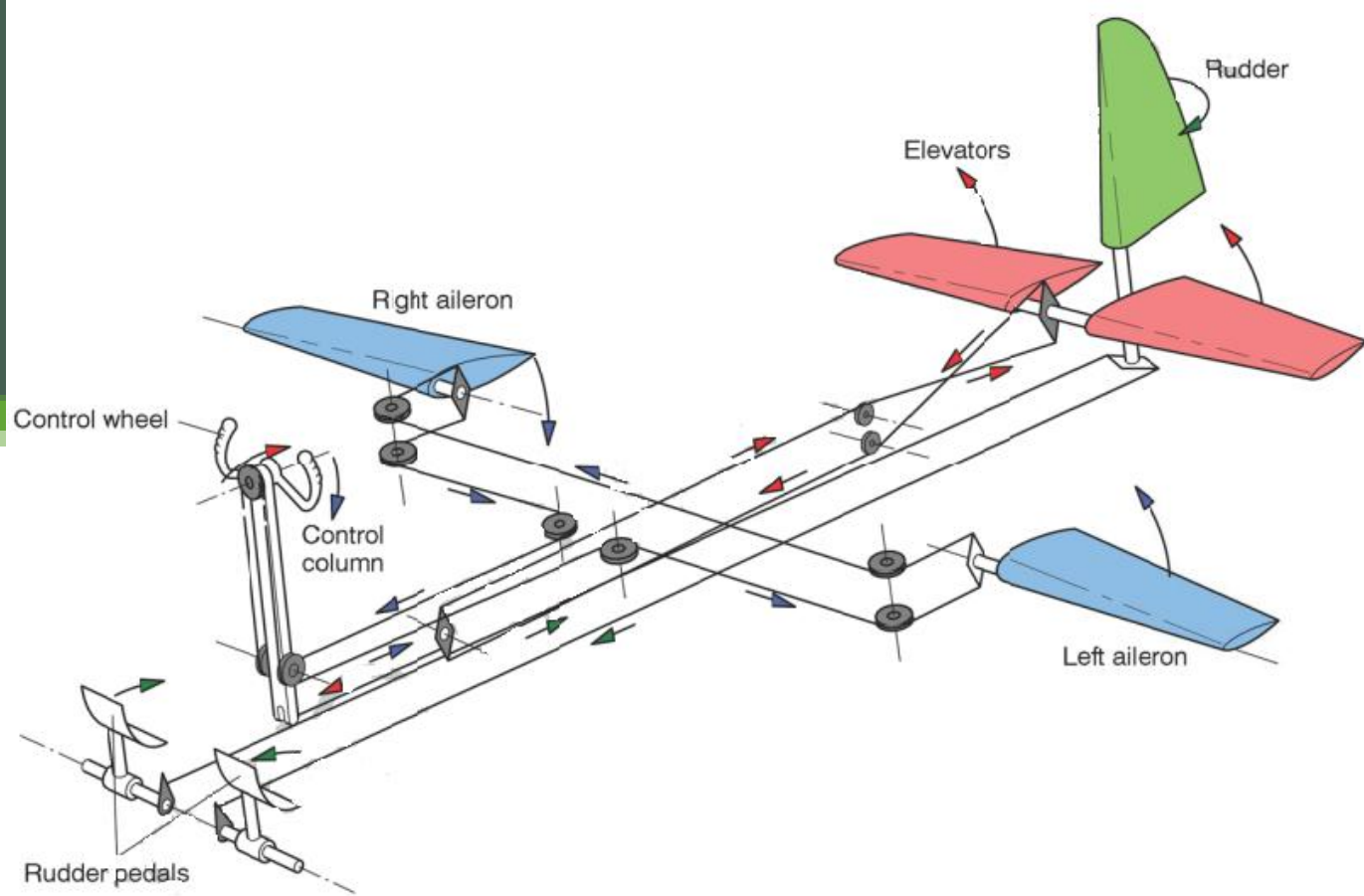
Kaynak: <https://www.basicairstdata.eu/knowledge-center/design/angle-of-attack-vane/>

Hücum Açısı Probu / AOA Probe / Alpha Vane

- *Örnek Görseller:* AoA ölçüm problemleri



MUTK111 – Havacılık ve Uçak Bilgisi



UÇUŞ KONTROL (*FLIGHT CONTROLS*)

Uçuş Kontrol

- Kontrol
- Uçuş Kontrol (Uçuş Kumanda)
- Kararlılık
- Hava Araçlarında Kararlılık
- Uçuş Kumanda Yüzeyleri
- Hareket (Tahrik) Yöntemleri
- Kontrol Yöntemleri

Uçuş Kontrol

Hava Araçlarında Kararlılık ve Uçuş Kontrol

Uçuş Kontrol

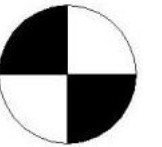
Kontrol Nedir?

- Süreçlerin çıkışlarını, istenen sabit bir değerde denetim altına almak.
- Süreçlerin çıkışlarının belirli bir değişim formunu takip etmesini sağlamak.
- Olayların belirli bir sıra dahilinde oluşmasını sağlamak. Olayların, özel koşullar gerçekleştiğinde meydana gelmesini sağlamak.

Uçuş Kontrol

Uçuş Kontrol Nedir?

- Uçuş dinamiği, hava aracı yönlendirme ve üç boyutlu kontrol bilimidir.
- Üç kritik uçuş dinamiği parametresi, aracın ağırlık merkezi (**CG**) etrafındaki yunuslama, yuvarlanma ve yalpalama olarak bilinen üç boyutlu dönüş açılarıdır.



Kaynak: [https://en.wikipedia.org/wiki/Flight_dynamics_\(fixed-wing_aircraft\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Flight_dynamics_(fixed-wing_aircraft))

Uçuş Kontrol

Uçuş Kontrol Nedir?

- Geleneksel bir sabit kanatlı uçaktaki uçuş kontrol sistemi, uçuş kontrol yüzeylerinden, ilgili kokpit kontrollerinden, bağlantı uzuvlarından ve bir uçağın uçuş yönünü tayin etmek için gerekli mekanizmalardan oluşur. Uçak motor kontrolleri de hızı değiştirdiği için uçuş kontrollerinden sayılır.

Kaynak: https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_flight_control_system

Uçuş Kontrol

Uçuş Kontrol Nedir?

- Kontrol sistemleri, bir aracın yönünü CG'sine göre ayarlar.
- Bir kontrol sistemi, uçak saptırıldığında, *yunuslama*, *yuvarlanma* ve *yalpalama* ile uçağı CG'si etrafında döndüren bir moment oluşturan **kontrol yüzeyleri** içerir.
- Örneğin, yunuslama momentine, CG'nin ilerisine veya arkasına uygulanan bir kuvvet neden olur. Bu moment uçağın burnunun yukarı veya aşağı sapmasına (*pitch up or down*) neden olur.

Uçuş Kontrol

Kararlılık Nedir?

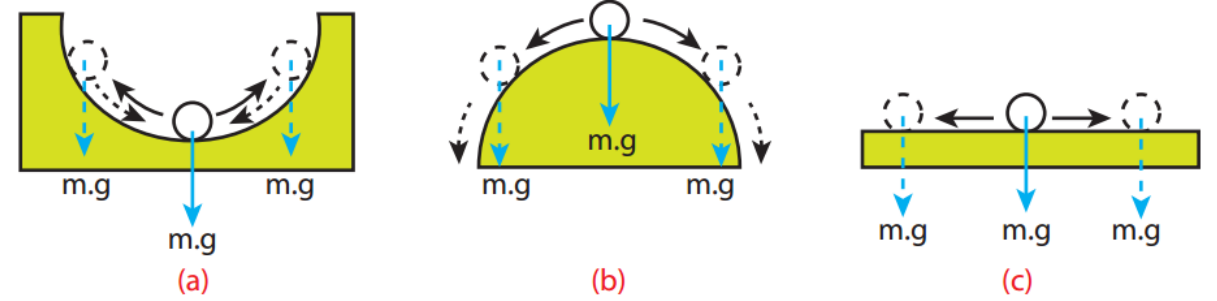
- Bir sistemin sınırlı her girişe cevabı sınırlı ise o sistem kararlıdır.
- Kararlılığın farklı tanımları:
 - **Kararlı** bir **sistem** bir bozucu giriş karşısında geçici durum davranışını gösterdikten sonra **tekrar denge konumuna geri dönen sistem**dir.
 - Bir sistemin impuls cevabı zaman sonsuza giderken sifıra yaklaşırsa, o **sistem** kararlıdır.

Uçuş Kontrol

Kararlılık (Stability)

- Bir hava aracının moment dengesi, yük ve yolcuların hava aracı üzerindeki yerleşimine ve/veya aerodinamik kuvvetlere bağlı olarak değişebilir. Tüm hesaplar yapıp, yük ve yolcular bir denge durumuna göre yerleştirildikten sonra **hava aracının dengesinin, bozucu bir takım etkilere karşı korunması**, uçağın sahip olduğu **kararlılık** özelliğidir.

Uçuş Kontrol / Kararlılık

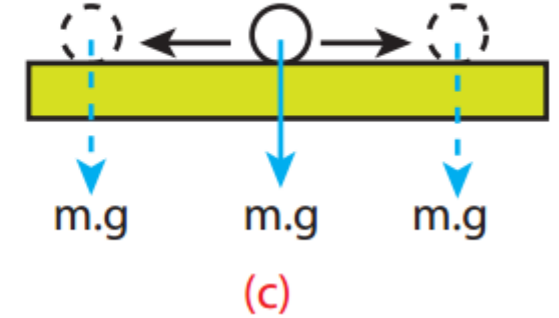
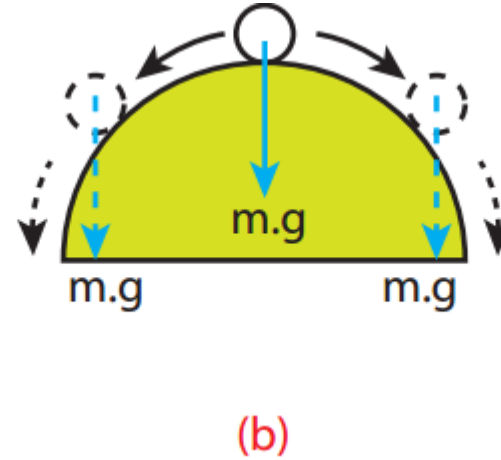
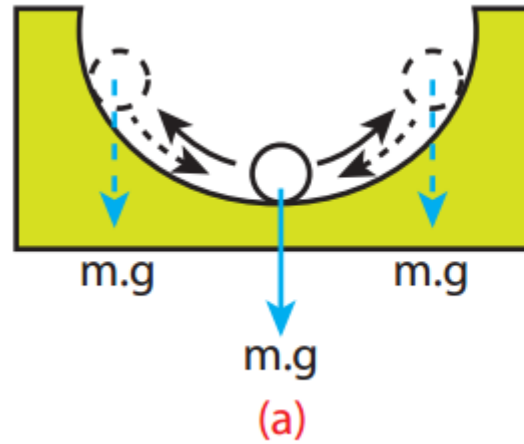


Örnek

- Özdeş üç demir bilye farklı şekillerde fakat sürtünme katsayıları eşit üç zemin üzerinde dengede duruyor olsun. Tüm bilyelerin dengesini hafifçe bozduktan sonra davranışlarını izleyecek olursak, **(a)**'daki sistemin bir süre sonra kendiliğinden önceki denge durumuna kavuştuğunu, **(b)**'deki sistemin kendiliğinden asla eski durumuna dönemediği gibi, durumundaki değişimin bizim sebep olduğumuz bozulmadan daha ileri gittiğini, **(c)**'deki sistemin ise eski durumuna dönmediği fakat son durumunu koruduğu görülür.

Uçuş Kontrol / Kararlılık

Örnek



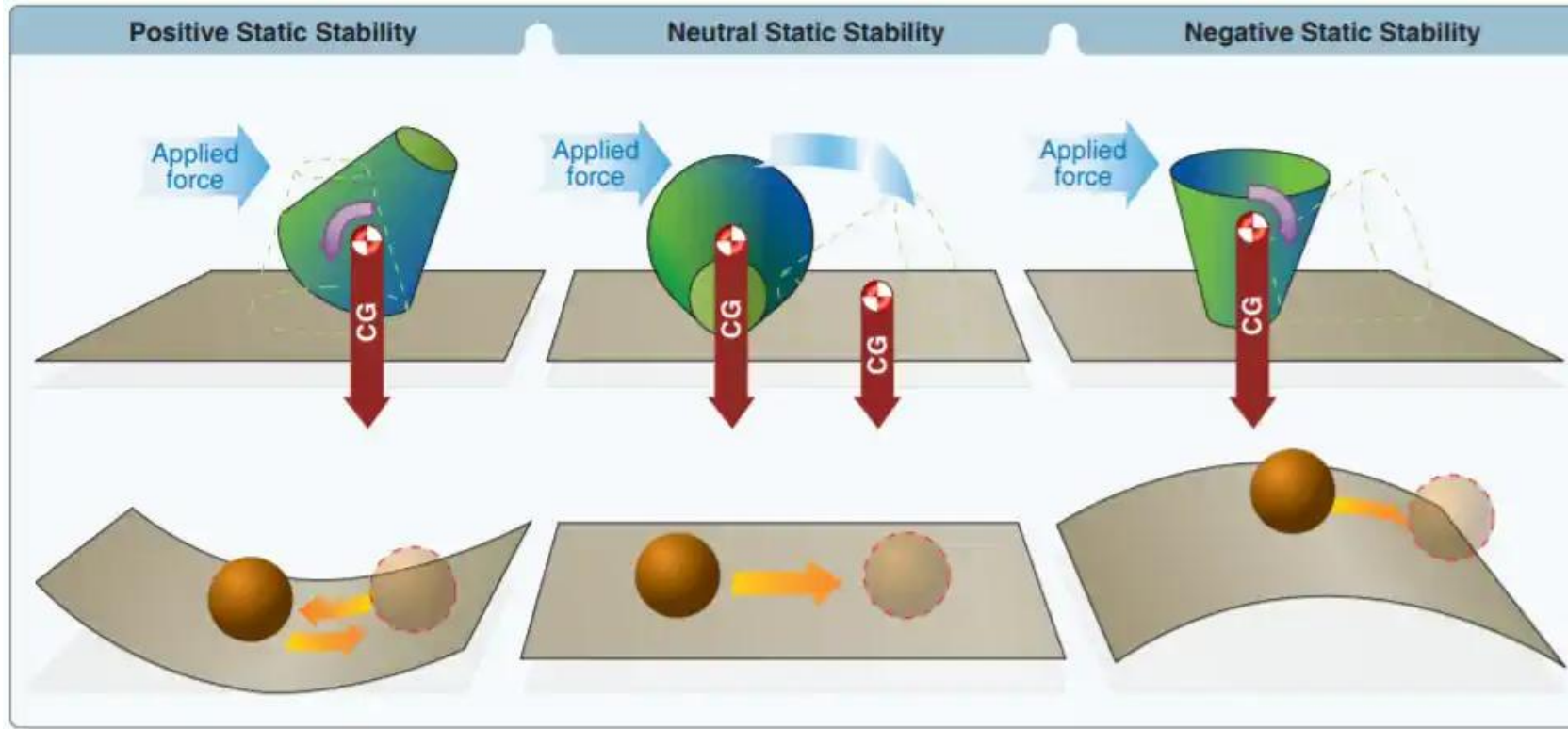
- Bu sistemler kararlılık özelliklerine göre sınıflandırılacak olursa, a'daki sistem **kararlı**, b'deki sistem **kararsız**, c'deki sistem **kararlılık bakımından nötr** sistemlere örnektir.

Uçuş Kontrol / Kararlılık

- Kararlılık kavramı bir dik koni yardımıyla açıklanabilir. Tabanı üzerinde oturan koninin tepesine hafifçe dokunulursa koni hemen yine başlangıçtaki denge konumuna gelir. Bu durum kararlı (*stable*) davranışa örnektir. Yan yüzü üzerinde yatık duran koni hafifçe dokunulunca yan yüzü üzerinde yuvarlanır ve yine yan yüzü üzerinde kalır. Bu durum yansız/nötr (*neutral*) kararlılığı göstermektedir. Tepesi üzerinde, tabanı yukarı gelecek şekilde tutulan koni ise bırakılınca yan kenarı üzerine düşer. Bu hale ise kararsız hal (*unstable*) denir.

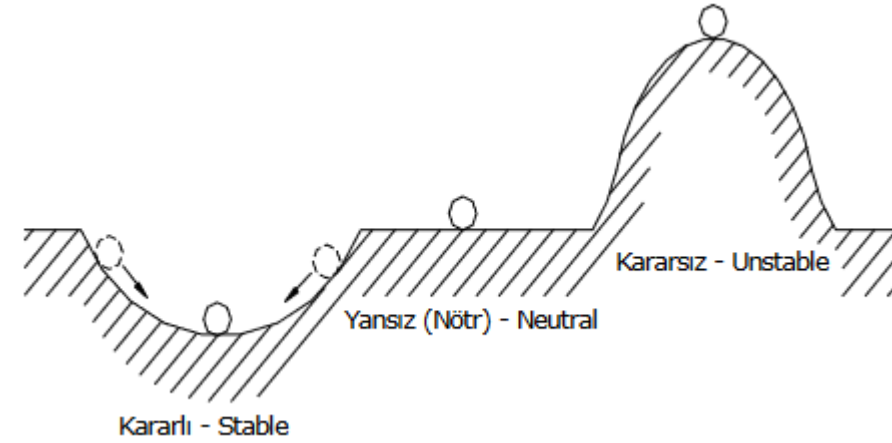
Uçuş Kontrol / Kararlılık

Örnek



- Pozitif Statik Stabilite, Nötr Statik Stabilite ve Negatif Statik Stabilite tabirleri ‘kararlı’, ‘kararlılık bakımından nötr’ ve ‘kararsız’ kavramlarının yerine kullanılabilir.

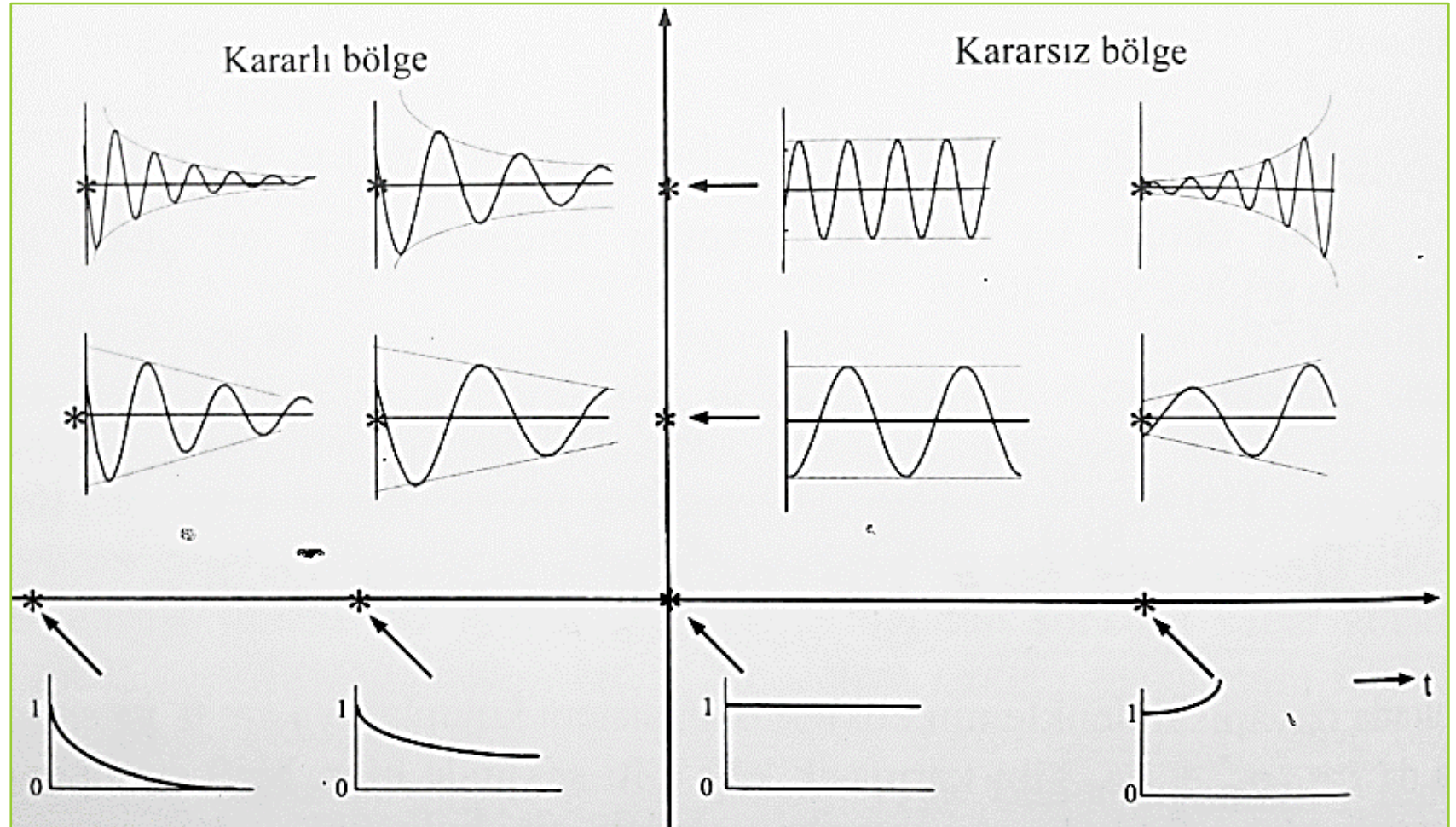
Uçuş Kontrol / Kararlılık



- Bir **dinamik sistem**in, havada seyir halinde bir uçak olabilir, kararlılığı da benzer şekilde açıklanabilir. Sistemin bir girişe cevabı sürekli artıyorsa veya büyüyen genlikli bir titreşim şeklinde ise kararsızlık mevcuttur. Böyle kararsız çalışmada, sistemde doyma olmazsa veya mekanik olarak durdurulmazsa sistem sonunda tahrip olabilir; çünkü fiziksel bir sistemin cevabı sonsuza kadar artamaz.
- Sistem cevabı düzgün veya küçülen genlikli titreşim şeklinde azalıyorsa kararlılık vardır.

Uçuş Kontrol / Kararlılık

- **Kararlı** (*solda*) ve **Kararsız** (*sağda*) dinamik salınımların grafik ile gösterimi



Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

- Doğrusal hareketler ile ilgili kararlılık
- Dikey düzlemdeki kararlılık
- Uzunlamasına eksen etrafında kararlılık (*yatma / roll*)
- Yanal eksen etrafında kararlılık (*yunuslama / pitch*)
- Dikey eksen etrafında kararlılık (*sapma / yaw*)
- Hava dirençlerinin uçak kararlılığına katkıları (*sürükleme / drag*)

Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

- Emniyetli bir uçuş için hava aracının kararlı bir şekilde tasarlanması şarttır.
- Hava aracının doğrusal hareketleriyle ilgili kararlılık genellikle çok önemli bir sorun teşkil etmez. Uçağın **doğrusal hareketi** yönündeki istemsiz hız değişimleri, önden veya arkadan gelen rüzgârlar nedeniyle ortaya çıkar ve pilotun motor veya uçuş kontrol yüzeylerini kontrol etmesiyle düzeltilir.

Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

- Dikey düzlemde istemsiz hız değişimleri ise dikey rüzgârlara veya düzensiz hava akımlarına (türbülanslara) maruz kalındığında ortaya çıkan daha ciddi bir durumdur.
- Hava akışının hava aracı yüzeyleri üzerinden geçişi sırasında türbülans oluşumu, uçuşun hemen her anında var olan ve yüksek hücum açıları ve/veya hava hızlarıyla birlikte artan bir durumdur.
- Düzensiz hava akımları, hava aracının dengesini bozmaya her zaman adaydırlar. Hava aracının kararlılığı sayesinde önemli bir sorun oluşturmazlar.

Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

Uzunlamasına Eksen Etrafında Kararlılık

- Hava aracının **uzunlamasına eksen** etrafındaki kararlılığı, öncelikle **hava direnci** ve bununla birlikte varsa **sarkaç özelliği** sayesinde sağlanır.
- Bir uçağın kanatları ve tüm yüzeyleri uzunlamasına eksen etrafında **simetrik** olduklarından normalde **aerodinamik moment dengesi** sağlanmaktadır. Bu yüzeylerin karşılaştıkları hava direnci, bu dengenin bozulmasına karşı koyan önemli etkenlerden biridir.

Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

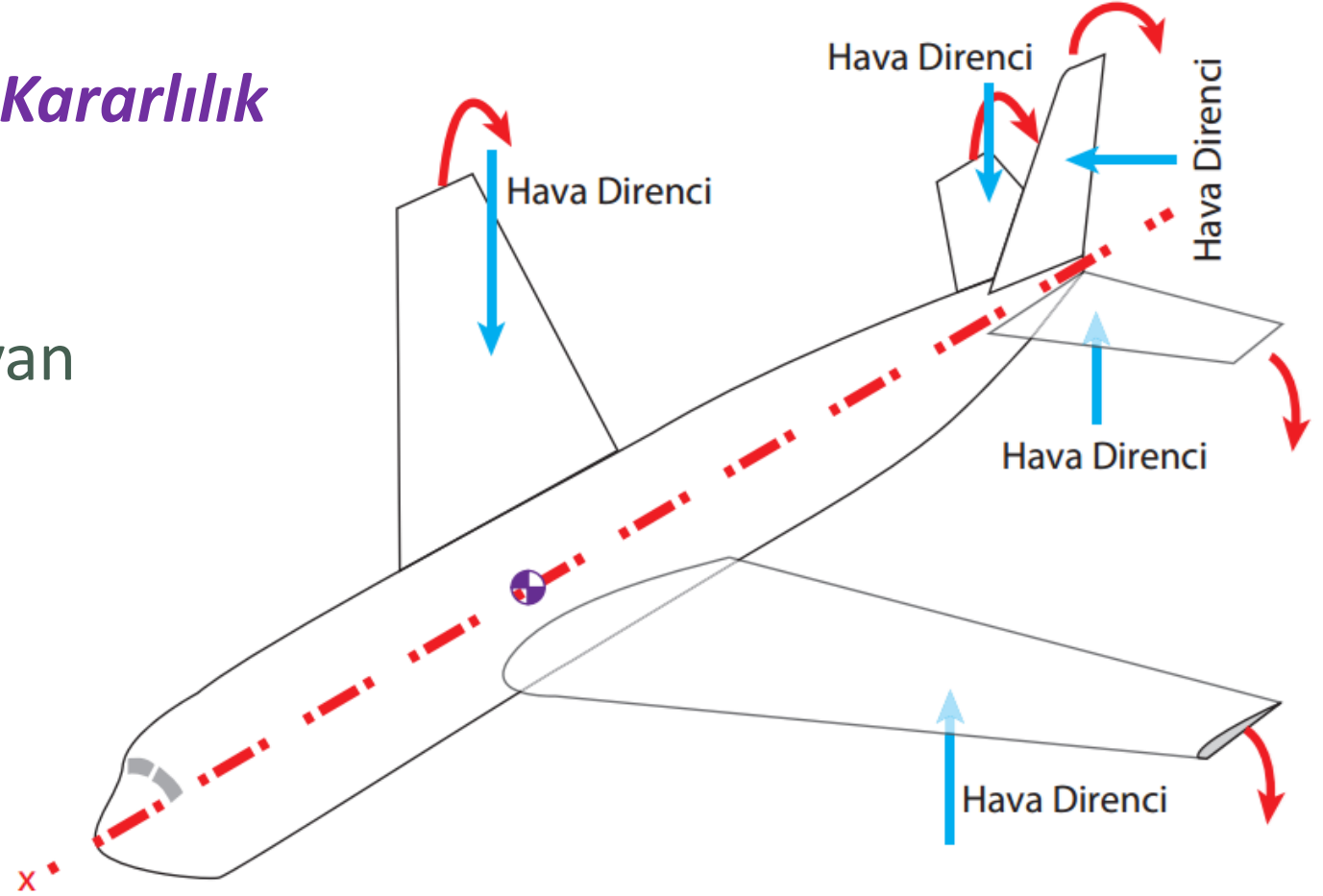
Uzunlamasına Eksen Etrafında Kararlılık

- Hava direnci daima hareket yönüne ters yönde olduğundan, örneğin uçağın sağ tarafa yatışı sırasında hava dirençleri yön değiştirerek, yatış hareketine karşı koymaya devam eder.
- Hava direnci, hareket hızının karesiyle orantılı olduğundan, uçak hareketlerini sönmüleme etkisi yüksek yatış hızlarında daha yüksektir. Böylelikle uçağın aniden kontrolden çıkması engellenmiş olur.

Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

Uzunlamasına Eksen Etrafında Kararlılık

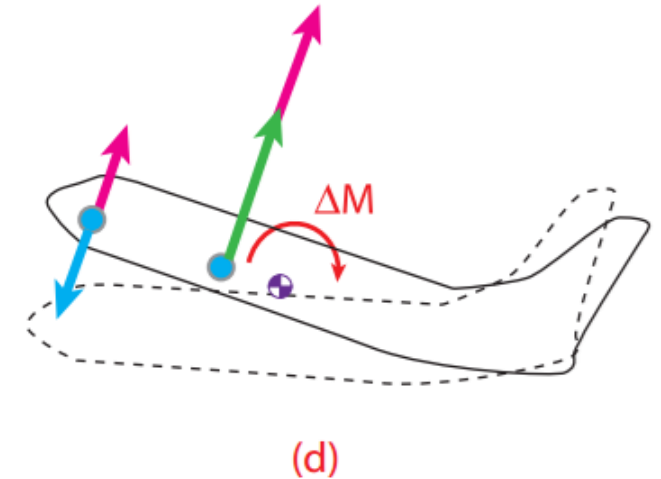
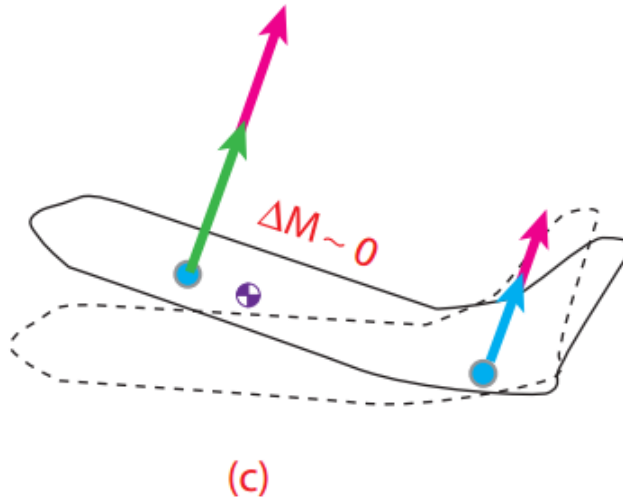
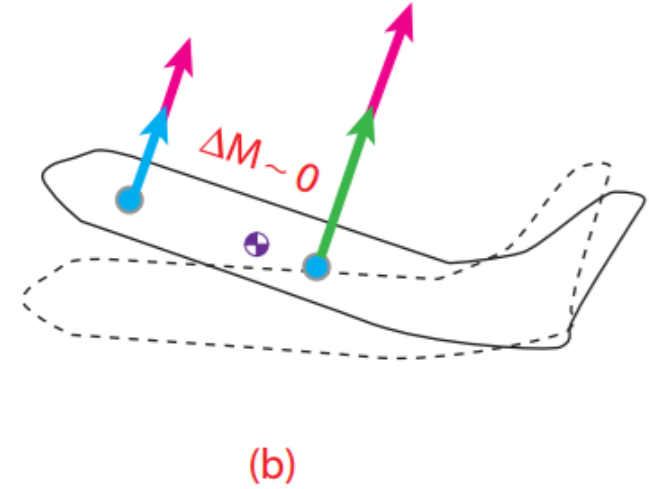
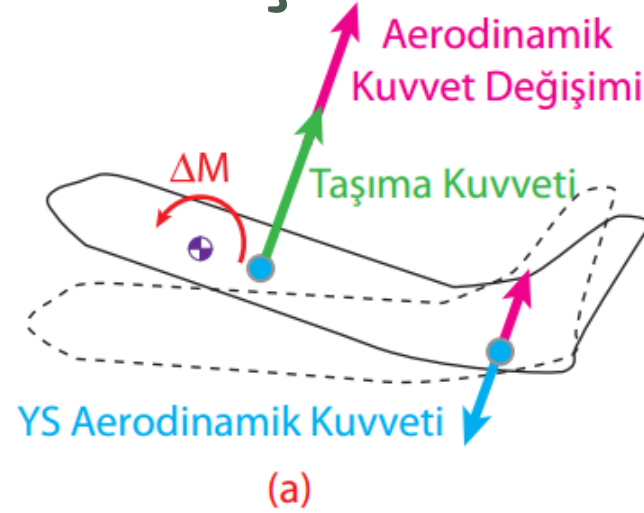
- *Örnek Görsel:* →
Bir uçağın sola yatışına karşı koyan kuvvetler



Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

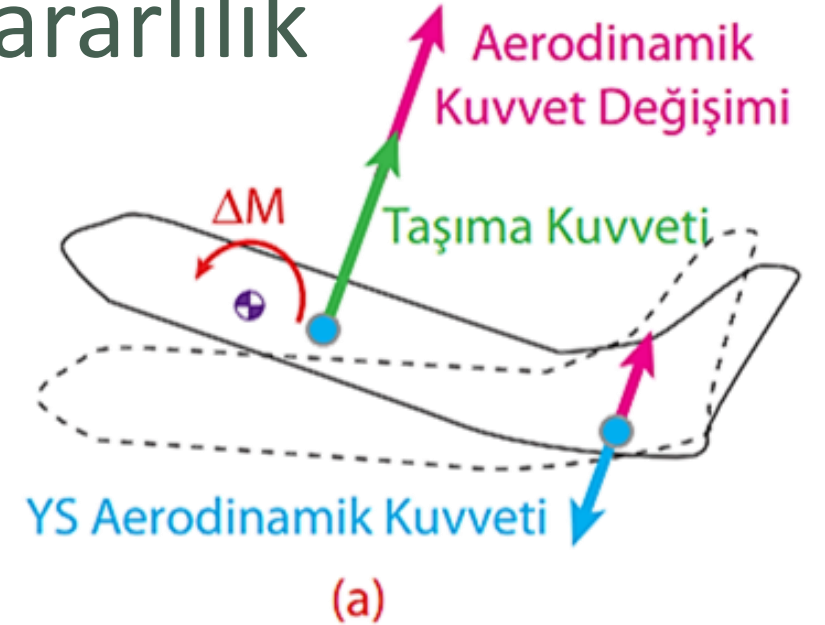
Yanal Eksen Etrafında Kararlılık

- Taşıma kuvveti ve yatay stabilize yerleşiminin kararlılığa etkileri:
a) kararlı, b) nötr,
c) nötr, d) kararsız



Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

Yanal Eksen Etrafında Kararlılık

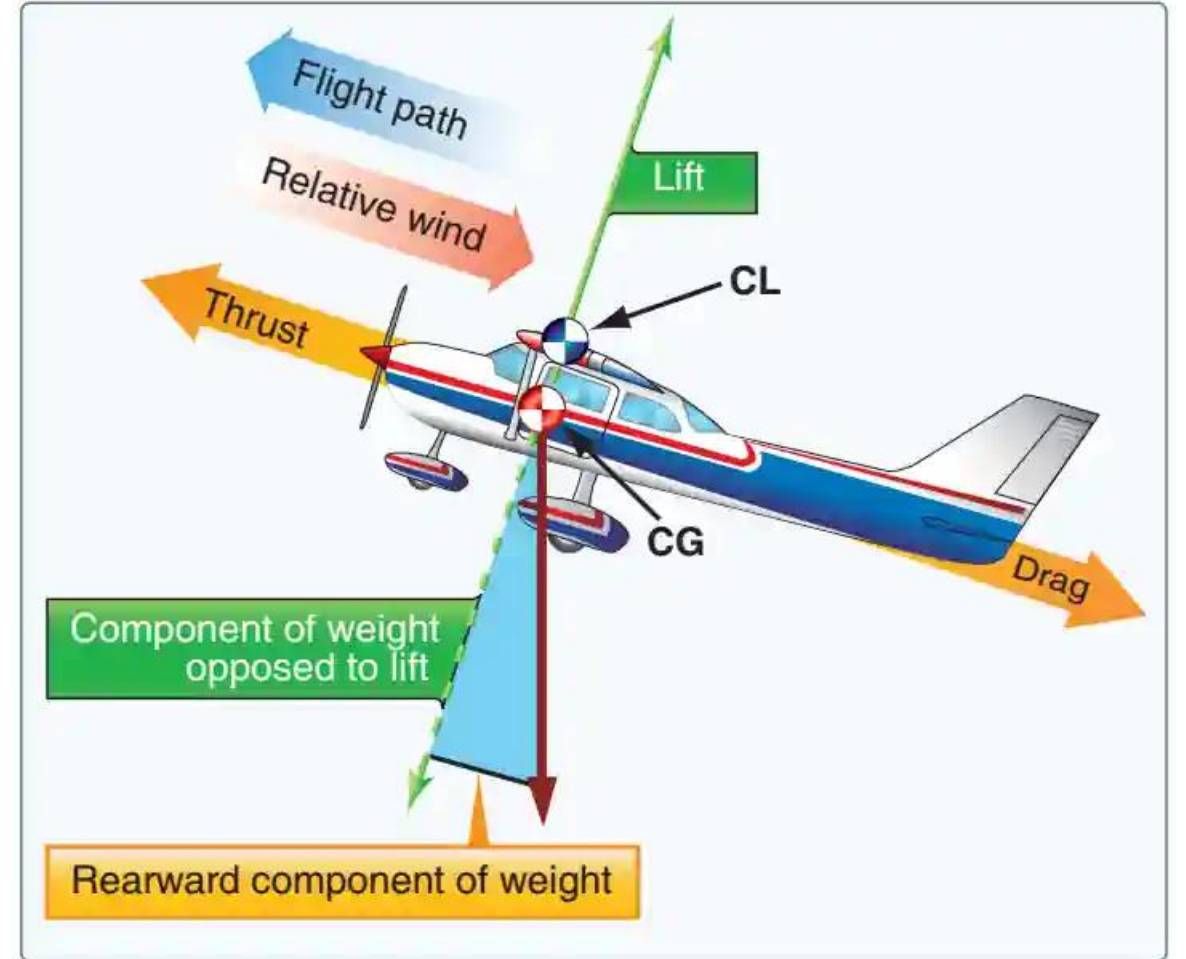


- Şekilde kanat taşıma kuvveti ve yatay stabilizenin uçak ağırlık merkezi etrafında yerleşimlerine göre dört farklı uçak için, istemsiz bir burun yukarı hareketi sonucunda kuvvet ve moment değişimleri gösterilmiştir.
- Burada (a)'daki uçağın yanal eksen etrafında diğerlerine göre en yüksek kararlılığa sahip olduğu görülür. Bu uçaklarda hem **kanatlar** hem de **yatay stabilize**, yanal eksen etrafındaki **kararlılığa** katkıda bulunmaktadır.

Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

Yanal Eksen Etrafında Kararlılık

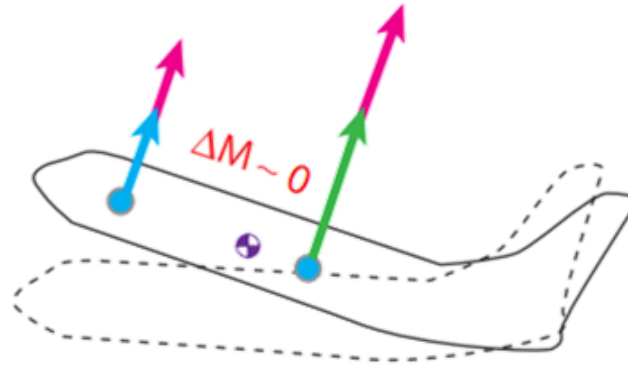
- Uçağın burun yukarı hareketi halinde kanat ve yatay stabilize hücum açıları, dolayısıyla taşıma kuvvetleri ve uçağı burun aşağı yapmaya zorlayan momentleri artar; burun aşağı hareketinde ise bunun tersi gerçekleşerek, her iki durumda uçağı tekrar denge durumuna dönmeye zorlar.



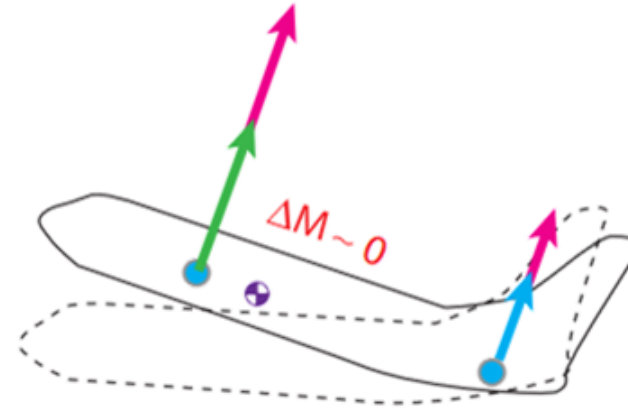
Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

Yanal Eksen Etrafında Kararlılık

- (b) ve (c)'de uçağın dengesinin bozulması halinde uçağı kendiliğinden eski durumuna getirmeye çalışan net bir moment ortaya çıkmamaktadır.



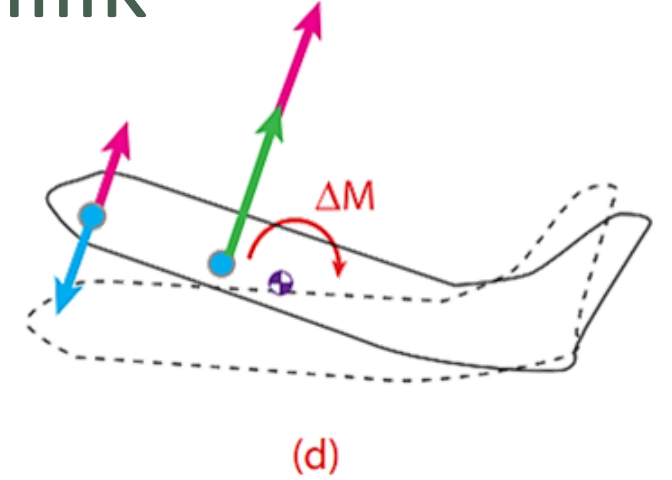
(b)



(c)

Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

Yanal Eksen Etrafında Kararlılık



- (d)'deki uçakta ise denge halinin bozulması, daha da bozucu etkilerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Oldukça **kararsız olan bu tür tasarımlardan genellikle kaçınılır**. Aksi halde kararlılığın sağlanabilmesi için gelişmiş otomatik kontrol sistemleri kullanmak gerekir.
- Şekil'deki tüm uçaklarda yatay stabilize hava direnci, ani burun yukarı veya burun aşağı hareketlerine karşı koyarak kararlılığa katkıda bulunur.

Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

Dikey Eksen Etrafında Kararlılık

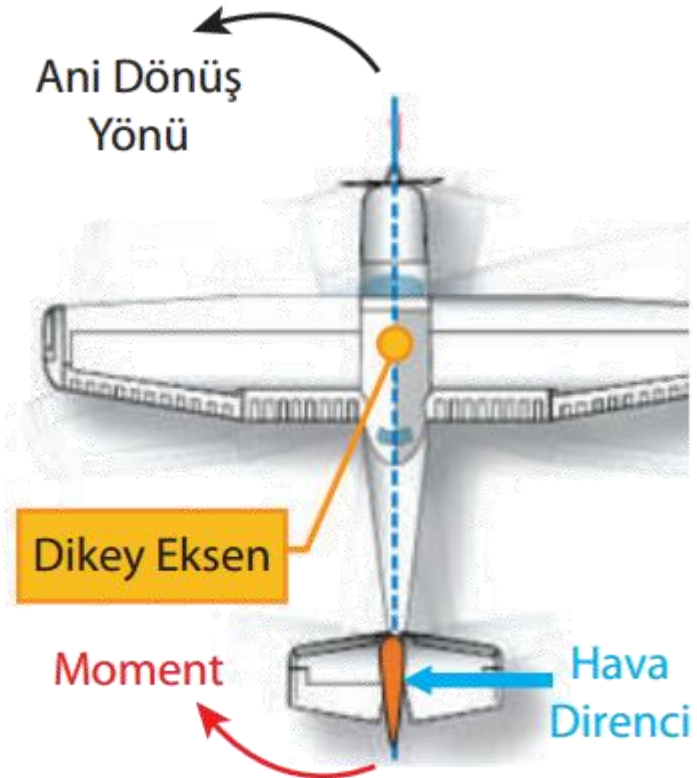
- Dikey eksen etrafında **kararlılığı** sağlamak için dikey stabilize adı verilen yüzeyler kullanılır.
- Uçak, dikey eksen etrafında ani dönüşler sırasında hava direnciyle karşılaşır. Bu hava direnci dönüş yönüne ters momentler oluşturur.
- Dikey stabilizeler farklı şekillere sahip olabilmekle birlikte daima kuyruk bölümünde yer alır (yatay stabilizeler gibi, burun bölümünde yer alan uygulamaları mevcut değildir).

Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

Dikey Eksen Etrafında Kararlılık

- Kimi uçaklarda yatay ve dikey stabilizeler V, ters V veya X şeklinde bir tek elemanda birleştirilmişlerdir.

- Dikey stabilizenin uçak dikey eksenini etrafında kararlılık sağlama işi →

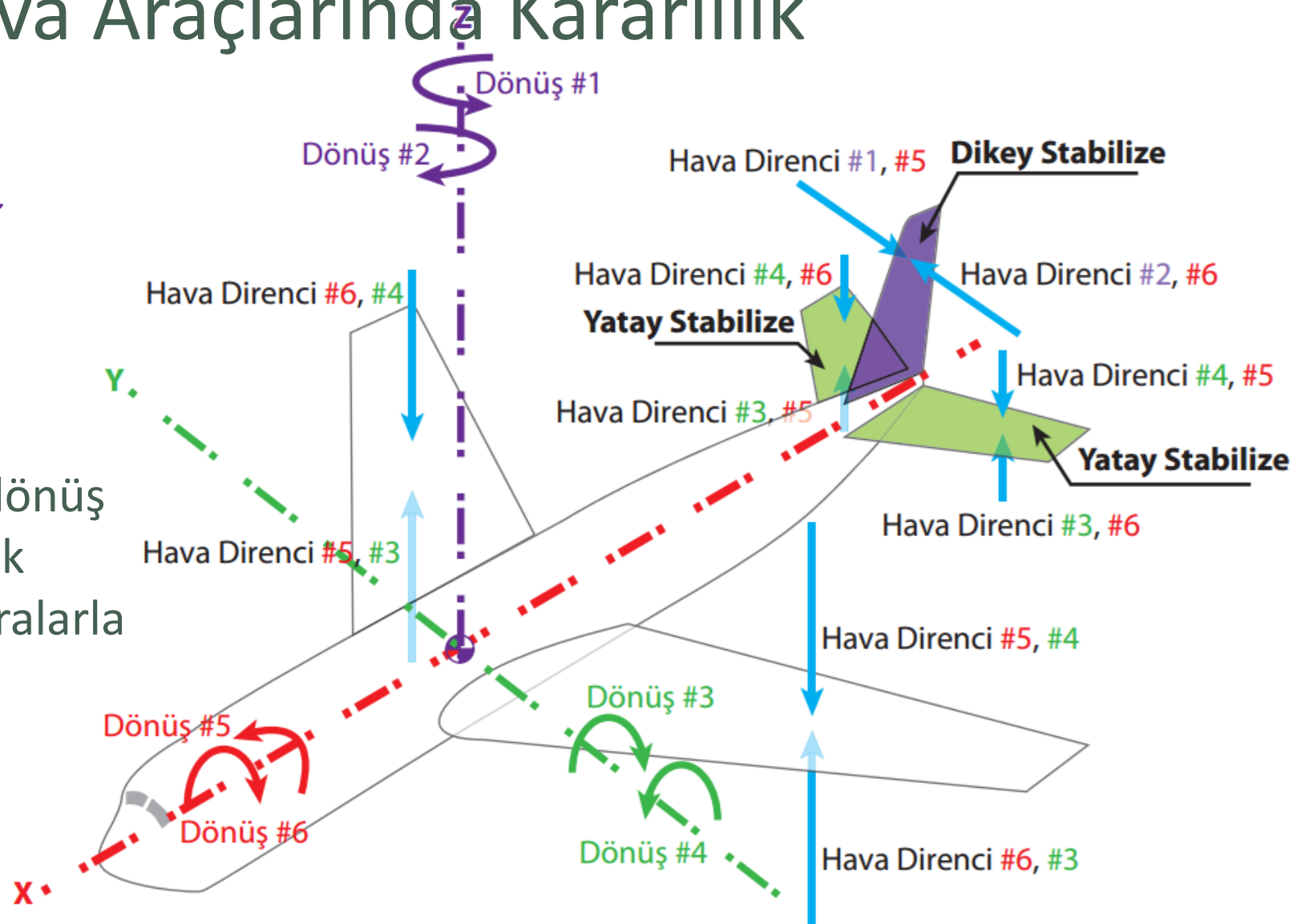


Uçuş Kontrol / Hava Araçlarında Kararlılık

Hava Dirençlerinin Uçak Kararlılığına Katkıları



- Hava dirençlerinin, hangi dönüş hareketlerine karşı kararlılık sağladığı, renkler ve numaralarla belirtilmiştir.



Uçuş Kontrol

Uçuş Kumanda Yüzeyleri

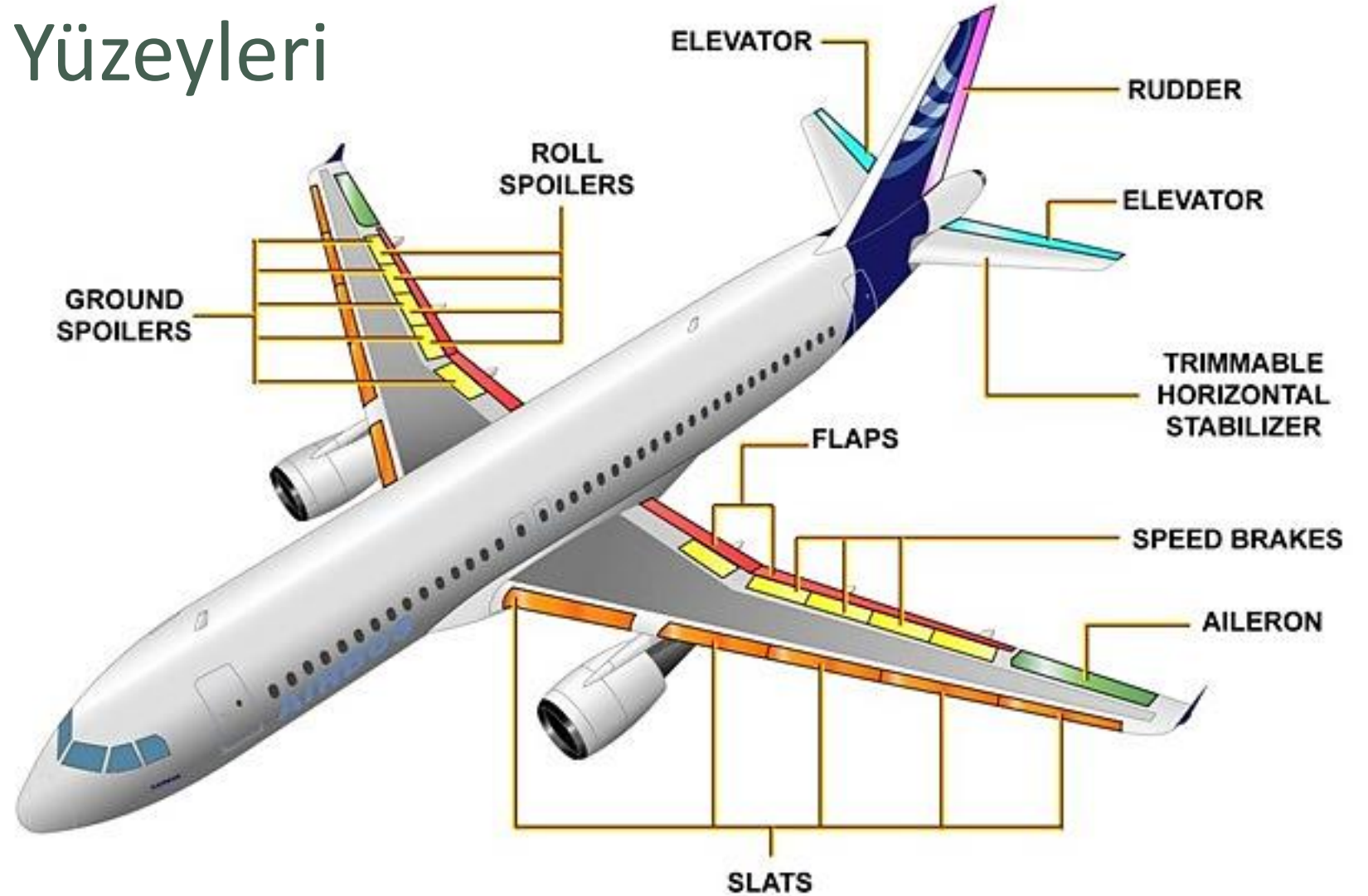
Uçuş Kumanda Yüzeyleri

Birincil Uçuş Kontrol Yüzeyleri

- Aleron
- Dümen
- Elevatör

İkincil Uçuş Kontrol Yüzeyleri

- Flap
- Slat
- Spoyler
- Hava freni
- THS



Uçuş Kumanda Yüzeyleri

Birincil Uçuş Kontrol Yüzeyleri

- Aleron (*aileron* – eleron, kanatçık)
- Dümen (*rudder* – istikamet dümeni)
- Elevatör (*elevator* – irtifa dümeni)

İkincil Uçuş Kontrol Yüzeyleri

- Flap
- Slat
- Spoyler (spoiler)
- Hava freni (speed brake)
- THS (trimmable horizontal stabilizer)

Bulunduğu Yer:

- Kanatlar
- Kuyruk, empenaj, dikey stabilize
- Kuyruk, empenaj, yatay stabilize

- Kanatlar, firar kenarı
- Kanatlar, hücum kenarı
- Kanatların üst tarafı vd.
- Kanatlar vd.
- Kuyruk, empenaj, yatay stabilize

Uçuş Kontrol

Hareket (Tahrik) Yöntemleri

Uçuş Kontrol

Hareket Yöntemleri

Uçuş kontrol sistemleri, yüzeylerin hareket yöntemlerine göre:

- doğrudan pilot kas gücüyle hareket ettirilen sistemler,
- yardımcı güç kullanan sistemler ve
- tümüyle yapay güç kullanan sistemler şeklinde üç temel gruba ayrılabilir.

Hareketlendiriciler (aktüatörler / *actuators*), hidrolik, pnömatik, elektrikli, mekanik ve bunların kombinasyonları şeklinde olabilir.

Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

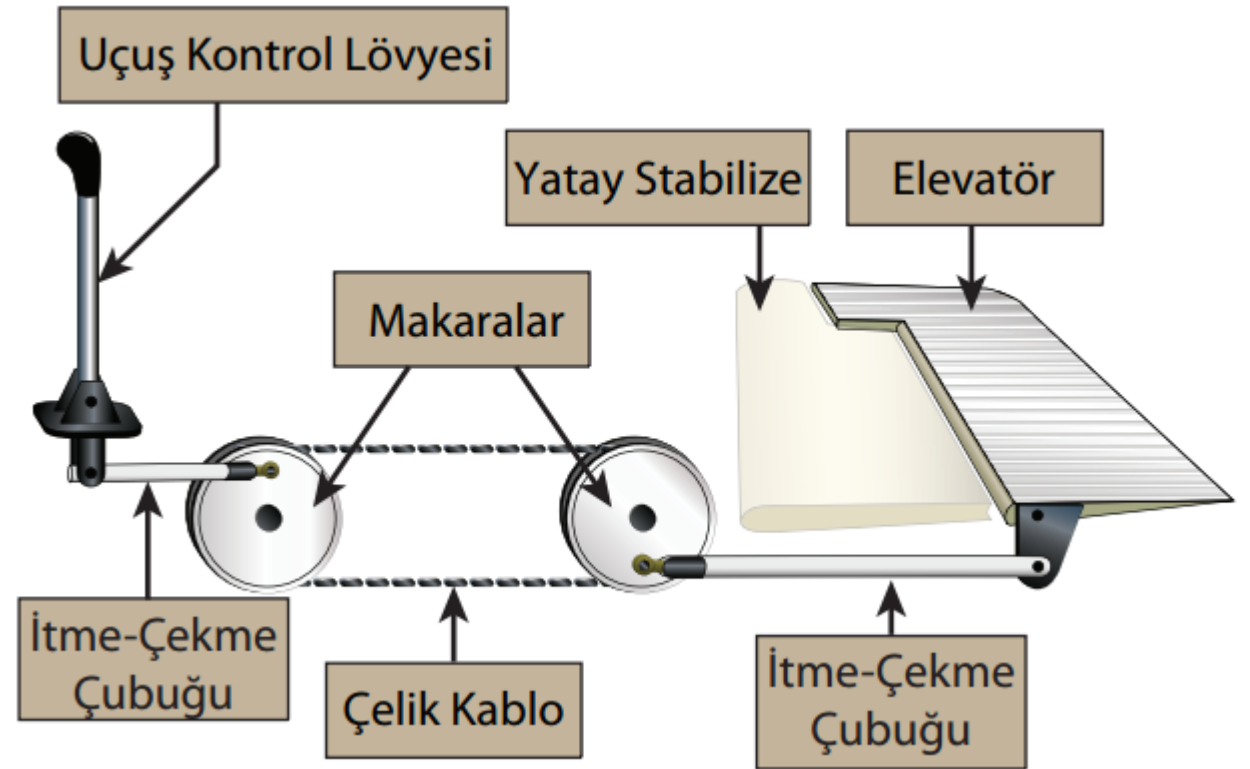
Doğrudan Pilot Kas Gücüyle Hareket Ettirilen Sistemler

- Birincil uçuş kontrol yüzeylerinin doğrudan pilot kas gücüyle hareket ettirildiği uçuş kontrol sistemleri mekanik hareketli sistemler olarak da adlandırılır.
- **Mekanik hareketli sistemlerde pilotun kokpitte bulunan uçuş kontrol araçları üzerine uyguladığı kuvvetler, çelik kablolar, itme-çekme çubukları ve tork tüpleri gibi mekanik iletim vasıtalarıyla uçuş kontrol yüzeylerine iletilir.**
- Bu tür sistemlerde uçuş kontrol yüzeyi üzerindeki kuvvetler de pilota iletilir (pilot tarafından hissedilir).
- Kabloların rahatlıkla hareket ettirilebilmesi için makaralar, yön değiştirmesi için makaralar ve/veya kablo kadrantları kullanılır (bu tür sistemler kimi zaman **kablo-makara sistemi**) ismini de alır.

Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

Doğrudan Pilot Kas Gücüyle Hareket Ettirilen Sistemler

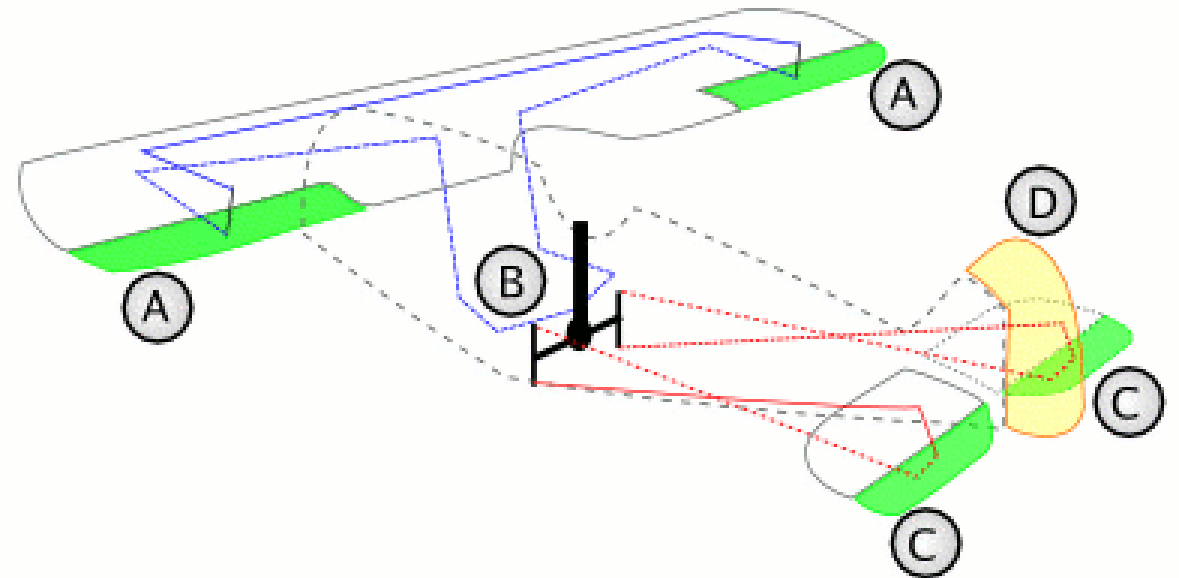
- Mekanik hareketli uçuş kontrol sistemi →



Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

Doğrudan Pilot Kas Gücüyle Hareket Ettirilen Sistemler

- Uçuş kontrolü ve hareketler →



Kaynak: https://tr.wikipedia.org/wiki/U%C3%A7u%C5%9F_denetimleri

Örnek Video: Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

Uçuş Kumandalarının Kablolar ile Tahriki
Örnek Animasyon

<https://www.youtube.com/watch?v=AiTk5r-4coc>

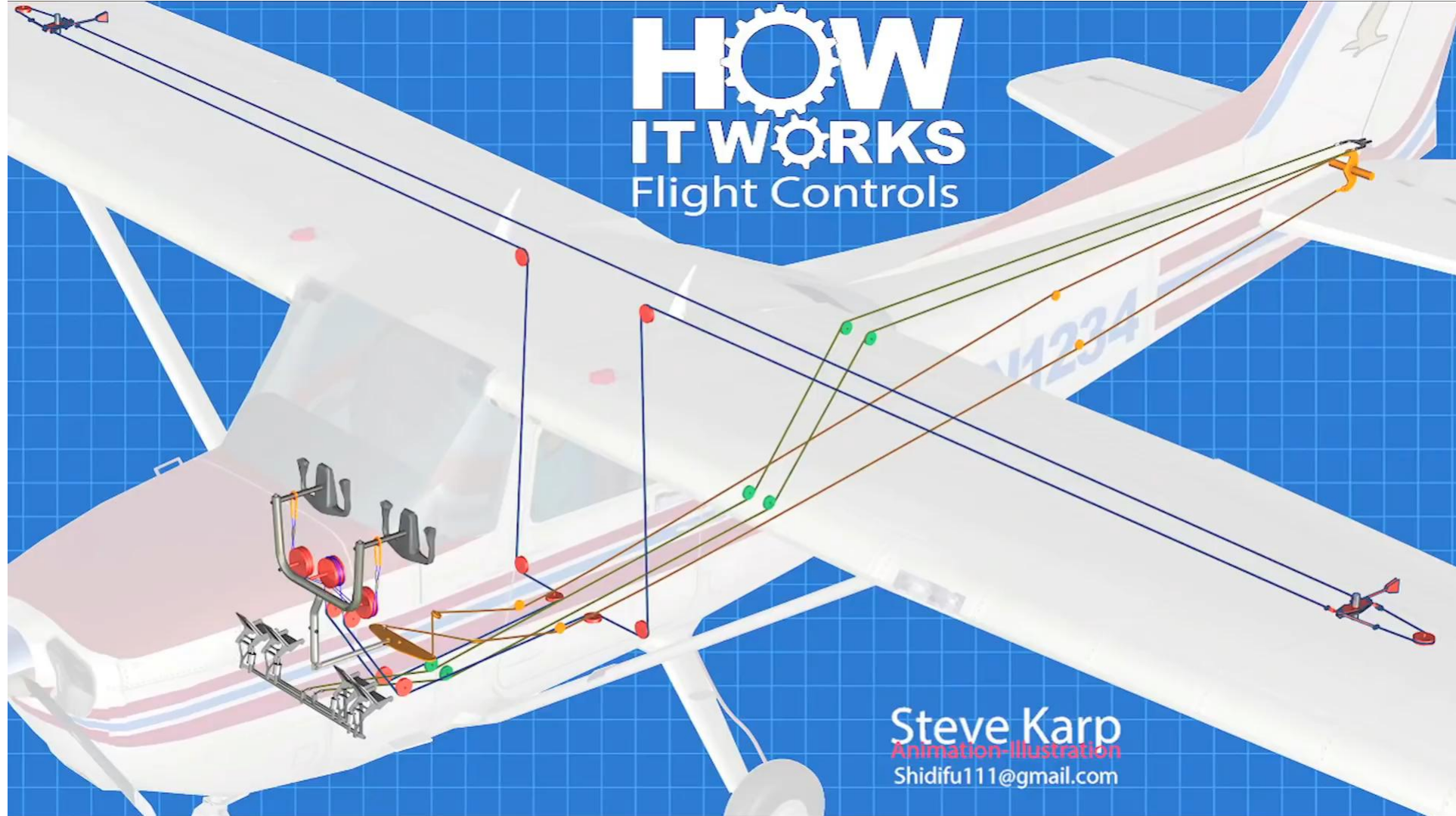
00:01 – 01:58

(How It Works Flight Controls)

Uçuş Kontrol Hareket Yöntemleri

Örnek Animasyon:

Mekanik hareketli
uçuş kontrol
sisteminin
çalışması



Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

Yardımcı Güç Kullanan Sistemler

- Uçak ağırlığı ve hızı arttıkça uçuş kontrol yüzeyleri üzerindeki aerodinamik kuvvetler pilotun karşılayamayacağı seviyelere ulaşır. Böyle durumlarda pilota yardımcı olmak üzere, **elektrik, hidrolik, pnömatik** veya **aerodinamik** güçlerden yararlanılabilir.
- Elektrik, hidrolik veya pnömatik motorlar, çalışmazken güç uygulayamadıklarından, elevatör, aileron, rudder gibi nispeten hızlı kontrol ve sürekli güç uygulanmasını gerektiren yüzeylerin hareketi ve belli bir pozisyonda tutulmalarını sağlamak için tek başlarına yeterli değildirler.
- Bir kriko ile birlikte kullanıldıklarında ise, yüksek hızlar gerektirmeyen flaplar, slatlar ve trim yüzeyleri gibi elemanların açılıp-kapanması ve sabit bir pozisyonda tutulması için kullanılabilirler. Bu bölümde sözü edilen güç sistemleri, trim yüzeyleri değil, sürekli, değişken ve hızlı kontrol gerektiren uçuş kontrol yüzeylerinde kullanılan güç sistemleridir.

Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

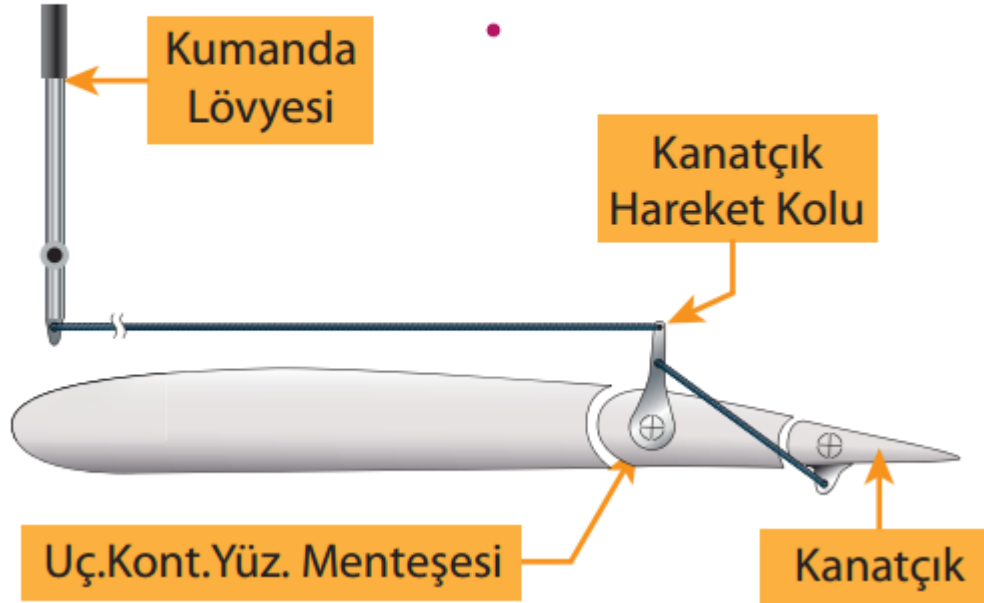
Aerodinamik Güç Yardımcılı Sistemler

- **Trim Kanatçıkları** (fletnerler, tab'lar), aslında aerodinamik yardımcı uçuş kontrol sistemlerinin elemanıdır. Bu tür sistemlerde pilot kas gücü, kablo-makara, itme-çekme çubukları veya tork tüpleri yardımıyla, yardımcı kanatçık veya birincil uçuş kontrol yüzeyi üzerine uygulanır.
- Pilot kuvvetinin birincil uçuş kontrol yüzeyine uygulandığı sistemlerde, asıl yüzey bir yönde açıldığında, mekanik bir bağlantı, yardımcı kanatçığın ters yönde açılmasını sağlar. Bu tür sistemlerde pilot, kuvvet uyguladığı yüzey üzerindeki aerodinamik kuvvetleri, moment kollarının uzunluğuna bağlı olarak, kısmen hisseder.

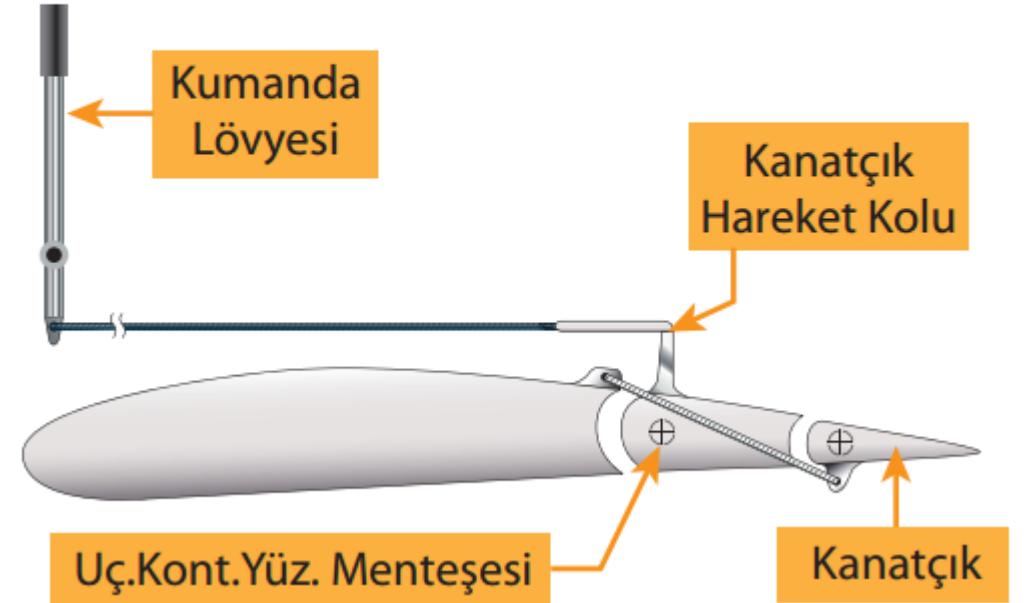
Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

Aerodinamik Güç Yardımcılı Sistemler

Yardımcı kanatçık hareket yöntemleri: a. doğrudan kanatçık üzerine kuvvet uygulayarak,

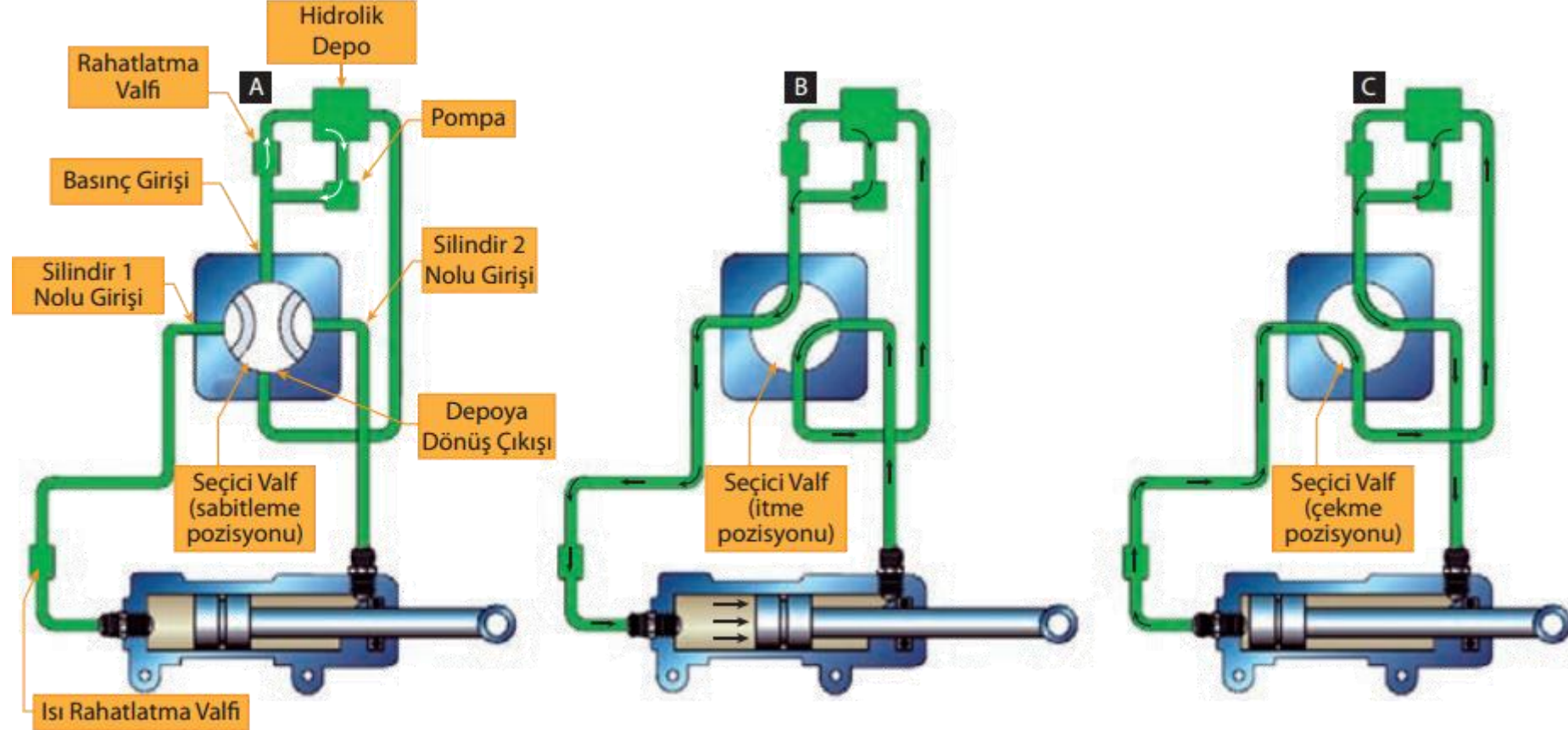


Yardımcı kanatçık hareket yöntemleri b. asıl (birincil) uçuş kontrol yüzeyinin hareketi ile



Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

Hidrolik Güç Yardımcılı Sistemler



Piston-silindir şeklinde bir hidrolik hareketlendiricinin servo-valf ile kontrolü: Döner hareketli kontrol valfi

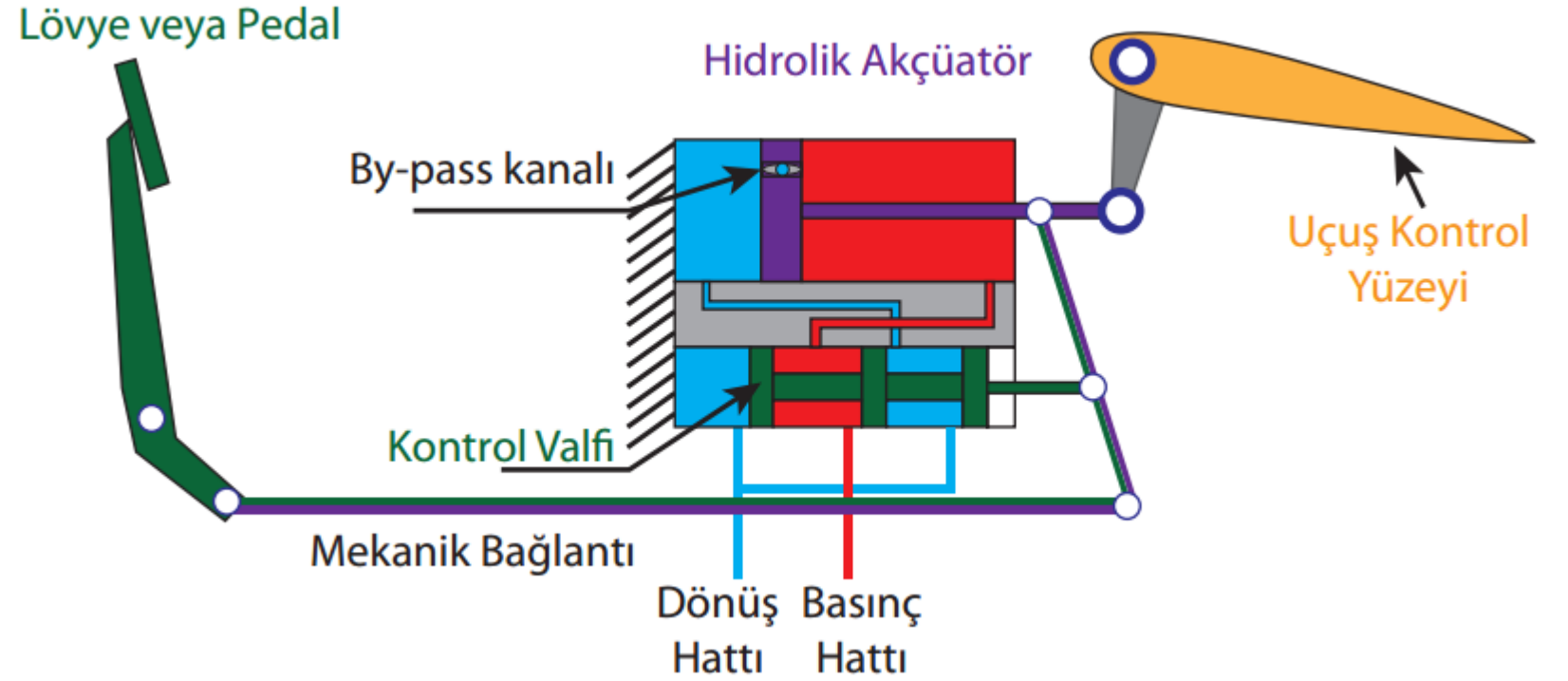
Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

Senkronize Hidrolik Güç Yardımcılı Sistemler

- Bu tür uçuş kontrol sistemlerinde, pilot aynı anda hem birincil uçuş kontrol yüzeyine hem de bir hidrolik aktüatörün (*actuator* / hareketlendirici) servo kontrol valfine kuvvet uygular.
- Normalde (hidrolik güç yeterli ve düzgün çalışırken) bir hidrolik aktüatör, uçuş kontrol yüzeyi üzerine pilotun uyguladığı kuvvetle orantılı bir kuvvet uygulayarak, pilotun uygulaması gereken kuvveti azaltır.
- Hidrolik güçte bir arıza meydana geldiğinde veya hidrolik basınç yetersiz olduğunda ise, pilot mekanik bağlantı yardımıyla, uçuş kontrol yüzeyini doğrudan kendi kas gücüyle kontrol etmeye devam edebilir.
- Bu sırada hidrolik aktüatör, pilota engel olmaması için, boşa çıkarılır (by-pass edilir) ve asıl uçuş kontrol yüzeyi hareketlerini (kuvvet uygulamadan) takip eder.

Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

Hidrolik Güç Yardımcılı Sistemler



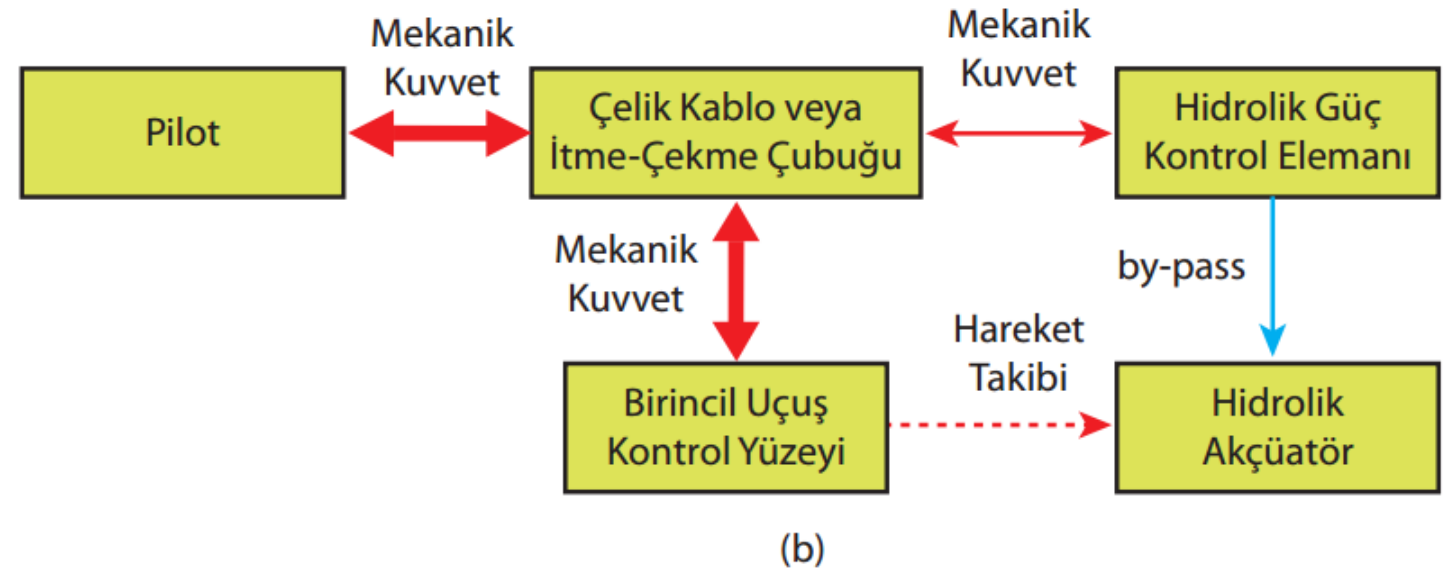
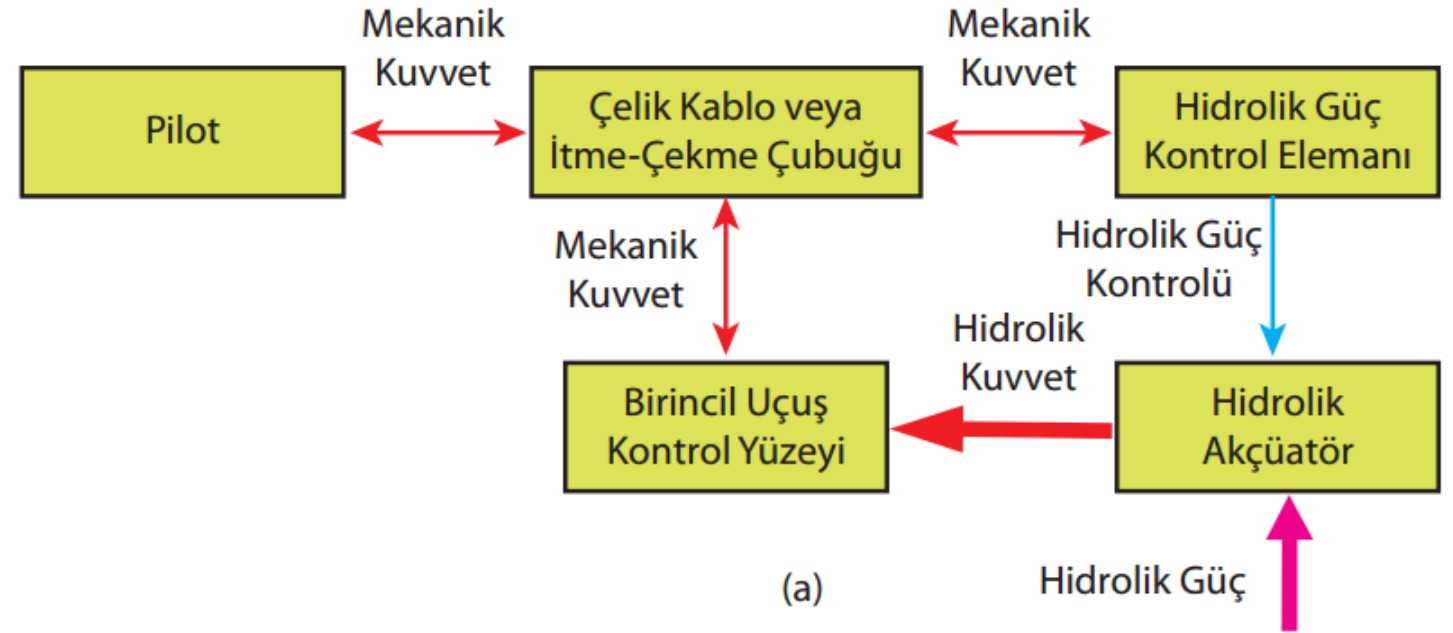
Senkronize hidrolik güç yardımcılı uçuş kontrol sistemi prensibi

Uçuş Kontrol Hareket Yöntemleri

Hidrolik Güç Yardımcılı Sistemler

(Senkronize) hidrolik güç yardımcı uçuş kontrol sisteminin çalışma prensibi blok şeması:

a) normalde,
b) hidrolik gücün kullanılamaması durumunda



Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

Tümüyle Yapay Güç Hareketli Sistemler

- Bu tür sistemlerde, **birincil ve/veya ikincil uçuş kontrol yüzeyleri** tümüyle hidrolik, pnömatik veya elektrikli aktüatörler (elektrik motorları) tarafından hareket ettirilir.
- Pilotun sistemde uyguladığı kuvvet, kontrol levyeleri, volanları, düğmeleri veya aktüatör kontrol valfini hareket ettirmekten ibaret çok küçük kuvvetlerdir.

Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

Tümüyle Yapay Güç Hareketli Sistemler

- Bu tür sistemlerde pilot, uçuş kontrol yüzeyleri üzerindeki aerodinamik kuvvetleri, eğer yapay bir kuvvet hissettirici (*artificial feel – force feedback*) sistem yoksa, hiçbir şekilde hissetmediğinden tek yönlü veya kuvvet geri bildirimsiz sistemler olarak adlandırılmaktadır.
Motor şeklindeki aktüatörler çalışmadıklarında bir kuvvet veya güç üretmezler. Bu nedenle bu tür aktüatörler, çalışmadıklarında uçuş kontrol yüzeyinin sabit kalabilmesi için, kriko (vidalı mil) benzeri bir mekanizma ile birlikte kullanılırlar.
- Aktüatör motoru çalışırken krikoyu veya üzerindeki bir dişliyi döndürerek uçuş kontrol yüzeyinin istenen yönde hareket etmesini sağlar. Motor durduğunda ise kriko uçuş kumanda yüzeyinin sabit kalmasını sağlar.
- Motor şeklindeki aktüatörler daha çok, flap, slat, yatay stabilize gibi sürekli olarak kontrol gerektirmeyen yüzeylerin hareketlerini sağlamak için kullanılır.

Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

Tümüyle Yapay Güç Hareketli Sistemler

- Tümüyle yapay güç hareketli (genellikle hidrolik) uçuş kontrol sistemlerinde, bir tek güç kaynağı veya kontrol kanalına bağlı kalınırsa, güç veya kontrol sistemleri görevlerini yerine getiremediğinde pilotun uçuş kontrol yüzeylerini hareket ettirmesi mümkün değildir.
- Bu nedenle bu tür sistemlerde hemen **her elemanın bir yedeği veya alternatifi** bulunur. Örneğin, birden fazla güç kaynağı, aynı görevi yerine getirmek üzere birden fazla uçuş kontrol yüzeyi, her bir yüzeyi hareket ettirmek için birden fazla aktüatör kullanılır ve aktüatörler genellikle farklı kaynaklardan beslenir.

Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

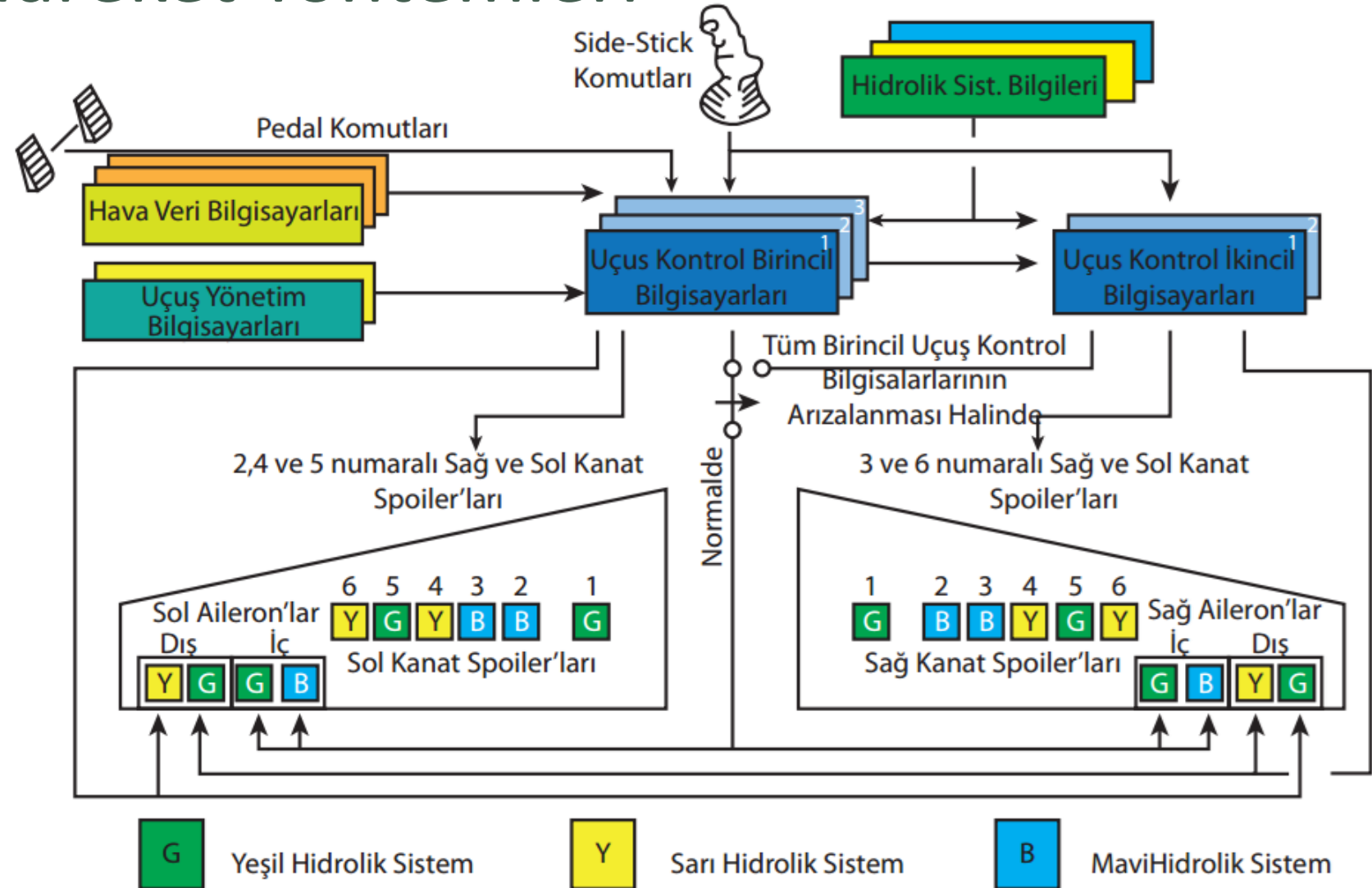
Tümüyle Yapay Güç Hareketli Sistemler

- Sistemde aynı yüzeyleri kontrol eden her bir bilgisayarın en az bir yedeği (1, 2, 3 numaralı bilgisayarlar şeklinde) ve bazı bilgisayarların alternatifleri (birincil ve ikincil bilgisayarlar şeklinde) bulunur.
- Ayrıca her bir kanat üzerinde, iç ve dış olmak üzere, iki aileron bulunmakta ve her bir aileron farklı hidrolik güç kaynağından (yeşil, sarı ve mavi) beslenmek üzere iki aktüatör ile hareket ettirilmektedir.
- Her bir spoiler bir tek aktüatör ile hareket ettirilmesine rağmen, her bir kanat üzerindeki çok sayıda ve farklı hidrolik kaynaklardan beslenen spoiler'lerden biri diğerini yedeklemekte veya alternatif olmaktadır.

Uçuş Kontrol / Hareket Yöntemleri

Tümüyle Yapay Güç Hareketli Sistemler

- *Örnek Görsel:*
Hidrolik hareketli ve bilgisayar kontrollü bir uçuş kontrol sisteminde çeşitli sistem ve elemanların yedekleri ve alternatifleri



Uçuş Kontrol

Kontrol Yöntemleri

Uçuş Kontrol / Kontrol Yöntemleri

Bu bölümde söz konusu kontrol yöntemleri, uçuş kontrol yüzeylerinin pozisyon veya hareketlerinin belirlenmesi ve/veya yönlendirilmesi ile ilgilidir.

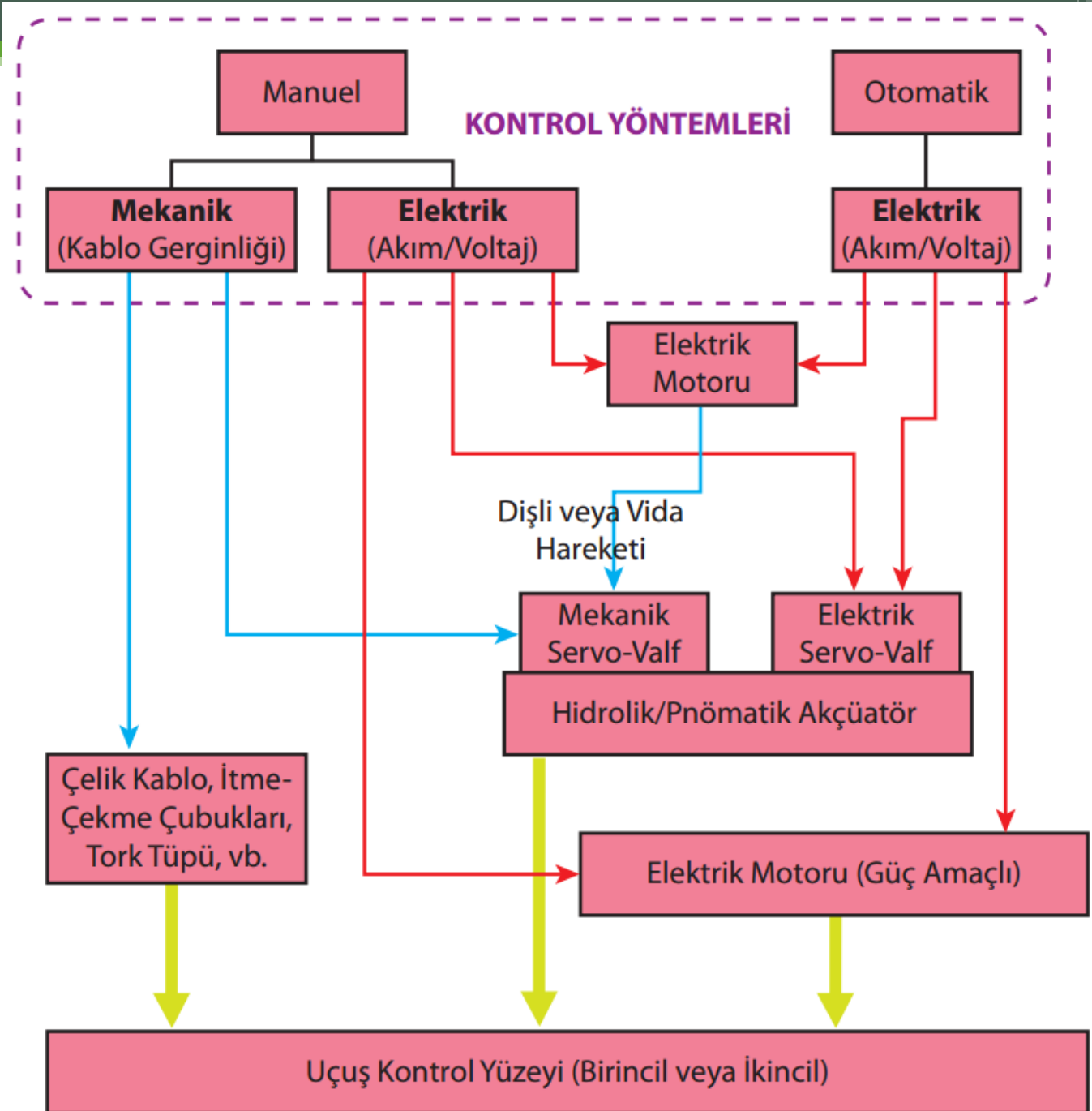
- Uçuş kontrol yöntemleri, pilotun kontrol sürecine dâhil olup-olmayışına göre **manuel** veya **otomatik** ; kontrol işaretlerinin (sinyallerinin) fiziksel özelliğine göre mekanik veya elektrikli şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Uçuş Kontrol / Kontrol Yöntemleri

- Uçuş kontrol yüzeylerinin **pilot kas gücü**yle hareket ettirildiği sistemler, bariz **manuel kontrol** örneğidir. Pilot, uçağın denge durumu dışında, istediği uçuş pozisyonu veya manevraları gerçekleştirmek için kumanda araçları vasıtasıyla verdiği komutları sürekli olarak yinelemek zorundadır.
- Aksi halde, pilot kumanda araçları üzerine kuvvet uygulamadığı anda uçuş kumanda yüzeyleri, yerçekimi ve aerodinamik kuvvetlerin etkisiyle rastgele hareket eder.
- Pilotun, trim volanları veya düğmeleri gibi araçlarla uçuş kumanda yüzeylerini belli bir pozisyona getirmek için yaptığı kontrol şekli de, arada kendiliğinden yapılan farklı bir işlem yoksa, manuel kontrol olarak nitelendirilir.
- **Otomatik uçuş kontrolü**, elektrik-elektronik devreler veya **bilgisayarlar** tarafından gerçekleştirilmektedir.

Uçuş Kontrol Kontrol Yöntemleri

Uçuş kontrol yüzeylerinin kontrol yöntemleri →



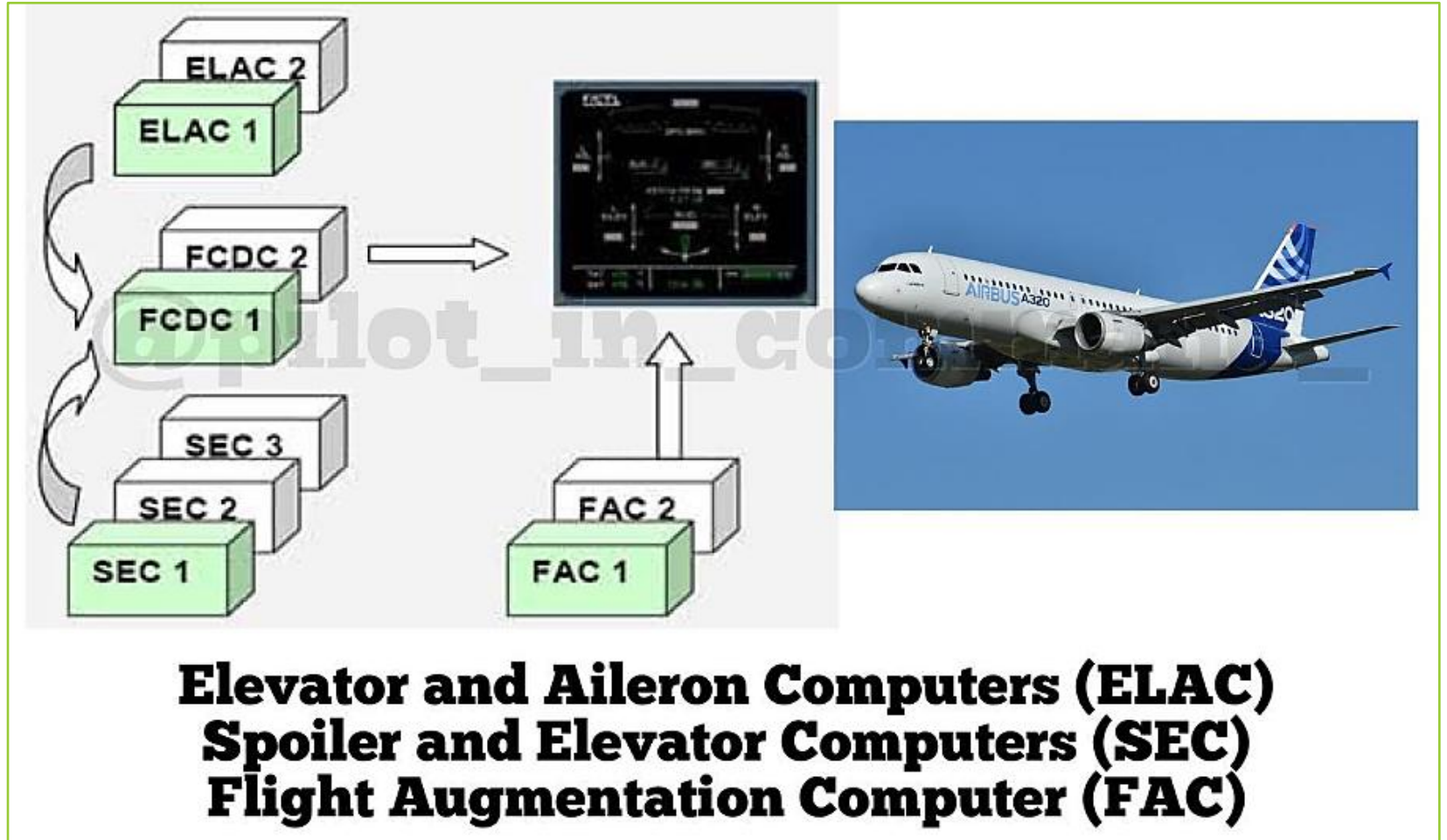
Uçuş Kontrol / Kontrol Yöntemleri * (Örnek)

- **Uçuş Kontrol Bilgisayarları**

(Flight Control Computers)

Otomatik – elektronik veya bilgisayarlı kontrol

Örnek Görsel: Airbus A320 Uçuş Kontrol Bilgisayarları



Uçuş Kontrol / Kontrol Yöntemleri **

Uçuş Kontrol Bilgisayarları

- Yedi adet uçuş kontrol bilgisayarı (Airbus uçuş kontrol sistemi örneğinde), manevra kolundan (*joystick/sidestick*) girdi alır, komutun emniyetli olup olmadığını analiz eder ve ardından kontrol yüzeyi servolarını yönetmek için kullanır. Bu uçuş kontrol bilgisayarları:
 - İki adet elevatör ve aleron bilgisayarı (**ELAC**) - *Elevator and Aileron Computers*
 - Üç adet spoyler ve elevatör bilgisayarı (**SEC**) - *Spoiler and Elevator Computers*
 - İki adet uçuş takviye bilgisayarı (**FAC**) - *Flight Augmentation Computer*

Uçuş Kontrol / Kontrol Yöntemleri ***

Uçuş Kontrol Bilgisayarları

- İki Uçuş Kontrol Veri Yoğunlaştırıcı bilgisayarı (**FCDC** - *Flight Control Data Concentrator*), EIS (Elektronik Aygıt/Gösterge Sistemi - *Electronic Instruments System*) tarafından kullanılmak üzere ELAC'lerden ve SEC'lerden gelen verileri işler. FAC'ler verilerini doğrudan gönderir.
- FCDC'ler yedekli (*redundant*) yani birden fazladır. Her iki FCDC'nin de bozulması, uçuş kontrol verilerinin EIS tarafından kullanılamamasına yol açacaktır.
- Uçuş kontrol bilgisayarlarını kontrol etmek için tepe panelinin her iki tarafında birer adet olmak üzere toplam iki adet FLT CTL (*flat / control*) paneli kullanılır.

Uçuş Kontrol / Kontrol Yöntemleri ****

Uçuş Kontrol Bilgisayarları

- Her uçuş kontrol bilgisayarı çifti yedeklidir (*redundant*). SEC3 yalnızca *spoiler* kontrolü için kullanılır ve uçuş kontrol sisteminin yeniden yapılandırılmasına dahil edilmez.
- Aleronlar, elevatör ve *pitch* trimi, her biri ayrı bir hidrolik kaynaktan güç alan iki bağımsız aktüatör tarafından çalıştırılır. Dümen (*rudder*), üç bağımsız aktüatör tarafından desteklenmektedir. Her aktüatör farklı bir bilgisayar tarafından kontrol edilir. Herhangi bir zamanda, bir aktüatör aktif modda olacak ve diğeri sönmüleme modunda olacaktır. Uçuş kontrol bilgisayarının arızalanması durumunda, o bilgisayar tarafından kontrol edilen aktüatörler otomatik olarak sönmüleme moduna geçecek ve diğeri bilgisayar tarafından kontrol edilenler aktif hale gelecektir.

Uçuş Kontrol / Kontrol Yöntemleri *****

Uçuş Kontrol Bilgisayarları

- Her iki ELAC de başarısız olursa kanatçıkların (aleronlar) aktif kontrolü kaybolur ve kanatçıklar sönmüleme moduna geri döner. SEC2, elevatör ve stabilizenin kontrolünü devralır. Yatış (*roll*) işlevi *spoiler* tarafından sağlanmaktadır. SEC2 de arızalanırsa, yerine SEC1 kullanılacaktır.
- Taşıma arttırıcı donanımlar:
 - Her hücum kenarında beş adet slat
 - Her firar kenarında iki adet flap
- Taşıma arttırıcı donanımlar hidrolik olarak hareketlendirilir. İki adet SFCC (Slat Flap Kontrol Bilgisayarı – *Slat Flap Control Computers*) tarafından elektriksel olarak kontrol edilir. Her SFCC'nin iki kanalı vardır, biri Slatlar ve diğeri Flaplar içindir. SFCC'ler yedeklidir, ancak arızalı bir kanalla ilişkilenen sistem yarı hızda hareket eder.

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>