

## G R

Akı kanlar kayma gerilmeleri etkisi altında sürekli deformasyona yani ekilde ikliline u rayan maddelerdir. Örne in, hava, su ve ya lar en yaygın akı kanlardır. Akı kanlar mekani i, akı kanların birtakım kuvvetler etkisindeki hareketsiz ve hareketli durumlarını ve akı kanların di er akı kanlarla ve katı yüzeylerle etkile imlerini inceleyen bilim dalıdır. Hareketsiz akı kanlarla ilgili dalı akı kanlar statik i, hareketli akı kanlarla, yani akım ile ilgilenen dalı ise akı kanlar dinamik i olarak adlandırılır. Akı kanlar mekani i, ayrıca birkaç alt sınıfa da ayrılır. Uygulamada sıkı tırlamaz kabul edilen akı kanların (sıvılar ve dü ük hızlarla hareket eden gazlar) hareketi ile ilgili dal hidrodinamik olarak adlandırılır. Hidrodinamik in alt dalı olan hidrolik, sıvıların boru ve açık kanallardaki akı ı ile ilgilenir. Hidrolik makinelerine birkaç örnek pompalar, fanlar, türbinler ve kompresörlerdir. Gaz dinamik i ise sıkı tırlabilir akımlar olarak tanımlanan akı kan yo unlu unun önemli ölçüde de i ti i akımlar ile ilgilenir. Gazların katı yüzeyler ile sınırlı alanlarda yüksek hızlı akımları gaz dinamik inin ilgi alanıdır. Aerodinamik ise akı kanların, özellikle havanın cisimler etrafındaki yüksek ve dü ük hızlı akımları ile ilgilenir. Otomobiller, uçaklar ve roketler gibi cisimlerin etrafındaki hava akımları aerodinamik in ilgi alanına girer. Meteoroloji ve hidroloji gibi di er alt dallar ise do al olarak geli en akımlar ile ilgilenir.

Aslında, var olan ço u ey ya akı kandır ya da akı kanla temas halindedir. Gazlar ve sıvılar olmak üzere akı kanlar iki sınıftır. Bildi imiz gibi maddenin üç hali vardır: katı, sıvı ve gaz. Sıvılar ve gazlar akı kanlar olarak sınıflandırıldı ına göre aslında tüm maddeler katı ve akı kan olarak yalnızca iki halde bulunur. Katı ile akı kan arasındaki fark, maruz kaldıkları kayma gerilmesi veya te etsel gerilmeye kar ı gösterdikleri tepki farklılıklarıdır. Katı bir cisim, kayma gerilmesi etkisi altında çok az da olsa bir miktar ekilde i imine u rar, bir ba ka ifadeyle katı cisimde ekilde i klili i meydana getirmek için çok büyük de erlerde kayma gerilmelerine maruz kalması gerekir, yani katılar uygulanan kayma gerilmesine bir miktar ekilde i tirerek direnebilir. Fakat akı kana etkiyen kayma gerilmesi, iddeti ne kadar küçük olursa olsun, akı kan ekilde i tirir. Kayma gerilmesi katılarda ekilde i tirme ile orantılı iken akı kanlarda ekilde i tirme hızı ile orantılıdır. Katının sabit bir kayma kuvvetine maruz kaldı ında ekilde i tirmesi belirli bir noktada son bulurken, sıvının ekilde i tirmesi asla durmaz ve belirli bir ekilde i tirme hızına yakla ır. Kayma gerilmesinin meydana geldi i sürece akı kanın devamlı ekilde i tirmesi akı kanın hareket etmesine sebep olur ve bu olaya akım veya akı denir. Bu olay tersine de do rudur. E er akı kan hareket ediyorsa muhakkak kayma gerilmelerine maruz kalıyor ve ekilde i tiriyor demektir. O zaman durgun bir akı kanın kayma gerilmesine maruz kalması olası de ildir. Bu durumda, akı kan normal gerilme altındadır. Gerilme, birim alana etkiyen kuvvet olarak tanımlanır ve kuvvetin etkidi i alana bölünmesiyle belirlenir. Bir yüzeyin birim alanına etkiyen kuvvetin dik bile enine normal gerilme, te etsel bile enine de kayma gerilmesi denir. Durgun akı kanlarda normal gerilme basınç olarak adlandırılır ve hidrostatik kuvvetler söz konusudur. Akı kanın hareketsiz hali kayma gerilmesinin sıfır oldu u bir durumdur.

Daha önce de belirtildi i gibi akı kanlar gazlar ve sıvılar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Gazlar ve sıvılar arasındaki fark, moleküller arası çekim kuvvetleri ve moleküller arası mesafeler ile açıklanabilir. Sıvılar, büyük çekim kuvvetleri etkisi altında birbirlerine çok daha yakın kümelenmi moleküllerden olu tu undan kendi hacimlerini korumaya meyillidirler, üstlerinden sınırlanmadıkça yerçekimi etkisi altında serbest yüzey olu tururlar. Gaz molekülleri arasındaki mesafe ise ihmal edilebilir büyüklükteki çekim kuvvetleri nedeniyle, sıvı moleküllerinkine oranla çok büyüktür ve böylece gazlar içinde bulundukları hacmi tamamen kaplayana kadar geni lerler. Sıvılardan farklı olarak serbest yüzey olu turmazlar. E er

bulundukları hacim katı sınırlar ile tamamen çevrili de ilse gazlar belirli bir hacme sahip de ildir. Sınırlı oldukları katı yüzeylerin olu turdu u hacme sahiptirler. Bu nedenle akı kan olarak gazlar söz konusu oldu unda yo unluk farkından kaynaklanan kaldırma kuvvetlerinin etkisi dı ında, yerçekimi etkileri pek dikkate alınmaz. Molekülleri arası ba lar en güçlü katılardır, dolayısıyla birbirlerine uyguladıkları çekim kuvvetleri çok büyüktür, ayrıca molekülleri hep aynı düzendedir ve konumlarını korurlar. Sıvılarda da moleküller arası ba lar katılardakilerden çok farklı de ildir, sadece moleküllerinin birbirlerine göre konumları sabit olmayıp serbestçe dönebilir ve yer de i tirebilirler. Gazlarda da moleküller arasında bir düzen mevcut de ildir. Gaz molekülleri rastgele hareket ederek birbirlerine ve içinde bulundukları kabın çeperlerine sürekli olarak çarparlar. Gaz molekülleri sıvı ve katılarınkine göre oldukça yüksek bir enerji seviyesine sahiptirler. Bu nedenle gazlar, yo u urken veya katıla ırken enerjilerinin önemli bir kısmını serbest bırakmak zorundadır. Akı kanlar mekani i ile ilgili uygulamalarda sistem birçok molekülden olu ur ve sistemin özellikleri do al olarak bu moleküllerin davranı larına ba lıdır. Fakat, problemin çözümü için moleküllerin nasıl hareket ettiklerinin bilinmesi gerekmez. Bu makroskobik yakla ım, tek tek moleküllerin davranı mı bilmeyi gerektirmez, yani sistemle moleküler seviyede ilgilenmez. Bu yöntemle mühendislik problemlerinin do rudan ve kolay yoldan çözülmesi sa lanır.

Akı kanlar mekani inde de fizi in temel kanunları geçerli olup, deneysel çalı ma ve teorik yakla ımların birlikte kullanılması gerekir. Akı kanlar mekani inin temel denklemleri karma ık geometrilere sahip cisimlerle ilgili karma ık akımların matematiksel olarak incelenmesi tanımlanamayacak kadar zordur. Bu nedenle, ders kitaplarının ço unda düz yüzeyler, dairesel kesitli borular ve benzeri kolay geometriler incelenir. Bu sebeplerden dolayı akı kan problemleri için teoriler mevcut olup bütün durumlarda deneylerle desteklenmeye ihtiyaç vardır. Deneyler teorinin tamamlayıcısıdır. Akı kanlar mekani i ile ilgili bir çok konuda ba ıntılar deneysel incelemeler sonucunda elde edilmi tir.

## ÜN TE 1

### GENEL TANIMLAR

#### 1.1 Giri

#### 1.2 Boyutlar ve Birimler

Boyut, bir fiziksel büyüklüğün nicel olarak ifade edildiği ölçüdür. Yani belirli bir cisim, olgu veya sistemin fiziksel bir büyüklüğünü, davranışını belirtmek veya belirlemek için kullanılan fiziksel bir birimdir. Örneğin bir cismin uzunluğu fiziksel bir boyuttur, benzer şekilde bir akı kanının sıcaklığı da termodinamik bir boyuttur. Fiziksel bir büyüklük boyutları ile ayırt edilebilir. Birim ise, boyutun ölçüsüdür, yani nicel boyutun kimliktir, bir birimle ifadeyle boyutları gösteren büyüklükler birim olarak adlandırılır. Boyut ve birim ayrılmaz ikilidir, biri diğeri olmadan bir anlam ifade etmez. Örneğin, 10 m derinlik dediğimizde derinlik bir uzunluk boyutudur, boyut ölçüsü 10 ve birimi metredir. Boyutlar birimsiz verildiğinde hiçbir anlam ifade etmezler.

Varılan uluslararası standartlara göre kullanılan birim sistemleri ülkeden ülkeye değişmektedir. Bilim ve mühendislik çevrelerinin dünyayı tek bir birim sisteminde birleştirmek için gösterdikleri yoğun çabaya rağmen, günümüzde halen iki farklı birim sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. İngiliz birim sisteminde hata yapmak çok olasıdır, çünkü kendi sistemi içinde alt ve üst katları arasında 10'un katları olmayan oranlarda dönüşüm faktörleri vardır. İngiliz sisteminin belirli sistematik sayısal bir temeli yoktur ve tam tersine bu sistemdeki çeşitli birimler arasında karmaşık ve öğrenmeyi zorlaştıran tamamen keyfi bir ilişki vardır. 1875 yılında ABD'nin de içinde yer aldığı 17 ülke tarafından imzalanan anlaşmada metrik sistem kullanılmasında uzlaşmaya varılmıştır. Bu uluslararası anlaşmada metre ve gram sırasıyla uzunluk ve kütle için metrik birimler olarak kabul edilmiştir. Metrik sistem 10'un katlarından oluşan dönüşüm faktörlerini temel aldığı için İngiliz birim sistemine oranla daha kolaydır. Metrik sistemi daha da standart hale getirmek için 40 ülkenin katılımı ile 1960 yılında yapılan Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda Uluslararası Birim Sistemi olarak da bilinen metrik SI sistemi önerilmiştir ve kütle için kilogram (kg), uzunluk için metre (m), zaman için saniye (s), elektrik akımı için amper (A), sıcaklık için derece Kelvin (°K) standart birim olarak kabul edilmiştir. İngiliz sisteminde ise kütle ve uzunluk standart birimleri sırasıyla pound-kütle (lbm) ve foot (ft)'dur.

$$1 \text{ lbm} = 0.45359 \text{ kg}$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

Kütle (m), uzunluk (L), zaman (t) ve sıcaklık (T) ana boyutlardır. Diğer tüm fiziksel büyüklüklerin boyutları bu dört ana boyuttan türerler ve ikincil boyutlar olarak adlandırılırlar. Günümüzde bazı ultrason cihazı gibi teknolojik cihazlar veya sinemaların 3-5 boyutlu diye tanımlandığını görmekteyiz. Bir sinema gösteriminin 3 boyutlu olarak tanımlanması, görüntünün ebat boyutları olan uzunluk, genişlik ve derinlik doğrultusunda algılanması ile ilgilidir. 4. boyut söz konusu olduğunda (gerçek) zaman, 5, 6, 7 diye tanımlananlara ise kütle, ses, kuvvet (etki-tepki) vb. boyutlar dahil edilmektedir.

Akışkanlar mekaniğindeki ana boyutlar ve bazı önemli fiziksel büyüklükleri simgeleyen semboller ve standart birimleri metrik SI ve İngiliz sistemi olarak Tablo 1.1'de verilmiştir. Alt ve üst katlarını da kapsayan metrik SI ve İngiliz birimleri ve dönüşüm çarpanları daha detaylı olarak Ek 1'de verilmiştir. Vektörel büyüklükler hız, ivme ve kuvvet kalın karakterlerle simgelenmektedir.

Tablo 1.1

Boyut	Sembol	Standart SI Birimi	Standart BG Birimi
Uzunluk	L	m	in, ft
Zaman	t	s	s
Kütle	m	kg	lbm
Sıcaklık	T	°C, K	°F
Hacim	V	m <sup>3</sup>	in <sup>3</sup> , ft <sup>3</sup>
Kuvvet	F	N, kg.m/s <sup>2</sup>	lbf
A ırlık	W	N, kg.m/s <sup>2</sup>	lbf
Hız	V	m/s	ft/s
vme	a	m/s <sup>2</sup>	ft/s <sup>2</sup>
Yerçekimi ivmesi	g	m/s <sup>2</sup>	ft/s <sup>2</sup>
Debi (hacimsel, kütleli)	Q, m	m <sup>3</sup> /s, kg/s	ft <sup>3</sup> /s, lbm/s
Basınç	P	Pa, N/m <sup>2</sup> , kg/m.s <sup>2</sup>	psi
Gerilme (normal, kayma)	,	Pa, N/m <sup>2</sup> , kg/m.s <sup>2</sup>	psi
Yo unluk		kg/m <sup>3</sup>	lbm/ft <sup>3</sup>
Viskozite (dinamik, kinematik)	μ,	kg/m.s, m <sup>2</sup> /s	lbm/ft.s, ft <sup>2</sup> /s
Enerji	W	J, N.m, kg.m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Btu, kcal
Güç	W	W, J/s, N/m.s	HP, Btu/h

Kuvvet birimi Newton'un ikinci yasasından türetilen ikincil bir boyut olarak de erlendirilir.

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

Metrik SI sisteminde kuvvet birimi Newton'dur (N) ve 1kg'lık kütleyi 1m/s<sup>2</sup> ivmelendirmek için gerekli kuvvet olarak tanımlanır. ngiliz sisteminde kuvvet birimi pound-kuvvettir lbf ve 32.174 lbm kütleyi 1 ft/s<sup>2</sup> ivmelendirmek için gerekli kuvvet olarak tanımlanır.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$$

$$1 \text{ lbf} = 32.174 \text{ lbm.ft/s}^2$$

Birçok Avrupa ülkesinde yaygın olarak kullanılan di er bir kuvvet birimi olan kilogram-kuvvet (kgf) ise 1 kg kütlenin deniz seviyesindeki a ırlı ıdır.

$$1 \text{ kgf} = 9.807 \text{ N}$$

A ırlık terimi, ço u zaman hatalı bir eilde kütleyi ifade etmek için kullanılır. A ırlık (**W**), kütleden farklı olarak bir kuvvettir. A ırlık cisme etkiyen yerçekimi kuvvetidir ve büyüklü ü Newton'un ikinci yasasına göre belirlenir.

$$\mathbf{W} = m\mathbf{g}$$

Burada m cismin kütlesi, g yerel yerçekimi ivmesidir. Deniz seviyesinde yerçekimi ivmesinin de eri 9.807 m/s<sup>2</sup>'dir. Yerçekimi ivmesi yükseklikle azalır, dolayısıyla cismin a ırlı ı yerçekimi ivmesindeki yerel de i ikli e ba lı olarak de i ir. Bir cismin kütlesi ise evrendeki konumundan ba ımsız olarak hep aynıdır. Yerçekimi ivmesinin deniz seviyesindeki de eri olan

9.807 m/s<sup>2</sup>'den 30000 m yüksekli e kadar sapması yüzde 1'den azdır. Bu nedenle uygulamaların ço unda yerçekimi ivmesinin de eri sabit olarak 9.81 m/s<sup>2</sup>, ngiliz sisteminde ise 32.174 ft/s<sup>2</sup> alınır.

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2 = 32.174 \text{ ft/s}^2$$

Enerjinin bir türü olan i , basitçe kuvvet ile mesafenin çarpımıdır. Dolayısıyla birimi N.m'dir ve joule J olarak adlandırılır. ngiliz sisteminde enerji birimi Btu'dur (British thermal unit). Metrik sistemde 14.5°C sıcaklı ındaki 1 g suyun sıcaklı ını 1°C artırmak için gerekli enerji miktarı 1 kalori (cal) olarak tanımlanır. Btu ve kJ birimleri ise hemen hemen özde tir.

$$1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J}$$

$$1 \text{ Btu} = 1.0551 \text{ kJ}$$

Güç, kuvvet ile hızın çarpımıdır ve birim zamanda yapılan i olarak tanımlanır. Dolayısıyla birimi N.m/s<sup>2</sup>'dir ve watt (W) olarak adlandırılır. ngiliz birim sisteminde güç birimi olarak yaygın olarak Btu/h ve beygircüğüne (BG) kar ılık gelen horsepower (hP) kullanılır.

$$1 \text{ BG} = 1 \text{ hP} = 746 \text{ W}$$

$$1 \text{ kW} = 3412.14 \text{ Btu/h} = 0.9478 \text{ Btu/s}$$

Metrik sisteme geçen ülkelerde de Newton yerine kilogram-kuvvet veya joule yerine kalori kullanılması gibi benzer durumlar nedeniyle halen problemler ya anmaktadır. Benzer durum güç birimi beygircüğünde de ya anmaktadır. Metrik sistemde beygircüğünün kW kar ılı 1 a a ıdaki gibidir.

$$1 \text{ BG} = 1 \text{ hP} = 735.75 \text{ W}$$

Mühendislikte, sonuçların genel kullanılan birimlerle ifade edilmeleri durumunda çok sayıda sıfırın yer aldığı , çok küçük ya da çok büyük sayılarla kar ılı lması sıkça rastlanan bir durumdur. Örne in 1000000000Pa gibi bir basınç de erini yazmak ve ifade etmek uzun, gereksiz ve gariptir. Bunun yerine 10<sup>6</sup> anlamına gelen mega olarak anılan M ön ekini kullanarak aynı basınç de erini 100MPa, megapascal, olarak yazabiliriz. Bu tip ekler hem SI hem de BG birim sisteminde yaygın olarak kullanılır ve de çok faydalıdır. Bunların tam listesi Tablo 1.2'de verilmi tir.

Tablo 1.2

Çarpım Faktörü	Ön Ek Adı	Sembol
10 <sup>12</sup>	tera	T
10 <sup>9</sup>	giga	G
10 <sup>6</sup>	mega	M
10 <sup>3</sup>	kilo	k
10 <sup>2</sup>	hekto	h
10	deka	da
10 <sup>-1</sup>	desi	d
10 <sup>-2</sup>	santi	c
10 <sup>-3</sup>	mili	m
10 <sup>-6</sup>	mikro	μ
10 <sup>-9</sup>	nano	n
10 <sup>-12</sup>	piko	p
10 <sup>-15</sup>	femto	f

10 <sup>-18</sup>	atto	a
-------------------	------	---

## ÜN TE 2

### AKI KANLARIN ÖZELLİKLERİ

#### 2.1 Giriş

Bir sistemin veya maddenin herhangi bir karakteristiğine özellik denir. Özellikler, aslında maddenin yapısında, yani varlığında doğal olarak mevcuttur, bizim yaptığımız sadece var olanı tanımlamaktır. En çok bilinen özellikler arasında basınç, sıcaklık ve yoğunluk vardır. Viskozite, ısı iletkenlik, elastik modülü ve ısı genleşme katsayısı gibi özellikler ise daha az bilinir. Özellikler, yoğun ve yaygın olmak üzere iki gruba ele alınabilir. Yoğun özellikler kütleden bağımsız özelliklerdir. Sıcaklık, basınç ve yoğunluk bu gruba girerler. Kütle, hacim ve momentum gibi kütleyle bağılı sistemin boyutuna veya büyüklüğüne göre değişen özellikler de yaygın özellikler grubuna girerler. Genellikle büyük harfler yaygın özellikleri göstermede (burada kütle m bir istisnadır), küçük harfler ise yoğun özellikleri göstermede (burada da sıcaklık T bir istisnadır) kullanılır. Birim kütle başına verilen yaygın özellikler özgül özellikler olarak adlandırılır ve yoğun özellikler grubuna girerler. Özgül hacim buna iyi bir örnektir. Özgül tanımı bir fiziksel büyüklüğün adında ön ek olarak yer alır ve nadir de olsa birim hacim başına düşen özelliği tanımlamak için de kullanılır.

#### 2.2 Sürekli Ortam

Sürekli ortam idealleştirilmiş bir durumdur. Sürekli ortam idealleştirmesi, özellikleri nokta fonksiyonu olarak ele almamıza ve bu özelliklerin uzayda hiçbir süreksizliğe ulaşmaksızın değiştiklerini varsaymamıza olanak sağlar. Bazı özel durumlar hariç tutulursa, uygulamalardaki tüm problemler bu kapsama girer ve sürekli ortam olarak ele alınır. Bir bardak içindeki suyun yoğunluğunun her noktada aynı kabul edilerek ele alınması aslında problemin çözümünü zorla tırmamak için farkında olmadan kendiliğinden kabul ettiğimiz sürekli ortam idealleştirmelerindendir.

#### 2.3 Yoğunluk

Maddenin birim hacminin kütlesi olarak tarif edilir ve  $\rho$  simgesi ile ifade edilir.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

burada m kütle (kg), V hacimdir (m<sup>3</sup>). Yoğunluğun standart birimi kg/m<sup>3</sup>'tür, fakat özel birimlerle de kullanılır. Bir maddenin yoğunluğu genel olarak sıcaklık ve/veya basınçla bağlıdır. Sıvıların yoğunluğu basınçtan pek etkilenmez, sıcaklıktan ise nispeten biraz daha fazla etkilenir. Sıvılar, sıkı tırlamaz maddelerdir ve yoğunluklarındaki basınçla ilgili değişim çok küçük seviyelerde olduğu için ihmal edilir. Örneğin 20°C sıcaklıkta suyun yoğunluğu 1 atm basınçta 998 kg/m<sup>3</sup> de erinden 100 atm basınçta 1003 kg/m<sup>3</sup>'e değişir ki burada sadece %0.5'lik bir değişim söz konusudur. Sıvıların yoğunluğu basınçtan çok sıcaklıkla bağlıdır. 1 atm basınç ve 20°C sıcaklıkta 998 kg/m<sup>3</sup> olan suyun yoğunluğu aynı basınç ve 75°C sıcaklıkta 975 kg/m<sup>3</sup>'e düşer. Bu değişim %2.3 nispetinde olsa da çoğu mühendislik uygulamalarında yine de göz ardı edilebilir. Öyleyse sıvıların yoğunluğunun basınç ve sıcaklıkla bağımlılığını ihmal ederek, suyun yoğunluğunu pratikte 1000 kg/m<sup>3</sup> olarak kabul edebiliriz. Bu durumun sebebi,

sıvıların yoğunluğunun moleküllerin ağırlığına da il, yapılarına ve molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerinin, özellikle hidrojen bağlarının varlığına bağlı olmasıdır. Örneğin, ağırlıklı olarak hidrokarbon zincirlerinden oluşan bitkisel yağların moleküler ağırlıkları yaklaşık 300 kg/kmol, suyun moleküler ağırlığından, 18 kg/kmol, çok fazla olmasına rağmen yoğunlukları ( $910\text{kg/m}^3$ ) suya göre ( $1000\text{kg/m}^3$ ) daha azdır. Yine moleküler ağırlığı 98 kg/kmol olan sülfirikasit,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , hidrojen bağlarının varlığından dolayı bilinen en yoğun ( $1800\text{kg/m}^3$ ) sıvılardan biridir. Endüstriyel önemi olan bazı sıvıların yoğunlukları diğer bazı fiziksel özellikleriyle beraber **Ek 3' de** verilmiştir.

Gazların molekülleri birbirlerinden tamamen bağımsız oldukları için, yoğunlukları moleküler düzeyde basınçlarına, basınçları ise iç enerjilerine, dolayısıyla sıcaklıklarına bağımlı tanımlanır. Buradan anlaşılacağı gibi gazların yoğunluğunda basınç ve sıcaklık büyük etkindir. Çoğu gazların yoğunluğu basınçla doğru, sıcaklıkla ters orantılı olarak değişir. İdeal gazların yoğunluğu ideal gaz yasası bağıntısından yararlanılarak bulunabilir.

$$PV = mRT \quad \dots = \frac{P}{RT} \quad (1.2)$$

Burada P mutlak basınç (Pa), T sıcaklık (K), ve R gaz sabitidir (J/kg.K veya J/kg.°C). Gerçek gazlar için ideal gaz yasası bir faktör ilavesiyle kullanılır. Bu faktör, bağı etkilerini gazın sıcaklık ve basıncına bağlı olarak göz önüne alan bir sıkıştırılma faktörü (Z) olup bir düzeltme faktörü olarak ele alınabilir.

$$Z = \frac{PV}{mRT} \quad (1.3)$$

İdeal gazlar için  $Z=1$ , gerçek gazlar için ise  $Z<1$ . Deallikten sapma daha çok yüksek basınçlarda söz konusudur.

Yoğunlukla ilgili tanımlanan bazı önemli özellikler de mevcuttur, bunlar daha çok fiziksel algılamayı kolaylaştıran özelliklerdir.

1. **Özgöl Ağırlık:** Akı kanın birim hacminin ağırlığı olarak tanımlanır ve  $\rho$  simgesi ile ifade edilir ve birimi  $\text{N/m}^3$  tür. Ağırlığın yerçekimi ivmesine bağımlılığından ötürü yerel olarak değişir.

$$\rho = \frac{W}{V} \quad (1.4)$$

2. **Bağıl Yoğunluk:** Bazen akı kanların yoğunluğu referans kabul edilen iyi bilinen bir akı kanın yoğunluğuna oranı olarak verilir. Bu oran bağıl yoğunluk olarak adlandırılır ve  $\rho_b$  ile sembolize edilir. Genellikle kullanılan referans akı kan su ve yoğunluğu 1 atm (101.325 kPa) basınçta ve 4°C sıcaklıktaki deeri ( $1000\text{kg/m}^3$ ) referans olarak kabul edilir.

$$\rho_b = \frac{\rho}{\rho_{su}} = \frac{\rho}{1000} \quad (1.5)$$

Ba ıl yo unlu un birimsiz bir büyüklük oldu una dikkat ediniz. Ayrıca, gazların ba ıl yo unlu u verilirken standart artlardaki (101.325 kPa basınç ve 15°C sıcaklık) havanın yo unlu u (1.225 kg/m<sup>3</sup>) referans olarak kabul edilir.

3. **Özgül Hacim:** Bazen de yo unlu u ifade etmek amacıyla özgül hacim tanımı kullanılır. Özgül hacim yo unlu un tersi, bir ba ka ifadeyle birim kütleinin hacmi olarak tanımlanır, simgesi ile ifade edilir ve birimi m<sup>3</sup>/kg dır.

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\dots} \quad (1.6)$$

### Karı ımların Yo unlu u:

Birbirleriyle her oranda karı abilen sıvı karı ımlarının ve gaz karı ımlarının yo unlu u, mol veya hacim kesirlerine göre a ırlıklı ortalamalarına e ittir.

$$\dots_{kar} = \sum_i \dots_i x_i \quad (1.7)$$

burada x<sub>i</sub> bile enin mol kesri veya bile enin hacminin toplam hacme oranıdır. Aynı denklem birbiriyle karı mayan sıvı-sıvı karı ımlarının yo unlu unun bulunmasında da kullanılır.

### 2.4 Viskozite

Temas halindeki iki katı cisim birbirlerine göre ba ıl bir hareket yaptıklarında temas yüzeylerinde harekete ters yönde bir sürtünme kuvveti meydana gelir. Sadece sürtünme etkilerine maruz kalan bir cismi hareket ettirmek için sürtünme kuvvetini yenmeye yetecek, yeterli büyüklükte bir kuvvet uygulamak gerekir ki bu kuvvetin büyüklü ü temas yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayısına ba lıdır.

Benzer durum, akı kan ile katı yüzeyler arasında ve iki farklı akı kanın birbirine göre hareketlerinde veya aynı akı kanın tabakaları arasında da söz konusudur. Hava içerisinde suya nispeten daha rahat hareket ederiz. Hatta ya ı içerisinde hareket daha da zordur. Bu durum ya ı ile dolu bir kap içine bırakılan bir bilyenin a a ı do ru hava ve suya nazaran daha yava hareket etmesinden gözlemlenebilir. Öyle görünüyor ki bir akı kanın akmaya kar ı iç direncini veya akı kanlı ımı temsil eden bir özellik vardır, i te bu özellik viskozitedir.

Viskozite, bir akı kanın akıcılı ı olarak dü ünülebilir. Bir akı kanın viskozitesi deformasyona yani ekil de i tirmeye kar ı gösterdi i direncin bir ölçüsüdür ve akı kan tabakalarının ba ıl hareket etmelerine sebep olan içsel sürtünme kuvvetinden kaynaklanır. Sürekli akım ortamında akı kan tabakaları arasında ve akı kan ile katı yüzeyler arasında kayma gerilmeleri, , meydana gelir ve bu kayma gerilmeleri altında akı kan parçacıkları yer ve ekil de i tirirler. Zaten tanım itibariyle kayma gerilmeleri altında akı kanların ekil de i tirmeleri olayına akım denir. Akımın olabilmesi için bu ekil de i iminin sürekli olarak meydana gelmesi gerekir. Bu durumda, sürekli ekil de i tirme veya deformasyon hızı, akım yönüne dik do rultuda akı kanın hızının de i im oranına (gradyenine) e de erdir. te, akı kanların ekil de i tirmelerini ifade eden en önemli parametre kayma gerilmesinin akıma dik yöndeki hız gradyenine (du/dy) oranı olarak tanımlanan viskozitedir. Bir ba ka de i le viskozite, akı kanın akım esnasında kayma gerilmelerine, dolayısıyla akıma gösterdi i direnci ifade eden fiziksel bir özelli idir ve dinamik viskozite diye anılır ve µ simgesi ile ifade edilir.



$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (1.8)$$

Dinamik viskozitenin birimi Pa.s ve N.s/m<sup>2</sup>'ye e de er olan kg/m.s'dir. Fakat akı kanların viskoziteleri genellikle çok küçük de erler oldu undan, bu birim çok küçük kesirlerin kullanılmasını gerektirir. Bu nedenle daha elveri li bir birim gr/cm.s'ye e de er olan Poise, P, veya yüzde biri olan santiPoise, cP, birimleri endüstride yaygın olarak kullanılır. 20°C'de suyun viskozitesi 1 cP'dir ve bu yüzden santiPoise birimi faydalı bir referanstır.

$$1 \text{ P} = 1 \text{ gr/cm.s}$$

$$1 \text{ cP} = 0.001 \text{ kg/m.s (Pa.s)}$$

Yüksek viskoziteli bir akı kan daha dü ük viskoziteli akı kana kıyasla daha yava ekil de i imine u rar. Yani, aynı artlarda beli bir kesitten dü ük viskoziteli akı kan daha kolay ve hızlı akar.

Viskozite için bir ba ıntı elde etmek için yatay düz ve pürüzsüz katı bir yüzey üzerinde x-yönünde hareket eden bir akım alanı içinde aynı anda aralarında dy kadar bir mesafe bulunan birbirine kom u iki akım tabakasını ele alalım ( ekil-1). Katı yüzeye temas eden akı kan yüzeye yapı ır ve onunla aynı hızda hareket eder, e er yüzey hareket etmiyorsa yüzey üzerindeki akım hızı da sıfırdır. Viskoz etkilerin altında katı yüzeye yakın tabakanın hızı, yani 1 noktasında akım hızı u iken, aynı anda 2 noktasındaki hızı u+du kadardır, yani du kadar daha hızlıdır. Bu iki kom u tabakayı ekil 1.b'de verildi i gibi bir akı kan parçacı ının alt ve üst yüzeyi olarak dü ünelim. Nitekim, parçacı ın alt ve üst yüzeyleri arasındaki bu hız farkı, du, parçacık üzerinde kayma gerilmeleri meydana gelmesine ve x akıma paralel, y dik yön olarak alınırsa akı kanın deformasyonu bu yönlerdeki boyut de i imlerinin oranı, yani dx/dy oranında ekil de i tirmesine sebep olur. dx/dy oranında ekil de i tirme veya açısıl yer de i tirme deformasyon d olarak adlandırılır. Akımın olabilmesi için bu deformasyonun sürekli olarak meydana gelmesi gerekir. Su, ya ve hava gibi yaygın akı kanlar için meydana gelen kayma gerilmeleri ile deformasyon hızı arasındaki ili ki do rusaldır.

$$\approx \frac{d}{dt} = \frac{1}{dt} \frac{dx}{dy} \quad (1.9)$$

ekil 1.b'de de görüldü ü gibi deformasyon hızı ile hızın akıma dik yöndeki de i im oranı, yani hız gradyeni, arasındaki ili ki de birbirine e de erdir.

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{du}{dy} \quad (1.10)$$

Buradan da kayma gerilmesinin hız gradyeni ile de orantılı oldu u sonucu ortaya çıkıyor. Deneysel olarak da gösterilebilir ki ço u akı kan için deformasyon hızı, dolayısıyla hız gradyeni do rudan kayma gerilmesi ile orantılıdır.

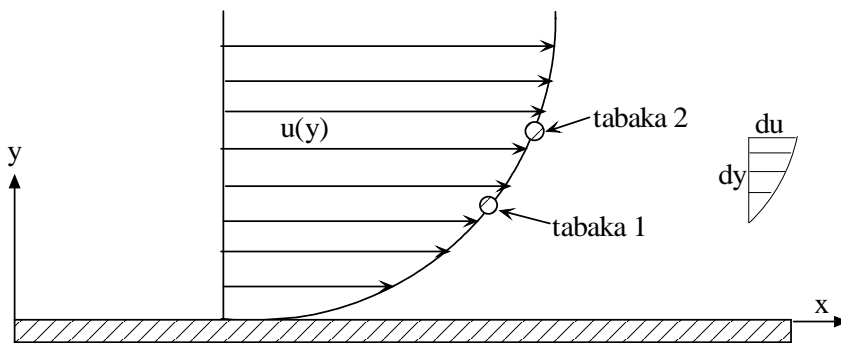
$$\tau \approx \frac{du}{dy} \quad (1.11)$$

Tüm akı kanlarda kayma gerilmesi ile deformasyon hızı arasındaki ba ıntı do rusal olmaz. te kayma gerilmesi ile deformasyon hızı arasındaki ili kinin do ru orantılı oldu u akı kanlara, ilk kez 1687 yılında ifade eden Isaac Newton'dan ötürü Newton akı kanları, bir ba ka ifadeyle

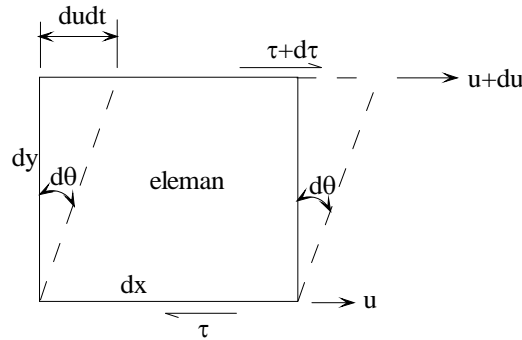
Denklem 1.6'ya uyan do rusal karakterdeki akı kanlara Newton akı kanları, bu tanıma uymayan akı kanlara da Newton olamayan (non-Newton) akı kanlar denir. Örne in, hava ve su Newton akı kanlarıdır, Newton olmayan akı kanlara ise süt, kan, eriyik metal ve plastikler iyi birer örnektir.

Akı kanlar mekani inde deformasyon , veya deformasyon hızı  $d/dt$  ile ilgilenmek yerine ekil 1a'da gösterildi i gibi hız gradyeni diye anılan yer de i tirme hızı,  $du/dy$ , ile ilgilenilir. Kayma gerilmesi ile hız gradyeni arasındaki ili kide, orantı katsayısı ise viskozite  $\mu$  diye anılan dinamik viskozite katsayısıdır. Bir boyutlu Newton tipi akı kanlar için kayma gerilmesi ile viskozite arasındaki do rusal ba ntı:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.12)$$



(a)



(b)

ekil 1

Viskozitenin önemli bir etkisi de akı kanın katı yüzeylere temasına sebep olmasıdır. Kayma gerilmesi ekil 1a'dan da görüldü ü gibi hız da ılımının e imi ile orantılıdır ve en büyük de ere katı yüzey üzerinde, cidarda, sahiptir. Cidar üzerindeki akı kanın hızı cidara göre sıfırdır. Yani cidar üzerinde akı kanın hızı cidarın hızına e it olur, bir ba ka ifadeyle aralarındaki ba ıl hız sıfırdır. Bu durum kayma olmama veya kaymama artı olarak adlandırılır ve viskoz akı kanların karakteristik bir özelli idir.

Newton akı kanlarının viskozitesi gerçek bir termodinamik özelliktir. Viskozitenin kökeninde akı kan molekülleri arasındaki çekim kuvveti ve momentum transferi bulunur. Sıcaklık ve basınç ile de i ir. Ancak basınca ba ımlılık zayıftır. Moleküller arasındaki çekim ile moleküllerin hareketi daha çok sıcaklı a ba lı oldu undan viskozite de sıcaklı a ba lıdır.

Sıvılarda moleküller arası çekim kuvveti momentum transferinden doğan atalet kuvvetlerinden daha baskındır. Gazlarda ise bunun tam tersi durum söz konusudur. Bu farklılık viskozitenin sıcaklıkla değişmesini farklı şekilde etkiler. Sıvılarda sıcaklık arttıkça akıkan moleküller arasındaki çekim kuvveti zayıfladığından viskozite azalır, gazlarda ise sıcaklık arttıkça gaz moleküllerinin hareketi artacağından viskozite artar. Öte yandan viskozite basınçla çok az artar fakat bu değişim sıcaklıkla olan değişime göre son derece küçük olduğundan dolayı mühendislik uygulamalarının çoğunda akışkanın yüksek basınçlar istisna olmak üzere basınçla gelen küçük viskozite değişimleri ihmal edilir. Bu durum dinamik viskozite söz konusu olduğunda gazlar için de aynıdır.

Akışkan dinamiği açısından birim kütleye uygulanan kayma gerilmesini veren bir katsayının tanımlanması daha uygun olacaktır. İşte bu şekilde tanımlanan viskozite katsayısına ise kinematik viskozite ( $\nu$ ) denir ve dinamik viskozitesinin yoğunluğa oranıdır.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.13)$$

Kinematik viskozite momentum difüzyonunu ölçen bir katsayıdır. Burada dinamik viskoziteden farklı olarak yoğunluğa bölündüğünden dolayı ve yoğunluğun gazlarda basınçla değişen bir özellik olduğundan dolayı, kinematik viskozite gazlar için basınçla da değişen bir özelliktir. Birimi ise  $\text{m}^2/\text{s}$ 'dir. Nasıl dinamik viskozite biriminde akışkanların viskozitelerinin genellikle çok küçük değerler olduğundan  $\text{g}/\text{cm.s}$ 'ye eşdeğer olan Poise (P) kullanılıyorsa, benzer şekilde kinematik viskozite için de  $\text{cm}^2/\text{s}$ 'ye eşdeğer olan Stoke (St) kullanılır. Aynı şekilde gaz ve sıvılar için Stoke da yeterince büyük bir birim olduğundan, birimin yüzde biri olan santiStoke (cSt) mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılır.

$$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 0.0001 \text{ m}^2/\text{s} \quad 1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Bir akışkanın viskozitesi, onu bir boru içinde nakletmek için gerekli pompalama gücü veya bir cisim akışkan içinde hareket ettirmek için gerekli olan kuvvetle doğrudan ilişkilidir.

**Karışımların Viskoziteleri:** Akışkanlar tek bir bileşen veya tek bir fazdan oluşabilir, birbirleri içinde çözünen veya çözünemeyen gaz-gaz, sıvı-gaz, sıvı-sıvı veya katı-sıvı karışımlarından oluşabilir. Karışımın viskozitesi bileşenlerin viskoziteleri ile karışım oranlarının bir fonksiyonudur. Düşük basınçlarda gaz karışımlarının viskozitesi

$$\mu_{\text{kar}} = \frac{\sum x_i \mu_i M_i^{1/2}}{\sum x_i M_i^{1/2}}$$

denkleminde  $i$  bileşeni,  $x$  karışım içinde bileşenin mol kesri veya hacminin toplam hacme oranını,  $M$  bileşenin moleküler ağırlığını simgeler. Birbiriyle her oranda karışabilen sıvı karışımlarının viskozitesi, bileşenlerin moleküler ağırlıkları ve viskoziteleri arasında fazla fark yoksa ( $\mu < 15 \text{ cP}$ ) aşağıdaki bağıntı kullanılarak bulunabilir.

$$\mu_{\text{kar}}^{1/3} = \sum x_i \mu_i^{1/3}$$

Birbiri içinde çözünemeyen sıvıların karışımı içinde, biri damılmı diğeri sürekli olan iki faz bulunur. Damıtlı fazın hacminin toplam hacme oranı  $x_d < 0.03$  ise

$$\mu_{kar} = \mu_s \left[ 1 + 2.5x_d \left( \frac{\mu_d + 0.4\mu_s}{\mu_d + \mu_s} \right) \right]$$

$x_d > 0.03$  ise

$$\mu_{kar} = \frac{\mu_s}{1 - x_d} \left[ 1 + x_d \left( \frac{1.5\mu_d}{\mu_d + \mu_s} \right) \right]$$

ba ıntıları kullanılabilir. Bu ba ıntılarda d ve s sırasıyla da ıtılmı ve sürekli faz bile enlerini simgeler. Biri di eri içinde damlalar halinde da ıtılmı bir sıvı karı ımının viskozitesi sürekli fazın viskozitesinden her zaman daha büyüktür.

## 2.5 Yüzey Gerilimi

Kan damlasının yatay düz bir cam yüzey üzerinde bir tümsek olu turdu unu, cıva damlasının neredeyse bir küre eklini aldı ını ve pürüzsüz bir yüzey üzerinde çelik bir bilye gibi yuvarlandı ını, su veya çi damlacıklarının a açların dallarında veya yapraklarında asılı durdu unu, sızdıran bir musluktan suyun küresel damlalar halinde çıktı ını, havaya bırakılan bir sabun kabarcı ının küresel ekil aldı ını sıklıkla gözlemlemi inizdir.

Sıvı yüzeyi gerilmi elastik bir zar benzeri davranı sergiler. Bu gerilime neden olan yüzey kuvveti moleküllerin birbirlerini çekmelerinden kaynaklanır, daha do rusu moleküllerin çevresindeki çekim kuvvetlerinin dengesizli inden kaynaklanır. Bu kuvvetin birim uzunluk ba ına büyüklü ü yüzey gerilimi s olarak adlandırılır ve genellikle N/m birimiyle ifade edilir. Bu etki ayrıca yüzey enerjisi olarak da adlandırılır ve N.m/m<sup>2</sup> veya e de eri J/m<sup>2</sup> birimleriyle verilir.

Yüzey gerilimi her madde için farklılık gösterdi i gibi sıcaklıkla da de i ir. Basıncın yüzey gerilimi üzerindeki etkisi ihmal edilir. Yüzey gerilimi en fazla olan sıvı cıvadır, 1 atm basınç ve 20°C sıcaklıktaki de eri 0.440 N/m. Suyun havayla olu turdu u yüzey gerilimi ise 0.073 N/m'dir. Eriyik halde tüm metallerin yüzey gerilimleri çok yüksektir. Çünkü atomlarının yerle im düzenleri çok sıkı ıktır.

Akı kan üzerinde etkin olan gerilimler kayma gerilimi, normal gerilim ve basınçtır ve üç boyutlu olarak her bir yüzeye etkirler. Yüzey gerilimi ise sıvı-gaz ve sıvı-katı gibi farklı malzemeler arasında etkilidir ve iki boyutludur.

Yüzey gerilimi sıvıların katı yüzeyleri ıslatması ve gözenekler içi akımlar açısından önem ta ır. Boru içinde akan sıvı boru duvarını ıslatmıyorsa, sıvının hızı duvarın hızına e it de ildir, kayma gerilimi de maksimum de erinde de ildir. Islatma, adhezyon diye adlandırılan farklı yüzeye yapı ma veya farklı yüzeyi ıslatma ekinde görülür. Newton akı kanlarının katı yüzeyleri ıslatması veya Newton olmayan akı kanların, boyalar ve yapı tırıcılar gibi katı yüzeyi tamamen örtebilmeleri için sıvının havaıyla yüzey geriliminin SH, katının havaıyla yüzey geriliminden KH daha dü ük olması gerekir.

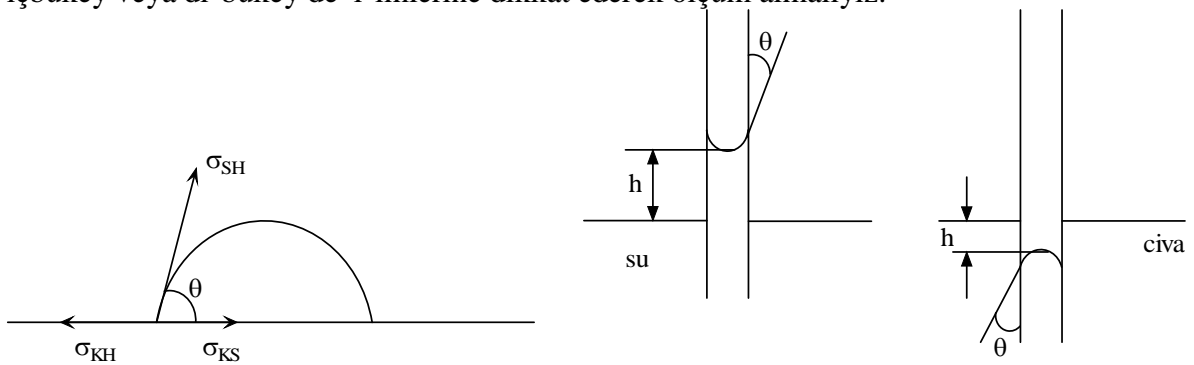
$$SH < KH$$

Örneğin teflon yüzeyler sadece yüzey aktif madde çözeltileri tarafından ıslatılabilir, buna karşın çelik yüzeyler bütün sıvılar tarafından ıslatılabilir. Arada yüzey aktif madde engeli olmadıkça iki sıvı yüzeyi daima birbirine yapışır.

Bir maddenin yüzey gerilimi, katkı maddeleriyle önemli miktarda değiştirilebilir. Bu yüzden yüzey katkısı denen bazı kimyasallar (yüzey aktif madde çözeltileri) yüzey gerilimini düşürmek amacıyla sıvıya katılabilir. Örneğin sabun ve deterjanlar, daha etkin bir yıkama sağlamak amacıyla suyun yüzey gerilimini düşüren bazı yüzey katkıları içerirler. Bu sayede yıkama suyunun lifler arasındaki küçük boşluklara da girmesi sağlanarak daha iyi yıkama ve temizlik sağlanır. Diğer bir örnek olarak, araçların ön camlarının yağ mordan ıslanmaması için cam yıkama suyuna katılan katkıları sayesinde veya katkılı su ile silinen camlarda yağ mordan damlacıklar halinde cam üzerinde kayarak uzaklaştırılması verilebilir.

Yüzey gerilimi, daha önce de bahsedildiği gibi iki faz arasında kalan yüzey alanında etkilidir. Hangi fazın molekülleri arasında çekim kuvvetleri daha büyükse, ara yüzey o faza doğru içbükey olacak şekilde eğilir. Eğer bir ara yüz, içbükey tarafta daha yüksek basınç olmak üzere ara yüzün iki yanı arasında bir basınç farkının olduğu gösterir. Eğikde gösterilen açı, temas açısı olarak adlandırılır ve sıvının katı yüzey üzerinde yayılmasını gösterir.

Yüzey geriliminin diğer bir ilginç sonucu da küçük çaplı bir boru (tüp) içindeki sıvı serbest yüzeyinin içbükey veya dışbükey eğilimi almasıdır. Sıvının katı yüzeylere değdiği kenarlarda hafifçe yukarı doğru veya aşağı doğru meyil aldığı gözlemlenir. Bu olay küçük çaplı borularda daha net görülür ve bu olaya sebep olan etkiye kılcallık denir. Cam bir tüp içindeki suyun serbest yüzeyinin içbükey eğilimde yüzeye yakın noktalarda yukarı doğru meyillenirken, cıvada bunun tam tersinin olduğu, yani dışbükey olarak kenarlara yakın aşağı doğru meyillendiği gözlenir. Bir sıvının bu eğrisel serbest yüzeyine menisküs adı verilir. Bu etki genellikle suyun camı ıslattığı, cıvanın ise ıslatmadığı eğilimde de ifade edilir. Kılcallık etkisinin şiddeti temas veya ıslatma açısı ile belirtilir ve sıvının katı yüzey üzerine yayılmasını, dolayısıyla ıslatmasını gösterir. Temas açısı temas noktasında katı yüzey ile sıvının temas etmesi arasındaki açı olarak tanımlanır. Yüzey gerilim kuvveti katı yüzeye doğru bu temas boyunca etkir. Bir sıvı için  $\theta = 0$  ise sıvı tamamen katı yüzey üzerine yayılmış ve ıslatmış,  $\theta < 90^\circ$  ise sıvı katı yüzeyi ıslatmamış demektir. Kılcallık boru çapıyla ve sıvı yoğunluğuyla ters orantılıdır. Dolayısıyla boru ne kadar inceyse sıvı seviyesi o denli fazla değişir (yükselir veya düşer). Uygulamalarda kılcallık etkisi genellikle 1 cm'den büyük çaplı borularda ihmal edilir. Basınç ölçümlerinde manometreler veya barometreler kullanıldığında kılcallık etkisini en aza indirmek için yeterince büyük çaplı borular kullanmak ya da kılcallık etkisinin sebep olduğu sıvı serbest yüzeylerinin içbükey veya dışbükey eğilimlerine dikkat ederek ölçüm almalıyız.

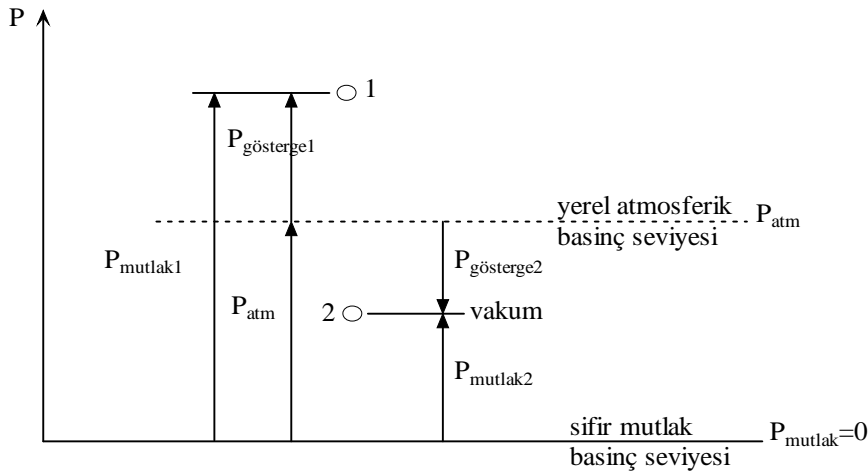


$$\sigma_{KH} = \sigma_{KS} + \sigma_{SH} \cos \theta$$

## 2.6 Basınç

Basınç, birim alana etki eden normal kuvvet olarak tanımlanır. Aynı zamanda basınç akı kanın enerjisi ile direkt ilişkilidir. Akı kanın birim hacminin enerjisi basınca eşittir. Basınç sadece akı kanlar yani sıvılar ve gazlar için kullanılan bir büyüklüktür. Basıncın katılardaki karşılığı normal gerilmedir. Durgun bir akı kan için basınç, akı kan üzerinde normal gerilme; hareketli akı kanlar için ise kayma gerilmeleri meydana getiren etkidir. Basınç farkı da akımı meydana getiren temel etkidir. Birimi,  $N/m^2$ 'ye eşit olarak tanımlanan Pascal (Pa)'dır. Pascal birimi uygulamalarda karşılaşılan basınç değerleri için çok küçük kalır. Bu yüzden katları olan kilopascal (kPa) veya megapascal (MPa) daha yaygın olarak kullanılır.

Basıncın seçilen bir referans noktasına bağlı iki ölçme vardır (Şekil 2). Yerel atmosferik basınca ( $P_{atm}$ ) bağlı ölçülen basınç, birinci ölçüm olarak kabul ettiğimiz manometrik ölçekteki basınçtır ve manometrik veya gösterge basıncı ( $P_{gösterge}$ ) olarak adlandırılır. Diğeri ölçüm ise gösterge basınç ile yerel atmosferik basıncın toplamı olarak tanımlanan mutlak basınçtır, ( $P_{mutlak}$ ). Mutlak basınç ölçümü sıfırdan başlar, tüm basınçlar pozitif olup, negatif basınç elde etmek mümkün değildir. Zira mutlak sıfır noktası herhangi bir maddeye ait molekül bulunmayan tam veya ideal vakum durumudur. Aslında mutlak basınç gerçek toplam basınçtır. Çoğu basınç ölçme cihazları atmosferik basınca kalibre edilir, dolayısıyla bu cihazlar mutlak basınç ile yerel atmosferik basınç arasındaki farkı yani gösterge basıncını ölçer.



Şekil 2

$$P_{mutlak} = P_{atm} + P_{gösterge} \quad (1.14)$$

Mutlak basıncın atmosferik basınçtan küçük olduğu durumlarda gösterge basınç değeri negatif olur ve bu durumda vakum meydana gelir. Vakum basınçları ifade edilirken negatiflikten kurtarmak için genellikle vakum olduğu belirtilir. Mutlak basınç da verilirken mutlak olduğu özellikle belirtilir veya mutlak alt indisi kullanılarak verilir. Diğer taraftan gösterge basınçları direkt olarak verilir, örneğin  $P = 150 \text{ kPa}$  diye verildiğinde aksi belirtilmedikçe bunun gösterge basınç olduğu anlaşılmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken husus atmosferik basınç daima mutlak basınçtır. Uygulamalara referans oluşturmaları açısından standartlar belirlenmiştir. Standart standartlarda kabul edilen basınç deniz seviyesindeki atmosferik basınçtır ( $101325 \text{ Pa}$ ) ve sıcaklık  $15^\circ\text{C}$ 'dir. Mühendislik uygulamalarında en sık karşılaşılan gösterge basınç kullanımıdır. Basıncın standart birimi Pa'dır, mühendislik uygulamalarında kPa ile MPa katları yanında yaygın kullanılan basınç birimleri bar, atm, atü, torr ve İngiliz birim sisteminde psi'dir. Bar, Pa biriminin  $10^5$  de birine denk gelen özel bir askatıdır.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa}$$

Atmosfer (atm) basıncı standart atmosfer basıncını 1 birim kabul eden birimdir.

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 1.01325 \text{ bar}$$

Atü, kgf/cm<sup>2</sup> biriminin adıdır. Atü ile Pa arasında yerçekimi ivmesi oranında bir ili ki vardır, yerçekimi ivmesi yerel olarak sabit oldu undan, Pa biriminin yerçekimi ivmesine bölünmesiyle ve alan birimi m<sup>2</sup>'nin cm<sup>2</sup>'ye çevrilmesiyle, etki eden basıncın daha küçük alana ne kadar kütle nispetinde etki etti ini daha kolay de erlendirmek amacıyla türetilmi tir. Askatlarından olan gr/cm<sup>2</sup> olarak da kar ımıza çıkabilir.

$$1 \text{ atü} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.981 \text{ bar} = 9.81 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 0.9679 \text{ atm}$$

bar, atm ve atü basınç birimlerinin hemen hemen birbirlerine e de er oldu una dikkat ediniz.

Buna ilaveten, kilogram-kuvvet kgf 1 kg kütlenin a ırlı ı olarak tanımlanır.

$$1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ N}$$

Torr, mmHg biriminin adıdır ve basıncın cıva yükseltisi olarak göstergesidir.

$$760 \text{ mmHg} = 101325 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}$$

ngiliz birim sisteminde basıncın standart birimi lbf/in<sup>2</sup>'ye e de er psi'dir.

$$14.7 \text{ psi} = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg} = 1.0133 \text{ bar} = 1.0332 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ atü} = 14.223 \text{ psi}$$

**1.1 Sıcaklık:** Sıcaklık, T, akı kanın iç enerji seviyesinin bir ölçüsüdür. Yaygın olarak kullanılan sıcaklık ölçe i Celcius °C (santigrat) derecedir. Standart atmosfer basıncındaki suyun donma ve erime noktalarına (sırasıyla 0°C ve 100°C) göre ölçeklendirilmi tir. Mutlak sıcaklık ölçe i ise Kelvin'dir, K. Celcius ölçe i ile Kelvin ölçe i arasındaki ili ki,

$$K = ^\circ\text{C} + 273.15$$

Sıfır mutlak sıcaklık seviyesi moleküler hareketin ve maddenin ısı enerjisine sahip olmadığı 0 K de eridir. Standart kabul edilen artlarda atmosferik sıcaklık ise 15°C'dir. Isı transferini meydana getiren temel etken ise sıcaklık farkıdır.

## 2.7 deal Gaz Özellikleri:

Birçok mühendislik uygulamalarında akı kan olarak sıklıkla gazlar kar ımıza çıkar. Yüksek sıcaklık ve dü ük basınçtaki tüm gazlar ideal gaz kanunu ile iyi bir uyum içindedir ve ideal gaz olarak de erlendirilirler. Örne in hava genellikle ideal gaz olarak de erlendirilir. deal gaz kanunu

$$P \forall = mRT \quad (1.15)$$

Burada  $R$  gaz sabiti olarak tanımlıdır ve her gazın kendi gaz sabiti vardır ve de eri evrensel gaz sabitinin,  $\bar{R}$ , gazın moleküler a ırlı ına,  $M$ , bölünmesi ile elde edilir.

$$R = \frac{\bar{R}}{M} \quad (1.16)$$

Evrensel gaz sabiti de eri  $\bar{R} = 8314 \text{ J/kmol.K}$ 'dir. Havanın gaz sabiti de eri ise  $287 \text{ J/kg.K}$ . Bölüm 1.2.1'de yapılan yo unluk tanımını kullanılarak mükemmel gaz ba ıntısı

$$P = RT \quad (1.17)$$

eklinde de verilebilir.

Di er faydalı termodinamik özelliklerden sabit basınç özgül ısısı ve sabit hacim özgül ısısı mükemmel gazların entalpi,  $h$ , ve iç enerji,  $u$ , de i imlerini hesaplamak için kullanılırlar. Özgül ısılar sadece sıcaklıkla de i ir.

$$c_v(T) = \frac{du}{dt} \quad \text{ve} \quad c_p(T) = \frac{dh}{dt} \quad (1.18)$$

Bir çok durum için özgül ısıları sabit kabul edebiliriz. Mükemmel gazlar için  $c_p$  ile  $c_v$  arasındaki ili ki a a ıdaki gibidir.

$$c_p = c_v + R \quad (1.19)$$

deal gazlar için önemli boyutsuz parametrelerden biri de özgül ısı oranıdır.

$$k = c_p/c_v \quad (1.20)$$

Aslında tüm gazlar için  $c_p$  ve  $c_v$  sıcaklık ile yava ca artar,  $k$  ise yava ca azalır. Fakat  $c_p$ ,  $c_v$  ve  $k$  genellikle sabit kabul edilir. Hava için bu de erler:

$$k = 1.4$$

$$c_p = \frac{kR}{k-1} = 1005 \text{ J/kg.K} \quad \text{ve} \quad c_v = \frac{R}{k-1} = 718 \text{ J/kg.K}$$

Sıvılar hemen hemen sıkı tırılmazlar, yani yo unlukları sabittir ve yakla ık olarak sabit bir özgül ısıya sahiptirler. Bu nedenle sıvılar için a a ıdaki gibi bir ideal hal durumu önerilir.

$$\rho \approx \text{sabit} \quad c_p \approx c_v \approx c : \text{sabit}$$

Suyun standart artlardaki özgül ısısı yakla ık  $c = 4214 \text{ J/kg.K}$ 'dir. Birçok akım problemlerinde akı kan olarak su buharı vardır. Su buharını ideal gaz yakla ımı ile de erlendirmek gerçe e uygun sonuçlar vermez. Bu nedenle su buharının özellikleri için termodinamik tablolardan yararlanılır.