

**T.C.  
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

**UÇAK BAKIM**

**AERODİNAMİK  
440FB0007**

**Ankara, 2011**

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- PARA İLE SATILMAZ.

# İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR .....	iii
GİRİŞ .....	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....	3
1. ATMOSFER FİZİĞİ .....	3
1.1. Uluslararası Standart Atmosfer (Isa) Aerodinamiğe Uygulaması.....	3
UYGULAMA FAALİYETİ .....	8
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	9
ÖĞRENME FAALİYETİ-2.....	11
2. AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ .....	11
2.1. Spesifik Gravite ve Yoğunluk.....	11
2.2. Viskozite, Sıvı Direnci, Akışkan Çizgilenmenin Etkileri .....	12
2.3. Sıvıların Sıkıştırılma Etkileri .....	13
2.4. Statik, Dinamik Ve Toplam Basınç: Bernouilli Teoremi, Venturi .....	13
UYGULAMA FAALİYETİ .....	15
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	16
ÖĞRENME FAALİYETİ- 3.....	17
3. ATMOSFER FİZİĞİ .....	17
3.1. Aerodinamik .....	17
3.2. Bir Cisim Etrafındaki Hava Akışı.....	17
3.2.1. Sınır Tabakası .....	17
3.2.2. Laminer ve Türbülanslı Akışlar.....	18
3.2.3. Serbest Akış Hüzmesi.....	18
3.2.4. Bağlı Hava Akışı .....	18
3.2.5. Upwash ve Downwash .....	19
3.2.6. Vortisler .....	19
3.2.7. Akış Durması (Stagnation) .....	21
3.3. Aerodinamik Terimleri .....	21
3.3.1. Camber (Kamburluk).....	21
3.3.2. Chord (Veter uzunluğu).....	21
3.3.3. Ortalama aerodinamik chord .....	22
3.3.4. Kanat yapısı ve aspect (açıklık) oranı.....	22
3.3.5. İncelik oranı.....	22
3.3.6. Basınç Merkezi .....	23
3.3.7. Hücum açısı .....	23
3.3.8. Çekiş (Trust) .....	23
3.3.9. Ağırlık(Gravity).....	24
3.3.10. Aerodinamik Bileşke .....	24
3.3.11. Kaldırma (lift).....	25
3.3.12. Sürüklenme (drag) .....	25
3.3.13. Kutupsal Eğim .....	27
3.3.14. Stall.....	27
3.3.15. Parazit Drag .....	27
3.3.16. Induced Drag .....	29
3.3.17. Wash İn ve Wash Out.....	29
3.4. Döner Kanat Aerodinamiği.....	30

---

3.4.1. Terimler .....	30
3.4.2. Döngüsel, Ortak, Anti Tork Kumandalarının Çalışma ve Etkisi .....	34
UYGULAMA FAALİYETİ 1 .....	35
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	37
MODÜL DEĞERLENDİRME .....	38
CEVAP ANAHTARLARI .....	40
KAYNAKÇA .....	42

# AÇIKLAMALAR

<b>KOD</b>	<b>440FB0007</b>
<b>ALAN</b>	<b>Uçak Bakım</b>
<b>DAL/MESLEK</b>	<b>Alan Ortak (Uçak Gövde-Motor ve Uçak Elektronik)</b>
<b>MODÜLÜN ADI</b>	<b>Aerodinamik</b>
<b>MODÜLÜN TANIMI</b>	Temel aerodinamik terim ve hesaplama konularının işlendiği öğrenme materyalidir.
<b>SÜRE</b>	40/24
<b>ÖN KOŞUL</b>	Modülün ön koşulu yoktur.
<b>YETERLİK</b>	Aerodinamik ifadeleri kullanmak
<b>MODÜLÜN AMACI</b>	<b>Genel Amaç:</b> Gerekli ortam sağlandığında aerodinamik ifadeleri doğru olarak kullanılabileceksiniz. <b>Amaçlar:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Uluslararası Standart Atmosfer (ISA) birimlerini aerodinamik hesaplamalarda kullanabileceksiniz.</li><li>2. Tekniğine uygun olarak Bernoulli Teoremi ile ilgili hesaplamaları hatasız yapabileceksiniz.</li><li>3. Aerodinamik terimleri tekniğine uygun olarak kavrayıp doğru olarak tanımlayabileceksiniz.</li></ol>
<b>EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI</b>	<b>Ortam:</b> Atölye ortamı, laboratuvar ortamı <b>Donanım:</b> Onaylı dokümanlar, televizyon, sınıf kitaplığı, VCD, DVD, tepegöz, projeksiyon, bilgisayar ve donanımları, internet bağlantısı, öğretim materyalleri vb.
<b>ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME</b>	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığımız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.



# GİRİŞ

## Sevgili Öğrenci,

Diğer teknolojik alanlara nazaran uçak teknolojisinin gelişimi yakın tarihimizde olmuştur. Bunun nedeni aerodinamik prensipler alanında fazla araştırma yapılmamış ve uçmanın nasıl gerçekleştiğini anlamak için kanat çırpın kuşların incelenmesi olmuştur.

Hava akımına maruz kalan cisimlerin hareketleri fiziksel olarak incelenip bu konuda yeni bilgi ve buluşlar gerçekleştiğinde uçakların nasıl imal edilmesi gerektiği ortaya çıkmış ve aerodinamik prensipler ışığında günümüzde kullanılan modern uçak ve diğer hava araçları üretilmiştir.

Bu modül içeriğinde size aerodinamik prensipleri ve uçağa uygulanması konularında bilgi ve beceriler kazandırılmaya çalışılmaktadır.

“Uçaklar nasıl uçar?” sorusunun cevabını bulacağınız bu modülü kavramanız, bir uçak teknisyeninin bilmesi gereken temel bilgidir.





# ÖĞRENME FAALİYETİ-1

## AMAÇ

Uluslararası Standart Atmosfer (ISA) birimlerini aerodinamik hesaplamalarda kullanabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Uluslararası Standart Atmosfer (ISA) tanımını araştırarak hava ve atmosfer tabakalarının özelliklerini araştırınız. Edindiğiniz bilgileri sınıf ortamında arkadaşlarınıza sununuz.

## 1. ATMOSFER FİZİĞİ

### 1.1. Uluslararası Standart Atmosfer (Isa) Aerodinamiğe Uygulaması

Bir uçağın performansları hesaplandığında veya performanslarını belirlemek için rüzgâr tüneli deneyleri yapıldığında elde edilen sonuçları benzeri diğer hesap ve deney sonuçlarıyla mukayese edebilmek için bir referans havaya ihtiyaç vardır. Atmosfer içindeki şartlar devamlı olarak değişir ve genel olarak herhangi iki günde aynı sıcaklık ve basınç şartlarını elde etmek mümkün değildir.

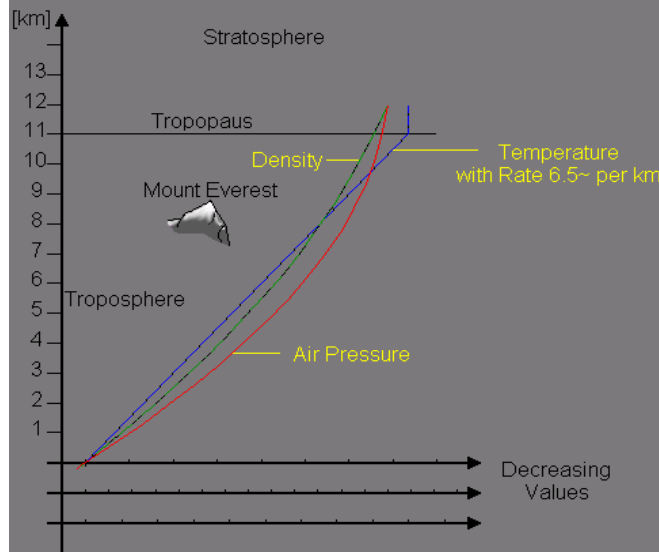
Bundan dolayı referans olarak kullanılmak üzere bir standart hava şartları sisteminin kabul edilmesi gerekmektedir. Günümüzde halen bir uygulama yeri bulan ICAO (International Civil Aviation Organization) Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı tarafından, Uluslararası Sivil Havacılık Anlaşmasında tespit 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/m<sup>3</sup> dür.

Birinci şart gereğince, kuru mükemmel gazlara ait karakteristik denklem, standart atmosfere uygulanabilir. Dördüncü şart gereğince de sıcaklığın, deniz seviyesinden itibaren yükseklik ile değişimi, sıcaklık -56,5 °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.



**Şekil 1.1: Troposfer tabakasında sıcaklık-basınç-yoğunluk ile yükseklik arasındaki ilişki**

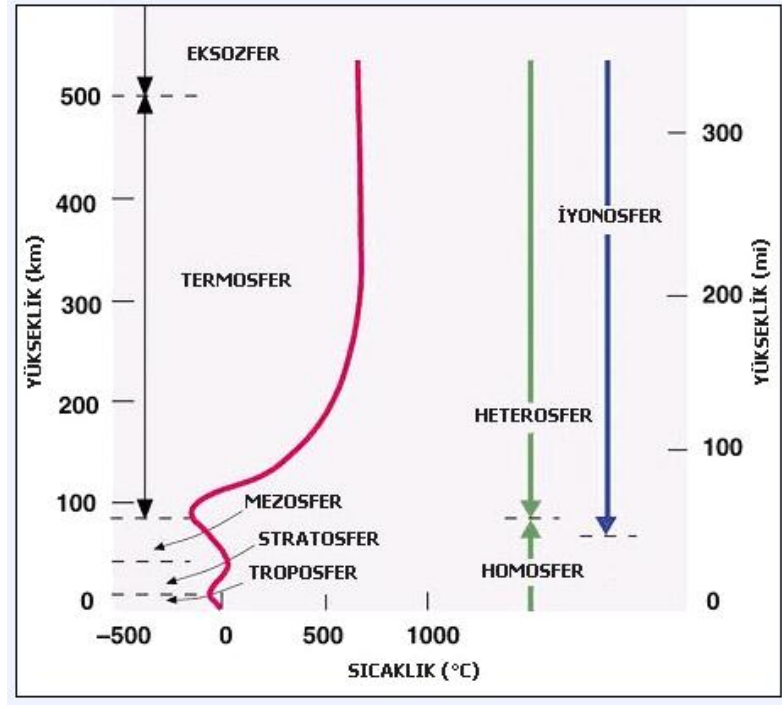
Standart atmosfer için yukarıda tespit edilen şartları kullanmak ve yer çekimi ivmesi  $g$ 'nin yükseklik ile değişmediğini kabul etmek suretiyle standart atmosfer karakteristiklerinin yükseklik ile değişimi tespit edilir. Standart atmosfere göre yükseklik ile sıcaklık ve basınç değişimleri Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Yükselti (metre olarak)	Sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ 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

**Tablo 1.1: Sıcaklık ve basıncın yükseklik ile değişimi**

Bilinmesi gereken diğer bir atmosfer özelliği de atmosferi oluşturan tabakalardır. Bu tabakalar: Troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer ve ekzosferdir. Bu temel tabakaların

yanı sıra hava yoğunluğuna ve diğer bazı özelliklere göre iyonosfer, heterosfer ve homosfer olarak adlandırılan tabakalar vardır.



Şekil 1.2: Atmosfer tabakaları

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.

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 görölse de katman genellikle açık ve bulutsuzdur.

28 km'nin üzerinde sıcaklık artmaya başlar ve 50 km yükseltide  $10^{\circ}\text{C}$ '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 hâlinindedir. 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 (Tablo 1.2.).

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

**Tablo 1.2: 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. Bunların en önemlileri otomobil sanayi ve inşaat mühendisliği alanlarıdır. Yeni geliştirilen bir otomobil modelinin, ekonomiklik şartını sağlayabilmesi az yakıt sarfiyatıyla mümkündür. Bunun için model, rüzgâr tüneline denerek 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 sahalarına 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. 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.

## UYGULAMA FAALİYETİ

Uluslararası Standart Atmosfer (ISA) birimlerini aerodinamik hesaplamalarda kullanınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Hava standartlarını inceleyiniz.</li><li>➤ 5000 m yükseklikteki sıcaklık ve basıncı bulunuz.</li><li>➤ Havayı oluşturan gazları tespit ediniz.</li><li>➤ Aerodinamik uygulamaları sınıflandırınız.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Havanın; yükseklik değişimi sonucu sıcaklık, basınç, yoğunluk değişimlerini inceleyiniz.</li><li>➤ Bkz. “Tablo1.1”</li><li>➤ Bkz. “Tablo1.2”</li><li>➤ Aerodinamiği, kullanılış sahalarına ve akım hızlarına göre sınıflandırınız.</li></ul>

### KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız becerileri Evet, kazanamadığınız becerileri Hayır kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
Hava standartlarını incelediniz mi?		
Sıcaklık, basınç, yoğunluk değişimlerini gözlemlediniz mi?		
Değişik yüksekliklerdeki sıcaklık ve basınçları tespit ettiniz mi?		
Havayı oluşturan gazları ilgili tablolardan tespit ettiniz mi?		
Kullanılış sahalarına göre aerodinamik uygulamaları sınıflandırdınız mı?		
Akım hızlarına göre aerodinamik uygulamaları sınıflandırdınız mı?		

### DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıda verilenlerden Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı'nın atmosfer standartına göre havanın özelliklerinden hangisi yanlıştır?  
A) Sıcaklık deniz seviyesinde 15 °C'dir.  
B) Basınç, deniz seviyesinde 760 mm cıva (14,7 PSI) sütunudur.  
C) Yoğunluk: 1.225 kg/m<sup>3</sup> dür.  
D) Deniz seviyesinden itibaren –56,5 °C'a kadar her 1 metrede sıcaklık 0,0015 °C azalır.
2. 8000 m yükseklikteki sıcaklık kaç derecedir?  
A) -37 °C                      B) -23 °C                      C) 37 °C                      D) 23 °C
3. Troposfer tabakasında deniz seviyesinden yukarıya doğru çıkıldıkça sıcaklık, basınç ve yoğunluk nasıl değişir?  
A) Sıcaklık artar  
B) Yoğunluk artar  
C) Basınç artar  
D) Sıcaklık, basınç ve yoğunluk azalır
4. Havayı oluşturan maddelerin içerisinde oranı en fazla olan madde hangisidir?  
A) Oksijen  
B) Azot  
C) Hidrojen  
D) Kükürt
5. Hacim itibariyle cismin dış hacminin akıma maruz kaldığı durumları inceleyen bilim dalına ne denir?  
A) İç aerodinamik  
B) Geniş aerodinamik  
C) Dış aerodinamik  
D) Dar aerodinamik
6. Ses hızı seviyelerindeki akımlara ne denilmektedir?  
A) Subsonic  
B) Hypersonic  
C) Transonic  
D) Supersonic

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.





# ÖĞRENME FAALİYETİ-2

## AMAÇ

Tekniğine uygun olarak Bernoulli Teoremi ile ilgili hesaplamaları hatasız yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Kütüphanelerden veya internetten yararlanarak akışkanlar dinamiği ile ilgili olan konuları araştırınız. Laboratuvarında deney yaparak çalışmalarınızı rapor hâline getiriniz. Hazırlamış olduğunuz raporu sınıfta sununuz.

## 2. AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ

### 2.1. Spesifik Gravite ve Yoğunluk

Yoğunluk; belli bir hacim içerisinde yer alan madde miktarıdır ve

$$\text{Yoğunluk } (\rho) = \frac{\text{kütle}(m)}{\text{hacim}(V)} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{şeklinde ifade edilir.}$$

Örneğin;  $250 \text{ m}^3$  bir hacme sahip odadaki havayı düşünelim. Odadaki havanın kütlesi  $306,25 \text{ kg}$  ve hava oda içinde homojen olarak dağılmış ise oda içindeki havanın yoğunluğu;

$$\rho = 306,25 / 250$$
$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3 \text{ dür.}$$

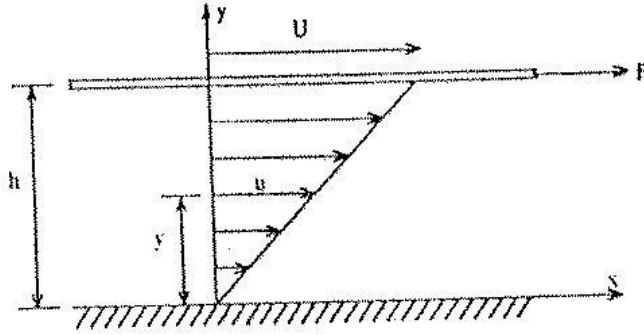
Deniz seviyesinden yukarıya doğru çıkıldığında yer çekimi gücü azaldığından maddenin ağırlığı azalmaktadır. Bundan dolayı aynı hacimdeki bir maddenin farklı yüksekliklerde farklı yoğunluğu bulunmaktadır.

Spesifik gravite (özgül ağırlık); bir maddenin yoğunluğunun, suyun yoğunluğuna oranıdır. Kütle birimi olan  $1 \text{ kg}$ ; deniz seviyesindeki  $+4 \text{ C}^\circ$  sıcaklıktaki  $1 \text{ litre}$  ( $1 \text{ dm}^3$ ) saf suyun ağırlığı olarak tanımlanmaktadır. Dolayısı ile suyun yoğunluğu  $1 \text{ kg/dm}^3$  tür. Buna göre özgül ağırlığı  $2$  olan bir mineral, aynı hacme sahip sudan iki kat daha ağırdır.

## 2.2. Viskozite, Sıvı Direnci, Akışkan Çizgilenmenin Etkileri

Viskozite; akışkan tabakalarının birbiri üzerinde kaymaya karşı gösterdikleri direncin bir ölçüsüdür. Akış hızının karşıtıdır. Örneğin, su düşük, bal yüksek viskoziteye sahiptir. Dinamik viskozite (veya mutlak viskozite) ve kinematik viskozite olmak üzere iki türlü viskozite değeri mevcuttur. Bunlardan mutlak viskozite değeri uygulamalarda kullanılır.

Bir akışkanın mutlak viskozitesi Couette deneyiyle ölçülür. Bu deneyde viskozitesi ölçülecek akışkan, birbirine çok yakın ve paralel konumdaki iki levha arasında göz önüne alınır.



Şekil 2.1: Couette deneyi

Levhalarından biri sabit tutulurken (alttaki) diğeri  $U$  hızı ile hareket ettirilir. Hareket eden levha ile temas hâlindeki akışkan zerreleri bu levha ile aynı hızda hareket ederken durmakta olan levha üzerindeki zerreler hareketsizdirler. Aradaki akışkan zerreleri de;

$$u = \frac{U}{h} y \quad \text{şeklinde lineer bir hız dağılımı gösterirler.}$$

Hareket eden levhanın birim yüzeyine etki eden  $F/A$  sürtünme kuvveti, levhanın  $U$  hızı ile doğru orantılı, levhalar arasındaki  $h$  uzaklığı ile ters orantılıdır.

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{U}{h}$$

Buradaki “ $\mu$ ” orantılı sabiti mutlak viskozite katsayısıdır. Bir gazın viskozitesi sıcaklık ile artarken bir sıvının viskozitesi sıcaklık ile azalır. Akışkanın kaymaya karşı gösterdiği direnç, akışkanın molekülleri arasındaki bağ kuvvetine akışkanın moleküller momentum transferine bağlıdır. Bir sıvının molekülleri birbirine bir gazıkinden çok daha yakın bulunmaktadır ve sıvının molekülleri arasındaki bağ kuvvetleri gazıkinden çok daha büyüktür. Bir sıvıda moleküller arasındaki bağ kuvveti sıvının viskozluğu üzerinde en etkin faktördür ve moleküller arasındaki bağ kuvvetleri sıcaklıkla azaldığı için sıvının viskozitesi de azalacaktır. Diğer taraftan bir gaz çok zayıf moleküller bağ kuvvetine sahiptir. Gazlarda moleküller hareket, kayma gerilmesinde, bağ kuvvetlerine göre çok daha önemli bir artış yaratır ve böylece sıcaklık ile moleküller hareket artınca, gazın viskozitesi de sıcaklık ile artar.

## 2.3. Sıvıların Sıkıştırılma Etkileri

Maddenin sıvı hâli, belirli bir şekle sahip değildir. Sıvılar akışkan olduklarından buldukları kabın şeklini alırlar. Sıvı hâlde atom veya moleküller katılardan daha düzensiz olup tanecikler arası boşluklar katılardan daha fazladır. Sıvıların sıkıştırılmaları gazlara oranla çok daha zordur; fakat sıvılar sıkıştırılabilir. Bu nedenle genellikle iş makineleri vb. gibi güç istenilen yerlerde sıvıların sıkıştırılma etkilerinden yararlanılmaktadır. Bununla birlikte sıkışan bir sıvı üzerinde basınç ve sıcaklık doğru orantılı olarak artar.

## 2.4. Statik, Dinamik Ve Toplam Basınç: Bernoulli Teoremi, Venturi

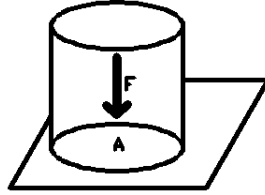
Basınç; birim yüzeye etki eden kuvvet miktarıdır ve p (pressure-basınç) harfi ile gösterilir.

$$p = \frac{F}{A}$$

P= Basınç (Pa) (1 pascal=1N/1m<sup>2</sup>) (1 bar=10<sup>5</sup> pa)

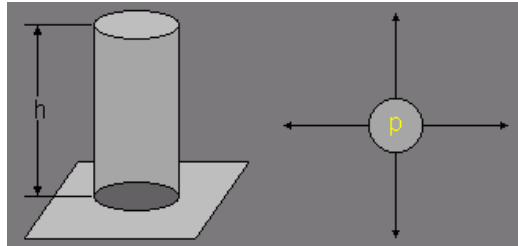
F= Kuvvet (N)

A= Alan (m<sup>2</sup>)



Şekil 2.2: Basınç oluşumu

Statik basınç; akışkanların buldukları kabın tabanına uyguladığı basınçtır.



Şekil 2.3: Statik basınç.

$$p = h \rho g$$

P : Statik basınç

h : sıvının yüksekliği

$\rho$  : yoğunluk

g : yerçekimi ivmesi

Dinamik basınç; akışkanın hareketi yönünde oluşan basınçtır.



Şekil 2.4: Dinamik basınç

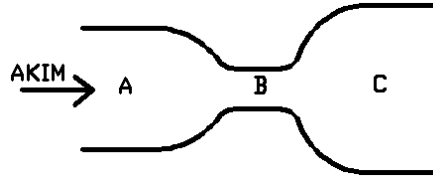
$$q = \frac{1}{2} (\rho V^2)$$

q : Dinamik basınç

$\rho$  : Yoğunluk

V : Sıvının hızı

Bir venturi borusunun her kesitinde akan akışkanın statik basıncı ile dinamik basıncı toplamı sabittir.



Şekil 2.5: Venturi borusu

$$p_A + q_A = p_B + q_B = p_C + q_C$$

$$V_B > V_A > V_C$$

$$q_B > q_A > q_C$$

$$p_B < p_A < p_C$$

Venturi borusunun her bir kesitinde birim zamanda geçen akışkan kütlesi yani debisi (Q) sabittir ve  $Q_A = \rho V_A A_A = Q_B = \rho V_B A_B = Q_C = \rho V_C A_C$  şeklinde ifade edilir. Boru içerisinde geçen akışkanın yoğunluğu ( $\rho$ ) her kesitte aynı olacağından  $V_A A_A = V_B A_B = V_C A_C$  eşitliği elde edilir. Bu eşitliğe “süreklilik kuralı” denir.

**Örnek:** Su taşıyan bir boru hattında, 1 kesitinde hız 3.0 m/sn ve çap ise 2.0 m’dir. 2 kesitinde çap 3.0 m olduğuna göre bu kesitteki hızı bulunuz.

**Çözüm:**

Süreklilik denklemi, 1 ve 2 kesitlerine uygulanacak olursa:

$$V_A A_A = V_B A_B$$

$$3(\pi 2^2/4) = V_B(\pi 3^2/4) \rightarrow V_B = 1.33 \text{ m/sn'dir.}$$

## UYGULAMA FAALİYETİ

Tekniğine uygun olarak Bernoulli Teoremi ile ilgili hesaplamaları hatasız olarak yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Kütle, 10 kg; hacmi, 1 m<sup>3</sup> olan bir cismin yoğunluğunu hesaplayınız.</li><li>➤ Geniş kesitte akan bir sıvının basıncı (p) ve hızı (V), dar kesitte nasıl değişir.</li><li>➤ Bir boru hattında, 30 cm çapındaki kesitinde akan akışkanın hızı 1m/sn ise 15 cm çapındaki kesitinde hızını hesaplayınız.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Yoğunluk=Kütle/Hacim formülünü kullanınız.</li><li>➤ Bkz. venturi borusunda akım özellikleri.</li><li>➤ Süreklilik denklemini kullanınız.</li><li>➤ (<math>V_A A_A = V_B A_B</math>)</li></ul>

## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız becerileri Evet, kazanamadığınız becerileri Hayır kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Kütle,10 kg; hacmi,1 m <sup>3</sup> olan bir cismin yoğunluğunu Yoğunluk=Kütle/Hacim formülünü kullanarak hesapladınız mı?		
2. Geniş kesitte akan bir sıvının basıncı (p) ve hızı (V), dar kesitte nasıl değişeceğini, venturi borusunda akım prensiplerine göre tespit ettiniz mi?		
3. 30 cm çapındaki kesitinde akan akışkanın hızı 1m/sn ise, 15 cm çapındaki kesitinde hızını, süreklilik denklemini kullanarak hesapladınız mı?		

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Belli bir hacim içersinde yer alan madde miktarına ..... denir.
2. Bir maddenin yoğunluğunun, suyun yoğunluğuna oranına ..... denir.
3. Akışkan tabakalarının birbiri üzerinde kaymaya karşı gösterdikleri direncin bir ölçüsüne.....denir.
4. Birim yüzeye etki eden kuvvet miktarına ..... denir.
5. Bir akışkan hattında değişen kesit nedeni ile ..... basınç artıyorsa ..... basınç azalır.

### DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-3

## AMAÇ

Aerodinamik terimleri tekniğine uygun olarak kavrayarak doğru olarak tanımlayabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Uçak aerodinamiği ve uygulama prensipleri konusunda araştırma yapınız. Edindiğiniz bilgileri sınıf ortamında arkadaşlarınıza sununuz.

## 3. ATMOSFER FİZİĞİ

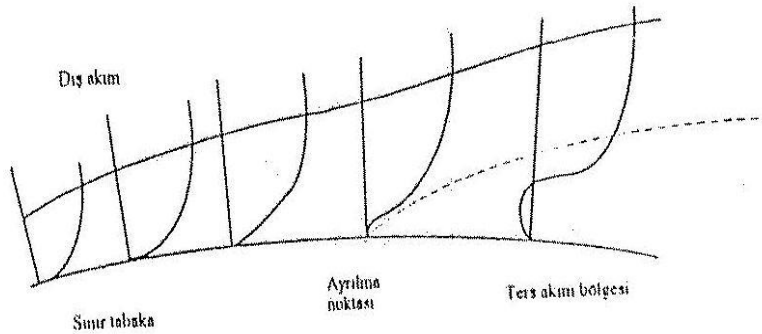
### 3.1. Aerodinamik

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.

### 3.2. Bir Cisim Etrafındaki Hava Akışı

#### 3.2.1. Sınır Tabakası

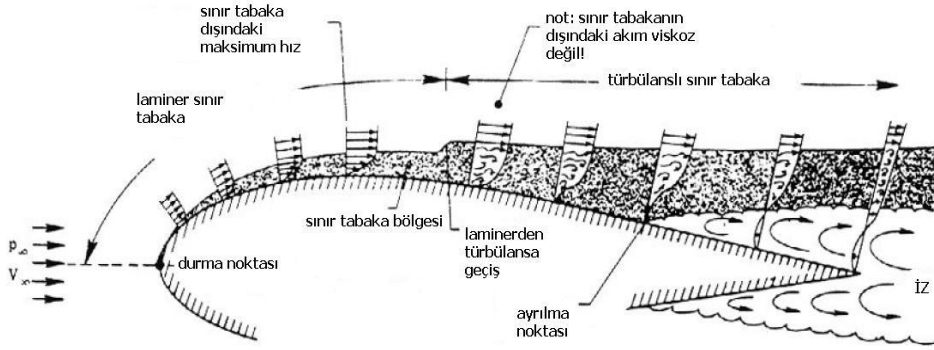
Bir airfoil yapının üzerinden geçen hava akımının yüzeye tutunmaya çalışan hava liflerine “sınır tabakası” denir. Sınır tabakası özellikle kanat üzerinde çok önemlidir. Çünkü uçağı kaldırmaya çalışan kuvvetin oluşumunu sağlayacak olan kanat üzerindeki ve altındaki basınç farkının yaratılmasında sınır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



### Şekil 3.1: Sınır tabakası

#### 3.2.2. Laminer ve Türbülanslı Akışlar

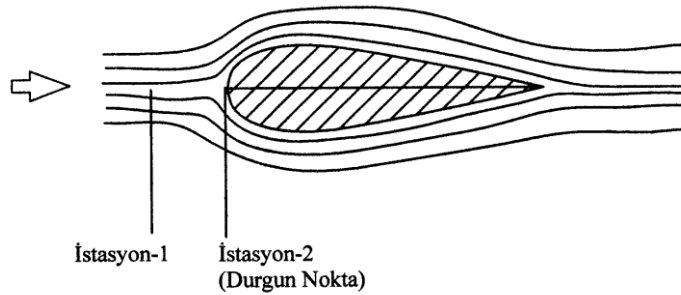
Bir akış sırasında akışkanın molekülleri birbirine paralel katmanlar şeklinde hareket ediyor ve birbirleri ile çarpışmıyor ve düzenli bir akış varsa bu akım türüne “laminer akış”, şayet düzensiz ve akım katmanları birbirine karışmış vaziyette bir akış varsa bu akım türüne de “türbülanslı akış” denir.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



Şekil 3.2: Kanat üzerinde laminer ve türbülanslı akış

#### 3.2.3. Serbest Akış Hüzmesi

Serbest hava akımı, hava fileleri şeklinde gösterilebilir (Şekil 3.3). Hava filelerinin birbirine yaklaştığı noktalarda lokal hız hava akış hızından fazla, hava filelerinin birbirinden uzaklaştığı noktalardaki lokal hava hızı hava akış hızından düşüktür.



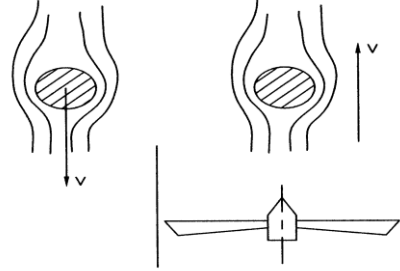
Şekil 3.3: Belirli yönde serbest akım

#### 3.2.4. Bağlı Hava Akışı

Aerodinamik tanımından yola çıkarak hava içerisinde hareket eden cisimlerin etrafındaki olayları veya sabit bir cisim etrafındaki hava hareketi nedeniyle meydana gelen



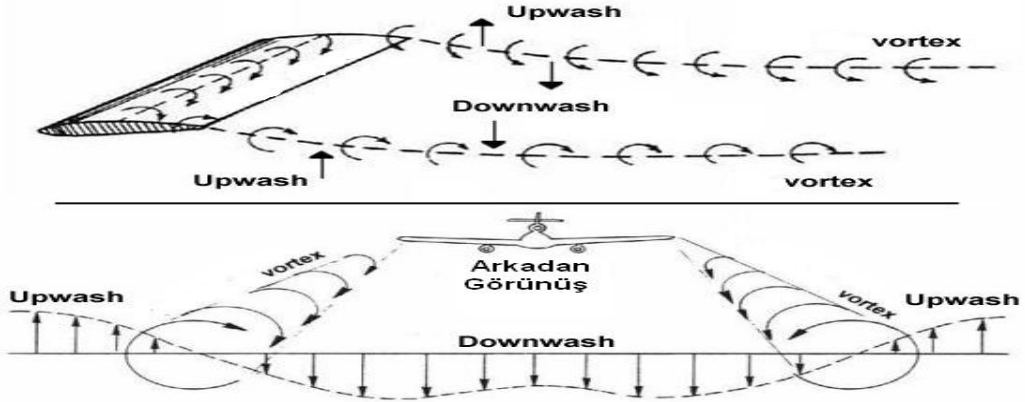
olayları ya da bu ikisinin birleşimi şeklinde, hareket eden bir cismin etrafında yine hava hareketi ile bir takım olaylar meydana gelir. Verilen bir harekette, hareketli cisim veya sistem durdurulup bütün çevresi aynı hızla ve ters yönde harekete geçirilirse, aynı hareket şartları elde edilir.



Şekil 3.4: Bağlı hava akımı

### 3.2.5. Upwash ve Downwash

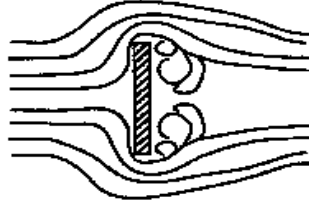
Upwash, hava akımının yukarı doğru yönlenmesi, downwash ise hava akımının aşağıya doğru yönlenmesidir. Hava kanatın üstünden ve altından akmakta olup üst taraftan içeri yönde dış taraftan dışarı yönde akış olmaktadır. Firar kenarı boyunca iç ve dış yönde akan akımlar karşılaşmakta ve firar kenarında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



Şekil 3.5: Kanat üzerinde hava akımı olayları

### 3.2.6. Vortisler

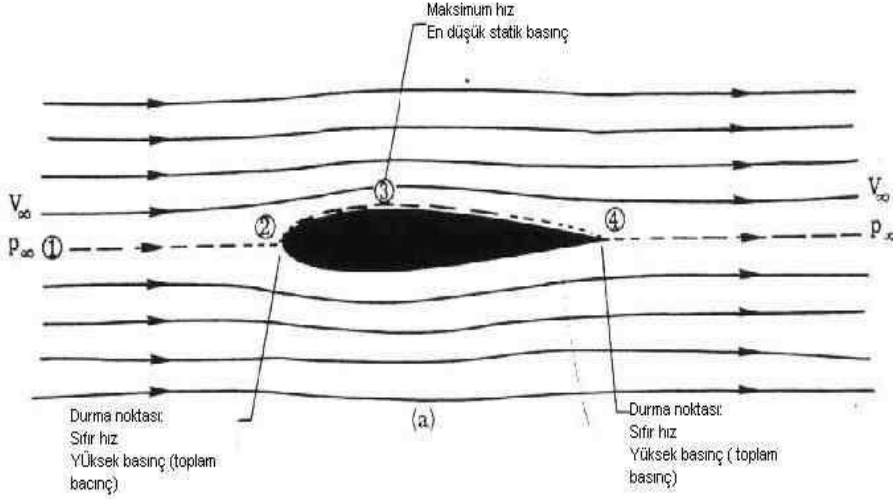
Düzgün bir airfoil yapıya sahip olmayan cisimlerin üzerinde vortis (girdap) şeklinde daimi olmayan bir hava akımı oluşur. Bu akıma iyi bir örnek olarak küt cisimlerin arkasındaki akım alanlarını göstermek mümkündür.



**Şekil 3.6: Vortis oluşumu**

### 3.2.7. 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 “durgunluk noktası (stagnation point)” denir.



Şekil 3.7: Akış durma noktası

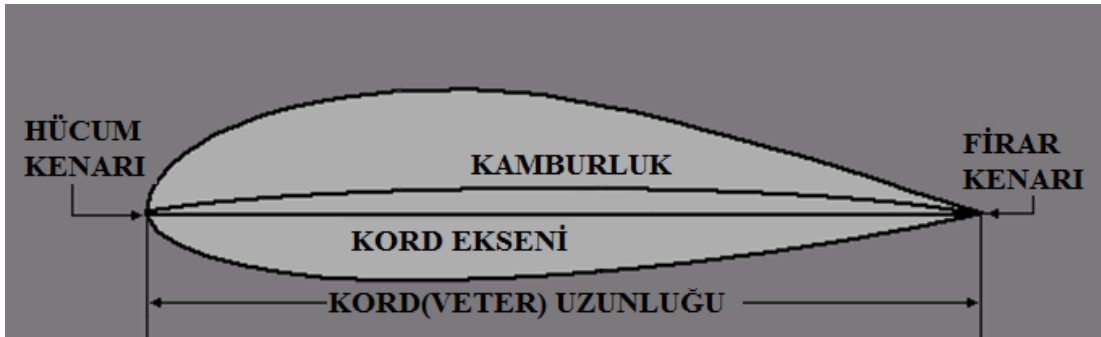
## 3.3. Aerodinamik Terimleri

### 3.3.1. Camber (Kamburluk)

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

### 3.3.2. Chord (Veter uzunluğu)

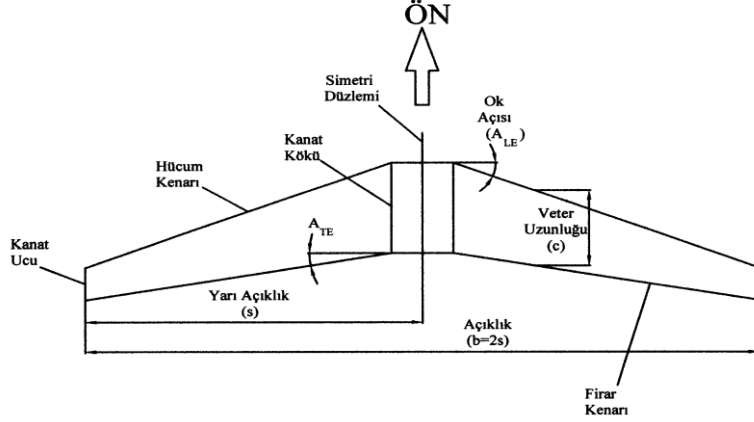
Kanadın, gövde simetri düzlemine paralel olarak alınmış herhangi bir kesitinin hücum kenarını firar kenarına birleştiren doğrunun uzunluğudur.



Şekil 3.8: Camber (kamburluk) ve chord uzunluğu

### 3.3.3. Ortalama aerodinamik chord

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



Şekil 3.9: Ortalama veter uzunluğu

### 3.3.4. Kanat yapısı ve aspect (açıklık) oranı

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.

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

Denklemden;

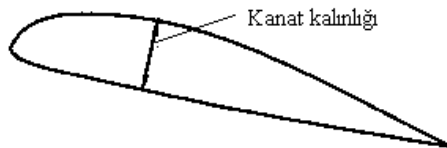
$b$  = Kanat Açıklığı

Ve

$c_{\text{ort}}$  = Ortalama Veter'dir

### 3.3.5. İncelik oranı

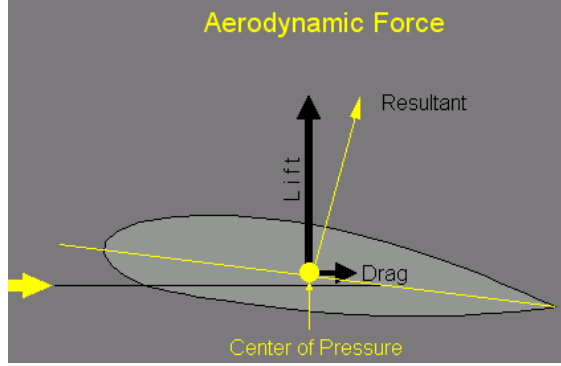
Veter boyunca çeşitli noktalarda profil alt yüzeyi ile üst yüzeyi arasındaki en büyük uzaklıkların (kalınlıkların) yani en büyük kanat kalınlığının veter uzunluğuna oranı olarak tanımlanır.



Şekil 3.10: Kanat kalınlığı

### 3.3.6. Basınç Merkezi

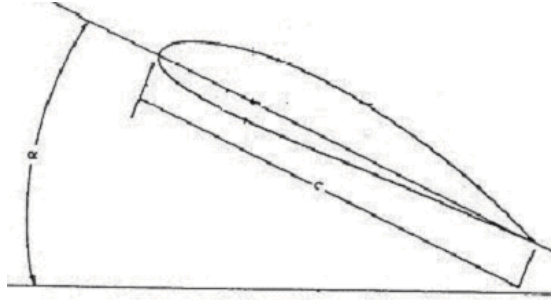
Yunuslama (öne-arkaya salınım) momentinin sıfır olduğu aerodinamik kuvvetlerin uygulama noktasıdır.



Şekil 3.11: Basınç merkezi

### 3.3.7. Hücüm açısı

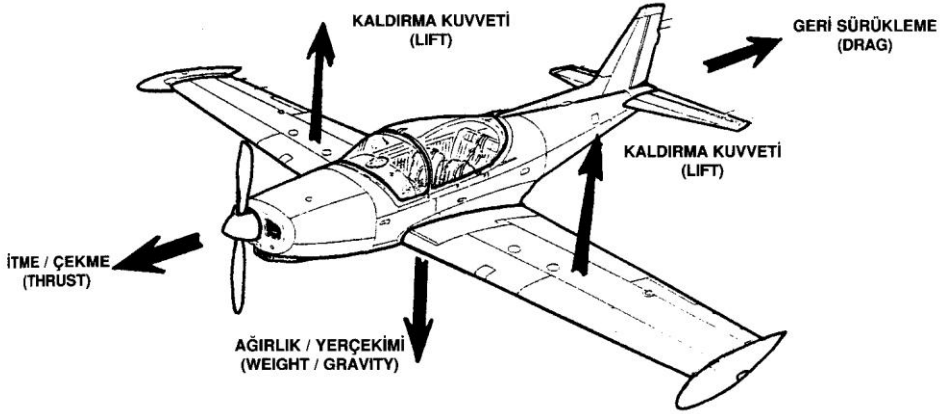
Kanat veteri (chord ekseni) ile hava akış doğrultusu arasındaki açıdır.



Şekil 3.12: Hücüm açısı ( $\alpha$ )

### 3.3.8. Çekiş (Trust)

Motor tarafından sağlanan egzoz çıkışına tam ters yöndeki uçağı ileriye doğru gitmesini sağlayan kuvvettir.



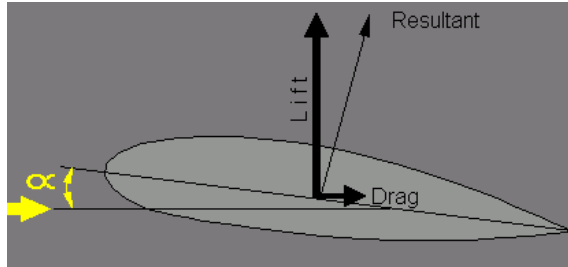
Şekil 3.13: Uçağa etkiyen dört ana kuvvet

### 3.3.9. Ağırlık(Gravity)

Uçak kütesinin, yerçekimi etkisiyle düşey doğrultuda aşağıya doğru meydana getirdiği kuvvettir.

### 3.3.10. Aerodinamik Bileşke

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



Şekil 3.14: Aerodinamik bileşke kuvvet

Aerodinamik kuvvetler ile ilgili bir eşitlik çözülrken, 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 ( $\rho$ )
- Profilin kapladığı alan - Kanat alanı ( $S$ )
- Profil yüzeyini şekli
- Hücum açısı ( $\alpha$ )
- Viskozite etkileri ( $\mu$ )

➤ Sıkıştırılabilirlik özellikleri

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;

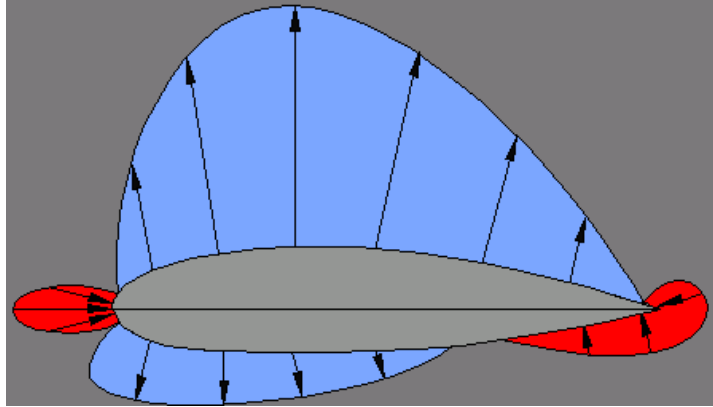
AF = Aerodinamik kuvvet (kg)

V = Havanın hızı (m/sn)

$\rho$  = Hava yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

S = Kanat alanı ( $\text{m}^2$ )

$C_F$  = Aerodinamik kuvvet katsayısı



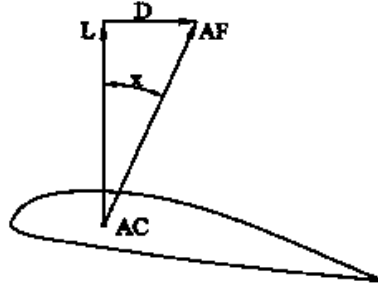
Şekil 3.15: Kanat üzerindeki basınç dağılımı

### 3.3.11. Kaldırma (lift)

Aerodinamik bileşke kuvvetin, kanat yüzeyine dikey olan bileşkesidir. Uçağın havada tutunabilmesini sağlayan kuvvettir.

### 3.3.12. Sürüklenme (drag)

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



Şekil 3.16: Lift ve drag bileşenleri

- **Hücum açısı:** Hücum 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.
- **Kaldırma (lift) katsayısı:** Bir airfoil yapının matematiksel olarak hesaplanan lift kuvveti ile rüzgâr tüneline ölçülen lift kuvveti arasında farklılık vardır. Lift kuvvetini hesaplariken bu farklılığı göz önüne almak için hesaplamalarda kaldırma kuvveti katsayısı ( $C_L$ ) kullanılır.

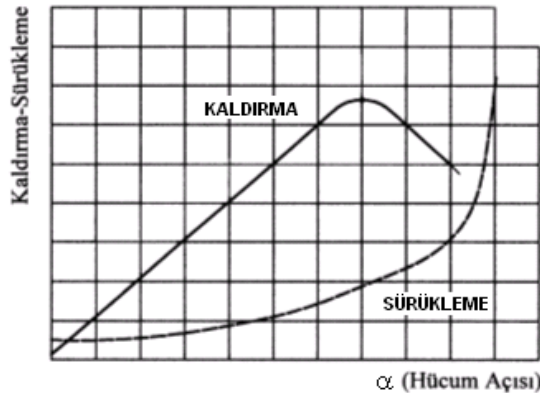
$C_L = \text{Rüzgâr tüneline ölçülen lift} / \text{Teorik olarak hesaplanan lift}$

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

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

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

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

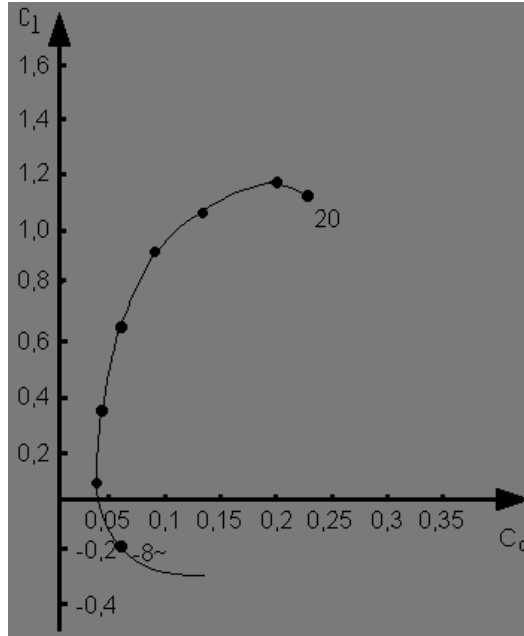


Şekil 3.17: Sürüklenme ve kaldırma kuvveti katsayılarının hücum açısı ile değişimi



### 3.3.13. Kutupsal Eğim

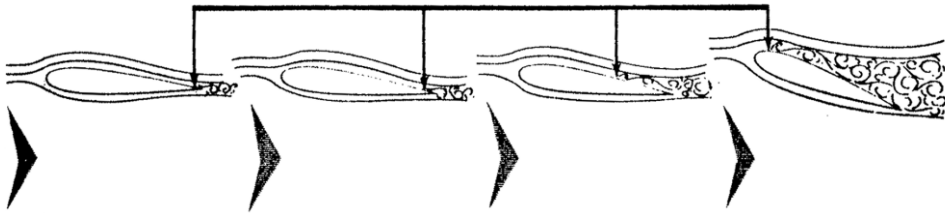
Kutupsal eğim; kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri katsayılarının birlikte gösterildiği polar diyagramdır.



Şekil 3.18:  $C_L$  ve  $C_D$ 'nin polar diyagramı

### 3.3.14. Stall

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



3.19: Stall'un oluşması

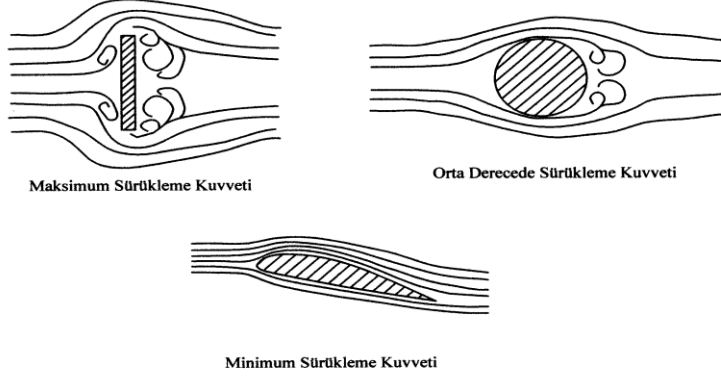
Şekil

### 3.3.15. Parazit Drag

Havanın düzgün akışına engel olacak yapısal dizayn parasite (parazit) drag meydana getirebilmektedir.

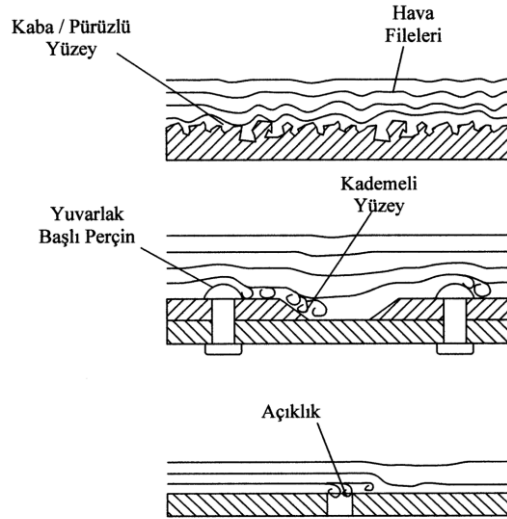
Parasite drag üç farklı şekilde meydana gelebilir. Bunlar:

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



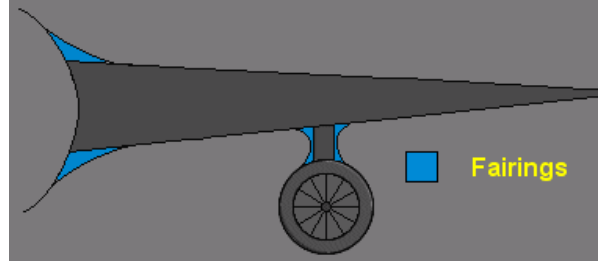
**Şekil 3.20: Form (şekil) drag**

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



**Şekil 3.21: Friction drag**

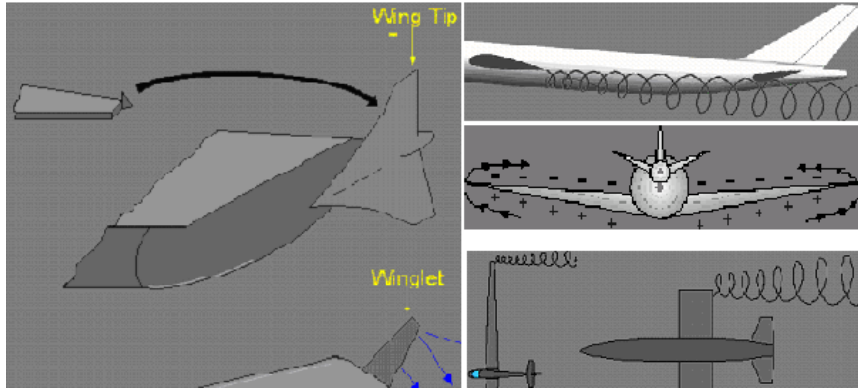
- İnterference (engel) drag: Uçağın dış yüzeyinden geçen hava akımı keskin köşelerden, birbirine yakın komponentlerin olduğu yerden ve fairing (kaporta) yüzeylerinden geçerken oluşan sürüklemeye “engel sürüklemesi” denir.



Şekil 3.22: İnterference drag

### 3.3.16. Induced Drag

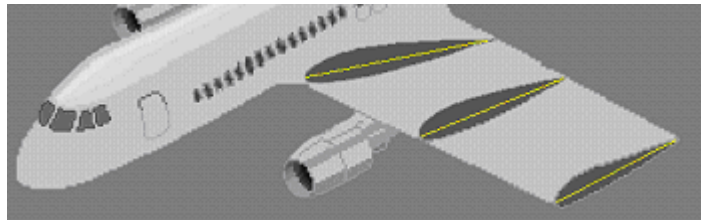
Induced drag (indüksiyon geri sürüklemesi); düşük aspect ratio (kanat açıklık oranı), düşük hızlarda kaldırma kuvvetini arttırmak için verilen fazla hücum açısının yarattığı türbülanslı akış ve vortisler ile kanat alt yüzeyindeki yüksek statik basınca sahip havanın kanat üst yüzeyine geçme eğiliminden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



Şekil 3.23: İnduced drag oluşumları

### 3.3.17. Wash İn ve Wash Out

Kanat hücum açısının kanat uçlarına doğru büyümesi olayına “wash in” ve kanat hücum açısının kanat uçlarına doğru küçülmesi olayına “wash out” denir. Genelde kanatlar wash out olarak tasarlanır.



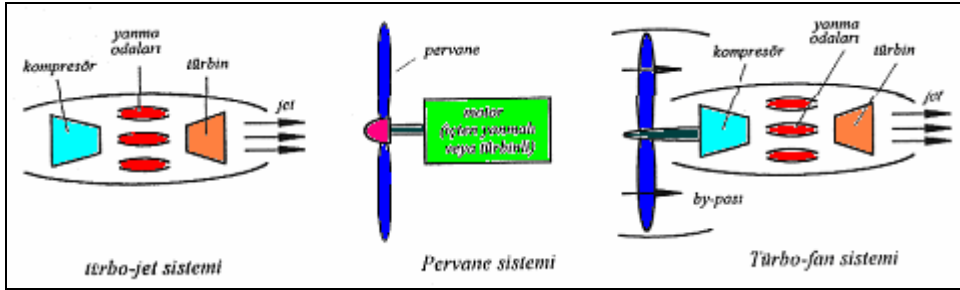
Şekil 3.24: Wash out kanat yapısı

### 3.4. Döner Kanat Aerodinamiği

#### 3.4.1. Terimler

Bir uçağı ileri doğru çeken kuvvet akışkan kütesinin geriye doğru, momentumun artırılarak sevk edilmesi suretiyle elde edilir. Sözü edilen momentumun artımı genellikle:

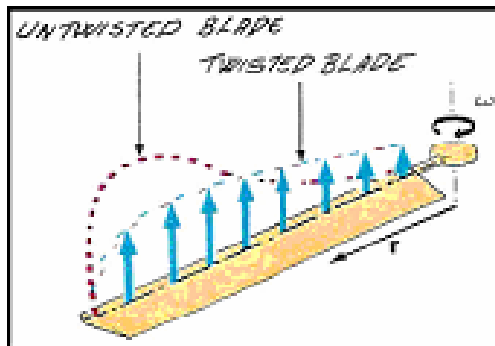
- Bir turbojet motorunda havanın önce sıkıştırılıp sonra ısıtılarak genişletilmesiyle,
- Bir pervane ile havanın geriye doğru hızlandırılmasıyla,
- Modern, yüksek by-pas'lı turbojet motorlarında kısmen türbinde genişlemeyle ve kısmen de pervane ile hızlandırmak suretiyle elde edilir.



Şekil 3.25: Uçaklarda güç sistemleri

Pervane, içten yanmalı bir motorun veya türbinli bir motorun (turbo-prop) ürettiği mekanik enerjiyi, önündeki hava kitlesini uçağın hareket yönüne zıt yönde hızlandırmak suretiyle ileri doğru bir çekme kuvvetine dönüştürür.

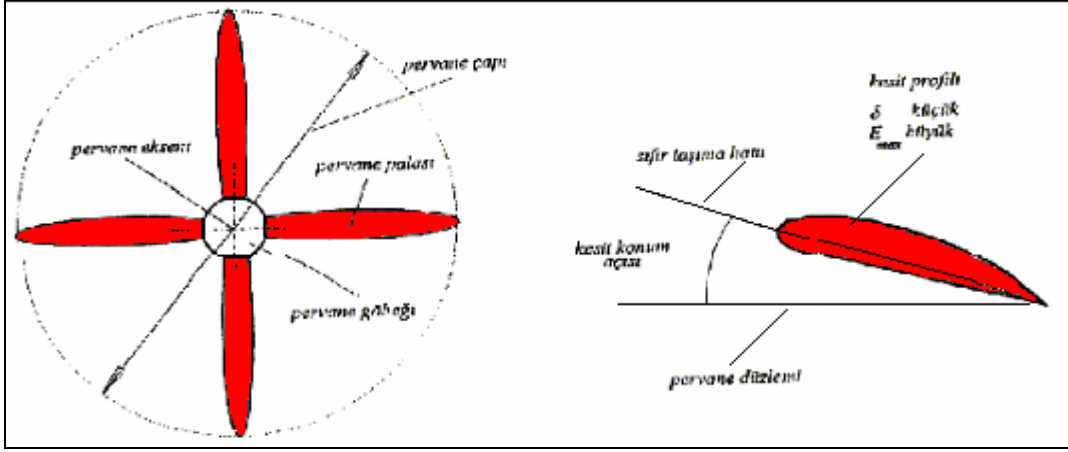
Pervane aslında düz veya burkulmuş bir kanat kesitidir (airfoil). Burkulmuş (twisted) olmasının ve uca doğru incelerek gitmesinin sebebi pervane boyunca düzgün dağılmış bir itme gücü oluşturmaktır. Çünkü pervanenin üzerinden akan hava akımı uç kısmında en yüksek hıza ulaşır. Bu durumda sabit kesitli bir pervane yüksek devirle kullanıldığında uç kısımlarda büyük sorunlara yol açar.



Şekil 3.26: Burkulmuş ve burkulmamış pal'de kaldırma kuvvetinin karşılaştırılması

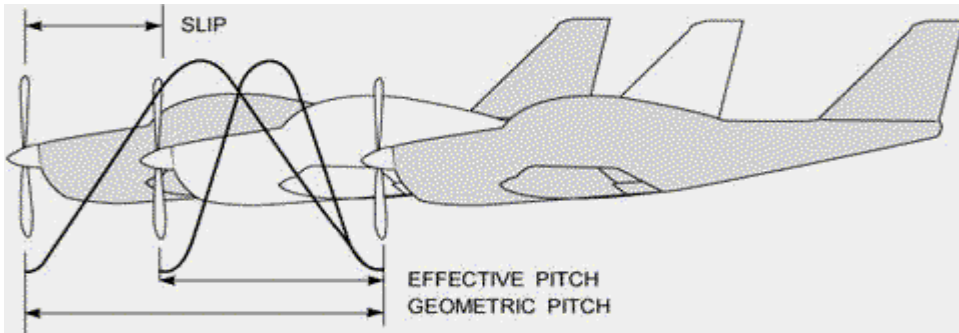
- Güç iletme şekline göre pervaneler;
  - Çekici Pervane: Uçakta thrust elde etmek için kullanılır. Bu tip pervaneler motorun önündedir. Motor sayısı ve motorun uçaktaki yerleşimine göre yerleri değişir.
  - İtici Pervane: Uçağa itme gücü aktarır. Bunlar motorun arkasındadır ve uçağın arka tarafına bakarlar. Bu tip pervane kullanılan uçaklarda motor gövde gerisinde ya da kanat firar kenarındadır.
- Hatve (pitch) özelliğine göre pervaneler;

Bir pervane göbeği etrafında eşit açısal aralıklarla konumlandırılmış ve blade (pal) adı verilen kanatçıklardan meydana gelir. Pervane iki veya daha fazla blade'in bir Hub'a monte edilmesinden oluşur. Hub'da blade'leri motor şaftına bağlar.



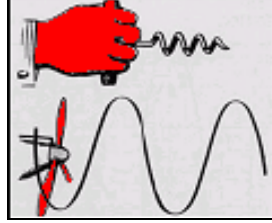
Şekil 3.27: Pervane geometrisi ve kesit profili.

Pervane pal'inin açıklığına dik bir düzlemlle kesilmesi suretiyle elde edilen kesit profilin veter'inin pervanesinin içinde döndüğü düzlemlle yaptığı açığa **kesit konum** açısı denir. Herhangi bir kesitindeki konum açısı sabit olan pervaneye sabit hatveli pervane, konum açısı değişen pervaneye ise değişken hatveli pervane adı verilir.



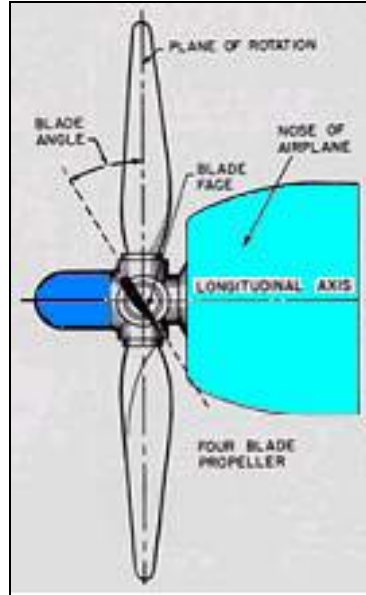
Şekil 3.28: Geometrik ve efektif pitch

- **Geometrik pitch:** Pervanenin, geri sürüklenme kuvveti dikkate alınmadığında bir tam dönüşünde alabileceği en fazla yoldur.
- **Efektif pitch:** Pervanenin geri sürüklenme kuvveti dikkate alındığında bir dönü hareketinde aldığı hakiki hatvedir.
- **Pervane yolu:** Pervanenin hareketiyle ortaya çıkan daire ve ileriye bükümlü olan vida adımına benzeyen yoldur.



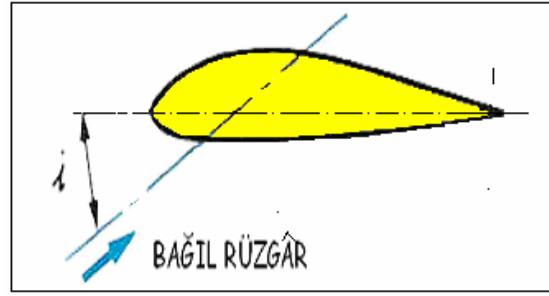
Şekil 3.29: Pervane yolu

Blade elemanları airfoil biçimde yan yana birleşerek blade airfoilini oluştururlar. Blade açısı blade yüzeyi ve dönüş düzlemi arasındaki açıdır. Blade açısı blade başından sonuna kadar aynı değildir. Bu elemanlar farklı hücum açılarında dönüş düzlemine yerleştirilmişlerdir. Blade elemanları farklı açılarda yerleştirilirler. Çünkü blade'ler yol aldıkça çeşitli kısımlardaki hız değişiktir. Blade'in iç bölümü dışına göre daha yavaş hareket eder. Eğer bütün elemanlar bir blade boyunca aynı açısında ise bağıl rüzgâr (relative wind) bu elemanlara aynı hücum açısıyla çarpmayacaktır. Blade parçalarının her biri yüksek hızda döndüğü zaman blade'lerin en iyi hücum açısında en iyi thrust yaratabilmeleri için dizayn edilirler.



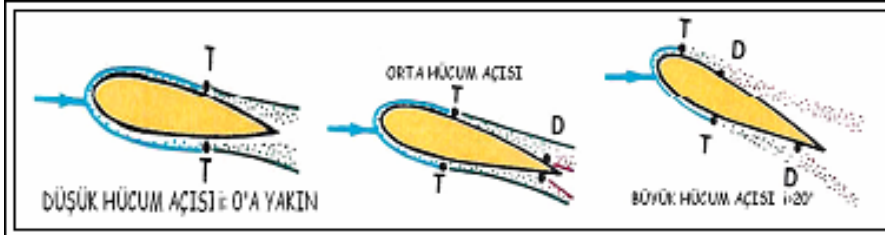
Şekil 3.30: Pal açısı

- **Hücum açısı (angle of attack);** kord hattıyla bağıl rüzgârın yönü arasındaki açıdır.



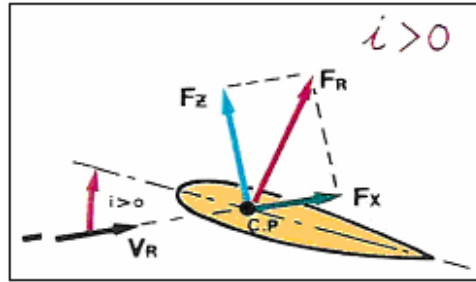
Şekil 3.31: Hücum açısı ( $i$ ).

Hücum açısı arttığı zaman değişme noktası T ve ayrılma noktası D hücum kenarına doğru kayar (Şekil 3.32).



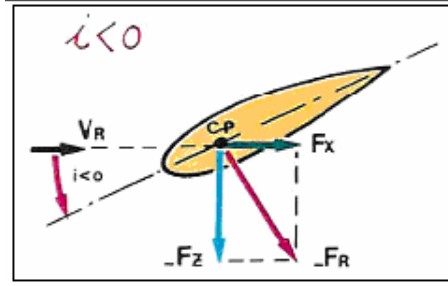
Şekil 3.32: Hücum açısındaki değişim

Belirli hücum açısından sonra kritik akış bölgesi başlar, sınır tabakası ayrılır ve aerodinamik kuvvet ( $F_R$ ) keskin bir şekilde azalır.



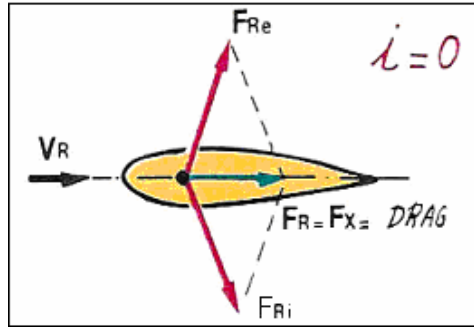
Şekil 3.33: Pozitif hücum açısında aerodinamik kuvvet ( $F_R$ ) oluşumu

Eğer hücum açısı negatifse olay tersine döner.  $F_R$  aşağı doğrudur ve kanat profili bu kuvvetle aşağı doğru çeker.



**Şekil 3.34: Negatif hücum açısında aerodinamik kuvvet ( $F_R$ ) oluşumu**

Hücum açısı eğer sıfır olursa, akış alt ve üst yüzeyde simetriktir (simetrik kanat profilinde). Alt ve üst yüzeyde basınç kuvvetleri eşittir. Bu durumda aerodinamik kuvvet ( $F_R$ ), akıma paraleldir. Bu sürüklemedir ve kaldırma yoktur.



**Şekil 3.35: Sıfır derece hücum açısında aerodinamik kuvvet ( $F_R$ ) oluşumu**

Pervane, motor şaftına bağlar. Motor arızasında, pervane bir kavramayla motordan ayrılır ve şayet kumandalar çalışıyorsa “free-wheeling” denilen pervanenin serbest dönüşüyle süzülerek uygun bir yere güvenli bir iniş yapabilir.

### 3.4.2. Döngüsel, Ortak, Anti Tork Kumandalarının Çalışma ve Etkisi

Gerek tek motorlu pervaneli uçaklarda gerekse çok motorlu, tüm motorları ve pervaneleri aynı yönde dönen uçaklarda karşılaşılan bir yan etkidir tork. Örneğin bir uçağın burnunda saat yönünde dönen bir pervane ve motora karşılık Newton’un etki-tepki prensibiyle uçağın gövdesi de saat yönünde dönmek isteyecektir. Bu nedenle pervaneleri saat yönünde dönen uçaklarda sol kanadın gövdeye takılma açısı sağ kanada göre daha yüksektir. Bu da sol kanat da daha fazla taşıma kuvveti yaratarak uçağın pervane dönüş yönünün tersine anti tork kuvveti oluşturup sola doğru yatma eğilimini ortadan kaldırır.



## UYGULAMA FAALİYETİ

**Aerodinamik terimleri tekniğine uygun olarak kavrayarak doğru olarak tanımlayınız.**

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Uçağa etkiyen ana kuvvetleri belirleyiniz.</li><li>➤ Hücüm açısının artması sonucu kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri katsayılarının nasıl değiştiğini inceleyiniz.</li><li>➤ Stall'un meydana gelme sebeplerini inceleyiniz.</li><li>➤ Drag'ın meydana gelme sebeplerini inceleyiniz.</li><li>➤ Pervaneli uçaklarda, pale'lerin dönüş yönüne doğru uçağın yatmaması için ne gibi önlemler alındığını inceleyiniz.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Bkz. Şekil 3.13</li><li>➤ Bkz. Şekil 3.17</li><li>➤ Hücüm açısının fazla artırılması sonucu sınır tabakasının yüzeyden ayrılarak lift'in azalıp darg'ın arttığını tespit ediniz.</li><li>➤ Profil ve Induced drag oluşumlarının nedenlerini tespit ediniz.</li><li>➤ Uçağın, pale'lerin dönüş yönüne doğru yatmaması için sol ve sağ kanatların montaj açılarının farklı olduğunu tespit ediniz.</li></ul>

## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız becerileri Evet, kazanamadığınız becerileri Hayır kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Uçağa etkiyen ana kuvvetleri Şekil 3.13'te verilen bilgiler ışığında belirlediniz mi?		
2. Hücum açısının artması sonucu kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri katsayılarının nasıl değiştiğini Şekil 3.17'de verilen bilgiler ışığında incelediniz mi?		
3. Stall'un meydana gelme sebepleri olarak hücum açısının fazla arttırılması sonucu sınır tabakasının yüzeyden ayrılarak lift'in azalıp drag'ın artması olduğunu tespit ettiniz mi?		
4. Drag'ın meydana gelme sebepleri olarak Profil ve Induced drag oluşumlarının etkilerini tespit ettiniz mi?		
5. Pervaneli uçaklarda, pale'lerin dönüş yönüne doğru uçağın yatmaması için uçağın sol ve sağ kanatların montaj açılarının farklı olduğunu tespit ettiniz mi?		

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Bir airfoil yapının üzerinden geçen hava akımının yüzeye tutunmaya çalışan hava liflerine ..... denir.
2. Düzensiz ve akım katmanları birbirine karışmış vaziyette bir akış varsa bu akım türüne de ..... denir.
3. Kanat açıklığının ortalama veter değerine oranına ..... denir.
4. Kanat veteri (chord eksen) ile hava akış doğrultusu arasındaki açıya .....denir.
5. Hücum açısının artırılması belli bir noktadan sonra kanat üst yüzeyden geçen hava akımının türbülanslı akması ve sınır tabakasının airfoil yüzeyden ayrılması ile lift kuvvetinin azalması ve sürüklenme kuvvetinin artmasına neden olur. Bu durumun, uçağın havada tutunması ve düzgün bir seyrine engel olacak seviyeye gelmesi ile ..... meydana gelir.
6. Uçağın dış şeklinden kaynaklanan geri sürüklemeye ..... adı verilir.
7. Düşük aspect ratio (kanat açıklık oranı), düşük hızlarda kaldırma kuvvetini artırmak için verilen fazla hücum açısının yarattığı türbülanslı akış ve vortisler ile kanat alt yüzeyindeki yüksek statik basınca sahip havanın kanat üst yüzeyine geçme eğiliminden kaynaklanan sürüklemeye ..... denir.
8. Kanat hücum açısının kanat uçlarına doğru büyümesi olayına ..... ve kanat hücum açısının kanat uçlarına doğru küçülmesi olayına ..... denir.

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru “Modül Değerlendirme”ye geçiniz.

# MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı'nın atmosfer standartına göre havanın özellikleri nelerdir?  
A) Sıcaklık deniz seviyesinde 15 °C'tır  
B) Basınç, deniz seviyesinde 760 mm cıva (14,7 PSI) sütunudur.  
C) Yoğunluk: 1.225 kg/m<sup>3</sup> dür.  
D) Deniz seviyesinden itibaren -56,5 °C'a kadar her 1 metrede sıcaklık 0,0015 °C azalır.
2. 8000 m yükseklikteki sıcaklık kaç derecedir?  
A) -37 °C  
B) -23 °C  
C) 37 °C  
D) 23 °C
3. Troposfer tabakasında deniz seviyesinden yukarıya doğru çıkıldıkça sıcaklık, basınç ve yoğunluk nasıl değişir?  
A) Sıcaklık artar  
B) Yoğunluk artar  
C) Basınç artar  
D) Sıcaklık, basınç ve yoğunluk azalır
4. Havayı oluşturan maddelerin içerisinde oranı en fazla olan madde hangisidir?  
A) Oksijen  
B) Azot  
C) Hidrojen  
D) Kükürt
5. Hacim itibariyle cismin dış hacminin akıma maruz kaldığı durumları inceleyen kola ne denir?  
A) İç aerodinamik  
B) Geniş aerodinamik  
C) Dış aerodinamik  
D) Dar aerodinamik
6. Ses hızı seviyelerindeki akımlara ne denilmektedir?  
A) Subsonic  
B) Hypersonic  
C) Transonic  
D) Supersonic

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

7. Belli bir hacim içerisinde yer alan madde miktarına ..... denir.
8. Bir maddenin yoğunluğunun, suyun yoğunluğuna oranına ..... denir.
9. Akışkan tabakalarının birbiri üzerinde kaymaya karşı gösterdikleri direncin bir ölçüsüne.....denir.
10. Birim yüzeye etki eden kuvvet miktarına ..... denir.
11. Bir akışkan hattında değişen kesit nedeni ile ..... basınç artıyorsa ..... basınç azalır.
12. Bir airfoil yapının üzerinden geçen hava akımının yüzeye tutunmaya çalışan hava liflerine..... denir.
13. Düzensiz ve akım katmanları birbirine karışmış vaziyette bir akış varsa bu akım türüne de..... denir.
14. Kanat açıklığının ortalama veter değerine oranına ..... denir.
15. Kanat veteri (chord eksen) ile hava akış doğrultusu arasındaki açıya .....denir.
16. Hücum açısının artırılması belli bir noktadan sonra kanat üst yüzeyden geçen hava akımının türbülanslı akması ve sınır tabakasının airfoil yüzeyden ayrılması ile lift kuvvetinin azalması ve sürüklenme kuvvetinin artmasına neden olur. Bu durumun, uçağın havada tutunması ve düzgün bir seyrine engel olacak seviyeye gelmesi ile ..... meydana gelir.
17. Uçağın dış şeklinden kaynaklanan geri sürüklemeye ..... adı verilir.
18. Düşük aspect ratio (kanat açıklık oranı), düşük hızlarda kaldırma kuvvetini artırmak için verilen fazla hücum açısının yarattığı türbülanslı akış ve vortisler ile kanat alt yüzeyindeki yüksek statik basınca sahip havanın kanat üst yüzeyine geçme eğiliminden kaynaklanan sürüklemeye ..... denir.
19. Kanat hücum açısının kanat uçlarına doğru büyümesi olayına ..... ve kanat hücum açısının kanat uçlarına doğru küçülmesi olayına ..... denir.

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

# CEVAP ANAHTARLARI

## ÖĞRENME FAALİYETİ 1'İN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	A
3	D
4	B
5	C
6	C

## ÖĞRENME FAALİYETİ 2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	Yoğunluk
2	Özgül ağırlık
3	Viskosite
4	Basınç
5	Statik-dinamik

## ÖĞRENME FAALİYETİ 3'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	Sınır tabakası
2	Türbülanslı akış
3	Açıklık oranı
4	Hücum açısı
5	Stall
6	Şekil sürüklemesi
7	İndüksiyon geri sürüklemesi
8	Wash in/wash out

## MODÜL DEĞERLENDİRME'NİN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	A
3	D
4	B
5	C
6	C
7	Yoğunluk
8	Özgül ağırlık
9	Viskosite
10	Basınç
11	Statik-dinamik
12	Sınır tabakası
13	Türbülanslı akış
14	Açıklık oranı
15	Hücum açısı
16	Stall
17	Şekil sürüklemesi
18	İndüksiyon geri sürüklemesi
19	Wash in/wash out

## KAYNAKÇA

- JAMF SİMÜLASYON PROGRAMI,
- THY A.O. EĞİTİM AKADEMİSİ DERS NOTLARI