

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Aerodinamik

- 1.1.1 Aerodinamik nedir
- 1.1.2 Aerodinamiğin ilgi alanları
- 1.1.3 Aerodinamiğin inceleme tarzı
- 1.1.4 Aerodinamiğin ilgili bilim dalları arasındaki yeri

1.2. Birim, boyut

- 1.2.1 Birim ve Boyut
- 1.2.2 Birim Sistemleri, Temel Boyutlar ve Alışılmış Birimleri
- 1.2.2 SI Sistemi ve Diğer Sistemlerle Geçişler
- 1.2.2 Boyut Uyumu, Boyut Analizi

1.3. Akışkan özellikleri

- 1.3.1 Maddenin Halleri
- 1.3.2 Akışkanlar ve fiziksel özellikleri
- 1.3.3 Havanın standart şartlarda deniz seviyesindeki fiziksel özellikleri

1.4. Aerostatik

- 1.4.1 Hareketsiz akışkan ortamında basınç, Pascal kanunu
- 1.4.2 Hidro/Aero-statik taşıma (Buoyancy)
- 1.4.3 Basınçların ölçülmesi, manometreler
- 1.4.4 Atmosferin bileşimi ve yapısı, Standart atmosfer
 - 1.4.4.1 Troposfer için hesaplar
 - 1.4.4.2 Stratosfer için hesaplar
 - 1.4.4.3 İzafi yoğunluk
 - 1.4.4.4 Atmosferin diğer özellikleri
- 1.4.5 Aerostatik taşıma
 - 1.4.5.1 Denizaltı ve balonlarda hidro/aerostatik taşıma
 - 1.4.5.2 Uçaklarda aerostatik ve aerodinamik taşıma

1.1. Aerodinamik

1.1.1 Aerodinamik Nedir?

Aerodinamik, atmosfer içerisinde **yüksek hızla hareket eden cisimlerin ve yüksek hızdaki rüzgara maruz kalan hareketli ve hareketsiz cisimlerin**

- etrafında meydana gelen akım olaylarını inceleyen; bu cisimler üzerine hava ile temas nedeniyle etkiyen yükleri (kuvvet ve momentler) araştıran,
- istenilen kuvvet ve momentleri sağlayabilecek geometrileri tasarlayan

bir bilim dalıdır. Aerodinamiğin ilgilendiği problemleri genel olarak

- Analiz problemleri
- dizayn problemleri

olmak üzere iki sınıfta toplamak mümkündür.

Analiz problemi, cisim geometrisi ve akım şartları verildiğinde cisim etrafındaki akım alanının ayrıntılı incelenmesi ve/veya cisme etkiyen kuvvet ve momentlerin tespit edilmesi anlamına gelir.

Dizayn (veya tasarım) problemi ise istenilen performansı sağlayacak şekilde cismin geometrisinin tespiti çalışmasıdır.

1.1.2 Aerodinamiğin ilgi alanları:

Aerodinamik bilim dalının başlıca ilgi alanları şunlardır:

- Hava-uzay ulaşım araçları
- Kara ulaşım araçları
- Deniz ulaşım araçları
- Yapılar
- Enerji (Rüzgar enerjisi)
- Diğer (soğutma, havalandırma vb.)

Hava ulaşım araçları arasında uçak, planör, helikopter gibi insan ve yük taşıyan araçları saymak mümkün olduğu gibi, RPV (Radio Piloted Vehicle), UAV (Unmanned Air Vehicle) gibi model uçakları ve insansız hava araçlarını, balon ve zeplinleri, roket, füze ve mermileri, atmosfere geri dönüş yapabilen uzay mekiklerini de saymak mümkündür. Bunlar yanında paraşüt ve sportif havacıların kullandığı yelkenkanat, yamaç paraşütü vb araçlar da aerodinamik bakımdan ilgilenilen diğer araçlardır.

Yüksek hızla hareket eden otomobil, otobüs, kamyon, TIR, tren gibi kara ulaşım araçları da uçak ve benzeri vasıtalar gibi hava yüklerine maruz kaldıklarından, aerodinamik incelemeye tabi tutulmaktadırlar. Bu vasıtalar için en önemli iki sorun direnç nedeniyle yakıt tüketiminin artması ve kararsızlıktır. Kararsızlık daha ziyade bu tip vasıtaların aerodinamik taşıma nedeniyle yeri iyi kavrayamamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca yüzeylerdeki ayrılmalarla oluşan girdaplar titreşim yaratarak kara vasıtalarının kontrolünü zorlaştırdığı gibi konforunu da olumsuz yönde etkilemektedir. Bu kara vasıtaları yanında zaman zaman kayak, bisiklet, motosiklet gibi vasıtaların ve bunları kullanan kişilerin giysilerinin de aerodinamik bakımdan incelendiği dikkati çekmektedir.

Deniz ulaşım araçları son yıllarda hız kazanmaya başlamıştır. Bunlar arasında hidrofoil kullanılan tekneleri, bazı katamaranları ve sürat teknelerini saymak mümkündür. Bunların su içinde kalan kısımlarına ilişkin hidrodinamik incelemeler bazı tip aerodinamik olaylara benzer biçimde incelendiği gibi su dışında kalan kısımları da hava ve kara vasıtalarındakilere benzer aerodinamik sorunlarla karşı karşıya gelebilmektedir.

Yapıların rüzgar etkisiyle karşılaştıkları sorunlar çok iyi bilinir. En başta çatıların rüzgarla uçması belirtilebilir. Yüksek binaların statik rüzgar yüküne dayanıklı inşası yeterli değildir. Bina gerisinden kopan girdapların yaratacağı titreşimler öncelikle konforu olumsuz yönde etkileyecektir. Uzun vadede sistemin yorulması da sorun yaratabilir. Benzeri şekilde asma köprülerde, stadyum gibi masif binaların kapalı tribün çatılarında, yüksek binaların dış cephede yer alan asansörlerinde dinamik yüklerin son derece olumsuz etkileri söz konusu olabilir. Bütün bunlar dışında yüksek ve masif binalar çevredeki atmosfer hareketlerini etkileyerek hava kirliliği gibi önemli sorunlara yol açabilirler.

Aerodinamik bilim dalının enerjiye ilişkin en önemli ilgi alanı rüzgar türbinleridir. Ayrıca enerji iletim hatlarına ve tellere etkileyen dinamik rüzgar yükleri de önemlidir.

Bütün yukarıda açıklanan ilgi alanları dışında endüstride tekil bazı konular da aerodinamiğin ilgi alanına girmektedir. Bunlara örnek olarak, borular içerisinde bir takım toz ve taneciklerin taşınması, havalandırma ve klima gibi konuları göstermek mümkündür.

1.1.3 Aerodinamiğin inceleme tarzı:

Aerodinamikteki inceleme tekniklerine gelince, bunları da

- Deneysel çalışmalar
- Teorik çalışmalar

olmak üzere iki ana grupta toplamak mümkündür. Deneysel çalışmalar genellikle rüzgar tüneli adı verilen özel deney ortamlarında ve bazan da bizzat atmosfer içerisindeki uçuş sırasında gerçekleştirilir. Bu çalışmalarda cisim etrafında meydana gelen aerodinamik olaylar gözlem ve ölçme yoluyla incelenerek aerodinamik etkiler tespit edilmeye çalışılır. Teorik inceleme yöntemlerindeki amaç ise çeşitli matematiksel modeller aracılığıyla aerodinamik etkilerin tespit edilmesidir.

1.4 Aerodinamiğin ilgili bilim dalları arasındaki yeri:

Aerodinamik bilim dalının uygulama alanlarından en önemli birisi şüphesiz hava-uzay ulaşım araçlarıdır. Bu tür araçların yapımında, diğer bilim dallarını da gözönüne alarak aerodinamiğin yerini şematik olarak Şekil 1.1'deki gibi belirtmek mümkündür.

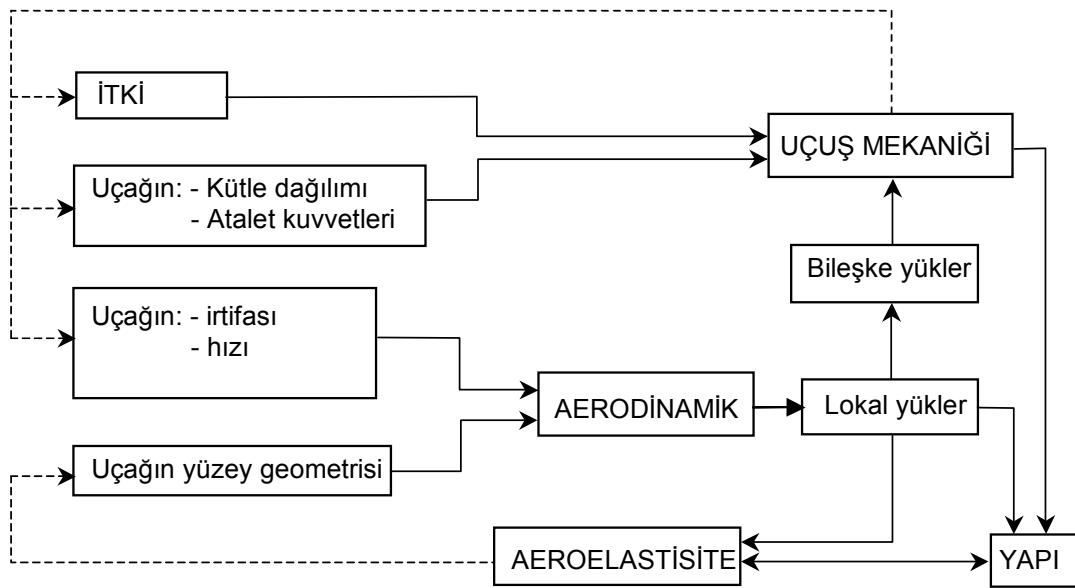
Buna göre, aerodinamik bilimi, uçak geometrisiyle ve uçuş şartlarıyla ilgili bilgiler verildiğinde, bu bilgileri kullanarak uçağın hangi noktasına hangi lokal kuvvetlerin etkiyeceğini tespit etmektedir. Lokal yükler, diğer yüklerle (ağırlık ve atalet kuvvetleri gibi) birlikte uçağın yapısının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Örneğin bir uçak kanadının yapısal analizinin yapılabilmesi için, kanadın hangi noktasında hangi yapısal ağırlık yüklerinin ve dış ağırlık yüklerinin (motor, yakıt tankı, silah sistemleri, iniş takımları gibi) bilinmesi yanında hangi noktaya hangi aerodinamik yüklerin etkidiğinin bilinmesi gerekir.

Uçağın yapısının hiç bir şekil değişikliğine imkan vermeyecek kadar çok rijit olması mümkün değildir. Yapı aerodinamik yük altında şekil değiştirir. Şekil değişimi ise aerodinamik olayın girdilerinden olan geometrinin değişmesi demektir. Bunun sonucu olarak aerodinamik olayın yarattığı lokal yükler de değişir. Aerodinamik yüklerin

değişmesi, yapıdaki şekil değişimlerinin miktarını değiştirir. Kısacası, aerodinamik yükler ile yapının şekil değiştirmesi arasında içiçe bir ilişki vardır. Bu ilişki zinciri "Aeroelastisite" bilimiyle incelenir.

Aerodinamik incelemelerden elde edilen lokal yükler ayrıca, çoğu zaman yüzeyler boyunca integre edilerek bileşke yükler olarak "Uçuş Mekaniği" incelemelerinde kullanılır. Uçuş mekaniği, çeşitli yükler altında uçağın nasıl bir davranış sergileyeceğini, nasıl hareket edeceğini inceleyen bilim dalıdır. Bu incelemelerde aerodinamik yükler yanında uçağın kütle dağılımının bilinmesi (atalet ve ağırlık yüklerinin tespiti bakımından) ve itki yüklerinin de bilinmesi gerekir.

Aerodinamik, Yapı, Aeroelastisite, Uçuş Mekaniği ve İtki gibi çeşitli bilim dalları ile yapılan incelemeler analiz dışında geri dönüşlü olarak kullanılmak suretiyle uçağın tasarımının geliştirilmesinde kullanılır.



Şekil 1.1.1: Hava Uzay ulaşım araçlarıyla ilgili bilim dalları arasında aerodinamiğin yeri

1.2. Birimler ve Boyutlar

1.2.1 Birim ve Boyut :

"Birim (Unit)" ve "Boyut (Dimension)" kelimeleri kesinlikle birbirine karıştırılmaması gereken birer kavramı ifade ederler.

"Boyut", kalitatif bir kavram olup herhangi bir büyüklüğün "hangi türden" bir büyüklük olduğunu belirtir. Örneğin, "uzunluk" kelimesi iki nokta arasındaki uzaklığı herhangi kantitatif bir değer belirtmeksizin ifade eder ve bir boyuttur. Bunun gibi hacim, ağırlık, hız, sıcaklık vb. kelimeler de birer boyutu belirtirler.

"Birim" kelimesi ise herhangi bir boyutun ölçümü için kullanılan referans büyüklüğü ifade eder. Örneğin, "metre" "uzunluk" boyutunu ölçmekte kullanılan bir referans büyüklüktür. İstersek aynı uzunluk boyutunu ölçmek için bir başka birimi de kullanabiliriz (örneğin, santimetre, kilometre gibi).

1.2.2 Birim Sistemleri, Temel Boyutlar ve Alışlagelmiş Birimleri

Mühendislik alanlarında kullanılan bir çok birim sistemi bulunmakla birlikte günümüzde giderek önem kazanan ve tercih edilmekte olan birim sistemi "Uluslararası Birim Sistemi (Systeme International d'Unite - S.I.)" dir. Bununla birlikte, özellikle havacıların geleneksel olarak kullanageldikleri "İngiliz Birim Sistemi (Imperial Units)" de bu alanda halen önemini korumaktadır. Bu nedenle bu iki birim sisteminin havacılıkla ilgilenenlerce iyi tanınması gerekmektedir. Geçmişte çok kullanılan MKS sistemi ise giderek önemini kaybetmekle birlikte, en azından konuyla ilgili literatürden yararlanabilmek için bu sistemle diğer iki sistem arasındaki geçişleri tanımak yararlı olacaktır.

Bütün birim sistemlerinde bazı boyutlar "temel boyut" olarak seçilir, ve diğer bütün boyutlar da genellikle bu temel boyutlardan türetilerek, çoğu incelemelerde temel boyutlar cinsinden ifade edilirler.

SI sisteminde temel boyutlar ve bunların birimleri sırasıyla şu şekildedir:

Kütle	[M]	kilogram	[kg]
Uzunluk	[L]	metre	[m]
Zaman	[T]	saniye	[s]
Sıcaklık	[θ]	derece	[°C, °K]

MKS ile SI arasındaki temel farklılık "temel boyutların seçimi" konusundan kaynaklanmaktadır. MKS'de "uzunluk, zaman ve sıcaklık" SI sistemindeki gibi temel boyutlar olarak alınırken, dördüncü temel boyut olarak "kütle" yerine, SI sisteminde yardımcı bir boyut olarak geçen "kuvvet" alınmaktadır. "Kütle" ise yardımcı bir boyut olarak "kuvvet" cinsinden tanımlanmaktadır.

SI, MKS ve İngiliz birim sistemlerinin temel boyutlar ve bunların birimleri açısından karşılaştırması aşağıda verilmiştir:

Temel Boyut	SI	MKS	İngiliz Sistemi
Kütle	Kg	--	Slug
Uzunluk	m	m	Foot
Zaman	sn	sn	Sn
Sıcaklık	°C	°C	°F
Kuvvet	--	kgk	--

Uyarı: MKS' de kuvvet birimi olarak geçen "kgk" birimine yabancı literatürde "kp" olarak da rastlamak mümkündür. Ancak, özellikle Türkçe literatürde zaman zaman "kg" olarak belirtilmekte, bu da boyutun "kütle" mi yoksa "ağırlık" mı olduğu konusunda tereddüt yaratmaktadır.

1.2.3 SI Sistemi ve Diğer Sistemlerle Geçişler :

Aerodinamikle ilgili derslerde sık sık kullanılan bazı fiziksel büyüklüklerin boyutları ve SI sisteminde bu büyüklükler için kullanılan birimler Tablo 1.2.1 'de verilmiştir. Tablo 1.2.2 'de İngiliz birimlerinden SI birimlerine, Tablo 1.2.3 'de ise bazı MKS birimlerinden SI birimlerine geçiş faktörleri sunulmuştur.

Örnek 1.2.1:

MKS sistemindeki temel birimlerden 1 kgk 'in SI sistemindeki değerini bulunuz.

Çözüm:

1 kgk 'in tarifi "1 kg 'lık kütleye yerçekimi ivmesiyle etkiyen kuvvet" şeklinde olduğuna göre, bu kuvvetin SI sistemindeki değeri Newton kanunu yardımıyla hesaplanabilir.

$$F = m.a = 1 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 9.81 \text{ kg m/s}^2 = 9.81 \text{ N}$$

Örnek 1.2.2:

SI sisteminde 9.81 m/s² olarak verilen yerçekimi ivmesinin İngiliz Birim sistemindeki değerini bulunuz.

Çözüm:

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m} \quad \rightarrow \quad 1 \text{ m} = 3.2808 \text{ ft}$$

$$g = 9.81 \times 3.2808 = 32.185 \text{ ft/s}^2$$

Örnek 1.2.3:

Havanın deniz seviyesinde standart şartlarda 1.2256 kg/m³ olarak bilinen yoğunluğunu MKS sisteminde hesaplayınız.

Çözüm:

$$1 \text{ kgk} = 9.81 \text{ N} = 9.81 \text{ kg m/s}^2 \quad \rightarrow \quad 1 \text{ kg} = 1/9.81 \text{ kgk s}^2 / \text{m}$$

$$\rho = 1.2256 / 9.81 = 0.125 \text{ kgk s}^2 / \text{m}^4$$

1.2.4 Boyut Uyumu, Boyut Analizi :

Herhangi bir fiziksel olay için ortaya konan matematiksel modelde, yani bu olayı temsil eden denklem, formül vb. gibi bağıntılarda çeşitli fiziksel büyüklükler çarpma, toplama vb. aritmetiksel işlemler veya türevler, integraller halinde yer alırlar. Sözü edilen bu fiziksel büyüklükler öyle bir uyum içerisinde yer almalıdır ki, söz konusu olan bağıntıda her bir terimin boyutu aynı olsun. İşte bu kavrama "boyutların uyumu" adı verilir. Bir bağıntıdaki terimlerin boyutlarının araştırılması işine ise "boyut analizi" denilir.

Örnek olarak Newton'un 2nci kanununu ifade eden formülü ele alalım:

$$F = m \cdot a \quad (1.2.1)$$

Bu formülde geçen sembollerin ifade ettikleri büyüklükler ve boyutları:

$$\begin{array}{lll} F & : \text{Kuvvet} & [\text{MLT}^{-2}] \\ m & : \text{Kütle} & [\text{M}] \\ a & : \text{İvme} & [\text{LT}^{-2}] \end{array}$$

şeklindedir. Görüldüğü gibi kütle ile ivmenin çarpımı sonucu elde edilen terimin boyutu kuvvet ile aynı boyutta olup formüldeki terimlerin boyutları uyumlu durumdadır.

Boyut analizi yoluyla bir bağıntıda geçen herhangi bir fiziksel büyüklüğün boyutunun ne olduğunu tespit etmek mümkün olur. Örneğin bir kanadın taşıma kuvvetiyle ilgili

$$L = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (1.2.2)$$

ifadesi göz önüne alınırsa, bu bağıntıdaki sembollerin belirttikleri büyüklükler ve boyutları:

$$\begin{array}{lll} L & : \text{Kuvvet} & [\text{MLT}^{-2}] \\ \rho & : \text{Yoğunluk} & [\text{ML}^{-3}] \\ V & : \text{Hız} & [\text{LT}^{-1}] \\ S & : \text{Alan} & [\text{L}^2] \end{array}$$

olup, bunlar yardımıyla yapılacak bir boyut analizi sonucu "taşıma katsayısı" adı verilen " C_L " büyüklüğünün "boyutsuz" bir büyüklük olduğunu görebiliriz.

Boyut analizinin bir diğer yararı da şu şekilde belirtilebilir: Herhangi bir fiziksel olayda geçen fiziksel bir büyüklüğün diğer bazı fiziksel büyüklüklere bağlı olduğu deneysel olarak gözlenmişse, boyut analizi yoluyla bu fiziksel büyüklükler arasında bir bağıntı kurmak mümkün olur.

Tablo 1.2.1 : Bazı fiziksel büyüklüklerin boyutları ve SI sistemindeki birimleri

Büyükük	Temel boyutlar cinsinden ifadesi	Tanımı	Alışlagelmiş birimi	Temel birimler cinsinden ifadesi	Kullanılan diğer bazı birimler
Kütle	M	Kütle	kg	kg	1 gr = 10 ⁻³ kg
Uzunluk	L	Uzunluk	m	m	mm, cm, km, ...
Zaman	T	Zaman	s	s	1 h = 3600 s
Sıcaklık	θ	Sıcaklık	°C, °K	°C, °K	
Hız	LT ⁻¹	Uzunluk / Zaman	m/s	m/s	1 km/h = 1/3.6 m/s 1 knot = 0.5144 m/s
İvme	LT ⁻²	Hız / Zaman	m/s ²	m/s ²	
Kuvvet-Ağırlık	MLT ⁻²	Kütle × İvme	N (Newton)	kg m/s ²	1 dyn = 10 ⁻⁵ N
Moment	ML ² T ⁻²	Kuvvet × Uzunluk	N.m	kg m ² /s ²	
Yoğunluk	ML ⁻³	Kütle / Hacım	kg/m ³	kg/m ³	1 gr/cm ³ = 10 ³ kg/m ³
Özgül ağırlık	ML ⁻² T ⁻²	Ağırlık / Hacım	N/m ³	kg/m ² s ²	
Basınç	ML ⁻¹ T ⁻²	Kuvvet / Alan	Pa (Pascal)	N/m ² =kg/ms ²	1 bar = 10 ⁵ Pa 1 mmHgS = 133.42Pa 1 mm SS = 9.81 Pa
İş-Enerji	ML ² T ⁻²	Kuvvet × Uzunluk	J (joule)	N.m	1 erg = 10 ⁻³ J
Güç	ML ² T ⁻³	İş / Zaman	W (Watt)	J/s	1kW = 10 ³ W
Mutlak viskozite	ML ⁻¹ T ⁻¹	Teğetsel Gerilme / hız gradyanı	PI (Poiseuille)	Pa s = N.s/m ²	1 Poise = 10 ⁻¹ PI
Kinematik viskozite	L ² T ⁻¹	Mutlak viskozite / yoğunluk	m ² /s	m ² /s	

Tablo 1.2.2 : Havacılıkta sık kullanılan bazı İngiliz birimleri

Büyükük	İngiliz Birimi	SI Birimi	İngiliz biriminden - SI birimine Geçiş faktörü
Uzunluk	in (Inch) ft (Foot) st mile (Kara mili) n mile (Deniz mili)	m cm	1 in = 2.54 cm 1 ft = 0.3048 m 1 st mile = 1609.3 m 1 n mile = 1853.2 m
Alan	in ² ft ²	m ²	1 in ² = 6.4516 cm ² 1 ft ² = 0.0929 m ²
Hacim	In ³ ft ³ Gallon (UK) Gallon (USA)	m ³ lt	1 in ³ = 16.387 cm ³ 1 ft ³ = 0.0283 m ³ 1 Gal (UK) = 4.546 lt 1 Gal (USA) = 3.785 lt
Sıcaklık	°F T (°R) = T (°F) + 459.4	°C °K	T (°F) = 1.8×T (°C) + 32
Kütle	Slug lb	kg	1 slug = 14.5939 kg 1 lb = 0.4536 kg
Kuvvet	Lbf (pound)	N	1 lbf = 4.4482 N
Yoğunluk	Slug/ft ³	kg/m ³	1 slug/ft ³ = 515.38 kg/m ³
Hız	ft/sec stmile/h knot	m/sn km/s	1 ft/sec = 0.3048 m/s 1 mph = 0.44704 m/s 1 knot = 0.5144 m/s = 1.853 km/h
İvme	ft/sec ²	m/sn ²	1 ft/sec ² = 0.3048 m/s ²
Basınç	Psi (lbf/in ²) □ lbf/ft ²	Pa (N/m ²)	lbf/in ² = 6894.8 Pa lbf/ft ² = 47.880 Pa
İş-Enerji	Lbf.ft	J	lbf.ft = 1.3558 J
Güç	Hp (UK)	W	1 hp = 745.7 W
Mutlak viskozite	Lbf.sec/ft ²	N.s/m ²	1 lbf.sec/ft ² = 47.88 N.s/m ²
Kinematik viskozite	ft ² /sec	m ² /sn	1 ft ² /sec = 0.0929 m ² /s

Tablo 1.2.3 : MKS Sistemindeki bazı birimlerin SI 'daki karşılıkları

Büyükük	MKS birimi	SI birimi	MKS biriminden - SI birimine geçiş faktörü
Kuvvet	kgk	N	1 kgk = 9.81 N
Kütle	kgk s ² /m	Kg	1 kgk s ² /m = 9.81 kg
Moment	kgk.m	N.m	1 kgk.m = 9.81 N.m
Basınç	kgk /cm ²	Pa (N/m ²)	1 kgk/cm ² = 9.81 10 ⁴ Pa
İş-Enerji	kgk.m	J	1 kgk.m = 9.81 J
Güç	kgk m/s=BG	W	1 kgk.m/s = 9.81 W 1 BG = 735.5 W
Isı miktarı	kcal	J	1 kcal = 4187 J

1.2. Akışkan Özellikleri

1.3.1 Maddenin Halleri :

Maddeler ihtiva ettikleri moleküllerin arasındaki bağların rijitliğine bağlı olarak *katı*, *sıvı* ve *gaz* gibi üç değişik halde bulunabilir.

Bir katı içerisindeki moleküler bağ çok rijit olup katının hacmi ve şekli sabittir.

Sıvılarda moleküller arası bağ zayıf olup, hacim sabit olmakla birlikte şekil sabit değildir. Bir sıvı konulduğu kabın şeklini alır.

Gazlarda ise moleküler bağ çok zayıftır. Dolayısıyla hacim de, şekil de değişebilir. Bir gaz konulduğu kabı doldurur.

Gazların atomlarının iyonize olduğu özel bir hali olarak "plazma"yı, gazlardan ayrı olarak ele almak gerekir. Plazma içerisinde atomlardan kopan bazı elektronlar serbest olarak dolaşırlar. Havacılıkta plazmayla ilgili olaylara roket, uydu ve uzay araçlarının atmosfere girişi sırasında rastlanır.

1.3.2 Akışkanların özellikleri :

Akışkanların en önemli özellikleri akıcı olmalarıdır. Özel bazı haller dışında genel olarak sıvı ve gazları akışkan olarak görmek mümkündür.

Akışkanların aerodinamik incelemelerinde ilgilenilen başlıca özellikleri olarak basınç, sıcaklık, yoğunluk, viskozite, sıkıştırılabilirlik ve ısı özellikleri sayılabilir.

Basınç :

Bir akışkan içindeki moleküller ortalama bir konum etrafında sürekli titreşim halindedirler. Akışkan ile temas halinde bulunan herhangi bir katı cidar moleküller tarafından sürekli olarak bombardıman edilir. Molekül bombardımanının yüzey tarafından sürekli olarak hissedilen şiddeti, akışkanın statik basıncı olarak adlandırılır. Basınç büyüklüğü

$$[\text{Kuvvet} / \text{Alan}] : [M L^{-1} T^{-2}]$$

boyutunda olup SI sistemindeki birimi Pascal'dır.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$$

Aerodinamik incelemelerinde kullanılan diğer bazı basınç birimleri ise:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mm HgS} = 133.416 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mm SS} = 9.81 \text{ Pa}$$

Sıcaklık :

Maddenin her üç halinde de moleküller ortalama konumları etrafında bir titreşim hareketi yaparlar. Bu hareketle ilgili kinetik enerji, maddenin sıcaklığı olarak hissedilir.

Sıcaklık için genel olarak °C veya °K birimi kullanılır. Her iki birim arasında

$$T [\text{°K}] = 273.16 + t [\text{°C}]$$

şeklinde bir ilişki mevcuttur.

Yoğunluk :

Yoğunluk, belli bir hacim içerisinde yer alan madde miktarıdır. Bir akışkan içerisinde noktadan noktaya değişebilir.

Sürekli bir akışkan ortamı için yoğunluk

$$\rho = \lim_{\delta V \rightarrow 0} \frac{\delta M}{\delta V} \quad (1.3.1)$$

şeklinde tarif edilebilir. Burada V hacim, M ise bu hacim içerisindeki kütle miktarıdır. Görüldüğü gibi yoğunluk

$$[\text{Kütle} / \text{Hacim}] : [M L^{-3}]$$

boyutundadır. Yoğunluk için SI sisteminde genellikle

$$kg / m^3 \quad \text{veya} \quad gr / cm^3$$

birimleri kullanılır.

Viskozite :

Viskozite, akışkanın kıvamını, yapışkanlığını ifade eder. Akışkan tabakalarının birbiri üzerinde kaymaya karşı gösterdikleri direncin bir nevi ölçüsüdür.

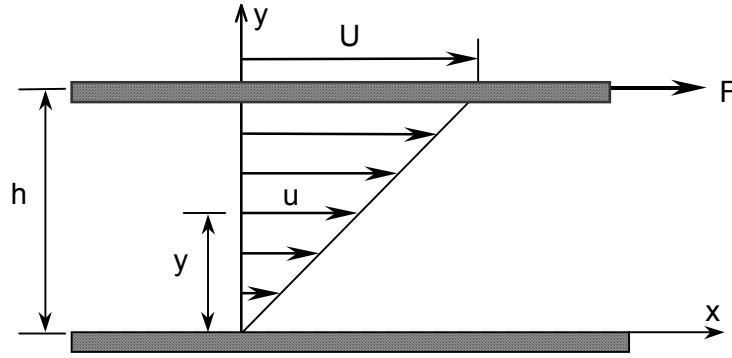
Viskozitenin büyüklüğü viskozite katsayısı ile belirtilir. Dinamik viskozite (veya mutlak viskozite) ve kinematik viskozite olmak üzere iki türlü viskozite katsayısı tanımı mevcuttur. Bunlardan mutlak viskozite katsayısı viskozitenin direkt bir ölçüsüdür.

Mutlak viskozite katsayısı :

Bir akışkanın mutlak viskozitesi Couette deneyiyle ölçülür. Bu deneyde viskozitesi ölçülecek akışkan birbirine çok yakın ve paralel konumdaki iki levha arasında gözönüne alınır (Şekil 1.3.1). Levhalardan biri sabit tutulurken diğeri U hızı ile hareket ettirilir. Hareket eden levha ile temas halindeki akışkan zerreleri bu levha ile aynı hızda hareket ederken durmakta olan levha üzerindeki zerreler hareketsizdirler.

Akışkan *Nevtonien* türden ise aradaki akışkan zerreleri de

$$u = \frac{U}{h} y \quad (1.3.2)$$



Şekil 1.3.1 : Couette deneyi

şeklinde lineer bir hız dağılımı gösterirler. Deneysel olarak göstermek mümkündür ki hareket eden levhanın birim yüzeyine etki eden F/A sürtünme kuvveti, levhanın U hızı ile doğru orantılı, levhalar arasındaki h uzaklığı ile ters orantılıdır.

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{U}{h} \quad (1.3.3)$$

aradaki μ orantı sabiti mutlak viskozite katsayısı adını alır.

Nevtonien bir akışkan için levhalar arasındaki hız dağılımı lineer olduğundan U/h oranı doğrudan hız gradyanını verir.

$$\frac{u}{h} \rightarrow \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1.3.4)$$

Buna göre mutlak viskozite katsayısı

$$\mu = \frac{\text{Kayma gerilmesi}}{\text{Hız gradyanı}} = \frac{\tau}{\partial u / \partial y} \quad (1.3.5)$$

olarak tanımlanır. Mutlak viskozite katsayısının boyutu, boyut analizi yardımıyla

$$[\mu] = \left[\frac{F/A}{\partial u / \partial y} \right] = \left[\frac{MLT^{-2}L^{-2}}{LT^{-1}L^{-1}} \right] = [ML^{-1}T^{-1}]$$

şeklinde bulunur. Mutlak viskozite katsayısının birimi olarak ise Poiseuille (puazöy) kullanılır.

$$1 \text{ Pl (Poiseuille)} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}\text{s}^{-1} = 1 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Kinematik viskozite katsayısı :

Çoğu incelemede, akışkanın viskozitesi ile ataletini birlikte içerecek tarzda

$$\nu = \mu / \rho \quad (1.3.6)$$

şeklinde tanımlanan bir katsayı kullanılır ki buna kinematik viskozite katsayısı adı verilir. Kinematik viskozite katsayısı

$$[L^2 T^{-1}]$$

boyutunda olup, birim olarak

$$m^2 / s \quad \text{veya} \quad \text{Stokes} \quad (1 \text{ St} = 10^{-4} m^2 / s)$$

kullanılır.

Akışkanın elastiklik özelliği :

Dış kuvvetlerin etkisi altında akışkanın ne kadar sıkıştırılabildiğinin bir ölçüsüdür. p basıncı ve V hacmindeki akışkanın basıncı δp kadar arttırıldığında hacmi δV kadar azalır $V-\delta V$ oluyorsa, akışkanın elastikliği birim hacimdeki sıkışmayı sağlayan basınç artımı olarak

$$K = \frac{\partial p}{-\delta V / V} \quad (1.3.7)$$

şeklindeki Bulk elastisite modülü ile tanımlanır. $\delta V/V$ oranı boyutsuz olduğundan elastisite modülü de basınç boyutundadır.

Akışkanın ısı özellikleri :

Akışkanın ısı özellikleri sabit hacimdeki özgül ısı, sabit basınçtaki özgül ısı, bu iki özgül ısının oranı ve gaz sabiti olarak belirtilebilir.

Sabit hacimde özgül ısı, birim kütleyle sahip akışkana sabit hacimde 1 derece sıcaklık artımı vermek için gereken ısı miktarıdır. c_v ile gösterilir.

Sabit basınçta özgül ısı, birim kütleyle sahip akışkana sabit basınç altında 1 derece sıcaklık artımı sağlamak için ilave edilmesi gereken ısı miktarıdır. c_p ile gösterilir.

Özgül ısılar oranı: Özellikle yüksek hızlarda önemli olan bu büyüklük

$$\gamma = c_p / c_v \quad (1.3.8)$$

şeklinde tanımlanır.

Gaz sabiti: Sabit basınç altında akışkanın birim kütlelerinin sıcaklığını 1 derece arttırarak elde edilen mekanik işin miktarı olup,

$$c_p - c_v = R \quad (1.3.9)$$

şeklinde tanımlanır.

Gerek özgül ısılar ve gerekse gaz sabiti

$$[L^2 T^{-2} \theta^{-1}]$$

boyutunda olup, birim olarak genellikle

$$J / kg^{\circ}K \quad \text{veya} \quad m^2 / sn^2 \quad ^{\circ}K$$

kullanılır.

1.3.3. Havanın standart şartlarda deniz seviyesindeki özellikleri :

Yukarıda ifade edilen akışkanlara ait özelliklerin, deniz seviyesinde standart şartlardaki hava için değerleri Tablo 1.3.1 'de SI ve İngiliz birim sistemleri için verilmiştir.

Tablo 1.3.1: Standart şartlarda deniz seviyesinde havanın özellikleri:

Basınç	p	760 mm HgS 101396 Pa	29.91 in HgS 2.4934 ft HgS 2117.66 Pound/ft ² 14.71 psi
Sıcaklık	T	15 °C 288 °K	59 °F 518.4 °R
Yoğunluk	ρ	1.2267 kg/m ³	0.002377 slug / ft ³
Mutlak viskozite	μ	1.784.10 ⁻⁵ kg/m sn	3.726.10 ⁻⁷ slug/ft sec
Kinematik viskozite	ν	1.46 10 ⁻⁵ m ² /sn	1.5671 .10 ⁻⁴ ft ² / sec
Sb basınçta özgül ısı	c_p	1005 J/kg°K	6008 ft.pound/slug°R
Sb hacimde özgül ısı	c_v	718 J/kg°K	4293 ft.pound/slug°R
Gaz sabiti	R	287 J/kg°K	1718 ft.pound /slug°R
Özgül ısılar oranı	γ	1.4	1.4

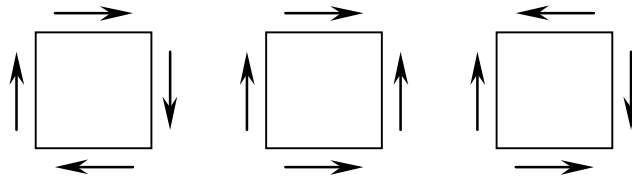
Not: Yukarıdaki bazı değerlerin hesabında kullanılan yer çekimi ivmesi 9.81 m/s^2 ve civanın yoğunluğu da 13.6 gr/cm^3 olarak alınmıştır.

1.4. Aerostatik

1.4.1 Hareketsiz akışkan ortamında basınç:

Aerodinamik her ne kadar havanın bir cisme nazaran hareketli olması halindeki olayları inceleyen bir bilim dalıysa da, bu bölümün devamında belirtilecek olan bazı uygulamalarda havanın ve bazı özel sıvıların hareketsiz (statik) halleriyle de ilgilenmek gerekmektedir.

Hareketsiz bir akışkan ortamı içerisinde kübik bir akışkan elemanı düşünerek bu elemanın yüzeylerinin son derece elastik bir malzemeden olduğunu farzedelim. Çevredeki akışkan molekülleri moleküler hareketleri nedeniyle kübün yüzeylerine sürekli birtakım kuvvetler etkileyeceklerdir. Bu şekilde oluşan kuvvetlerin, bir an için, yüzeye teğet ve normal doğrultularda iki bileşene ayrıldığını farzederek bunlardan sadece teğetsel doğrultulardaki bileşenleri inceleyelim. Teğetsel kuvvetlerin etkiye yönlerine göre üç değişik hal düşünülebilir (Şekil 1.4.1):



Şekil 1.4.1 : Akışkan içinde teğetsel kuvvetler

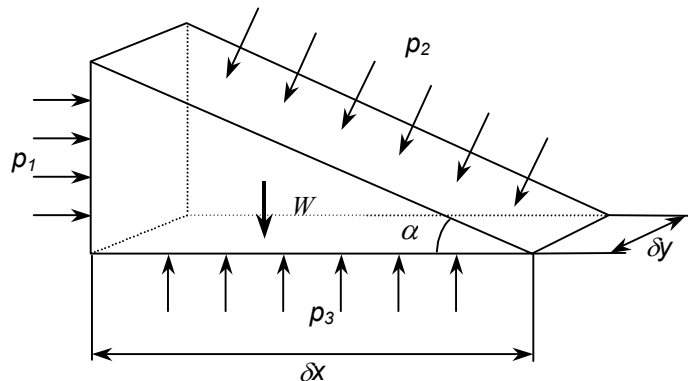
(a) halindeki kuvvetler elemanın dönmesine, (b) halindeki kuvvetler elemanın sağa ve yukarıya doğru yer değiştirmesine, (c) halindeki kuvvetler ise elemanın sol üst ve sağ alt köşesinden geçen köşegen boyunca sünmesine neden olur. Görüldüğü gibi her üç halde de teğetsel kuvvetler akışkanın hareket etmesine neden olmaktadır. Oysa kübik akışkan elemanı hareketsiz ortamda alınmıştır. O halde;

Hareketsiz ortamda teğetsel kuvvetler bulunmaz ve akışkan elemanına sadece normal doğrultulardaki basınç kuvvetleri etkir.

Pascal Kanunu

Hareketsiz bir akışkan içerisinde Şekil 1.4.2'deki gibi üçgen prizmatik bir akışkan elemanını gözönüne alalım. Prizmanın herbir yüzeyine normal doğrultularda basınç kuvvetleri etkiyecektir. Ayrıca, ağırlık merkezinde aşağı doğru bir yerçekimi kuvveti vardır.

Bu kuvvetlerin yatay doğrultudaki dengesi



Şekil 1.4.2: Paskal kanunu

$$p_1 \cdot (\delta x \cdot \tan \alpha) \cdot \delta y - p_2 \cdot \left(\frac{\delta x}{\cos \alpha} \right) \cdot \delta y \cdot \sin \alpha = 0$$

şeklinde olup, buradan

$$p_1 = p_2 \quad (1.4.2)$$

bulunur. Kuvvetlerin düşey doğrultudaki dengesi ise

$$p_3 \cdot \delta x \cdot \delta y - p_2 \cdot \left(\frac{\delta x}{\cos \alpha} \right) \cdot \delta y \cdot \cos \alpha - W = 0 \quad (1.4.3)$$

şeklindedir. Ayrıca prizmatik elemanın ağırlığı için

$$W = \rho \cdot g \cdot \frac{1}{2} \cdot \delta x \cdot (\delta x \cdot \tan \alpha) \cdot \delta y \quad (1.4.4)$$

yazılabilir. Bu iki bağıntıdan

$$p_2 - p_3 = \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot \delta x \cdot \tan \alpha \quad (1.4.5)$$

bulunur. Prizmatik eleman $\delta x \rightarrow 0$ olacak şekilde sonsuz küçük yapıldığı takdirde

$$p_2 - p_3 = \lim_{\delta x \rightarrow 0} \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot \delta x \cdot \tan \alpha = 0 \quad (1.4.6)$$

ve nihayet

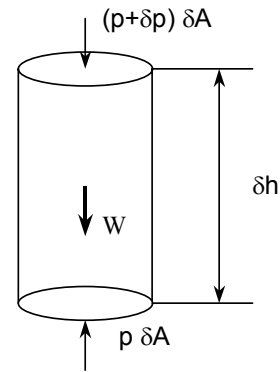
$$p_2 = p_3 = p_1 \quad (1.4.7)$$

bulunur.

Sonsuz küçük bir prizmanın bir noktadan ibaret olduğu düşünülürse, akışkanın göz önüne alınan bir noktasındaki basıncın her doğrultuda aynı olacağı sonucuna varılır.

1.4.2 Hidro/Aero-statik taşıma (Buoyancy) :

Hareketsiz geniş bir akışkan ortamında δA kesit alanına ve δh yüksekliğine sahip silindirik bir akışkan elemanı olarak dengesini inceleyelim (Şekil 1.4.3). Bu elemana yatay doğrultuda sadece basınç kuvvetlerinin etkiyeceğini ve bu kuvvetlerin birbirlerini dengeleyeceklerini söylemek mümkündür. Düşey doğrultuda etkiyen kuvvetler ise; tabanından etkiyen $p \cdot \delta A$ basınç kuvveti, üst yüzeyden etkiyen $(p + \delta p) \cdot \delta A$ basınç kuvveti ve akışkan elemanının kendi ağırlığından ibarettir.



Şekil 1.4.3: Hidro/Aero-statik taşıma

Bu kuvvetlerin dengesinden

$$(p + \delta p) \cdot \delta A + W - p \cdot \delta A = 0 \quad (1.4.8)$$

veya

$$W = \rho \cdot g \cdot \delta A \cdot \delta h \quad (1.4.9)$$

olmak üzere

$$\frac{\delta p}{\delta h} = -\rho \cdot g \quad (1.4.10)$$

elde edilir. $\delta h \rightarrow 0$ olacak şekilde eleman sonsuz küçük yapıldığı taktirde, hareketsiz akışkan içerisinde basıncın yükseklikle değişimi için

$$\boxed{\frac{dp}{dh} = -\rho \cdot g} \quad (1.4.11)$$

elde edilir. Bu denklem durgun akışkan ortamında basıncın akışkan içerisindeki yükseklikle, akışkanın lokal yoğunluğuna ve yerçekimi ivmesine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Yükseklik arttıkça basınç azalmaktadır. Denklemin sağ tarafı aslında birim hacimdeki akışkanın ağırlığına ters işaretli eşittir. Bu bakımdan, akışkan içerisinde yükseklik azaldıkça basıncın artmasının nedeninin bizzat akışkanın kendi ağırlığı olduğu belirtilebilir.

Hidro/Aero-statik taşıma (buoyancy) denklemleri olarak adlandırılan (1.4.11) denklemleri aerodinamikte başlıca üç uygulamada işimize yararmaktadır. Bunlardan birisi sıvılı manometrelerle basınç ölçümü, diğeri durgun atmosfer içerisindeki havanın fiziksel özelliklerinin tespit edilmesi sonucunu ise balon, zeplin ve benzeri hava araçlarının aero-statik taşımalarının incelenmesidir.

1.4.3 Basınçların ölçülmesi :

Durgun akışkan ortamında basıncın yükseklikle değişimi için elde edilen (1.4.11) denklemi, 1 ve 2 indisleriyle belirtilen iki yükseklik arasında integre edilerek

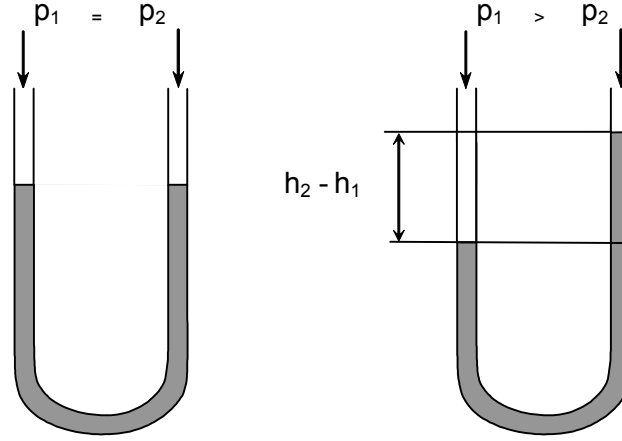
$$\int_{p_1}^{p_2} dp = - \int_{h_1}^{h_2} \rho g dh \quad (1.4.12)$$

veya, şayet akışkanın yoğunluğu her yerde sabitse

$$p_1 - p_2 = \rho g \cdot (h_2 - h_1) \quad (1.4.13)$$

elde edilir. Bu bağıntının sağ tarafındaki ifade, birim kesit alanına sahip ve yüksekliği $(h_2 - h_1)$ olan bir silindirik akışkan elemanının ağırlığını, sol tarafındaki ifade ise silindirin alt ve üst yüzeyleri arasındaki basınç farkını göstermektedir. Buna göre durgun akışkan içerisinde herhangi bir noktadaki basınç bu noktanın üzerindeki bütün akışkan sütununun ağırlığına eşittir.

Bu sonuç, herhangi bir akışkan ortamının iki noktasındaki basınçların arasındaki farkın ölçülmesi için kullanılan bir yöntemin temelini teşkil eder. Örneğin, Şekil 1.4.4'de görüldüğü gibi U şeklindeki bir boru içerisine basıncı ölçülmek istenen akışkanla karışmayacak türden bir sıvı konur. Basınç farkı ölçülecek noktalardan biri U borusunun bir koluna, öbürü de diğeri koluna bağlanır. U borusu içerisindeki akışkan, başlangıçta her iki kolda da aynı yükseklikte iken, basınç farkı uygulanmasıyla birlikte basıncın daha düşük olduğu koldaki sıvı yükselir, diğeri koldaki seviye ise düşer. U borusunun iki kolundaki akışkan seviyeleri arasındaki $(\Delta h = h_2 - h_1)$ farkı, (1.4.13) denkleminin gereği olarak manometrenin iki koluna etkiyen basınçlar arasındaki $(\Delta p = p_2 - p_1)$ farkını



Şekil 1.4.4: U tipi manometre

$$\Delta p = \rho g \cdot \Delta h$$

(1.4.14)

şeklinde verir.

ÖRNEK 1.4.1:

Bir deney sırasında, iki farklı noktadaki basınçların tatbik edildiği bir U tüpünün kolları arasındaki seviye farkı 25 mm olarak ölçülmüştür. U tüpünde sıvı olarak, yoğunluğu $\rho = 0.82 \text{ gr/cm}^3$ olan alkol kullanıldığına göre basınç farkını hesaplayınız.

Cözüm:

$$\Delta h = 25 \text{ mm} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\rho = 0.82 \text{ gr/cm}^3 = 0.82 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

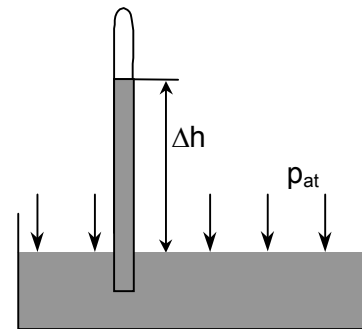
$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h = 0.82 \cdot 10^3 \times 9.81 \times 25 \cdot 10^{-3} = 201.1 \text{ N/m}^2 \text{ (Pa)}$$

ÖRNEK 1.4.2:

Toriçelli deneyinde Şekil 1.4.5'de görüldüğü gibi civalı bir kap-boru vasıtasıyla atmosfer basıncı ile boşluk (sıfır basınç) arasındaki fark mm civa sütunu olarak ölçülür.

Toriçelli deneyinde 750 mm Civa Sütunu okunan bir günde atmosfer basıncının kaç bar olduğunu hesabediniz. (Not: Civanın yoğunluğu 13.6 gr/cm^3 alınacaktır.)

Şayet sıvı olarak su kullanılsaydı ne olurdu, inceleyiniz.



Şekil 1.4.5: Toriçelli deneyi

Çözüm:

$$\Delta h = 760 \text{ mmHgS} = 760 \cdot 10^{-3} \text{ m HgS}$$

$$\rho_{hg} = 13.6 \text{ gr / cm}^3 = 13.6 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m / s}^2$$

$$p_1 = p_{at}$$

$$p_2 = 0 \text{ (boşluk)}$$

$$p_{at} = \rho \cdot g \cdot \Delta h = 13.6 \cdot 10^3 \times 9.81 \times 760 \cdot 10^{-3} = 101\,396.2 \text{ Pa} = 1.014 \text{ bar}$$

Aynı basıncı ölçmek için sıvı olarak su kullanılsaydı

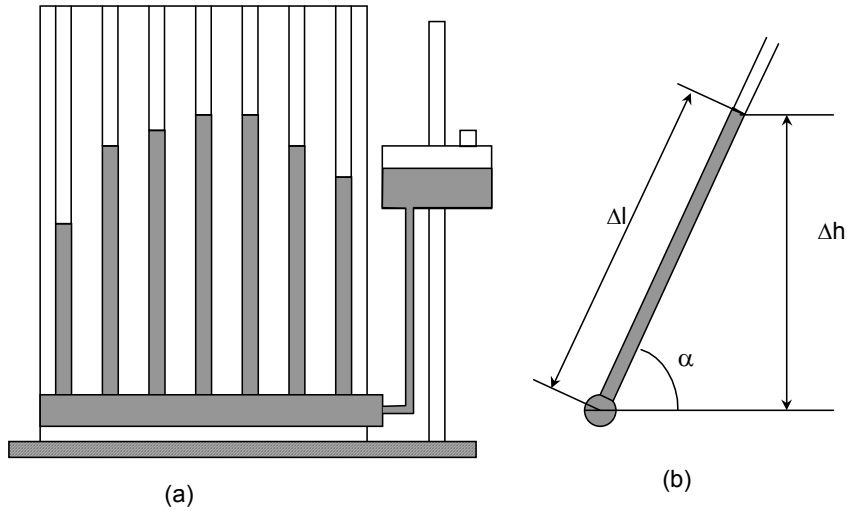
$$\rho_s = 1 \text{ gr / cm}^3$$

$$\Delta h = \frac{p_{at}}{\rho_s \cdot g} = \frac{101\,396.2}{1 \times 9.81} = 10\,336 \text{ mmSS} \cong 10 \text{ mSS}$$

Manometreler:

Aerodinamik incelemelerinde basınç ölçme amacıyla kullanılan U tüpü ve benzeri araçlara genel olarak manometre adı verilir.

Uçak kanadı, gövdesi vb., üzerinde basıncın değişim gösterdiği bir cisim etrafında çok noktadan basınç ölçmek gerektiğinde multimanometre adı verilen çok tüplü manometreler kullanılır (Şekil 1.4.6a).



Şekil 1.4.6: Multimanometre

Manometrelerde, ölçülen basınç farklarının büyüklüğüne bağlı olarak, civa, su veya alkol, manometre sıvısı olarak kullanılır. Büyük basınç farkları içinse su veya alkol tercih edilir. Örneğin aşağıdaki tabloda 1500 Pa ve 150 Pa büyüklüğündeki iki basınç farkının ölçülmesinde sıvı olarak civa, su ve alkol kullanılması halinde karşılaşılabilecek sütun yükseklikleri görülmektedir.

		$\Delta p=1500 \text{ Pa}$	$\Delta p=150 \text{ Pa}$
Civa	$\Delta h = \frac{\Delta p}{13.6 \times g}$	$\Delta h=11.2 \text{ mmHgS}$	$\Delta h=1.12 \text{ mmHgS}$
Su	$\Delta h = \frac{\Delta p}{1 \times g}$	$\Delta h=153 \text{ mmSS}$	$\Delta h=15.3 \text{ mmSS}$
Alkol	$\Delta h = \frac{\Delta p}{0.82 \times g}$	$\Delta h=186.5 \text{ mmAS}$	$\Delta h=18.7 \text{ mmAS}$

Bazı hallerde ölçülen basınç farkları çok küçük olur ve dikey manometreler, çok düşük yoğunluklu manometre sıvısı kullanılmasına rağmen yeterli olmayabilir. Bu durumda manometre eğilerek hassasiyeti artırılır (Şekil 1.4.6b). Ölçülecek basınç gerçekte sıvı sütununun ağırlığını belirten sıvı sütunu yüksekliği Δh ile

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

şeklinde tarif edilmekte iken, manometre eğildiği için manometre üzerinden okunacak sıvı sütunu uzunluğu

$$\Delta l = \frac{\Delta h}{\sin \alpha} \quad (1.4.15)$$

şeklinde sıvı sütunu yüksekliğinden daha büyük olacaktır. Buna göre, aynı Δh yüksekliği için α açısı ne kadar küçük olursa, yani manometre ne kadar eğilirse Δl o kadar büyük olur, yani hassasiyet o kadar artar. Örneğin

$$\alpha=60^\circ \quad \text{için} \quad \Delta l/\Delta h = 1.155$$

$$\alpha=45^\circ \quad \text{için} \quad \Delta l/\Delta h = 1.414$$

$$\alpha=30^\circ \quad \text{için} \quad \Delta l/\Delta h = 2$$

$$\alpha=15^\circ \quad \text{için} \quad \Delta l/\Delta h = 3.864$$

olur.

Manometrenin hassasiyetini arttırmanın bir diğer yolu da Betz manometresinde olduğu gibi optik okuyucular kullanmaktır.

Günümüzde mekanik esaslı manometrelerin yerini giderek **transducer** adı verilen elektronik basınç ölçme araçları almaktadır.

1.4.4 Atmosferin bileşimi ve yapısı, Standart atmosfer :

Atmosfer, genel olarak hareketsiz bir akışkan kitlesi olarak dikkate alınabilir. Hava adını verdiğimiz bu akışkan, oksijen ve azot temel bileşenler olmak üzere aşağıdaki gazların bileşiminden meydana gelir:

% 21.017 : Oksijen

% 78.050 : Azot

Kalan kısım : Hidrojen, Helyum, Argon, Kripton, Neon, Ksenon, Su buharı

Bu gazların oranı atmosferdeki irtifa (deniz seviyesinden yükseklik) ile değişmekle birlikte, 80 km irtifaya kadar havayı homojen olarak gözönüne alabiliriz. Aerodinamikte genel olarak havanın kuru olduğu, yani bileşiminde su buharı bulunmadığı kabulü yapılır. Bu kabul düşük hızlarda önemli bir hata kaynağı teşkil etmemekle birlikte çok yüksek akım hızlarında hava içerisindeki su buharının hesaba katılması gerekmektedir.

Dünya atmosferi 4 tabakadan meydana gelmektedir. Yerden itibaren bu tabakalar şunlardır:

TROPOSFER: Genellikle bulutların oluştuğu ve türbülanslı hava şartlarının bulunduğu tabakadır. Yüksekliği kutuplarda 8 500 m, ekvatorda 16 000 m dolaylarındadır.

STRATOSFER: Troposfer üzerinde 32 km ile 80 km irtifalara kadar yer alır. Bu tabakada görülen rüzgarlarenellikle düzgün rejimli rüzgarlar olup sağnak tarzında rüzgarlara rastlanmaz.

İYONOSFER: Stratosferden, stratopos vasıtasıyla ayrılır. İyonosfer içerisinde çok sayıda elektriksel olaylar cereyan etmektedir. Bu bölgede iyonlar mevcut olup, iyonizasyon olayı irtifa ile daha da artar.

EGZOSFER: 450 km ile 900 km irtifalar arasında yer alır. Bu bölgede hava moleküllerinin sayısı iyice azalmıştır.

Bir uçağın performansı, içinde uçmakta olduğu havanın fiziksel özelliklerine çok bağlıdır. Bu nedenle, uçakların performanslarını karşılaştırabilmek için benzeri atmosfer şartlarında elde edilmiş performans değerlerine ihtiyaç vardır. Veya elde edilen performans değerlerinin aynı atmosfer şartlarındaki değerler haline dönüştürülmesi gerekir. Bu amaca yönelik olarak, özellikleri çok sık rastlanan gerçek atmosfer özelliklerine yakın olan bir Uluslararası Standart Atmosfer (International Standart Atmosphere-ISA) kabul edilmiştir.

Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (International Civil Aviation Organisation-ICAO) tarafından kabul edilen standart atmosfer şartları atmosferin deniz seviyesindeki basınç ve sıcaklığını ve bunun yanında sıcaklığın irtifa ile değişimini belirler.

ICAO'ya göre deniz seviyesindeki standart atmosfer şartları:

Sıcaklık : 15 °C = 288.16 °K

Basınç : 760 mm Civa Sütunu

şeklindedir. Deniz seviyesinde atmosferin diğer özellikleri bilinen termodinamik bağıntılar vasıtasıyla hesaplanır. Standart atmosfer için ayrıca şu kabuller yapılır:

- Hava kuru ve mükemmel bir gazdır.
- Yer çekimi ivmesinin atmosferin çeşitli tabakalarında irtifa ile değişmediği kabul edilmektedir.
- Sıcaklık, atmosferin değişik tabakalarında belli gradyanlarla değişir.

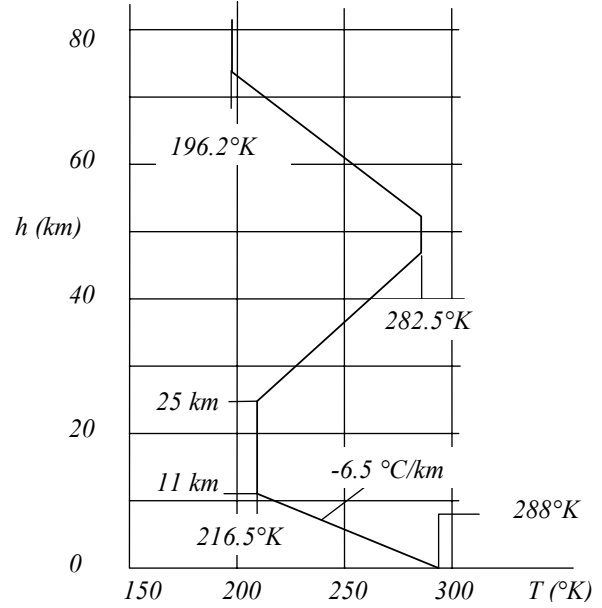
Atmosferin farklı iki irtifasındaki sıcaklıklar genel olarak

$$T_2 = T_1 + a \cdot (h_2 - h_1) \quad (1.4.16)$$

şeklindeki bir bağıntı ile birbirine bağlanır. Bağıntıdaki a gradyanının çeşitli irtifalardaki değerleri ve sıcaklığın irtifa ile değişimi ICAO'nun standart atmosfer tanımlamasına göre Tablo 1.4.1 de ve Şekil 1.4.7'de gösterildiği gibidir.

Tablo 1.4.1: Atmosfer içerisinde sıcaklık gradyanları

h (m)	$a = dT/dh$
0 - 11 000	-6.5
11 000 - 25 000	0
25 000 - 47 300	2.96
47 300 - 53 500	0
53 500 - 75 800	-3.85
75 800 - 91 300	0



Şekil 1.4.7: Sıcaklığın irtifa ile değişimi

Sıcaklığın bu şekilde irtifa ile değişimini gösteren bağıntılar hidrostatik teori ile birlikte kullanılarak atmosfer içerisinde basıncın irtifa ile değişimi elde edilebilir. Yoğunluk ve diğer fiziksel büyüklükler ise bilinen termodinamik bağıntılar yardımıyla hesaplanır.

1.4.4.1 Troposfer için hesaplar :

Atmosferin herhangi bir irtifasında alınan silindirik bir akışkan elemanın (Şekil 1.4.3) aerostatik dengesi göz önüne alınarak basınçla yükseklik arasında

$$dp = -\rho \cdot g \cdot dh \quad (1.4.17)$$

bağıntısı yazılabilir. Diğer taraftan, standart atmosfer şartlarında hava mükemmel bir gaz olarak kabul edilebildiğine göre hal denklemi de geçerlidir:

$$p = \rho \cdot R \cdot T \quad (1.4.18)$$

Bu iki bağıntı birlikte kullanılarak

$$\frac{dp}{p} = -\frac{g}{R} \cdot \frac{dh}{T} \quad (1.4.19)$$

elde edilir. Ayrıca deniz seviyesindeki sıcaklık T_0 ve Troposfer içerisindeki sıcaklık gradyanı $\lambda=6.5 \cdot 10^{-3}$ °C/m olmak üzere troposferdeki sıcaklığın irtifa ile değişimi

$$\boxed{T = T_0 - \lambda \cdot h} \quad (1.4.20)$$

şeklinde tanımlanırsa, $dh = -dT / \lambda$ olup

$$\frac{dp}{p} = \frac{g}{\lambda R} \cdot \frac{dT}{T} \quad (1.4.21)$$

ve deniz seviyesi ile herhangi bir irtifadaki şartlar arasında integral alınarak,

$$\boxed{\frac{p}{p_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{g}{\lambda R}}} \quad (1.4.22)$$

elde edilir. Yoğunluk değişimi için benzeri bir bağıntı hal denklemi yardımıyla

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{p/(RT)}{p_0/(RT_0)} = \frac{p}{p_0} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-1}$$

yazılarak

$$\boxed{\frac{\rho}{\rho_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{g}{\lambda R} - 1}} \quad (1.4.23)$$

şeklinde elde edilir. Ayrıca (1.4.20) bağıntısından sıcaklığın irtifaya bağlı değeri oransal değeri

$$\frac{T}{T_0} = 1 - \frac{h}{T_0/\lambda}$$

şeklinde yazılarak (1.4.22) ve (1.4.23) bağıntıları doğrudan irtifaya bağlı olarak

$$\boxed{\frac{p}{p_0} = \left(1 - \frac{h}{T_0/\lambda} \right)^{\frac{g}{\lambda R}}} \quad \boxed{\frac{\rho}{\rho_0} = \left(1 - \frac{h}{T_0/\lambda} \right)^{\frac{g}{\lambda R} - 1}} \quad (1.4.24)$$

şeklinde de yazılabilir.

ÖRNEK 1.4.3:

Troposfer içerisindeki basınç ve yoğunluğu deniz seviyesindeki değerlere irtifa cinsinden bağlayan (1.4.24) bağıntılarının katsayılarını SI ve IU birim sistemlerinde hesaplayınız.

Cözüm:

a) SI sisteminde

$T_0=288^\circ\text{K}$, $g=9.81 \text{ m/s}^2$, $R=287\text{J/kg}^\circ\text{K}$ olmak üzere

$$\boxed{\frac{p}{p_0} = \left(1 - \frac{h}{44308} \right)^{5.259}} \quad \boxed{\frac{\rho}{\rho_0} = \left(1 - \frac{h}{44308} \right)^{4.259}} \quad (1.4.25)$$

b) İngiliz birim sisteminde

$T_0=518.4^\circ\text{R}$, $g=32.185 \text{ ft/s}^2$, $R=1716 \text{ ft}^2/\text{s}^2^\circ\text{R}$, $\lambda=3.566 \cdot 10^{-3}^\circ\text{R}/\text{ft}$ olmak üzere

$$T = T_0 - 3.566 \cdot 10^{-3} \cdot h$$

$$\boxed{\frac{p}{p_0} = \left(1 - \frac{h}{145373}\right)^{5.259}} \quad \boxed{\frac{\rho}{\rho_0} = \left(1 - \frac{h}{145373}\right)^{4.259}} \quad (1.4.26)$$

NOT: Burada sadece bir uygulama amacıyla elde edilen katsayıların T_0 , g ve R 'nin alınan değerlerine bağlı olduğu açıktır. Farklı literatürde bu değerlerin farklı alınabildiği göz önüne alınır, ciddi bir mühendislik çalışması sırasında doğru değerlerin tespiti açısından yöresel standart kurumlarının verdiği değerleri kullanmak gerekeceği unutulmamalıdır.

1.4.4.2 Stratosfer için hesaplar :

Aerostatik taşıma denklemi ve hal denklemi birlikte kullanılarak elde edilen (1.4.19) denklemi bu defa stratosfer içerisinde sıcaklığın sabit ve $T=T_{11}$ şeklinde 11000 m irtifadaki (stratosfer tabanı) sıcaklığa eşit olduğu göz önüne alınarak integre edilirse

$$\int_{p_{11}}^p \frac{dp}{p} = -\frac{g}{RT_{11}} \cdot \int_{11000}^h dh \rightarrow \ln \frac{p}{p_{11}} = -\frac{g}{RT_{11}} \cdot (h - 11000) \quad (1.4.27)$$

veya her iki tarafın eksponansiyeli alınarak

$$\boxed{\frac{p}{p_{11}} = e^{-\frac{g}{RT_{11}}(h-11000)}} \quad (1.4.28)$$

bulunur. Yine, hal denklemi yardımıyla

$$\frac{\rho}{\rho_{11}} = \frac{p / (RT_{11})}{p_{11} / (RT_{11})} = \frac{p}{p_{11}}$$

yazılarak yoğunluk değişimleri için de

$$\frac{\rho}{\rho_{11}} = e^{-\frac{g}{RT_{11}}(h-11000)} \quad (1.4.29)$$

elde edilir.

1.4.4.3 İzafi yoğunluk :

Havacılıkla ilgili konularda bazen atmosferin herhangi bir seviyesindeki yoğunluk yerine, bu yoğunluğun deniz seviyesindeki yoğunluğa oranlanması yoluyla elde edilen ve izafi yoğunluk adı verilen boyutsuz bir büyüklük kullanılır

$$\boxed{\sigma = \frac{\rho}{\rho_0}} \quad (1.4.30)$$

Bu bağtımda geçen deniz seviyesindeki atmosfer yoğunluğu hal denklemi yardımıyla standart şartlarda

$$\rho_0 = \frac{p_0}{RT_0} = \frac{13.6 \times 9.81 \times 760}{287 \times 288} = 1.2267 \text{ kg / m}^3$$

şeklinde hesaplanabilir.

1.4.4.4 Atmosferin diğer özellikleri :

VİSKOZİTE:

Havanın viskozitesi sıcaklığın fonksiyonu olup, atmosfer içerisinde mutlak viskozitenin sıcaklıkla değişimi Rayleigh Formülü yardımıyla yaklaşık olarak

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^{0.75} \quad (1.4.31)$$

şeklinde verilir. Burada $T_0 = 288$ °K deniz seviyesindeki standart sıcaklık olup, bu sıcaklıktaki viskozitenin değeri de

$$\mu = 1.784 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m s}$$

dir.

ÖRNEK 1.4.4:

Standart atmosfer şartlarında 20 km irtifada mutlak ve kinematik viskozite katsayılarını hesaplayınız.

Cözüm:

20 km irtifada sıcaklık 11 km irtifadaki sıcaklıkla aynı olup

$$T_{20} = T_{11} = T_0 - \lambda \cdot h = 288 - 6.5 \cdot 10^{-3} \times 11 \cdot 10^3 = 216^\circ K$$

ve mutlak viskozite için

$$\mu = \mu_0 \cdot \left(\frac{T_{11}}{T_0} \right)^{0.75} = 1.784 \cdot 10^{-5} \times \left(\frac{216.5}{288} \right)^{0.75} = 1.4403 \cdot 10^{-5} \text{ Pas}$$

elde edilir. Ayrıca 11 km irtifadaki yoğunluk

$$\rho_{11} = \rho_0 \cdot \left(1 - \frac{h}{44308} \right)^{4.259} = 1.2267 \times \left(1 - \frac{11000}{44308} \right)^{4.259} = 0.3638 \text{ kg / m}^3$$

olup, buradan hareketle 20 km irtifadaki yoğunluk

$$\rho = \rho_{11} \cdot e^{-\frac{g}{RT}(h-11000)} = 0.3638 \times e^{-\frac{9.81}{287 \times 216.5} \times (20000-11000)} = 0.0879 \text{ kg / m}^3$$

ve böylece kinematik viskozite de

$$\nu_{11} = \frac{\mu_{11}}{\rho_{11}} = \frac{1.4403 \cdot 10^{-5}}{0.0879} = 16.386 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

olarak elde edilir.

SES HIZI:

Mükemmel bir gaz olarak kabul edilen hava içerisinde ses hızını sıcaklığa

$$a = \sqrt{\gamma R T} \quad (1.4.32)$$

şeklinde bağlamak mümkündür. Bilinen $\gamma=1.4$ ve $R=287 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$ değerleri kullanılarak bu bağıntı

$$a = 20.05 \sqrt{T} \quad (1.4.33)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan, ses hızının deniz seviyesindeki değeri de

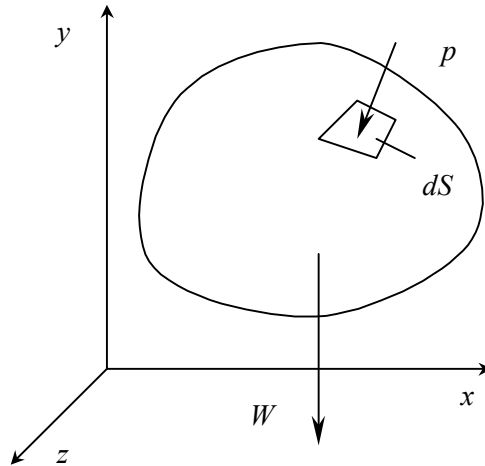
$$a_0 = 340.42 \text{ m/s}$$

olarak elde edilir. Sonuç olarak, troposferde irtifa ile sıcaklık azaldığından ses hızı da azalırken stratosferde sıcaklık irtifa ile değişmediğinden ses hızı da değişmez.

1.4.5 Aerostatik taşıma:

Denizlerde gemilerin ve denizaltıların su tarafından taşınması gibi atmosfer içerisinde balon, zeplin ve benzeri araçların hava tarafından taşınması da akışkanın statik taşıma özelliğine dayanmaktadır. Statik taşıma, yukarıdaki paragraflarda görüldüğü gibi akışkan içerisinde basıncın yükseklik ile değişmesinden kaynaklanmaktadır.

Herhangi bir cismin statik denge halinde bu cisme etkiyen kuvvetler toplamı ile momentler toplamının sıfır olacağı hatırlanır. Buna göre, hava içerisinde statik halde bulunan bir cismin (Şekil 1.4.8) denge durumunu inceleyelim. Bu cisme etkiyen kuvvetlerin çevredeki havanın etkittiği basınç kuvvetleriyle, cismin kendi ağırlığından ibaret olacağı açıktır. Yani bu iki kuvvetin toplamı sıfır olacaktır. Momentleri de sadece bu kuvvetler yaratacaktır.



Şekil 1.4.8: Aerostatik denge

Ağırlık düşey bir kuvvet olup yere doğru yönelmiştir. Basınç kuvvetleri bileşkesinin de, ağırlığa eşit olması gerektiğine göre, düşey doğrultuda ve yukarıya doğru olması gerekir. Yani basınç kuvvetlerinin yatay bileşenlerinin bileşkesi sıfırdır. Bu durumda çevredeki havanın

cisme yüzeyleri vasıtasıyla etkittiği basınç kuvvetlerinin düşey bileşkesi B ile ve cismin ağırlığı da W ile gösterilirse,

$$\boxed{B = W} \quad (1.4.34)$$

olacaktır.

Diğer taraftan, statik haldeki bir akışkan içerisinde basıncın yükseklikle değişmesi akışkanın kendi denge durumunun bir sonucudur. İçerisinde yer alan hareketsiz bir cismin bu basınç değişimi üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Daha önce çıkartılan (1.4.11) hidro/aero-statik taşıma denklemi hatırlanırsa akışkan içerisindeki basınç değişiminin nedeni bizzat akışkanın kendi ağırlığıdır. Yani Şekil 1.4.8 de ele alınan cismin yüzeyi üzerinde oluşan basınçların bileşkesi olan B kuvveti aslında bizzat cismin yerini işgal ettiği akışkan kütlesinin ağırlığına eşittir.

Sonuç olarak,

Bir akışkan içerisinde statik halde bulunan bir cisme, yerini işgal ettiği akışkan ağırlığına eşit bir taşıma kuvveti etkir.

1.4.5.1 Denizaltı ve balonlarda hidro/aerostatik taşıma

Statik denge durumunda cisme etkileyen taşıma kuvveti ile cismin ağırlığı birbirine eşit iken, cismin aşağı veya yukarı hareket etmesi istenirse bu dengenin bozulması gerekir.

Örneğin denizaltı gibi hacmi değişmeyen bir cisim göz önüne alınırsa ve deniz içerisinde belli bir derinlik kuşağında suyun yoğunluğunun önemli miktarda değişmediği farzedilirse suyun denizaltıya etkittiği taşıma kuvveti değişmeyeceği için dengeyi değiştirmenin tek yolu denizaltı içerisindeki özel bir bölmeye denizden su çekerek ağırlığın arttırılması veya bunun tersinin yapılması, yani mevcut suyun bir kısmının denize salıverilmesidir.

Atmosfer içerisinde balon veya benzeri bir vasıta ele alınırsa, belirtilen dengeyi bozmak için, balonda önceden bulunan fazla ağırlıkların (safra) bir kısmı atılarak veya balonun içindeki gaz ısıtma yoluyla genişletilerek bir kısmı balonun dışına atılmak suretiyle ağırlık azaltılabilir. Ayrıca irtifa ile havanın yoğunluğu değiştiği için aynı hacimdeki havanın ağırlığı, yani cisme etkileyen statik taşıma kuvveti değişir.

ÖRNEK 1.4.5:

Bir insan balonla nasıl taşınır?

Cözüm:

Ortalama bir insan ağırlığı 75 kg kabul edilirse, bu ağırlığı taşıyacak aerostatik kuvvet

$$B = 75 \times 9.81 = 735.75 \text{ N}$$

olacaktır. Bu kuvveti üretecek hava hacmi deniz seviyesindeki standart atmosfer şartlarında

$$B = g \cdot \rho \cdot V \quad \rightarrow \quad V = \frac{B}{\rho \cdot g} = \frac{735.75}{1.226 \cdot 9.81} = 61.17 \text{ m}^3$$

ve balonun küresel olduğu varsayılırsa çapı

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad \rightarrow \quad R = \left(\frac{3V}{4\pi} \right)^{1/3} = \left(\frac{3 \times 61.17}{4\pi} \right)^{1/3} = 2.4 \text{ m} \quad \rightarrow \quad D \cong 5 \text{ m}$$

NOT: Bu balon çapının sadece insan taşımak için yeterli olacağı, ayrıca balonun çeper ağırlığının sepet ve donanım ağırlıklarının ve balonun içinde kullanılacak olan gazın ağırlığının da hesaba katılması gerektiği unutulmamalıdır.

1.4.5.2 Uçaklarda aerostatik ve aerodinamik taşıma

Uçakların da hacmi dikkate alınarak bir aerostatik taşıma kuvvetine maruz kalacağı düşünülebilir. Bu kuvvetin mertebesi hakkında bilgi sahibi olabilmek için örneğin bir A300 uçağını göz önüne alalım.

A300 uçağının boyu 53 m ve maksimum gövde çapı da 5.64 m dir. Gövdenin bir kısmı silindirik olmayıp daha dardır. Ancak kanat ve kuyruk hacmini bu dar kısımlar yerine alarak ve bütün gövde boyunca aynı çapta silindirik bir yapıya sahip olduğunu varsayarak hacmini yaklaşık

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot l = \frac{\pi \times (5.64)^2}{4} \times 53 = 1324 \text{ m}^3$$

olarak tahmin etmek mümkündür. Bu durumda sağlanacak aerostatik taşıma

- deniz seviyesindeki standart atmosfer şartlarında

$$B = \rho \cdot g \cdot V = 1.226 \times 9.81 \times 1324 = 15924 \text{ N} = 1623 \text{ kgk} \cong 1.6 \text{ ton}$$

- 10 km irtifadaki standart atmosfer şartlarında ($\rho/\rho_0=0.33$)

$$B = 0.33 \times 1623 \text{ kgk} = 536 \text{ kgk} \cong 0.5 \text{ ton}$$

olacaktır. Oysa A300 uçağının ağırlığı kalkışta

Boş iken 78 ton

Tam dolu iken 165 ton

olup uçağı taşımak için başka bir kuvvete ihtiyaç vardır ki bu kuvvet “**AERODİNAMİK KUVVET**” tir.

ÖRNEK SORULAR

- 1.1.1- Aerodinamik bilimini tanımlayarak amaçlarını belirtiniz.
- 1.1.2- Aerodinamik biliminin ilgi alanlarını örneklerle sıralayınız.
- 1.1.3- Aerodinamik biliminin inceleme tarzlarını açıklayınız.
- 1.1.4- Aerodinamik biliminin uçak mühendisliğine ilişkin diğer bilim dallarıyla ilişkisini bir şema ile açıklayınız.
- 1.2.1 - Havanın deniz seviyesinde standart şartlarda 1.2256 kg/m^3 olarak bilinen yoğunluğunu İngiliz birim sisteminde hesaplayınız. (Cevap : 0.07651 lb/ft^3)
- 1.2.2 - Bir uçağın 260 km/saat olarak verilen hızını m/sn , ft/sn , $knots$ ve mph cinsinden hesaplayınız. (Cevap : 72.22 m/sn , 236.95 ft/sn , 140.4 knots , 161.56 mph)
- 1.2.3 - Havanın deniz seviyesinde standart şartlarda 101325 Pa olarak verilen basıncını psi cinsinden hesaplayınız. (Cevap : 14.69 psi).
- 1.3.1-Bir akışkanın fiziksel özellikleri deyince aklınıza hangi büyüklükler gelir? Bunların boyutlarını ve SI sistemindeki birimlerini yazınız.
- 1.3.2- Havanın deniz seviyesinde standart şartlarda SI birim sistemi ile verilmiş fiziksel özelliklerini İngiliz birim sisteminde hesaplayınız.
- 1.4.1- Standart atmosfer nedir? Neden önemlidir? Açıklayınız.
- 1.4.2- Hidro/Aerostatik taşıma denklemini çıkartınız.
- 1.4.3- Aerostatik taşıma denkleminin integrasyonundan hareketle sıvılı manometrelerin basınç farklarının ölçülmesinde nasıl kullanıldığını açıklayınız.
- 1.4.4- Aerostatik taşıma denklemini troposfer tabakası içerisinde integre ederek, herhangi bir irtifadaki basıncı ve yoğunluğu deniz seviyesindeki değerlere bağlayan formülleri çıkartınız.
- 1.4.5- 45 derece eğilmiş bir manometrede 75 mm civa sütunu 'nun kaç bar 'lık bir basınç farkı belirttiğini hesaplayınız.
- 1.4.6- Troposfer tabakası içerisinde sıcaklığın her 1000 m 'de 6.5° olmak üzere lineer şekilde azaldığını göz önüne alarak, deniz seviyesindeki sıcaklığın 18°C ve basıncın 770 mm civa sütunu olduğu bir günde 3 000 m irtifadaki sıcaklık, basınç ve yoğunluğu hesaplayınız.
- Aynı irtifada 180 km/saat hızla uçmakta olan, 2 m ortalama veter uzunluğuna sahip bir uçak için Mach sayısını ve Reynolds sayısını hesaplayınız.
- 1.4.7- Hava sıcaklığının irtifa ile her kilometrede 7°C azaldığı bir günde bir hava alanı civarındaki ortam basıncı ve sıcaklığı sırasıyla 753 mm civa sütunu ve 5°C olarak ölçülmüştür. Bu hava alanının 3 km yukarısındaki bir irtifada havanın basınç ve yoğunluğu ne olur?
- 1.4.8- Deniz seviyesinde sıcaklığın 25°C ve basıncın 770 mm civa sütunu olduğu bir günde 3000 m irtifada uçan bir uçaktan yapılan ölçme sonucu bu irtifada sıcaklığın 4°C olduğu, daha yukarıda bilinmeyen bir başka irtifada uçan bir diğer uçaktan yapılan ölçme

sonucu da bu ikinci irtifadaki basıncın 55 000 Pa olduğu tespit edilmiştir. Atmosfer sıcaklığının belirtilen şartlarda deniz seviyesinden ikinci irtifaya kadar lineer olarak değiştiğini kabul ederek, bu iki uçağın uçtukları irtifalar arasındaki farkı hesaplayınız.

1.4.9- Standart atmosfer şartlarında troposfer içerisindeki bir irtifada 240 km/saat hızla uçmakta olan 1.7 m ortalama veter boyuna sahip bir uçağın Reynolds sayısı 6×10^6 olarak belirtilmiştir. Bu uçağın uçmakta olduğu irtifayı ve uçağın Mach sayısını hesaplayınız.

1.4.10- Troposfer içerisinde iki farklı irtifada basıncın sırasıyla 360 mm civa sütunu ve 230 mm civa sütunu olarak ölçüldüğü bir günde sıcaklık da sırasıyla -45°C ve -70°C olarak tespit edilmiştir. Sıcaklığın lineer olarak değiştiğini farzederek bu iki irtifa arasındaki farkı hesaplayınız.

1.4.11- Deniz seviyesinde basıncın 765 civa sütunu ve sıcaklığın 20°C olduğu bir günde 6000 m irtifaya kadar atmosfer sıcaklığının lineer olarak değiştiği ve sıcaklık gradyanının $7^\circ\text{C}/\text{km}$ olduğu tespit edilmiştir. Troposfer içerisinde daha yüksek, bilinmeyen bir irtifadaki basınç 0.36 bar ve sıcaklık da -42°C olarak ölçülmüştür. 6000 m irtifa ile bu bilinmeyen irtifa arasında da sıcaklığın lineer olarak, ama farklı bir gradyanla değiştiğini düşünerek bilinmeyen irtifayı hesaplayınız.

1.4.12- Standart atmosfer şartlarının hüküm sürdüğü bir günde 9000 m irtifada uçmakta olan bir uçağın içerisi deniz seviyesindeki hava şartları oluşacak şekilde iklimlendirilmiştir. Bu uçağın 25cm×25cm boyutlarındaki bir penceresine, iç ve dış basınçlar arasındaki fark nedeniyle etkiyen kuvvetin yönünü ve miktarını bulunuz.