

## 2. AKIŞKAN STATİĞİ

### 2.1. Bir Noktadaki Basınç

Hareketli ve durgun akışkanın herhangi bir noktasındaki basınç, viskoz kuvvetlerin olmaması (kayma gerilmesinin ihmal edilmesi) koşulunda, hareket doğrultusundan bağımsızdır. Yani bir nokta etrafındaki basınçlar, doğrultunun fonksiyonu olmayıp, her doğrultuda birbirine eşittir. x, y ve z kartezyen koordinatlarındaki basınçlar sırasıyla  $P_x$ ,  $P_y$  ve  $P_z$  olmak üzere bir noktadaki basınç;

$$P_x = P_y = P_z$$

olmaktadır (Edis 1972). Buradan statik bir sıvı içindeki herhangi bir noktadaki basıncın yönden bağımsız olduğu sonucu çıkarılabilir (Sleigh 2001, White 2012). Buna göre kapalı kaptaki bir akışkana uygulanan bir noktadaki basınç tüm yönlerde aynıdır ve bu ifadeye statik akışkanlara uygulanan *Blair Pascal* (1623-1662) *Kanunu* denir.

Eğer sıvı akışkan hareket ettirilirse bir noktadaki ortalama basınç

$$P = \frac{P_x + P_y + P_z}{3}$$

olur (Soğukoğlu 1995).

### 2.2. Hidrostatik Temel Denge Denklemi

Akışkanlarda basınç dağılımının belirlenmesinde kullanılan kayma gerilmesiz statik koşuldaki hidrostatik temel denge denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir (Munson vd. 1994).

$$-\nabla P - \gamma \mathbf{k} = \rho \cdot \mathbf{a}$$

$$\nabla P = \frac{\partial P}{\partial x} \cdot \mathbf{i} + \frac{\partial P}{\partial y} \cdot \mathbf{j} + \frac{\partial P}{\partial z} \cdot \mathbf{k} = -\frac{\delta F_s}{\delta x \cdot \delta y \cdot \delta z}$$

Burada;

- $\nabla P$  : Basınç gradyenti ya da birim hacimdeki bileşke yüzey (basınç) kuvveti ( $N/m^3$ ),
- $\gamma$  : Akışkanın özgül ağırlığı ya da birim hacimdeki akışkanın kütle kuvveti ( $N/m^3$ ),
- $\rho$  : Akışkanın özgül kütlesi ( $kg/m^3$ ),
- $\delta F_s$  : Akışkan taneciğine etkiyen toplam bileşke kuvveti (N),
- $\mathbf{a}$  : Akışkanın ivmesi ( $m/s^2$ ),

$\delta x$ ,  $\delta y$ ,  $\delta z$ : Akışkan taneciğinin x, y, z koordinatlarındaki birim kenar uzunlukları (m).

### 2.3. Basınç Değişimi

Sıvılarla çalışmada referans eksenini olarak serbest sıvı yüzeyi alınır ve sıvının herhangi bir noktasındaki mutlak basınç;

$$P = \gamma \cdot h + P_{atm}$$

ile bulunur. Eğer bulunacak basıncın manometrik olması gerekiyorsa sıvının herhangi bir noktasına etkiyen basınç aşağıdaki bağıntıyla elde edilir.

$$P = \gamma \cdot h$$

Gazlarda hidrostatik basıncın hesaplanmasında da küçük yüksekliklerde yukarıdaki basınç formülleri kullanılabilir. Ancak izotermal koşulda bir noktaya etkiyen hidrostatik basınç aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Bar-Meir 2011, White 2012).

$$P_2 = P_1 \cdot e^A$$
$$A = -g \cdot (z_2 - z_1) / (R \cdot T_0)$$

Bu bağıntıda;

$P_1$  ve  $P_2$  :  $z_1$  ve  $z_2$  noktalarındaki mutlak basınçları (Pa),  
 $z_1$  ve  $z_2$  : Basınç farkının hesaplanacağı ilgili noktaları (m),  
R : Gaz sabitesi (J/kgK),  
 $T_0$  : Mutlak hava sıcaklığını (K) göstermektedir.

Akışkanların, üzerlerine etkiyen kuvvetleri her yönde iletmeleri, aynı yükseklikteki basınçların birbirine eşit olması, basıncın kabın boyut ve biçimine bağlı olmaması krikolarda, kaldırma kuvvetlerinde, hidrolik frenlerde, preslerde ve ağır iş makinelerinde önemli olmaktadır.

### 2.4. Atmosfer Sıcaklığı ve Atmosfer Basıncının Değişimi

Yeryüzünden yüksekliğe çıkıldıkça basınçta ve sıcaklıkta değişimler meydana gelir. Yeryüzeyine yakın bölgede (troposphere) yüksekliğe bağlı olarak sıcaklık azalmakta, bir sonraki tabaka olan stratosphere de hemen hemen sabit kalmakta ve daha sonraki tabakada tekrar azalmaktadır. Yeryüzeyinden yaklaşık 11 km yüksekliğe kadarki (troposphere) bölgede hava sıcaklığı aşağıdaki eşitlik ile bulunabilmektedir (Streeter ve Wylie 1983, White 2012).

$$T = T_0 - \beta z$$

Burada;

T : İstenilen yükseklikteki hava sıcaklığı (K),

$T_0$  : Deniz seviyesindeki hava sıcaklığı (K),  
 $\beta$  : 0,00650 K/m,  
 $z$  : Sıcaklığı bulunmak istenen yükseklik (m).

Yeryüzünden 11 km yüksekliğe kadar olan bölgede atmosfer basıncındaki değişimi aşağıdaki bağıntı ile bulunur (Munson vd. 1994, Bar-Meir 2011, White 2012).

$$P = P_0 \cdot \left(1 - \frac{\beta \cdot z}{T_0}\right)^{g/(R \cdot \beta)}$$

$P$  : İstenilen noktanın mutlak basıncı (Pa),  
 $P_0$  : Standart atmosfer basıncı (101330 Pa),  
 $T_0$  : Deniz seviyesindeki hava sıcaklığı (288,15 K),  
 $\beta$  : 0.00650 K/m,  
 $z$  : Basıncı bulunmak istenen noktanın yeryüzeyine olan uzaklığı (m),  
 $g$  : 9.81 m/s<sup>2</sup>  
 $R$  : Gaz sabiti (286,9 J/kg.K)'dir.

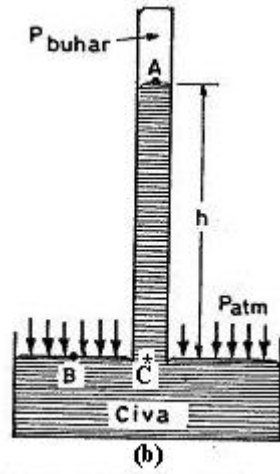
Atmosfer, çoğunlukla gazlardan oluşan ve yerküreyi saran katmandır. Hava, atmosferin gazlardan oluşan kısmına denir.

## 2.5. Basıncın Ölçümü

Akışkan içerisinde bir noktadaki basıncın ifadesinde mutlak basınç ve manometrik basınç olmak üzere iki basınç kullanılmaktadır. Atmosfer basıncının kendisi de mutlak basınçtır. Mutlak basınç her zaman pozitif iken, manometrik basınç negatif de olabilmektedir. Uygulamadaki basınç ölçerler manometrik basıncı göstermektedirler. Mutlak basınçla manometrik basınç arasında aşağıdaki ilişki yazılabilir.

$$P_{\text{mutlak}} = P_{\text{manometrik}} + P_{\text{atmosfer}}$$

Atmosfer basıncının ölçümünde kuru ve sıvı (cıvalı) barometreler kullanılmaktadır. Cıvalı barometrede, bir kab içerisindeki cıvaya havası alınmış ince boru, ters çevrilerek daldırılırsa cıvanın ince boruda yükseldiği görülür. Eş basınç düzlemlerindeki basınçlar eşit olduğundan Şekil 2.6b'da görüldüğü gibi atmosfer basıncı boruda yükselen cıvanın yapmış olduğu basınçla, borudaki buhar basıncının toplamından oluşmaktadır.



**Şekil 2.6.** Barometre (civalı ) (McDonough 2009)

$$P_B = P_{atm} = P_C = P_{buhar} + \gamma \cdot h$$

Buhar basıncı ( $P_{buhar}$ ) çok küçük olduğundan çoğunlukla ihmal edilmekte ve atmosfer basıncı boruda yükselen sıvının basıncına eşit olmaktadır. Cıvayla yapılan deneylerde deniz seviyesinde cıvanın 760 mm yükseldiği görülmüştür.

Sıvı manometreler kullanıldıkları amaç ve yerlere göre 3'e ayrılırlar.

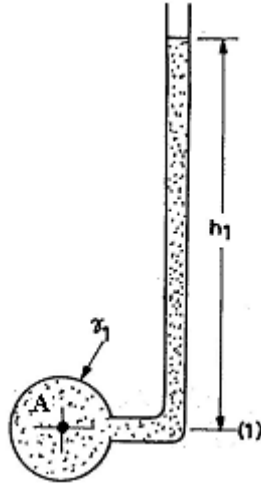
- Piyezometre borusu
- U manometresi
- Eğimli manometre

Borulardaki küçük basınçların ölçülmesinde kullanılan oldukça hassas olan piyezometre borusunun üstü atmosfere açık ve alt tarafı basıncı ölçülecek boruya bağlı ince bir borudur (Şekil 2.8). Piyezometre borusundaki basınç değeri manometrik olarak

$$P_A = \gamma_1 \cdot h_1$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada;

- $P_A$  : Basıncı ölçülecek A noktasının basıncı (Pa),
- $\gamma_1$  : Piyezometre borusundaki akışkanın özgül ağırlığı ( $N/m^3$ ),
- $h_1$  : Piyezometredeki akışkan yüksekliği (m)'dir.

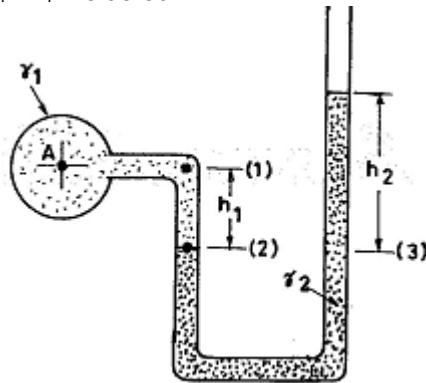


**Şekil 2.8.** Piyezometre borusu

Piyezometre borusunda basıncı ölçülecek akışkan ile piyezometredeki akışkan aynıdır. Yüksek basınçların ölçülmesinde piyezometrenin boyu çok uzun ve buna bağlı olarak da kullanımı pratik olmayacaktır. Piyezometrenin bu sakıncası U-manometresinde giderilmiş ve basıncı ölçülecek akışkan ile manometredeki akışkan birbirinden farklı alınmıştır. U-manometresi birleşik kapların özelliklerinden yararlanılarak yapılmıştır (Şekil 2.9). Bu manometrede A noktasının basıncının ölçülmesinde iki yöntem uygulanabilir.

Birinci yöntemde manometre akışkanının alt seviyesinden geçen bir eşbasınç düzlemi kabul edilerek bunun üstündeki (2) ve (3) noktalarındaki basınçlar birbirine eşitlenir.

$$\begin{aligned}
 P_2 &= P_A + \gamma_1 \cdot h_1 \\
 P_3 &= \gamma_2 \cdot h_2 \\
 P_2 &= P_3 \\
 P_A + \gamma_1 \cdot h_1 &= \gamma_2 \cdot h_2 \\
 P_A &= \gamma_2 \cdot h_2 - \gamma_1 \cdot h_1 \quad \text{elde edilir.}
 \end{aligned}$$



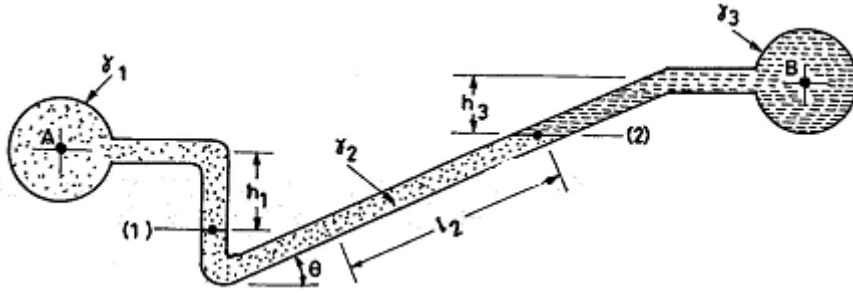
**Şekil 2.9.** U-manometresi

İkinci yöntemde, manometrenin yerleştirildiği sistemde, basıncı ölçülecek noktadan başlanarak akışkan içinde yükseldikçe basıncın azaldığı, alçaldıkça basıncın arttığı kuralı kullanılarak serbest yüzeye kadar gidilir.

$$P_A + \gamma_1 \cdot h_1 - \gamma_2 \cdot h_2 = 0$$

$$P_A = \gamma_2 \cdot h_2 - \gamma_1 \cdot h_1$$

Eğimli manometreler küçük basınçların daha duyarlı okunmalarında kullanılır. Manometre belirli bir eğim açısıyla ( $\theta$ ) yerleştirilmiştir. Çok küçük basınçlar eğimli manometrede büyütülerek okunmaktadır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Eğimli manometre (Munson vd. 1994)

Şekil 2.10'da A ve B noktaları arasındaki basınç farkı, A noktasından başlanarak B noktasına gidildiğinde aşağıdaki gibi bulunur.

$$P_A + \gamma_1 h_1 - \gamma_2 L_2 \sin \theta - \gamma_3 h_3 - P_B = 0$$

$$P_A - P_B = -\gamma_1 h_1 + \gamma_2 L_2 \sin \theta + \gamma_3 h_3$$

ile bulunmaktadır. Eğer basıncı ölçülecek akışkan gaz ise  $h_3$  ve  $h_1$  yükseklikleri ihmal edilebilir. Bu durumda yukarıdaki eşitlik,

$$P_A - P_B = \gamma_2 L_2 \sin \theta$$

dönüşür. Eğimli manometrede düşey bulunacak yükseklik  $(1/\sin \theta)$  kadar büyütülerek okunmaktadır.