

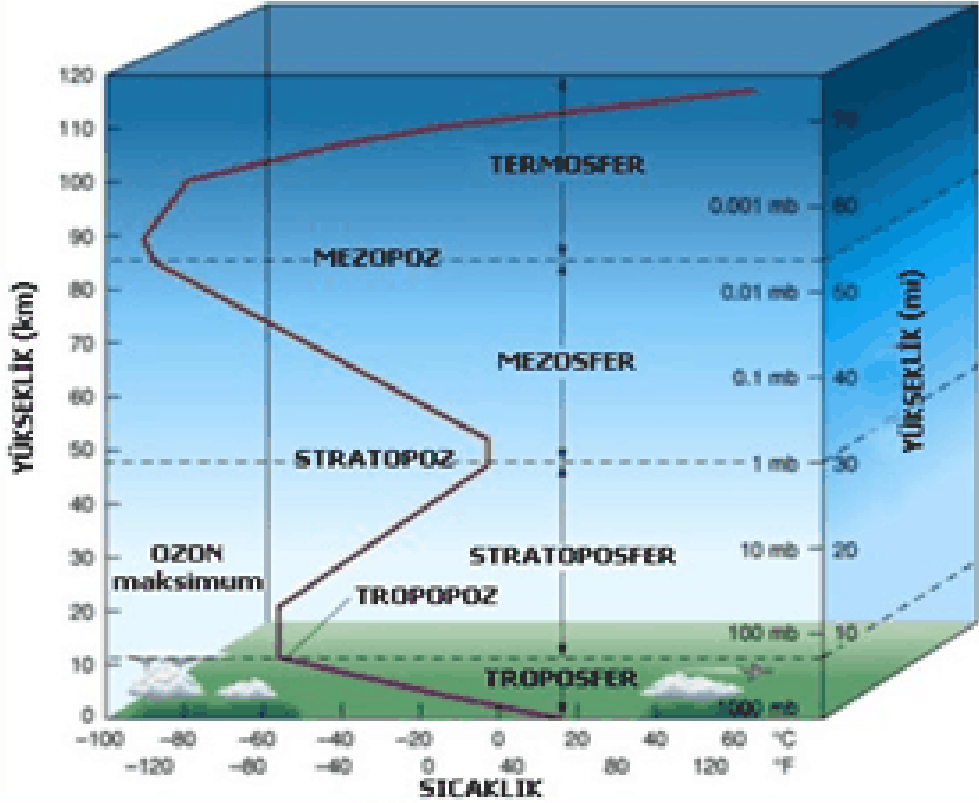
1. ATMOSFER FIZIĞI

Atmosfer Fiziği

Referans olarak kullanılmak üzere bir standart hava şartları sisteminin kabul edilmesi gerekmektedir. Günümüzde halen bir uygulama yeri bulan ICAO (International Civil Aviation Organization) Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı tarafından, Uluslararası Sivil Havacılık Anlaşmasında tespit edilen hava için standart şartlar aşağıda açıklanmıştır:

1. Hava, kuru ve mükemmel bir gazdır.
2. Sıcaklık, deniz seviyesinde 15 °C'dir.
3. Basınç, deniz seviyesinde 760 mm cıva sütunudur (760 mmHg = 1013 mbar).
4. Sıcaklığın yükseklik ile değişimi, deniz seviyesinden itibaren sıcaklığın –56,5 °C olduğu yüksekliğe kadar, her bir metrede –0,0065 °C'a eşittir ve daha yükseklerde sıfırdır.
5. Yoğunluk: 1.225 kg/m³ dür.

Birinci şart gereğince, kuru mükemmel gazlara ait karakteristik denklem, standart atmosfere uygulanabilir.

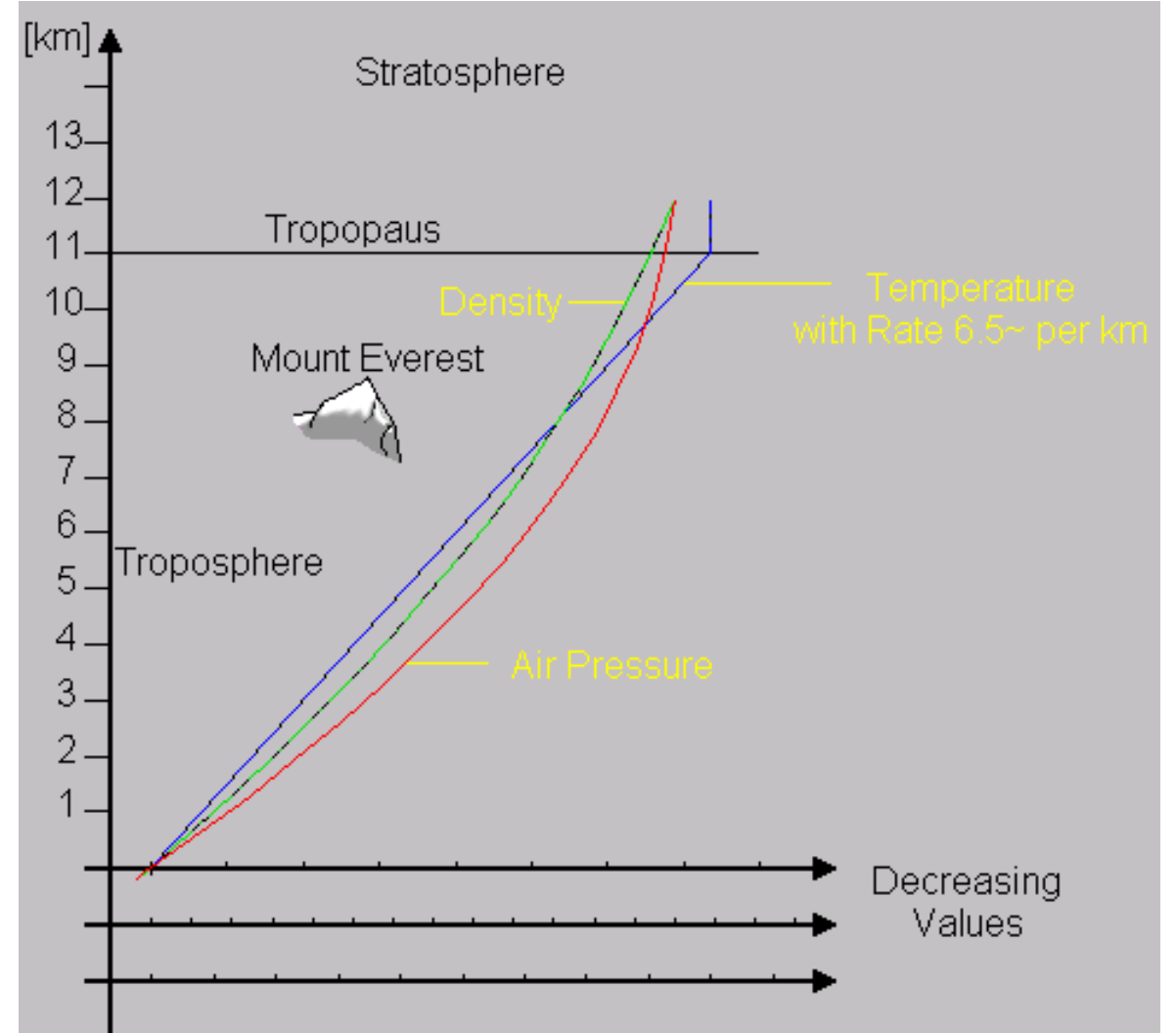


Sıcaklığın, deniz seviyesinden itibaren yükseklik ile değişimi, sıcaklık $-56,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ oluncaya kadar aşağıdaki denklem ile ifade edilir:

$$T = (15 - 0,0065 z)$$

Burada; z , deniz seviyesinden itibaren ölçülen yüksekliği metre cinsinden göstermektedir. Bu denklem, $T = -56,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ için, $z = 11000 \text{ m}$ yüksekliğe kadar doğrudur ve bu hava tabakasına “troposfer” adı verilir. Bunun üstünde sıcaklık sabit ve $-56,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a eşittir ve bu hava tabakasına da “stratosfer” adı verilir.

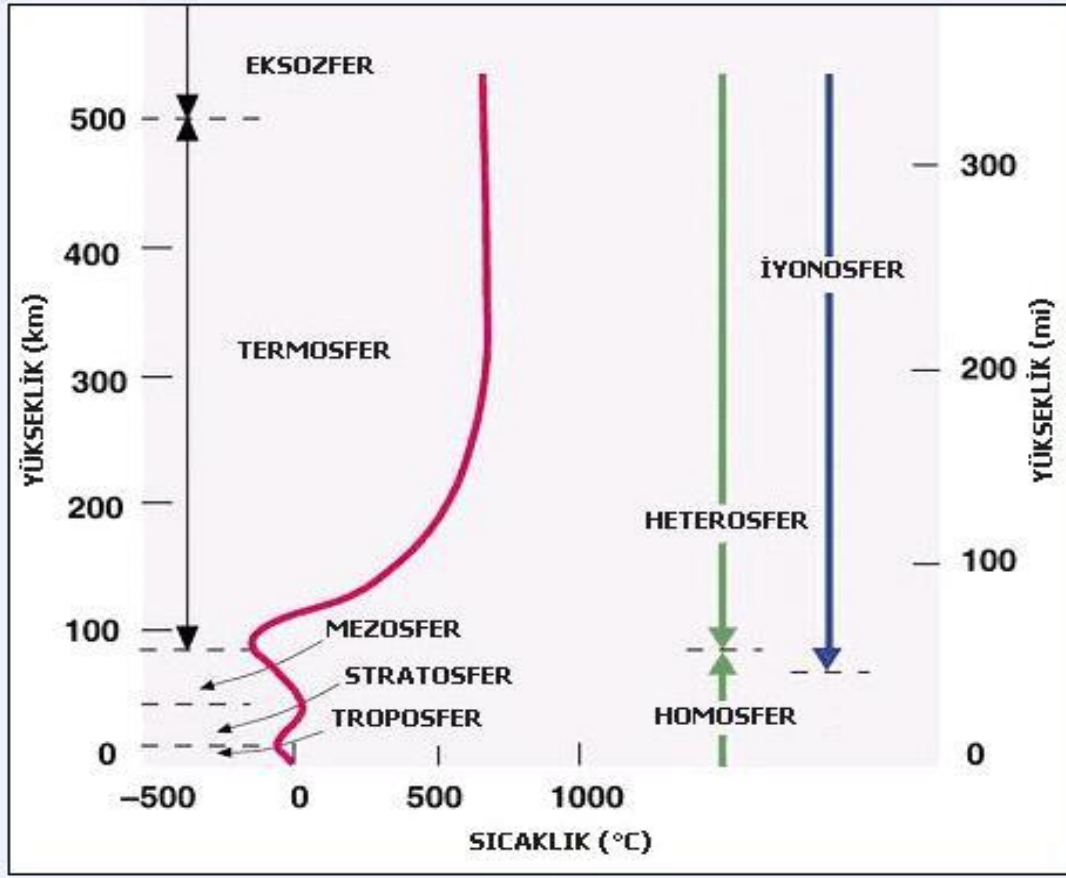
Atmosferin en alt bölümüne troposfer adı verilir. İçinde bizim de yaşadığımız bu katman, bütün atmosfer kütesinin ortalama %75'ini kaplar. Meteoroloji olaylarının birçoğu bu katmanda oluşur. **Troposferde yükseklik arttıkça hem basınç hem de sıcaklık düzenli olarak azalır.** Birçok enlemde troposferin yüksekliği 8 km kadarken ekvatorun üzerinde 18 km'yi bulur. Bu katmanın üst kesimlerindeki sıcaklık $-56,5^{\circ}\text{C}$ dolaylarındadır.



Yükselti (metre olarak)	Sıcaklık (°C olarak)	Basınç	
		(mmHg olarak)	(mbar olarak)
0	15	760	1013
1 000	8,5	674	899
2 000	2	596	795
5 000	-17,5	403	537
10 000	-50	198	264
11 000	-56,5	170	226
15 000	-56,5	90	120
20 000	-56,5	41	55
30 000	-46,5	8	11
40 000	-22,1	2	2,8

Sıcaklık ve basıncın yükseklik ile değişimi

Standart atmosfer için yukarıda tespit edilen şartları kullanmak ve yer çekimi ivmesi g'nin yükseklik ile değişmediğini kabul etmek suretiyle standart atmosfer karakteristiklerinin yükseklik ile değişimi tespit edilir. Standart atmosfere göre yükseklik ile sıcaklık ve basınç değişimleri Tabloda gösterilmiştir.



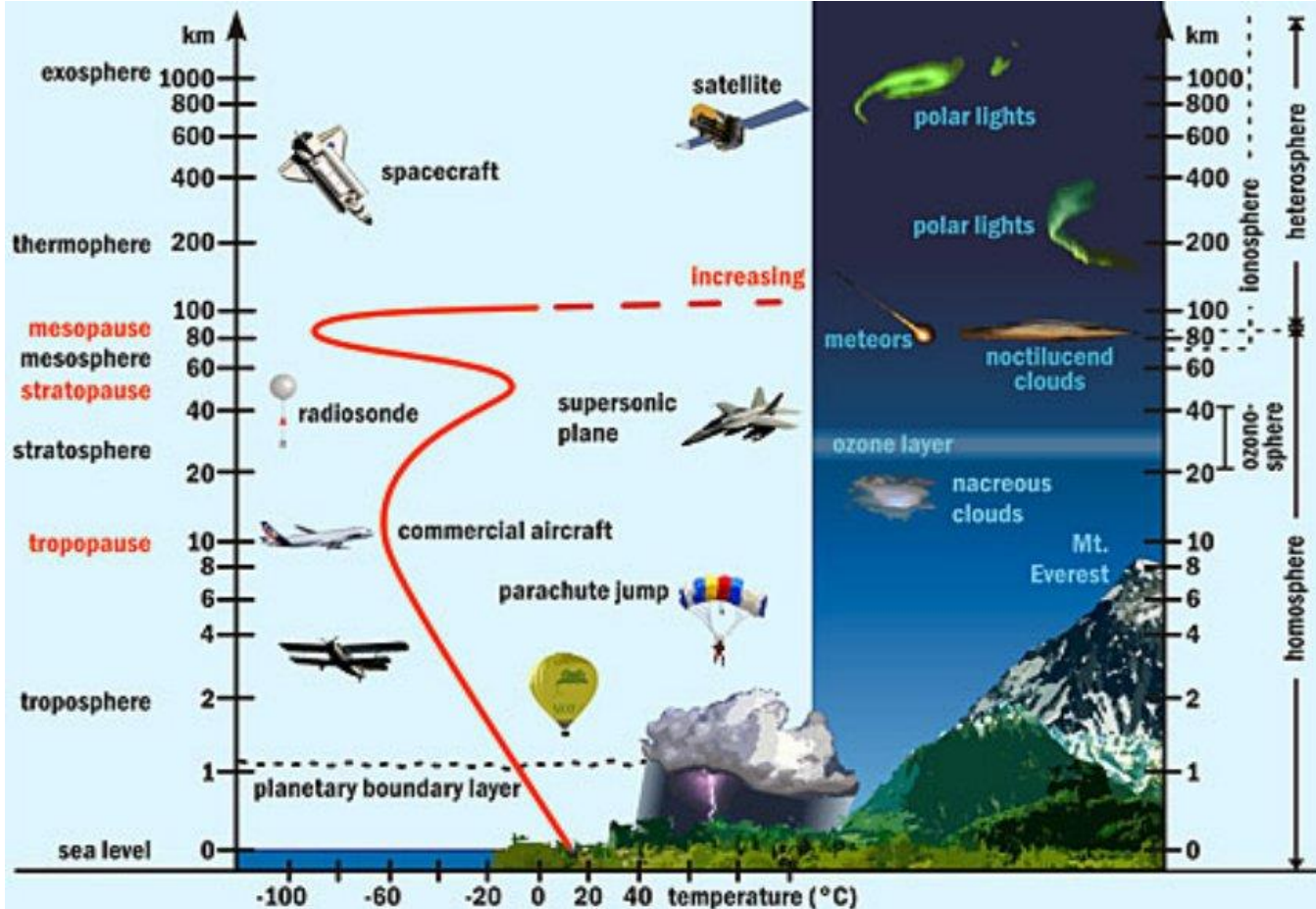
Atmosfer tabakaları

Bilinmesi gereken diğerk bir atmosfer özelliği de atmosferi oluşturan tabakalardır. Bu tabakalar: Troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer ve eksozferdir. Bu temel tabakaların yanı sıra hava yoğunluğuna ve diğerk bazı özelliklere göre iyonosfer, heterosfer ve homosfer olarak adlandırılan tabakalar vardır.

Troposferin üstündeki katmana stratosfer adı verilir. Bu katmanda da yükselti arttıkça hava seyrelerek basıncı düşer. Seyrelmiş havanın direnci düşüktür. Bu nedenle stratosferin alt kısımları jet uçuşları için idealdir. Buna karşılık daha üst katmanlarda motorların yeterli itme kuvveti oluşturması için gerekli miktarda hava yoktur. Stratosferde yatay doğrultuda hareket eden rüzgârların hızı saatte 300 km'yi bulur. Yolcu uçaklarının rotaları bu yüksek enerjili rüzgârlardan yararlanacak şekilde düzenlenir. Yerden 19 ile 28 km yüksekliklerde sedefsi bulutlar görülse de katman genellikle açık ve bulutsuzdur.

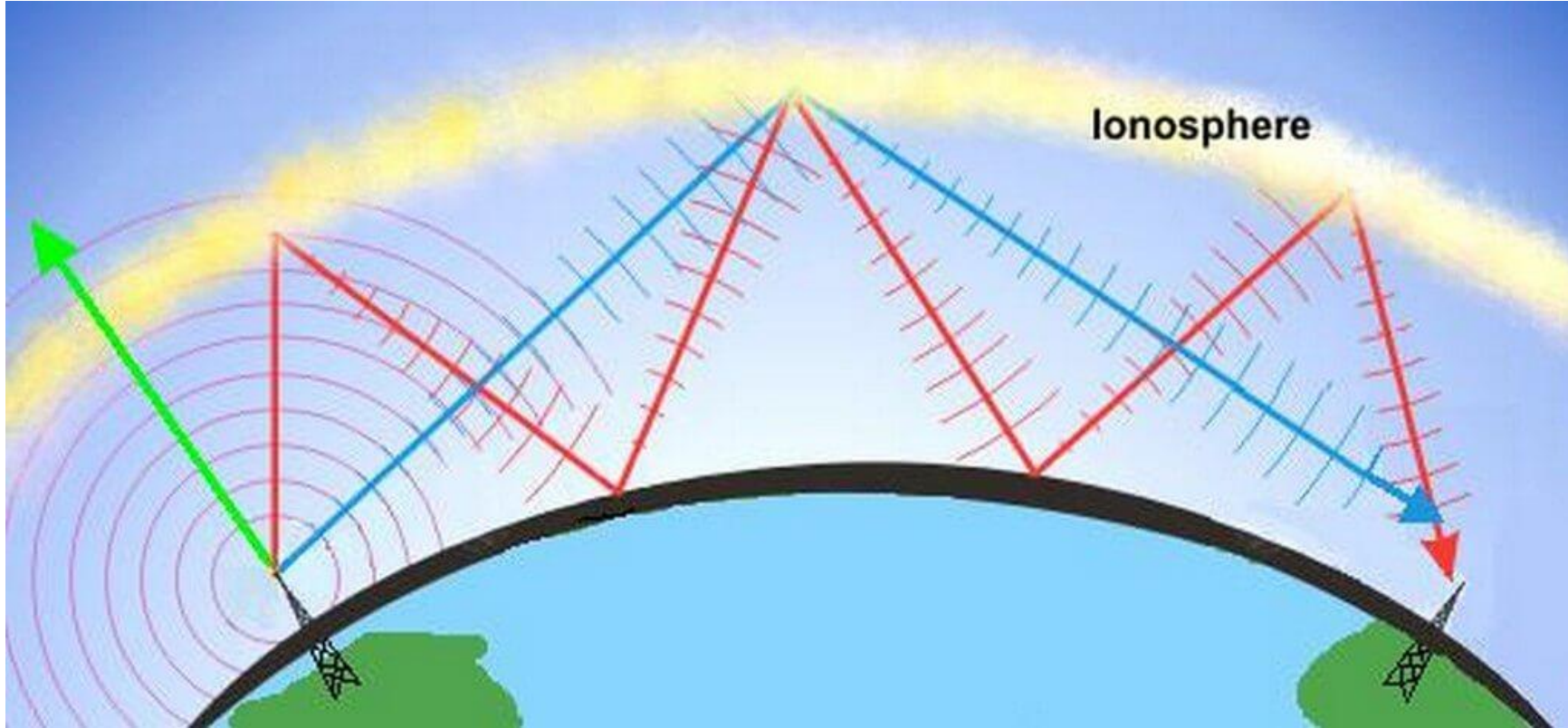


28 km'nin üzerinde sıcaklık artmaya başlar ve 50 km yükseltide 10 °C'a ulaşır. Ama bu yükseltiden sonra yeniden düşmeye başlar. 50 km'nin üzerindeki yüksekliklerde başlayan ve deniz seviyesinden yaklaşık 80 km yüksekliğe kadar uzanan katmana **mezosfer** adı verilir.



Mezosferin üstünde de sıcaklığın yükseltiyle birlikte yeniden arttığı **termosfer** yer alır. Yaklaşık 80 km'den 500 km yükseltiye kadar uzanan bu katmanda hava oldukça seyrelmiştir; hava molekülleri arasındaki mesafeler çok fazladır. Bu moleküllerin sıcaklığı 180 km yükseklikte 395 °C'ye, 320 km yükseltide ise 700 °C'ye kadar yükselir. Metallerin 700 °C'de donuk kırmızı bir renk aldığı, yani kor hâline geldiğini hatırlatmak bu tabakadaki sıcaklık hakkında bir fikir verebilir.

İyonosfer, radyo dalgalarının yayılmasını kolaylaştırdığı için haberleşme açısından büyük önem taşır. Bu katmandaki parçacıklar, Güneş'ten gelen ışınların etkisiyle iyonlaşmış, elektriksel olarak iletken hâle gelmiştir. Bu nedenle iyonlaşmış parçacıkların en yoğun olduğu katmanlar radyo dalgaları için bir yansıtıcı görevi görür. Biri yaklaşık 110, öbürü 240 km yükseklikte yer alan iki önemli yansıtıcı katman vardır.



Atmosfer, birçok gazın karışımı hâindedir. Azot ve oksijen kuru havanın %99'unu oluşturur. Kalan bölümdeyse karbondioksit, argon, neon, helyum, kripton, hidrojen, ksenon, ozon ve radon yer alır. Bu elementlere atmosferde oldukça çok sayıda bulunan mikro parçacıklar eklenir. Nemli hava ise kuru hava, su buharı, su ve buz parçacıklarının bir karışımıdır.

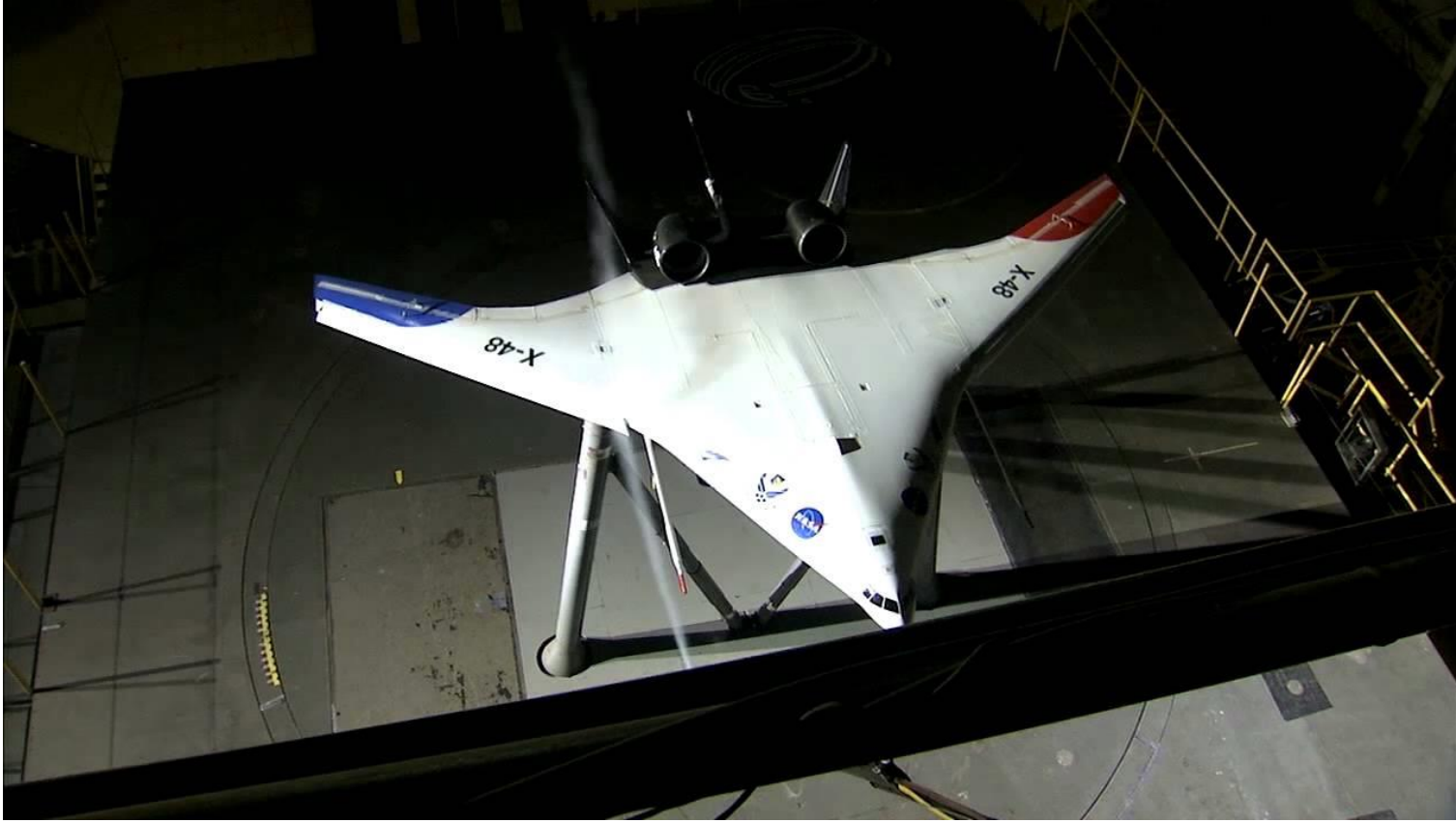
GAZLAR	ADI- SİMGESİ	ORAN (%)
Başlıca Bileşenler	Azot N ₂	78,084
	Oksijen O ₂	20,946
	Argon Ar	0,934
	Karbondioksit CO ₂	0,032
Azınlık Bileşenler	Neon Ne	1,8 × 10 ⁻³
	Helyum He	5,2 × 10 ⁻⁴
	Metan CH ₄	2,0 × 10 ⁻⁴
	Kripton Kr	1,1 × 10 ⁻⁴
	Hidrojen H ₂	5,0 × 10 ⁻⁵
	Ksenon Xe	8,7 × 10 ⁻⁶
	Ozon O ₃	yaklaşık 10 ⁻⁶
	Azot oksitleri N ₂ O, NO, NO ₂	yaklaşık 10 ⁻⁶
	Amonyak NH ₃	10 ⁻⁶ ' dan az
	Kükürtdioksit SO ₂	10 ⁻⁶ ' dan az
	Karbonmonoksit CO	10 ⁻⁶ ' dan az
	Radon Rn	10 ⁻⁶ ' dan az

Kuru havanın deniz seviyesindeki hacimsel bileşimi



Aerodinamik daha çok deneye bağlı bir bilimdir. Aerodinamik kuralları, hesap ve teorilerle iddia edilenler ve tecrübelerle hesaplananlar olmak üzere iki şekilde bulunur. Tecrübelerle elde edilen ölçmeler ve sonuçlar üzerine yeni teoriler oluşturulur.

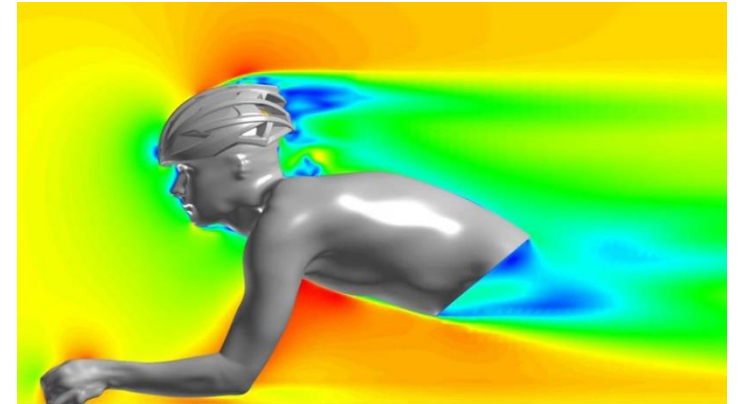
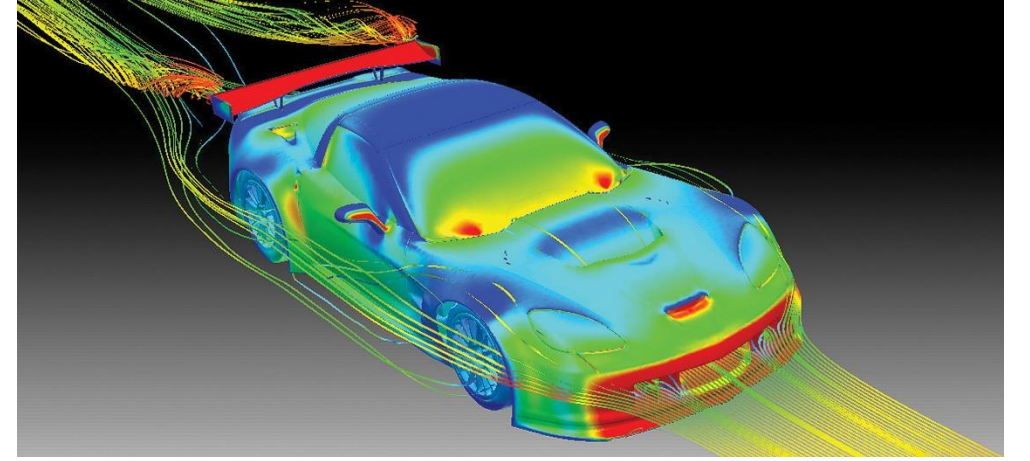
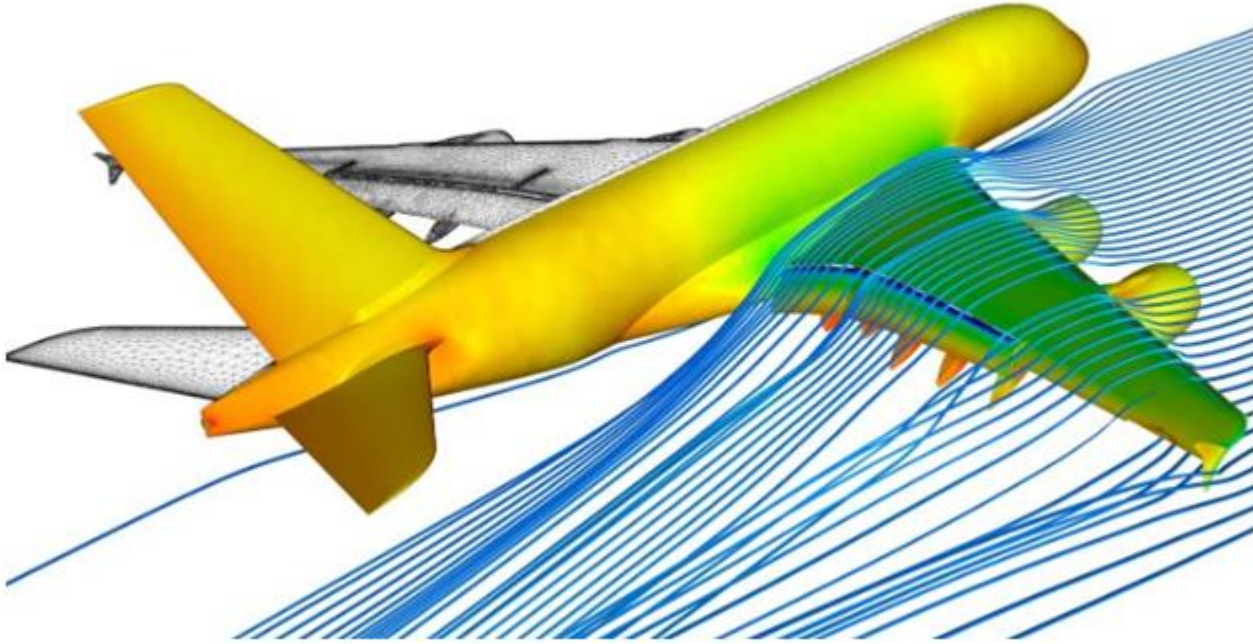
Aerodinamiğin en önemli deney aracı “rüzgâr tüneli”dir. Deneyi yapılacak uçak, roket, otomobil hatta köprü ve bina modelleri önce rüzgâr tüneline denir. Model, rüzgâr tüneline deneme hızına göre şiddeti ayarlanan bir hava akımına tutulur.



Modelin akım içindeki davranışı gözlenerek gerekli düzeltmeler yapılır ve modele aerodinamik bir biçim verilmeye çalışılır. Günümüzde ses hızının üzerindeki akım hızlarında dahi çalışabilen rüzgâr tünelleri inşa edilmiştir.



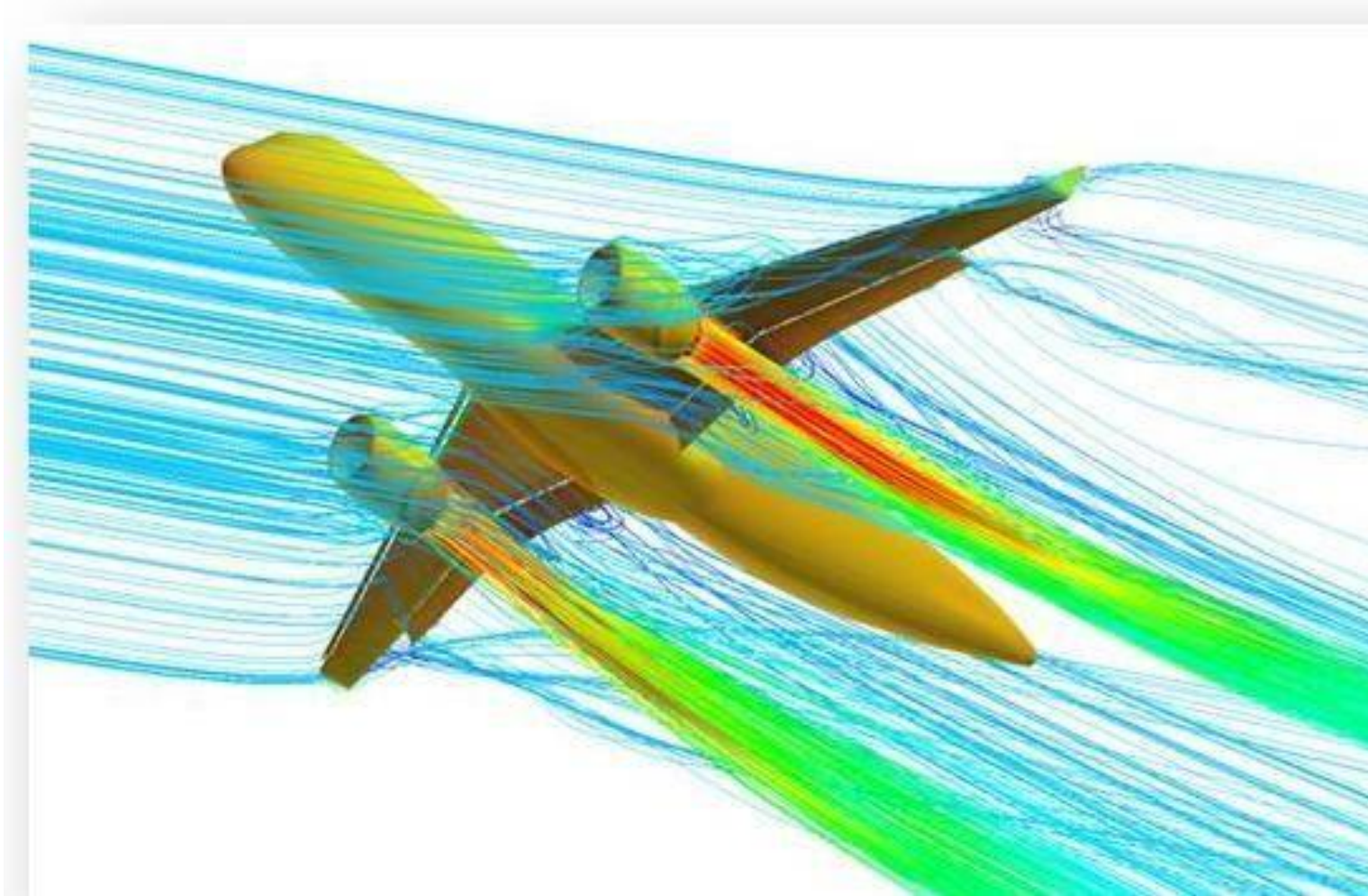
Aerodinamik denince akla hemen havacılık ve uzay çalışmaları gelmektedir. Hâlbuki günümüzde aerodinamik, tahmin edilemeyeceği kadar geniş bir sahada kullanılmaktadır. Bunun için model, rüzgâr tüneline denenerek hava akımına en az direnç gösterecek aerodinamik bir Şekil bulunmaya çalışılır. Büyük asma köprüler ve yüksek gökdelenler inşa edilmeden önce çevrelerindeki hava akımlarının dinamik etkileri model üzerinde incelenir.





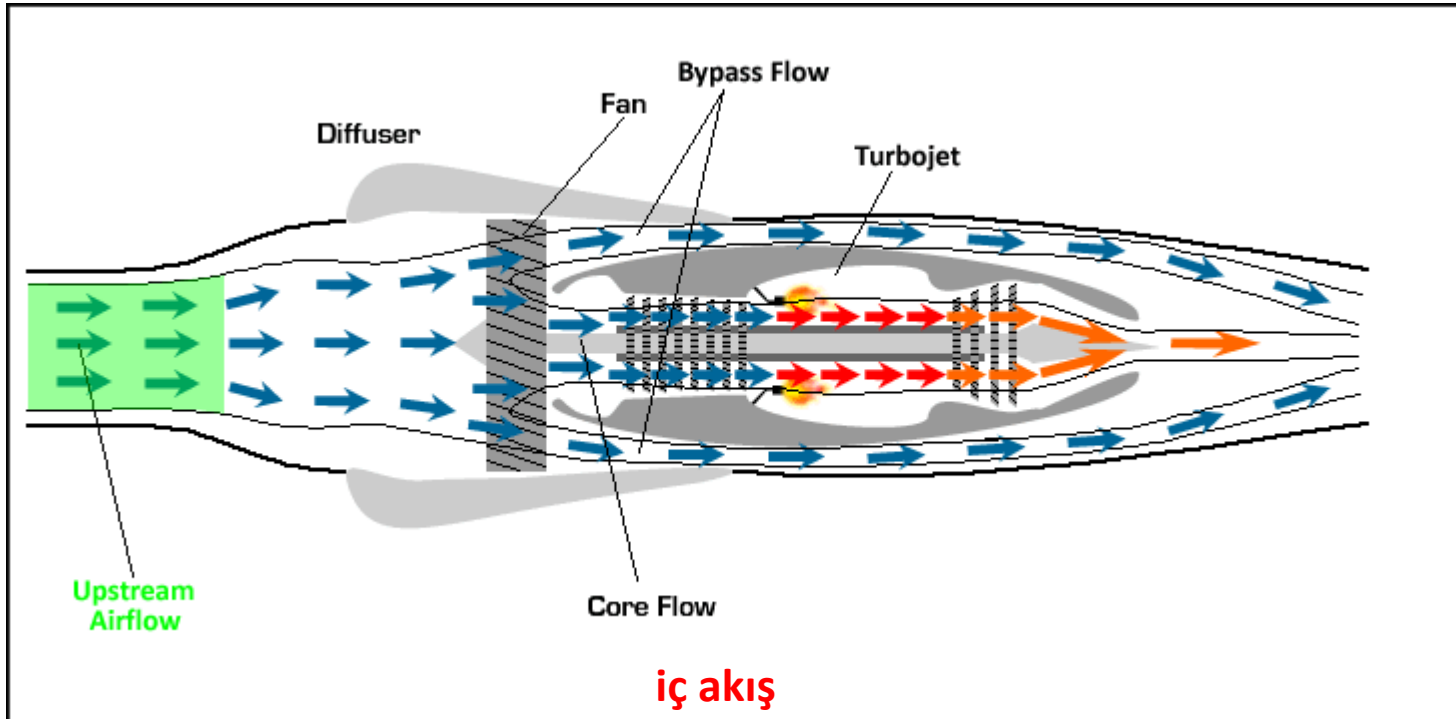
Aerodinamik bilimi, kullanılış sahararına ve akım hızlarına göre bölümlere ayrılır:

- Hacim itibariyle cismin dış hacminin akıma maruz kaldığı durumları inceleyen kola **dış aerodinamik** adı verilir. Uçaklar, füzeler, mermiler, otomobil ve binalar bu kolun inceleme sahasındadır.



Windkanal
wind tunnel

- Yine hacim olarak hava akımının cismin içinden geçtiği ve iç hacmin söz konusu olduğu durumları inceleyen kola ise **iç aerodinamik** adı verilir. Kompresörler, havalandırma sistemleri, uçak motorları, bacalar, yanma odaları ve silah namluları gibi pek çok sahada uygulanmaktadır.
- Havaya göre hareket hâlinde olan bir cismin etrafındaki izafi hava akımının, ses hızının altında ve üstünde olmasına göre aerodinamik çeşitli kısımlara ayrılmıştır. Ses hızının altındaki akımlara **subsonic akımlar**, ses hızı seviyelerindeki akımlara **transonic akımlar** denilmekte ve ses üstü akımlar da **supersonic** ve çok üstündekilere de **hypersonic akım** olarak iki kısımda incelenmektedir.



Supersonic uçuş

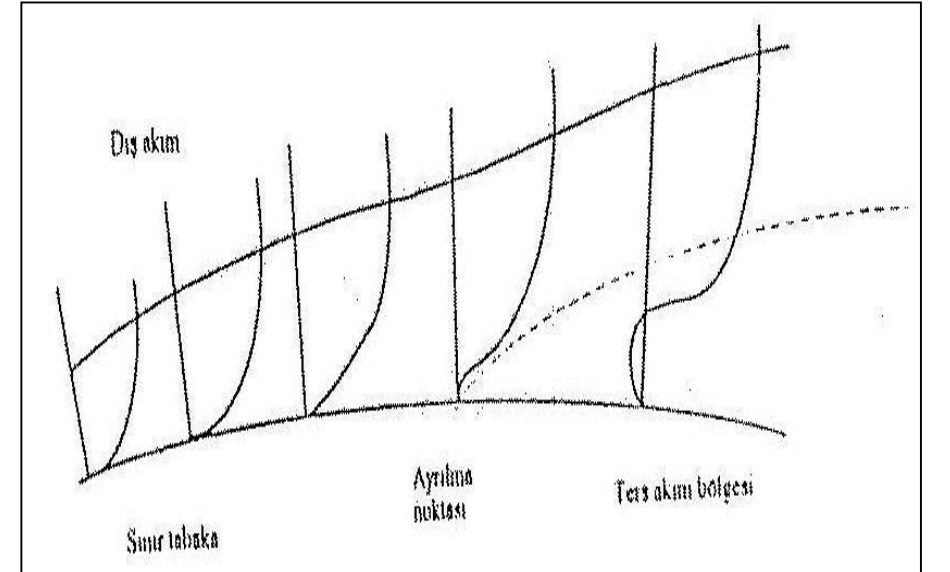
2. AERODİNAMİK

2.1. BİR CİSİM ETRAFINDAKİ HAVA AKIŞI

Aerodinamik, hava içerisinde hareket eden cisimlerin etrafındaki olayları veya sabit bir cisim etrafındaki hava hareketi nedeniyle meydana gelen olayları ya da bu ikisinin birleşimi şeklinde, hareket eden bir cismin etrafında yine hava hareketi ile meydana gelen olayları inceleyen bilim dalıdır.

2.1.1. Sınır Tabakası

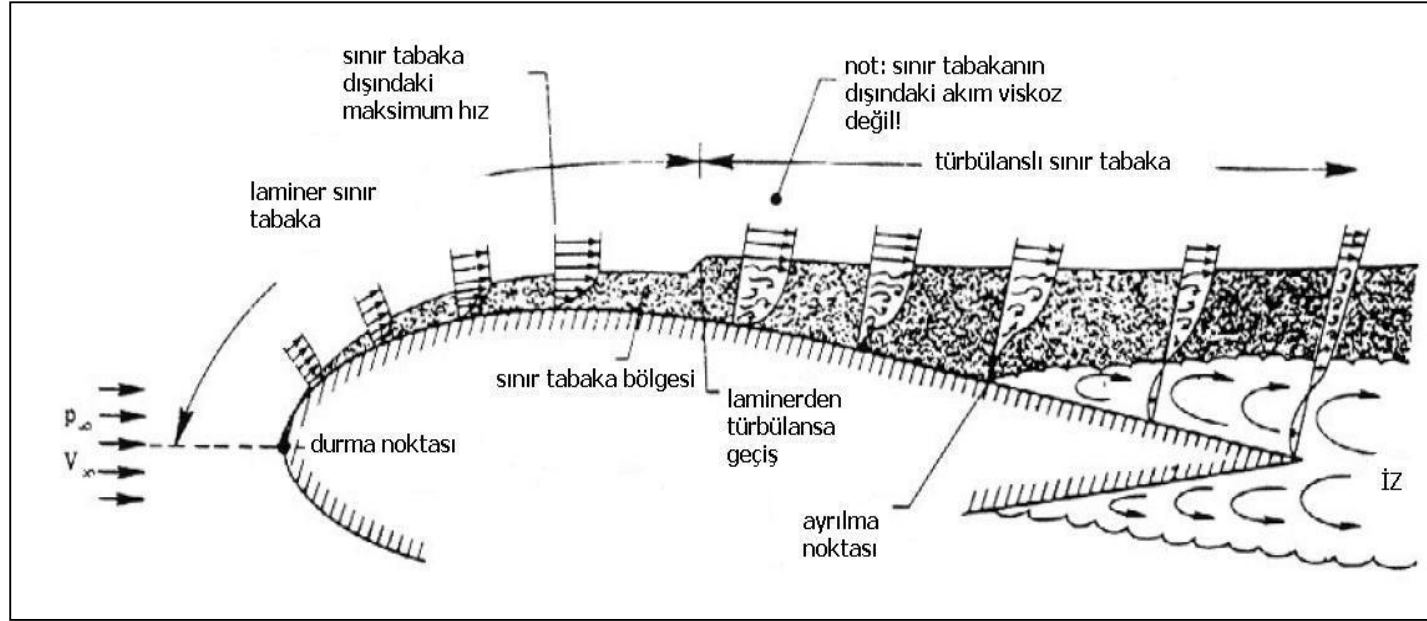
Bir airfoil yapının üzerinden geçen hava akımının yüzeye tutunmaya çalışan hava liflerine “sınır tabakası” denir. Sınır tabakası özellikle kanat üzerinde çok önemlidir. Çünkü uçağı kaldırmaya çalışan kuvvetin oluşumunu sağlayacak olan kanat üzerindeki ve altındaki basınç farkının yaratılmasında sınır tabakası önemli bir görev üstlenmektedir. Bu tabakanın yüzeyden ayrılması kaldırma kuvvetinin azalmasına hatta yok olmasına sebep olabilecektir.



Sınır tabakası

2.1.2. Laminer ve Türbülanslı Akışlar

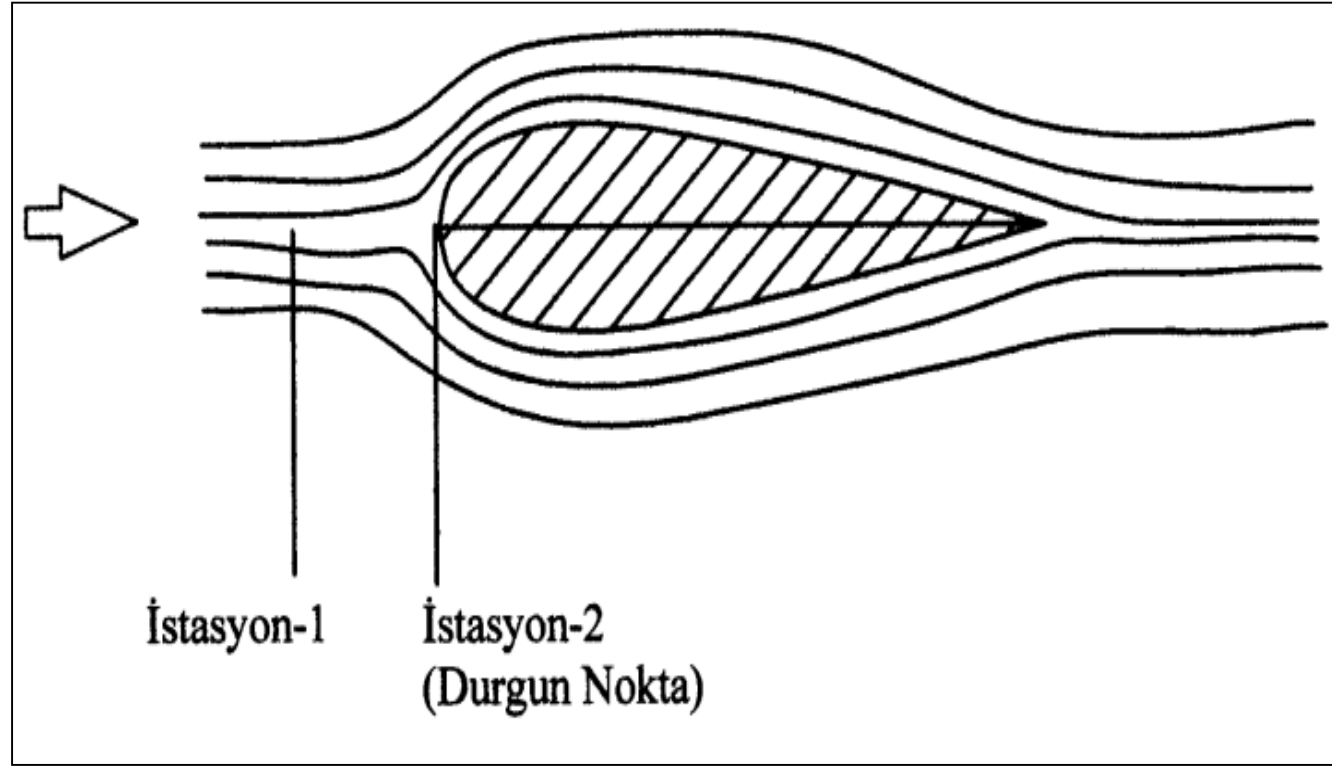
Bir akış sırasında akışkanın molekülleri birbirine paralel katmanlar şeklinde hareket ediyor ve birbirleri ile çarpışmıyor ve düzenli bir akış varsa bu akım türüne “**laminer akış**”, şayet düzensiz ve akım katmanları birbirine karışmış vaziyette bir akış varsa bu akım türüne de “**türbülanslı akış**” denir. Kaldırma kuvvetinin büyük bir bölümünü sağlayan kanat üzerindeki hava akışının laminer akış olması gereklidir.



Kanat üzerinde laminer ve türbülanslı akış

2.1.3. Serbest Akım Akışı

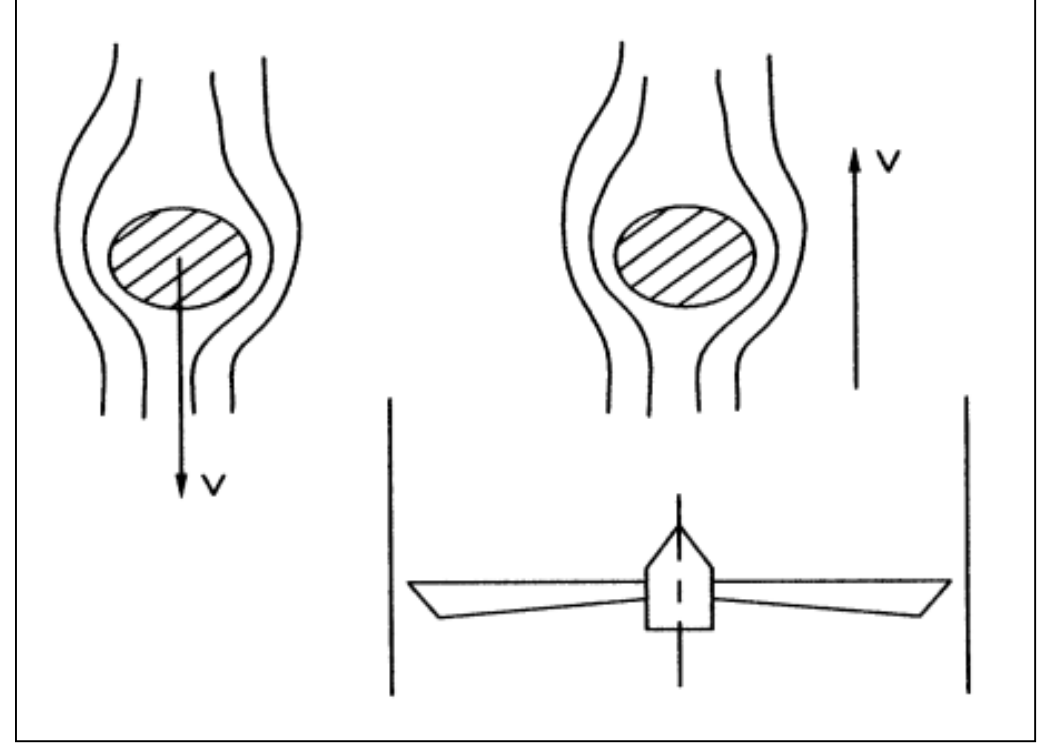
Serbest hava akımı, hava fileleri şeklinde gösterilebilir. Hava filelerinin birbirine yaklaştığı noktalarda lokal hız hava akış hızından fazla, hava filelerinin birbirinden uzaklaştığı noktalardaki lokal hava hızı hava akış hızından düşüktür.



Belirli yönde serbest akım

2.1.4. İzafi Hava Akışı

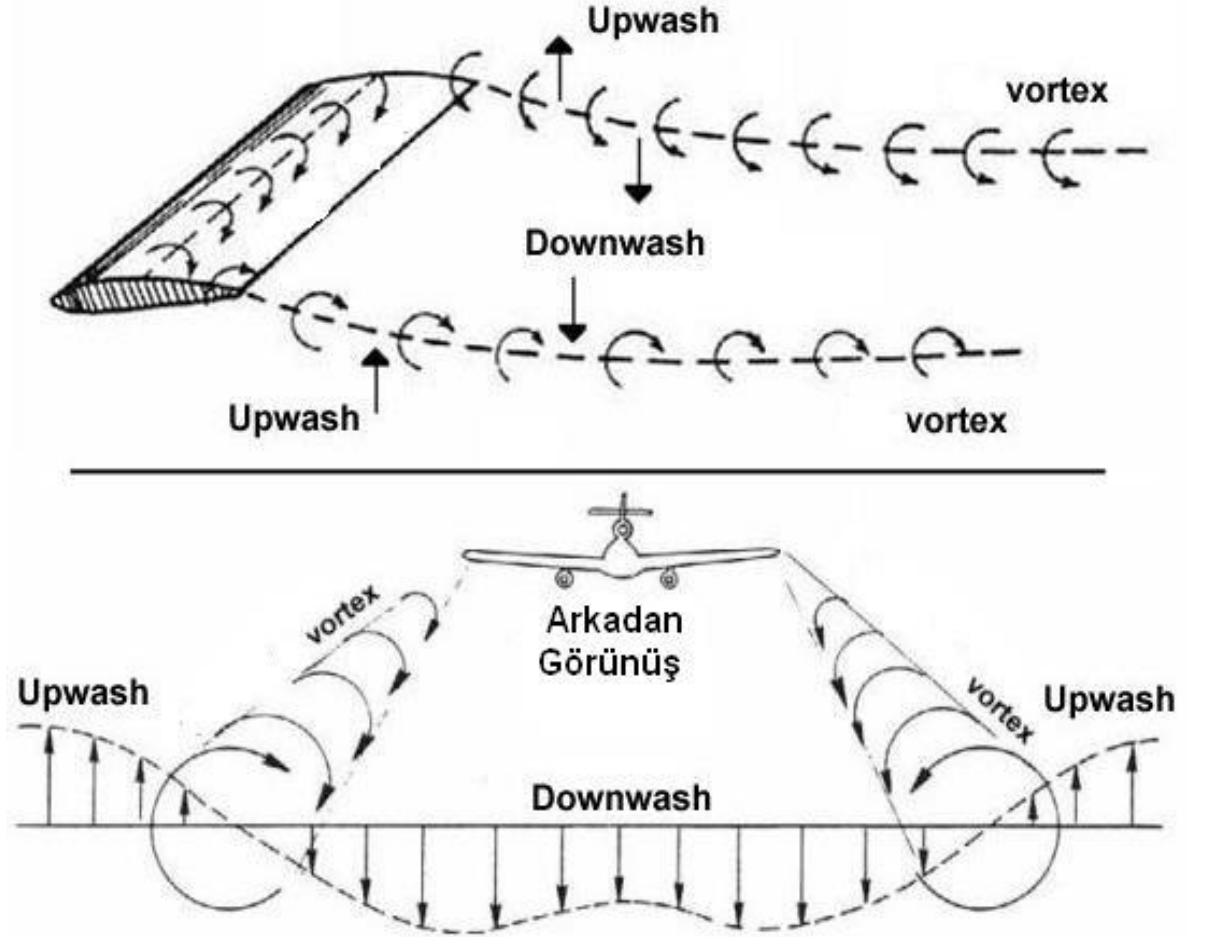
Aerodinamik tanımından yola çıkarak hava içerisinde hareket eden cisimlerin etrafındaki olayları veya sabit bir cisim etrafındaki hava hareketi nedeniyle meydana gelen olayları ya da bu ikisinin birleşimi şeklinde, hareket eden bir cismin etrafında yine hava hareketi ile bir takım olaylar meydana gelir. Verilen bir harekette, hareketli cisim veya sistem durdurulup bütün çevresi aynı hızla ve ters yönde harekete geçirilirse, aynı hareket şartları elde edilir.



Bağıl hava akımı

2.1.5. Upwash ve Downwash

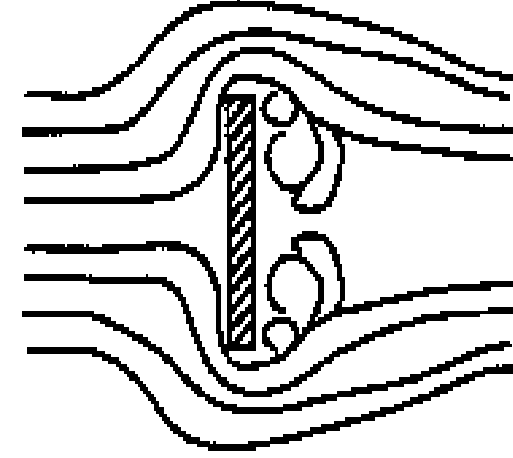
Upwash, hava akımının yukarı doğru yönelmesi, downwash ise hava akımının aşağıya doğru yönelmesidir. Hava kanatın üstünden ve altından akmakta olup üst taraftan içeri yönde dış taraftan dışarı yönde akış olmaktadır. Firar kenarı boyunca iç ve dış yönde akan akımlar karşılaşmakta ve firar kenarında küçük vorteksler oluşmaktadır.



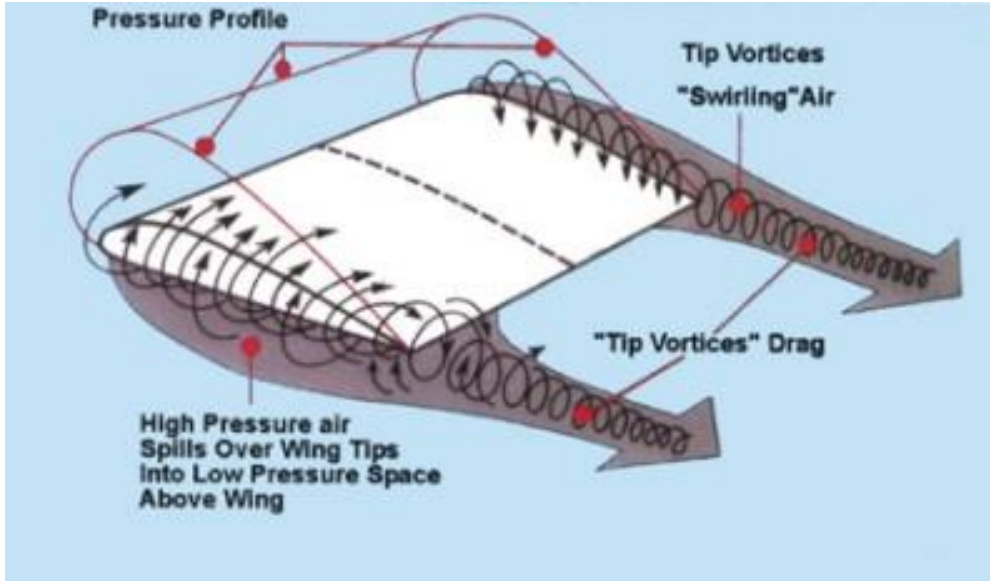
Kanat üzerinde hava akımı olayları

2.1.6. Girdaplar

Düzgün bir airfoil yapıya sahip olmayan cisimlerin üzerinde vortis (girdap) şeklinde daimi olmayan bir hava akımı oluşur. Bu akıma iyi bir örnek olarak küt cisimlerin arkasındaki akım alanlarını göstermek mümkündür.

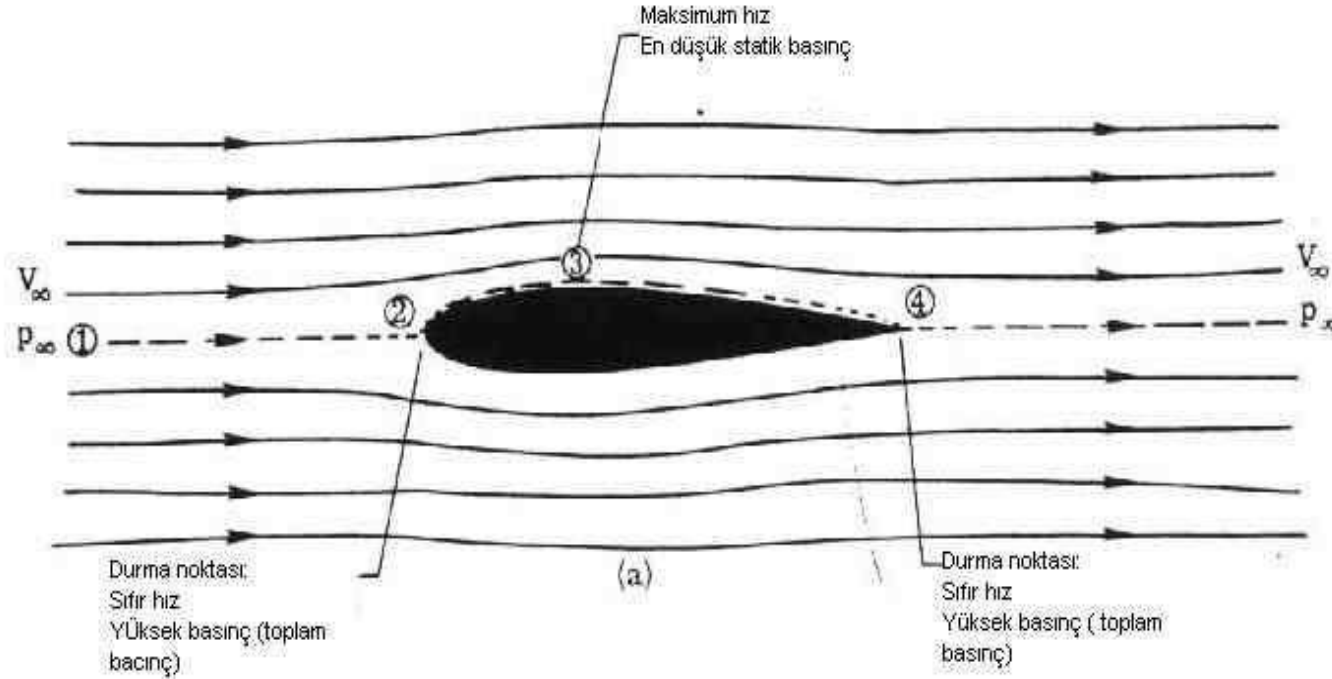


Girdap oluşumu



2.1.7. Akış Durması (Stagnation)

Kanat hücum kenarında ve firar kenarında hızın sıfır, toplam basıncın statik basınca eşit olduğu yani dinamik basıncın sıfır olduğu noktada akış durması meydana gelir ve bu noktaya “durma noktası (stagnation point)” denir.



Akış durma noktası

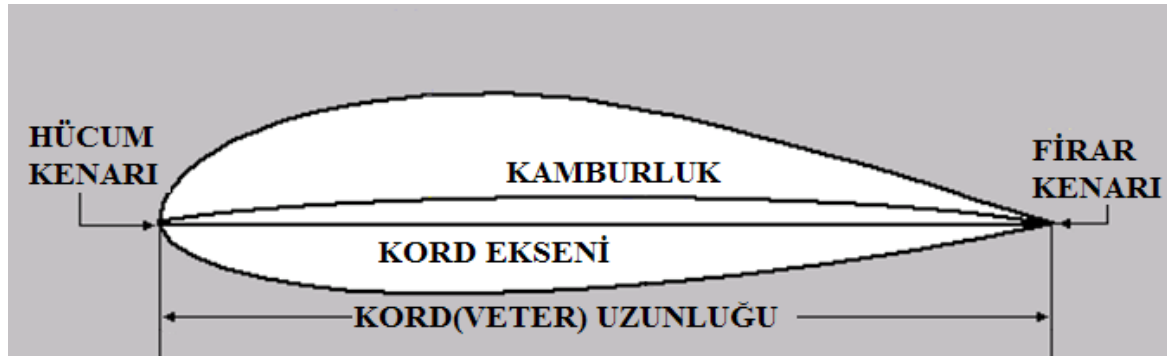
2.2. AERODİNAMİK TERİMLERİ

2.2.1. Eğiklik(Camber -Kamburluk)

Airfoil yapının kamburluk ölçüsüdür. Büyük yük taşıyan ve düşük hızlarda seyreden uçaklarda chord uzunluğuna göre camber oranının fazla olması istenir.

2.2.2. Veter (Chord)

Kanadın, gövde simetri düzlemine paralel olarak alınmış herhangi bir kesitinin hücum kenarını firar kenarına birleştiren doğrunun uzunluğudur.



Camber (eğiklik) ve chord uzunluğu

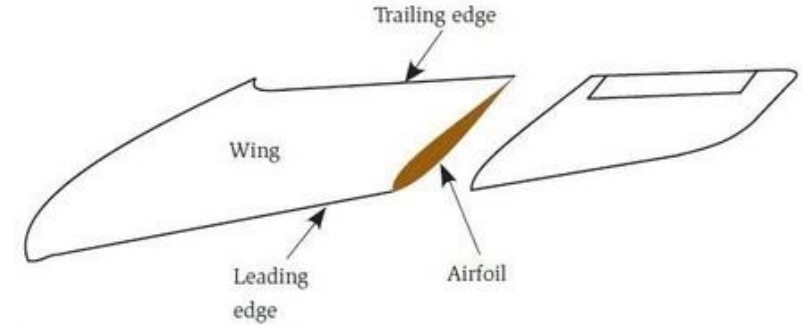


Fig. 1.3. The wing and airfoil.

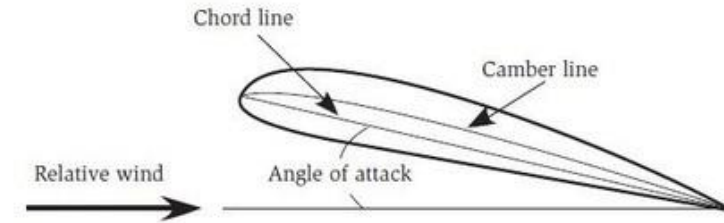
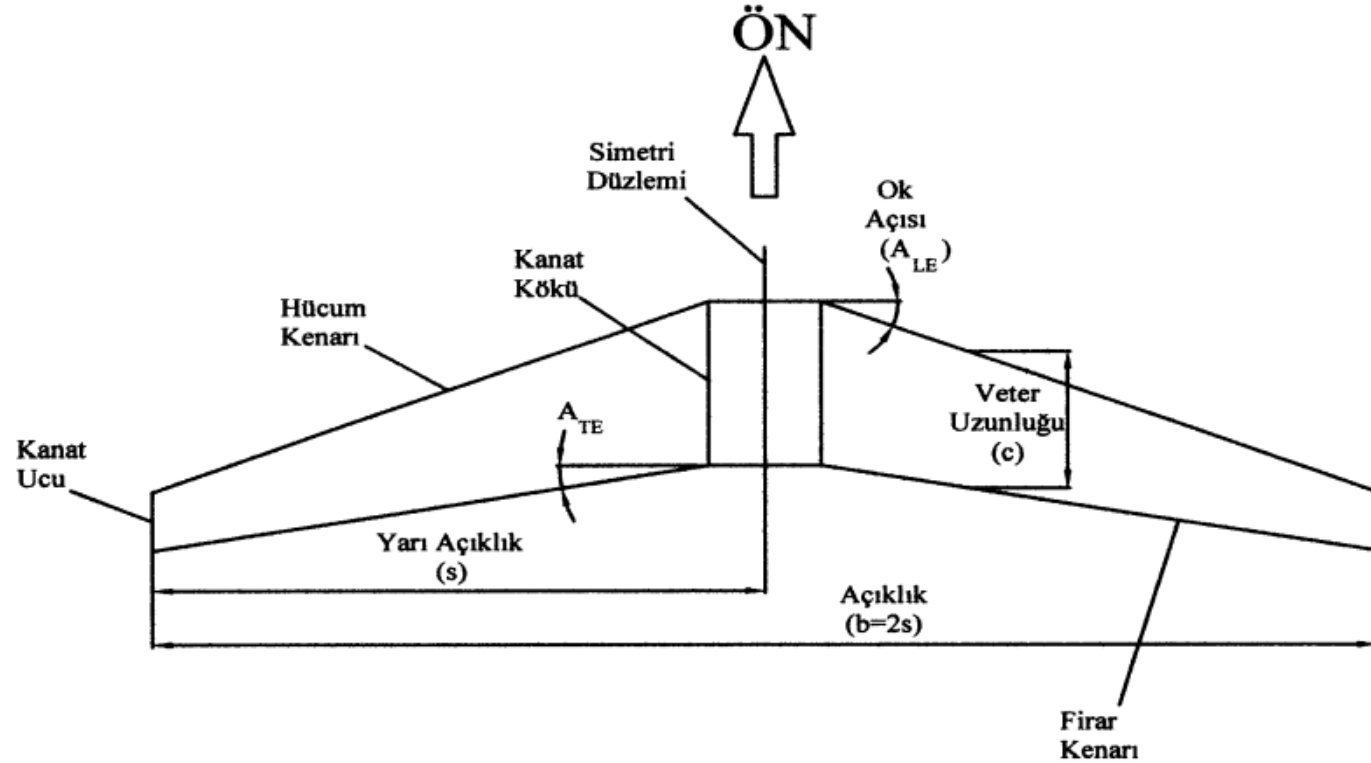


Fig. 1.4. Airfoil nomenclature.

2.2.3. Ortalama Aerodinamik Chord (ortalama aerodinamik veter)

Kanat kökünde daha büyük olan kök veter uzunluğu ile kanat ucunda daha küçük olan uç veter uzunluğunun ortalamasıdır.



Kanat parametreleri

- ➔ Yüksek hıza sahip uçaklarda ok açısı yüksektir.
- ➔ Kanat açıklık oranı yüksek olan uçakların taşıması yüksektir.
- ➔ Ortalama veter genellikle kanat kökünde ve kanat ucundaki veter uzunluğunun toplamının yarısına eşittir.

Açıklık Oranı (Aspect Ratio)

Uçaklarda kanat tasarımıyla ilgili diğer önemli bir değer de “cephe oranı” veya “açıklık oranı” (aspect ratio) adı verilen kavramdır. Açıklık oranı, kanat açıklığının ortalama veter değerine oranıdır. Bu oranın uçak performansında ve yakıt ekonomisinde önemli etkileri vardır. Yüksek açıklık oranlı kanatlar, aynı yüzey alanına sahip kanatlardan eşit şartlarda daha fazla kaldırma kuvveti sağlarlar.

$$\text{Açıklık Oranı} = \frac{b}{c_{ort}}$$

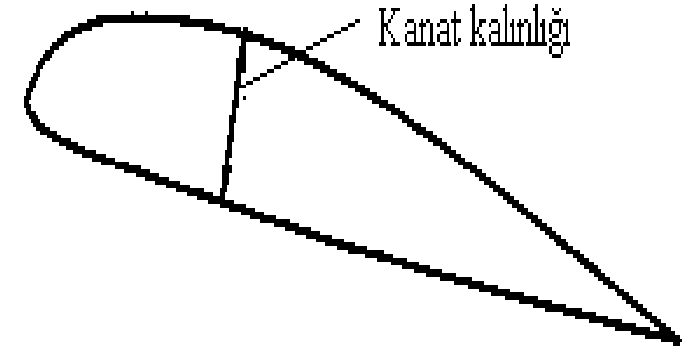
Denklemden;

b = Kanat Açıklığı

c_{ort} = Ortalama Veter

İncelik Oranı

Veter boyunca çeşitli noktalarda profil alt yüzeyi ile üst yüzeyi arasındaki en büyük uzaklıkların (kalınlıkların) yani en büyük kanat kalınlığının veter uzunluğuna oranı olarak tanımlanır.

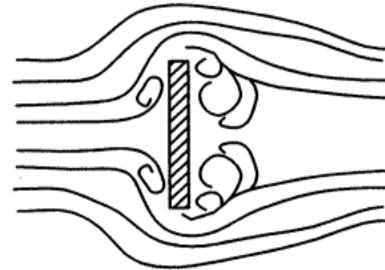


Kanat kalınlığı

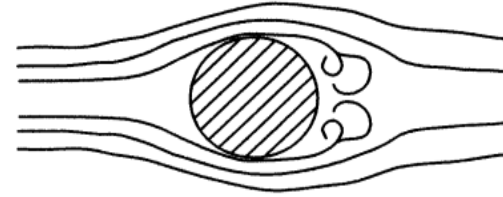
2.2.4. Parazit Sürüklenme

Havanın düzgün akışına engel olacak yapısal dizayn parasite (parazit) drag meydana getirebilmektedir. Parasite drag üç farklı şekilde meydana gelebilir. Bunlar:

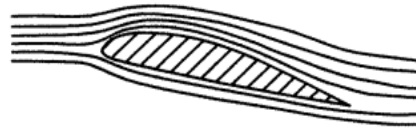
Form (şekil) sürüklenmesi : Uçağın dış şeklinden kaynaklanan geri sürüklemeye “şekil sürüklenmesi” adı verilir. Havanın düzgün bir şekilde akmasını sağlayacak airfoil yapısının olmaması sonucu meydana gelir.



Maksimum Sürüklenme Kuvveti



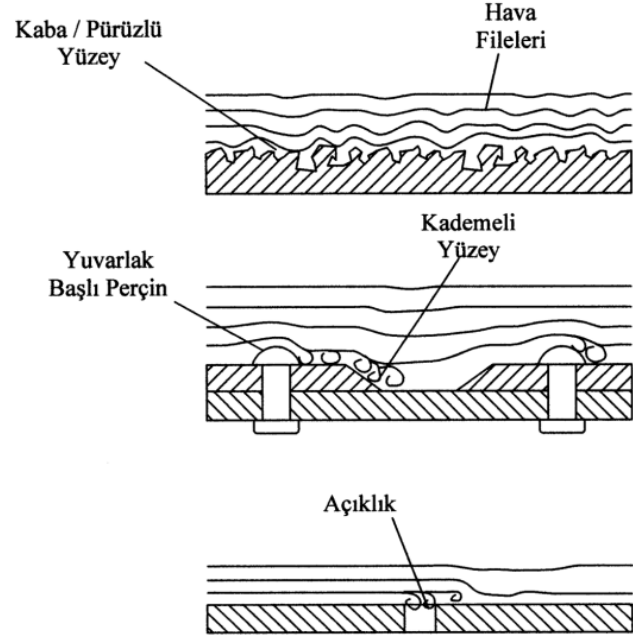
Orta Derecede Sürüklenme Kuvveti



Minimum Sürüklenme Kuvveti

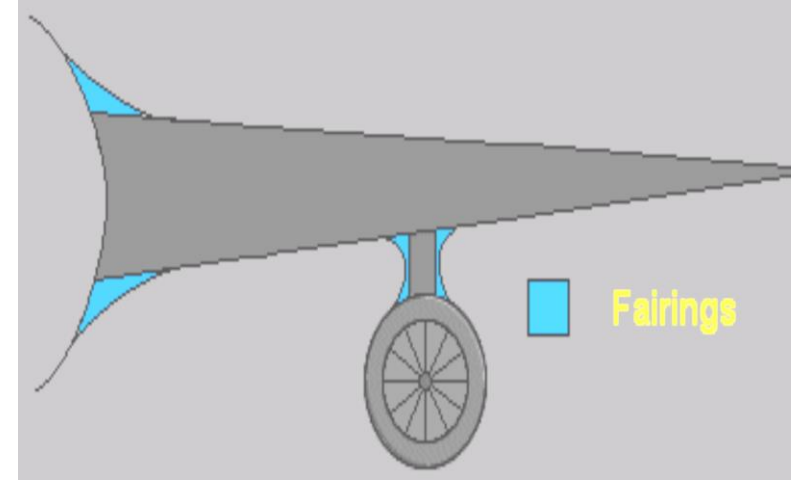
Form (şekil) sürüklenmesi

Friction (sürtünme) sürüklemesi: Uçağın dışında bulunan perçin, civata, anten, kapak, kapı mandalları, birleşme aralıkları, dış yüzey seviye farklılıkları gibi yüzey pürüzleri “sürtünme sürükleme” kuvvetine neden olur.



Friction sürüklemesi

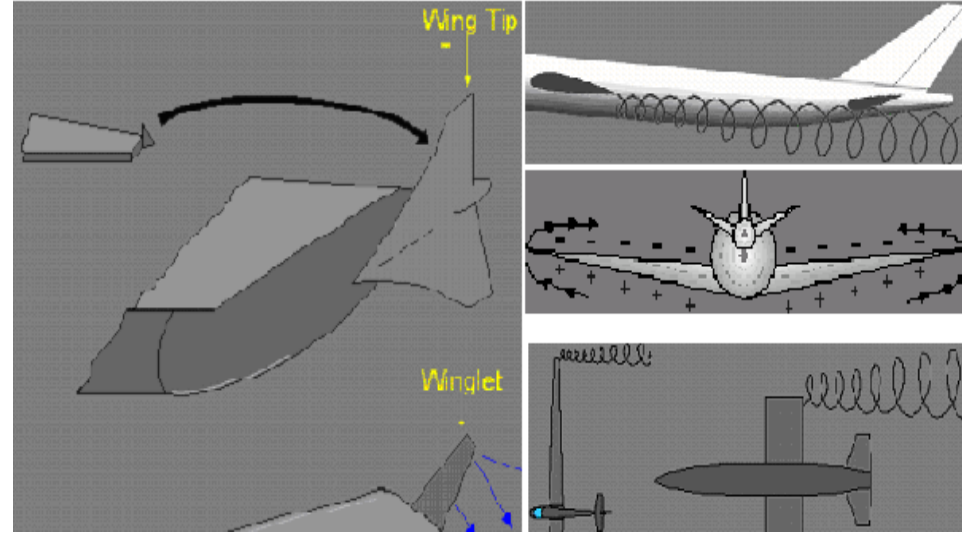
İnterference (engel) sürüklemesi : Uçağın dış yüzeyinden geçen hava akımı keskin köşelerden, birbirine yakın komponentlerin olduğu yerden ve fairing (kaporta) yüzeylerinden geçerken oluşan sürüklemeye “engel sürüklemesi” denir.



İnterference (engel) sürüklemesi

2.2.5. İndüklenmiş Sürüklenme (Induced Drag)

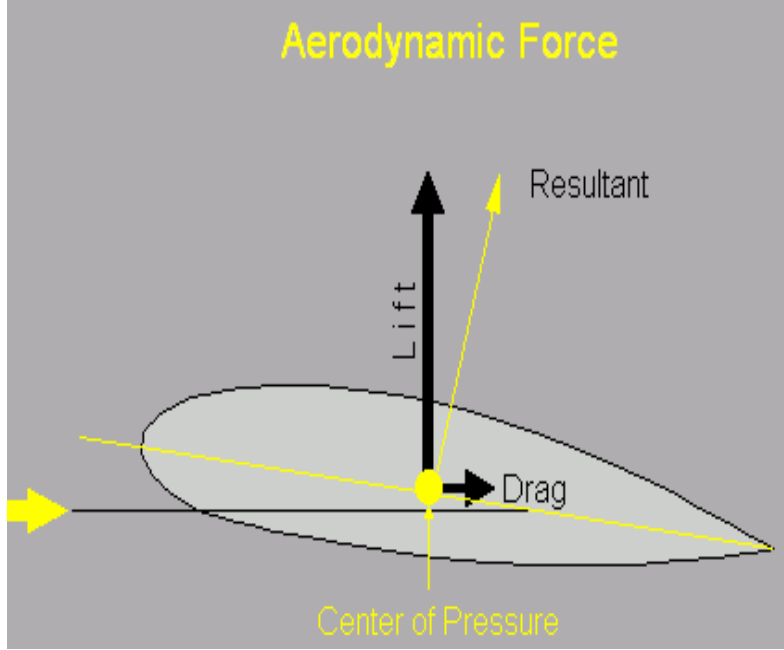
Induced drag (indüksiyon sürüklemesi); düşük aspect ratio (kanat açıklık oranı), düşük hızlarda kaldırma kuvvetini arttırmak için verilen fazla hücum açısının yarattığı türbülanslı akış ve vortisler ile kanat alt yüzeyindeki yüksek statik basınca sahip havanın kanat üst yüzeyine geçme eğiliminden kaynaklanır. Günümüzün gelişmiş uçaklarında kanat ucunda oluşabilecek indüksiyon geri sürüklemesini azaltmak için “winglet” veya wing tip” olarak isimlendirilen ilave yüzeyler kanat uç kısmına yerleştirilmektedir.



Induced drag oluşumları

Basınç Merkezi

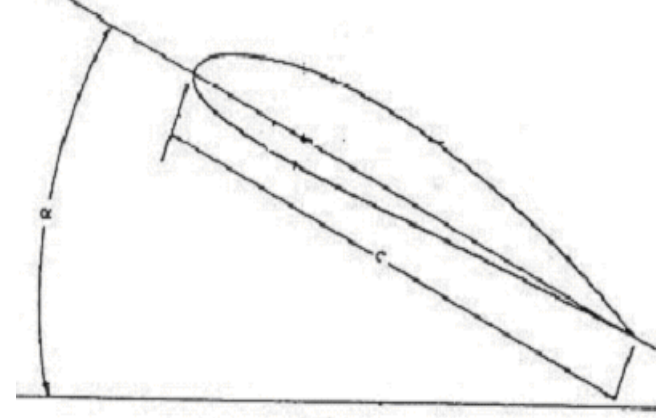
Yunuslama (öne-arkaya salınım) momentinin sıfır olduğu aerodinamik kuvvetlerin uygulama noktasıdır.



Basınç merkezi

Hücum Açısı

Kanat veteri (chord eksenini) ile hava akış doğrultusu arasındaki açıdır.

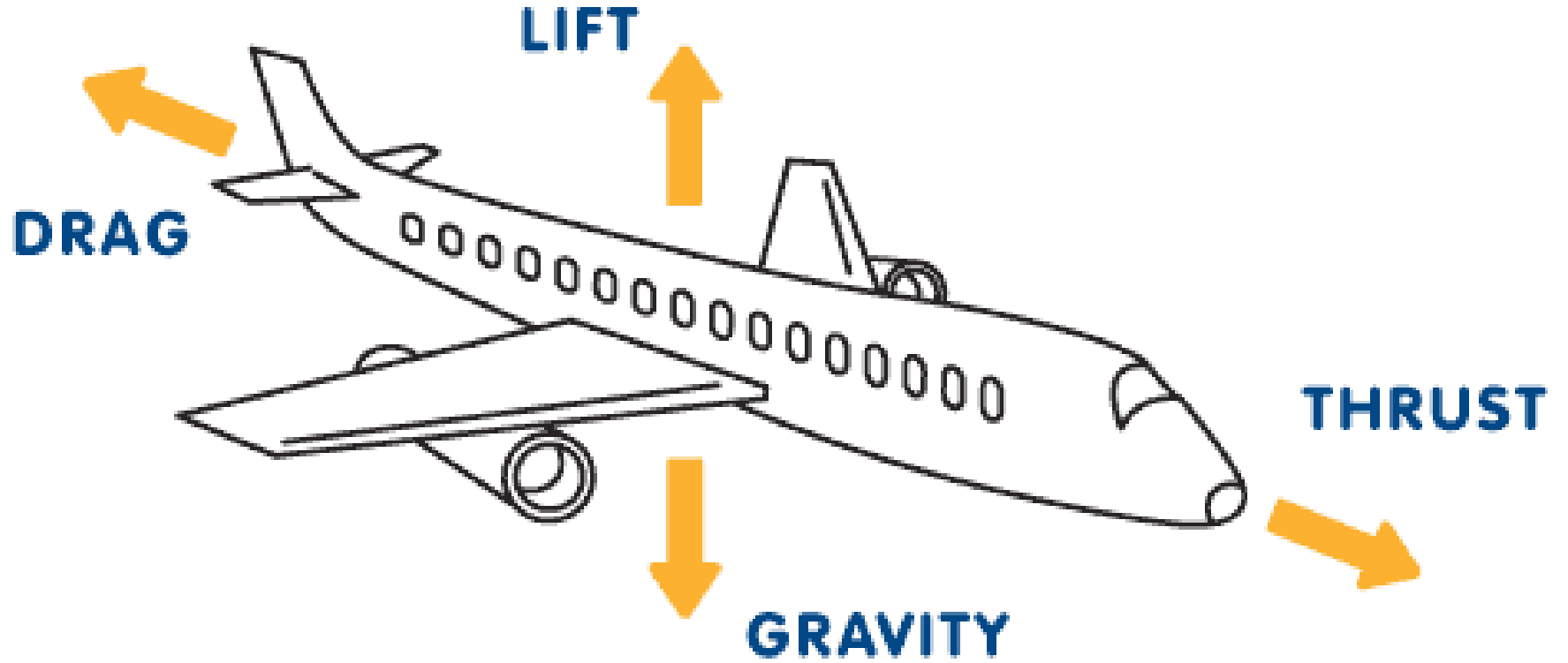


Hücum açısı (α)

2.3. İTKİ (THRUST), AĞIRLIK, AERODİNAMİK BİLEŞKE

2.3.1. İtki (Thrust)

Pervane veya jet motoru ya da helikopter rotorunda meydana getirilen ileri yönlü vektör bileşeni itki sağlar. Bu kuvvet ileri hareketi sağlayan kuvvettir.

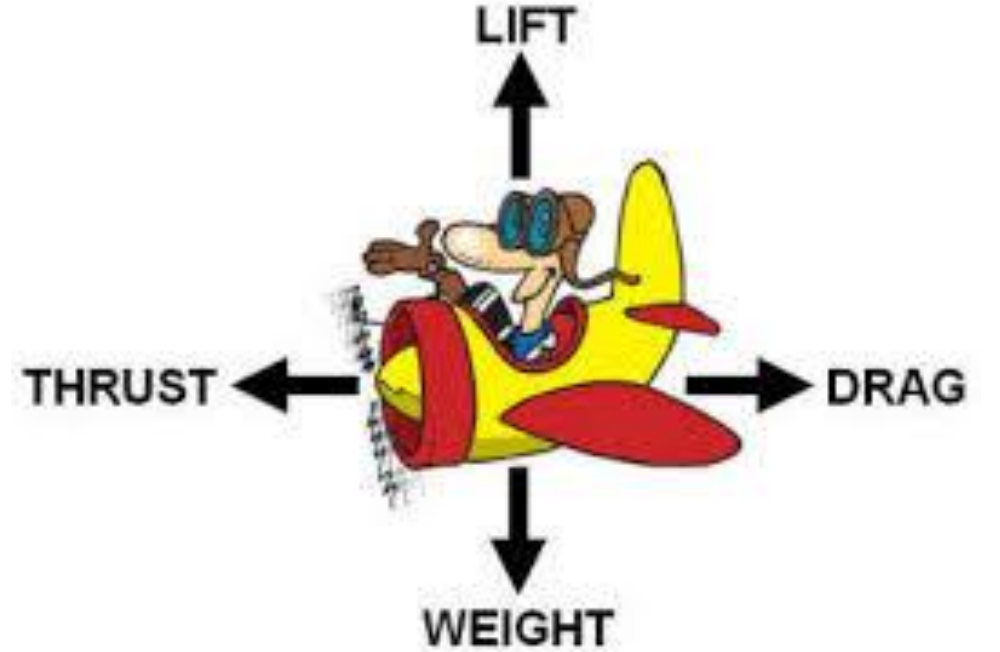


2.3.2. Ağırlık

Uçağın ağırlığı toplam yerçekimidir. Ağırlık kuvveti ağırlık merkezinden yerin merkezine doğru etki eder. Ağırlık aşağı yönde etki eden kuvvetlerin en büyüğüdür. Fakat aynı zamanda başka kuvvetler de vardır.

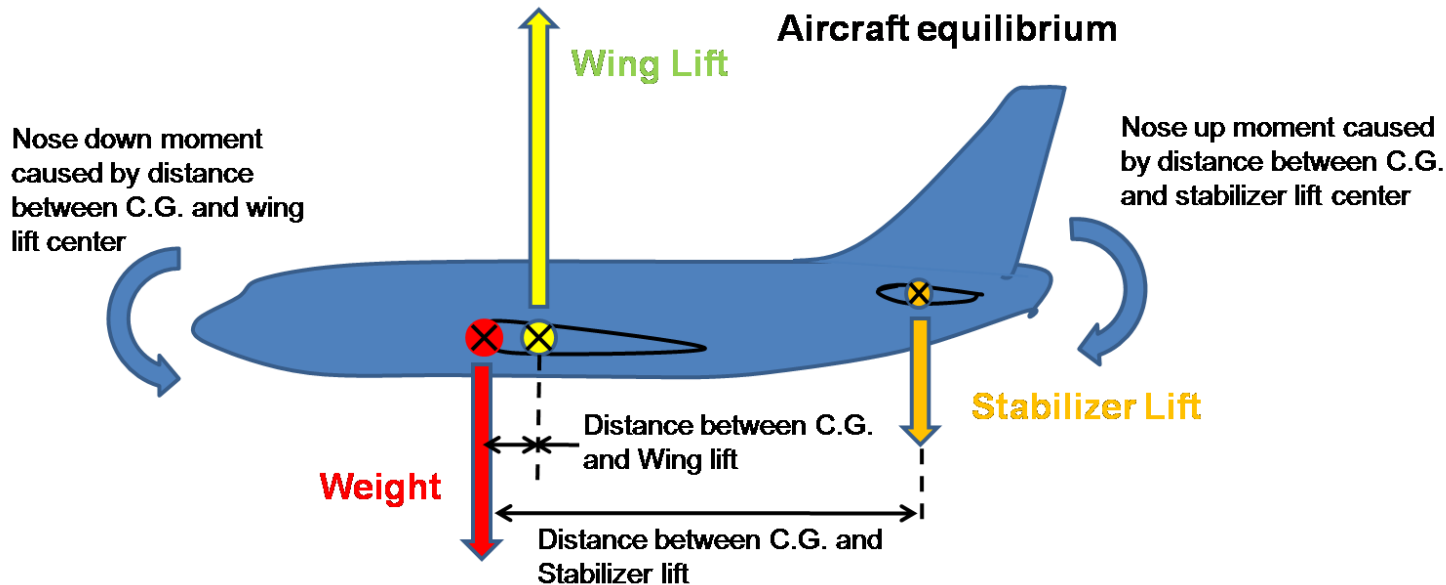
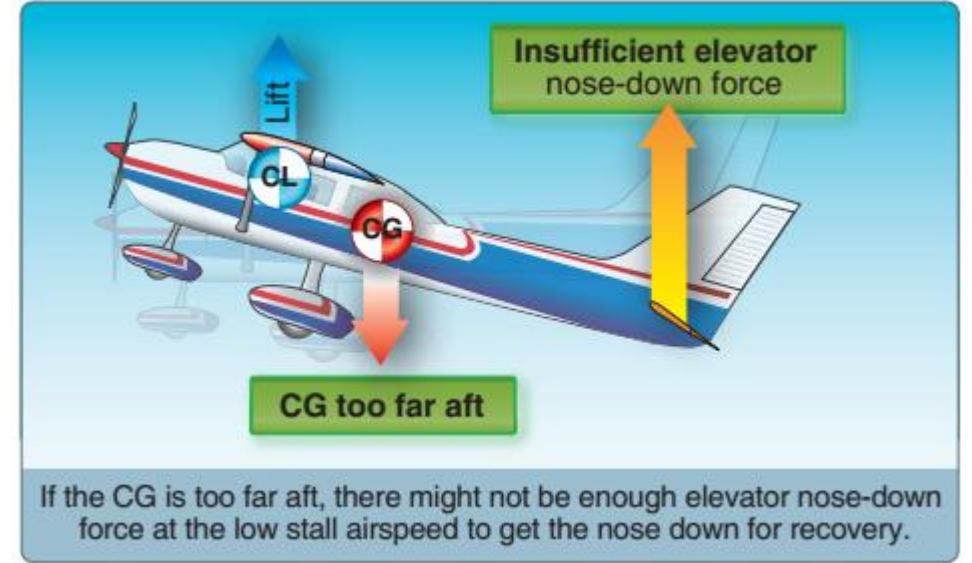
Uçağın aşağı yönde kuyruk yükü (tail load) hız ile değişir. Tail load ayarlanmak suretiyle aşağı yöndeki kuvvetler, yukarı yöndeki kuvvetlere eşit olabilir.

Aşağı yöndeki kuvvetlerin bileşkesi, ağırlık merkezini lift merkezi ile aynı yöne hareket eder ve uçak ağırlık merkezi etrafında kendini dengeler. Uçak için aynı irtifanın korunabilmesi için yukarı yöndeki kuvvetlerin toplamının aşağı yöndeki kuvvetlere eşit olması gerekir.



2.3.3. Ağırlık Merkezi

Belirli amaçlar için uçak ağırlığının tamamının tek bir noktada etki ettiğini düşünmek daha uygundur. Bu nokta ağırlık merkezidir (CG). Ve tüm kaldırma yüzeyinde üretilen kuvvetlerin toplamı basınç merkezi (Cp) üzerine etki eder. Tüm drag kuvvetlerinin bileşkesi "drag merkezi" olarak hayal edilen bir noktaya etki edebilir. Bu nokta uçağın farklı parçalarının izafi direncine bağlı olarak gerçek yerini alır.

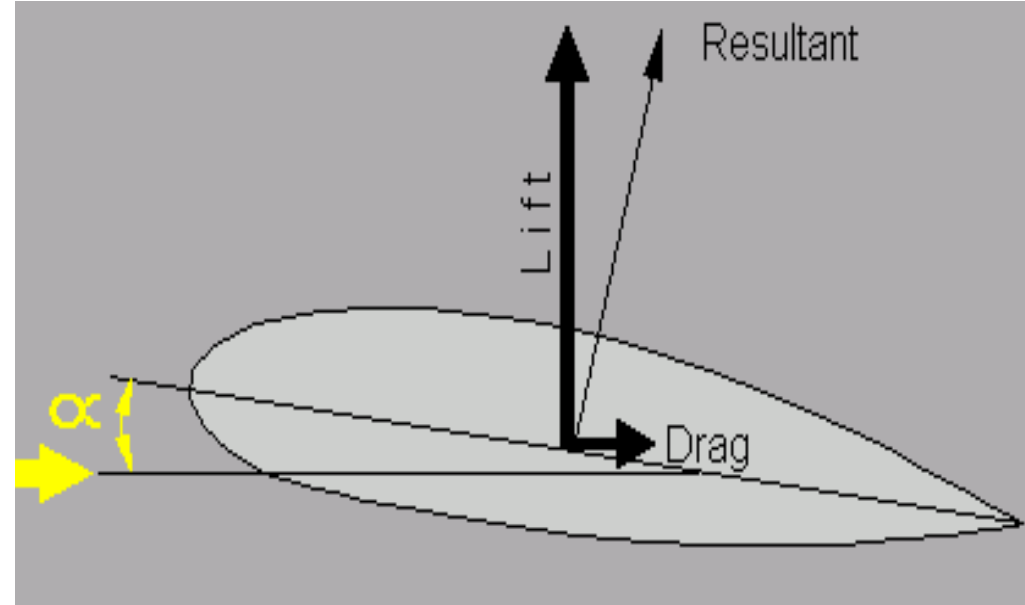


2.3.4. Aerodinamik Bileşke

Kaldırma kuvveti (Lift) ile sürüklenme kuvvetinin (Drag) bileşkesidir. Hücüm açısı ile birlikte büyüklüğü değişir. Belli bir hücüm açısına kadar, hücüm açısı artırıldığında lift ve drag arttığından bileşke kuvvet de artar.

Aerodinamik kuvvetler ile ilgili bir eşitlik çözümlenirken, kuvvetlerin meydana gelmesine sebep olan faktörlerin tespit edilmesine ihtiyaç vardır. Kuvvetlerin oluşmasına ve etkilenmesine sebep olan pek çok faktör bulunmasına rağmen en önemlileri şunlardır:

- Hava akış hızı (V)
- Hava akışkanının yoğunluğu (ρ)
- Profilin kapladığı alan - Kanat alanı (S)
- Profil yüzeyini şekli
- Hücüm açısı (α)
- Viskozite etkileri (μ)
- Sıkıştırılabilirlik özellikleri



Aerodinamik bileşke kuvvet

Aerodinamik kuvvet, net basınç farkı ile kanat alanını çarpma sureti ile bulunabilir; fakat, basınç farkı hücum açısı ile değişmekte olduğundan matematiksel olarak hesaplamak son derece güçtür. Hâlbuki tecrübeler, basınç farkının dinamik basınç ile doğru orantılı olarak değiştiğini göstermektedir. Her hücum açısı için dinamik basınçta meydana gelen bir artma, basınç farkını da arttırmaktadır. Bu nedenle aerodinamik kuvvet eşitliği, dinamik basınç ile kanat alanının çarpımının bir "C_F" katsayısı ile çarpımı şeklinde gösterilebilmektedir.

$$AF = \frac{\rho V^2 S C_F}{2}$$

Denklemden;

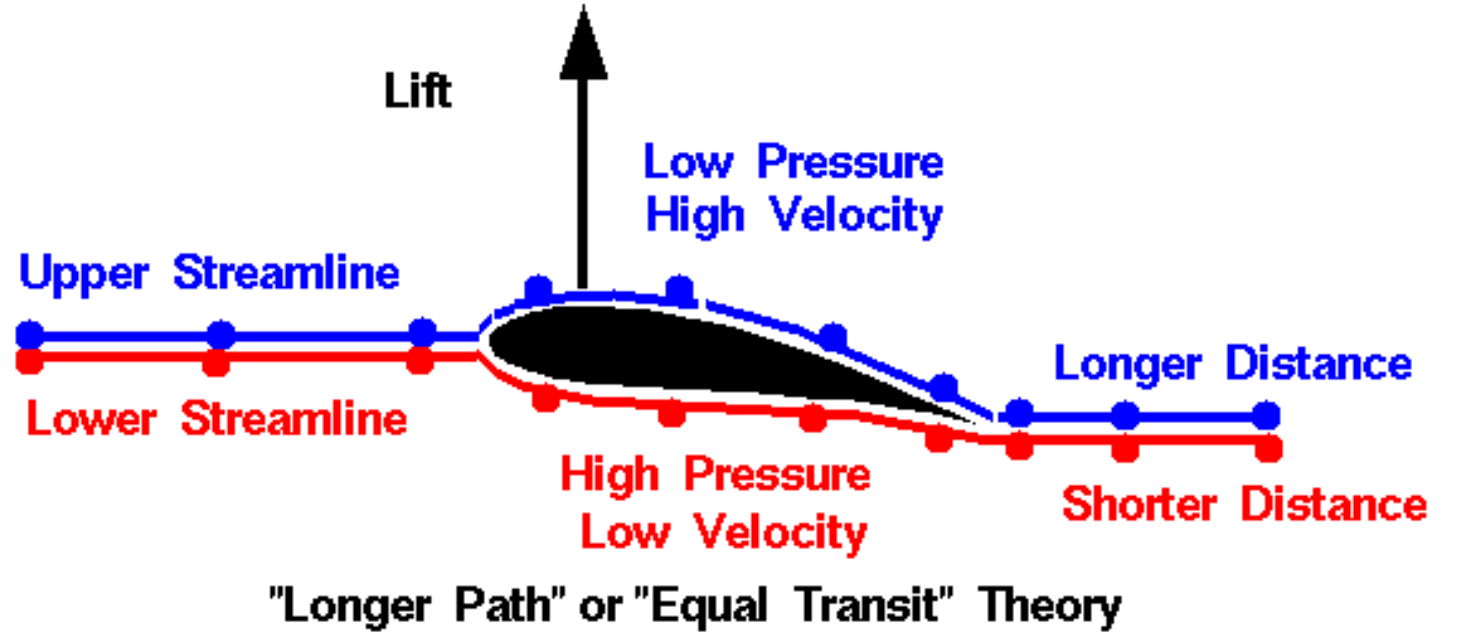
AF = Aerodinamik kuvvet (Newton)

V = Havanın hızı (m/sn)

ρ = Hava yoğunluğu (kg/m³)

S = Kanat alanı (m²)

C_F = Aerodinamik kuvvet katsayısı

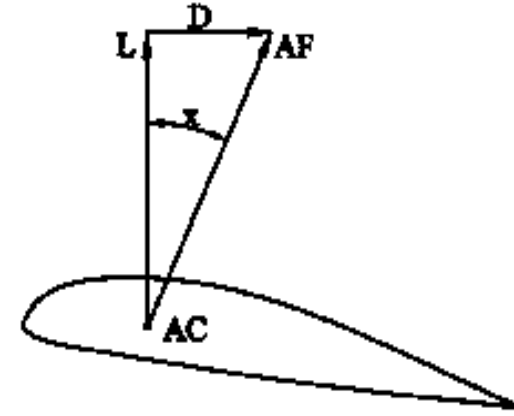


2.4. KALDIRMA (LİFT) VE SÜRÜKLEMENİN (DRAG) OLUŞUMU

Kaldırma (lift): Aerodinamik bileşke kuvvetin, kanat yüzeyine dikey olan bileşkesidir. Uçağın havada tutunabilmesini sağlayan kuvvettir.

Sürüklenme (drag): Aerodinamik bileşke kuvvetin, yatay olan bileşkesidir. Uçak üzerindeki durgun noktaların ve hava akışı sürtünmelerinin neticesinde uçağın gidiş yönüne ters yönde oluşan kuvvettir.

➔ Hücüm açısı artırıldığında, havanın kanat üzerinde alacağı yol ve hızı artar. Böylece kanat üstündeki havanın dinamik basıncı, kanat altındaki havanın dinamik basıncından fazla olur. Bu dinamik basınç farkı lift kuvvetini artırırken, durgun nokta alanının ve hava sürtünmesinin artması geri sürüklemeyi arttıracaktır.



Taşıma ve sürüklenme bileşenleri

Kaldırma (Lift) Katsayısı

Bir airfoil yapının matematiksel olarak hesaplanan lift kuvveti ile rüzgâr tüneline ölçülen lift kuvveti arasında farklılık vardır. Lift kuvvetini hesaplarken bu farklılığı göz önüne almak için hesaplamalarda kaldırma kuvveti katsayısı (C_L) kullanılır.

$$C_L = \text{Rüzgâr tüneline ölçülen lift} / \text{Teorik olarak hesaplanan lift}$$

$$L = \rho V^2 S C_L / 2$$

Sürüklenme (Drag) Katsayısı

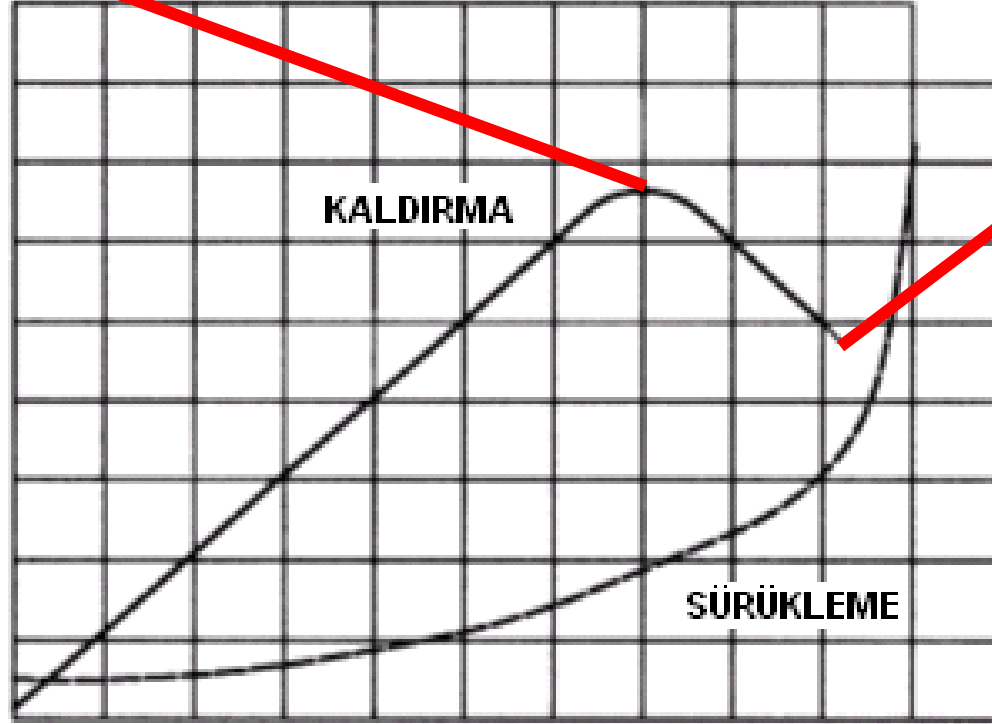
Bir airfoil yapının matematiksel olarak hesaplanan drag kuvveti ile rüzgâr tüneline ölçülen drag kuvveti arasında farklılık vardır. Drag kuvvetini hesaplarken bu farklılığı göz önüne almak için hesaplamalarda sürüklenme kuvveti katsayısı (C_D) kullanılır.

$$C_D = \text{Rüzgâr tüneline ölçülen drag} / \text{Teorik olarak hesaplanan drag}$$

$$D = \rho V^2 S C_D / 2$$

Maksimum taşıma

Kaldırma-Sürükleme



KALDIRMA

SÜRÜKLEME

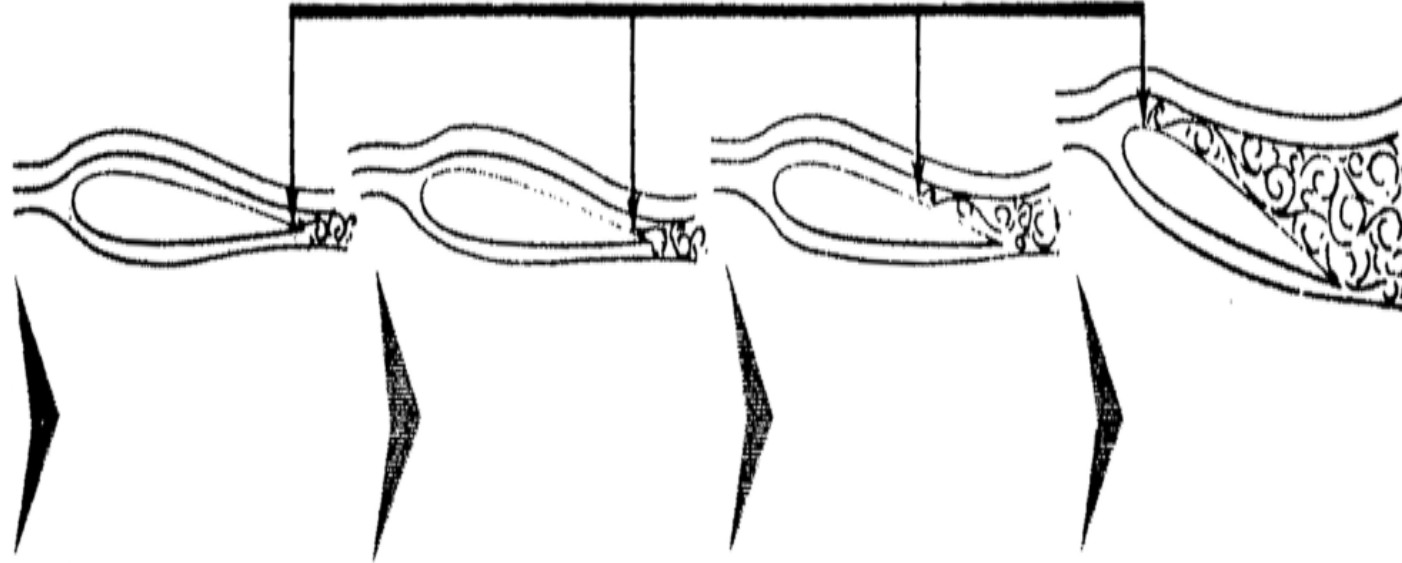
α (Hücum Açısı)

Tutunma kaybının
başlayacağı hücum açısı

Sürükleme ve kaldırma kuvveti katsayılarının hücum açısı ile değişimi

Stall (Perdövites)

Hücum açısının artırılması belli bir noktadan sonra kanat üst yüzeyden geçen hava akımının türbülanslı akması ve sınır tabakasının airfoil yüzeyinden ayrılması ile taşıma kuvvetinin azalması ve sürüklenme kuvvetinin artmasına neden olur. Bu durumun, uçağın havada tutunması ve düzgün bir seyrine engel olacak seviyeye gelmesine "stall" denir.



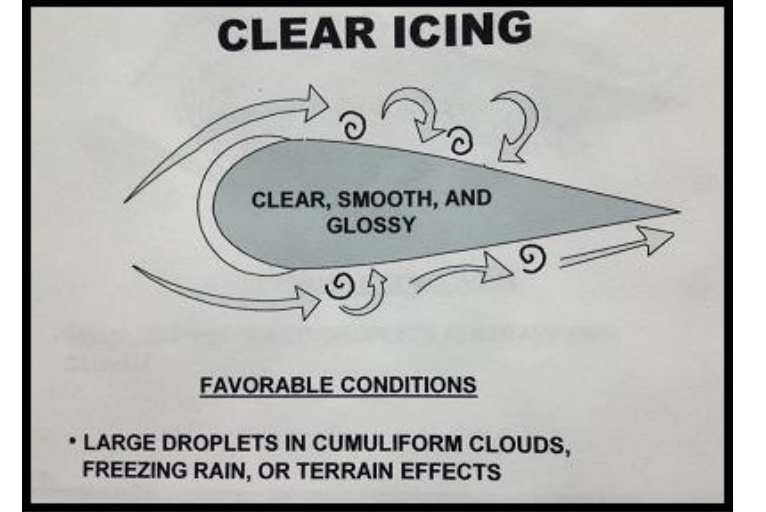
Stall'un oluşması

2.5. BUZ KAR DON GİBİ PROFİL BİRİKİNTİLERİ

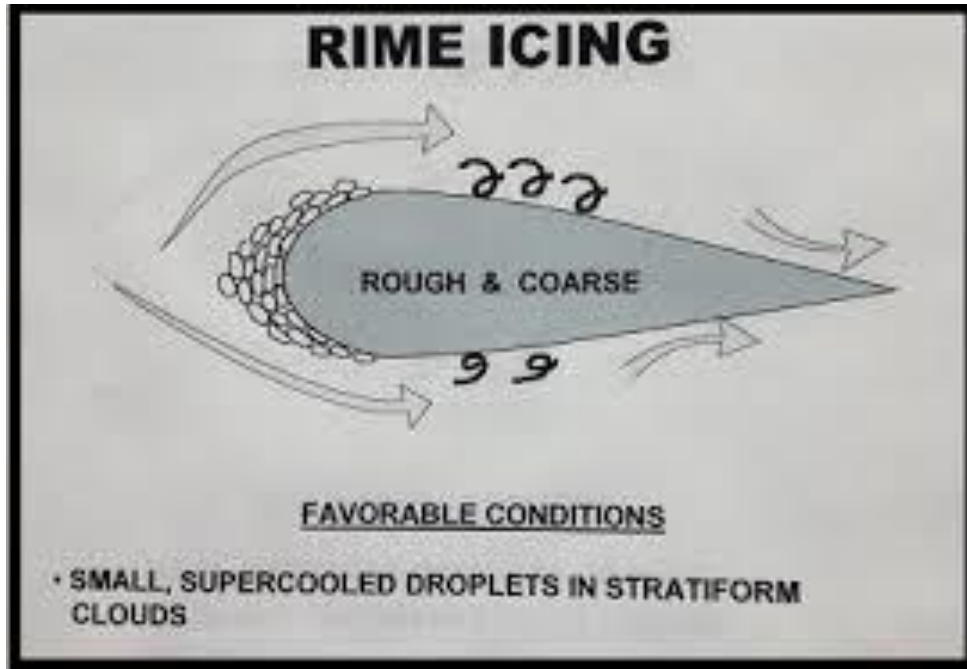
5.1. Buz Şekilleri

Clear ice (temiz buz) genellikle 0°C den -15 °C ye kadar olan sıcaklık aralığında sıcaklık terslemesi sonucu oluşur. Aynı zamanda kümülüs bulutları içine girildiğinde dağların yukarı eğimli taraflarında (yukarı yamaçlarında) meydana gelebilir. Su damlacıkları uzunca bir süre sıvı olarak uçak yüzeyinde hava içermeksizin donmadan evvel bekler. Bu şeffaf, temiz ve düzgün bir buz yüzeyine sebep olur. **Daha büyük su damlacıkları dolayısıyla diğer buz şekillerinden daha çabuk oluşur.** De-icing işlemi ile atılması çok daha zordur. Rime buza göre daha az sürüklenme oluşturmalarına rağmen ağırlık artışı daha fazla önemlidir.

Rime buz (kırağı, beyaz buz) kaba bir yüzeyi vardır ve temiz buzdan daha fazla sürüklenme artışı meydana getirir. -15°C den aşağı sıcaklıklarda stratus bulutlarına girince oluşur. Aşırı soğumuş su damlacıkları hızla donar fakat airfoil ile çarpışmaları ile küresel şekillerini alırlar. Bu sebeple beyaz ve kaba şeklini almasına sebep olur. Bu sıvıda su içeriği az ve genellikle birikim yavaştır. **Rime buz de- icing işlemi ile atılabilir.**



Mix ice (karışık buz) tüm buzlanma koşulları ile karşılaşılınca meydana gelir, fakat genellikle 0°C ile -15 °C arasında oluşur. Karışık buz oluşumu geniş bulutlardaki, küçük aşırı soğumuş su damlacıkları ile oluşur. kaba rime ice kristalleri temiz buz ile örtülür. Bizarre buz oluşumu bizarre tacı şeklindeki buz oluşumu ile tamamen aynıdır. **Rime ice** dan daha ağır ve clear buzdan daha fazla sürüklenme oluşturur.



Buzlanma Faktörleri

Bir uçak üzerinde buz birikimini belirleyen 4 faktör vardır.

- Sıcaklık
- Su damlacıklarının boyutu
- Airfoil boyutu
- Hız

Sıcaklık ve su damlası boyutu buz oluşum tipini belirler.

Airfoil boyutu önemli bir faktördür. Geniş airfoiller hava akışını alt ve üst yüzeyine airfoilin önünde bölünür ve su damlacıkları airfoil üzerine çarpıp donmaktan ziyade airfoili by pass eder. **Daha küçük airfoiller de buz oluşumu daha fazla oluşur. Buz oluşumu kuyruk üzerinde kanat üzerinden daha fazla oluşur.**

Havanın hızı; airfoil ile hava arasında sürtünme artar ve havanın sıcaklığı artar. Bundan dolayı, daha yüksek hız buz oluşumunu azaltacaktır. Fakat unutulmamalıdır ki, verilen hava koşulu ve uçak tipi için buz oluşumu farklı olacaktır.

Donma (Frost) Kirliliği

Test sonuçları göstermektedir ki, orta veya kaba bir zımpara kağıdına benzer bir kalınlıkta kar veya don oluşumu (hücum kenarı veya üst yüzey üzerinde) lift i %30 kadar azaltır ve sürüklemeyi %40 kadar artırır.

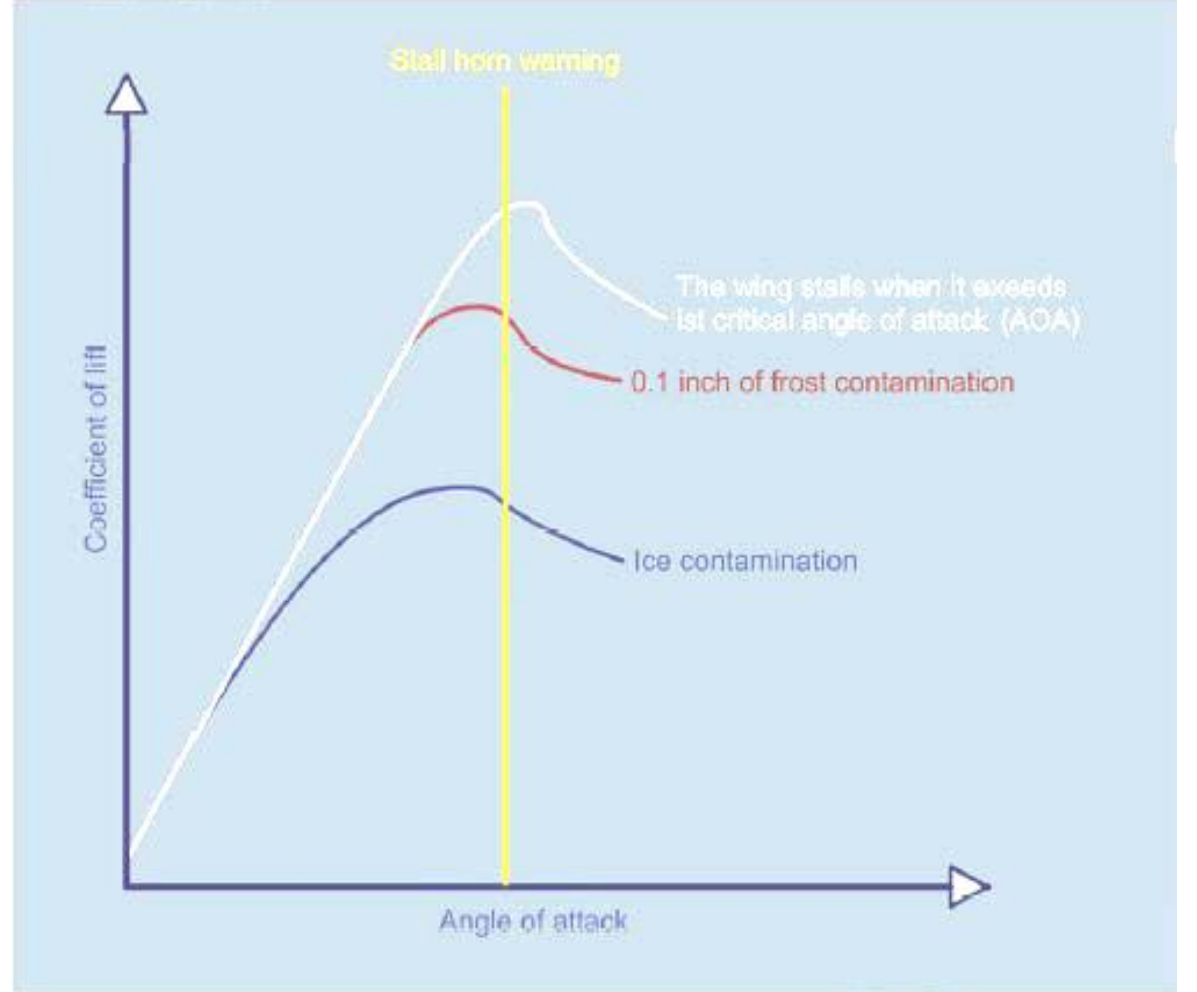
Donmanın kabalığı uçak yüzeyine en birincil tehlikedir.

Donma, buz ile kıyaslandığı zaman daha çok tehlikeli gibi görünür, fakat ince bir donma katı oluşursa airfoil üzerinde hava akışı yavaşlar ve bundan ötürü lift performansı azalır. 0.1 inch kalınlıkta uçak kanadı üzerine düzgün dağılmış don tabakası, stall hızını %35 artırır. Bu kabaca gerekli olan take off hızını iki katına çıkartır.



Buzlanmanın Etkileri

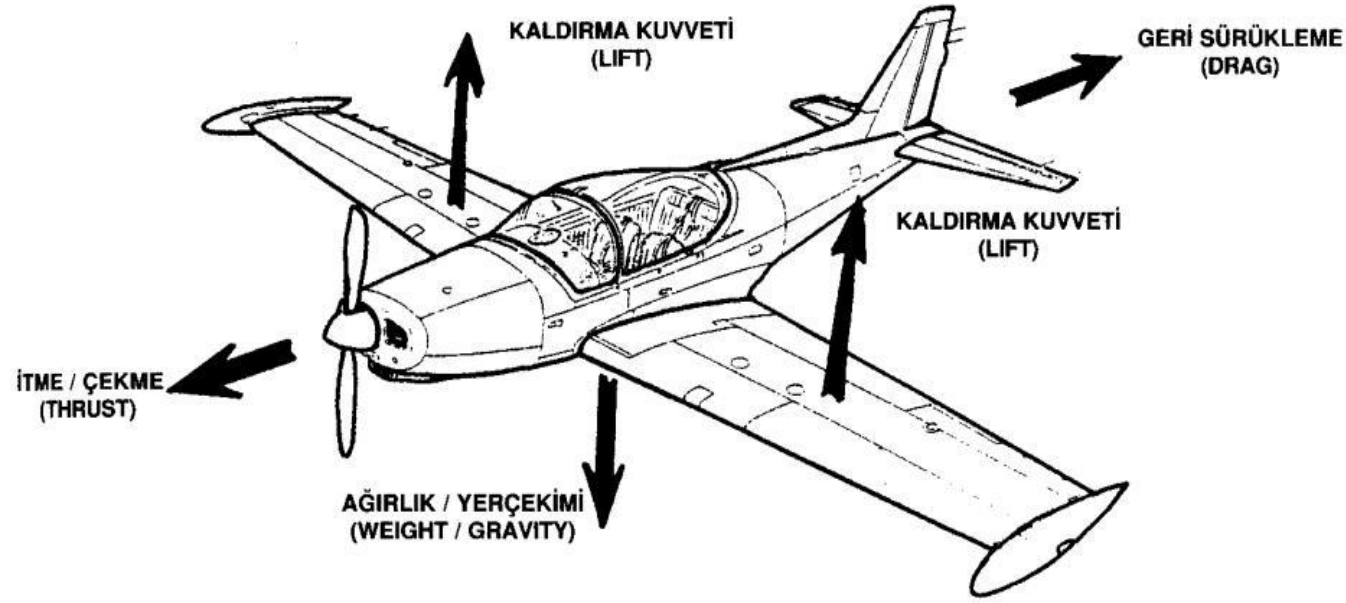
Genel havacılık uçakları üzerinde, stall ikaz cihazları uçak kritik AOA değerine ulaşmadan önce aktif olur. 0.1 inch don kirliliği ile C_L ve kritik AOA hali hazırda daha az olur (var olan ikaz değerine göre). Bu demektir ki ikaz aktif olmadan önce uçak stall olacaktır.



Buzlanmanın Etkileri

3. UÇUŞ TEORİSİ

Bir uçağın uçuşu çeşitli aşamalardan meydana gelir. İlk, olarak bir ortamdan bir diğerine geçiş anı olan kalkış. Daha sonra pilotun irtifa kazandığı tırmanış. Daha sonraki periyotta sabit irtifada düz uçuş. Bu aşama belirli durumlarda manevra periyotları ile kesintiye uğrar. Son olarak yere geri dönüş için alçalır ve en sonunda iniş gerçekleşir.



Uçağı etkileyen kuvvetler

❖ **Ağırlık Merkezi (Center of Gravity-CG):**

Belirli amaçlar için uçak ağırlığının tamamının tek bir noktada etki ettiğini düşünmek daha uygundur. Bu nokta ağırlık merkezidir (CG). Ve tüm kaldırma yüzeyinde üretilen kuvvetlerin toplamı basınç merkezi (Cp) üzerine etki eder. Tüm drag kuvvetlerinin bileşkesi “drag merkezi” olarak hayal edilen bir noktaya etki edebilir. Bu nokta uçağın farklı parçalarının izafi direncine bağlı olarak gerçek yerini alır.

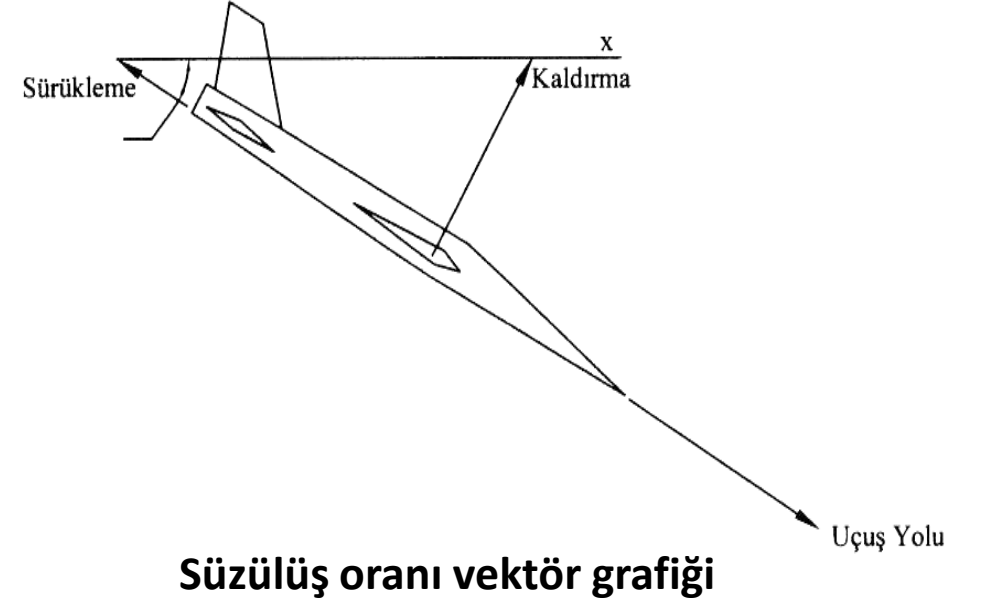
Kuvvetlerin oluşmasına ve etkilenmesine sebep olan pek çok faktör bulunmasına rağmen en önemlileri şunlardır:

- Hava akış hızı (V)
- Hava akışkanının yoğunluğu (ρ)
- Profilin kapladığı alan - Kanat alanı (S)
- Profil yüzeyini şekli
- Hücüm açısı (α)
- Viskozite etkileri (μ)
- Sıkıştırılabilme özellikleri

1. SÜZÜLME ORANI

Pervaneli ya da jet motorlu bir uçak, uçuşunu devam ettirebilmek için mutlaka motor gücüne ihtiyaç duyar. Ancak, uçuş esnasında her zaman bir motor arızasının meydana gelmesi mümkündür. Fakat motor arızası başlar başlamaz uçak, serbest bırakılan bir taş parçası gibi hemen yere düşmez. Motoru duran bir uçak belirli bir alçalma durumuna geçer.

Süzülüş oranı, süzülüş açısı ile ilgilidir. Süzülüş açısının tanjantı, gerçekte süzülüş oranının karşılığıdır. Şekil 3.2 incelenirse süzülüş açısının tanjantının vektörlerin oluşturduğu üçgenin karşı dik kenarının yandaki dik kenara oranına eşit olduğu görülür. Karşı dik kenar, sürüklenme kuvvetini; yandaki dik kenar da kaldırma kuvvetini gösterdiğinden;



$$\tan\gamma = \frac{\text{Sürüklenme}}{\text{Kaldırma}} = \frac{D}{L}$$

2. KARARLI HAL UÇUŞU VE PERFORMANS

2.1. Kararlı Hal Uçuşu

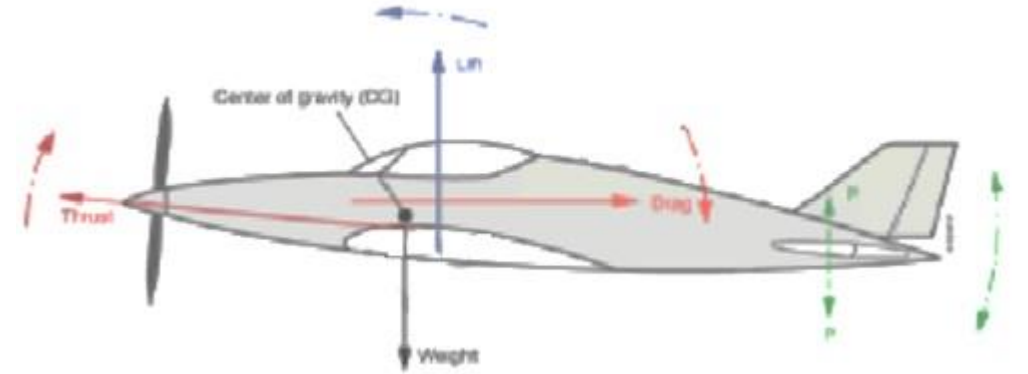
Bir uçağın düzgün bir yükseklikte, düzgün bir hız ile, sabit bir yönde ilerlemesi veya havacılık değişikliğiyle sabit irtifaya, konum ve hız (altitude, attitude ve airspeed) da olması ve kumanda ihtiyacının olmaması haline dengeli olduğu söylenir.

Mekanik diliyle, böyle bir durum denge olarak bilinir. Denge basit anlamda var olan durumun değişmemesi, diğer bir deyişle uçak Newton'un 1. kanununa göre; Bir cisme harici bir kuvvet etki etmedikçe hareketsiz kalır veya hareketine aynen devam eder. Böyle bir durumu devam ettirebilmek için uçağa etki eden tüm kuvvetler dengeli olmalıdır.

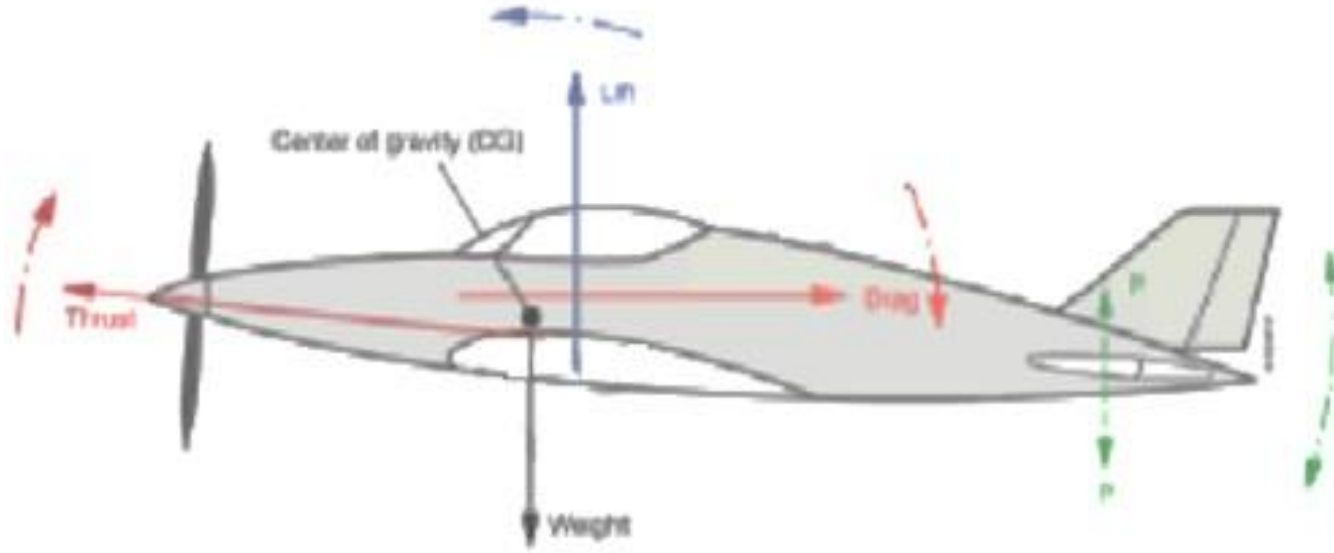
- İlk olarak, $lift = weight$ olmalıdır. Bu durum uçağı sabit irtifada tutacaktır.
- İkinci olarak, $thrust = drag$ olmalıdır. Bu durum uçağı sabit hız ile hareket ettirecektir.

Denge için yine de üçüncü bir koşul vardır. Düz uçuşu devam ettirebilmek için uçak dönüşlerden (yani ağırlık merkezi etrafında momentlerden) sakınmalıdır. Bu sadece 4 kuvvetin etkilerine bağlı değildir, aynı zamanda etki ettiği konuma da bağlıdır. Eğer basınç merkezi ağırlık merkezinin arkasındaysa uçak burnu düşmek isterken kuyruk yükselir ve basınç merkezi, ağırlık merkezinin önündeysse tam tersi olur.

Bununla birlikte, ağırlık merkezi tüm sistem ve kuvvetler için dönüş merkezidir. Bu kuvvetler ağırlık merkezinin tam üzerinde değil ise moment üretir. Bir nokta üzerine etki eden kuvvetin momenti kuvvetin doğrultusu ile kuvvet arasındaki dik mesafenin kuvvet ile çarpımına eşittir.




Yatay Uçuşta Etkiyen Kuvvetler ve Momentler



- Thrust “T” ağırlık merkezinin altında ise nose-up moment oluşur.
- Drag “D” ağırlık merkezinin üstünde ise nose-up moment oluşur.
- Lift “L” ağırlık merkezinin arkasında ise nose-down moment oluşur.
- Kuyruk üstündeki kuvvet “P” ağırlık merkezinin arkasındadır ve momentin yönünü değiştirebilmelidir.

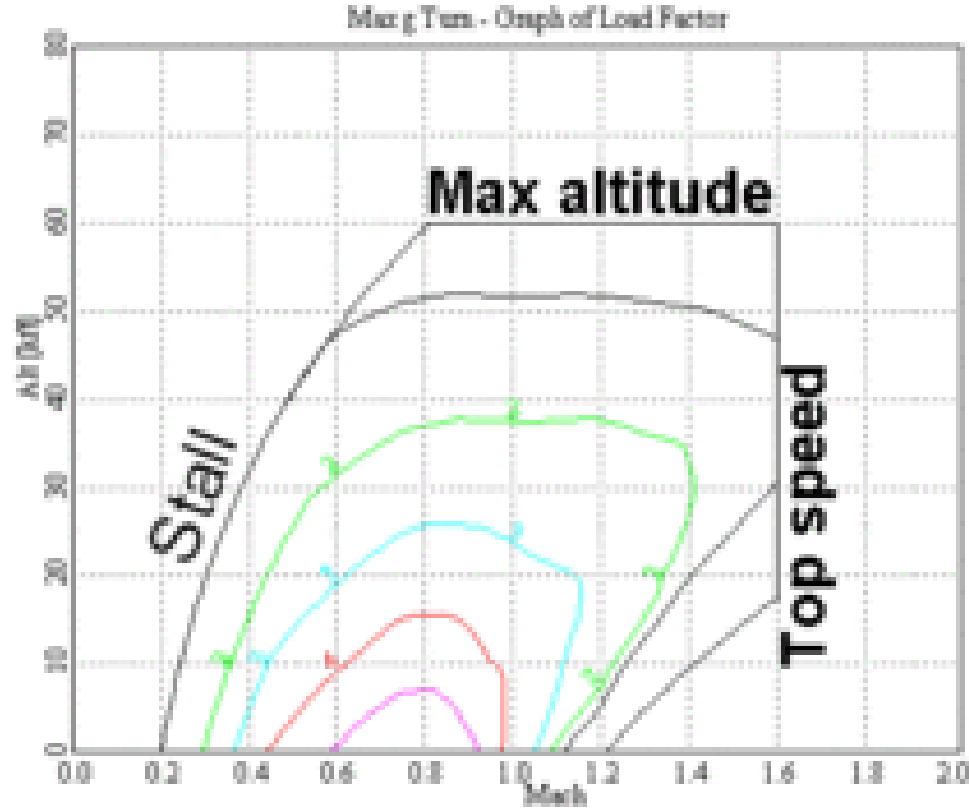
Uçuşta, yukarıda tarif edilen momentler pilotun kumandaları veya yardımcı kumandaları (trim sistem gibi) kullanarak karşılanabilir. Her zaman; konum, hız ve güç ayarları değişen uçağın, trim yapılması gerekir. Yani yeniden düz uçuş koşullarına ayarlanması gerekir.

 NOT: Yine de tasarımcıların amacı pilotun deyişiyle “fly hands off” bir uçak yani kendi dengesini bulabilen bir uçak meydana getirmektir.

2.2. Performans

Bir hava taşıtıdan beklenenleri belirten niteliklerin tümüne performans adı verilir. Bir uçağın performansları; seyir hızı, maksimum hız, yükselme hızı, yakıt ikmali yapmadan gidebileceği mesafe, kalkış ve iniş mesafeleri gibi parametreleri kapsar. Bu performansların analiz edilebilmesi için bazı eğrilerden faydalanılır. Bu eğrilerden en çok kullanılanı şunlardır:

- Stall hızı
- Maksimum hız
- Maksimum menzil hızı
- Maksimum havada kalış hızı
- Mutlak tavan
- Maksimum tırmanış açısı hızı
- Maksimum tırmanış oranı hızı

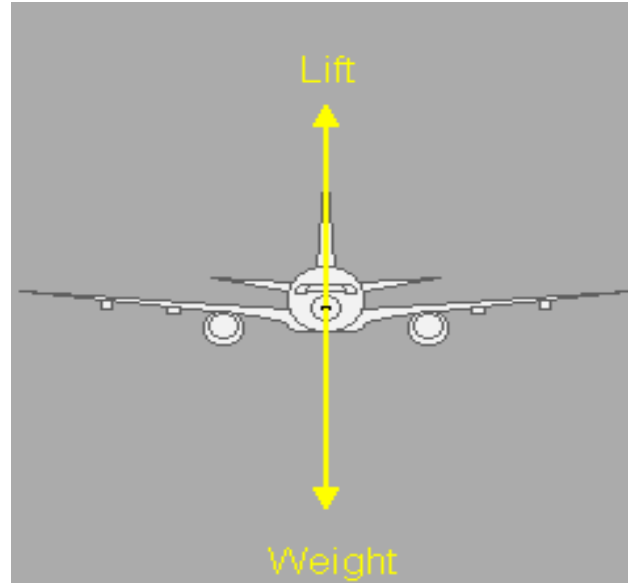


3. DÖNÜŞ TEORİSİ

Uçaklar üç eksen etrafında hareket ettiklerinden dolayı geniş bir hareket alanına sahiptir. Uçaklar yatay ve dikey dönüşler yapabildiği gibi her ikisinin bileşimi olan hareketleri de yapabilir.

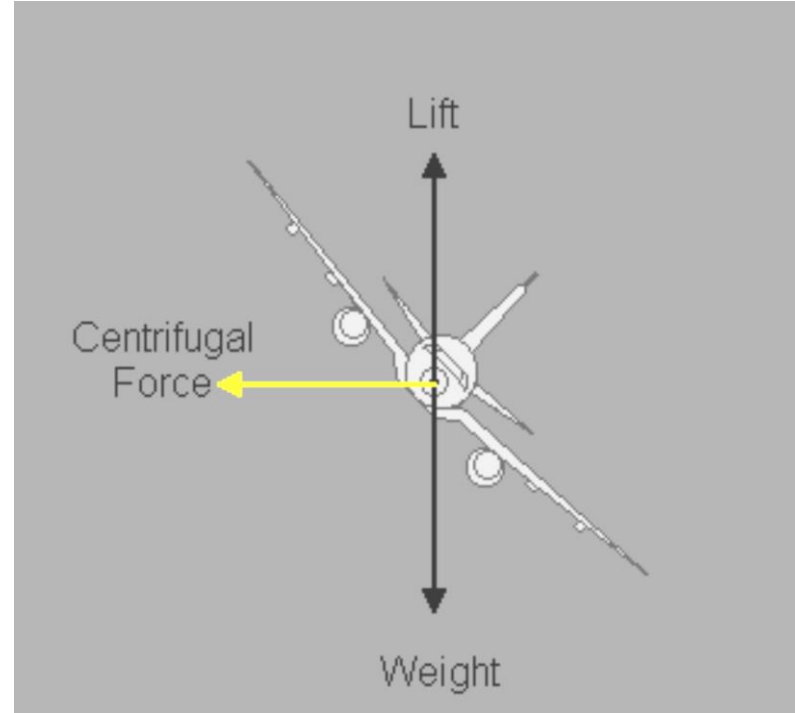
Ufki dönüş sabit bir irtifada kalarak dönüş yapmaktır.

Uçaklar sabit bir irtifada hareket ederken kanatlar birbirlerine paralel durumdadır ve kaldırma kuvveti ağırlığa eşittir ($lift=weight$)(Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Sabit irtifa uçuşu

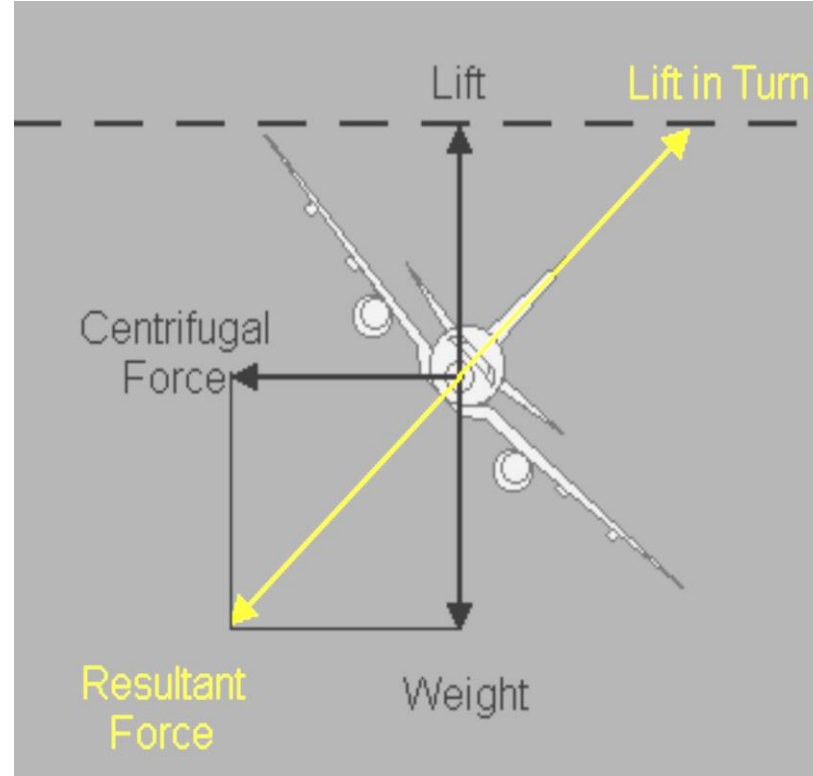
Dönüş başladığında ise denge bozulur. Dönüşün sağlanabilmesi için yeterli ivmenin kazandırılması gerekir. Bu durumda dengeli ve koordineli bir dönüş yapılmasına yardımcı olan yeni bir kuvvet meydana gelir. Yatay ekseninde oluşan bu kuvvet merkez kaç kuvvetidir (**centrifugal force**). Şekil 3.5 oluşan bu kuvveti göstermektedir.



Şekil 3.5: Merkezkaç kuvvetinin oluşumu

Dönüş sırasında irtifanın korunabilmesi için dönüş esnasındaki kaldırma kuvvetinin, merkezkaç kuvveti ve ağırlığın oluşturduğu bileşke kuvvete (resultant force) eşit olması gerekir.

Dikey eksendeki kaldırma kuvvetinin ve ağırlığın büyüklüğünde bir değişim olmaz. Bu durumda oluşan bileşke kuvvetin karşılanması için kaldırma kuvveti denklemini:

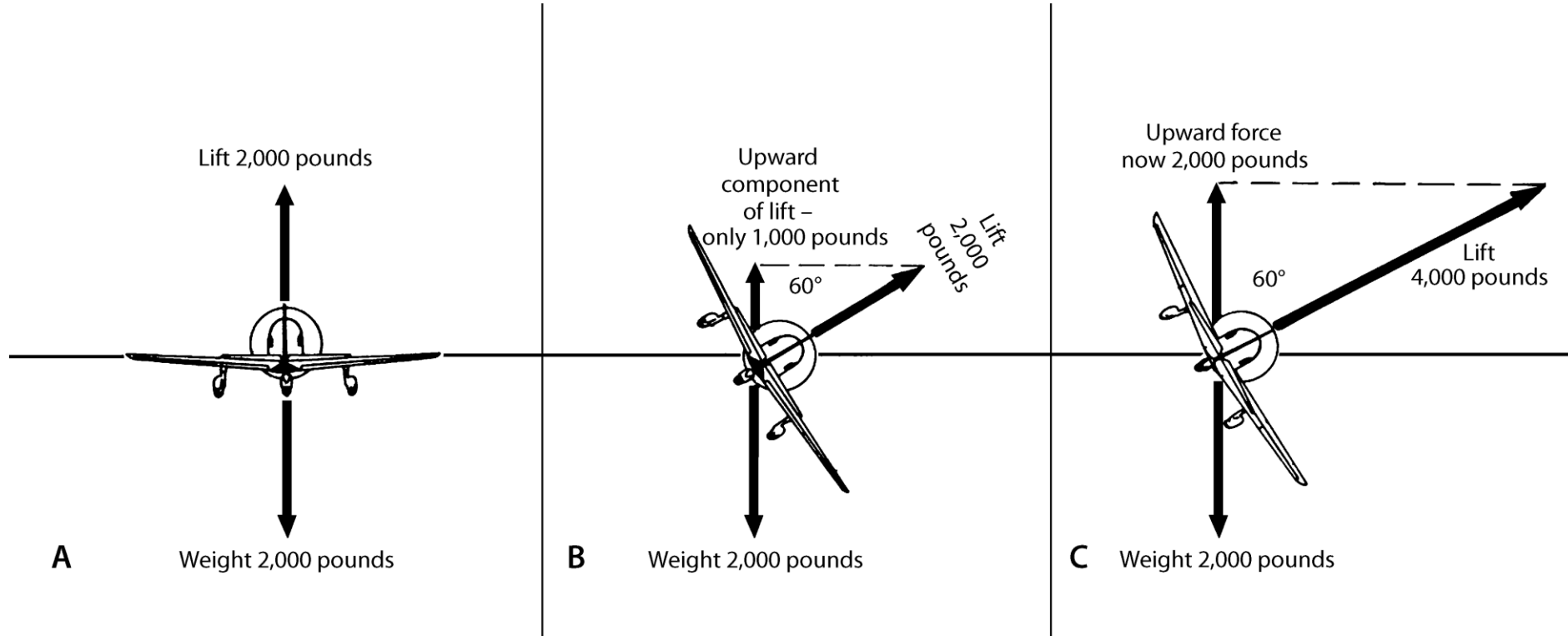


Bileşke kuvvetinin oluşumu

Dönüş hareketi sırasında uçağın tutunma kaybı yaşamaması için belirli bir hızın üstünde kalması gerekir. **Dönüş hareketine başlayan uçağın stall hızı cruise uçuş yaptığı durumdan daha yüksektir.**

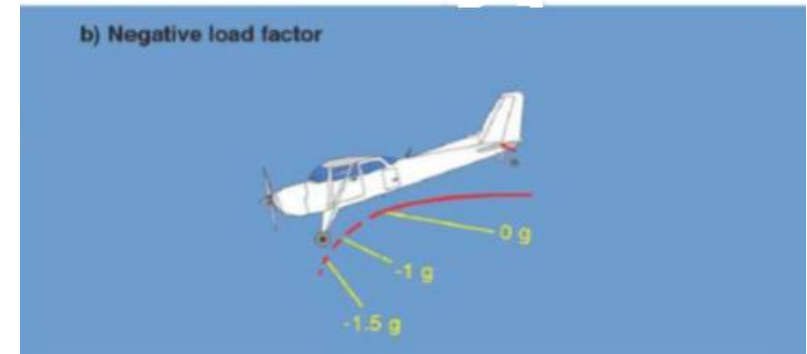
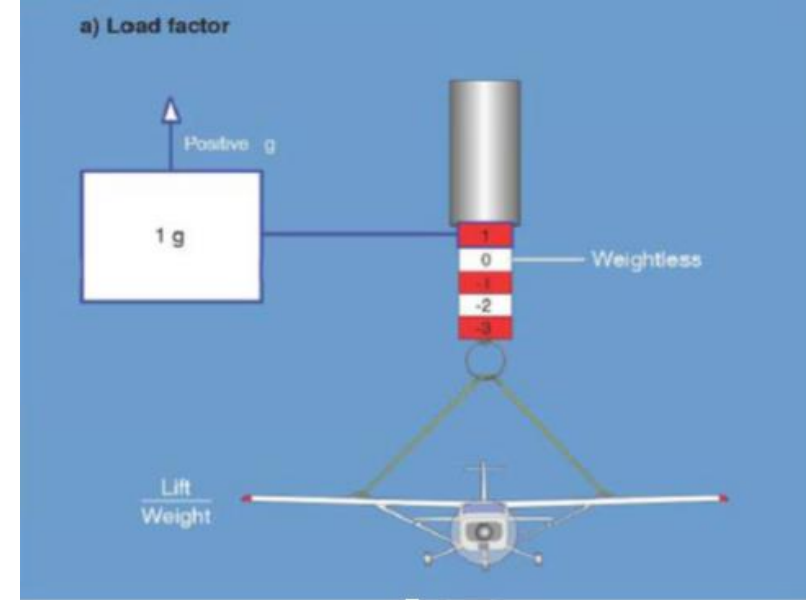
$$\frac{V_{S(\text{turn})}}{V_{S(\text{level})}} = \sqrt{n}$$

n yük faktörünü temsil etmektedir.



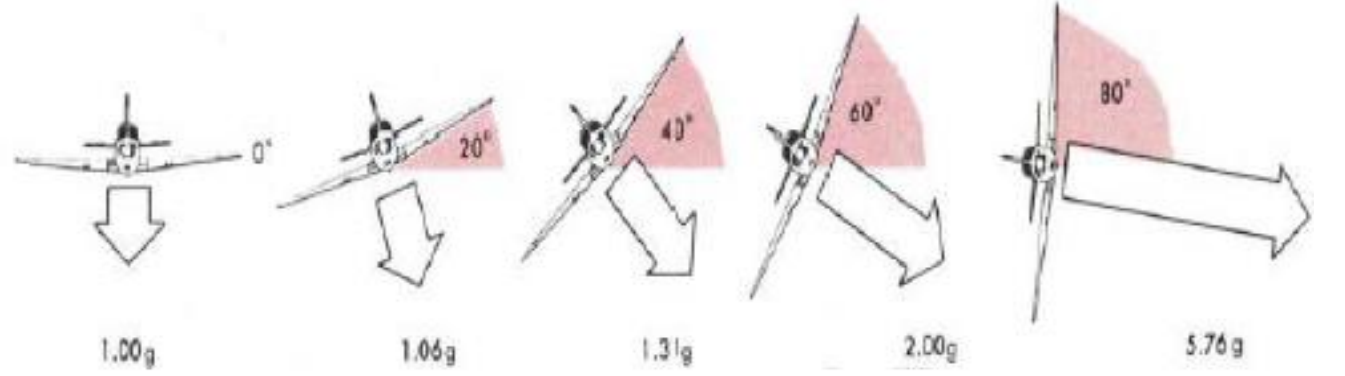
4. YÜK FAKTÖRÜ ETKİSİ, STALL, UÇUŞ ZARFI VE YAPISAL SINIRLAMALAR

Yük faktörü, toplam yükün yani kanatlarda üretilen liftin uçağın ağırlığına oranıdır. Yük faktörü "g" birimi ile ifade edilir. İvmesiz, düz bir uçuşta kanatlardaki yük lifte ve toplam ağırlığa eşittir. Bu nedenle, bu durumda yük faktörü 1 g dir. Normal uçuş esnasında, 1 g den büyük yük faktörü pozitif olarak söylenir.



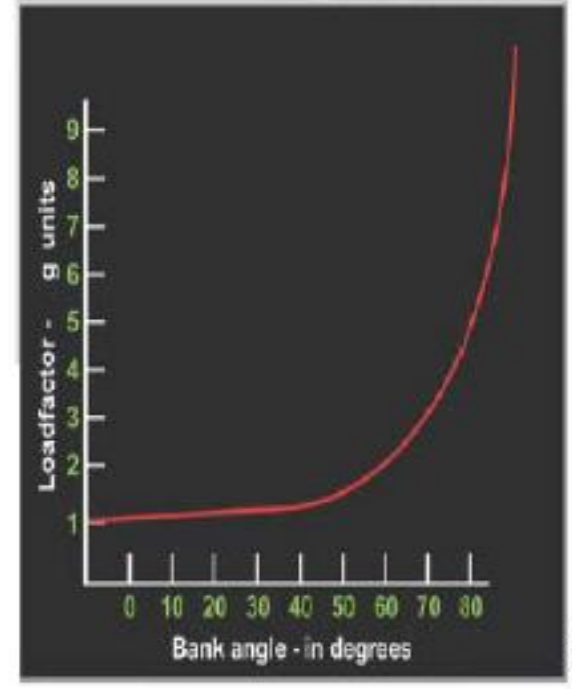
Yük Faktörü

Yük faktörü tüm uçuş manevralarında söz konusudur. Düz ivmesiz uçuşta, daima 1 g'lik yük faktörü vardır. Bununla birlikte, belirli manevraların çok yüksek yük faktörüne sebep olduğu bilinmektedir.



Uçuş performansı ve kanat ile yapı üzerindeki yük yaklaşık 45° nin ötesinde olan yatışlar esnasında yük faktörü ile belirgin olarak değişir. Yük faktörü yatış 90° ye yaklaşırken hızlı bir şekilde artar.

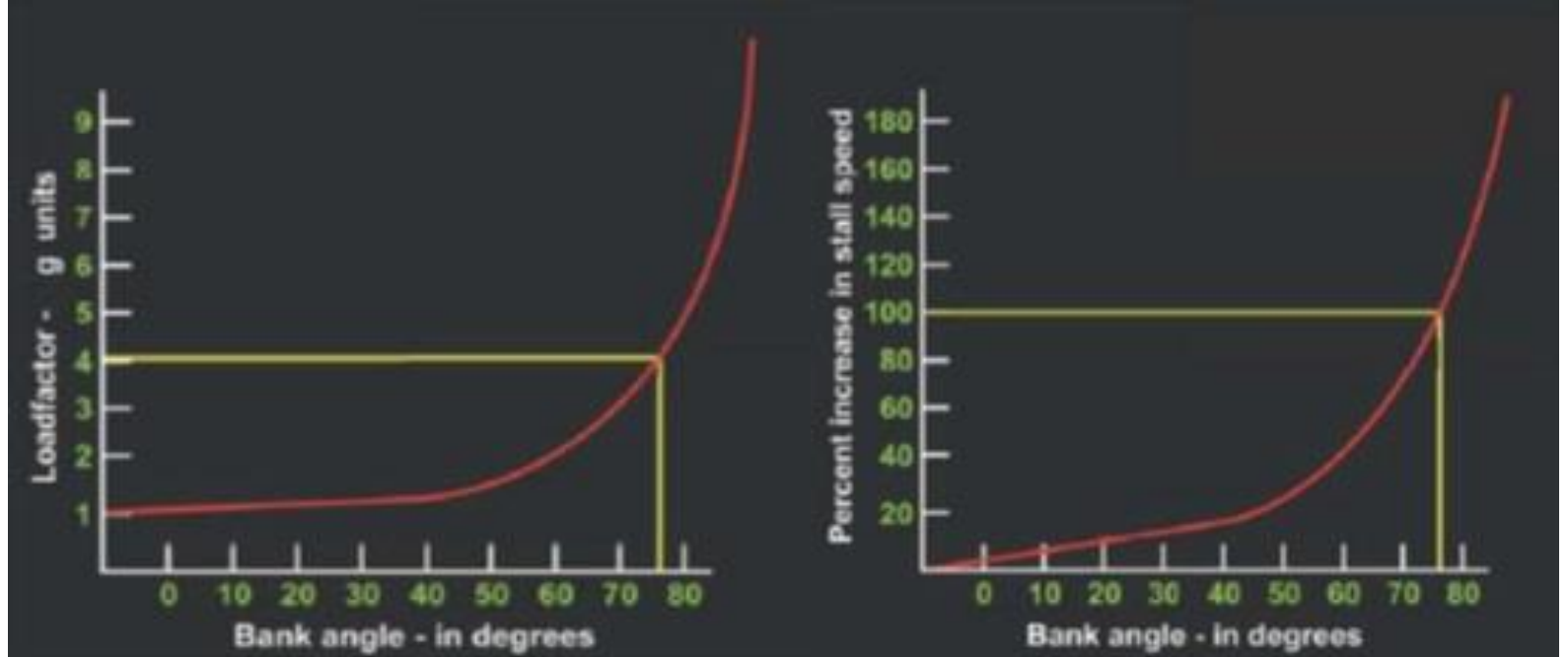
Not: Sabit irtifada 90° lik yatış matematiksel olarak mümkün değildir.



Dönüşte Yük Faktörünün Değişimi

4.1. Stall Hızı Değişimi

Uçağın kanatlarında üretilen liftin ağırlığı daha fazla taşıyamadığı duruma stall denir. Daha yüksek yük faktörlü sabit irtifa dönüşlerinin neden olduğu merkezkaç kuvvet etkisi ile stall hızı artar. Artan bir stall hızı uçağın daha erken yani daha yüksek hızda stall olacağı anlamına gelir. Yani başka bir deyişle uçağın havada tutunması için gereken hız daha yüksek olacaktır.



Stall Hızı ve Yük Faktörü Arasındaki İlişki

4.2. Türbülans Etkisi

Tüm sertifikasyonlu uçaklar beklenen şiddette türbülansın meydana getirdiği yüklere karşı koyacak şekilde tasarlanır. Dolayısıyla uçaklar ani türbülanslarda dinamik dengeyi koruyacak şekilde davranır.

4.3. Yapısal Sınırlar

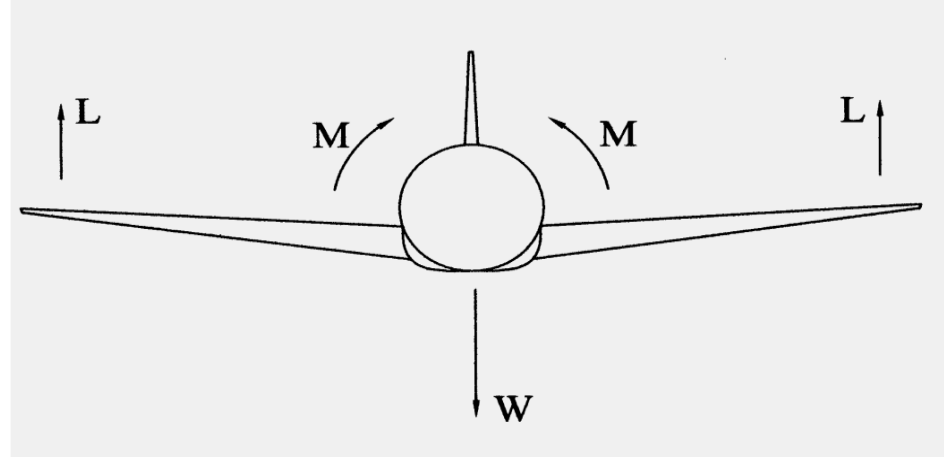
Uçak ağırlığının uçak performansını olumsuz etkileyeceği gibi uçağın imalat ve işletim maliyetleri de artar. Bu nedenle uçaklar düşük yoğunluğa sahip hafif madenlerle yapılır ve yapısal sağlımlıkları hassas olarak hesaplanır.

Yapısal ağırlığın arttırılması daha fazla thrust kuvvetine ihtiyaç gösterir. Bu durum motor büyüklüğünün artmasına neden olur. Tüm bunlar, uçak imalatında küçük ağırlık artışları ile beraber gelen sorunları gösterir.

4.3.1. Metal Malzemelerin Sağlamlığı

Gerilme ve uzama: Gerilme, üzerine kuvvet uygulanan bir cismin birim alanına karşılık gelen kuvvet olarak tanımlanır. Gerilme kuvveti, malzemenin kesit alanına bağlıdır yani malzemenin kesit alanı arttırılırsa gerilme kuvveti azaltılabilir. Uzama ise malzemenin deformasyon veya şeklinde meydana gelen değişiklik olarak tanımlanır.

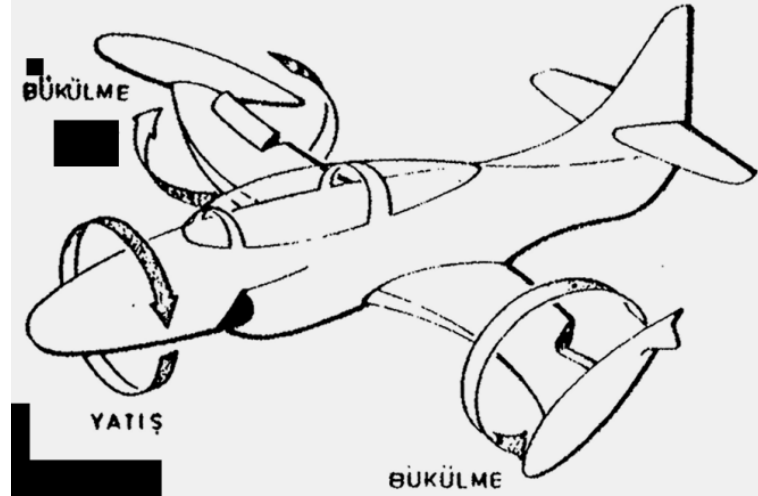
Yorgunluk: Maddeler yalnız aşırı yükleme altında parçalanmaz. Limitin altındaki kuvvetin uzun bir süre cisme uygulanması ile de cisimler zarar görebilir. **Eğer bir teneke parçası bir yöne doğru bir kez bükülürse kopmayabilir. Fakat aynı parça, defalarca farklı yönlerde bükülürse teneke zarar görerek kopar. Bu durum maddenin yorgunluğu konusunda bir fikir verebilir.**



Değişken yük ve momentler

4.4. Aerodinamik Limitler

“Aeroelastik limit” olarak da isimlendirilen aerodinamik limitler, aerodinamik kuvvetler ile uçak yapısının elastikiyeti arasındaki ilişkileri belirtir. Aeroelastik etkilerin bir şekline “kanat burkulması” adı verilir ve kanat yapısının kesinlikle hasara uğramasına sebep olur. Yüksek süratlerde bazen kanadın titrediği görülür. Kanadın elastikiyeti neticesi meydana gelen bu titremeye maksimum süratlerde uçulduğu zaman rastlanır. Ancak bu titremeler kanat burkulmasındaki gibi kanadı ani olarak hasara uğratmaz.



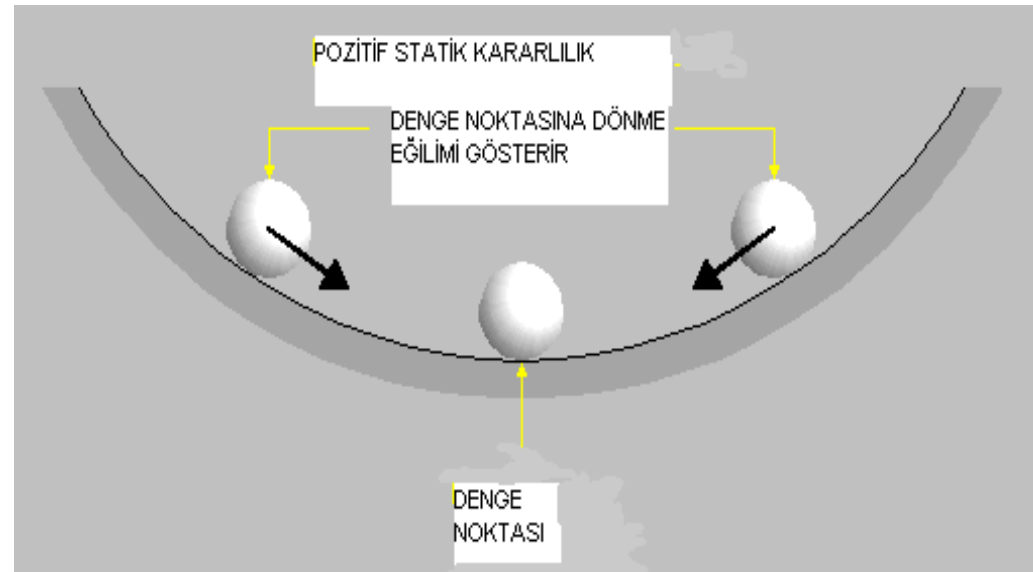
Aeroelastik etkiler neticesinde kanatçıkların ters etki vermesi

UÇUŞ KARARLILIĞI VE DİNAMIĞI

Sabit hız ve yükseklikte uçmakta olan bir uçağın, atmosfer içindeki türbülansların etkisi ile meydana gelen dengesizliklerden kurtulması ve pilotun uçağa vermek istediği kumandalara uyması, uçağın kararlılık ve kumanda nitelikleriyle ilgilidir. Uçağın mükemmel olabilmesi için yeterli performans karakteristiklerine ek olarak iyi derecede kumanda ve kararlılık özelliklerine de sahip olması gerekir.

Kararlılık; uçağın planlanan rotasında ve uçuş irtifasında pilotun müdahalesi olmadan uçuşunu sürdürebilmesidir. Statik kararlılık ve dinamik kararlılık olmak üzere iki çeşit kararlılık vardır.

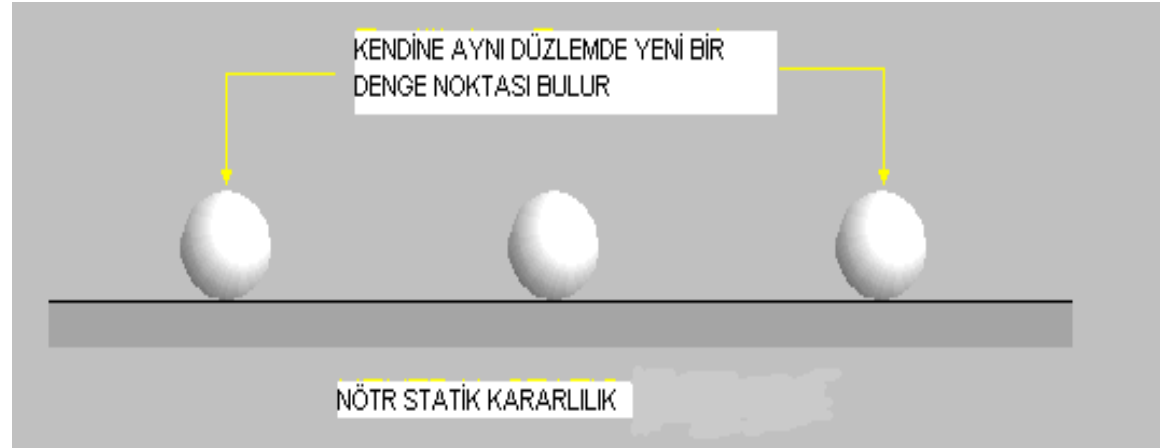
Statik kararlılık: Pozitif statik kararlılık, negatif statik kararlılık ve nötr statik kararlılık olmak üzere üç çeşittir. Pozitif statik kararlılıkta cisim denge noktasından hareket ettiğinde tekrar aynı noktaya dönme eğilimi gösterir



Negatif statik kararlılıkta cisim hareket ettiğinde denge noktasından giderek uzaklaşır.

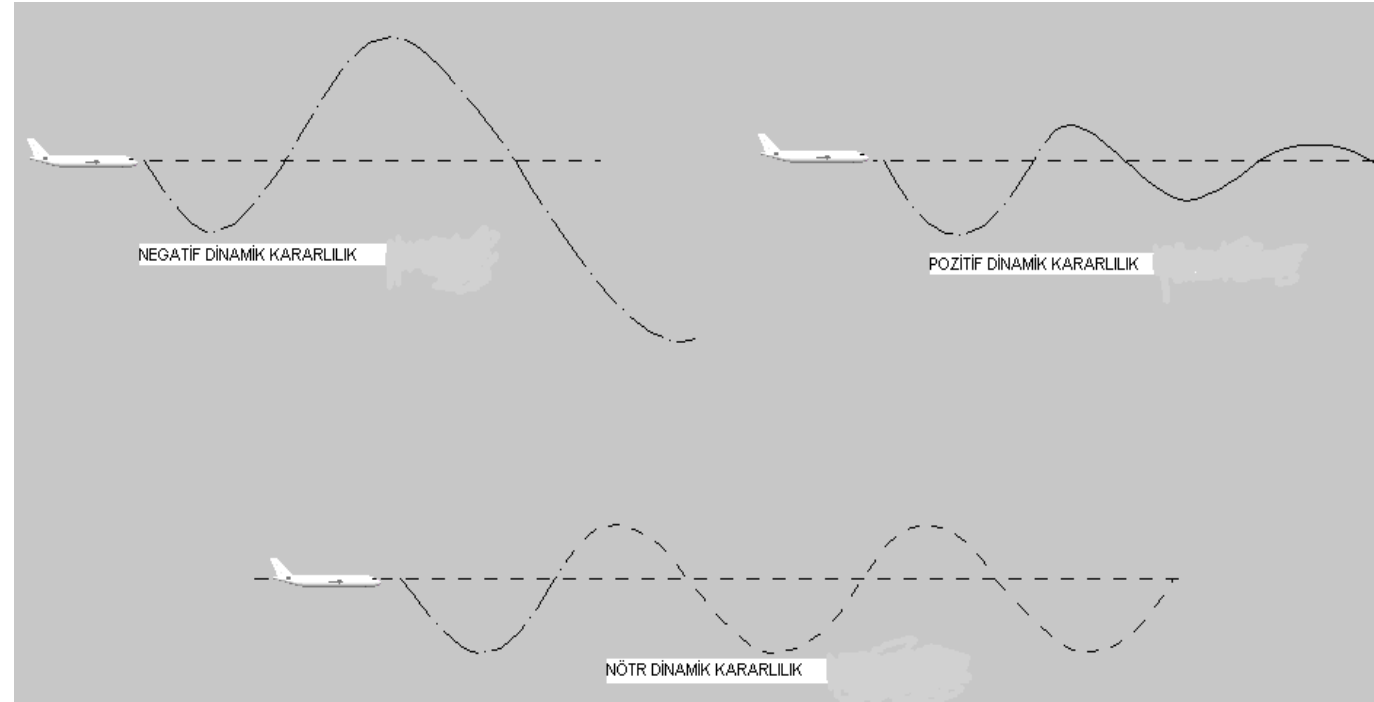


Nötr statik kararlılıkta ise cisim denge noktasından hareket ettiğinde kendine aynı düzlemde yeni bir denge noktası bulur.



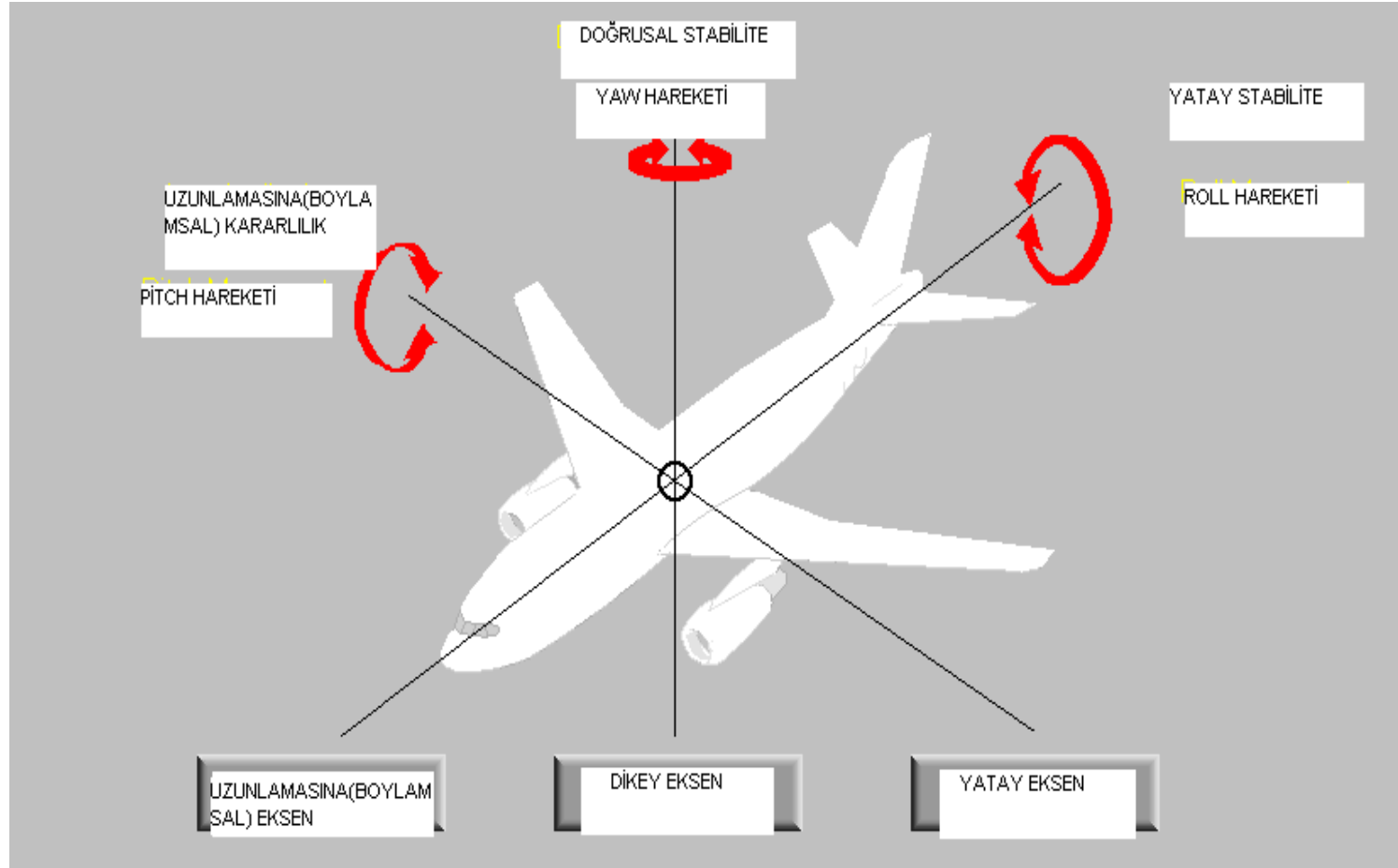
Dinamik kararlılık: Sadece pozitif statik kararlılık durumunda oluşur. Üç çeşittir. Nötr dinamik kararlılık, cismin hareketinin aynı şiddette süregelmesidir.

- **Pozitif dinamik kararlılık**, cismin hareketinin giderek sönümlenmesidir. **Negatif dinamik kararlılık** ise cismin hareketinin giderek artması ve sönümlenmemesidir. Aşağıdaki resimde bir uçağın dinamik kararlılıkta ki hareketleri görülmektedir.



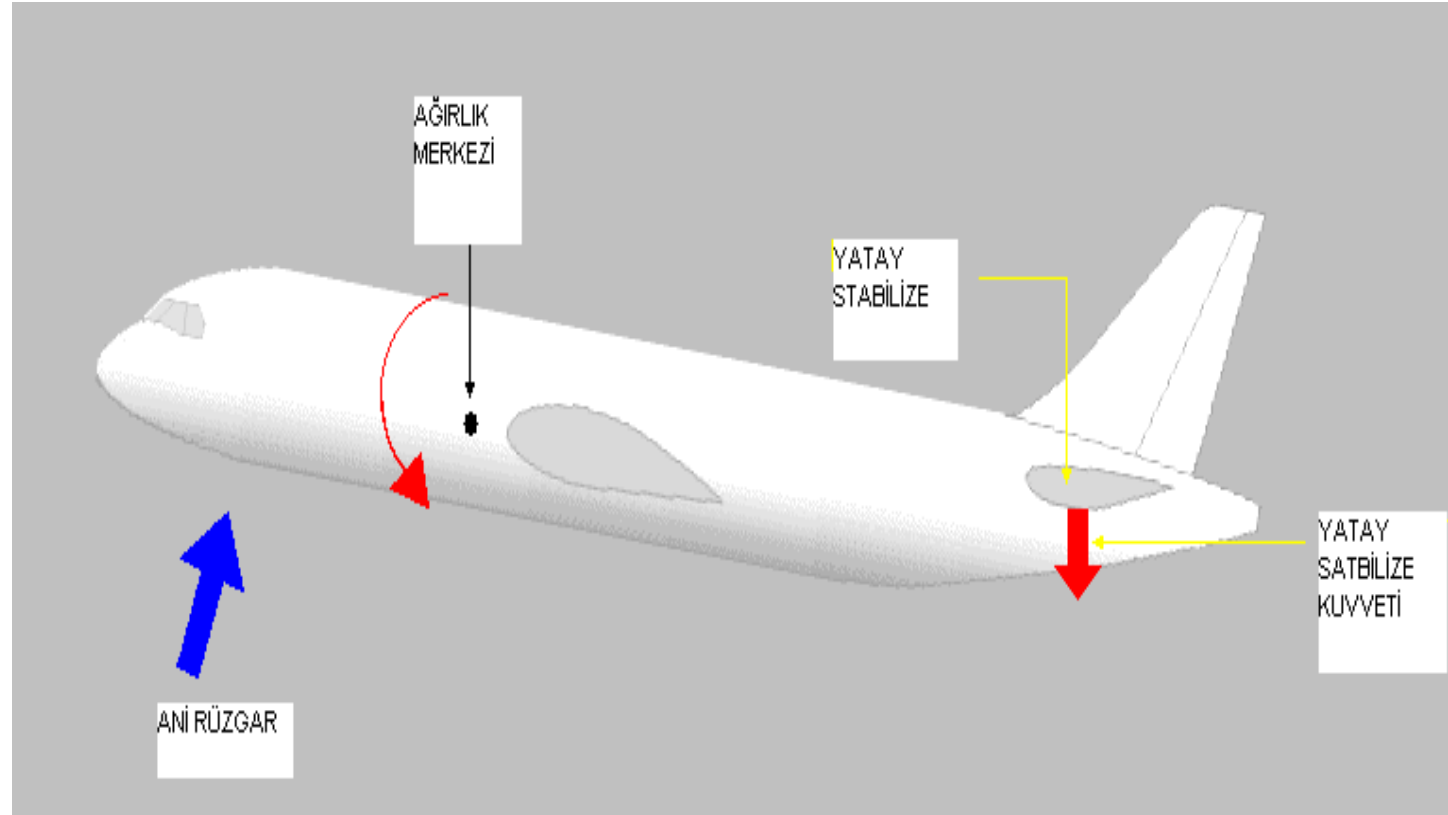
Dinamik Kararlılık Çeşitleri

1. UZUNLAMASINA KARARLILIK (LONGİTUDİONAL STABİLİTE)

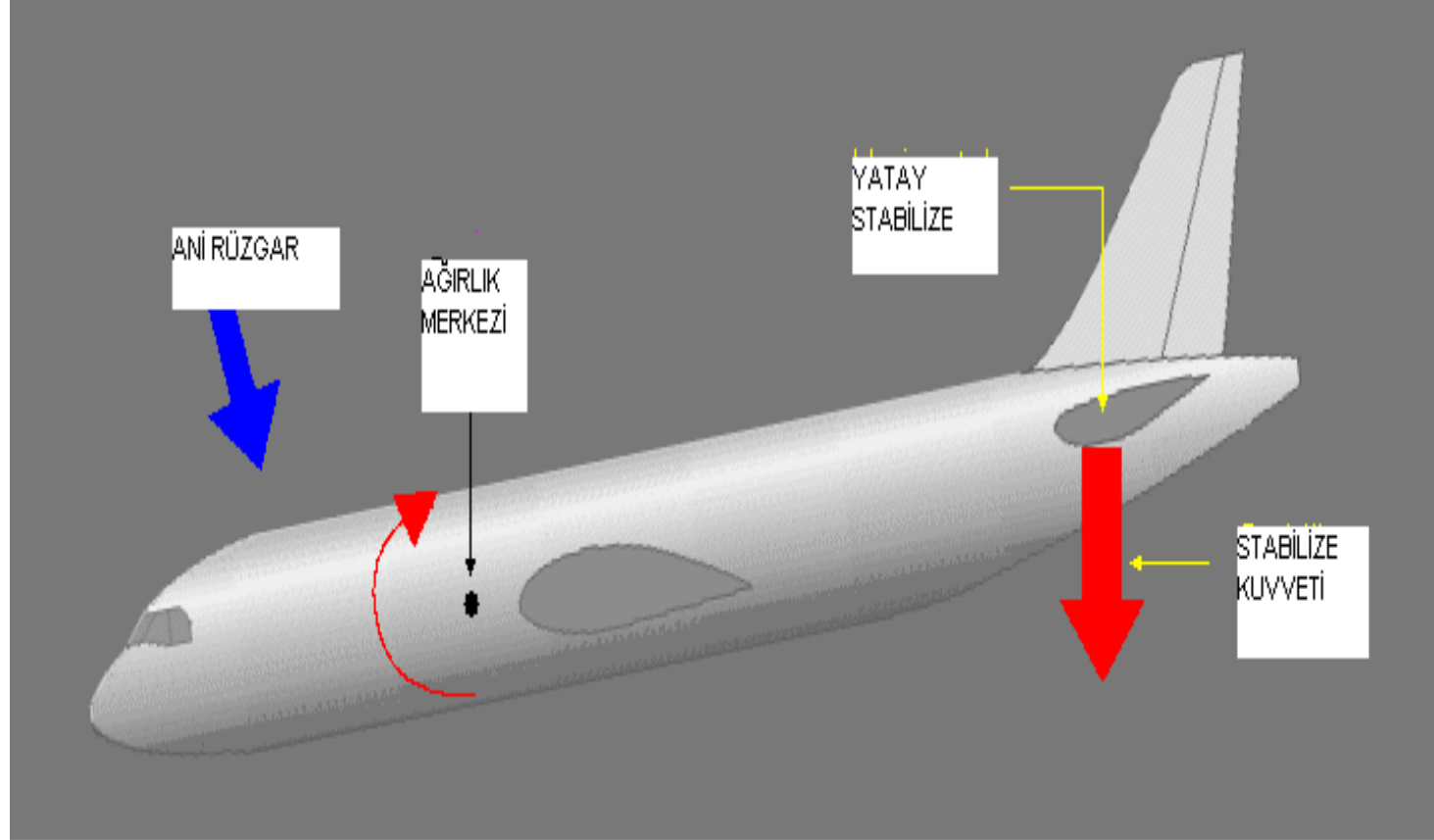


Uçak eksenleri ve bu eksenlerde oluşan kararlılıklar

Uzunlamasına kararlılık yatay eksen etrafında meydana gelir. Uçağın hücum açısının değişimine neden olan herhangi bir etki sonucu (ani rüzgar, hava akımı) tekrar uçağın denge konumuna gelmesini sağlar. Bunu sağlamak içinde yunuslama hareketini (pitch) oluşturan yatay stabilize ve kanatları kullanır.



Yukarı yönlü ani rüzgar etkisi ile yatay stabilize kuvvetin değişimi



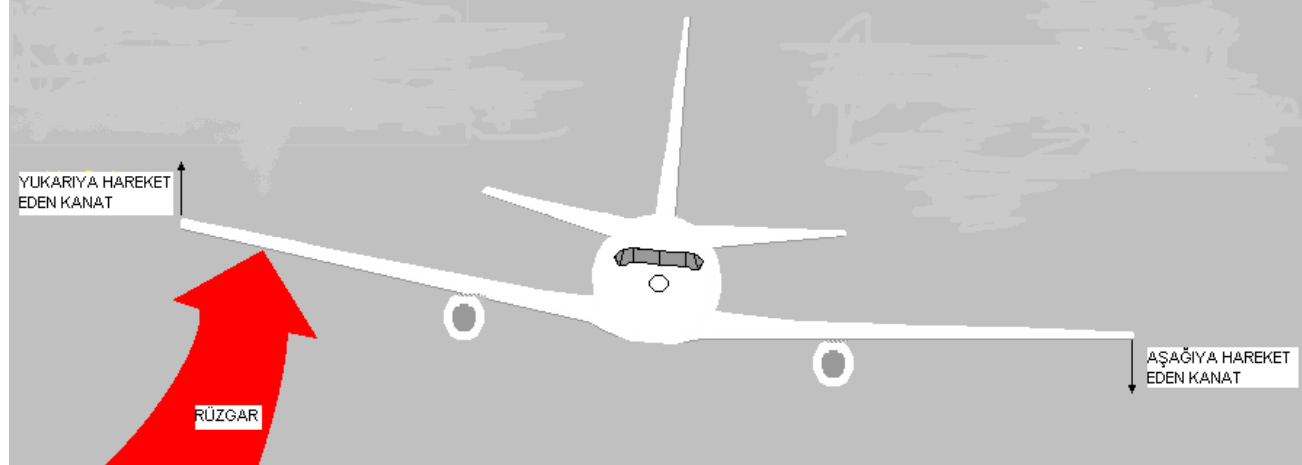
Aşağı yönlü ani rüzgar etkisi ile yatay stabilize kuvvetin değişimi

Ani rüzgar uçağa yukarıdan aşağıya doğru etki ettiğinde uçak saatin tersi yönünde bir moment kazanır. Buna bağlı olarak yatay stabilizerin hücum açısı değişir. Aşağı yönlü stabilize kuvveti artar. Uçak tekrar denge konumuna gelir.

2. YATAY KARARLILIK (LATERAL STABILITY)

Yatay kararlılık boylamsal ekseninde (uzunlamasına) meydana gelir. Bu kararlılık hücum açısı, kanat dihedral açısı ve geriye ok açısı (sweepback angle) ile gerçekleşir.

Uçağın kanadı aşağıdan ani bir rüzgar alırsa uçak diğer tarafa doğru uzunlamasına eksen etrafında yatar. Yani rüzgarı aldığı kanat yukarı doğru, diğer kanat aşağı doğru hareket eder.

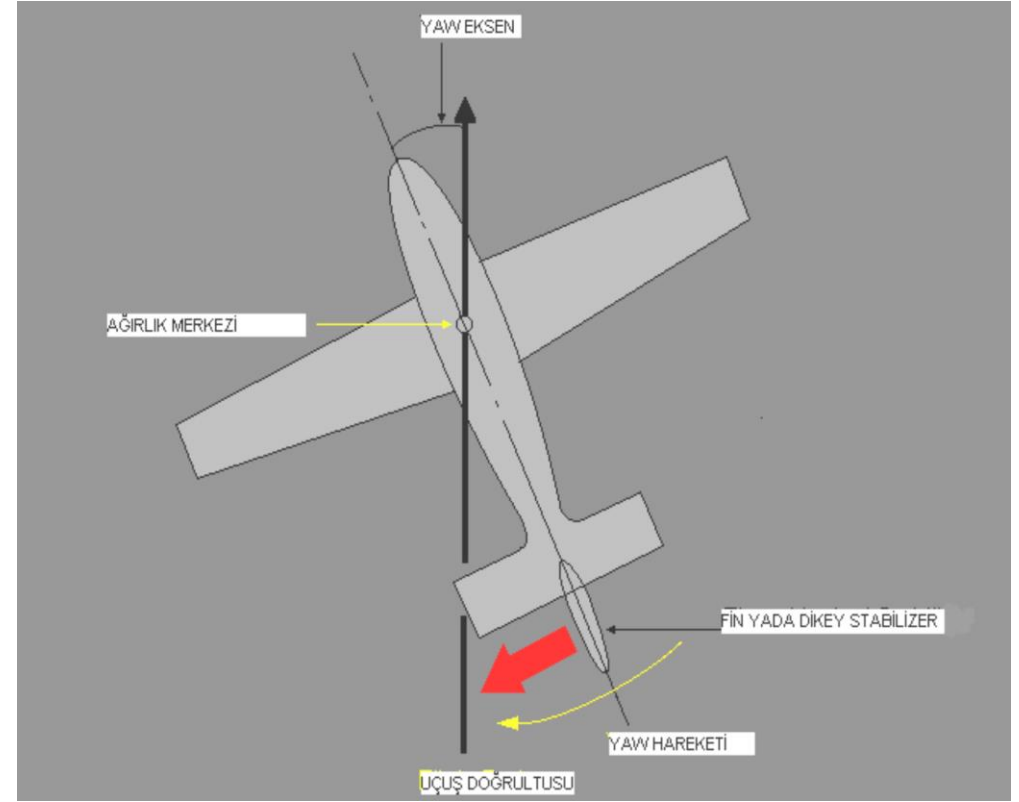


Kanat altından ani rüzgar alıp yatay kararlılığın bozulması

3. DOĞRUSAL KARARLILIK(DIRECTIONAL STABILITY)

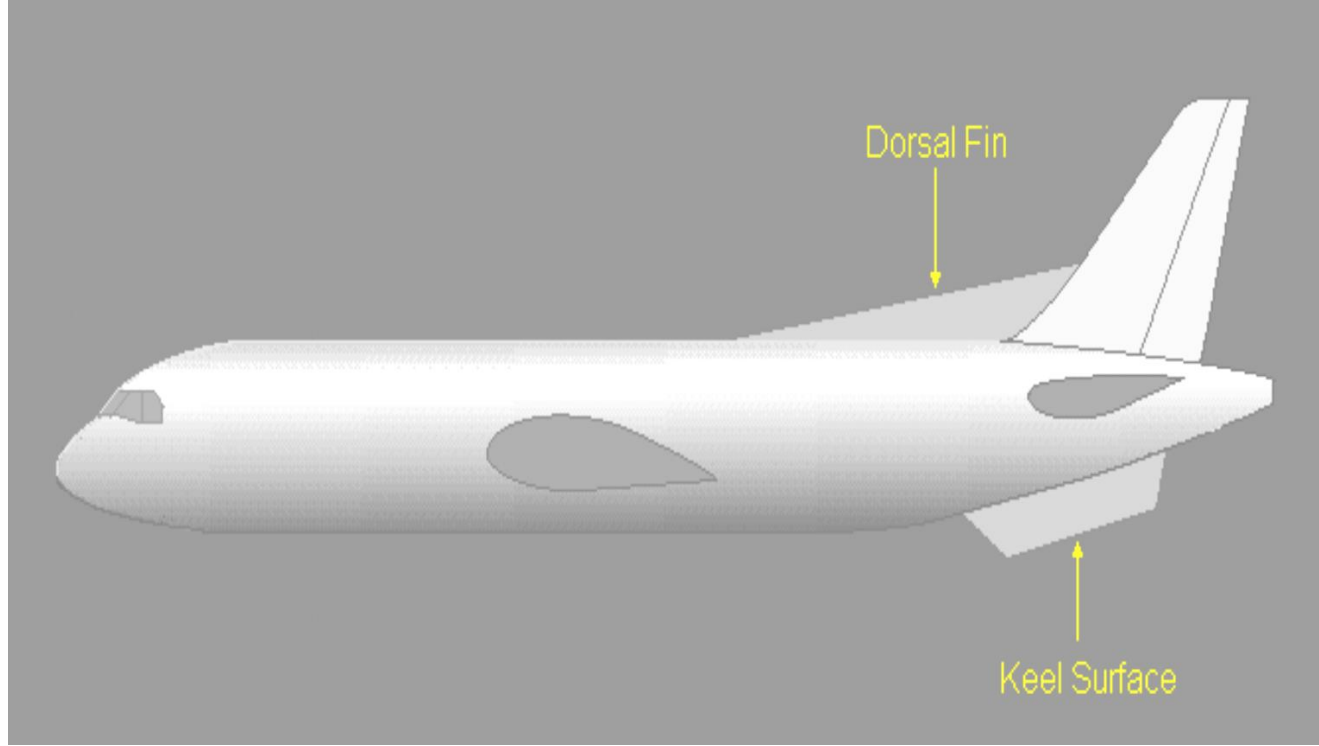
Doğrusal kararlılık (directional stability) dikey eksen (vertical axis) etrafında meydana gelir. Bu kararlılık dikey stabilizer (vertical stabilizer ya da fin) ve kanatların geriye ok açısı (sweepback angle) ile sağlanır.

Bu uçağın tekrar denge konumuna gelmesi ağırlık merkezinin ön kısmına uygulanan momentin ağırlık merkezinin arka kısmına uygulanan momentten daha az olmasıyla sağlanır. Arka kısma uygulanan moment yaw ekseninde dönüş sağlayarak uçağın tekrar uçuş doğrultusuna gelmesini sağlar.

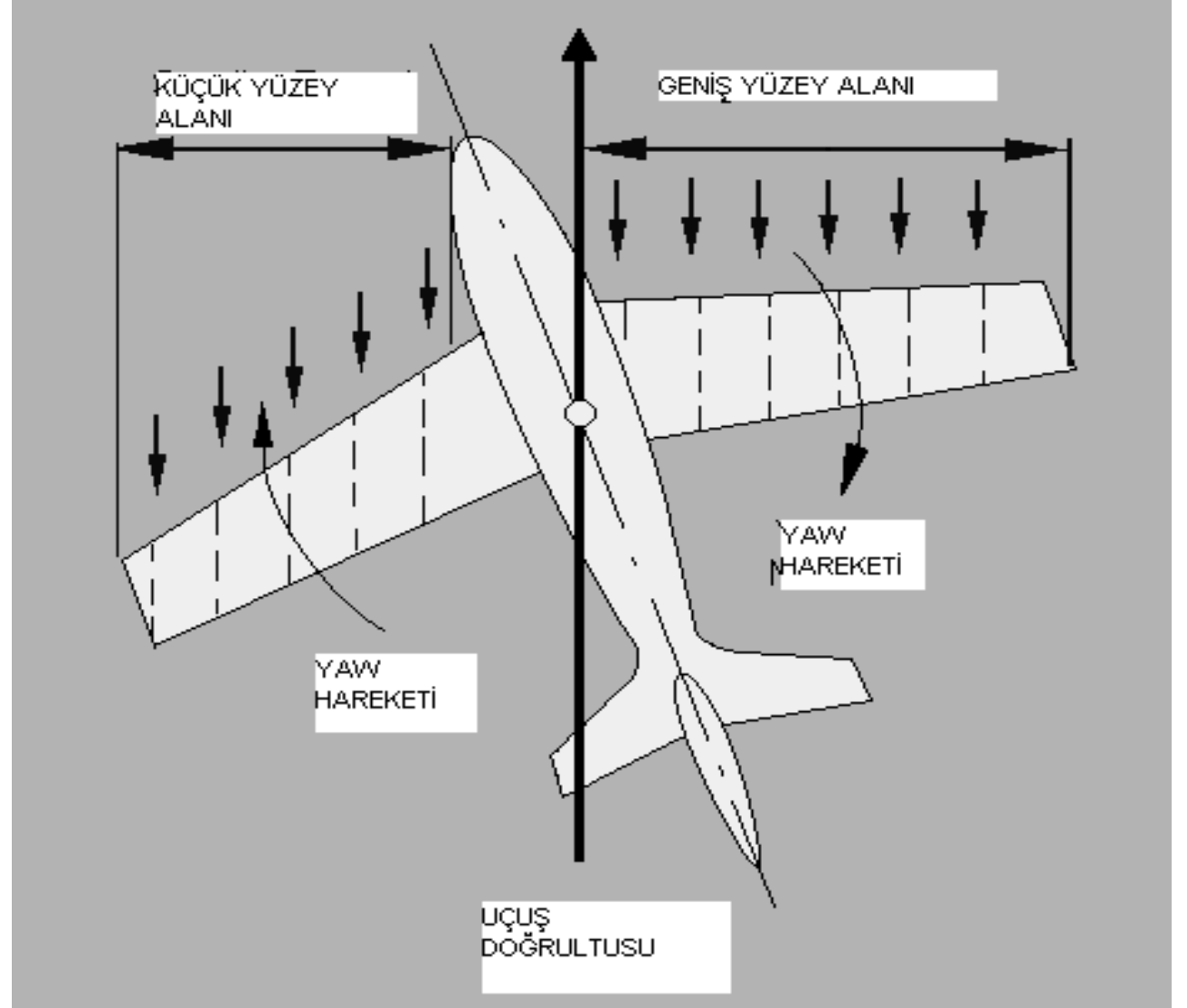


Doğrusal kararlılığın sağlanması

Bazı uçaklarda ise doğrusal kararlılığı artırmak için ağırlık merkezinin arkasına ek yzeyler yerleştirilir.



Şekilde uçuş doğrultusundan sola doğru sapmış olan uçağın geriye ok açılı (sweepback angle) kanatları sayesinde tekrar uçuş doğrultusuna dönmesi görülmektedir. Uçağın sağ kanadı hava akımını dik açıyla karşıladığı için sol kanada göre daha fazla yüzey alanına sahip olmaktadır. Dolayısıyla sağ kanat sol kanada göre daha fazla drag oluşturmakta ve yaw ekseninde dönüş momenti sağlamaktadır.



Geriye ok açısının etkisi

TEŞEKKÜRLER...