

Okan Üniversitesi UBF – Havacılık Yönetimi

SHU114

TEMEL UÇAK BİLGİSİ

Ders Yürütücüsü:

Öğr. Gör. Eren Kayaoğlu

eren.kayaoglu@okan.edu.tr

Ders **5**

Temel Uçak Bilgisi

Ders Sunumları (.pdf) + Kaynaklar

<http://okanuni.eren.xyz>

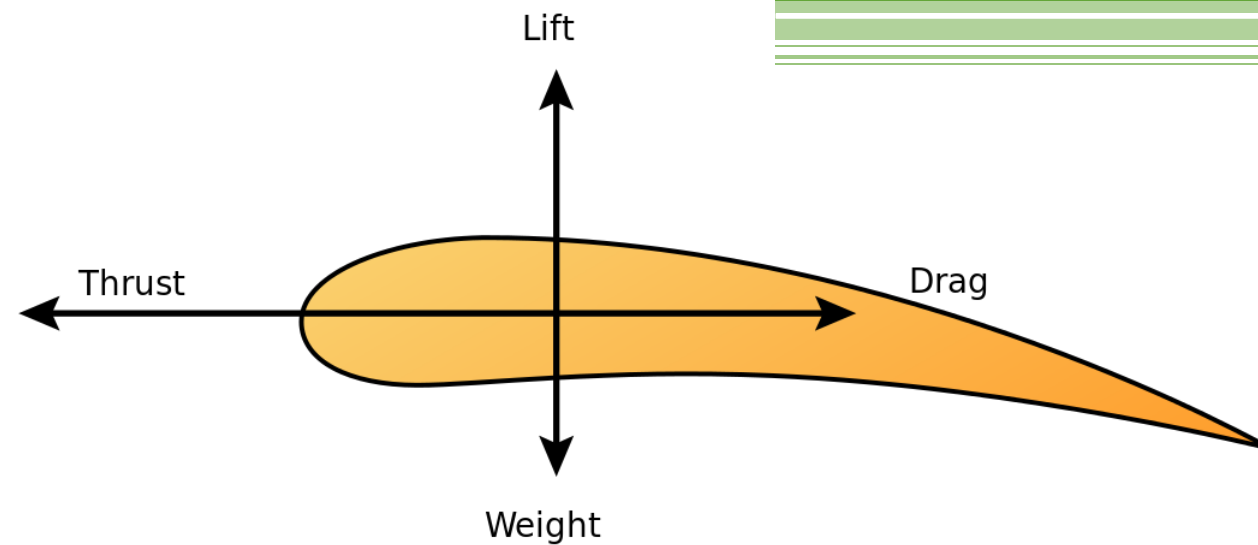
Web adresinden indirebilirsiniz.

BAŞLIKLAR

- Aerodinamik Tutunma
- Uçak Üzerine Etki Eden Kuvvetler
- Coanda Etkisi
- Taşıma Kuvveti
- Hücüm Açısı
- Tutunma Kaybı (*Stall*)

SHU114 – Temel Uçak Bilgisi

AERODİNAMİK TUTUNMA



AEROSTATİK VE AERODİNAMİK TUTUNMA

- Havadan hafif hava araçları tabiri aslında bu araçlarda havalanmayı sağlayan ve kapalı bir alan içerisine doldurulan havadan hafif gazları belirtmek için kullanılmaktadır. Havadan ağır hava aracı olarak da günümüzde kullanılan her türlü uçak, planör ve helikopter gibi sabit ve döner kanatlı hava araçları düşünülebilir.
- Uçma tanımı içerisinde yer alan tutunarak hareket etme kavramı **havadan hafif hava araçları** kapsamındaki balon ve zeplin için geçerli olan **aerostatik tutunmayı**; **hareket ederek tutunma** kavramı ise **havadan ağır hava araçları** kapsamına giren uçak, planör, helikopter, vb. için geçerli olan **aerodinamik tutunmayı** ifade etmektedir.

AEROSTATİK TUTUNMA

- Balon ve zeplin gibi hava araçlarının uçma eylemi kapsamında ele alınan aerostatik tutunma, esasen sıvılar için tanımlanan Arşimet Kaldırma Kanunu'nun hava için uyarlanması ile ifade edilir. Buna göre aerostatik tutunmada, hava içerisindeki bir cisim, işgal ettiği hacim kadar havanın ağırlığına eşit bir kuvvet ile aşağıdan yukarıya doğru itilir. Bu kuvvet **havanın kaldırma kuvveti** - F_K olarak isimlendirilir ve yerçekimi ivmesi (g), ρ_{hava} havanın yoğunluğu ile V_{cisim} cismin hacminin çarpımına eşittir.

$$F_K = \rho_{hava} \cdot V_{cisim} \cdot g$$

AEROSTATİK TUTUNMA

- Aerostatik tutunma ile uçma eylemini gerçekleştirecek cisimler (hava araçları) için **aerostatik tutunma** şartları: (Havanın kaldırma kuvveti ve ağırlık arasındaki ilişkiye göre)

$F_K < W$	<ul style="list-style-type: none">• Cisim yerdeyse yerde kalmaya devam eder.• Cisim havadaysa irtifa kaybederek alçalır.
$F_K = W$	<ul style="list-style-type: none">• Cisim yerdeyse yerde kalmaya devam eder.• Cisim havadaysa bulunduğu irtifayı korur.
$F_K > W$	<ul style="list-style-type: none">• Cisim yerdeyse/havadaysa irtifa kazanarak yükselir.

AERODİNAMİK TUTUNMA

- Uçak, planör ve helikopter gibi hava araçlarının üzerine etki eden kaldırma kuvveti cismin ağırlığından küçüktür. Dolayısıyla bu araçların havanın kaldırma kuvveti etkisi ile yerden kalkması mümkün olmaz.
- Bu gibi araçlarda uçma eyleminin gerçekleşmesi için önce hareket sağlanmalıdır. Sonrasında, **hareket sonucu üzerlerinde oluşan aerodinamik kuvvetlerin etkisi ile havada tutunmayı gerçekleştirebilirler.**
- Hareket ya uçaklarda veya helikopterlerde olduğu gibi doğrudan doğruya araçların üzerlerinde bulunan güç grubunun oluşturduğu itme/çekme kuvvetleri ile ya da planörlerde olduğu gibi başka aracın çekip hareket ettirmesi ile sağlanır.

AERODİNAMİK TUTUNMA

- Aerodinamik tutunmada, **cisim uygun form verilerek hava içerisinde uygun pozisyonda hareket ettirilmelidir**. Bu şartlar altında, hava içerisindeki hareket sonucu cismin etrafındaki yüksek ve alçak basınçların dağılımı ile cisim üzerinde bir **aerodinamik direnç kuvveti** oluşur. Bu kuvvetin bileşenleri ile ağırlık dengelenerek havada tutunma sağlanabilir.
- **Aerodinamik direnç kuvvetinin bileşenleri taşıma kuvveti (Lift, L) ve sürüklenme kuvveti (Drag, D)** olarak adlandırılır. Bu kuvvetlerin oluşma şartları ve özellikleri takip eden tabloda sunulmaktadır.

Taşıma ve Sürüklenme Kuvvetlerinin Özellikleri

- Aerodinamik direnç kuvveti bileşenlerinin (taşıma ve sürüklenme kuvvetlerinin) özellikleri

	Taşıma Kuvveti	Sürüklenme Kuvveti
Oluşma Şartı	Cisim uygun forma sahipse ve/veya uygun pozisyonda hareket varsa oluşur.	Hareket varsa daima oluşur.
Doğrultusu	Hareket doğrultusuna dik doğrultuda ($\vec{L} \perp \vec{V}$)	Hareket doğrultusuna paralel doğrultuda ($\vec{D} \parallel \vec{V}$)
Yönü	Yüksek basınç bölgesinden alçak basınç bölgesine doğru	Harekete ters / hareketi yavaşlatacak yönde
Etki Noktası	Aerodinamik merkez	Aerodinamik merkez
Şiddeti (Büyüküğü)	$L = C_L \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot s$	$D = C_D \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot s$

Taşıma ve Sürüklenme Kuvvetlerinin Özellikleri

- Taşıma ve sürüklenme kuvvetlerinin denklemlerinde yer alan C_L taşıma katsayısını (birimsiz), C_D sürüklenme katsayısını (birimsiz), ρ ilgili irtifadaki hava yoğunluğunu, V ilgili irtifadaki gerçek uçuş hızını (hava hızı), s ise kanat referans alanını göstermektedir.

$$L = C_L \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot s$$

$$D = C_D \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot s$$

Taşıma ve Sürüklenme Denklemleri

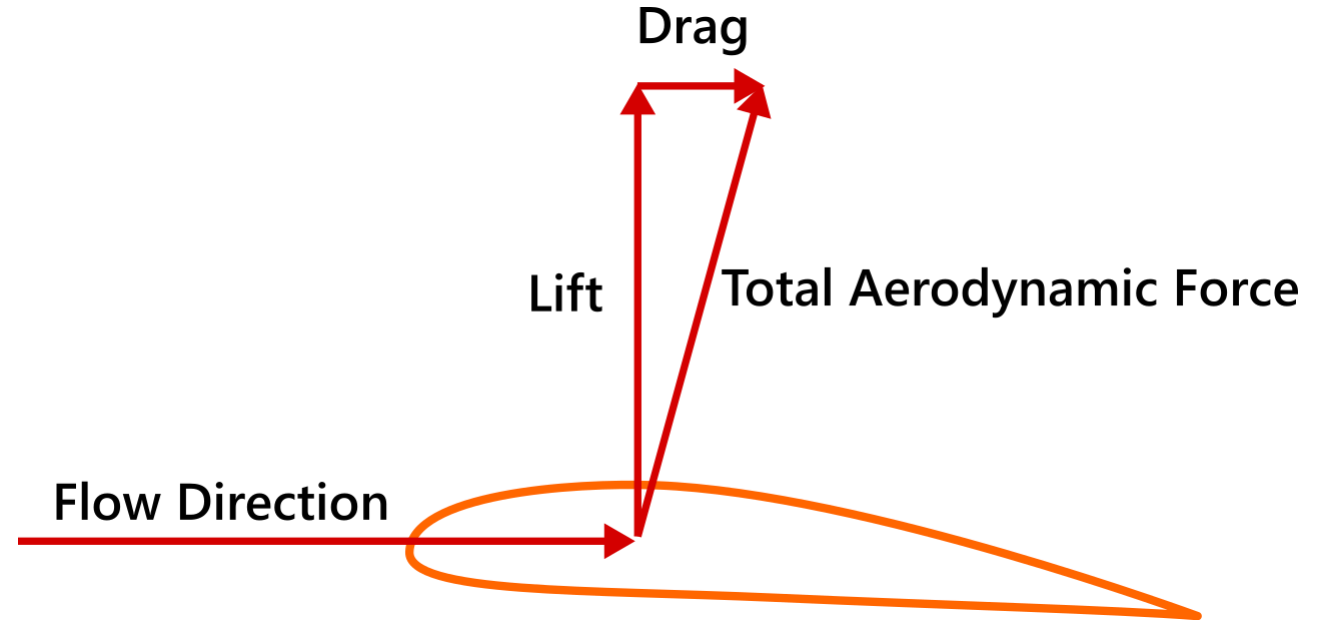
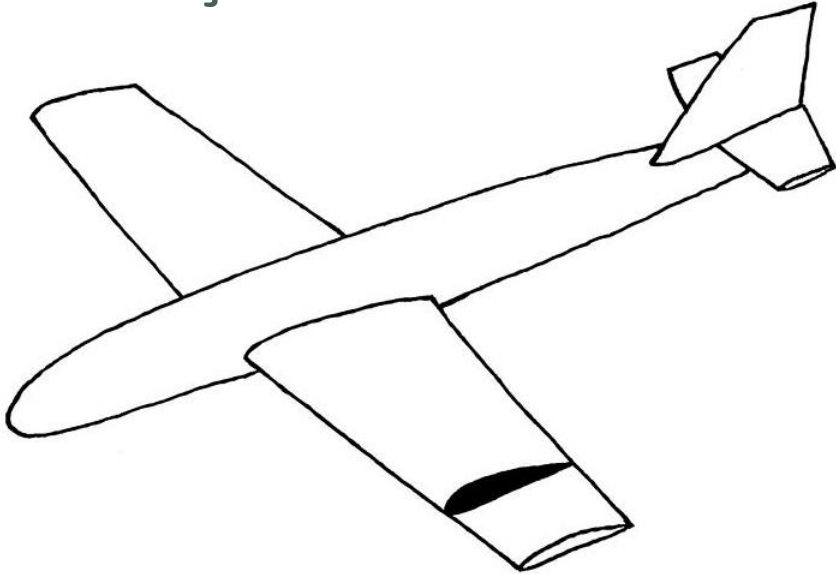
- C_L : taşıma katsayısı [birimsiz] (*coefficient of lift / lift coefficient*),
- C_D : sürüklenme katsayısı [birimsiz] (*coefficient of drag / drag coefficient*),
- ρ : ilgili irtifadaki hava yoğunluğunu [kg/m^3] (*air density*)
- V : ilgili irtifadaki gerçek uçuş (hava) hızı [m/s] (*velocity / true airspeed*)
- S : kanat referans alanı [m^2] (*projected / planform wing area*)

$$L = C_L \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot S$$

$$D = C_D \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot S$$

Taşıma ve Sürüklenme Denklemleri

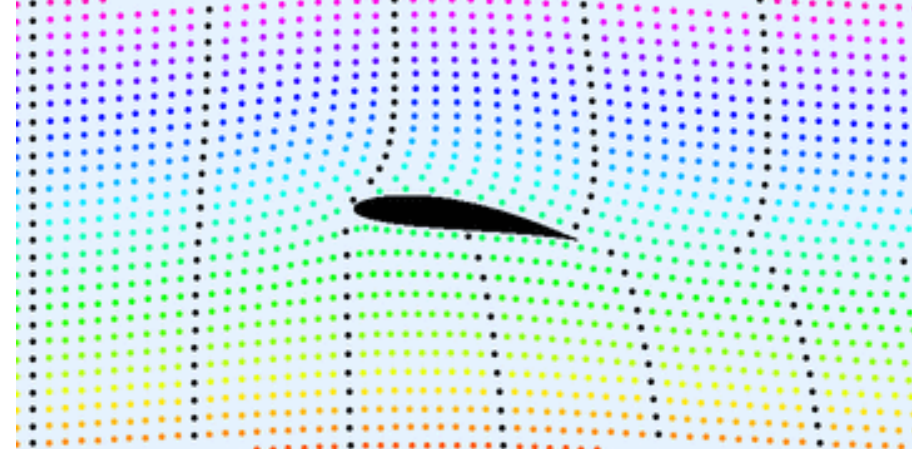
- **Taşıma** (kaldırma), aerodinamik kuvvetin akış yönüne (*flow direction*) **dik bileşeni** olarak tanımlanır ve sürüklenme, akış yönüne paralel olan bileşendir.



Taşıma ve Sürüklenme Denklemleri

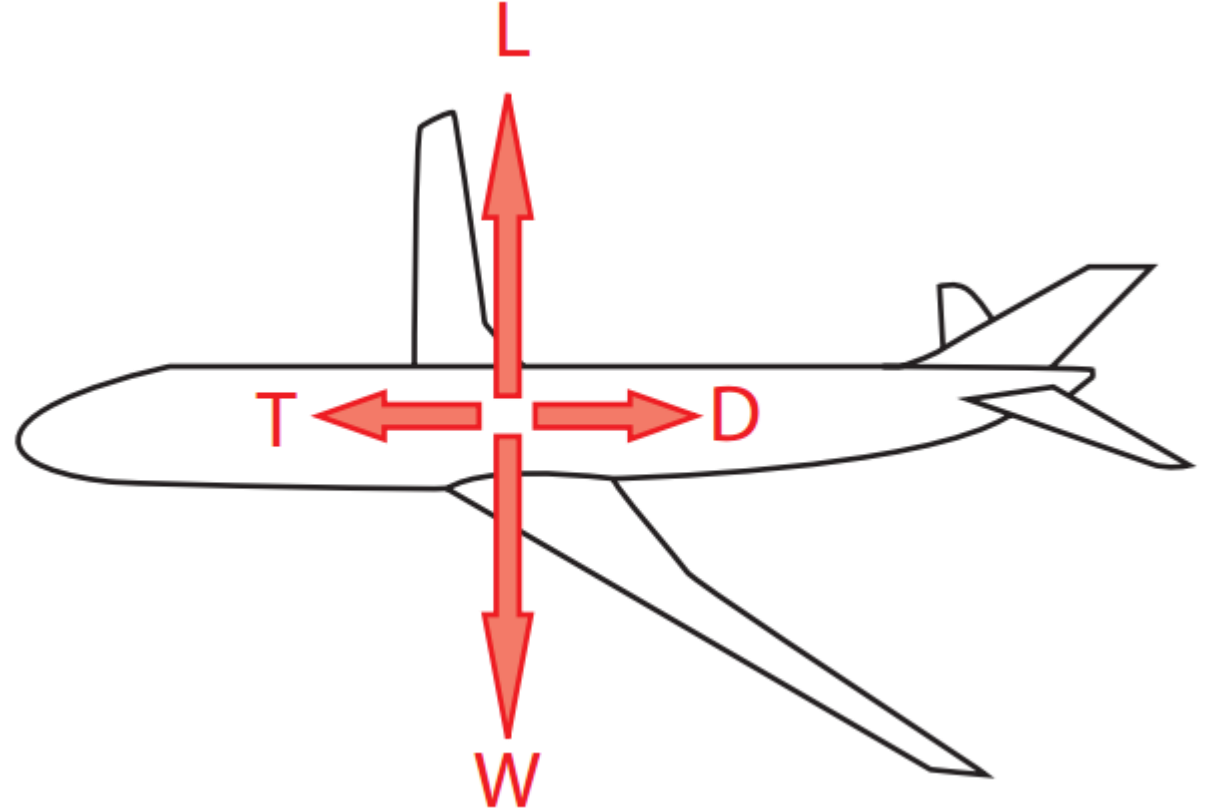
Taşıma ve sürüklenme katsayıları (C_L ve C_D) doğrudan;

- Kanat profil şekli (*airfoil*)
- Kanat hücum açısı (AOA)
- Dinamik basınç
- Akışkanın (hava) yoğunluğu
- Kanat alanı
- Kanat açıklık oranı $v_b...$ bağlıdır.



Uçak Üzerine Etki Eden Kuvvetler

- Havada uçmak eylemini gerçekleştiren bir uçak üzerine, aerodinamik kuvvetler olarak **taşıma kuvveti (L)** ve **sürüklenme kuvveti (D)**, kütleli kuvvet olarak **ağırlık kuvveti (W)** ve güç grubu kuvveti olarak da **tepki (itki) kuvveti (T)** etki eder.
- Uçağın havada ivmeli hareketler yapması durumunda, uçak üzerinde ilgili yönlerde oluşacak atalet kuvvetleri de uçak üzerine etki eden kuvvetler kapsamında dikkate alınmalıdır.

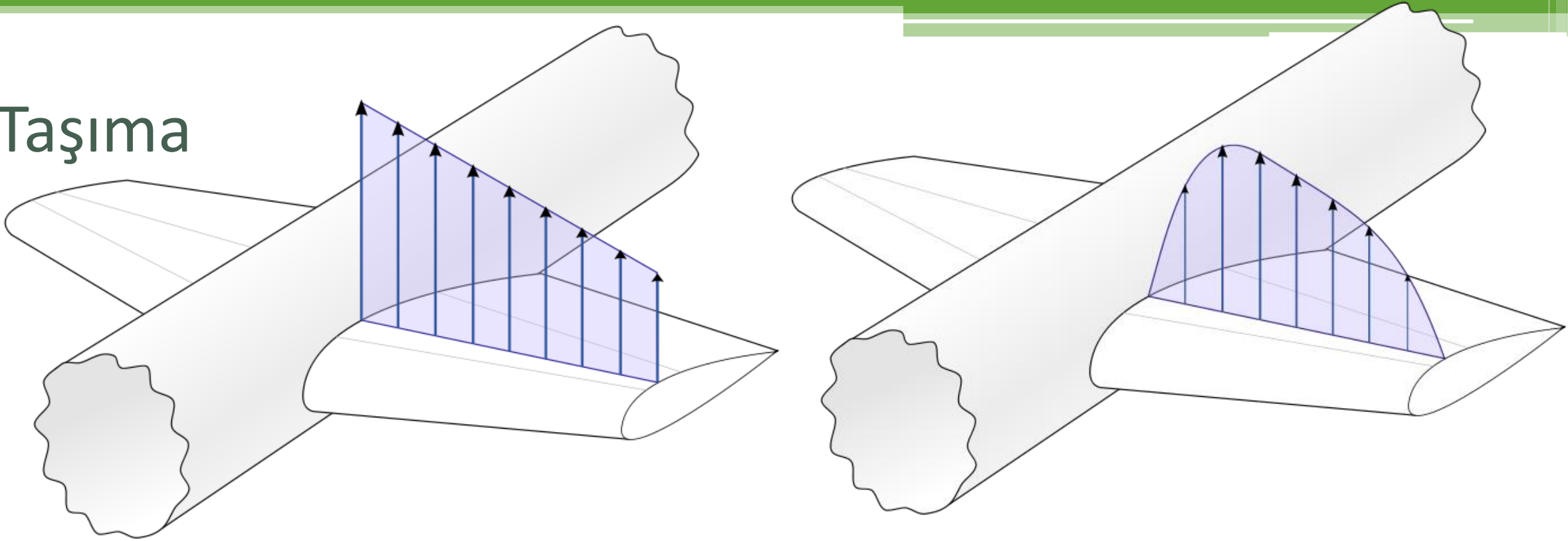


Uçak Üzerine Etki Eden Kuvvetler

- Uçağın sabit irtifada ve sabit hızda seyredebilmesi için taşıma ile ağırlık kuvvetleri arasında ve sürüklenme ile itki kuvvetleri arasında denge sağlanmalıdır. Kuvvetler arası ilişkilere göre uçağın davranışları:

Kuvvetler arasındaki ilişki	Uçağın davranışı		Kuvvetler arasındaki ilişki	Uçağın davranışı
$L > W$	İrtifa kazanır.		$T > D$	Hız kazanır.
$L = W$	İrtifasını korur.		$T = D$	Hızını korur.
$L < W$	İrtifa kaybeder.		$T < D$	Hız kaybeder.

Taşıma



Taşıma Kuvveti Dağılımı

- Üç boyutlu etkileri ihmal eden gerçekçi olmayan bir taşıma dağılımı (solda)
- Sonlu trapezoidal bir kanat üzerinde gözlemlenen taşıma kuvveti dağılımı (sağda)

https://en.wikipedia.org/wiki/Lifting-line_theory

SHU114 – Temel Uçak Bilgisi

Temel Kavramlar

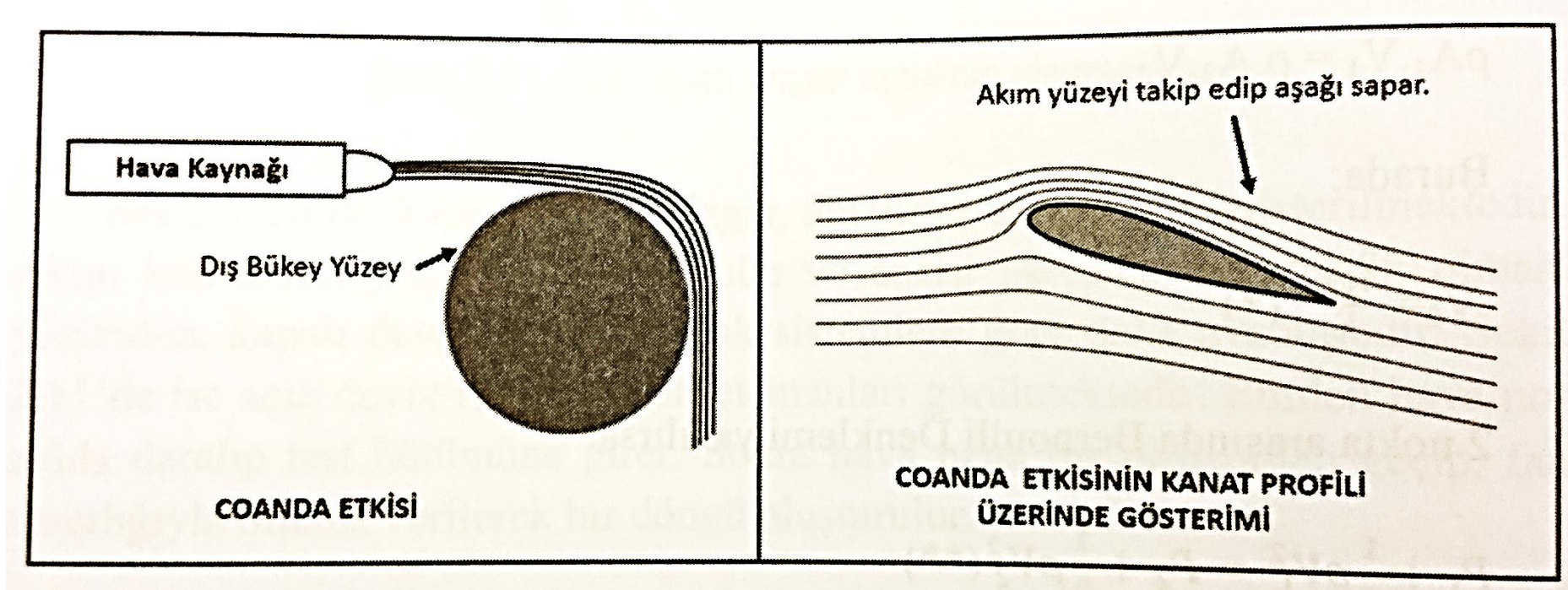


Coanda Etkisi

Coanda Etkisi (*Coanda Effect*)

- Coanda Etkisi, bir akışkan jetinin dışbükey (yuvarlak ve kavisli) bir yüzeyi takip ederek tutunma eğilimidir.
- Adını kısaca 'akışın dışbükey bir yüzeyi takip etme eğilimi' olarak nitelendiren Henri Coanda'dan almıştır.
- Kanat havadayken, hava kanat yüzeyine teğet şekilde kanat yüzeyini takip eder.
- Belirli bir açıdan sonra kavisli (dışbükey) yüzey yapısı bozulduğundan akım yüzeyi terk eder. Bu, Coanda Etkisi'nin bir sonucudur.

Coanda Etkisi



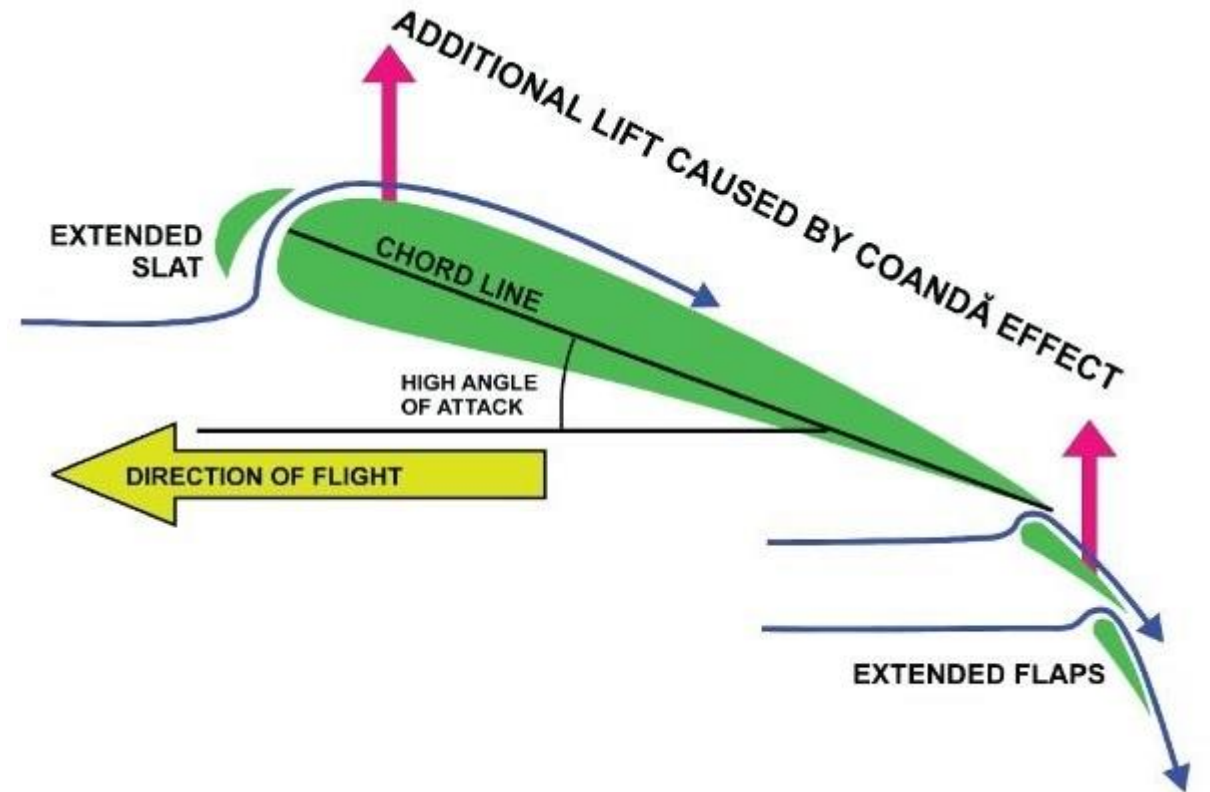
Coanda Etkisi ve bu etkinin kanat profilinde gösterimi

Coanda Etkisi (*Coanda Effect*)

- **Coanda etkisi**, hızla ilerleyen akışkanın (hava akımı) doğru bir yol izlemek yerine, yakınındaki bir katının yüzeyine yapışarak, o **yüzeyin eğrilerini izleyerek ilerlemesi** olayıdır.
- Bu fiziksel olaya, ilk saptayan Romanyalı buluşçu *Henri Coandă*'nin adından esinlenerek **Coanda etkisi** denilmiştir. 1910'da kendi tasarladığı uçağın bu olay yüzünden düşmesi nedeniyle, bu etkiyi incelemiştir.

Coanda Etkisi (*Coanda Effect*)

- Bu etkinin en yaygın uygulaması havacılıktadır.
- Uçak kanadının taşıma kuvvetini nasıl oluşturduğu konusunda yakından ilgilidir.
- Kanat hücum kenarlarında yer alan '*slat*'lar bu etkiyi artırır.



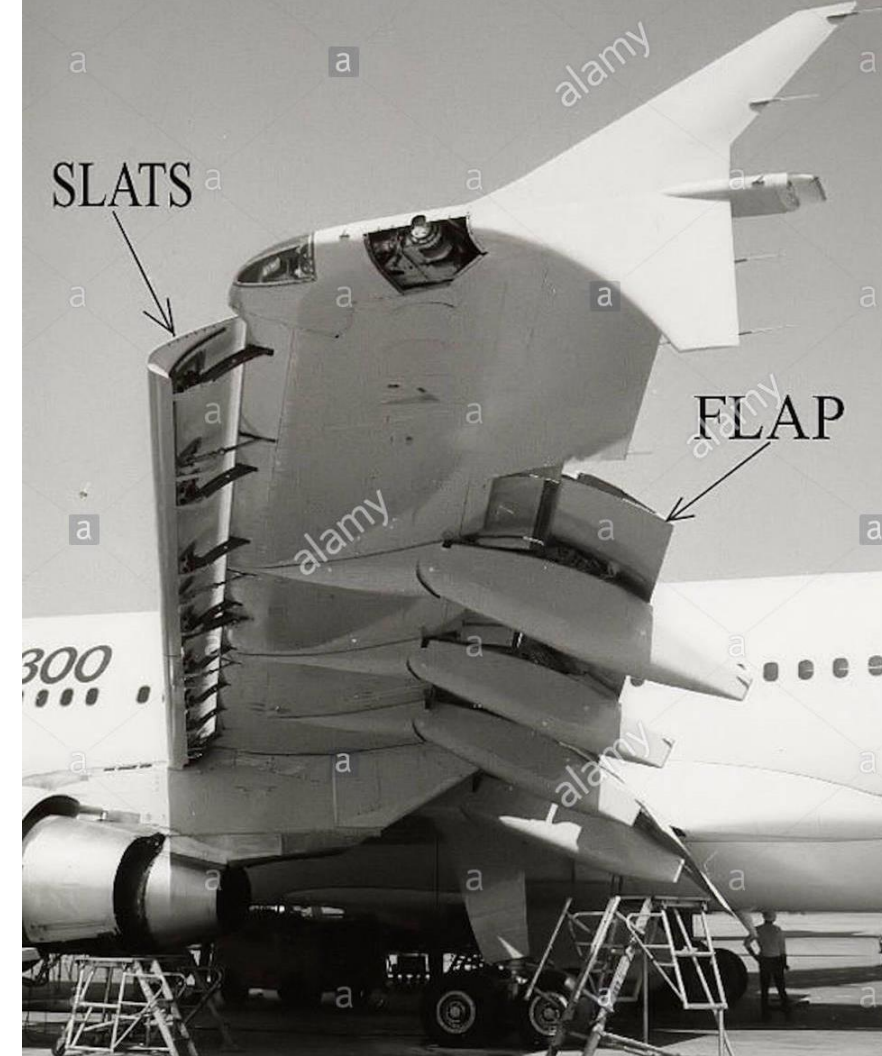
Coanda Etkisi (*Coanda Effect*)

- Hava, su gibi akışkanlarda gözlenir.
- Coanda Etkisi, kısaca, bir akışkanın üzerinden aktığı dışbükey (convex / konveks) yüzeye yapışması; bu yüzeyin eğimini (kavisini) takip etmesi olayıdır.
- Örneğin: Bir pinpon topunun, kendisine doğru üflenen bir hava akımı içinde, (gravitasyonun da etkisiyle) sürekli olarak tutulabilmesi aynı prensibin bir uygulamasıdır.

Coanda Etkisi (*Coanda Effect*)

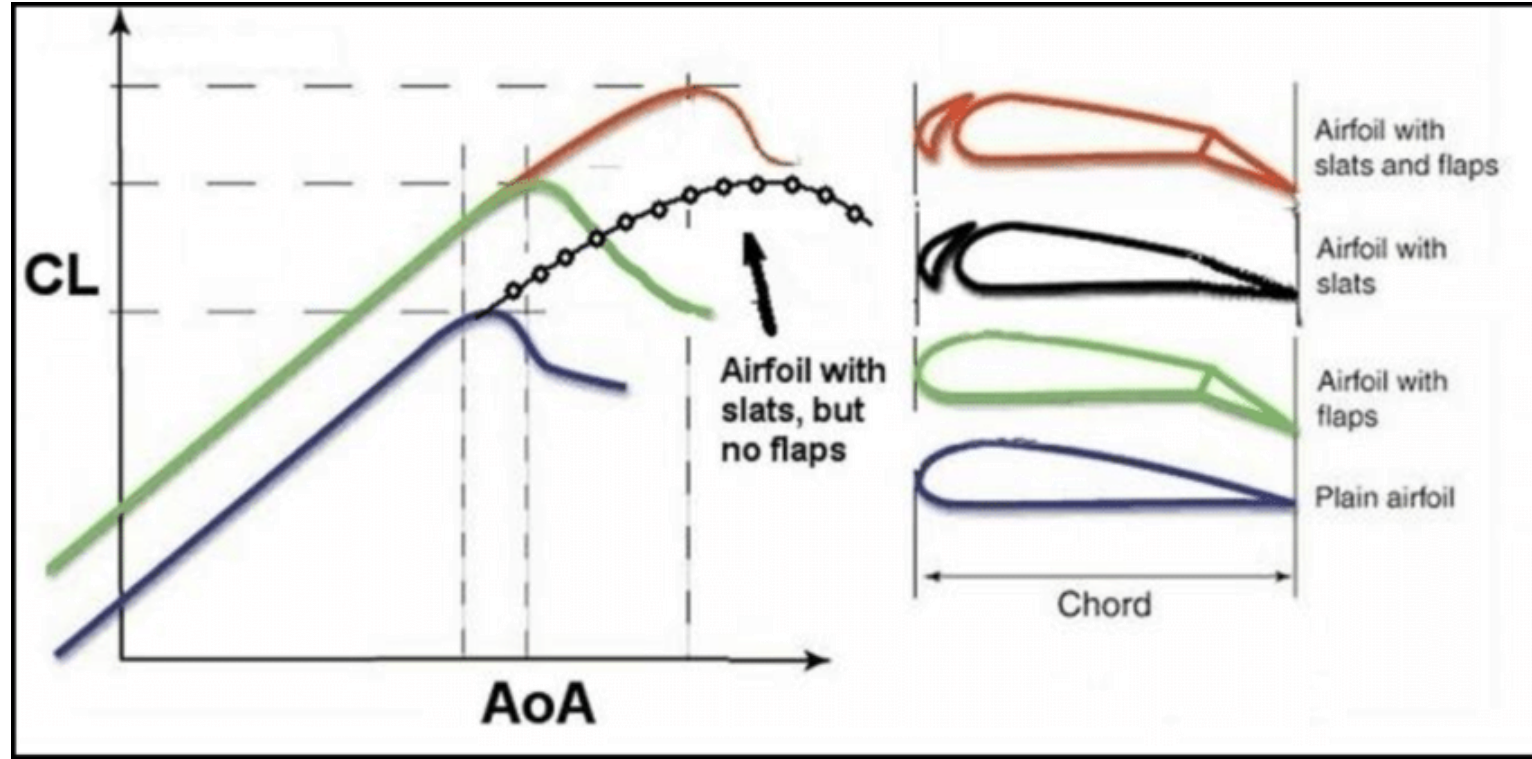
- Coanda Etkisi, uçak kanatlarının ürettiği taşıma kuvvetinde (L – lift) artış sağlamak için kullanılır.
- Uçak kanatlarına eklenen hava akımı saptırıcıları (*flap*, *slat*) kanat üst yüzeyinden akan hava akımını aşağıya doğru daha fazla saptırarak bu artışı sağlar.

Kaynak: <https://havacilikveuzay.blog/2017/11/14/coanda-etkisi-coanda-effect/>



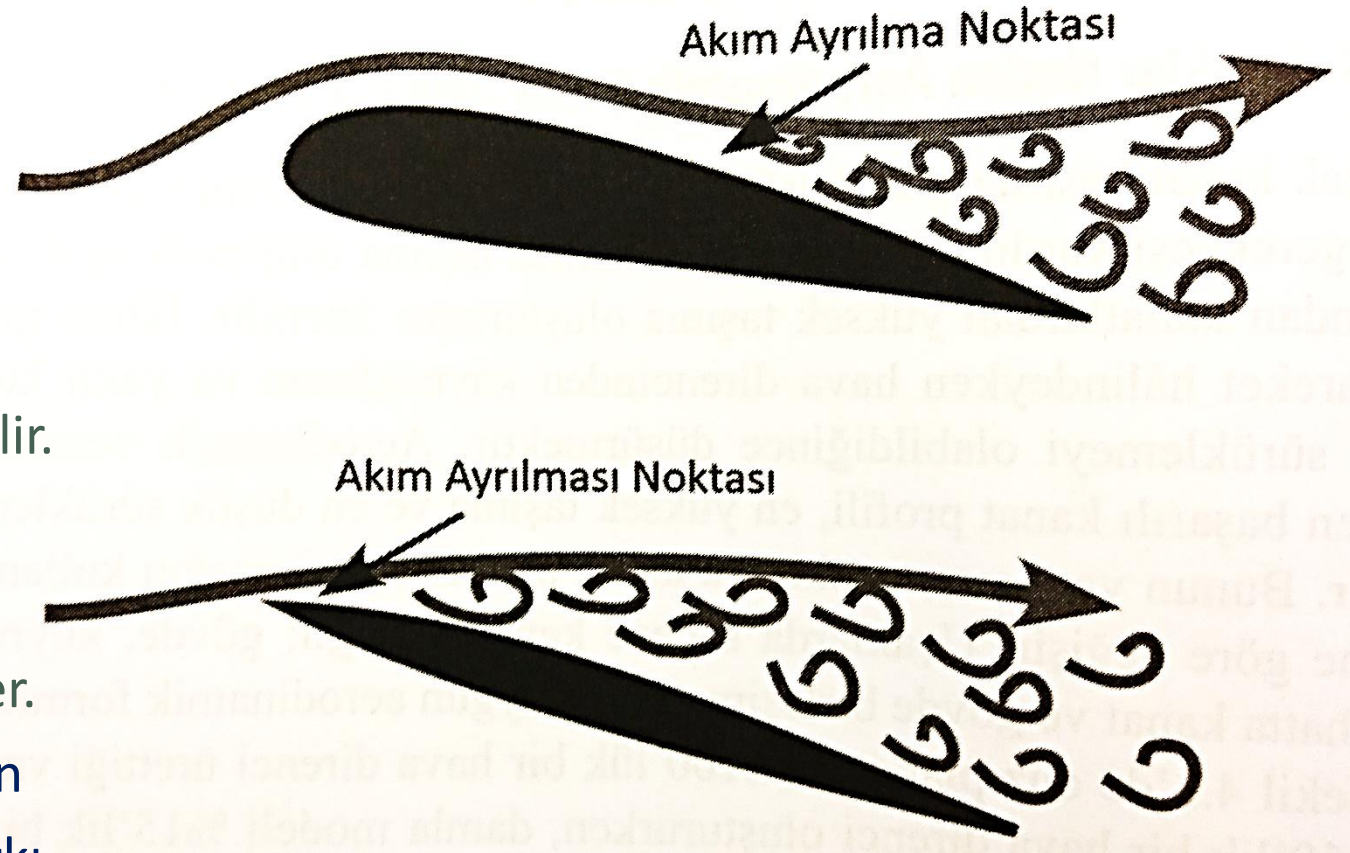
Coanda Etkisi (*Coanda Effect*)

- Kanadın önünde oluşturulan hava-geçiş yarıkları (slatlar), kanadın üst yüzeyine yakın bölgedeki havayı geriye doğru iterek, **ana akımın kanat yüzeyine yaklaşmasını** sağlar. Böylece, **artan Coanda etkisi** kanadın oluşturduğu taşıma kuvvetinde artış sağlar. Uçaklar, bu sistem sayesinde düşük hızlarda (iniş-kalkışta; düşük hızlı manevralarda) yeterli kaldırma kuvveti sağlayabilir.



Kanat Profil Formu ve Coanda Etkisi

- Kanatların ürettiği taşıma Bernoulli ve Coanda'nın bir sonucu olarak açıklanabilir.
- Coanda Etkisi bombeliğin ya da dışbükeyliğin düşük olduğu formlarda havanın yüzeyi takip etmeyeceğini söyler.
- Bernoulli Prensibine göre akım yüzeyden ayrıldığında, taşıma oluşturan basınç farkı ortadan kalkacağından; kanat profili taşıma kuvveti oluşturma işlevini kaybeder.



Örnek Video: Coanda Etkisi

Coanda Etkisi örnekleri ve açıklaması

<https://www.youtube.com/watch?v=6Q8HssqWDDE>

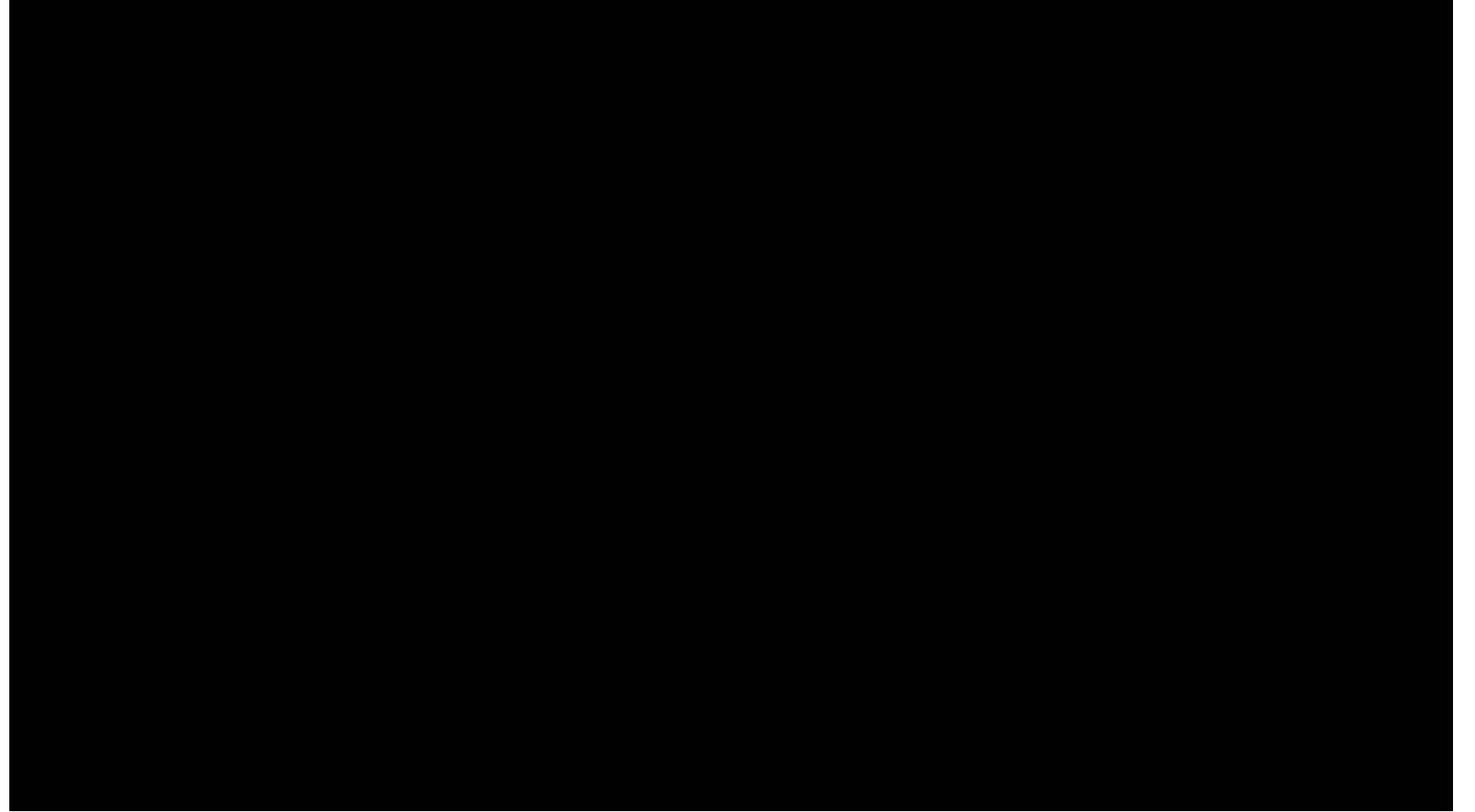
00:36 – 02:48

(The Coanda effect; explaining how a wing works: from fizzics.org)

Örnek Video: Coanda Etkisi

Coanda Etkisi
örneklerle
açıklama

(The Coanda effect;
explaining how a wing
works: from fizzics.org)



MUTK105 – Temel Uçak Bilgisine Giriş

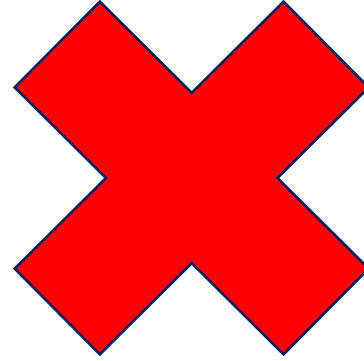
TAŞIMA (LIFT)



Yanlış ve **Doğru** Teoriler

Yanlış veya Eksik Teoriler

1. Eşit Yol Teorisi
2. Akışın Sapması Teorisi
3. Venturi Teorisi

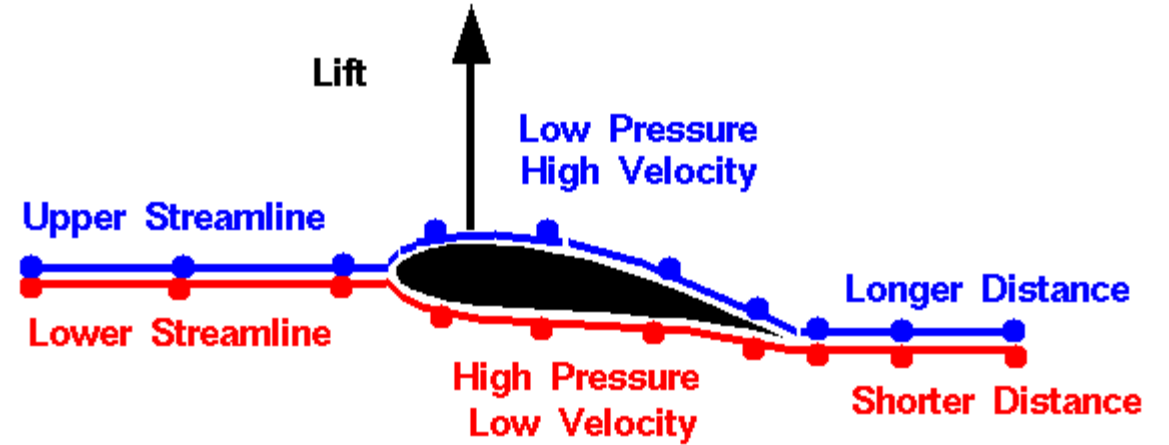


Taşıma Kuvveti: Yanlış / Eksik Teoriler - 1

Longer Path / Equal Transit Theory

Eşit Yol Teorisi

- Kısmen doğru
- Bir kanat profilinin üstündeki gerçek hız, "Daha Uzun Yol" teorisi tarafından tahmin edilenden çok daha fazladır ve üstte hareket eden parçacıklar, kanat profilinin altında hareket eden parçacıklardan önce firar kenarına ulaşır.



"Longer Path" or "Equal Transit" Theory

Top of airfoil is shaped to provide longer path than bottom.

Air molecules have farther to go over the top.

Air molecules must move faster over the top to meet molecules at the trailing edge that have gone underneath.

From Bernoulli's equation, higher velocity produces lower pressure on the top.

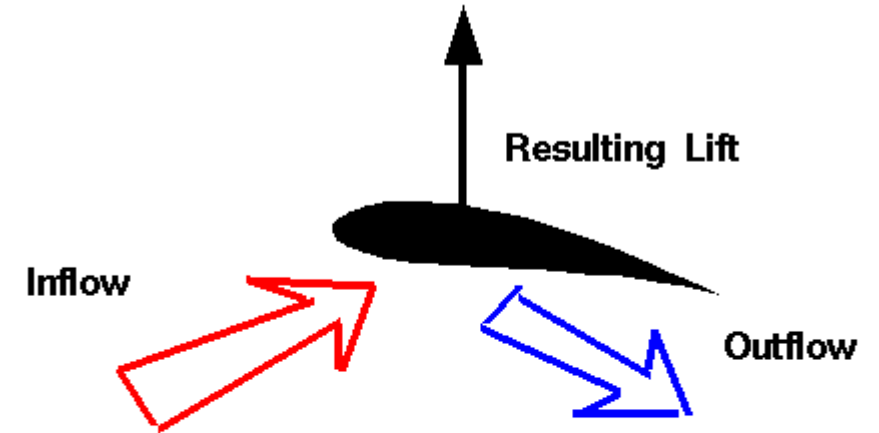
Difference in pressure produces lift.

Taşıma Kuvveti: Yanlış / Eksik Teoriler - 2

Skipping Stone Theory

Akış Sapma Teorisi

- Bu teori sadece hareket eden cismin alt yüzeyi ve havanın etkileşimi ile ilgilidir. Tüm akış dönüşünün (ve dolayısıyla tüm taşımanın) alt yüzey tarafından üretildiğini varsayar. Ancak üst yüzey de akışı döndürür. Aslında, yükselen bir kanat profili tarafından üretilen downwash düşünüldüğünde, üst yüzey, alt yüzeyden daha fazla akış dönüşüne katkıda bulunur. Bu teori bu etkiyi öngörmez veya açıklamaz.
- Bu teori, üst yüzeye çarpan moleküllerin etki-tepki reaksiyonunu ihmal ettiği için, hücum açısı negatif olduğunda negatif taşımayı açıklayamaz. Kanat profilinin üstünde vakum yoktur. Moleküller üst yüzeyde (alt yüzeyde olduğu gibi) hala rastgele hareket halindedir ve yüzeye çarparak profile momentum aktarır.



"Skipping Stone" Theory

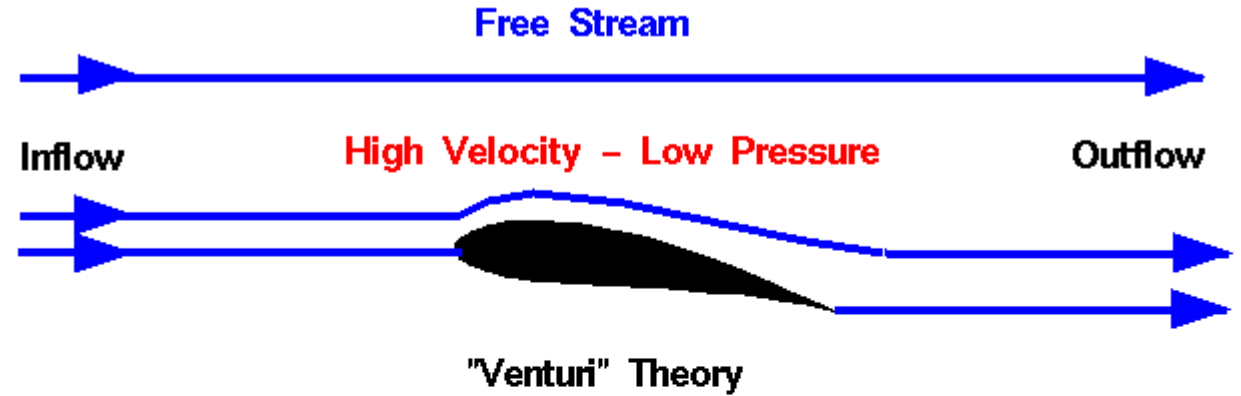
Lift is the result of simple action <--> reaction as air molecules strike bottom of the airfoil imparting momentum to the foil.

Taşıma Kuvveti: Yanlış / Eksik Teoriler - 3

Venturi Theory

Venturi Teorisi

- Teori, kanat profili üst yüzeyinin akışı hızlandıran bir kanal görevi göreceği şekilde şekillendirildiği fikrine dayanmaktadır. Böyle bir kanal konfigürasyonuna Venturi Nozulu denir.
- Teori, bir Venturi Nozulunun analizine dayanmaktadır. Ancak kanat profili bir Venturi Nozulu değildir. Nozulun diğer yarısını üretecek hayali bir yüzey yoktur. Kanat profilinden uzaklaştıkça hızın kademeli olarak azaldığı ve sonunda serbest akış hızına yaklaştığı görülür. Bu, tipik olarak duvarları boyunca merkezinden düşük hızda akım olan Venturi Nozulu gibi değildir.



Upper surface of airfoil behaves like a Venturi nozzle constricting the flow.

**Through the constriction, flow speeds up
(velocity times area equals a constant).**

From Bernoulli's equation, high velocity gives low pressure.

Decreased pressure on upper surface produces lift.

Taşıma Kuvvetinin Oluşumu: Doğru Yaklaşımlar

- a. Hız ve doğru pozisyonda hareket
- b. Yüzeylerdeki basınç dağılımı farkı
- c. Akışta dönüş, sirkülasyon
- d. Döngüsel nedensellik

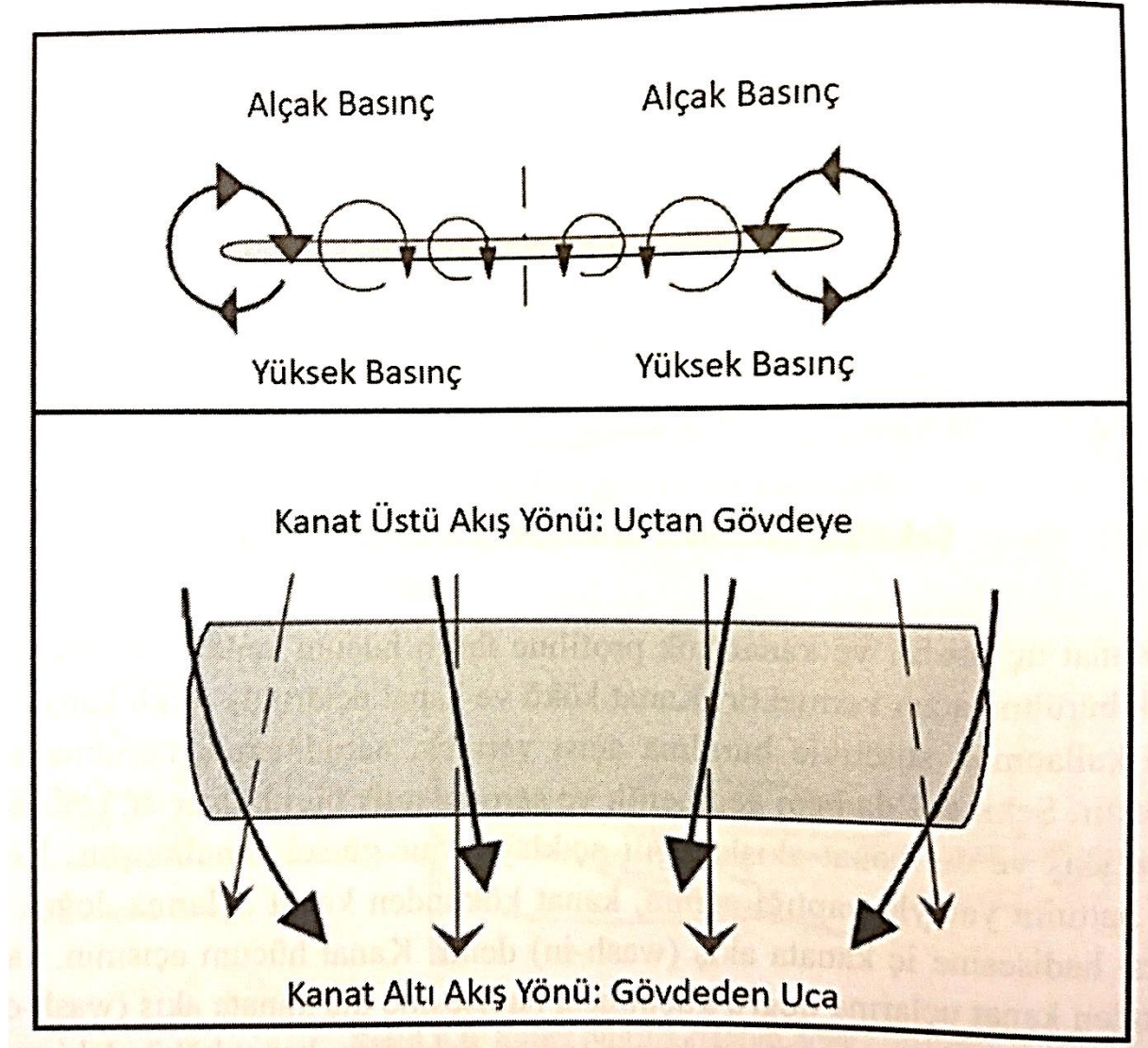


Kanat Etrafında Hava Akışı

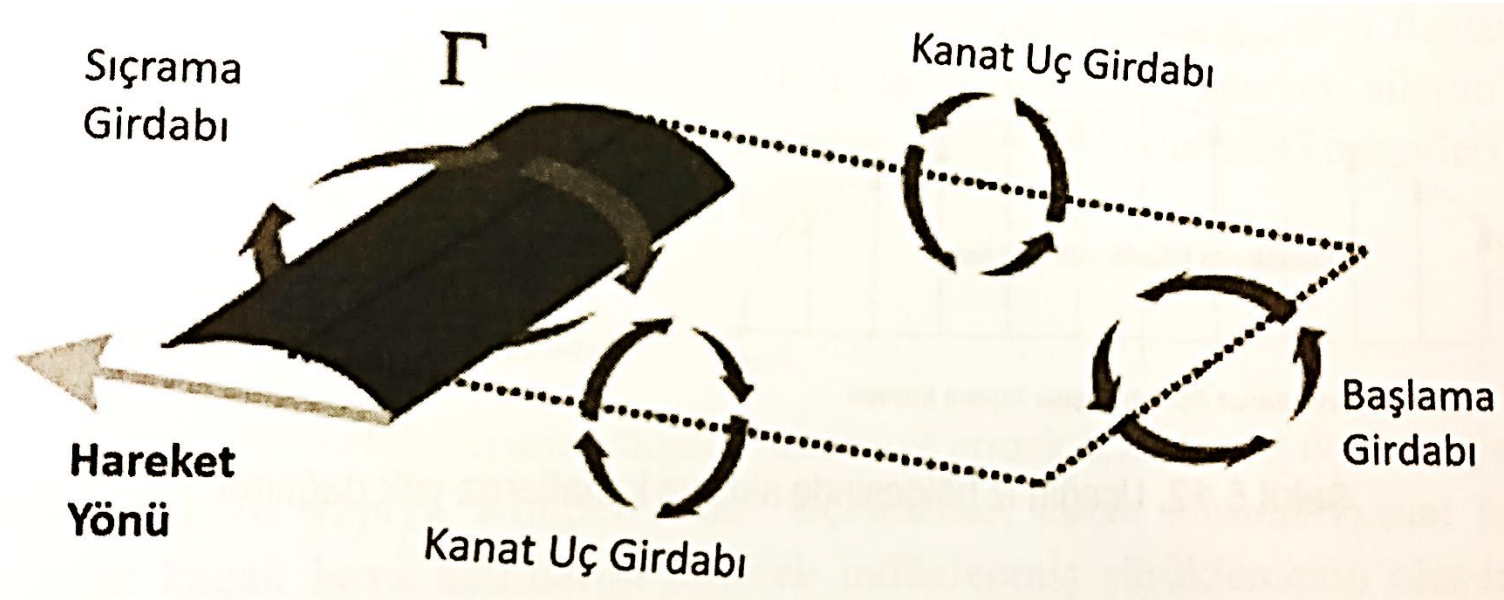
- Kanadın üst yüzeyinden akan hava, kanat altından akan havadan daha hızlı olduğundan; kanat üstü, kanat altına göre daha düşük basınç değerine sahiptir. Basınç farklılığı nedeniyle kanat altından üstüne doğru bir akış olur.
- Firar kenarları ve kanat uçları uçaklarda hava akımlarının buluştuğu yerlerdir.
- Kanat altında: Akış yönü kanat ucuna doğrudur.
- Kanat altından gelen akış, kanat üstündeki akışı kanat köküne doğru hareket ettirir.

Kanat Etrafında Hava Akışı

- Kanada arkadan bakıldığında; sol kanat ucunda saat yönünde, sağ kanat ucunda ise saat yönü tersine hareket eden girdaplar (vorteks) görülür.
- Kanatların bitiminden itibaren; kanat altından kanat üstüne doğru oluşan kanat uç girdapları, iz bölgesinde sağlı sollu çizgisel girdaplar oluşturmaya devam eder.



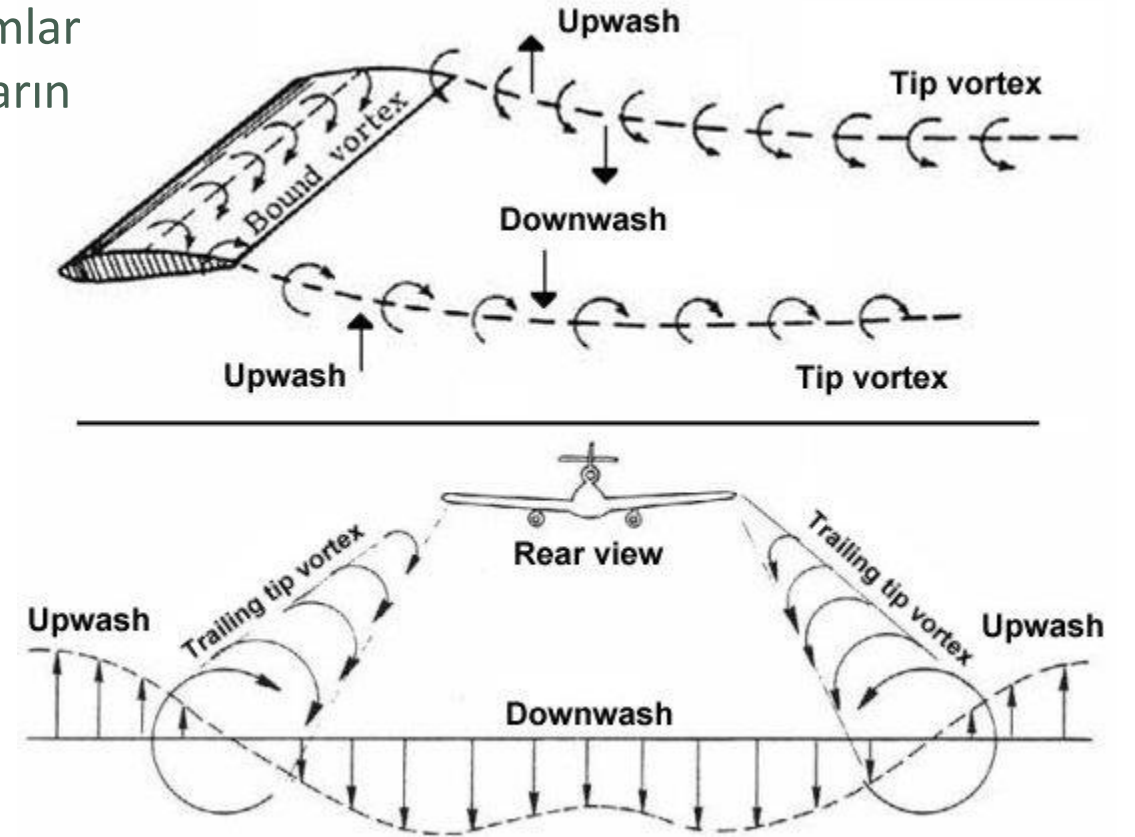
Kanat Etrafında Hava Akışı



- Arka tarafta kanadın iz bölgesinde, başlama girdabı (*starting vortex*) denilen yukarı yönlü bir akım oluşur. Bu akım sıçrama girdabına neden olur. Bu girdaplar **uçuşun sirkülasyon teorisi**yle açıklanmasını destekler.

Taşıma Kuvvetinin Oluşumu

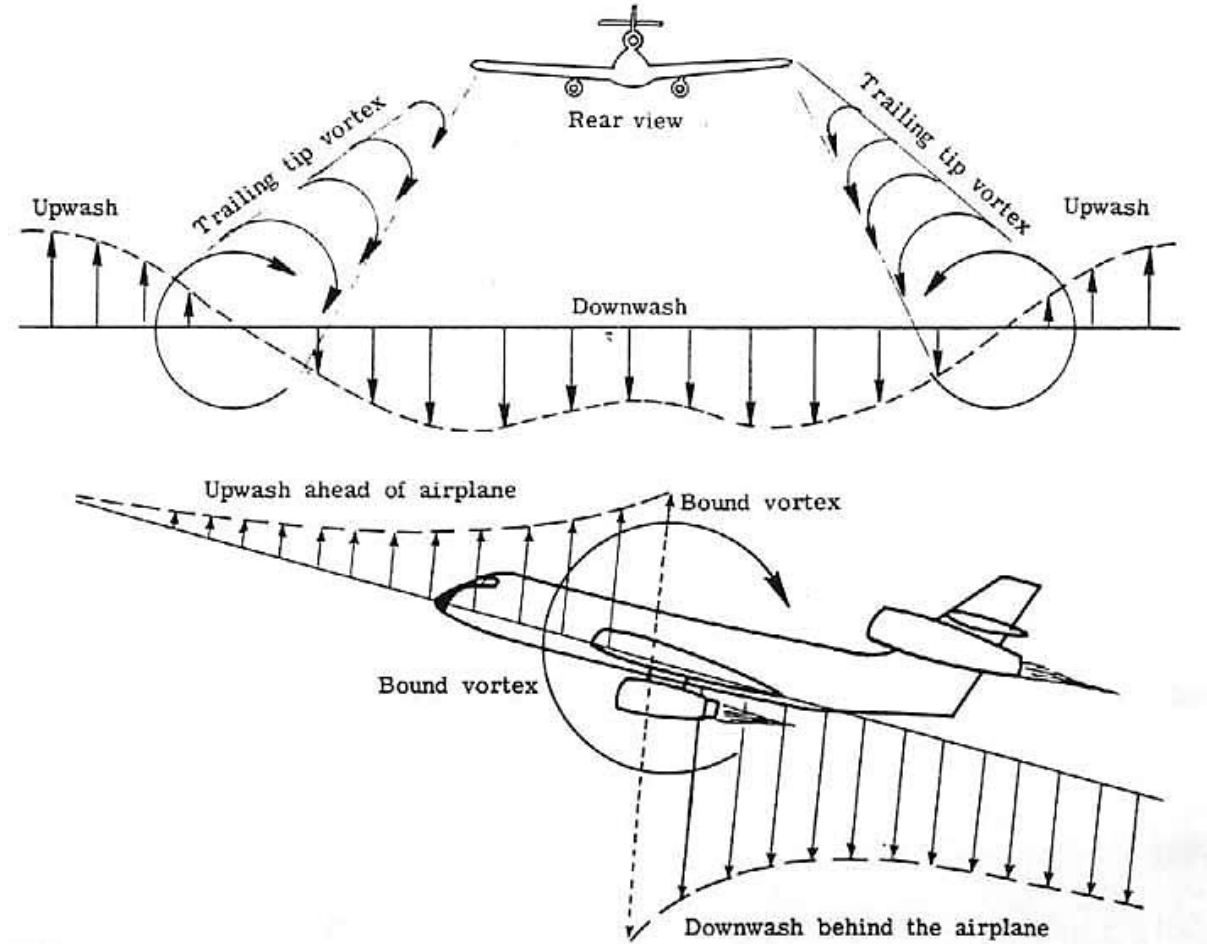
Karşıdan gelen akışa bakan rüzgarüstü (**Upwash**) kısımlar ve akışın tersine bakan rüzgaraltı (**Downwash**) kısımların her biri akışı saptırır.



Taşıma Kuvvetinin Oluşumu

Örnek Görsel: Bir jet uçağının ürettiği girdap akımları. Yukarı ve aşağı yönlü hareketler yüzeylere hem bağlı girdaplardan hem de uç girdaplarından kaynaklanır.

(Vortex flow effects produced by a jet plane. The upwash and the downwash are due to both the bound vortex and the tip vortices.)



Taşıma Kuvvetinin Oluşumu *

Taşıma kuvveti oluşumu birkaç cümleye indirgenerek anlatılamaz. Kanadın şeklinden ötürü havanın yön değiştirmesi basıncın değişmesi ve hızın değişmesi birbirinden bağımsız ve biri diğerinden önce olan olaylar değildir. Karşılıklı olarak birbirlerini besleyen olgulardır. Hava **yön değiştirdikçe basıncı ve hızı değişir**. Hız ve basınçtan biri değiştikçe diğeri de değişir. Bunlar değiştikçe havanın yön değiştirme miktarı da değişir. Tüm bunlar aynı anda dinamik bir şekilde yaşanır. Bu gibi durumlara **Döngüsel Nedensellik** adı verilir. Kanadın sadece var olması ve öylece durması yeterli değildir, aynı zamanda motorlar sayesinde hava içinde itilmesi de gerekir. Nedensellik döngüsü tüm bu değişken ve etkenlerin bir arada bulunması halinde başlayıverir.

Hava **kanadın şekli ve hücum açısı nedeniyle iki tarafa (alt ve üst) doğru eşit olmayan ve düzgün bir biçimde itilir** ve bu **kanadın altı ve üstündeki basınç farklarını yaratmaya** başlar. Bu nedenle simetrik profilli bir kanadın hücum açısı da sıfır derece olduğunda böyle bir fark oluşmaz. Dolayısıyla taşıma kuvveti de sıfır olur ve uçak düşmeye başlar. Ama **kanat asimetrik profilli ise ve veya hücum açısı pozitif ise kanadın iki tarafında asimetrik olarak hava basınç farklarını oluşturur**. Kanat üzerindeki hava, bu basınç farkları nedeniyle önce hızlanır ve yukarı itilir sonra yavaşlar ve aşağıya itilir. Kanat altındaki hava ise önce yavaşlar ve aşağıya itilir sonra hızlanır ve yukarı itilir.

Taşıma Kuvvetinin Oluşumu **

Ama bu anlatılanlar iki tarafta (alt ve üst) aynı miktarda yaşanmaz ve bunlar arasındaki fark hesaplandığında **kanadın etrafından geçen hava üzerindeki net kuvvetin aşağı yönlü olduğu** görülür ve daha önceden bildiğimiz Newton'un üçüncü yasası gereği **her etki kuvvetinin bir de tepki kuvveti olması gerektiğinden kanat da aynı miktarda kuvvetle yukarı doğru itilir**. Eğer bu kuvvet yeterince büyük ise uçak havalanabilir.

(Mühendisler bunun ne şekilde anlatılması gerektiği ve neyin neyden önce yaşandığı konusunda hemfikir değiller ve bu nedenle de sanki uçakların nasıl uçtuğu halen bilinmiyormuş gibi bir durum olduğu sanılabilir. Kanat şekli taşıma kuvvetini yaratabiliyor veya basıncı düşen gazların hızı artıyor, yani bilimsel yasayı izah etmemizi sağlayan popüler teori veya modellerin gerçekte olanı tam olarak bütün detaylarıyla izah edememesi ile ilgili bir sorun yaşanmaktadır.)

Örnek Video: Uçak Nasıl Uçar? ***

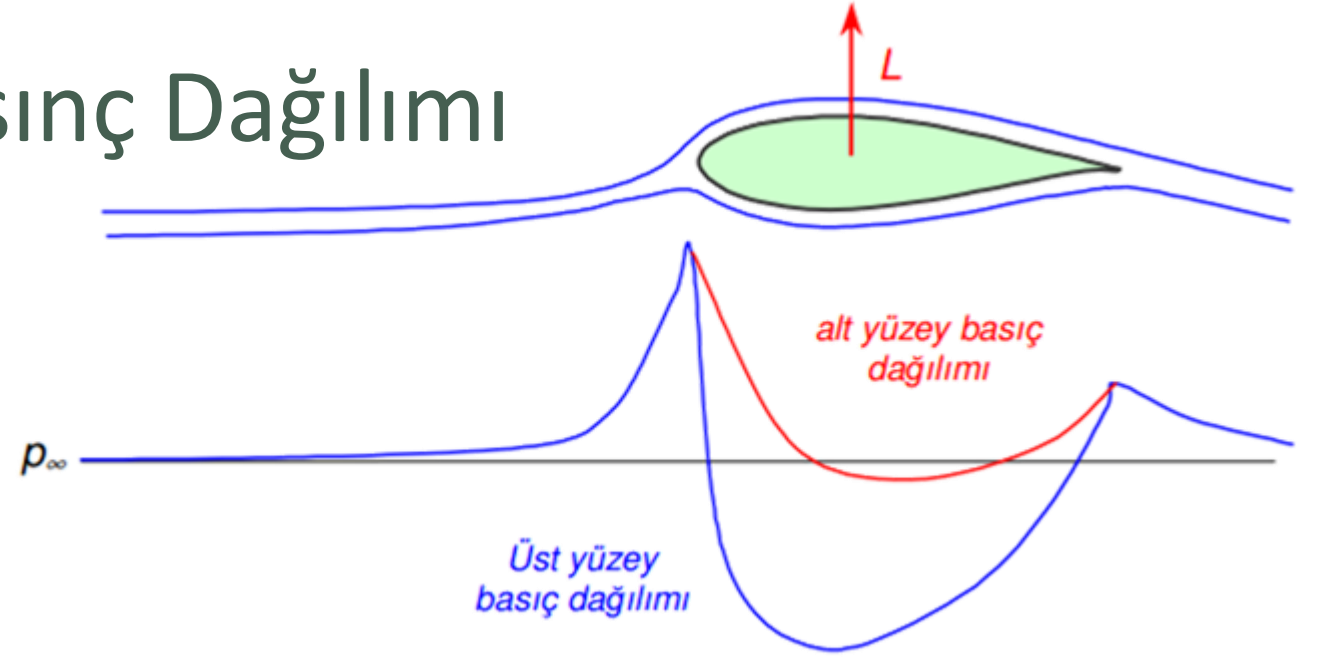
Uçakların Nasıl Uçtuğundan EMİN DEĞİLİZ!

<https://www.youtube.com/watch?v=TwZHYYe-2n0>

00:01 – 19:51

(Evrim Ağacı)

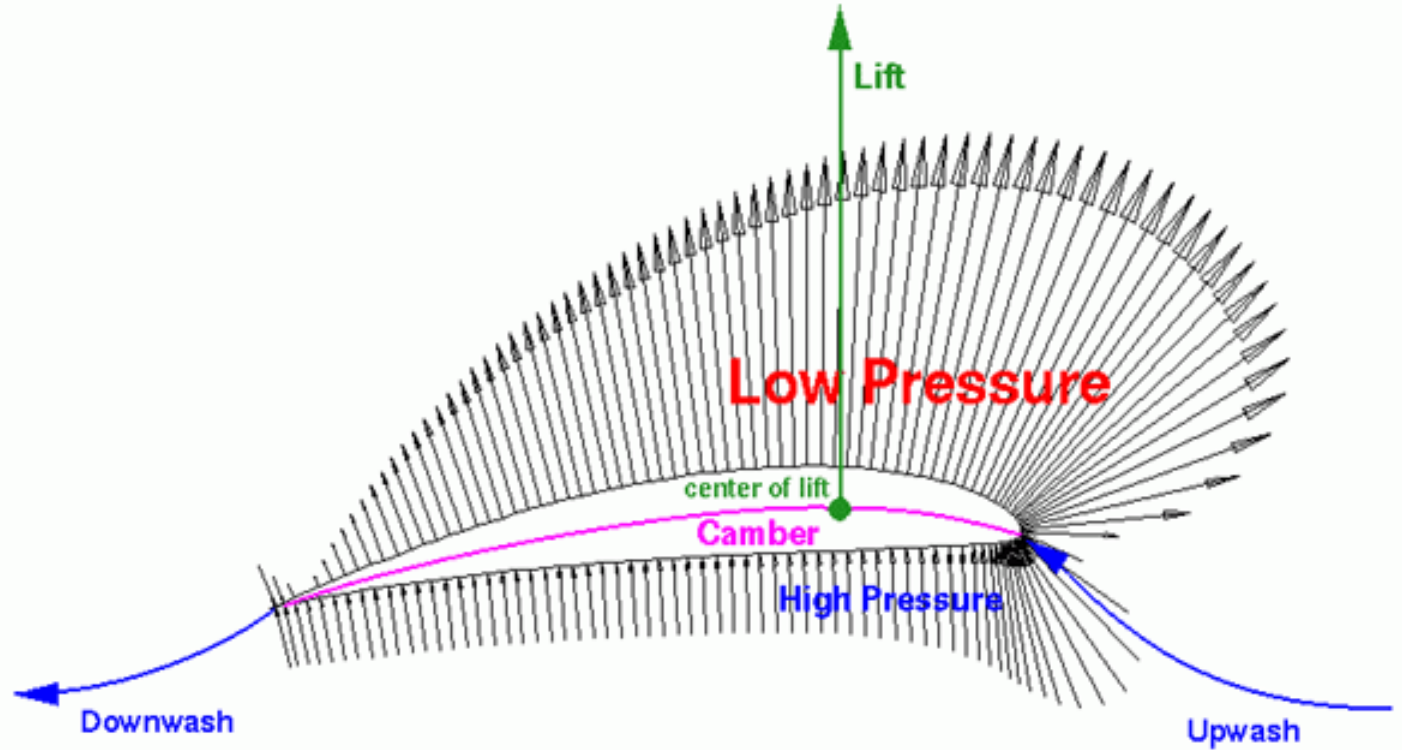
Kanat Yüzeylerinde Basınç Dağılımı



- Kanadın alt ve üst yüzeyleri arasında bir basınç farkı oluşması aslında kanat etrafından geçen havanın hız kazanmasıyla ilgilidir.
- Hava hızlandıkça basıncı azalır. Kanadın üst yüzeyinden geçen hava alt yüzeyden geçene kıyasla daha fazla hızlandığı için **üst yüzeydeki basınçlar alt yüzeydekilere kıyasla daha küçük olur**. Böylece bir **basınç farkı** doğar.

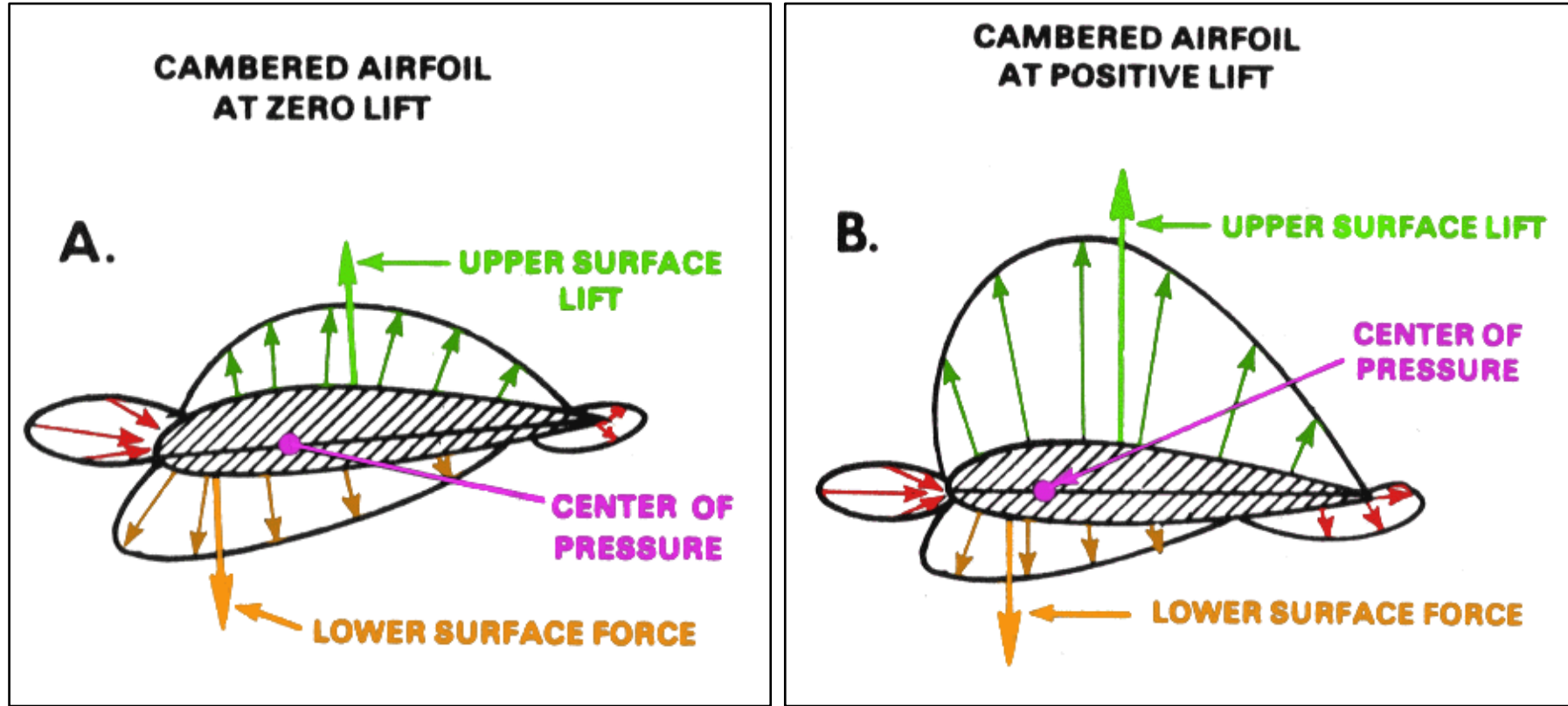
Kanat Yüzeylerinde Basınç Dağılımı

- *Örnek Görsel:*
Kamburluk içeren bir kanat profilinde basınç vektörleri dağılımı ve akım



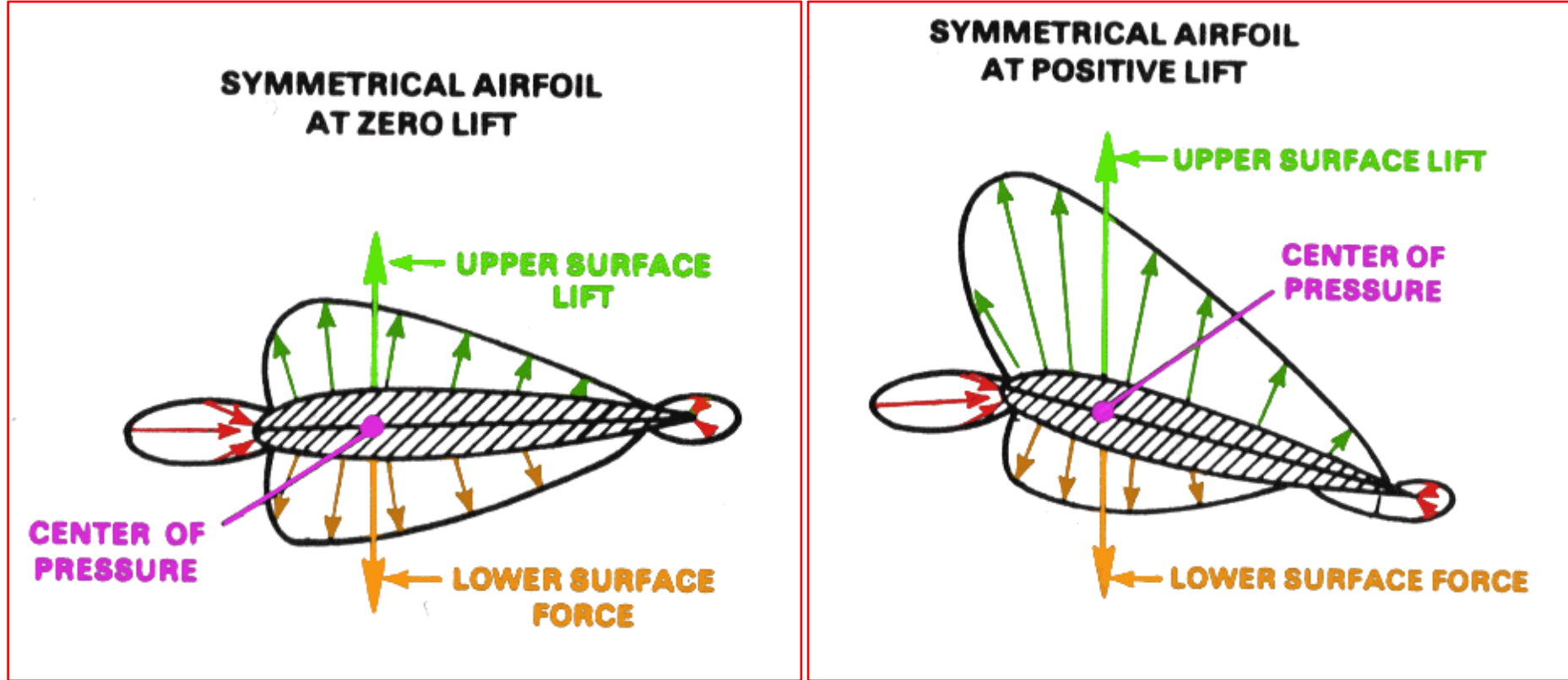
Pressure vectors and flow over a cambered section.

Kanat Yüzeylerinde Basınç Dağılımı



- Farklı durumların karşılaştırılması: **Kamburluklu Profil (Asimetrik)**

Kanat Yüzeylerinde Basınç Dağılımı



- Farklı durumların karşılaştırılması: **Simetrik Profil**

Kanat Yüzeylerinde Basınç Dağılımı

- Farklı durumların karşılaştırılması:
 - Asimetrik, kambur profile negatif hücum açısı (AOA) durumunda taşıma sıfır (*zero lift*) olabilir.
 - Asimetrik, kambur profile sıfır AOA durumunda taşıma oluşur.
 - Simetrik profile sıfır AOA durumunda taşıma sıfır olur.
 - Simetrik profile ancak pozitif AOA ile taşıma sağlanabilir.

Kaynak: https://www.copters.com/aero/pressure_patterns.html

Örnek Video: Aerodinamik Taşıma

Taşıma Kuvvetini açıklayan animasyon

https://www.youtube.com/watch?v=E3i_XHIVCeU

00:30 – 12:18

(Understanding Aerodynamic Lift)

Örnek Video: Kanatlarda Taşıma

Kanatlarda taşıma kuvvetinin açıklaması

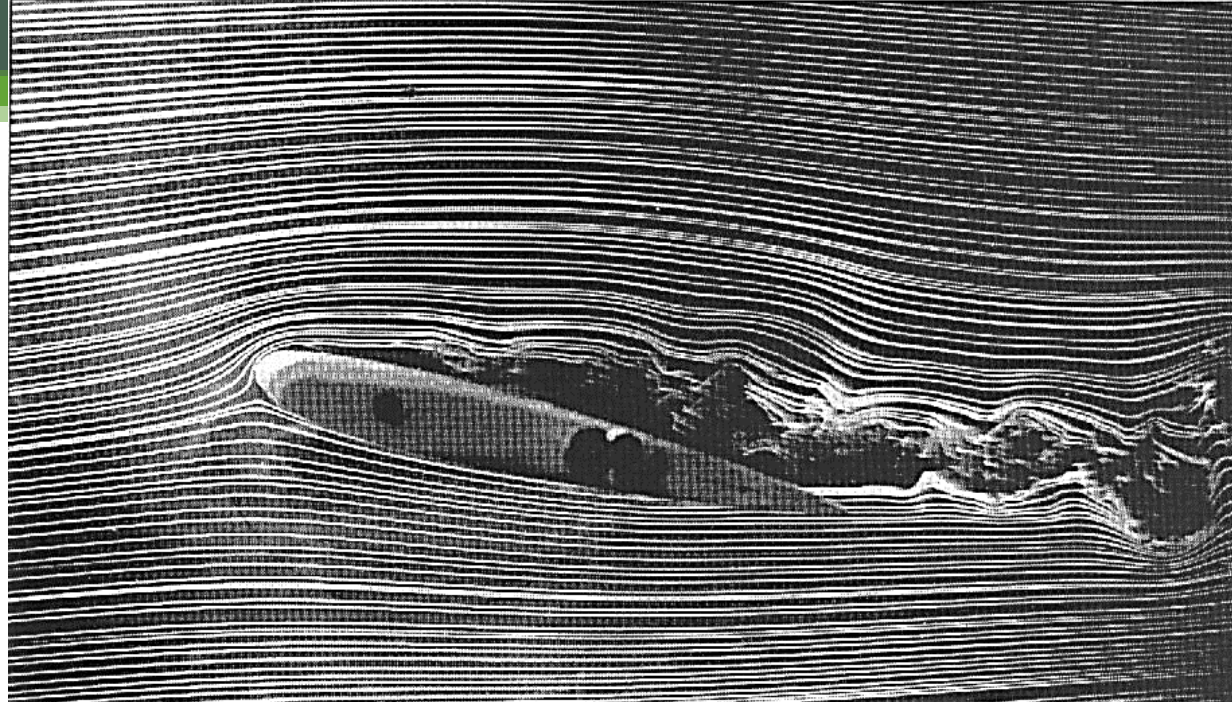
<https://www.youtube.com/watch?v=YDeQXPnpLeY>

00:10 – 06:58

(How Wings ACTUALLY Create Lift!)

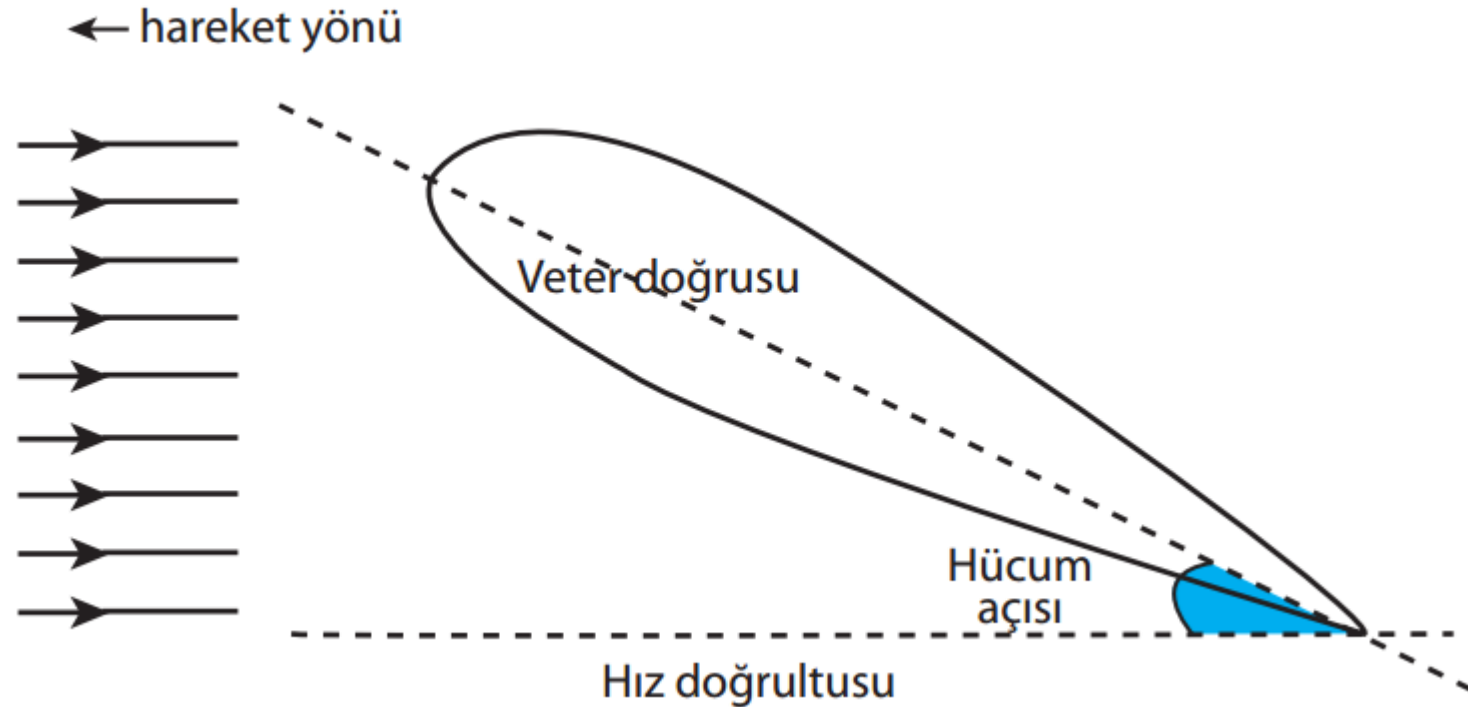
SHU114 – Temel Uçak Bilgisi

HÜCUM AÇISI



Hücum Açısı (*Angle of Attack* – AOA)

- **Hücum açısı**, bir profilde bağıl rüzgâr doğrultusu ile (aerodinamik) veter doğrultusu arasındaki açı olarak tanımlanır. Hücum açısı genellikle “ α ” ile gösterilir.



Hücum Açısı (*Angle of Attack* – AOA)

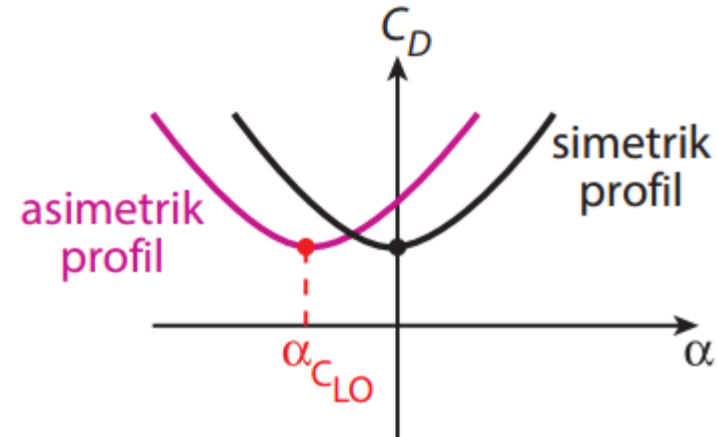
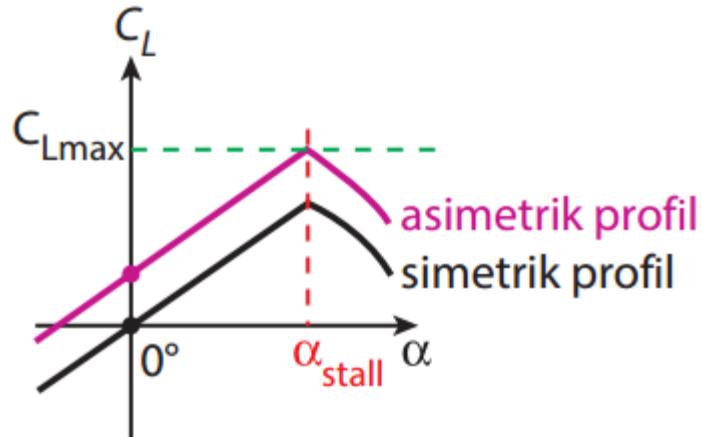
- **Örnek Görsel:** Yüksek bir hücum açısında kanattan ayrılan hava akımı



Airflow separating from a wing at a high angle of attack - 1915ca_abger_fluegel_(cropped_and_mirrored)

Hücum Açısı (*Angle of Attack* – AOA)

- Hücum açısı değeri, taşıma ve sürüklenme katsayılarının değerinde etkili bir faktördür. Aşağıda, farklı hücum açısı değerleri için rüzgâr tüneli ölçümleri ile hesaplanabilecek taşıma ve sürüklenme katsayıları ile hücum açısı arasındaki ilişkiyi ortaya koyan temsili eğriler, simetrik ve asimetric profiller için gösterilmektedir.



Hücum Açısı / Stall (Tutunma Kaybı)

- Eğriler incelenirse taşıma katsayısının belirli bir açı değerine kadar hücum açısı ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir.
- Belirli bir hücum açısı değerine gelindikten sonra ise hücum açısındaki artışa rağmen taşıma katsayısının (C_L) hızlı bir düşüş gösterdiği görülmektedir.
- Ani düşüşün yaşandığı bu nokta **tutunma kaybı (stall) hücum açısı** (α_{stall}) (**perdövites** / stol) değeri olarak adlandırılır.

(Perdövites veya stol; akışkanlar dinamiğinde, bir akışkan içerisinde hareket eden bir cisme etki eden taşıma kuvvetinin -hücum açısının kritik değeri geçmesi nedeniyle- azalması veya yok olması sonucunda cismin akışkan içerisinde tutunamaması.)

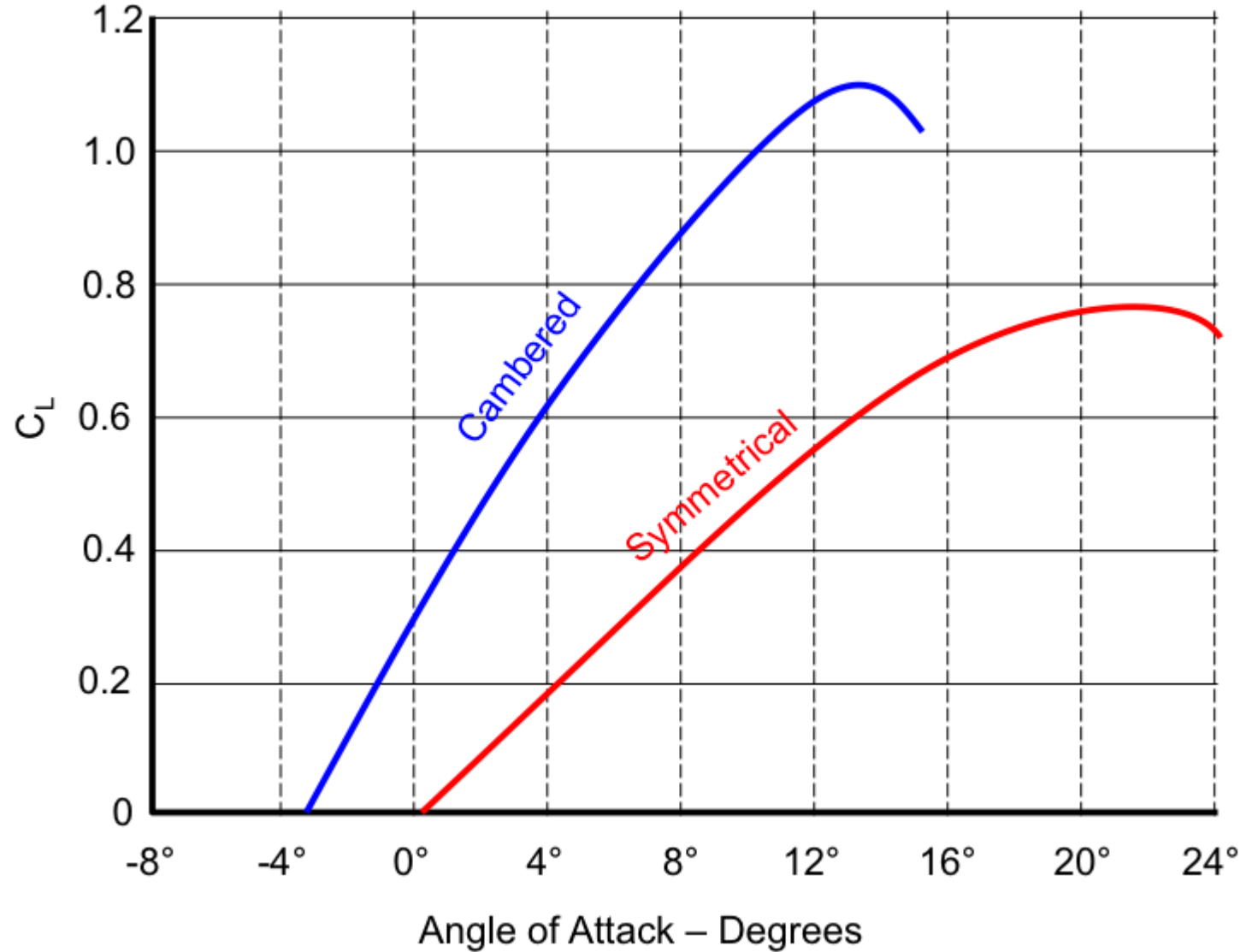
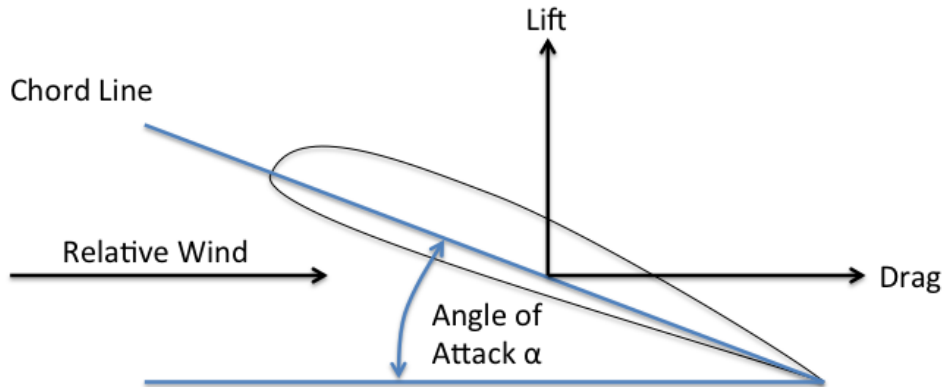
Hücum Açısı

- Yine taşıma katsayısı-hücum açısı eğrisine göre eğer **havadaki hareket uygun bir hücum açısında gerçekleşmezse taşıma katsayısı sıfır değerini alabilmektedir.**
- Hücum açısı ile sürüklenme katsayısı arasındaki ilişkiyi gösteren eğriler incelenirse aralarında parabolik bir ilişki olduğu görülmektedir.
- Ayrıca ilgili eğrilere göre hareket söz konusu ise **hücum açısının herhangi bir değeri için sürüklenme katsayısı hiçbir zaman sıfır değerini almamaktadır.**

Hücum Açısı

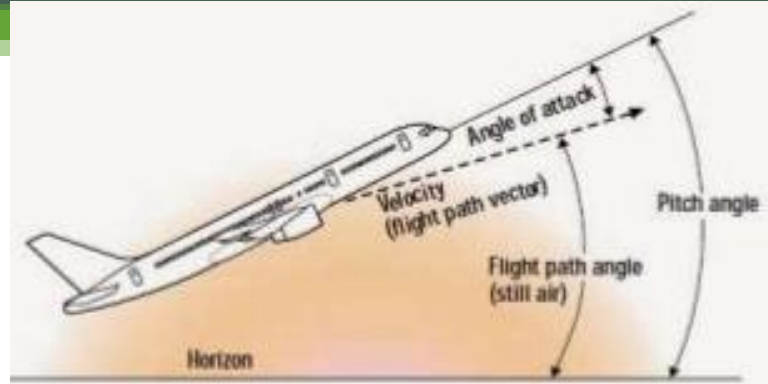
- AOA – C_L ilişkisi
(Hücum açısı – Taşıma katsayısı)

Kaynak: <http://www.aviationchief.com/angle-of-attack.html>



SHU114 – Temel Uçak Bilgisi

Tutunma (Taşıma) Kaybı



Stall

(Stol / Perdövites)

Stall - Hücüm Açısı İlişkisi

- Kanat havada hareket ederken, kanat profili uçuş yönüne karşı bir açıyla eğimlidir. Viter doğrultusu ile uçuş yönü arasındaki açıya hücüm açısı denir ve kanat tarafından oluşturulan sürüklenme üzerinde büyük etkisi vardır.
- Bir nesne tarafından üretilen sürtünmenin büyüklüğü, nesnenin şekline ve havada nasıl hareket ettiğine bağlıdır. İnce kanat profilleri için, sürtünme küçük açılarda (+/- 5 derece) neredeyse sabittir. **Açı 5 derecenin üzerine çıktığında, artan ön alan ve artan sınır tabaka kalınlığı nedeniyle direnç hızla yükselir.**

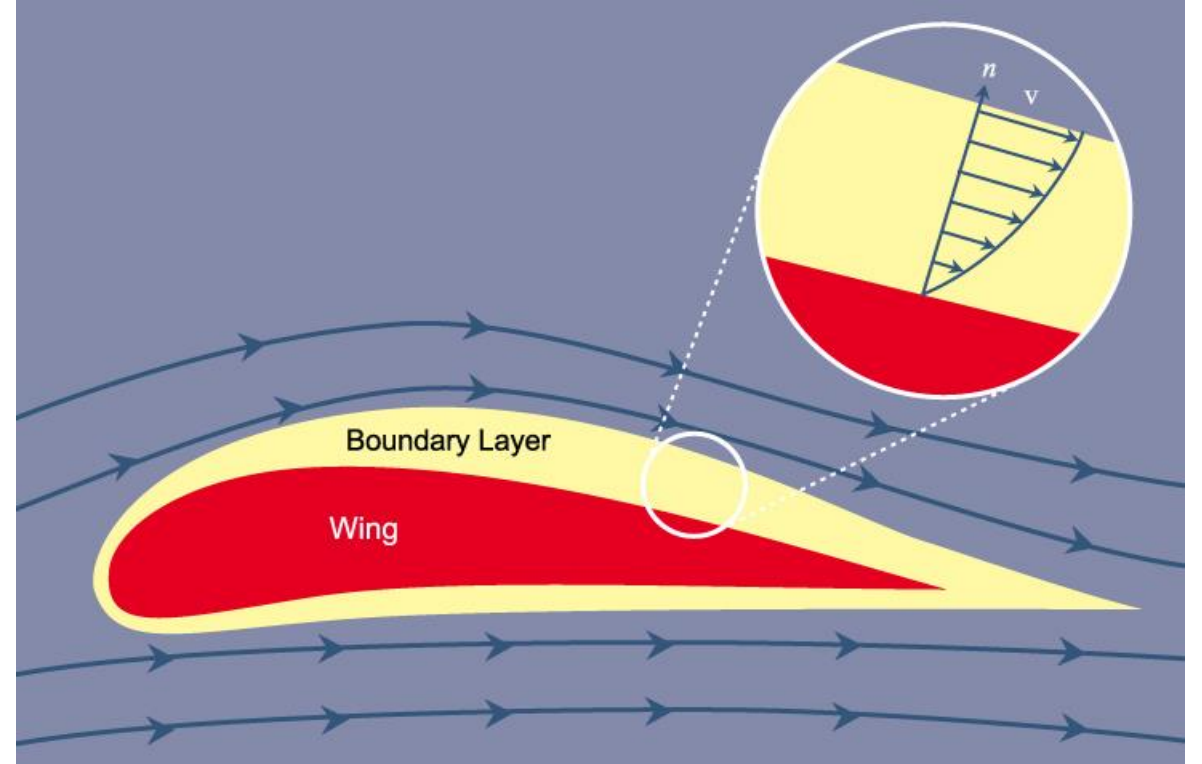
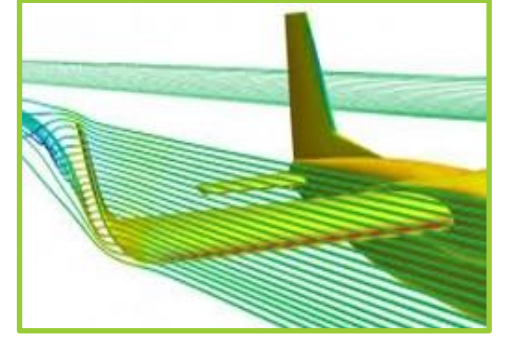
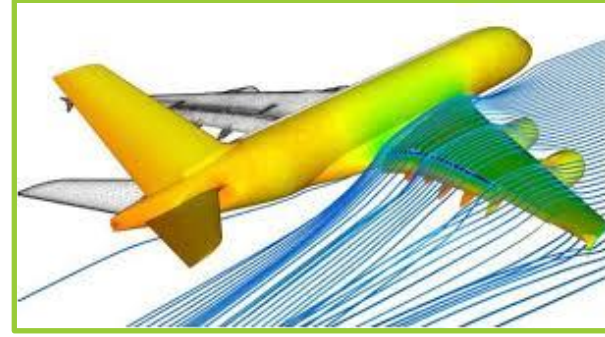
Stall - Hücüm Açısı İlişkisi

- Bir nesne havada hareket ederken, hava molekülleri yüzeye yapışır. Bu, yüzeyin yakınında **sınır tabakası** adı verilen ve aslında nesnenin şeklini değiştiren bir hava tabakası oluşturur.
- Akış, nesnenin fiziksel yüzeyine olduğu gibi sınır tabakasının kenarına tepki verir.
- Sınır tabakası yüzeyden kalkabilir veya ayrılabilir, fiziksel şekilden çok farklı etkide bir şekil yaratabilir. Sınır tabaka ayrıldığında, kanadın **Stall'a girdiği söylenir ve hem sürüklenme hem de taşıma kararsız hale** gelir.
- Stall koşulları altında sürüklemeyi belirlemek çok zordur.

Stall - Hücüm Açısı İlişkisi

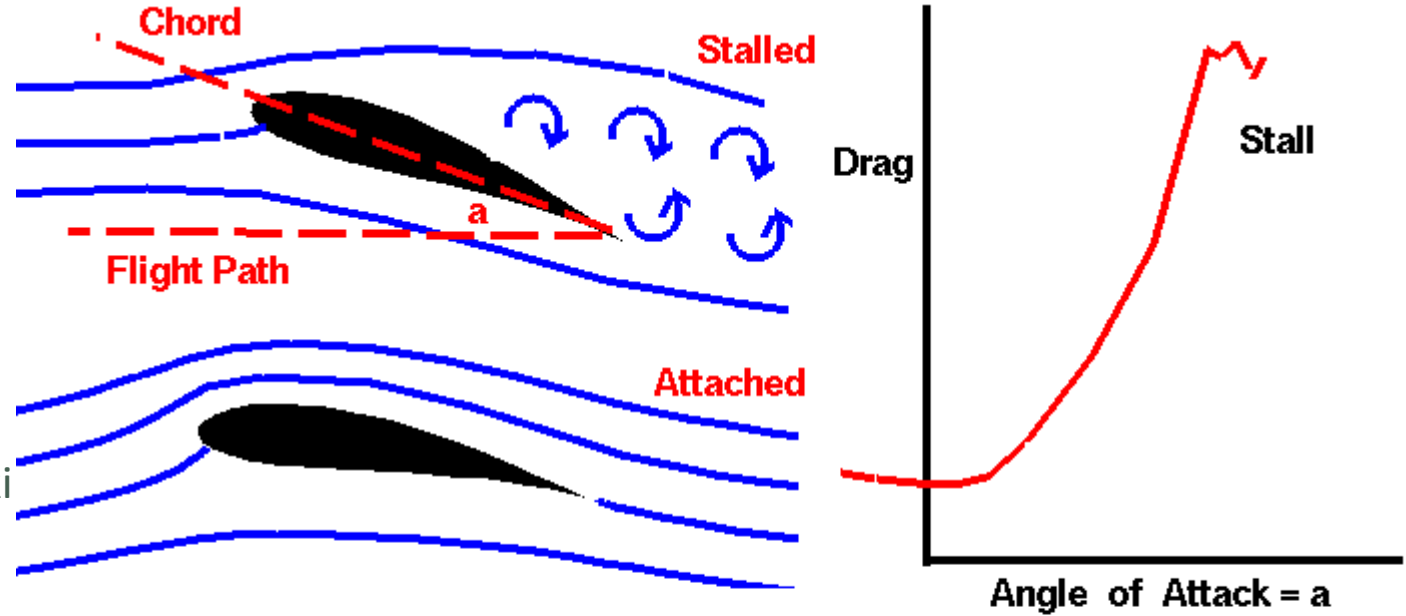
Sınır Tabaka

- Literatürde geniş kabul gören kaideye göre akışkan hızının serbest akış hızının 0,99 katına ulaştığı nokta sınır tabaka (*boundary layer*) üst sınırıdır.



Stall – Hücum Açısı İlişkisi

- Şekilde İki kanat profili için akış koşulları gösterilmektedir. İki airfoil şekli aynıdır; alttaki gelen akışa göre 10 derece, üst folyo ise 20 derece eğimlidir. Üst folyoda sınır tabakası ayrılmış ve kanat stall durumundadır.
- Durma noktasını, yani kanadın durduğu açıyı tahmin etmek matematiksel olarak zordur.
- Mühendisler durma noktasını belirlemek için genellikle rüzgar tüneli testlerine başvururlar. Ancak test, gerçek uçuş donanımının tüm önemli benzerlik parametrelerini eşleştirerek çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.



For small angles, drag is nearly constant.

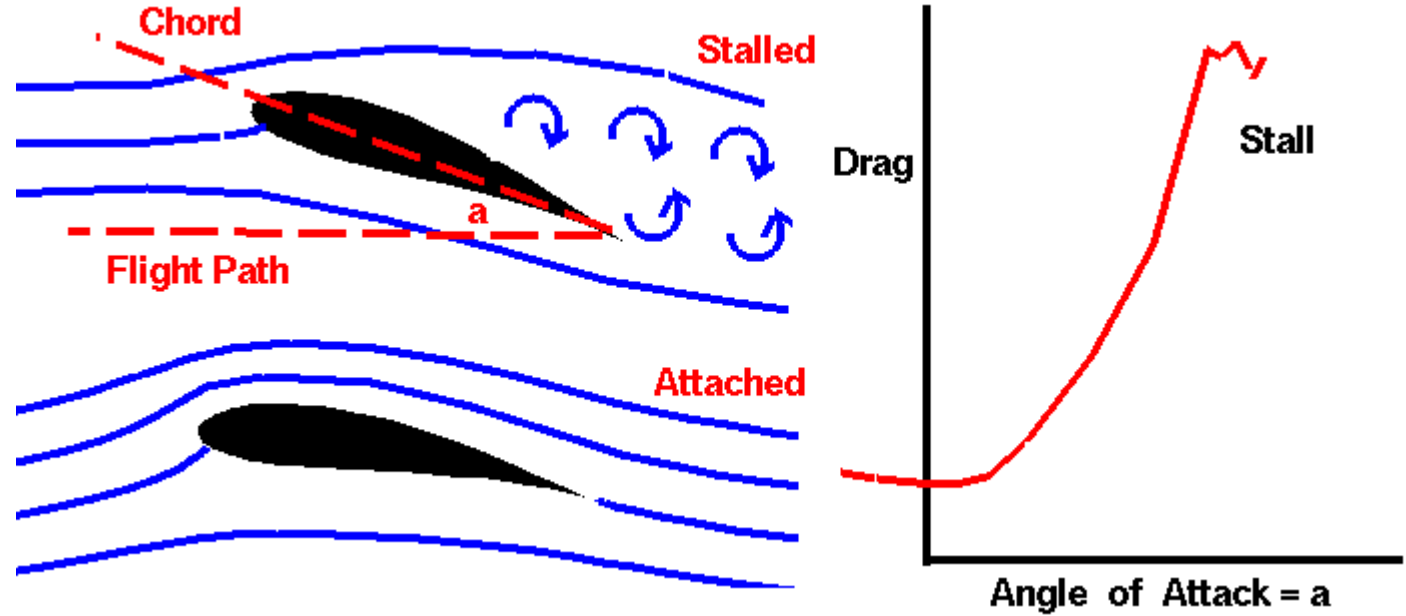
As angle increases, drag increases.

Greater Angle = Greater Drag

After stall, relationship is quite complex.

Included in Drag Coefficient

Stall – Hücum Açısı İlişkisi



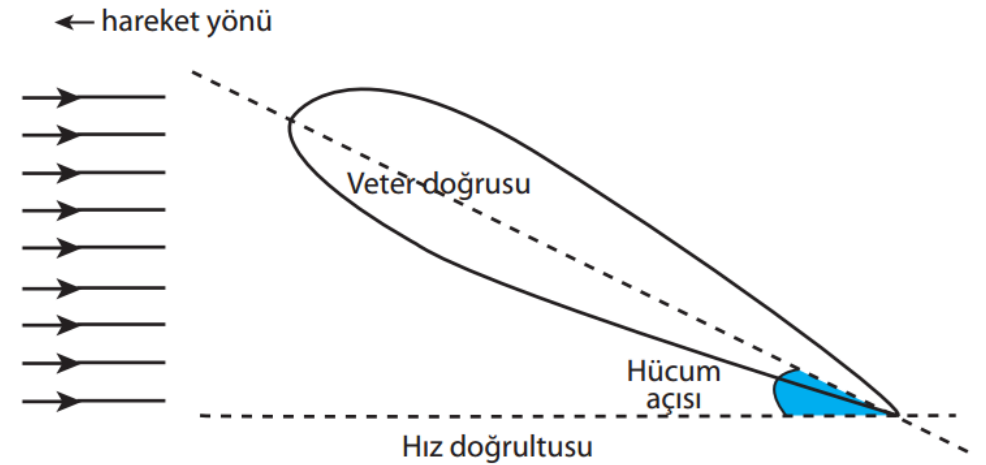
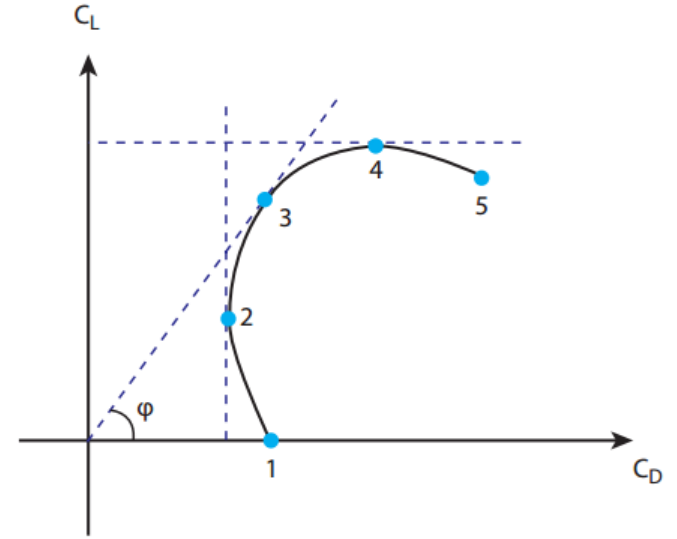
- Şekildeki grafik, tipik bir ince kanat profili için sürüklemenin hücum açısına göre nasıl değiştiğini gösterir. Düşük açılarda, sürüklenme neredeyse sabittir. Bu çizimde, sıfır açıda, yüzey sürtünmesi ve kanat profili nedeniyle küçük bir miktar sürüklenme meydana geldiğine dikkat edilmelidir.
- Eğrinin sağında, sürüklenme oldukça ani bir şekilde değişir ve eğri durur. Gerçekte, kanat profili istenilen açıda ayarlanabilir. Bununla birlikte, kanat bir kez durduğunda (stall), akış oldukça kararsız hale gelir ve sürüklemenin değeri zamanla hızla değişir. Bu tür akış koşullarını ölçmek zor olduğu için, genellikle grafikte kanat durmasının ötesi boş bırakılır.

Stall - Hücüm Açısı İlişkisi

- Sıfır açıda üretilen sürüklenme miktarı ve durma (stall) noktasının konumu genellikle deneysel olarak belirlenmesi gerektiğinden, aerodinamikçiler eğimin etkilerini sürüklenme katsayısına dahil ederler.
- Sonlu bir kanat tarafından üretilen sürtünme miktarını etkileyen başka bir faktör daha vardır. Taşıma nedeniyle indüklenen sürüklenme veya sürüklenme olarak adlandırılır. Sonlu bir kanadın kanat uçlarının etrafındaki akış, kanat uçlarının yakınında "uyarılmış" bir hücüm açısı yaratır. Açı arttıkça taşıma katsayısı artar ve bu da indüklenen sürüklenme miktarını değiştirir. Hücüm açısının sürüklenme üzerindeki etkilerini ve taşıma nedeniyle sürüklemeyi ayırmak için aerodinamikçiler genellikle iki kanat modeli kullanırlar. Hücüm açısı etkilerinin belirlenmesine yönelik kanat modeli uzun ve incedir ve "iki boyutlu" bir kanat profili oluşturmak için tüm tünelin genişliğini kaplayabilir. Kanat uçlarının sürtünme üzerindeki etkilerini belirlemek için başka bir model kullanılır.

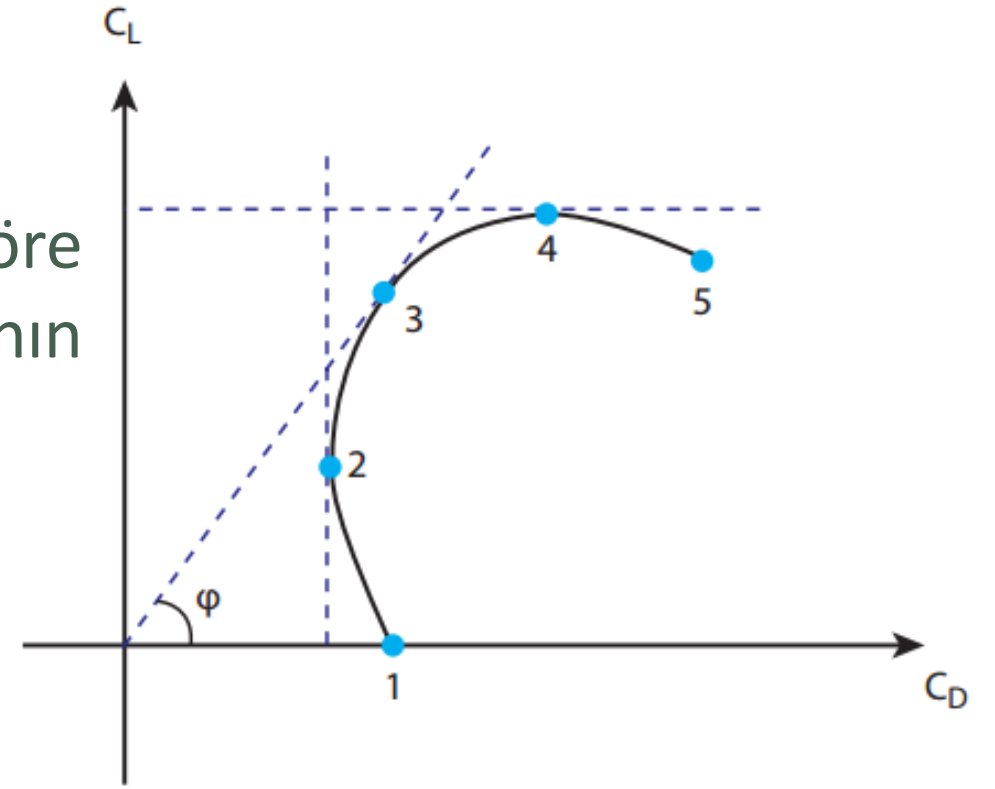
Hücum Açısı / Polar Eğrisi

Hücum açısına göre taşıma ve sürüklenme katsayılarının değişimi ayrı ayrı eğriler halinde gösterilebileceği gibi, bu eğriler ortak değişkenleri olan hücum açısı dikkate alınarak birleştirilebilirler. Bir profil için belirli hücum açılarında, **taşıma ve sürüklenme katsayıları arasındaki ilişkiyi gösteren eğri polar eğrisi** olarak adlandırılır.



Hücum Açısı / Polar Eğrisi

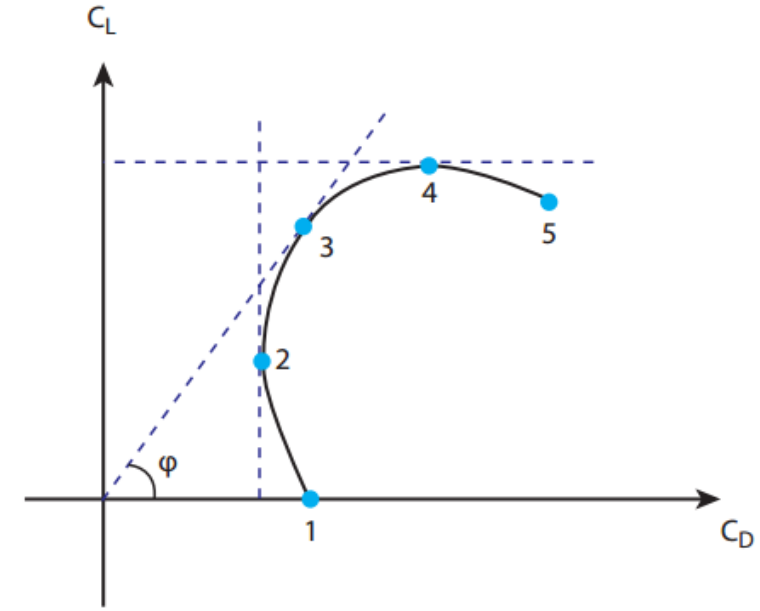
Hücum açısına (*Angle Of Attack* – AOA) göre taşıma (C_L) ve sürüklenme (C_D) katsayılarının değişimini gösteren Polar eğrisi ve eğrinin karakteristik noktaları



Hücum Açısı / Polar Eğrisi

Polar eğrisinin beş adet karakteristik noktası vardır:

- “1” numaralı nokta sıfır taşıma hattının oluştuğu noktadır. Bu noktada aerodinamik katsayılar $C_L=0$ ve $C_D=C_{D0}$ değerlerini almaktadırlar.
- “2” numaralı nokta sürüklenme katsayısının en az (minimum) olduğu noktadır ve bu noktada $C_D=C_{Dmin}$ değerini almaktadır.
- “3” numaralı nokta aerodinamik verimliliğin en yüksek olduğu, diğer bir ifadeyle (C_L/C_D) oranının maksimum olduğu noktadır. Bu nokta, polar eğrisine orijinden çizilen bir teğet yardımıyla bulunur.
- “4” numaralı nokta taşıma katsayısının maksimum olduğu noktadır ve $C_L=C_{Lmax}$ değerini almaktadır.
- “5” numaralı nokta ise katsayıların deneysel olarak hesaplanabildiği en son noktadır. Bu noktadan sonraki değerlerde polar eğrisi kararsız bir yapı almaktadır.



Hücum Açısı / Polar Denklemi

- Genel olarak bir parabol şekline benzeyen polar eğrisinin matematiksel ifadesi (**parabolik polar denklemi**) olarak adlandırılır. Polar denkleminin (simetrik profiller için) ifadesi aşağıdaki şekildedir:

$$C_D = C_{D0} + kC_L^2$$

- Polar denkleminde C_{D0} : sıfır taşıma katsayısındaki sürüklenme katsayısı, kC_L^2 ise indüklenmiş sürüklenme katsayısı olarak adlandırılmaktadır. İndüklenmiş sürüklenme katsayısı içinde yer alan k değeri ise şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$k = \frac{1}{\pi \cdot e \cdot AR}$$

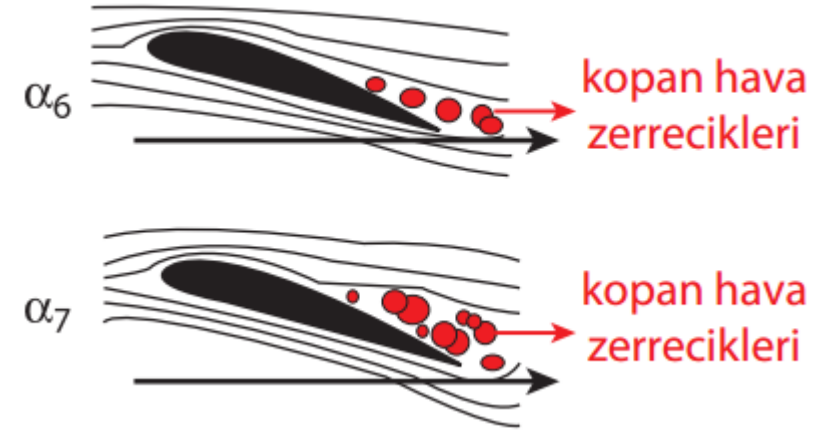
Burada ' e ' kanat eliptiklik faktörünü, AR ise kanat açıklık oranını göstermektedir.

Stall: Tutunma (Taşıma) Kaybı

- Taşıma katsayısı ve hücum açısı arasında belirli bir hücum açısı değerine kadar doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.
- Yüksek taşıma katsayısı için hücum açısının değeri de yüksek olmalıdır.
- C_L ve α arasındaki eğri hatırlanacak olursa hücum açısının belirli bir değerinde taşıma katsayısında ani bir düşüş yaşanmakta ve sonrasında da hücum açısı artmasına rağmen taşıma katsayısı düşmektedir.
- Bu keskin değişikliğin olduğu noktada yaşanan durum tutunma (taşıma) kaybı – **stall** olarak adlandırılır.

Stall: Tutunma (Taşıma) Kaybı

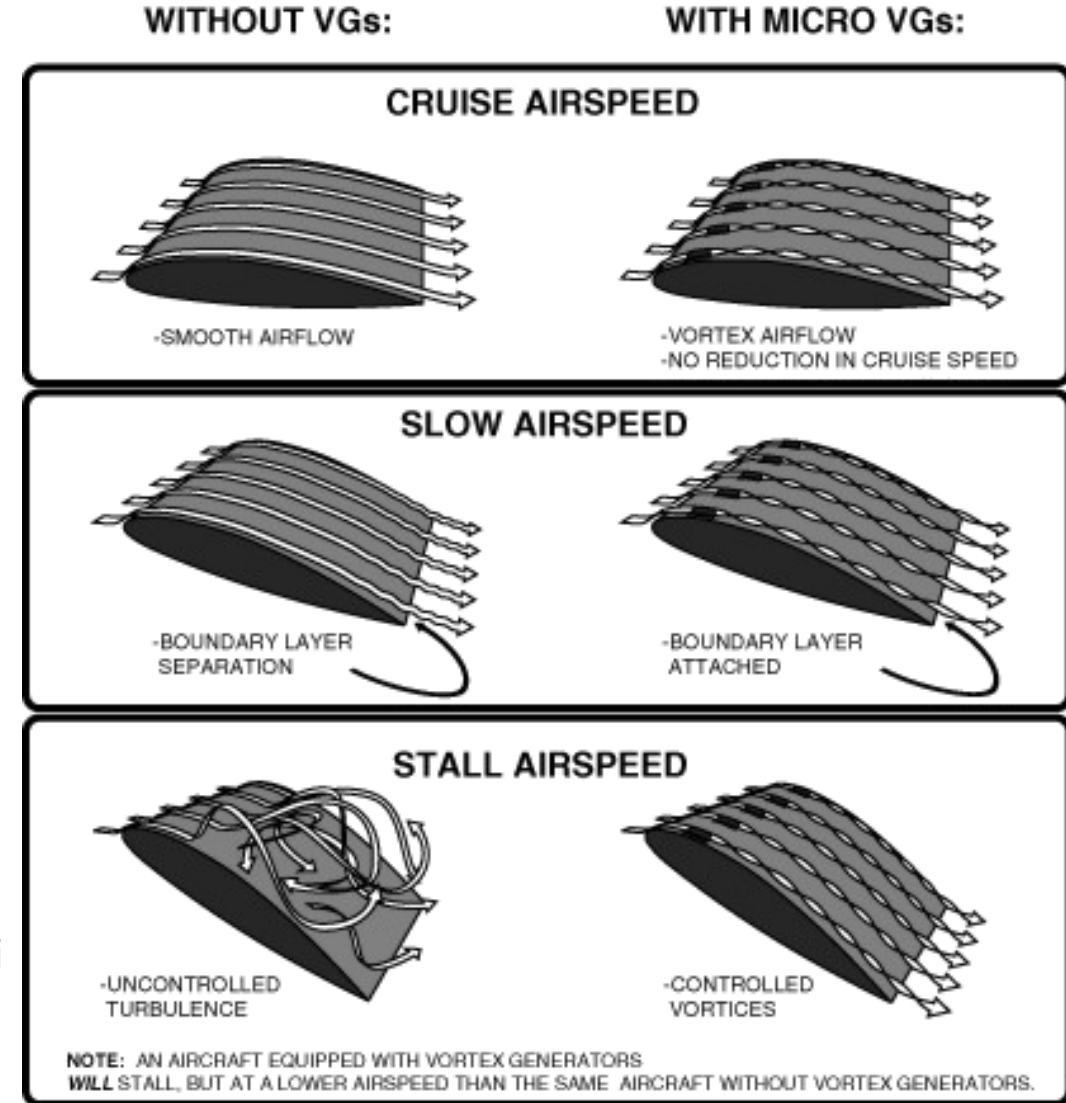
- Düşük hücum açılarından yüksek hücum açısı değerlerine doğru profilin pozisyonu değiştikçe profilin arka kısmında hava zerrecikleri yüzeyi takip etmek yerine yüzeyden kopmaya başlar.
- Kanatlarda hava hızının, o uçağa özgü kritik hız değerinin altına düşmesi durumudur.



Stall: Tutunma (Taşıma) Kaybı

- Bu durum taşıma kuvvetinde düşüşe yol açar. Ağırlığı dengelemek için gerekli taşıma kuvveti üretilemediği koşulda uçak **stall** (*perte de vitesse / perdövites*) durumuna girer.

Örnek Görsel: Micro Vortex Generator - Stall Hızına etkisi



Stall Hızı

- Bir uçağın belirli bir irtifada havada tutunabilmesi için gereken minimum hız **stall hızı** olarak adlandırılır. Stall hızı (V_{\min} , V_{stall}) ifadesi, sabit hızlı yatay uçuş durumu göz önüne alınarak yazılacak olursa, V 'ye göre düzenlenip, şu şekilde ifade edilebilir:

$$W = L = C_L \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot s \quad \longrightarrow \quad V = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho \cdot s \cdot C_L}}$$

$$\downarrow$$

- Polar eğrisindeki $C_{L_{\max}}$ değeri girilirse: \longrightarrow

$$V_{\min} = V_{\text{stall}} = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho \cdot s \cdot C_{L_{\max}}}}$$

Stall Hızı

Stall hızını doğrudan etkileyen faktörler şunlardır:

- Ağırlık (uçanın ağırlığı)
- Yoğunluk (havanın yoğunluğu)
- Kanat alanı
- Maksimum taşıma katsayısı
- Yük katsayısı

W ağırlığı, L taşıma kuvvetini, C_L taşıma katsayısını, ρ hava yoğunluğunu, s referans alanı, V ise ilgili irtifadaki gerçek uçuş hızını ifade etmektedir.

Örnek Video: Taşıma Kaybı

Stall haline etki eden özellikler

<https://www.youtube.com/watch?v=2iQttM-b-pQ>

00:00 – 03:33

(What affects stall speed?)

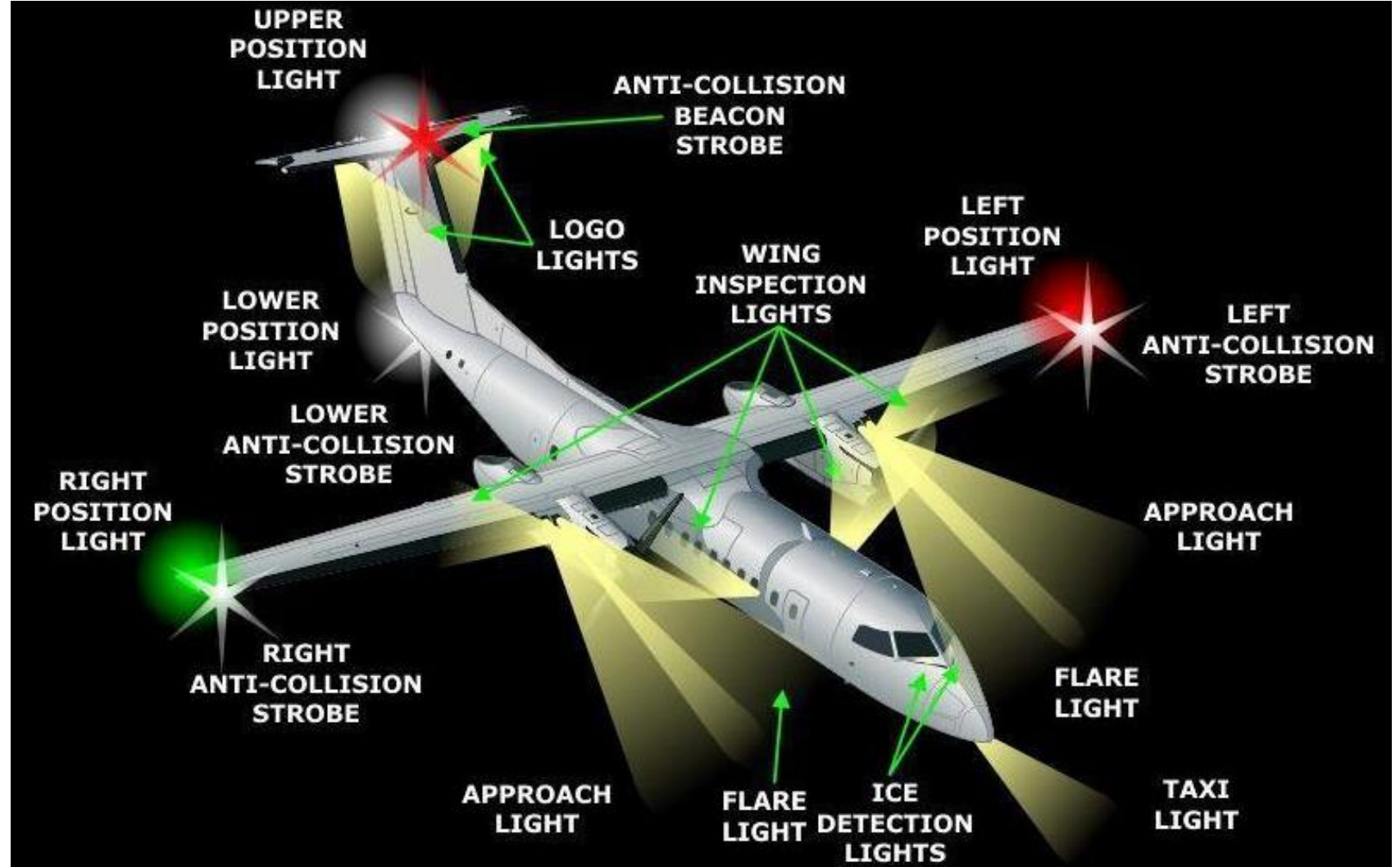
SHU114 – Temel Uçak Bilgisi

Ek Bilgi:

Uçak Işıkları

Uçak Dış Işıkları

- *Örnek Görsel:*
Uçak dış ışıklandırma elemanları genel görünüm



Uçak Dış Işıkları

- Bir uçağın dış aydınlatması güvenlik, navigasyon ve iletişim dahil olmak üzere birçok önemli amaca hizmet eder.
- Navigasyon Işıkları: Uçaklar, çevredeki diğer uçaklara konumlarını ve yönlerini belirlemeye yardımcı olan navigasyon ışıkları ile donatılmıştır. Bu ışıklardan bazıları şunlardır:
 - Kırmızı Seyir Işığı: Sol kanat ucunda (iskele tarafı) bulunan bu ışık kırmızıdır ve uçağın sol tarafını gösterir.
 - Yeşil Seyir Işığı: Sağ kanat ucunda (sancak tarafı) bulunan bu ışık yeşildir ve uçağın sağ tarafını gösterir.
 - Beyaz Flaş Işıkları: Genellikle hem kanat uçlarında hem de kuyrukta bulunan flaş ışıkları, görünürlüğü artırmak için aralıklı parlak yanıp sönmeler sağlar.
 - Çarpışma Önleyici Işıklar: Bu ışıklar genellikle kırmızı veya beyazdır ve gövdenin üstünde ve altında bulunur. Özellikle kalkış ve iniş sırasında uçağın görünürlüğüne arttırmak için kullanılırlar.
 - Taksi Işıkları: Uçağın burnunda veya iniş takımlarında bulunan bu ışıklar, uçak yerdeyken taksi yolunu aydınlatmak için kullanılır ve havaalanı çevresinde güvenli navigasyona yardımcı olur.
 - İniş Işıkları: Bu güçlü, öne bakan ışıklar uçağın burnunda veya kanat uçlarında bulunur ve kalkış ve iniş sırasında pisti aydınlatmak için kullanılır ve pilotun net bir görüşe sahip olmasını sağlar.

Uçak Dış Işıkları

- Logo Işıkları: Bazı uçaklarda havayolunun logosunu veya adını kuyruk veya gövdeye yansıtan logo ışıkları bulunur. Bu ışıklar markalama amaçlarına hizmet eder ve uçağın görünürlüğünü artırır.
- Kanat Işıkları: Kanatların alt tarafında bulunan bu ışıklar, uçuş öncesi kontroller sırasında yer personelinin uçağın kanatlarında buzlanma veya hasar olup olmadığını incelemesine yardımcı olur.
- Kabin Işıkları: Teknik olarak dış aydınlatma olmasa da yolculara sinyal vermede rol oynarlar. Örneğin kalkış ve iniş sırasında kabin ışıklarının kısılması uçuşun önemli aşamalarına işaret eder.
- Acil Durum Işıkları: Acil bir tahliye durumunda, yolcuları güvenliğe yönlendirmek için uçağın iç ve dış kısmında acil durum ışıkları bulunur.
- Genel olarak, bu dış ışıklar güvenli operasyonlar için gereklidir; pilotların gökyüzünde ve yerde gezinmesine yardımcı olur ve diğer uçak ve yer personelinin uçağın hareketlerini kolayca tanımlayıp takip edebilmesini sağlar.

Aircraft Exterior Lighting Overview

The exterior lighting on an aircraft serves several crucial purposes, including safety, navigation, and communication. Here's an overview:

Navigation Lights: Aircraft are equipped with navigation lights to help identify their position and direction to other aircraft in the vicinity. A few of these lights include:

Red Navigation Light: Located on the left wingtip (port side), this light is red and indicates the aircraft's left side.

Green Navigation Light: Positioned on the right wingtip (starboard side), this light is green and denotes the aircraft's right side.

White Strobe Lights: Strobe lights, often on both wingtips and the tail, provide intermittent bright flashes to increase visibility.

Anti-Collision Lights: These lights are typically red or white and are located on the top and bottom of the fuselage. They are used to enhance the aircraft's visibility, especially during takeoff and landing.

Taxi Lights: Found on the aircraft's nose or landing gear, these lights are used to illuminate the taxiway when the plane is on the ground, aiding in safe navigation around the airport.

Landing Lights: These powerful, forward-facing lights are situated on the aircraft's nose or wingtips and are used to illuminate the runway during takeoff and landing, ensuring the pilot has clear visibility.

Logo Lights: Some aircraft have logo lights that project the airline's logo or name onto the tail or fuselage. These lights serve branding purposes and enhance the aircraft's visibility.

Wing Lights: Located on the underside of the wings, these lights help ground personnel inspect the aircraft's wings for ice or damage during pre-flight checks.

Cabin Lights: Although not technically exterior lights, they play a role in signaling passengers. For example, dimming the cabin lights during takeoff and landing signifies important phases of the flight.

Emergency Lights: In the event of an emergency evacuation, aircraft are equipped with emergency lights on the interior and exterior to guide passengers to safety.

Overall, these exterior lights are essential for safe operations, helping pilots navigate the skies and ground and ensuring that other aircraft and ground personnel can easily identify and track the aircraft's movements.

Kaynakça:

- NASA Glenn Research Center / The Beginner's Guide to Aeronautics
- <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/short.html> Aerodynamics Index
- <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/wrong1.html>
- <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/wrong2.html>
- <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/wrong3.html>
- <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/right1.html>
- <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/right2.html>

Kaynaklar:

- **Uçuş Teorisi ve Temel Uçak Bilgisi Ders Notları / Uzm. Murat Topçu**
Ders Notları – Ünite 3 Uçak Operasyonlarına Ait Genel Tanımlar
• *(Atatürk Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayını)*
- **Uçuş Teorisi ve Temel Uçak Bilgisi / Dr. Öğr. Üyesi Seyhun Durmuş***
Nobel Akademik Yayıncılık / Ekim 2020
• ISBN 978-625-406-492-0
- **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>

*(Tavsiye niteliğindedir)

Kaynaklar: (web)

- Prof. Dr. M. Adil Yükselen / Ders Notları – İTÜ UUBF Öğretim Üyesi *
- <https://web.itu.edu.tr/yukselen/>
- Havayolu 101 (Uçak Bilgisi / Havacılık Haberleri) *
- <https://www.havayolu101.com/>
- Aviation Dictionary (A-Z Aviation Guide) *
- <http://en.digivideofestmenyek.com/hobby/aviation/aviation-dictionary>

*(Tavsiye niteliğindedir)
