

# Akışkanlar Mekaniği

## Ders Notları

Prof. Dr. Davut KARAYEL

## **AKIŞKANLAR MEKANİĞİ DERSİ İÇERİĞİ**

### **BOYUTLAR ve BİRİMLER**

#### **AKIŞKANLARIN TEMEL ÖZELLİKLERİ**

Akışkanların Moleküler Yapısı  
Özgül Kütle  
Özgül Ağırlık  
Yoğunluk  
Sıkışabilirlik (Hacimsel Elastikiyet Modülü)  
Viskozite  
Yüzeysel Gerilim  
Kapilarite, damlalık  
Buhar basıncı

#### **AKIŞKAN STATİĞİ**

Basınç  
Basınç farkı (değişimi)  
Basınç yükü  
Pascal kanunu  
Atmosfer sıcaklığı ve atmosfer basıncı değişimi  
Basınç tipleri ve basınç ölçümü  
Yüzen Cisimlerin Dengesi  
Düzlemsel yüzeylere etkileyen hidrostatik kuvvet  
Sıvıların kaldırma kuvveti (Arşimed prensibi)

#### **AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ**

Akışkan hareketine etkili olan kuvvetler  
Akım çizgisi  
Süreklilik denklemi  
Enerji denklemi ve Bernoulli Eşitliği  
Enerji Eğim Çizgisi ve Hidrolik Eğim Çizgisi  
Bernoulli Eşitliğinin Uygulama Alanları (Orifis ve Sifon)

#### **AKIŞKANLARIN KİNEMATİĞİ**

Akışkan akımını inceleme yöntemleri (Lagrange ve Euler yöntemleri)  
Akışkan tipleri  
Akım tipleri

Not: Notlarda olmayan konular ve detaylı açıklamalar için kaynaklar:

Akışkanlar Mekaniği Yazarlar: Rahmi KESKİN ve Metin GÜNER

Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik Yazar: Yalçın YÜKSEL

Akışkanlar mekaniği: temelleri ve uygulamaları Yazar: Yunus ÇENGEL

Akışkanlar mekaniği ve hidrolik Yazar Mehmet BERKÜN

## GİRİŞ

### Akışkanın Tanımı:

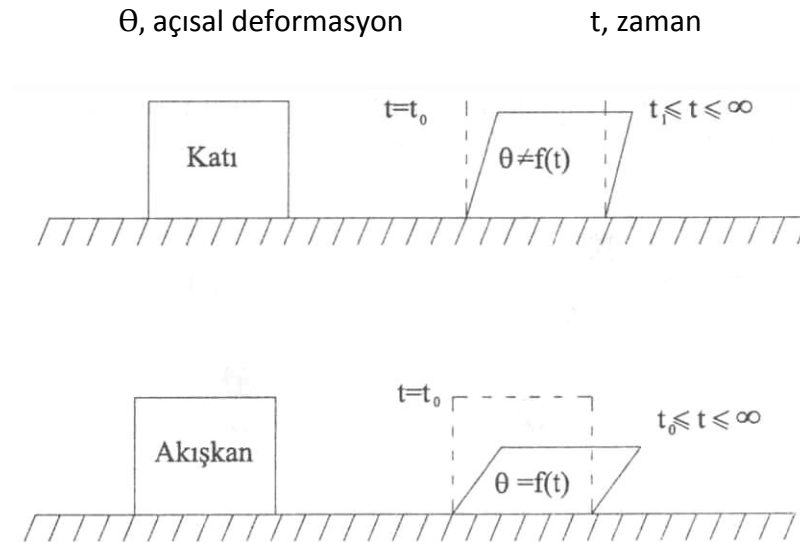
Akışkanlar akabilen ve konuldukları kabın şeklini alabilen maddelerdir. Akışkanlar denge halinde teğetsel veya kayma kuvvetlerine karşı koyamazlar. Bütün akışkanların bir miktar sıkışabilme özelliği vardır ve şekil değiştirmeye karşı küçük bir direnç gösterirler.

### Akışkanlar Mekaniği Nedir?

Akışkanlar mekaniği, akışkanların durgun veya hareket halindeki davranışını inceleyen uygulamalı mekanik dalıdır. Akışkanlar mekaniği prensiplerinin gelişmesinde akışkanların birçok özelliğinin önemli rolleri olmuştur.

## 1. AKIŞKANLARIN ÖZELLİKLERİ:

Akışkanlar en küçük kayma gerilmesinde dahi direnç göstermezler. Böylece akışkan partikülleri sürekli olarak birbirlerine göre pozisyonlarını değiştirirler. Diğer taraftan katılar karşı direnç gösterirler ve sürekli bir deformasyon söz konusu olmaz. Şekil 1 de görüldüğü gibi katının deformasyonu küçüktür ve açisal deformasyon ( $\theta$ ) zamanın sürekli fonksiyonu değildir. Akışkanlarda ise herhangi bir kayma gerilmesi sonucu oluşan deformasyon zamanın sürekli fonksiyonudur.



Şekil 1. Katı ve akışkan üzerinde kayma gerilmesinin etkisi

Akışkanları temelde gazlar ve sıvılar olarak iki gruba ayırabiliriz. Sıvılar sıkışmaya karşı direnç gösterdikleri halde gazlar o kadar göstermez. Ayrıca sıvılar sıcaklık değişiminden gazlar kadar etkilenmezler.

Sonuçta akışkanlar mekaniği, akışkanların denge ve hareket kanunlarını inceleyen ve modern bilimleri kullanarak, bu kanunların ve prensiplerin pratiğe uygulanmasını sağlayan bilime denir.

Akışkanlar mekaniği ile ilgili kanunların ve akışkan özelliklerinin anlaşılması birçok mühendislik tasarımı için önem taşımaktadır.

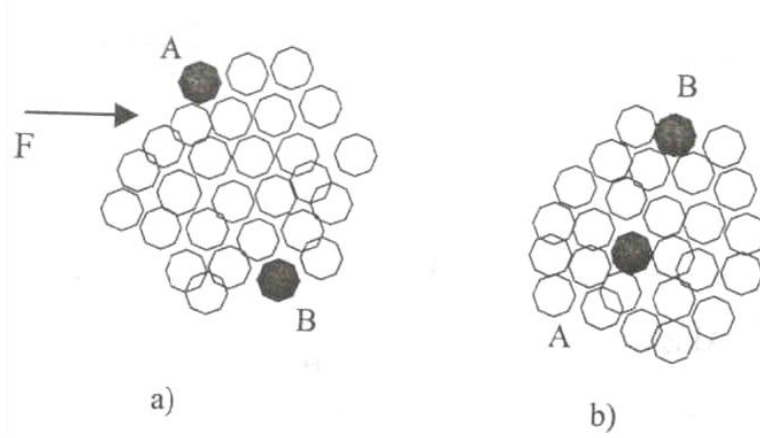
### 1.1. AKIŞKANLARIN MOLEKÜLER YAPISI

Moleküller katılarda birbirlerine çok yakın olduğu halde, akışkanlarda daha gevşektir. Sıvılarda moleküller gazlara göre daha yakındır.

Katılarda moleküller birbirlerine çok yakın olduğu için moleküler çekim kuvveti çok büyüktür, bu nedenle dış kuvvetlere karşı oldukça fazla direnç gösterirler.

Eğer dış kuvvet yeterince büyükse moleküler pozisyonu değiştirebilir fakat moleküller arasında oldukça büyük çekim kuvveti kalır ve dış kuvvet kalktığında bu çekim kuvveti molekülleri eski konuma döndürürler. Ancak dış kuvvet kalktıktan sonra geriye dönmeleri mümkün olmayabilir. Bu halde katının elastik limiti geçilmiştir ve plastik deformasyon olmuştur.

Sıvılarda, moleküler çekim kuvveti sadece sıvı kesin şeklini aldığı anda molekülleri bir arada tutacak kuvvete sahiptir. Dış kuvvet uygulandığında moleküler dış kuvvet kalkana kadar sürekli yer değiştirirler ve daha sonra eski hallerine dönemezler. Sıvılarda moleküler yörüngeleri eğriseldir.



Şekil 2. Dış kuvvet etkisinde sıvı molekülerinin hareketi

Gazlarda moleküler çekim kuvveti ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu nedenle moleküller serbestçe birbirinden uzaklaşırlar. Örneğin kapalı bir ortamdaki gaz o ortamı doldurana kadar genişir.

## 1.2. ÖZGÜL KÜTLE ( $\rho$ )

Bir sıvının özgül kütlesi birim hacminin kütlesidir. Bir akışkanın özgül kütlesi akışkanın kütlesinin hacmine oranı ile elde edilir.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Gazların özgül kütlesi ise mükemmel gaz kanunu kullanılarak hesaplanır.

$$P = p \cdot R \cdot T$$

p: Mutlak basınç    R: Gaz sabiti    T: Mutlak sıcaklık

**Not:** Gazlarda moleküllerin hacmi gazın hacmine göre çok az olduğu için moleküllerin hacmi ve aralarındaki çekim kuvveti yok sayılabilir. Böyle gazlara mükemmel (ideal) gaz denir.

Genelde sıvıların özgül kütlesi sıcaklıkla değişmesine rağmen basınçla çok az değişir. Buna karşın gazların özgül kütleleri hem basınç hem de sıcaklıkla değişir.

### 1.3. ÖZGÜL AĞIRLIK ( $\gamma$ )

Bir akışkanın özgül ağırlığı, birim hacminin ağırlığıdır.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad \text{veya} \quad \gamma = \rho \cdot g$$

### 1.4. YOĞUNLUK ( $d$ )

+4 °C ' deki sıvının özgül kütlesinin suyun özgül kütlesine oranıdır.

$$d = \frac{\rho}{\rho_{su}}$$

Yoğunluğun birden küçük olması sıvının sudan hafif, birden büyük olması ise sıvının sudan ağır olduğunu gösterir. Suyun yoğunluğu ise birdir.

Yoğunluk kavramı gazlarda nadiren kullanılmakta ve karşılaştırma hidrojen ve hava ile yapılmaktadır.

### 1.5. SIKIŞABİLİRLİK (Hacimsel Elastiklik Modülü)

Akışkana basınç uyguladığında hacmi küçülür, basınç kaldırıldığında genleşir. Bir akışkanın sıkışabilirliği uygulanan basınç değişimiyle uğradığı deformasyon miktarıyla ilişkilidir. Özetle akışkanın basınç altında uğradığı deformasyona basınç denir. Sıkışabilirlik  $K$  ile gösterilir.

$$-\frac{dV}{V} = \frac{dp}{K}$$

$dV$ : Akışkan hacmindeki değişim  $V$ : Akışkanın orijinal hacmi  $dp$ : Basınç değişimi

$\frac{dV}{V}$  Pozitif basınç değişimi altında hacimde azalma olacağı için negatiftir.

Aynı zamanda  $\frac{dp}{\rho} = \frac{dp}{K}$  dır.  $\rho$  : Özgöl kütle

Suyun sıkıştırılabilirlik veya hacimsel elastiklik modülü  $2.2 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup> dir.  $1 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup> lik bir basınç suyun hacminde % 0.05 ' lik bir değişime neden olur; bu nedenle pratikte su sıkışmaz kabul edilir; dolayısıyla (K çok büyük ) suyun özgöl kütlesi sabit kabul edilir. Yani

$$dp = 0 \quad p = \text{Sabit}$$

İdeal gazın hacimsel elastiklik modülü basınçla orantılıdır.

İzotermal hal için

$$\frac{dp}{d\rho} = R \cdot T \rightarrow K = \rho \cdot \frac{dp}{d\rho} = \rho \cdot R \cdot T = p$$

O halde izotermal koşulda sıkışabilirlik mutlak basınca eşittir.

Adiyabatik hal için ise

$K = k \cdot p$  dir. Burada k özgöl ısı katsayısıdır.

## 1.6. VİSKOZİTE (Akışkanın Kayma Gerilmelerine Karşı Davranışı)

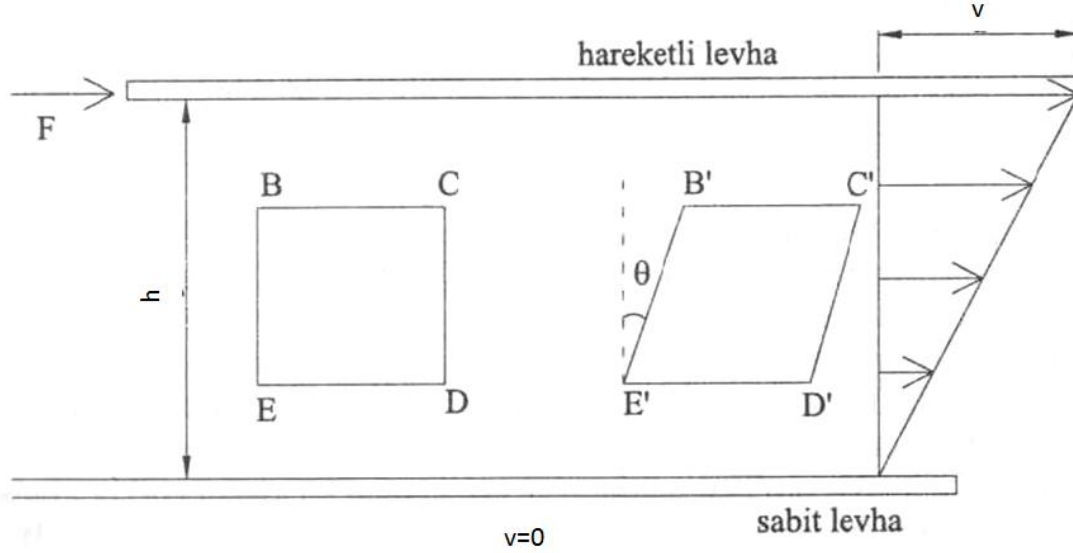
Katıların kayma gerilmesine karşı gösterdikleri direnç oldukça büyük olmasına rağmen akışkanların direnci oldukça küçüktür. En küçük kayma gerilmesi altında dahi akışkan sürekli şekil değiştirir.

Durgun bir akışkana bir teğetsel kuvvet uygulanırsa bu akışkanın deforme olmasına neden olur. Deformasyon, akışkanın içinde birbirleri üzerinde farklı hızlarda kaymasıdır.

Doğadaki tüm akışkanlarda akışkan tabakalarının birbiri üzerinde hareket etmesine karşı dirençleri söz konusudur. Bu direnç akışkanın viskozitesi olarak isimlendirilir. Bunun için viskozite birbirine komşu tabakaların birbirlerine göre hareketlerinde içsel direncin ölçümü

olan bir akışkan özelliğidir. Normal şartlarda bal ve gliserin gibi akışkanlar su ve alkol gibi akışkanlara göre daha büyük direnç gösterirler.

Bazı kaynaklarda ise viskozite, bir sıvının akmaya gösterdiği direnç veya akışkanın akabilme özelliği olarak tanımlanır.



Şekil 3. Kayma gerilmesi ile oluşan deformasyon

Şekil 3'deki gibi arasında akışkan dolu olan paralel iki levhadan üstteki bir F kuvvetiyle v hızıyla hareket ederse hareketsiz levha üzerindeki hariç bütün akışkan partikülleri üst levhanın hareketi doğrultusunda hareket eder. Buradaki herhangi bir BCDE hacmi B'C'D'E' konumuna ulaşır ki burada  $\theta$  açısal deformasyondur.

Newton bu olaya etkili olan faktörleri aşağıdaki gibi belirlemiştir.

- 1) Levhanın hızı (v) uygulanan kuvvet (F) ile doğru orantılı

$$F \propto v$$

- 2) Hareketli levhaya uygulanan kuvvet (F) A (levhanın alanı) ile doğru orantılı

$$F \propto A$$

- 3) Hareketli levhaya uygulanan F kuvveti levhalar arasındaki y mesafesi ile ters orantılıdır.

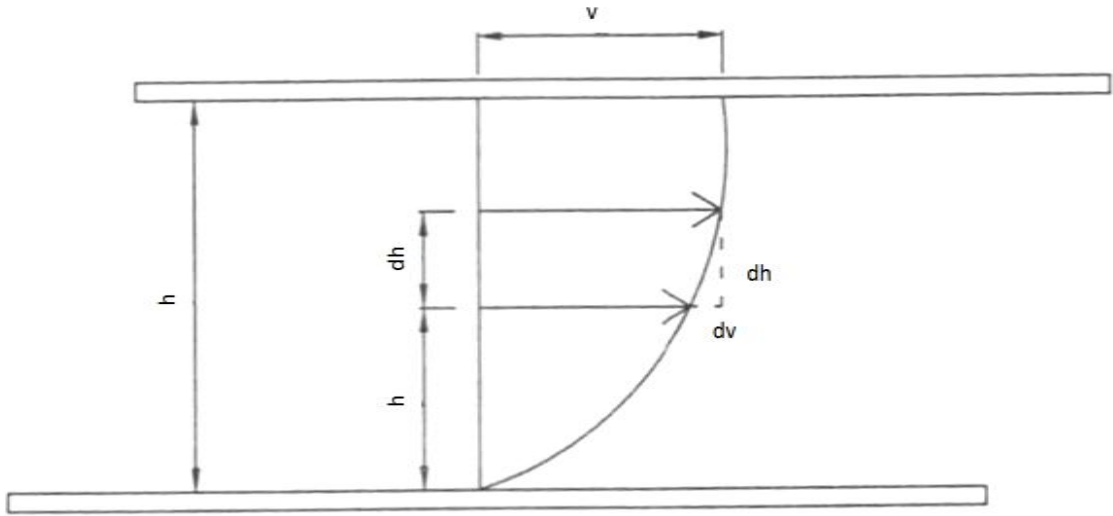
$$F \propto \frac{1}{h}$$

Dolayısıyla buradaki kayma gerilmesi ( $\tau$ )

$$\tau = \mu \cdot \frac{v}{h} \text{ dir. } \tau = \frac{F}{A} = \text{kayma gerilmesi} \quad \mu = \text{Dinamik viskozite}$$

Gerçekte levhalar arasındaki akışkan hızında Şekil 3' deki gibi lineer bir değişim olmaz. Şekil 4 'deki gibi non-lineer bir değişim söz konusudur. Dolayısıyla kayma gerilmesi

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dh}$$



Şekil 4. Akışkanın lineer olmayan hız gradyanı

Bir diğer viskozite katsayısı ise kinematik viskozitedir.

$$\text{Kinematik viskozite } \nu(\text{nu}) = \frac{\text{Mutlak viskozite } \mu}{\text{Özgöl kütle } \rho}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{\gamma/g} = \frac{\mu \cdot g}{\gamma}$$

Dolayısıyla kayma gerilmesi

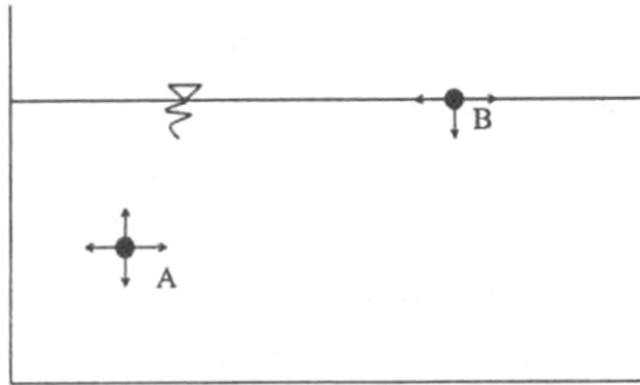
$$\tau = \mu \cdot \frac{v}{h} \quad \text{burada} \quad \tau = \frac{F}{A} \quad \text{ve} \quad \mu = \nu \cdot \rho \quad \text{yazılabilir.}$$

SI birim sisteminde dinamik viskozitenin birimi  $\text{Ns/m}^2$  iken kinematik viskozitenin birim  $\text{m}^2/\text{s}$ 'dir.

Sıvıların viskoziteleri sıcaklık arttıkça azalır, ancak basınç değişimlerinden fazla etkilenmez. Gazlarda ise basınç ile ters orantılı olarak değişir.

### 1.7. YÜZEYSEL GERİLİM

Moleküller arasında çekim kuvveti söz konusudur. Aynı tür moleküller arasındaki çekime “kohezyon”, farklı tür moleküller arasındaki çekime ise “adezyon” denir. Katılarda kohezyon çok büyüktür ve katının belirli bir şekli korumasını sağlar. Sıvılarda ise moleküllerin sıvı hacmi içerisindeki hareketine izin verirken sıvıyı belirli bir hacim içinde tutar.



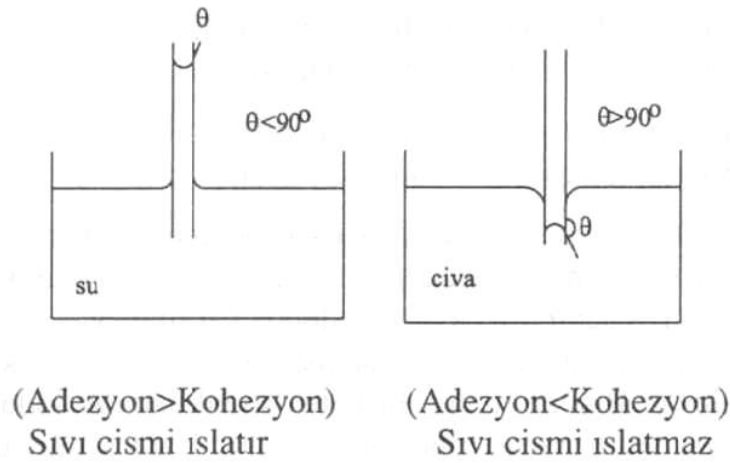
Şekil 5. Sıvı içerisindeki ve yüzeyindeki moleküllere etkili kuvvetler

Sıvı içerisindeki moleküller (A molekülü) sadece kohezyon etkisinde iken sıvı yüzeyindeki moleküller (B molekülü) hem kohezyon hem de adezyon etkisindedir. Bu durumda, yüzeydeki molekülleri yukarıya doğru çekmeye çalışan ve sıvı sıvı yüzey alanının minimum olmasını sağlayan bir kuvvet oluşacaktır, bu kuvvet “yüzey gerilimi” olarak

adlandırılır. Yüzeydeki moleküllere serbest yüzeye paralel ve dik kuvvet bileşenleri etki eder ve paralel bileşenler sıvı yüzeyini gergin bir zar gibi tutar.

### 1.8. KAPİLARİTE (Kılcallık)

Küçük çaplı bir tüp su içerisine batırıldığında suyun tüp içerisinde yükseldiği buna karşılık civa içerisine batırıldığında tüp içerisinde civa seviyesinin azaldığı görülür. Seviyedeki bu yükselme veya azalmaya kapilarite denir. Bu olaya adezyon, kohezyon ve yüzey gerilme etkileri neden olur.



Şekil 6. Kapilarite

Kapilarite nedeniyle kılcal boru içerisindeki sıvının yükselme veya alçalma miktarı (h)

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\gamma \cdot r}$$

Burada; h, kılcal borularda sıvının yükselme ve alçalma uzunluğu;  $\sigma$ , yüzey gerilmesi;  $\theta$ , ıslatma açısı;  $\gamma$ , akışkanın özgül ağırlığı; r, tüpün yarıçapı.

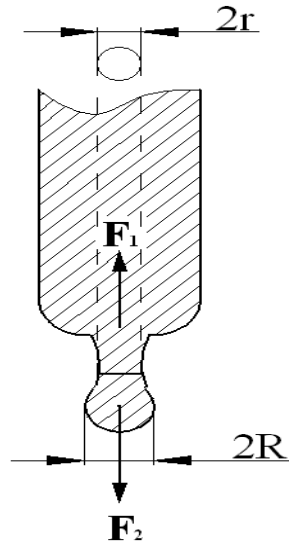
Temiz bir tüpte ıslatma açısı  $\theta$ , su için  $0^\circ$  civa için  $140^\circ$  dir. Katı ve su temasında  $\theta$  çok küçük olduğu için  $\cos \theta = 1$  alınabilir ve

$$h = \frac{2 \cdot \sigma}{\gamma \cdot r} \quad \text{olarak hesaplanır}$$

Çapı ½ inch (12 mm)'den büyük borularda kapilarite önemsizdir. Çapı 3/8 inch (10 mm)'den küçük borularda kapilarite önem kazanır.

### 1.9. DAMLALIK

Damlalık dar açıklıklı bir depodur. Bu dar açıklıktan sıvılar küçük parçalar (damla) halinde kesikli olarak akarlar. Damla büyüklüğü sıvının özgül ağırlığı, yüzey gerilimi ve damlalık açıklığının çevre uzunluğuna bağlıdır. Açıklıkta oluşan damla ağırlığı onu damlalığa bağlayan çevrede oluşan yüzey gerilim kuvvetine eşit oluncaya kadar artar. Ağırlık veya damlaya gelen yerçekimi kuvveti ile yüzey gerilim kuvveti eşit olunca damla kopar. Yeni bir damla oluşur.



r yarı çapındaki delikten sıvının aktığında ki denge durumunda;

Yüzey gerilim kuvveti = Damla ağırlığı

$$2 \cdot \pi \cdot r \cdot \alpha = m \cdot g$$

Damla R yarıçapında küre olduğuna göre,

$$F = V \cdot \gamma = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \gamma$$

$$2 \cdot \pi \cdot r \cdot \alpha = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \gamma \cdot R^3$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot r \cdot \alpha}{2 \cdot \gamma}}$$

Burada:

R – Damla yarıçapı,

r – Damlalık yarıçapı,

Eğer sıvı sıcaklığı sabit kalırsa aynı damlalıkta aynı sıvıdan her zaman eşit damla oluşur. Damla hacmi veya ağırlığı saptanabilirse istenen sıvının yüzey gerilim katsayısı hesaplanabilir.

### 1.10. BUHAR BASINCI

Kapalı bir kaptaki buharlaşma olursa, buhar moleküllerinin oluşturduğu kısmi basınç buhar basıncı olarak adlandırılır. Buhar basıncı sıcaklık arttıkça artar. Buharlaşma sırasında sıvı moleküllerinin bir kısmı sıvıya geri döner. Belirli bir zamanda eğer buharlaşma miktarı ile geri dönüş miktarı aynı ise denge haline ulaşılmış olur. Bu durumdaki buhar basıncı “doymuş buhar basıncı” olarak adlandırılır.

### ÖRNEK SORULAR

- 1-  $3 \text{ m}^3$  'ü 45kN ağırlıkta olan bir yağın, özgül kütle ( $\rho$ ), özgül ağırlığını ( $\gamma$ ) ve yoğunluğunu ( $d$ ) hesaplayınız.
- 2- Özgül kütlesi ( $\rho$ )  $1.3 \text{ kg/dm}^3$  olan bir sıvının,  $2 \text{ m}^3$  'ün kütlesi ve ağırlığı ile yoğunluğu nedir?
- 3- İki plaka arasında dinamik viskozitesi  $0.1 \text{ N s/m}^2$  olan yağ bulunmaktadır. Üstteki plakanın  $7.2 \text{ km/h}$  hızla hareket ettirebilmesi için gerekli kuvvet nedir? Plakanın boyutları  $50 \times 70 \text{ cm}$  ' dir.
- 4-  $50 \text{ mm}$  çaplı,  $20 \text{ cm}$  uzunluğundaki bir piston  $52 \text{ mm}$  çaplı silindir yuva içerisinde hareket etmektedir. Piston ile silindir arası dinamik viskozitesi  $0.09 \text{ N s/m}^2$  olan yağ ile doludur. Pistonun  $100 \text{ cm/s}$  hızla hareket edebilmesi için gerekli kuvvet nedir?

- 5-  $0.5 \text{ m}^2$  yüzey alanına sahip iki plaka arasına yoğunluğu 0.83 olan yağ konmuştur. Yağın kalınlığı  $0.07 \text{ mm}$ ' dir.
- Eğer üstteki plakaya  $50 \text{ N}$ ' luk bir kuvvet etki ederse plakanın hızı ne olur?
  - $10^\circ\text{C}$  olan yağ sıcaklığı  $60^\circ\text{C}$  çıkarılırsa yağı bu hızla hareket ettirmek için gerekli kuvvet nedir? (Yağın  $10^\circ\text{C}$  deki dinamik viskozitesi  $\mu = 8 \times 10^{-3} \text{ N s/m}^2$   $60^\circ\text{C}$  de ise  $\mu = 3.5 \times 10^{-3} \text{ N s/m}^2$ )
- 6-  $20^\circ\text{C}$  deki viskozitesi  $0.08 \text{ N s/m}^2$  olan bir sıvının  $2 \text{ cm}^3$  ünün ağırlığı  $1.79 \text{ g}$  ise
- Yoğunluğu nedir?
  - Kinematik viskozitesi nedir?
- 7-  $1.5 \text{ mm}$  çapındaki kılcal bir tüpte  $20^\circ\text{C}$  deki cıvanın seviyesindeki düşüşü bulunuz. ( $20^\circ\text{C}$  deki cıvanın yüzey gerilimi  $\sigma = 0,514 \text{ N/m}$  özgül ağırlığı  $= 133.1 \text{ k N/m}^3$  )
- 8-  $2.4 \text{ mm}$  çapındaki bir kılcal tüpte  $30^\circ\text{C}$  deki suyun yükselme miktarı nedir? ( $30^\circ\text{C}$  deki suyun yüzey gerilimi  $\sigma = 0.0712 \text{ N/m}$  özgül ağırlığı  $\gamma = 9.77 \text{ kN/m}^3$ )
- 9- Aralarında  $1.5 \text{ cm}$  mesafe bulunan birbirlerine paralel iki levha arasında dinamik viskozitesi  $\mu = 0.1 \text{ N s/m}^2$  olan yağ konmuştur. Üstteki levhadan  $0.5 \text{ cm}$  alttaki levhadan  $1 \text{ cm}$  mesafede olmak üzere yerleştirilen  $30 \times 60 \text{ cm}$  boyutlarındaki çok ince levhanın  $0.4 \text{ m/s}$  hızla çekilebilmesi için gerekli kuvvet nedir?

## **2. AKIŞKANLARIN STATİĞİ**

Akışkanlar statîğı, akışkanlar mekaniğinin durgun haldeki sıvıları inceleyen konusudur. Durgun akışkan herhangi bir kayma gerilmesine maruz kalmayan akışkandır. Akışkanlar statîğinde akışkanın kayma gerilmesi söz konusu olmadığı için viskozitesinden de bahsedilemez. Bu durumda akışkanın sadece basıncı söz konusudur.

### **Basınç**

Birim alana etkiyen normal kuvvet basınç (P) olarak isimlendirilir.

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

Akışkan basıncı bütün doğrultulara eşit büyüklükte ve yüzeye dik olarak etki eder. Bir akışkan tarafından oluşturulan basınç derinlik ile artar. O nedenle bir barajın tabanına etki eden basınç yüzeye göre çok fazladır.

### **2.1. BASINÇ FARKI**

Bir sıvı içinde, iki nokta arasındaki basınç farkı

$$P_2 - P_1 = \gamma (h_2 - h_1) \text{ ile ifade edilir.}$$

Dolayısıyla denge halinde bulunan sıvı içerisindeki herhangi iki nokta arasındaki basınç farkı, sıvının özgül ağırlığıyla söz konusu iki nokta arasındaki kot farkının çarpımıdır.

### **2.2. BASINÇ YÜKÜ (h)**

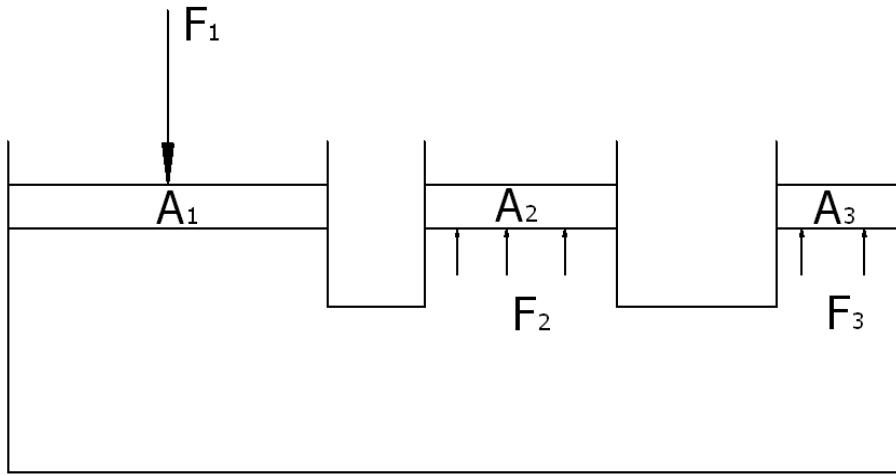
Verilen bir basıncı oluşturmak için gerekli homojen bir akışkan sütununun yüksekliği basınç yükü olarak adlandırılır.

$$h = \frac{P}{\gamma}$$

Dolayısıyla bir akışkanın oluşturacağı basınç yüksekliği ile özgül ağırlığının çarpımına eşittir.

### 2.3. PASCAL KANUNU

Bu prensip Fransız matematikçi Blaise Pascal (1623 – 1662) tarafından ortaya atılmıştır. Şekildeki gibi üzerinde farklı çapta açıklığı bulunan bir cenderede her bir açıklıkta serbestçe hareket edebilen pistonlar bulunsun. Bu pistonlardan herhangi birine uygulanacak bir kuvvet Pascal kanununa göre bütün doğrultulara aynen iletilecektir.



$$P_1 = P_2 = P_3$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_3}{A_3}$$

### 2.4. BASINÇ TİPLERİ VE BASINÇ ÖLÇÜMÜ

#### *Vakum ve Atmosferik Basınç*

Etrafımızdaki havanın basıncı atmosferik basınç olarak adlandırılır. Atmosferik basınç hava koşullarına göre bir miktar değişir ve yükseklik arttıkça azalır.

Deniz seviyesinde 14,7 Psi, 101,3 kPa, 760 mm Hg 10,33 mSS ve 1 atmosferdir. Bu genellikle standart atmosferik basınç olarak adlandırılır.

Atmosferik basınçtan daha düşük basınçlar vakum olarak ifade edilir. Vakum atmosfer basıncının ne kadar altında olduğunu bir ölçüsüdür.

Bir kaptaki hava boşaltılarak basınç 10 psi' ye düşürülürse ve ortamdaki standart atmosferik basınç 14,7 psi ise kaptaki vakum  $14,7 - 10 = 4,7$  psi' dir.

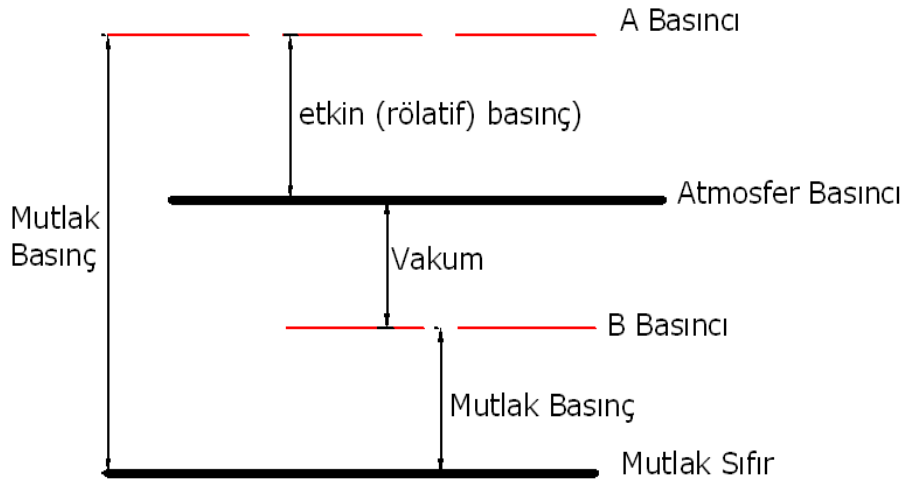
### **Mutlak ve Etkin Basınç**

Basınç ölçümleri mutlak veya etkin basınçlar cinsinden ifade edilir. Mutlak basınçta mümkün olan en düşük basınç yani mutlak sıfır baz olarak alınır. Etkin basınçta ise atmosfer basıncı baz alınır.

Eğer bir akışkanın basıncı standart atmosfer basıncının (101,3 kPa) 5,5 kPa üzerinde ise;

Etkin Basınç : 5,5 kPa

Mutlak Basınç :  $101,3 + 5,5$  kPa = 106,8 kPa' dır.

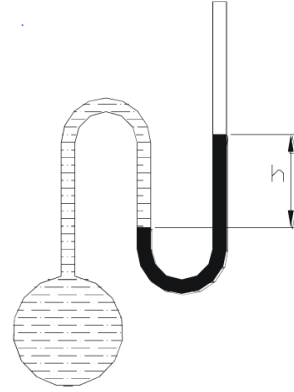
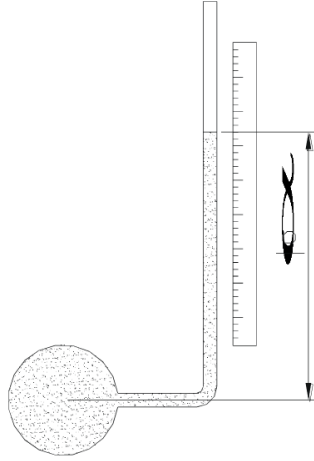


Atmosfer basıncını ölçmek için barometre kullanılır. Bir sıvının basıncını ölçmek için ise piezometre veya U tüpü kullanılır.

Piezometre sıvının bulunduğu kap delinerek yan duvarlarına bir tüp monte edilerek elde edilebilir. Kılcallık etkisini önlemek için tüp çapı 13 mm ve daha fazla olmalıdır.

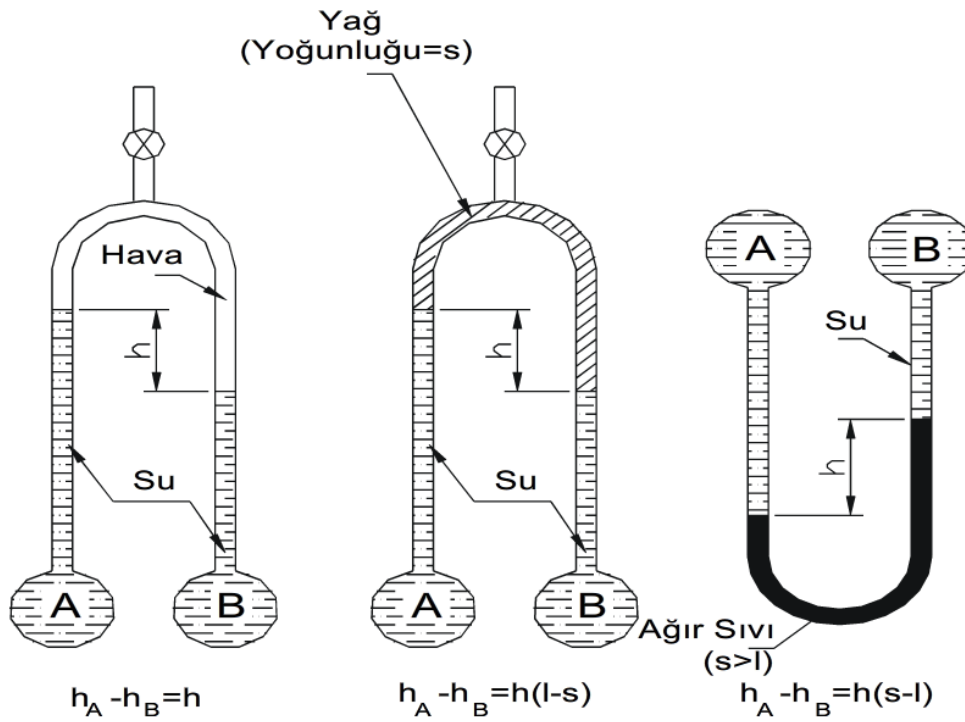


Piyezometre tüpü



Basit manometreler

I



Diferansiyel manometreler

En basit sıvı ölçme düzeneği bir piyezometreye bağlanmış saydam bir düşey borudan ibarettir. Basınç değişimlerinin yüksek olduğu durumlarda borudaki sıvı seviyeleri de büyük ölçüde değişecektir. Bu güçlüğü yenmek için piyezometredeki basıncı dengelemek üzere civa gibi daha ağır bir sıvı ihtiva eden bir U borusu kullanılır. Diferansiyel manometreler ile iki

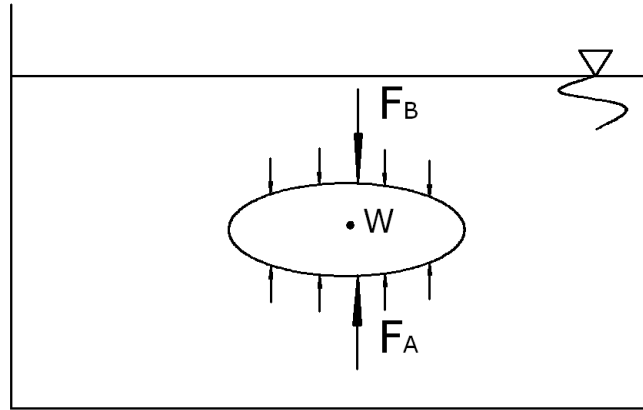
farklı ortamdaki basınç farkı ölçülür. Genellikle filtrelerindeki giriş ve çıkış basınç farklarını, havalandırma ve klima sistemlerindeki basınç farklarını ölçmek için kullanılır.

## 2.5. YÜZEN CİSİMLERİN DENGESİ

Bir katı cisim sıvı içerisinde batırıldığında cismin ağırlığında bir azalma meydana gelir, bu azalmanın nedeni sıvının cisme yapmış olduğu “kaldırma kuvvetidir”.

Sıvı içerisindeki cisme etkiyen hidrostatik basınç dağılımları incelendiğinde cisme etkiyen basınç kuvvetinin yatay bileşeninin değeri sıfır olduğu görülür. Bu kuvvetin değeri cismin şekline bağlı değildir.

Basınç kuvvetinin düzey bileşeni incelendiğinde sıvı tarafından cismin hacmine eşit sıvı tarafından cismin hacmine eşit sıvı ağırlığı kadar bir kuvvetle yukarı doğru itilir. Bu Archimedes prensibi olarak bilinir. Yönü aşağıdan yukarıya doğru olan bu kuvvet ise kaldırma kuvveti olarak adlandırılır.



$$F_K = F_A - F_B = \gamma \cdot V_{\text{cisim}}$$

Burada  $F_K$ , kaldırma kuvveti;  $F_A$  ve  $F_B$  cismi etkileyen düşey kuvvetler;  $\gamma$  cismin özgül ağırlığı ve  $V_{\text{cisim}}$  cismin hacmidir.

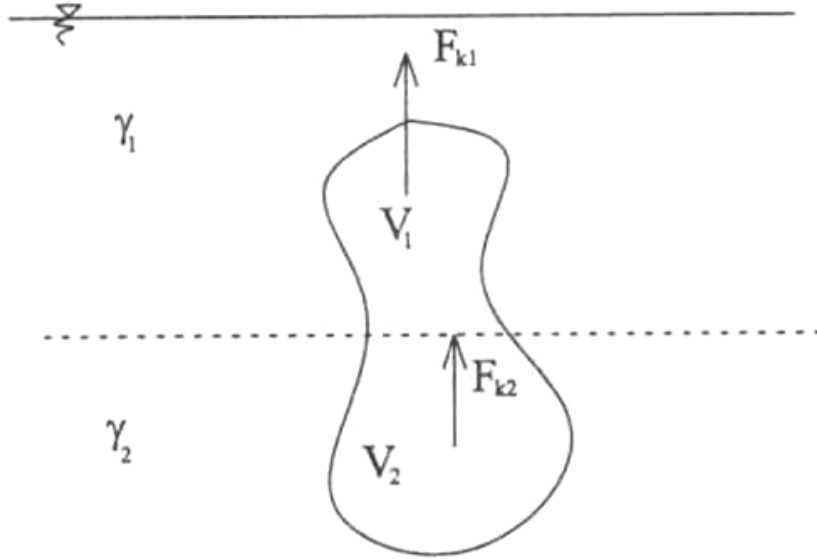
Batmış olan cisim düşeyde iki kuvvetin etkisi altındadır. Bunlar ağırlık ve kaldırma kuvvetleridir. Bu kuvvetlerin şiddetine göre 3 hal söz konusudur.

$$W > F_K \text{ cisim batmıştır,}$$

$W=F_K$  cisim yüzer

$W<F_K$  cisim hava içerisindeki bir balon gibi yükselir.

Eğer cisim iki farklı sıvı içerisinde batmış halde bulunuyorsa bu taktirde kaldırma kuvveti, bu sıvıların ayrı ayrı kaldırma kuvvetlerinin toplamına eşittir.



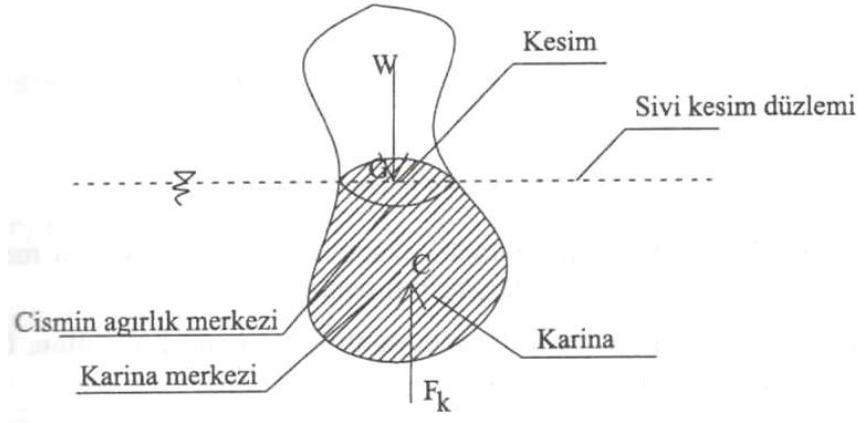
$$F_K = \gamma_1 \cdot V_1 + \gamma_2 \cdot V_2 = F_{K1} + F_{K2}$$

Sıvı içerisindeki bir cisimle ilgili bazı tanımlar aşağıda verilmiştir:

**Yüzen cisim:** Kaldırma kuvveti etkisi altında batmayan cisimdir.

**Karina:** Yüzen cismin su yüzeyi altında kalan bölümü yani suya batan bölümdür.

**Karina merkezi:** Karinanın geometrik ağırlık merkezidir.



Yüzen cisimlerin denge şartları;

Sıvı içerisinde daldırılmış bir cismin dengede bulunabilmesi için

- Cismin ağırlığının kaldırma kuvvetine eşit olması
- Karina merkezi ile cismin ağırlık merkezinin aynı düşeyde olması gerekir.

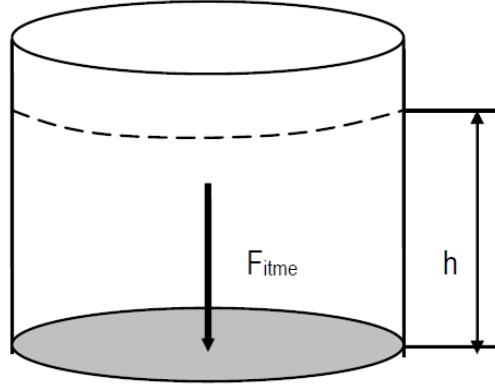
Ancak ağırlık merkezi ile karina merkezi aynı düşeyde olmayabilir o halde yüzen cismin dengesinin kararlı olup olmadığı aşağıdaki şartlara bağlıdır.

- G ağırlık merkezi, C karina merkezinin altında ise cisim daima dengededir.
- G ağırlık merkezi ile C karina merkezi üst üste geliyorsa denge belirsizdir yani cismin dengesi her an bozulabilir.
- G ağırlık merkezi, C karina merkezinin üstünde ise belirli şartlar hariç cismin dengesi mevcut değildir.

## 2.6. DÜZLEMSEL YÜZEYLERE ETKİYEN HİDROSTATİK KUVVET

### *Taban Yüzeyle Etkiyen Hidrostatik Kuvvet*

Taban yüzeye yapılan itme kuvveti sıvının en derin noktasındaki basınç ile taban yüzeyinin çarpımına eşittir.

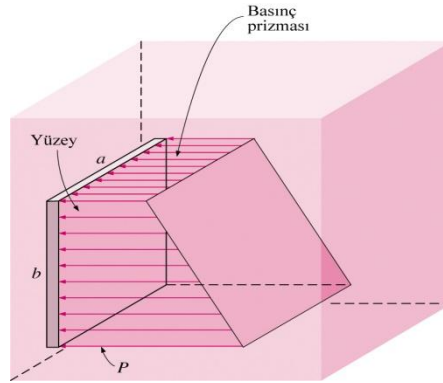


$$P = \frac{F}{A} = h \cdot \gamma$$

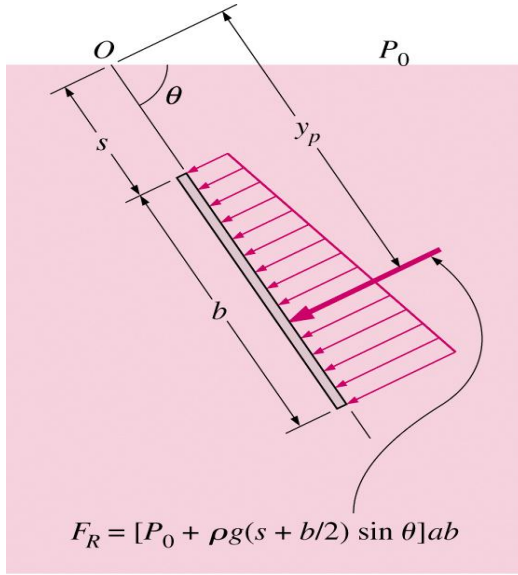
$$F = P \cdot A = A \cdot h \cdot \gamma$$

### ***Yan Yüzeyleri Etkiyen Hidrostatik Kuvvet***

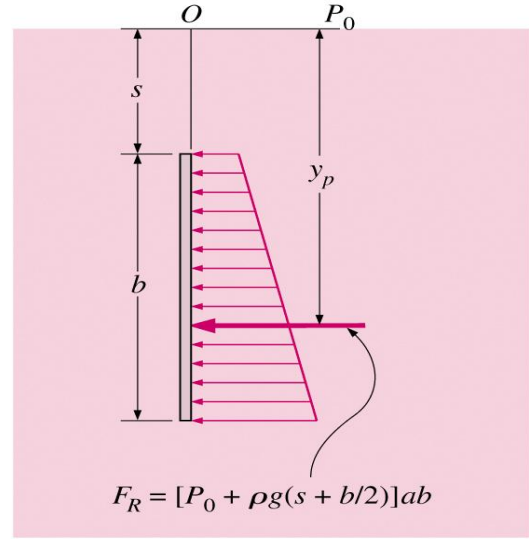
Düzgün bir kap içine sıvı konursa yan yüzeye gelen basınç kabın tabanına doğru inildikçe artacaktır. Bu nedenle kabın yanall yüzeylerine etki eden hidrostatik kuvvetler geometrik olarak basınç prizması yöntemi kullanılarak hesaplanabilir.



Düz bir yüzey üzerine etki eden kuvvetler, tabanı (sol yüz) yüzeyin alanı, yüksekliği de basınç olan bir hacim meydana getirir. Bu prizmanın hacmi, istenen bileşke kuvveti, kütle merkezinin yüzey üzerindeki izdüşümü ise bu kuvvetin etki noktasını verir.

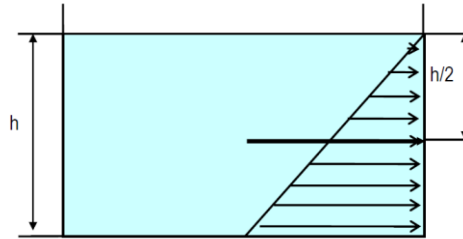


(a) Eğik plaka



(b) Düşey plaka

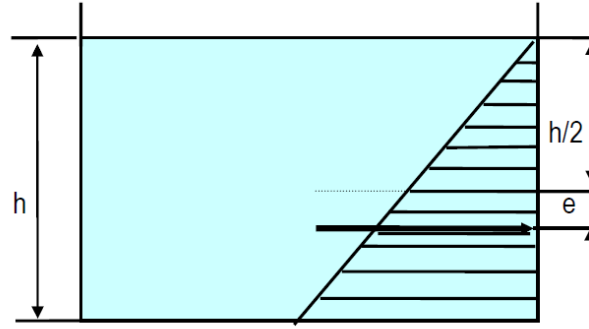
Buradaki  $F_R$  hidrostatik kuvvetleri basınç prizmalarının hacmine eşittir. Daha pratik bir yöntem ile  $F_R$  kuvveti, hidrostatik kuvvete maruz kalan yüzeyin merkezinin ( $h/2$ ), sıvının özgül ağırlığı ( $\gamma$ ) ve yan yüzey alanı ( $A_y$ ) ile çarpımıyla da bulunabilir.



$$F = \frac{h}{2} \cdot A_y \cdot \gamma$$

### **Basınç Merkezi (Hidrostatik Kuvvetin Yeri)**

Yan yüzeylere yapılan basınç kuvvetinin uygulama noktası, yüzeyin ağırlık merkezi olan orta noktasından daha alt noktada olduğu teorik ve deneysel olarak belirlenmiştir. Dikkat edilirse yan yüzeylere gelen basınç dağılımı üçgen şeklinde dağılmaktadır. Basınç merkezi ise bu üçgenin kenar ortaylarının merkezinden geçer. Basınç merkezi  $h/2$  mesafesinden e kadar daha aşağıya isabet etmektedir.



$$e = \frac{I_{GY}}{Z_G \cdot A}$$

e: Basınç merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe (m)

$I_{GY}$ : Basınca maruz yüzeyin ağırlık merkezine göre atalet momenti ( $m^4$ )

$$I_{GY} = D^4 / 64 \text{ (daire yan yüzey)}$$

$$I_{GY} = a^4 / 12 \text{ (kare yan yüzey)}$$

$$I_{GY} = b h^3 / 12 \text{ (dikdörtgen yan yüzey)}$$

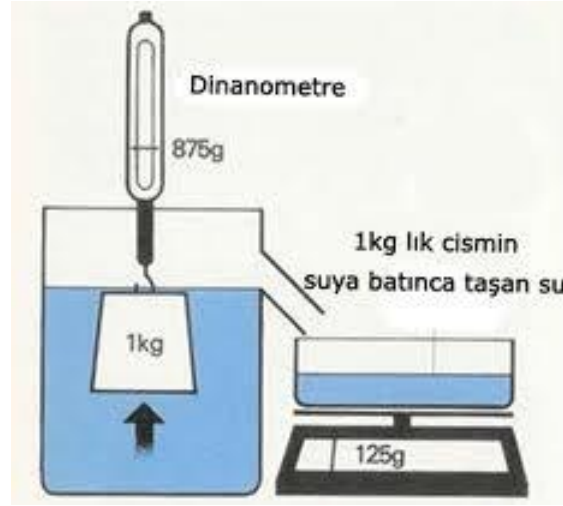
$Z_G$ : Basınca maruz yüzeyin ağırlık merkezinin ıslak yüzeyi boyunca açık (kuru) yüzeye olan mesafesidir (m). Bu mesafe dik yüzeyler için  $h/2$  alınabilir ancak eğik yüzeylerde ayrıca hesaplanmalıdır.

A: Basınca maruz yüzey alanı ( $m$ )

## 2.7. SIVILARIN KALDIRMA KUVVETİ (ARŞİMED PRENSİBİ)

Sıvıların kaldırma kuvveti Arşimet tarafından farkedilmiş ve bilimsel olarak Arşimed prensibi olarak bilinen ilkeyle açıklanmıştır. Sıvılar kendi yoğunluğundan da az yoğunluğa sahip cisimleri, yüzeyine doğru itmektedir. Yoğunluk farklılıklarından ortaya çıkan itme kuvveti etkisiyle cisim yüzmeye başlar. Tamamı veya bir kısmı bir sıvının içine batırılan cisimlere, yukarı doğru, yönlenmiş bir kaldırma kuvveti etki eder. Bu kuvvet, cismin sıvıya batmasıyla yer değiştiren sıvının ağırlığına eşittir. Yer değiştiren sıvının hacmi, cismin batan kısmının hacmine eşittir. O halde hacmi (V) olan bir cisim, özgül ağırlığı ( $\gamma$ ) olan bir sıvıya tamamen batmış vaziyette ise, bu cisme etki eden kaldırma kuvveti;

$$F = V \cdot \gamma \quad \text{olur.}$$



Kısaca bir sıvının, bir cisme uyguladığı kaldırma kuvveti cismin taşıdığı sıvının ağırlığına eşit olduğu için cisim; batan hacmi kadar sıvı hacmi taşıracığından dolayı aşağıdaki durum ortaya çıkar.

1) Cisim ağırlığı ( $G$ ) sıvının kaldırma kuvvetinden ( $F$ ) büyük ise cisim batar. Bu durumda cismin özgül ağırlığı ( $\gamma_c$ ) sıvının özgül ağırlığından ( $\gamma_s$ ) büyüktür.  $G > F$   $\gamma_c > \gamma_s$

2) Cismin ağırlığı, sıvının kaldırma kuvvetine eşit ise, cisim sıvının içinde her yerde dengededir ve özgül ağırlığına eşittir.  $G = F$   $\gamma_c = \gamma_s$

3) Özgül ağırlığı, sıvının özgül ağırlığından küçük olan cisimler ise bir kısmı batmış vaziyette yüzerler. Batan kısmın hacmi ( $V_b$ ) ile gösterilse  $F = V_b g$  olur. Yüzen cisimler denge halinde olduklarından  $F = G$  dir.

### ÖRNEK SORULAR

- 1) Tabanında 2 m yüksekliğinde gliserin ve bunun üzerinde 50 kPa basınçlı hava bulunan bir kabın tabanına yapacağı basınç kaç Bar'dır?
- 2) Eğer bir civalı manometrede okunan değer 742 mm ise bu şartlardaki atmosfer basıncı kaç mmSS ve kaç kPa'dır (civanın özgül ağırlığı  $133 \text{ N/dm}^3$ )
- 3) Basınç altında gliserin içeren kapalı bir kaba piyezometre monte edilince gliserin 42 cm yükseliyorsa kap içindeki basınç kaç bardır ( gliserinin özgül ağırlığı  $12 \text{ N/dm}^3$ ).

- 4 Üst yüzeyi atmosfere açık bir tank içerisinde 30 cm yüksekliğinde A sıvısı, A sıvısı üzerinde ise 150 cm yüksekliğinde B sıvısı bulunmaktadır A sıvısının yoğunluğu 0.72, B sıvısının yoğunluğu ise 0.80).
- B sıvısının tabanına takılan piyezometre yüksekliği nedir?
  - A sıvısının tabanına takılan piyezometre yüksekliği nedir?
  - Tankın dibindeki basınç nedir?
- 5 Bir cenderede A pistonu ile B pistonunun yüzey alanlarının  $0.004 \text{ m}^2$  ve  $0.4$  dir. B pistonunun ağırlığı 40000 N olup kap 0.75 yoğunluklu yağ ile doldurulmuştur.
- Denge için A pistonunu etkilemesi gereken F kuvveti ne olmalıdır.
  - Şayet A pistonu ile B pistonu arasında 5 m yükseklik farkı olsaydı o zamana denge için  $F_A = ?$
- 6 Bir tankta bulunan havanın basıncı manometre ile ölçülmüş ve yerel atmosfer basıncı 760 mmHg iken 530000 Pa olarak ölçülmüştür. Yerel atmosferik basınç 773 iken manometrede okunan basınç ne olur?

### **3. AKIŞKANLARIN KİNEMATİĞİ**

Kinematik, (Yunanca *kinema*, hareket), mekaniğin bir konusu olup hareketi, sebep ve tesirlerini gözönüne almadan inceler. Kinematik, hareketin ve ondan doğan hız ve ivmenin anlaşılmasıyla kavranabilir. Hareket bir cismin sürekli, bir noktadan diğer bir noktaya olan yer değiştirmesidir. Akışkanların akım çizgileri, bu çizgiler üzerindeki hızları ve ivmeleriyle ilgilenen bilim dalına ise akışkanlar kinematığı denir. Dolayısıyla akışkanlar kinematığı akışkan kütlelerinin hareketini etkileyen kuvvetler göz önüne alınmadan hareket halindeki akışkan taneciklerinin zaman boyutundaki hız değişimlerini inceleyen bilim dalıdır.

Statik halde bulunan akışkanları incelerken elde ettiğimiz tek kural ve sonuçlar, büyük bir yaklaşım ile pratiğe uygulanabilirler. Çünkü statik problemlerde akışkanın özgül ağırlığının belirlenmesi dışında hiçbir deneysel bilgiye ihtiyaç yoktur, bu durum statik haldeki sıvılara ait çözümleri basite indirgemektedir. Buna karşın, akışkanların hareket halini incelerken oldukça karmaşık bir durum ile karşılaşabiliriz. Çünkü harekete konu olan cisim akışkandır ve bu cisim yani akışkan zaman içinde oluşan dış etkiler sonucu sürekli değişim gösterir.

#### **3.1. AKIŞKAN AKIMINI İNCELEME YÖNTEMLERİ**

**1. Lagrange Yöntemi:** Bir akışkan partikülünün hareketi esas alınarak belirli bir anda belirli bir konumda olan akışkan partiküllerinin zamanla olan hareketlerini inceler.

**2. Euler Yöntemi:** Herhangi bir akışkan partikülünün hareketini incelemek yerine, akışkan akımı içindeki sabit bir noktayı esas alarak bu noktadaki hız ve basıncın zamanla değişimini inceler. Yani tek bir  $x$ ,  $y$ ,  $z$  koordinatındaki zamana bağlı olarak hız veya basınç değişimi incelenir.

#### **3.2. AKIŞKAN TİPLERİ**

Teoride iki kısma ayrılabilir ve bu kavramlar problemlerin çözümünde büyük kolaylık sağlar

**1. İdeal Akışkan:** Viskozitesi veya diğer bir ifade ile içsel sürtünmesi sıfır olan akışkanlara denir. Her akışkan elemanının hızı sabittir ve izledikleri yol birbirine paraleldir.

**2. Gerçek akışkan:** Sahip oldukları içsel sürtünme yada viskoziteleri dikkate alınan akışkandır.



İdeal akışkan ile gerçek akışkanın hız profilleri

### 3.3. AKIM TİPLERİ

#### **Düzenli ve Düzensiz Akım**

Akım alanı içinde her hangi bir noktadaki akım hızının (sıvı molekülünün hızının) büyüklük ve yönünün zaman içinde değişmediği akımlar düzenli akımlardır. Akım alanı içinde farklı noktalarda hızlar ve yönler farklı olabilir. Ancak her noktada zaman içinde hız ve yön sabittir. Doğada mutlak anlamda düzenli bir akım yoktur.

Düzensiz akım ise herhangi bir noktadaki akım hızının ve yönünün zaman içinde değiştiği bir akımdır.

#### **Uniform ve Uniform Olmayan Akım**

Akım alanı içinde her noktada hızın büyüklük ve yönünün aynı olduğu akım (Düzenli akımda bir noktada) Uniform akımdır. Hız bir noktadan diğer bir noktaya herhangi bir (t) bir anı için değişim göstermez. Örnek çapı değişmeyen boruda düzenli akım. Üniform olmayan akımda ise hız ve yön her noktada farklıdır. Örnek daralan kesitte akım.

Düzenlilik ve üniformluk birbirinden farklıdır. Düzenli akımda kriter zamandır. Üniform akımda kriter mekandır veya yoldur. Düzenliliği ve Üniformluğu şu örneklerle daha iyi tanımlayabiliriz:

- a) Düzenli-üniform akım: Birim zamanda aynı miktarda suyun uzun ve düz boruda akması,
- b) Düzensiz-Uniform akım: Miktarı azalan bir suyun uzun ve düz boruda akması,
- c) Düzensiz-Uniform olmayan akım: Miktarı azalan suyun kesiti daralan boruda akması,
- d) Düzenli-Uniform olmayan akım: Aynı miktarda suyun kesiti daralan boruda akması.

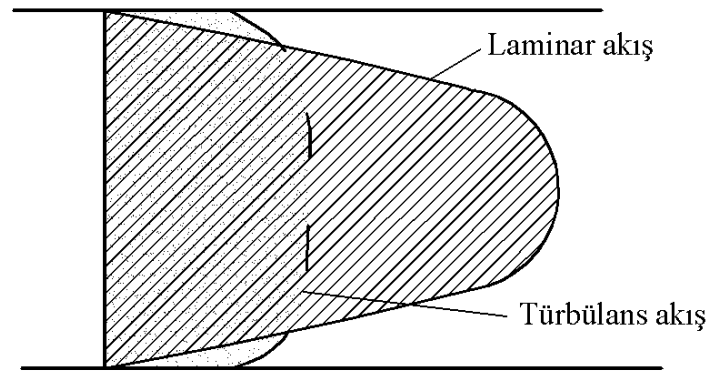
### **Laminer ve Türbülans Akım**

Sıvı akışkanlarda parçacıklarının birbirlerine göre konumlarının değişimine bağlı olarak iki farklı akım vardır. Bunlar Laminer ve Türbülans akımlardır.

Laminer akımda, sıvı tabakalar halinde akış gösterir ve hız farkları olan bu tabakalar karışmadan birbirleri üzerinde kayarak hareket ederler. Bu akım viskoz sıvıların bir özelliğidir. Doğada yer altı sularında bu akışlar gözlenir. Kılcal borulardaki akımda laminer akımdır.

Türbülanslı akım düzensiz bir akıştır. Sıvı parçacıklarının belirli bir frekansı ve izlenebilir belirli bir düzgün yörüngesi yoktur. Yörünge çok karmaşıktır.

Türbülanslı akımda bir akışkan tabakasından diğerine olan momentum alışverişi sırasında bir tabakadan diğerine taşınan akışkan parçacığının hareketi “eddy” olarak bilinmektedir. Türbülanslı akımdaki bu momentum alışverişi cidardan uzaklaştıkça hız dağılımının laminer akıma göre daha üniform olmasına neden olur.



Laminer ve türbülanslı akımda hız dağılımı

Bu iki akımı birbirinden ayırmak ve akımları karşılaştırmak amacıyla, 1883 yılında Osborne Reynolds bir formül geliştirmiştir. Hesaplanan bu değer akışın hızına, boru çapına ve sıvının viskozitesine bağlı birimsiz bir büyüklüktür. Bu sayı araştırmacının kendi adıyla anılan Reynolds sayısı olarak bilinmektedir.

$$Re = \frac{V_{ort} \cdot D}{\nu}$$

Burada;

$V_{ort}$  - ortalama akış hızı (m/s)

D – boru çapı (m)

$\nu$  - kinematik viskozite (m<sup>2</sup>/s)

Parlak iç yüzeyli ve dairesel borularda kritik Re sayısı 2320'dir. Re sayısı bu değerden büyük akımlar, türbülans, küçük akımlar Laminer kabul edilirler.

$Re > 2320$  ise türbülans akım

$Re < 2320$  ise laminer akım

Serbest yüzeyli akımlarda kritik Re sayısı ise 580'dir.

$Re > 580$  ise türbülans akım

$Re < 580$  ise laminer akım

### ***Bir, İki ve Üç Boyutlu Akımlar***

Akış yalnızca bir yönde ise ve ayrıca basınç, hız, ivme ve özgül kütle gibi büyüklükler ele alınan bir eksenin ve zamanın fonksiyonu olarak belirtilebiliyorsa bu akış bir boyutlu akıştır. Örneğin sadece X eksen yönündeki akış bir boyutludur.

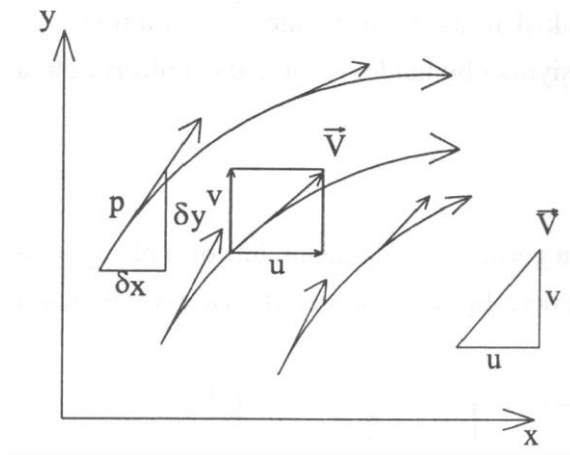
İki boyutlu akış, akım çizgilerinin bir düzlem içinde bulunması ve birbirine paralel düzlem serileri biçiminde olması halinde meydana gelir. Örneğin sadece X ve Y eksenleri yönündeki akış iki boyutludur.

Akışkan taneciklerinin X, Y ve Z eksenleri yönündeki akımı üç boyutlu akımdır. Akışkan taneciklerinin her üç eksen yönünde hız bileşenleri vardır. Uygulamada akış üç boyutludur ancak bazı durumlarda sonucu fazla etkilemeden kolay çözüm için akış bir veya iki boyutlu kabul edilir.

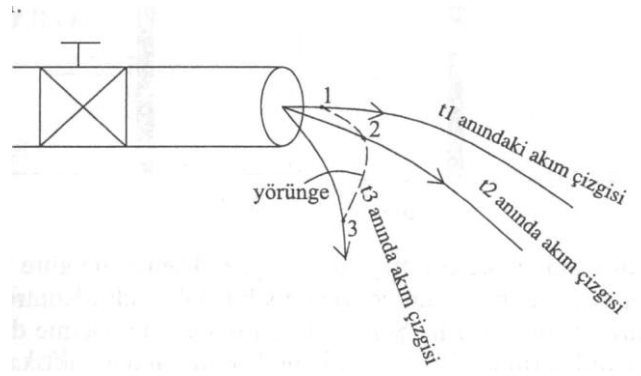
### 3.4. AKIM ÇİZGİSİ, YÖRÜNGE VE AKIM TÜPÜ

Herhangi bir andaki ardı ardına sıralanmış olan noktadaki hız vektörlerine çizilen teğetlere akım çizgisi denir. Hızlar akım çizgisine teğettir. Akım çizgileri birbirini kesmezler.

Bir akışkan taneciğinin  $t_1$  ile  $t_2$  zaman aralığında üzerinde hareket ettiği yola yörünge denir. Düzenli akımlarda akım çizgisi ile yörünge üst üste çıkarır.

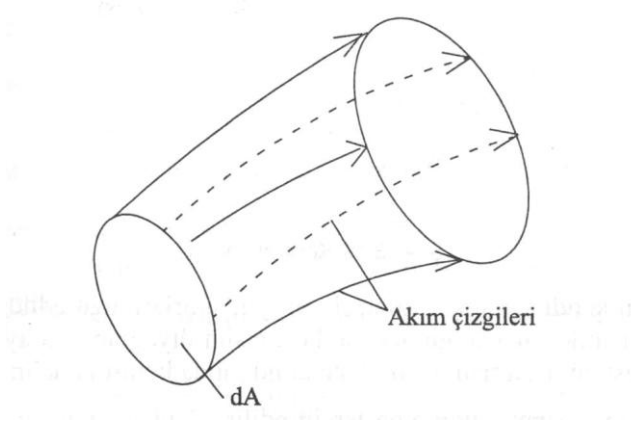


Şekil. Akım çizgileri ve hız vektörleri



Şekil. Kararsız akım halinde akım çizgisi ve yörünge

Akış içinde akım yönüne dik çok küçük bir  $dA$  alanı dikkate alınırsa bunun çevresindeki bütün noktalarda belirli bir  $t$  anında geçen akım çizgilerinin oluşturduğu geçide akım tüpü veya borusu denir.



Şekil. Akım tüpü

**ÖRNEK SORULAR**

1. 150 mm yarıçapındaki bir boru içerisinde 18 km/h ortalama hız ile akan 20°C deki bir sıvının akış tipi nedir?

(Sıvının 20°C deki kinematik viskozitesi  $\nu = 1.21 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ )

2. 20°C deki mutlak viskozitesi  $\mu = 8 \times 10^{-4} \text{ Pa s}$  olan suyun 10 cm çapındaki bir borudaki akışının laminar olabilmesi için akış hızı maksimum ne olabilir?

3. 20°C deki mutlak viskozitesi  $\mu = 2 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$  olan etil alkolün 0.5 m/s ortalama hız ile akabileceği borunun çapı maksimum ne olabilir?

20°C deki etil alkolün özgül kütlesi  $\rho = 780 \text{ kg/m}^3$  dür.

Ek Soru 500 N ağırlığındaki 250x250x250 mm ölçülerindeki bir plastik parçanın, 8.5N/dm<sup>3</sup> özgül ağırlığındaki bir sıvının yüzeyinde durması için gerekli batma oranını bulunuz.

## **4. AKIŞKANLARIN DİNAMIĞI**

Fizikte, mekaniğin, cisimlerin çeşitli kuvvetler altında hareketlerindeki değişiklikleri inceleyen dalına dinamik denir. Akışkanların çeşitli kuvvetler altında hareketlerindeki değişimi inceleyen bilim dalı ise akışkanlar dinamiğidir.

### **4.1. AKIŞKAN HAREKETİNE ETKİLİ OLAN BAŞLICA KUVVETLER**

Başlıca dört kuvvet söz konusudur. Bunlar:

**Kütlesel (Hacimsel) Kuvvetler:** Akışkanın tüm hacmi boyunca etki eden kuvvetlerdir. Örneğin: yerçekimi kuvveti ve merkezkaç kuvvet gibi.

**Yüzeysel (Temas) Kuvvetler:** Elemanların birbirine olan temaslarından dolayı meydana gelirler. Alan ile orantılıdır ve birim alan üzerindeki değerine gerilme denir.

**Elastik Kuvvet:** Akışkan hacminin şekil değiştirmesinden dolayı meydana gelen kuvvettir.

**Atalet Kuvveti:** Sıvıların hareketinden doğan kuvvettir. Newton'un II. Prensibine göre “m.a” dır.

Durgun halde bulunan sıvılar için sadece yer çekimi ve basınç kuvveti, hareket halindeki sıvılar için ise kütlesel, yüzeysel ve atalet kuvvetleri söz konusudur. Elastik kuvvet yalnızca sıvıların kararsız hallerinde ve gazların hareketinde önemli olur.

### **4.2. SÜREKLİLİK DENKLEMİ**

Sıkıştırılamaz akışkanlarda sisteme giren ve sistemden çıkan akım miktarı (verdi) sabit kabul edilmektedir. Buna kütlenin korunumu denir ve Süreklilik denklemi ile ifade edilir. Bir akımda hız ile kesit alanı çarpımı sabittir veya başka bir deyişle hız ile kesit alanı ters orantılı olarak değişir.

$$Q_1=Q_2$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

Burada; Q, debi (m<sup>3</sup>/s); A, kesit alanı (m<sup>2</sup>) ve V akışkanın hızı (m/s).

#### 4.3. NEWTON'UN İKİNCİ KANUNU

Bir akışkan taneciği bir noktadan başka bir noktaya giderken pozitif veya negatif ivmeyle hareket etmekte ve bu süreçte üzerine bir F kuvveti etki etmektedir. Bu eşitliğe Newton'un ikinci kanunu denir. Akışkan taneciğine bu kanunu uygulanırken akışkanın viskozitesi ve ısı iletimi olmadığı kabul edilir.

Akışkana yalnızca basınç kuvveti ve yer çekimi kuvvetlerinin etki ettiğini kabul ederek Newton'un ikinci kanunu bir akışkan taneciğine uygulandığı zaman;

$$W+F=m \cdot a$$

#### 4.4. ENERJİ DENKLEMİ

Bir akışkanın toplam enerjisi aşağıdaki enerjilerden oluşur:

1- Kinetik Enerji (Ek)

2- Potansiyel Enerji (Ep )

a-Basınç Enerjisi

b-Konum Enerjisi

**Kinetik Enerji**, akışkanın birim ağırlığının hızı nedeniyle sahip olduğu iş yapabilme yeteneğidir.

**Basınç Enerjisi**, serbest su yüzeyinden dikkate alınan noktaya kadar ki su sütununun ağırlığına eşit enerji basınç enerjisidir.

**Konum Enerjisi**, yerçekimi etkisindeki bir su kütlesinin bulunduğu (yükseklik) veya konumu nedeniyle sahip olduğu enerjidir. Konum enerjisi bir karşılaştırma düzlemine göre belirlenir. Karşılaştırma düzleminin konum enerjisi sıfır kabul edilir. Diğer noktaların konum enerjisi bu düzleme göre belirlenir.

**Toplam Potansiyel Enerji** , o noktanın basınç ve konum enerjileri toplamına eşittir.

İki nokta arasındaki basınç potansiyel ve kinetik enerjiler aşağıdaki gibidir:

$$\text{Basınç Enerjisi } E_b = \gamma(P_1 - P_2)$$

$$\text{Potansiyel Enerji } E_p = mg(z_1 - z_2) = \rho \gamma g(z_1 - z_2) = \gamma \gamma (z_1 - z_2)$$

$$\text{Kinetik Enerji } E_k = m\left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2}\right) = \rho \gamma \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2}\right) = \gamma \gamma \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}\right)$$

Burada:

P – Basınç       $\gamma$  – Hacim      V – Hız      m – kütle

$\rho$  – özgül kütle       $\gamma$  – özgül hacim      z – yükseklik      g – yerçekimi ivmesi

İdeal akışkanın bir boyutlu akımına enerjinin korunumu prensibi uygulanırsa, sürtünmesiz bir ortamda

$$[\text{Hareket enerjisi}] = \left[ \frac{\text{Basınç kuvvetlerinin}}{\text{yaptığı iş}} \right] + \left[ \frac{\text{Ağırlık kuvvetinin}}{\text{yaptığı iş}} \right]$$

$$\gamma \gamma \left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right) = \gamma(P_1 - P_2) + \gamma \gamma (z_1 - z_2)$$

$$\left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) = z_1 - z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

Bu eşitlik ideal akışkan için Enerji denklemi yani Bernoulli Denklemdir. Bu denklemde her bir terim uzunluk boyutundadır ve  $\frac{V_1^2}{2g}$  = hız yükü,  $\frac{P_1}{\gamma}$  = basınç yükü ve Z = durum yükü olarak isimlendirilir. Dolayısıyla:

$$\text{Hız yükü} + \text{Basınç yükü} + \text{Durum Yükü} = \text{Sabit}$$

Bernoulli denklemi birim kütleye etki eden enerji olarak ifade edilirse akımın enerjisi akım çizgisi boyunca

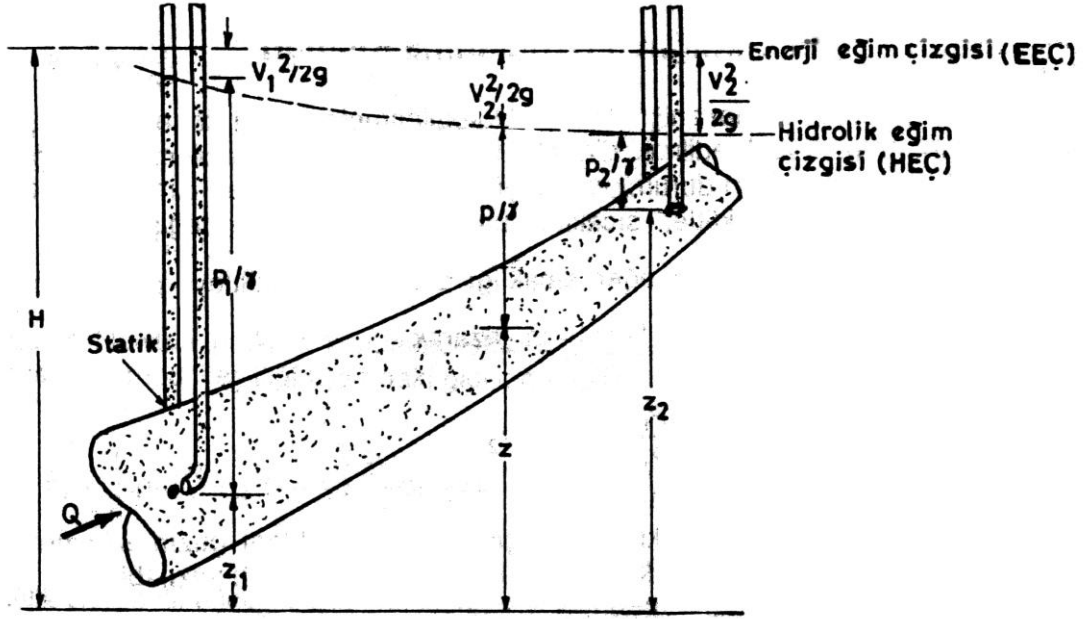
$$m \frac{V^2}{2} + m \frac{P}{\rho} + mgz = \text{Sabit}$$

#### 4.5. ENERJİ EĞİM ÇİZGİSİ VE HİDROLİK EĞİM ÇİZGİSİ

Bernoulli eşitliği bir akışkanın bir noktadaki toplam enerjisini vermektedir. Akım boyunca farklı noktalarda da bu toplam enerji ideal (sürtünmesiz) akışkanlar için aynıdır.

Ancak bir enerjide diğer enerjiye dönüşür. Örneğin: hız yüksekliği basınç yüksekliğine; konum yüksekliği basınç yüksekliği.

Akım boyunca toplam enerji yüksekliklerini bir referans düzlemine göre birleştiren çizgiye, Enerji Eğim Çizgisi (EEÇ); basınç yüksekliklerini birleştiren çizgiye de Hidrolik Eğim Çizgisi (HEÇ) denir. HEÇ statik yükleri gösterirken; EEÇ hem statik hem de dinamik yükleri göstermektedir.



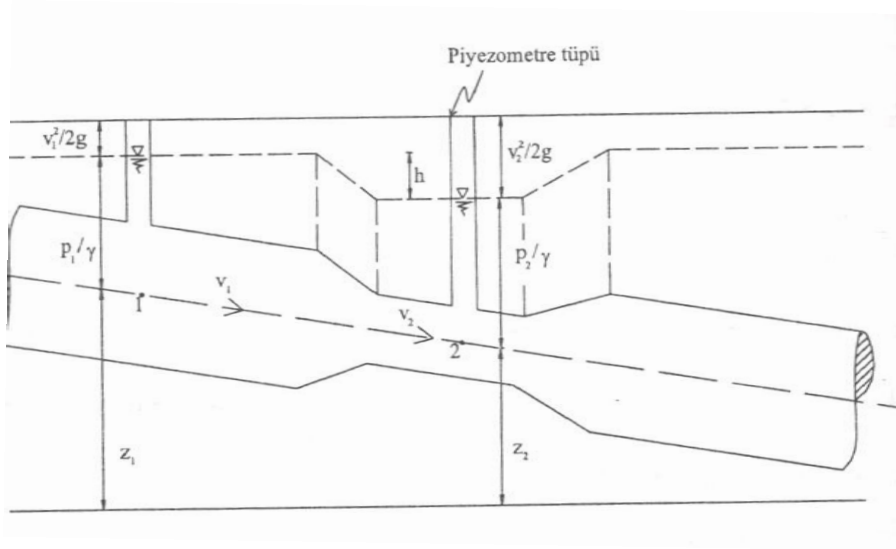
Boru akımlarında statik ve dinamik yükleri ölçme amacıyla Piyezometre ve pitot boruları kullanılır.

**Piyezometre borusu:** Statik yükü veya hidrolik yükü gösterir. Akışkanın hareketiyle kazandığı kinetik enerjiyi (hız yükünü) göstermez.

**Pitot Borusu:** Akışın belirli bir noktasında ve akışa dik kesit alanı bulunan kıvrık borudur. Akışkanın statik yükü yanında hareketiyle kazandığı hız yükünü de gösterir. Pitot borusunda okunan değer toplam yükü verir. Piyezometre borusu ile diferansiyel olarak bağlandığında sadece hız yükü okunur.

Borudaki  $Z + P/\gamma$  yüksekliklerini birleştiren eğri hidrolik eğim çizgisidir.  $Z + P/\gamma + v^2/2g$  yüksekliği toplam enerjiyi verir ve bu ideal sıvıda yatay bir çizgi olup Enerji eğim çizgisi olarak tanımlanır.

**Bir venturide HEÇ ve EEÇ aşağıdaki gibidir**



Bernoulli eşitliğini venturimetre gibi sistemlere uygulayarak verdi ölçümü yapılabilir. Akışı sürtünmesiz, düzenli, sıkıştırılmaz ve yatay ( $z_1=z_2$ ) kabul ederek 1 ve 2 noktalarına Bernoulli eşitliği ve süreklilik denklemi uygulandığında verdi;

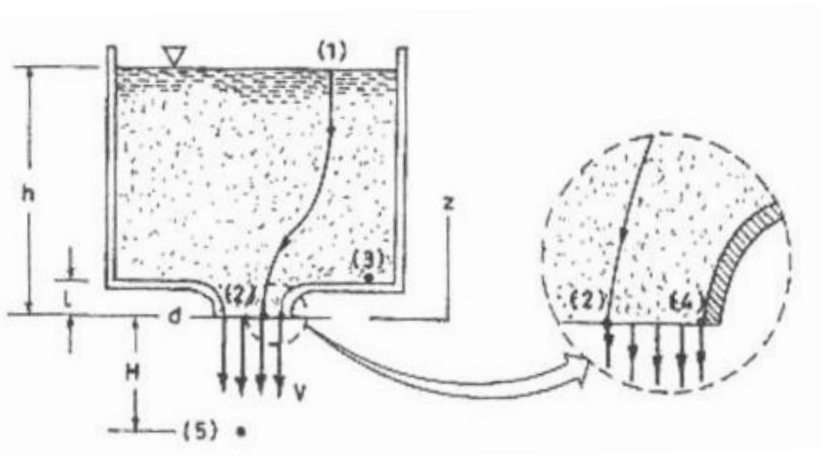
$$Q = A_2 \cdot [V_2]^{1/2} = A_2 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho \cdot \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right)} \right]^{1/2}$$

Burada;

Q - verdi ( $m^3/s$ ), A – kesit alanı ( $m^2$ ), P – basınç (Pa),  $\rho$  – akışkanın özgül kütlesi ( $kg/m^3$ )

**Bir Orifise Bernoulli Eşitliği Uygulanırsa;**

Bir deponun tabanından sıvı çıkışını sağlayan açıklıklara orifis (sukbe) denir.



Şekildeki orifise Bernoulli eşitliği uygulanırsa (2) ve (5) noktalarındaki teorik akış hızı;

$$V_{2t} = \sqrt{2gh}$$

$$V_{5t} = \sqrt{2g(h+H)}$$

Burada;

$V_{2t}$ : Orifis çıkışındaki akışkan hızı, teorik (m/s)

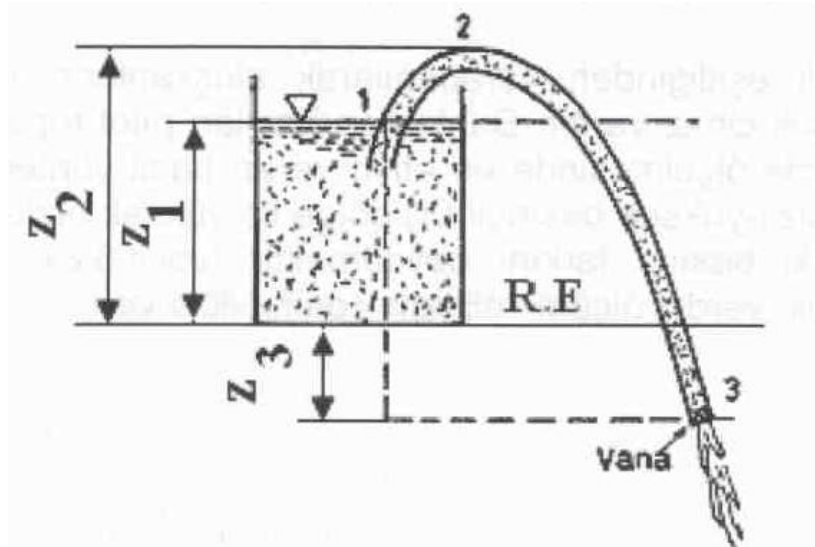
$h$ : Orifisin orta noktasının sıvı yüzeyine uzaklığı (m)

$V_{5t}$ : Orifisin dışında akışkan hızı, teorik (m/s)

$H$ : Orifis dışındaki noktanın orifis orta noktasına uzaklığı (m)

### **Bir Sifona Bernoulli Eşitliği Uygulanırsa;**

Depolara yukarıdan daldırılan bir boru yardımıyla içerisindeki sıvıyı tahliye etmek için kullanılan düzeneklere sifon denir.



Şekildeki sifonda (1), (2) ve (3) noktaları için Bernoulli eşitliği (3) noktasına ise süreklilik denklemi uygulanarak (3) noktasındaki sıvı çıkış hızı aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$V_3 = (2 \cdot g \cdot (z_1 - z_3))^{1/2}$$

Burada;

$V_3$ : Çıkış hızı (m/s)

$g$ : Yerçekimi ivmesi

$z_1-z_3$ : (1) ile (3) noktası arası düşey uzaklık (m)

Not:  $z_3$  negatif olacağı için  $z_1-(-z_3) = z_1+z_3$

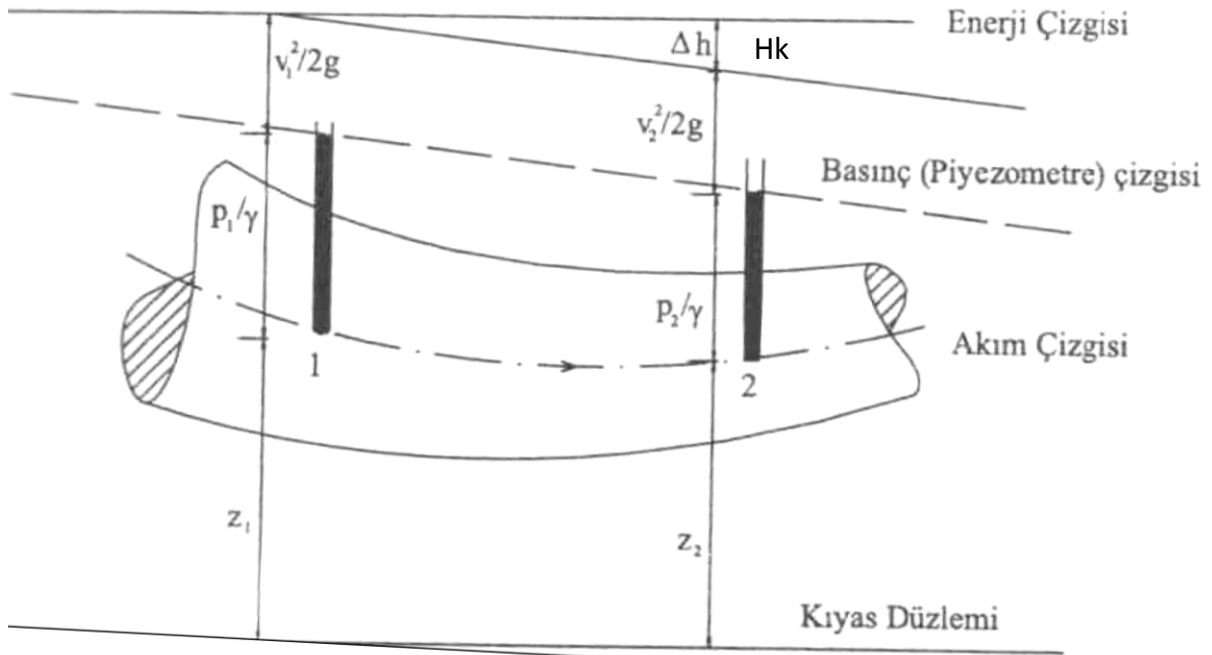
Sifon içerisindeki en düşük basınç (2) noktasında elde edilecektir. Bu noktadaki basınç atmosfer basıncından düşük olup negatiftir. (1) ve (2) noktalarına Bernoulli uygulanırsa;

$P_1$  deki manometrik basınç ve  $V_1$  sıfır olacağı için;

$$P_2 = \gamma \left( z_1 - z_2 - \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

### Gerçek Akışkanda Akım Çizgisi Boyunca Toplam Enerji Denkleminin Yazılması

Gerçek bir akışkanda toplam enerji denklemi biraz daha farklıdır. Gerçek akışkanda sıvının iç sürtünmesi de dikkate alınmak zorundadır.



Gerçek akışkanlar için Bernoulli Eşitliği

1 noktası ile 2 noktası arasındaki toplam sürtünme kaybına göre Bernoulli eşitliği:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + H_k$$

$H_k$  – Toplam sürtünme kaybı

Borulardaki sürtünme kaybı, düz boru ve şekilli boru parçalarındaki sürtünme kayıpları olarak ikiye ayrılır. Düz borulardaki sürtünme kayıplarının ( $h_k$ ) hesaplanmasında iki yol uygulanır. Bunlar Darcy Eşitliği veya Hidrolik Gradient'tir.

**Darcy Eşitliği:**

$$h_k = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Burada:

$h_k$  – Düz borudaki sürtünme kaybı (mSS )

$\lambda$  - Boru için Sürtünme katsayısı,

$L$  – Düz boru uzunluğu ( m ),

$D$  – Boru anma çapı ( m ),

$v$  - Akışkanın hızı ( m / s )

Darcy formülünde  $\lambda$  katsayısının hesaplanması için çok çeşitli eşitlikler kullanılmaktadır. Bunlardan

Darcy'e Göre Sürtünme Katsayısı Hesabı

$$\lambda = 0.02 \frac{0.0005}{D}$$

Burada;

$D$  – boru çapı (m).

Weisbach'a Göre Sürtünme Katsayısı Hesabı

$$\lambda = 0.01444 \frac{0.00947}{v}$$

Burada;

$v$  – ortalama akışkan hızı (m/s).

**Hidrolik Gradient (i):**

$$i = h_k / L \text{ (mSS/m)}$$

$$h_k = i \cdot L$$

Hidrolik gradient, birim boru uzunluğundaki sürtünme kaybıdır (mSS/m).

Hidrolik gradient değerini bulmak için Blair tarafından çeşitli boru sınıfları için ayrı ayrı nomogramlar geliştirilmiştir. Nomogramları kullanabilmek için öncelikle boru cinsine bağlı olarak boru sınıfı seçilir. Bu sınıfa ait nomogramdan  $i$  değerini okumak için akışkan hızı ile boru çapı veya akışkanın debisi değerlerinden herhangi ikisinin bilinmesi yeterlidir.

Borular düz olduğu kadar; yönü, debiyi değiştirmek, birleştirmek ve temizlemek için çeşitli parçalar kullanılır. Bu parçalara şekilli borular veya armatür denir. Şekilli borulardaki sürtünme kaybı ( $h_f$ ) göz önüne alındığında toplam sürtünme kaybı;

$$H_k = h_k + h_f \text{ olur.}$$

Burada:

$H_k$  – Toplam sürtünme kaybı (mSS),

$h_f$  - Şekilli borulardaki sürtünme kayıpları (mSS).

Farklı çapta düz borular ve çeşitli armatürler varsa,

$$H_k = \sum h_k + \sum h_f$$

Şekil kayıpları iki şekilde hesaplanabilir.

- 1) Yersel yük kayıp katsayısı ( $k$ ) ile hesabı
- 2) Eşdeğer boru boyu cinsinden hesabı

Yersel yük kayıp katsayısı ( $k$ ) boru ara parçaları çeşidine bağlı bir katsayıdır. Boru sisteminde tüm boru parçalarının ayarı ayrı  $k$  katsayıları bulunup toplanır ve sistemin toplam kayıp katsayısı  $\sum k$  elde edilir.

$$h_f = \sum k \frac{v^2}{2g}$$

Burada;

$h_f$ — Yersel yük kayıpları (mSS),  $k$ — kayıp katsayısı,  $v$  – hız (m/s),  $g$ — yerçekimi ivmesi.

Eşdeğer boru boyu şekilli boru parçası ile aynı ölçü ve malzemede ve şekilli boru parçasının belirli bir verdi değeri için oluşturacağı yük kaybına eşit değerde yük kaybı oluşturan düz boru uzunluğudur. Sistemdeki her bir ara parçanın eşdeğer boru boyu çizelgelerden bulunup toplanır. Bu toplam ( $\Sigma L_o$ ) sistemin eşdeğer boru boyudur. Kayıplar hesaplanırken, Darcy eşitliğinde L düz boru boyu yerine düz ve toplam eşdeğer eşdeğer boru boyu toplamı ( $L + L_o$ ) yazılır.

$$H_k = \lambda \frac{(L + L_o)}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Burada;

$H_k$ : Toplam yük kaybı (mSS),

L: düz boru uzunluğu (m),

$L_o$ : Eşdeğer boru boyu (m),

D: Boru çapı (m),

v: Ortalama akışkan hızı (m/s),

g: yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ ).