



TAŞKÖPRÜ
MESLEK
YÜKSEKOKULU

ELEKTRONİK VE OTOMASYON BÖLÜMÜ İNSANSIZ ARAÇ TEKNİKERLİĞİ

İAT102 İNSANSIZ ARAÇ SİSTEMLERİ TASARIMI

7. HAFTA İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

Uçuşun Fiziği: Ağırlık, Balans ve Emniyet

Uçak stabilitesi ve ağırlık merkezi (CG) hesaplamaları üzerine kapsamlı teknik kılavuz.



Aşırı Yüklemenin Bedeli (Sadece Ağırlık Değil, Fiziksel Çöküş)

Performans Kayıpları



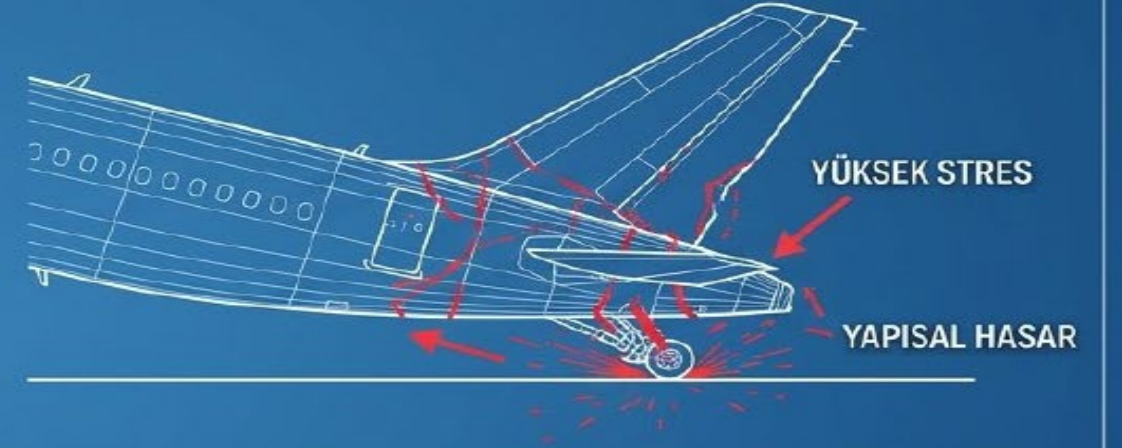
Kalkış & İniş: Mesafeler **tehlikeli biçimde uzar**.

Tırmanış: Tırmanış oranı (climb rate) **ciddi şekilde düşer**.

Hız & Menzil: Maksimum hız **azalır**, havada kalış süresi ve menzil **kısalır**.

Stall: Stall (tutunma kaybı) **sürati artar**.

Yapısal Riskler



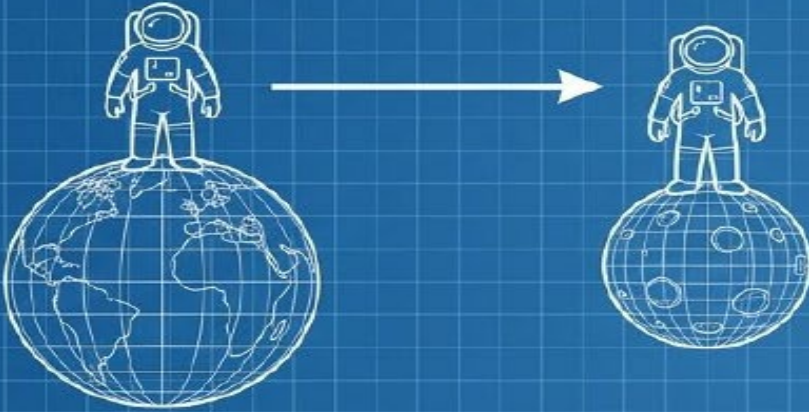
Manevra: Kabiliyet **azalır**, uçağın tepkileri **ağırlaşır**.

Stres: Lastik ve frenlere binen yük **toleranslarının ötesine geçer**.

Emniyet Marjı: Uçağın yapısal emniyet marjları (safety margins) **minimuma iner**.

Temel Fizik: Kütle (Mass) ve Ağırlık (Weight)

KÜTLE / MASS



Tanım: Bir cismin içindeki maddenin değişmez miktarıdır.

Kural: Dünyada da, başka bir gezegende de aynıdır. Asla değişmez.

Birim: Kilogram (kg) veya Pound (lb).

AĞIRLIK / WEIGHT



AĞIRLIK (DÜNYA)



YERÇEKİMİ KUVVETİ



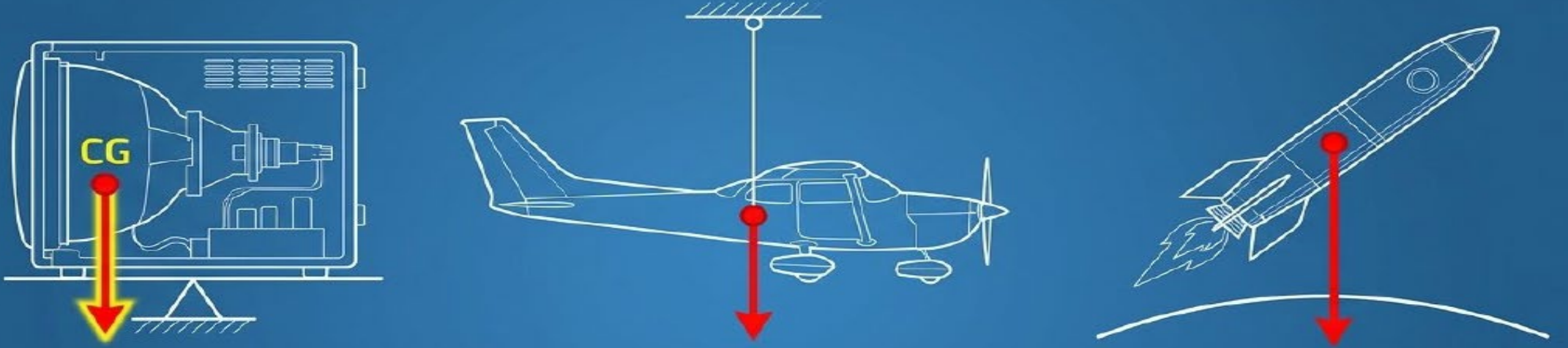
AĞIRLIK (AY)

Tanım: Yerçekiminin kütleye uyguladığı ivmenin/kuvvetin sonucudur.

Kural: Yerçekimi kuvvetine göre değişir (Örn: Ay'da daha düşüktür).

Birim: Newton (N).

Ağırlık Merkezi (Center of Gravity - CG) Nedir?



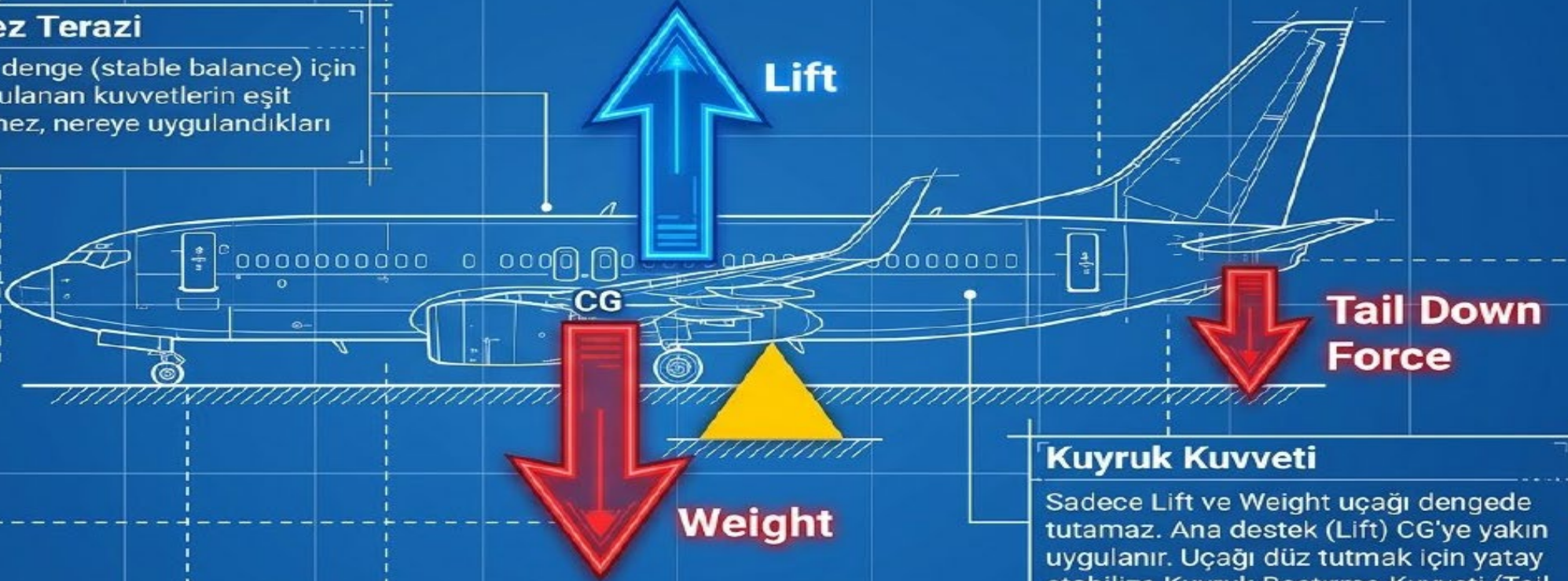
CG, uçağın her yönde mükemmel dengede kalabileceği tek noktadır.
Fiziksel orta nokta olmak zorunda değildir.

Ağırlık merkezi, bir cisme uygulanan "Weight" (Ağırlık) kuvvetinin toplandığı ve dünyanın yerçekimi merkezine doğru yöneldiği mutlak denge noktasıdır.

Uçuşta Denge ve İstikrar (Stability)

Görünmez Terazi

İstikrarlı bir denge (stable balance) için sadece uygulanan kuvvetlerin eşit olması yetmez, nereye uygulandıkları da kritiktir.

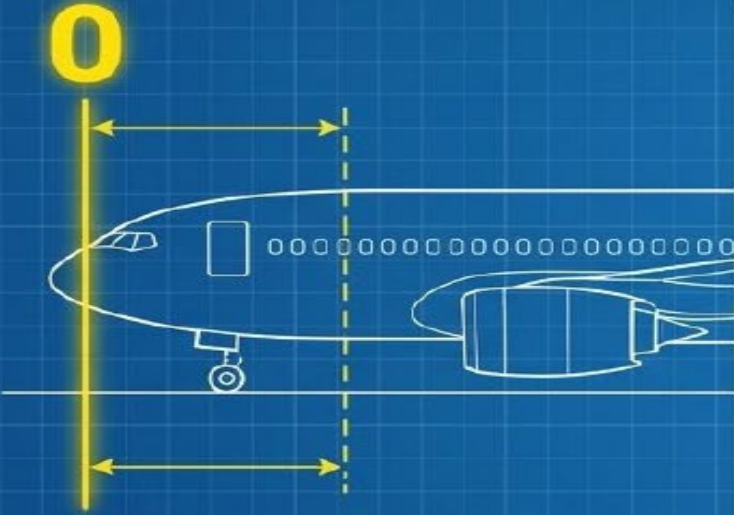


Kuyruk Kuvveti

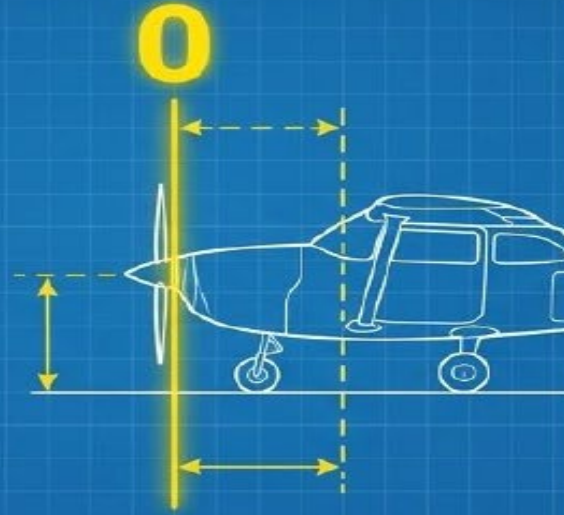
Sadece Lift ve Weight uçağı dengede tutamaz. Ana destek (Lift) CG'ye yakın uygulanır. Uçağı düz tutmak için yatay stabilize Kuyruk Bastırma Kuvveti (Tail Down Force) üretir.

Ölçümün Başlangıç Noktası: Referans Hattı (Datum)

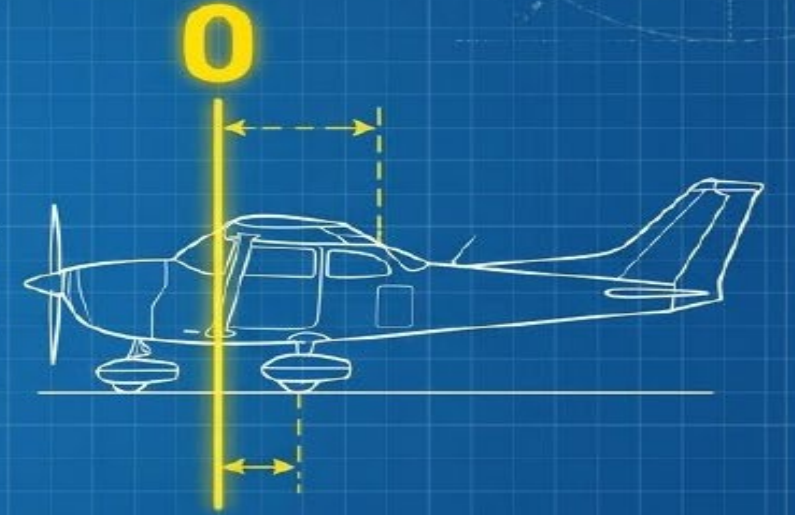
Datum, ağırlık ve balans hesaplamalarında kullanılacak yatay ölçümler için referans olarak alınan hayali, sabit bir dikey hattır.



A: Datum uçağın burnunda
(Modern yolcu uçakları)



B: Datum güvenlik duvarında
(Firewall)

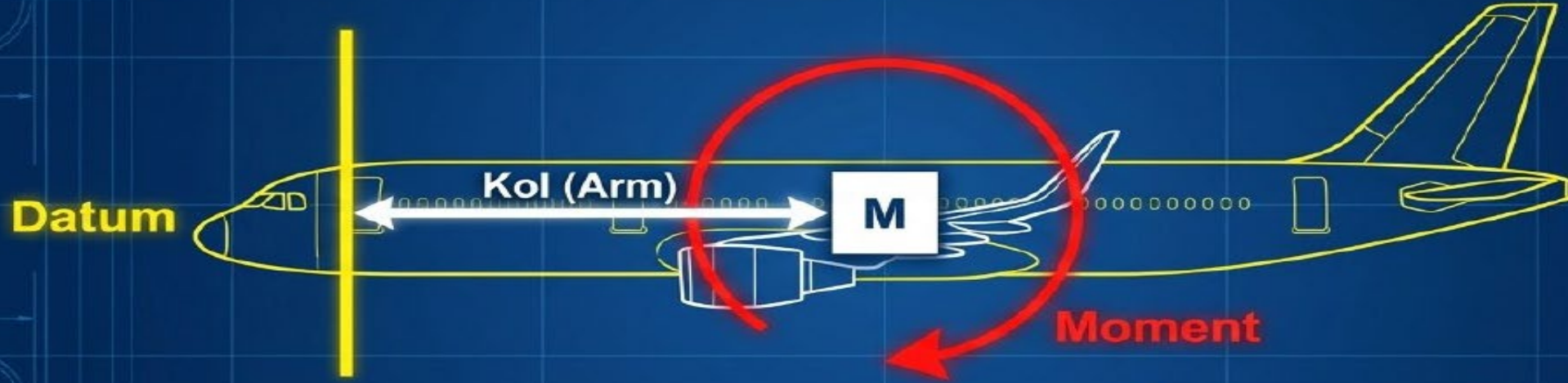


C: Datum kanat hücum kenarında
(Leading Edge)

Tüm donanım, yolcu ve yakıtın konumu bu "0" noktasına olan yatay uzaklığına göre belirlenir.

Kaldıraç Fiziği: Kol (Arm) ve Moment

$$\text{MOMENT} = \text{Kütle (Mass)} \times \text{Kol (Arm)}$$

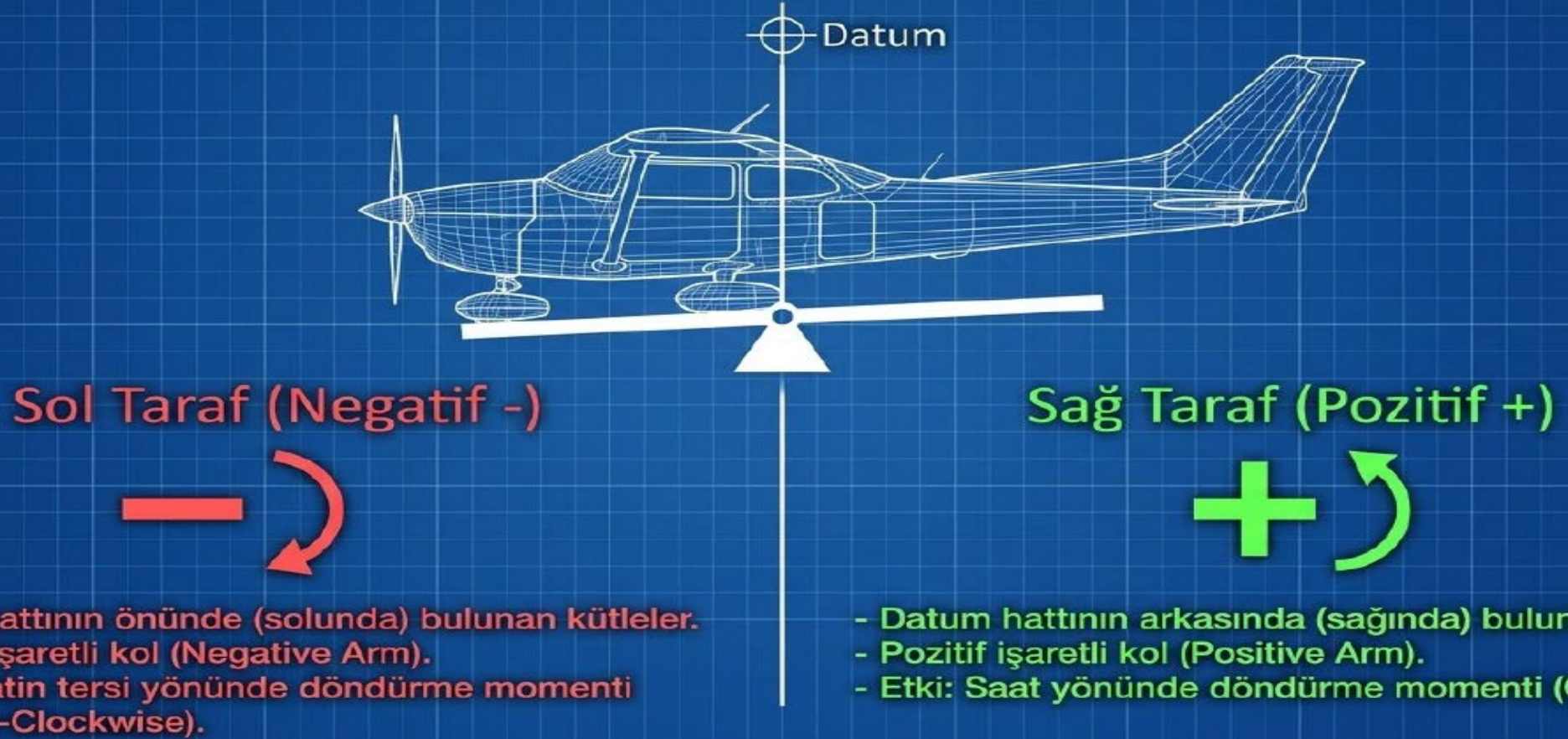


1. Kütle (Mass):
Cisme ait değişmez ağırlık.

2. Denge Kolu (Balance Arm - BA):
Nesnenin Datum hattına olan yatay uzaklığı.

3. Moment (Döndürme Kuvveti):
Bir cismin bir kol mesafesi uzaklıkta tutulması, gövdeye yakın tutulmasından daha fazla ağırlık hissi verir. Kütle, kolu aşağı çekmeye çalışır. Bu döndürme etkisine Moment denir.

Yönsel Kuvvetler: Pozitif ve Negatif Momentler



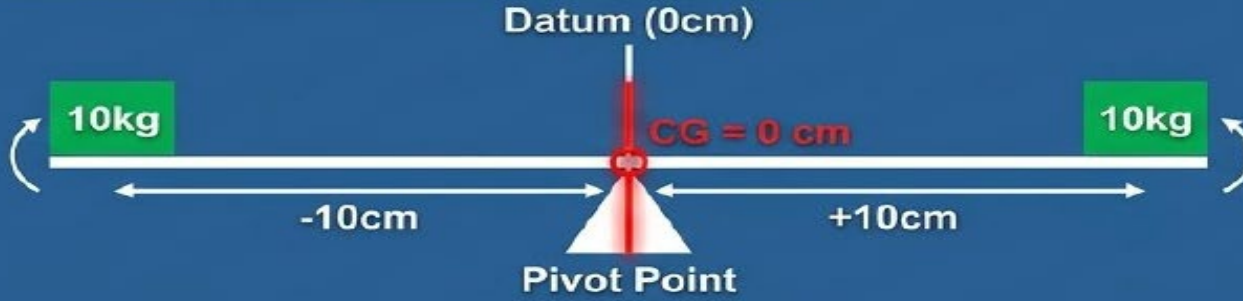
Temel Formül: Ağırlık Merkezinin (CG) Bulunması

$$CG = \frac{\text{Toplam Moment (Total Moment)}}{\text{Toplam Ağırlık (Total Weight)}}$$

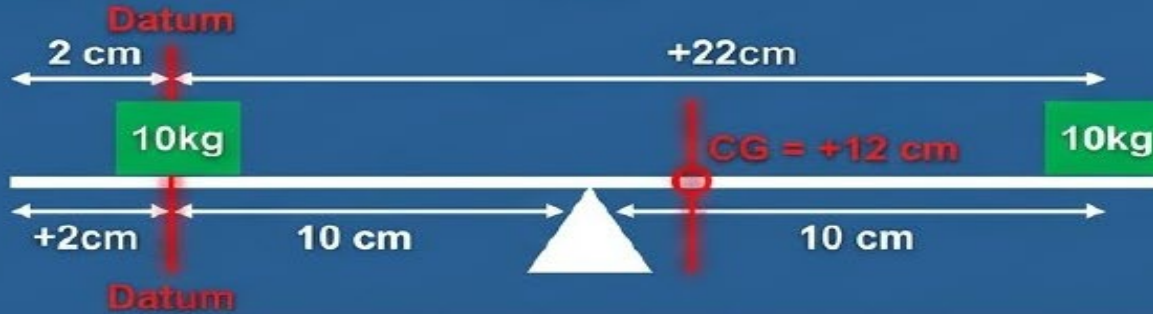
Uçağın dengede durduğu gerçek noktayı (CG'nin Datum'dan uzaklığını) bulmak için tüm ağırlıkların yarattığı döndürme etkilerinin toplamı, uçağın kendi toplam ağırlığına bölünür.

Tahterevalli Mantığı: Referans Noktası Neden Önemlidir?

Adım 1: Merkez Pivot Noktası (Datum)



Adım 2: Datum Noktası Kaydırılırsa



Sol Kütle: $10\text{kg} \times (+2\text{cm}) = +20 \text{ kg/cm}$

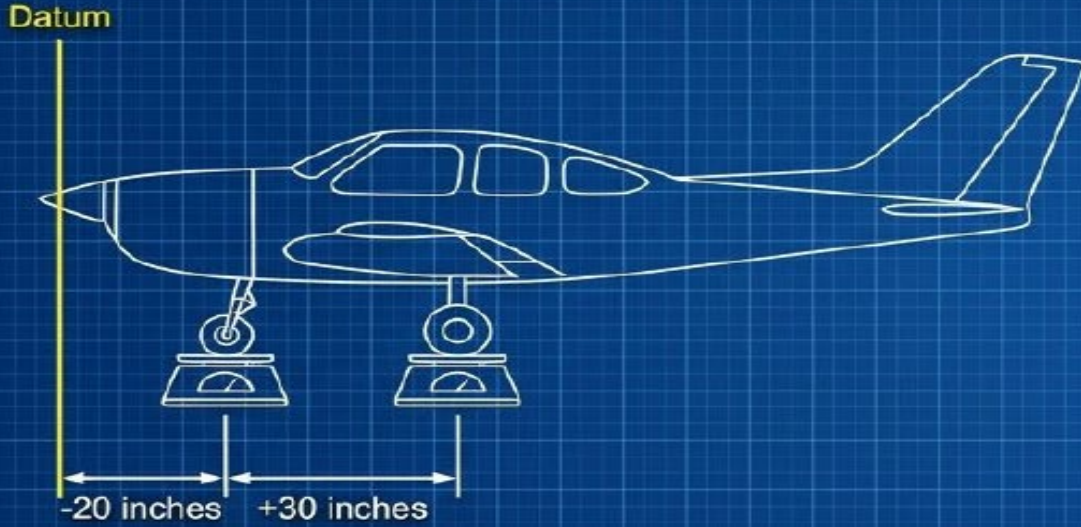
Sağ Kütle: $10\text{kg} \times (+22\text{cm}) = +220 \text{ kg/cm}$

Toplam Ağırlık = 20kg | Toplam Moment = $+240 \text{ kg/cm}$

$\text{CG} = 240 / 20 = +12\text{cm}$

Ağırlıklar nerede olursa olsun, tüm momentleri toplayıp toplam ağırlığa böldüğünüzde, evrensel denge noktasını (CG) bulursunuz.

Temel Boş Ağırlık (BEM) İçin CG Ölçümü



Nose Wheel: 500 lbs x (-20 inches) = -10,000 in-lbs

Left Main: 2000 lbs x (+30 inches) = +60,000 in-lbs

Right Main: 2000 lbs x (+30 inches) = +60,000 in-lbs

Toplam Ağırlık = 4,500 lbs

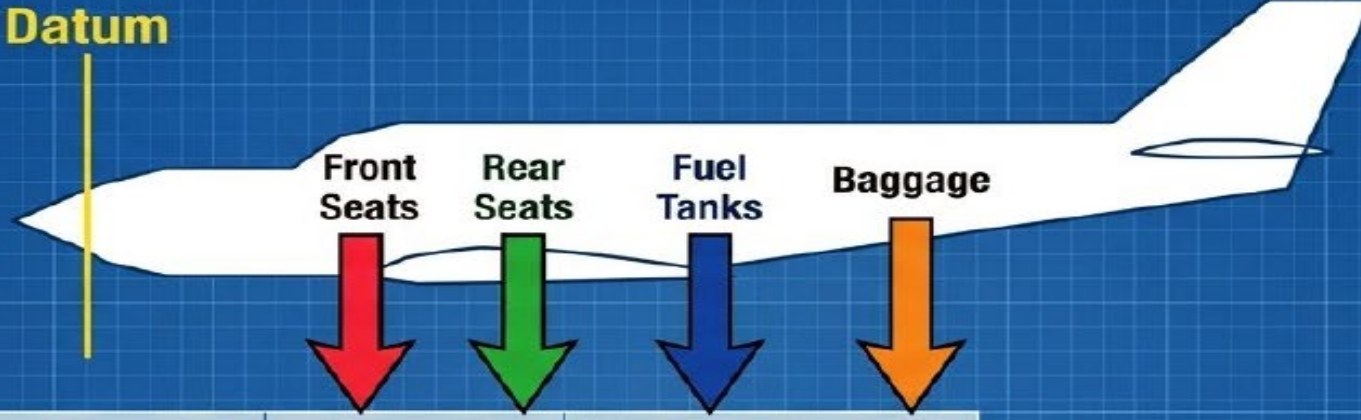
Toplam Moment = +110,000 in-lbs

CG = 110,000 / 4,500 = 24.4 inç (Datum'un arkasında).

Bu değer uçağın fabrika çıkışı Temel Boş Ağırlığı (Basic Empty Mass) ve referans CG noktasıdır.

Operasyonel Yükleme: Uçağın Kalkışa Hazırlanması

Datum



	AĞIRLIK (LBS)	KOL (IN)	MOMENT (IN-LBS)
Boş Ağırlık	2,450	28	68,600
Yakıt	290	44	12,760
Ön Koltuklar	380	23	8,740
Arka Koltuklar	310	55	17,050
Bagaj	150	107	16,050
TOPLAM: 3,580 lbs Ağırlık 123,200 in-lbs Moment			

**Uçuş CG Pozisyonu
= 34.4 inç
(Kalkış ağırlık merkezi)**

Emniyet Limitleri (Safe Zone)



Her uçağın tasarımında belirlenmiş Ön (Forward) ve Arka (Aft) CG limitleri vardır. CG bu alanın içinde olmalıdır.

Nose Heavy (Burun Ağır)



CG çok önde olursa stabilite artar fakat manevra yeteneği düşer. İniş ve kalkışta burun kaldırmak zorlaşır, çakılma riski doğar.

Tail Heavy (Kuyruk Ağır)



CG çok geride olursa stabilite kaybolur. Uçak şaha kalkma eğilimi gösterir, şiddetli stall riski oluşur ve kontrol kaybedilir.

Balansı Neler Bozar? (Kritik Uyarılar)

Kaza ve Kırımlar:

- ✓ Yapısal stres ve parça değişimleri kalıcı şekil değişiklikleri yaratır.



Büyük Tadilatlar / Modifikasyonlar:

- ✓ Yeni aviyonik veya donanım eklenmesi Boş Ağırlığı (BEM) değiştirir.

Uçağın Boyanması:

- ✓ Gövdeye atılan her kat boya, hesaplanması gereken binlerce gramlık yeni kütle demektir.

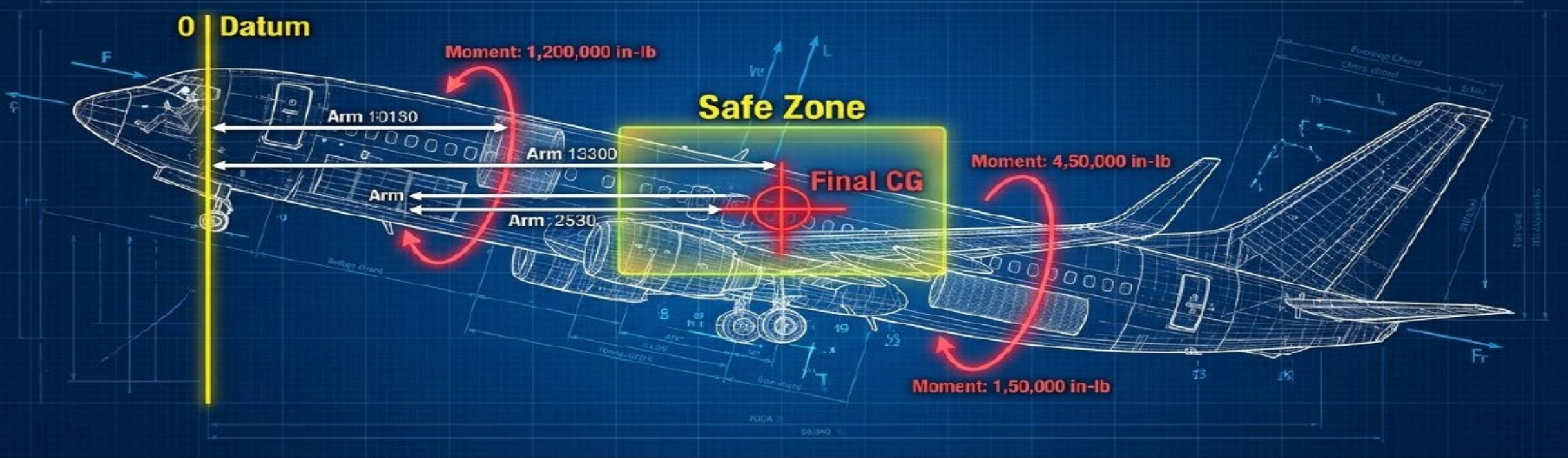
Dengesiz Yükleme:

- ✓ Yakıtın veya kargonun asimetrik yerleştirilmesi (Örn: Sadece sol kanada yakıt alınması).

Düzeltilici İşlem

Ağırlık merkezi limit dışına çıkarsa, uçağın uç ucuna veya kuyruğuna dengeleme ağırlığı (ballast) eklenerek düzeltilir.

Büyük Resim: Uçuşun Mükemmel Dengesi



Emniyetli bir uçuş; kütlelerin (Mass) uçak üzerindeki yerleşimlerinin (Arm), referans hattına (Datum) göre yarattığı döndürme kuvvetlerinin (Moment) kusursuz bir matematiksel dengeyle limitler (Safe Zone) içinde tutulmasıdır.

Fizik affetmez, ancak doğru hesaplama ile yerçekimi yenilebilir.

- Zhao, X., Guo, X., Chen, J., & Bai, X. (2021). Optimization approach to the aircraft weight and balance problem with the centre of gravity envelope constraints. *IET Intelligent Transport Systems*, 15(11), 1370–1382.
- Phan, H. V., Truong, Q. T., & Park, H. C. (2019). Influence of center of gravity location on flight dynamic stability in a hovering tailless FW-MAV: Longitudinal motion. *Journal of Bionic Engineering*, 16(2), 247–262.
- Leishman, R. C., Macdonald, J. C., Beard, R. W., & McLain, T. W. (2014). Quadrotors and accelerometers: State estimation with an improved dynamic model. *IEEE Control Systems Magazine*, 34(1), 28–41.
- Neigapula, S. N. V., Maddula, S. P., & Nukala, V. B. (2020). A study of high lift aerodynamic devices on commercial aircrafts. *Aviation*, 24(3), 123–136.



TEŞEKKÜRLER