

3. DURAN AKIŞKANLAR (AKIŞKANLARIN STATİĞİ)

Birinci tip kuvvetler kütle (hacim) kuvvetleri ve ikinci tip kuvvetler yüzey kuvvetleri olmak üzere, akışkan sistemlerini ilgilendiren iki çeşit kuvvet bulunmaktadır. Kütle (hacim) kuvvetleri, sistemin kütlesi veya hacmi nedeniyle etki eden kuvvetlerdir. Yerçekimi kuvveti, elektrik, potansiyel kuvveti gibi kuvvetler bu grubu oluşturur. Yüzey kuvvetleri ise, akışkan sistemin yüzeyinde ve yüzeyin büyüklüğü ile orantılı olarak etki eden kuvvetlerdir. Bütün yüzey kuvvetleri yüzeye dik ve yüzeye teğet bileşenlere ayrılabilir. Yüzeye teğet kuvvetler kayma kuvvetleri, yüzeye dik kuvvetler ise basınç kuvvetlerini oluşturur.

3.1 Basınç

Bir akışkan tarafından birim alana uygulanan normal kuvvet olarak tanımlanır. Basınç sadece sıvılar ve gazlar için kullanılan bir deyimdir. Basıncın katılardaki karşılığı ise normal gerilmedir. Birimi **Pa**, **N/m²** dir.

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

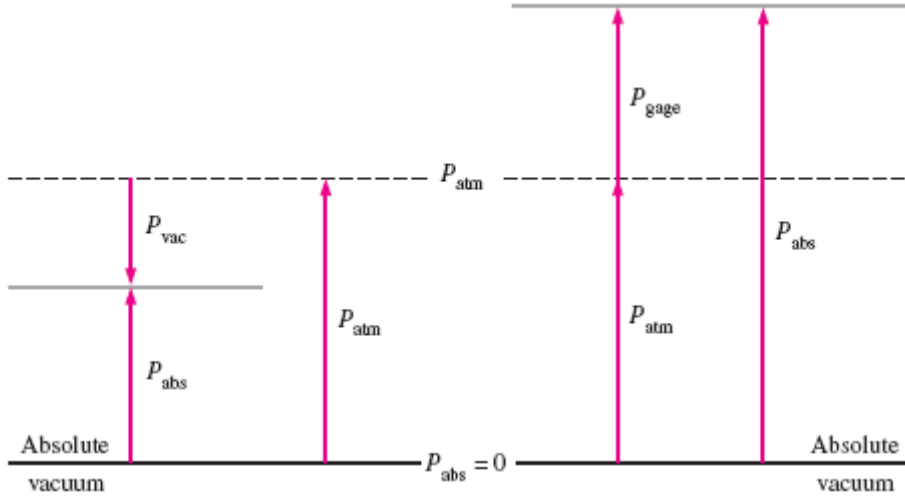
$$1\text{atm}=101325\text{Pa}=101.325\text{kPa}=1.01325\text{bar}$$

$$1\text{atm}=14.696\text{psi}$$

Gösterge (Etkin, Efektif) Basıncı ve Vakum Basıncı

Bir akışkan kütlelerinin içindeki herhangi bir noktadaki basınç **mutlak basınç** veya **etkin basınç** olarak gösterilecektir. Mutlak basınç mükemmel vakuma (mutlak sıfır basınç) bağlı olarak ölçülür, etkin basınç ise yerel atmosferik basınca bağlı olarak ölçülür. Dolayısıyla, sıfır etkin basınç, yerel etkin basınca karşılık gelir. Mutlak basınç her zaman pozitifdir. Fakat etkin basınç şayet atmosfer basıncının üzerinde ise pozitif, atmosfer basıncının altında ise negatiftir. Negatif etkin basınç, **emme** veya **vakum basıncı** olarak da adlandırılır.

Örneğin, 69kPa mutlak basınç, eğer yerel atmosferik basınç 101.3kPa ise -32.3kPa etkin basınç veya alternatif olarak 32.3kPa emme veya 32.3kPa vakum basıncı olarak ifade edilebilir. **Diğer bir örnek** yerel atmosfer basıncının 99.97kPa olduğu bir yerde 39.8kPa değerini göstermektedir. Buna göre odanın mutlak basıncı $P_{\text{mutlak}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{etkin}} = 99.97 - 39.8 = 60.17\text{kPa}$



Şekil 3.1 Mutlak, Etkin ve Vakum (Boşluk) basınçları

Atmosferik basınç ölçümü genellikle **barometre** ile ölçülür. Basınç ölçümünde kullanılan standart teknik, dikey veya eğik tüpte sıvı sütunu kullanımıdır. Bu tekniğe dayalı basınç ölçüm cihazlarına **manometre** adı verilir. Birçok manometre vardır. Piezometre, U-tüp manometre ve eğik tüp manometre en çok kullanılandır. Birçok basınçölçer (manometre) akışkan basıncı ile atmosfer basıncı arasındaki farkı gösterir. Ölçülen basınç (mutlak basınç) yersel atmosfer basıncından daha yüksek ya da daha düşük olabilir.

Vakum basıncı negatif değerli gösterge basıncıdır : $p_{\text{vakum}} = - p_{\text{etkin}}$

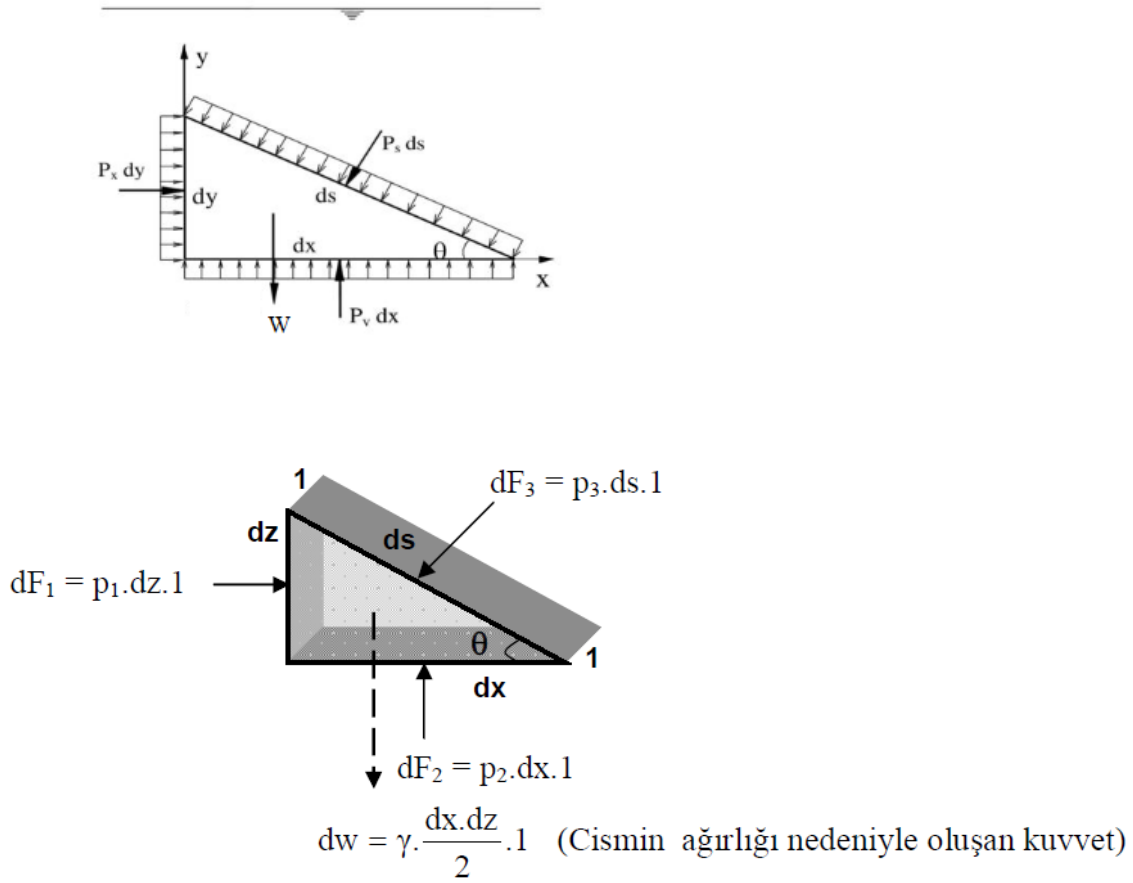
Mutlak basınç ile aralarında: $p(\text{mutlak}) = p_{\text{atm}} + p_{\text{etkin}}$ ve $p_{\text{mutlak}} = p_{\text{atm}} - p_{\text{vakum}}$ eşitlikleri geçerlidir.

Bir Noktadaki Basınç

Basınç terimi göz önüne alınan akışkan kütlelerinin verilen bir yüzeyin, verilen bir noktasında birim alanına etki eden normal kuvveti göstermek için kullanılır. Bir noktadaki basıncın, o noktadan geçen düzlemin konumu ile nasıl değiştiği sorusu hemen akla gelir. Bu soruyu cevaplamak için Şekil 3.2 de gösterildiği gibi, akışkan kütlelerinin keyfî bir noktasından küçük bir üçgen kama şeklinde akışkan elemanın serbest cisim diyagramını göz önüne alalım. Göz önüne aldığımız durumda kayma gerilmeleri olmadığı için akış elemanına basınç ve akışkan ağırlığı dolayısıyla kuvvet etmektedir.

Hidrostatik basıncın iki önemli özelliği aşağıdaki gibidir:

- Duran bir akışkanda kayma gerilmeleri olmadığından, akışkan içindeki sanal bir yüzeye veya tüm katı yüzeylere gelen basınçlar bu yüzeye diktir.
- Duran akışkanda bir noktaya tüm doğrultulardan gelen basınçlar eşittir.



Şekil 3.2 Kama şeklindeki akışkan elemanına etkiyen kuvvetler

Prizmaya etkiyen kuvvetler için denge denklemleri yazılırsa;

$$\Sigma F_x = p_1 \cdot dz - p_3 \cdot ds \cdot \sin \theta = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F_z = p_2 \cdot dx - \gamma \cdot \frac{dx \cdot dz}{2} \cdot 1 - p_3 \cdot ds \cdot \cos \theta = 0 \quad (2)$$

Şeklin geometrisinden dolayı

$$dx = ds \cdot \cos \theta, \quad dz = ds \cdot \sin \theta \quad (3a,b)$$

(3) de yazılan ifadeleri (1) ve (2)'de yerine koyarsak

$$p_1 = p_3 \quad (4)$$

$$p_2 = p_3 + \gamma \cdot \frac{dz}{2} \quad (5)$$

$dx \rightarrow 0$ ve $dz \rightarrow 0$ ise $dx \cdot dz \cdot ds$ üçgeni bir noktaya indirgenecektir. Bu halde (4) denkleminde ve $dz \rightarrow 0$ için (5) denkleminde

$$p_1 = p_2 = p_3 \quad (6)$$

SONUÇ: Bir noktada basınç doğrultudan bağımsızdır. Bir noktadaki basınç hangi doğrultuda etkirse etkisin değeri değişmez. (x, y, z) koordinatlarına (noktalarına) bağlıdır. Yönle değişmez.

$p \neq p$ (yön)

$p = p(x,y,z) = p$ (nokta) yönle değişmediğine göre SKALER bir büyüklüktür.

Basınç Alanının Temel Denklemi

Kayma gerilmesi olmayan bir akışkan içinde basınç noktadan noktaya nasıl değişir? Bu soruya cevap vermek için Şekil 3.3 de gösterildiği gibi akışkan kütlesi içinde herhangi bir noktada dikdörtgen biçimde küçük bir akışkan elemanını göz önüne alalım. Bu elemana iki tip kuvvet etki eder: basınçtan dolayı **yüzey gerilmeleri** ve akışkan elemanı ağırlığına eşit olan **gövde (kütlesel) kuvveti**.

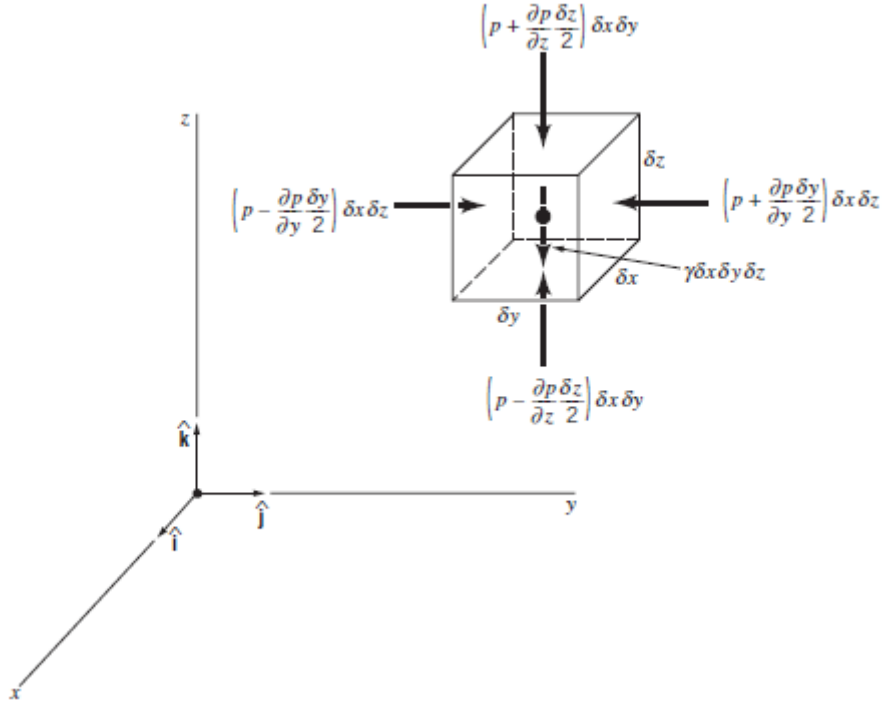
Yüzeysel kuvvetler: Basınç ve Viskoz kuvvetler (normal ve kayma gerilmeleri)

Kütlesel kuvvetler: manyetik kuvvet, ağırlık gibi)

Eğer akışkan elemanının merkezindeki basınç P olarak gösterilirse değişik yüzeylerdeki ortalama basınç, Şekil 3.3 de gösterildiği gibi P ve P' nin türevleri cinsinden ifade edilebilir. Şekil basitleştirmek amacıyla, x yönündeki yüzey kuvvetleri gösterilmemiştir. *y yönündeki bileşke kuvveti*

$$\delta F_y = \left(p - \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\delta y}{2} \right) \delta x \delta z - \left(p + \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\delta y}{2} \right) \delta x \delta z \quad (3.7)$$

$$\delta F_y = \left(p - \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\delta y}{2} \right) \delta x \delta z - \left(p + \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\delta y}{2} \right) \delta x \delta z$$



Şekil 3.3 Küçük bir akışkan elemanına etkiyen yüzey ve gövde kuvvetleri

$$\delta F_y = -\frac{\partial p}{\partial y} \delta x \delta y \delta z \quad (3.8)$$

Benzer olarak x ve y yönündeki bileşke kuvvetler,

$$\delta F_x = -\frac{\partial p}{\partial x} \delta x \delta y \delta z \quad \delta F_z = -\frac{\partial p}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \quad (3.9)$$

Akışkan elemanına etkiyen bileşke kuvvet vektörel formda

$$\begin{aligned} \delta \mathbf{F}_s &= \delta F_x \hat{\mathbf{i}} + \delta F_y \hat{\mathbf{j}} + \delta F_z \hat{\mathbf{k}} \\ \delta \mathbf{F}_s &= -\left(\frac{\partial p}{\partial x} \hat{\mathbf{i}} + \frac{\partial p}{\partial y} \hat{\mathbf{j}} + \frac{\partial p}{\partial z} \hat{\mathbf{k}} \right) \delta x \delta y \delta z \end{aligned} \quad (3.10)$$

Burada i, j ve k koordinat eksenlerinin birim vektörleridir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} \hat{\mathbf{i}} + \frac{\partial p}{\partial y} \hat{\mathbf{j}} + \frac{\partial p}{\partial z} \hat{\mathbf{k}} &= \nabla p \\ \nabla() &= \frac{\partial()}{\partial x} \hat{\mathbf{i}} + \frac{\partial()}{\partial y} \hat{\mathbf{j}} + \frac{\partial()}{\partial z} \hat{\mathbf{k}} \end{aligned} \quad (3.11)$$

∇ sembolü *gradyan* veya *del* operatörüdür. Böylece birim hacim için bileşke yüzey kuvveti aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\frac{\delta F_s}{\delta x \delta y \delta z} = -\nabla p \quad (3.12)$$

z eksenini dikey yönde olduğunda, akışkan elemanın ağırlığı

$$-\delta W \hat{k} = -\gamma \delta x \delta y \delta z \hat{k} \quad (3.13)$$

Akışkan elemanın ağırlığından dolayı gelen kuvvet aşağı doğru olduğu için negatif işareti konulmuştur (negatif z yönünde). Akışkan elemanı için Newton' un ikinci kanunu

$$\Sigma \delta F = \delta m a \quad (3.14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $\Sigma \delta F$ akışkan elemanına etkiyen bileşke kuvveti, a akışkan elemanın ivmesini ve δm ise kütesini temsil eder.

$$\Sigma \delta F = \delta F_s - \delta W \hat{k} = \delta m a$$

$$-\nabla p \delta x \delta y \delta z - \gamma \delta x \delta y \delta z \hat{k} = \rho \delta x \delta y \delta z a$$

$$-\nabla p - \gamma \hat{k} = \rho a \quad (3.15)$$

Denklem 3.15, kayma gerilmesi olmayan bir akışkan için genel hareket denklemdir. Hareketsiz bir akışkanda $a=0$ dır.

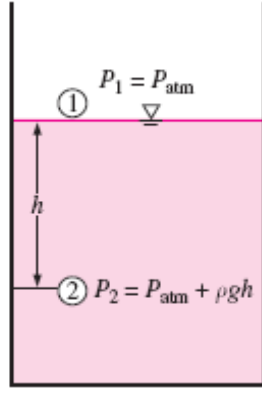
$$\nabla p + \gamma \hat{k} = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad \frac{\partial p}{\partial z} = -\gamma \quad (3.16)$$

Bu eşitlikler basıncın x' e ve y' ye bağlı olmadığını gösterir. Yatay düzlemde (x - y düzlemine paralel herhangi bir düzlemde) bir noktadan diğer noktaya gittikçe basınç değişmez. P sadece z' ye bağlı olduğundan denklem 3.16' nın son eşitliği basit diferansiyel denklem şeklinde yazılabilir.

$$\boxed{\frac{dp}{dz} = -\gamma}$$

$$(3.17)$$

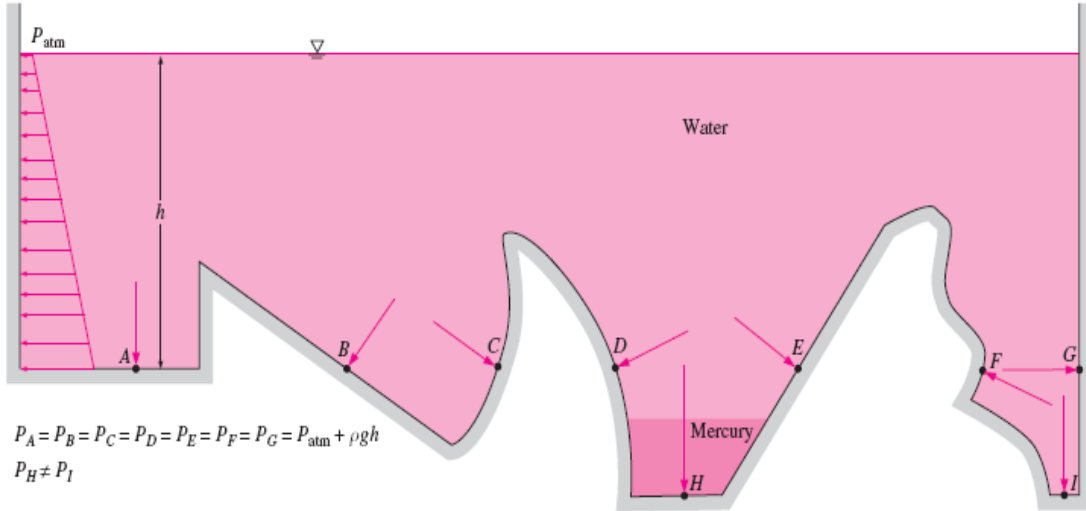


Şekil 3.4 Durgun haldeki bir akışkanın basıncı

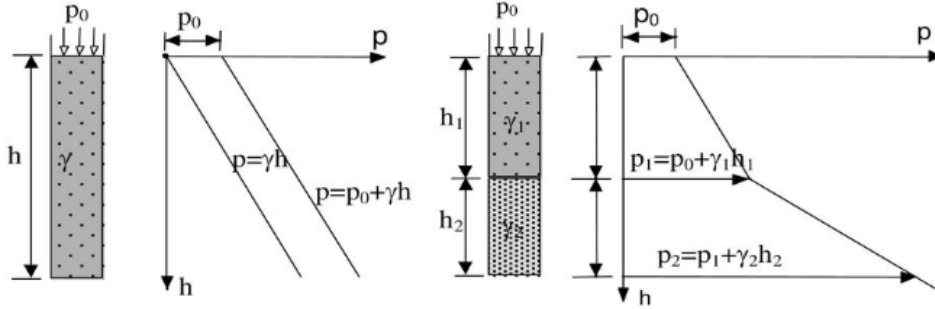
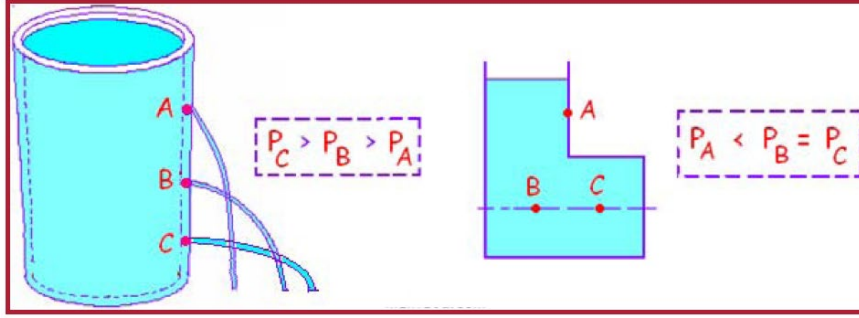
İntegral içindeki yoğunluk ve yerçekimi dağılımının bilinmesi gerekir. Gazlar ve sıvılar için genellikle farklı ele alınırlar.

Bir hidrostatik durum için aşağıdaki şartları söyleyebiliriz:

Sürekli dağılmış durgun bir üniform akışkan içindeki basınç sadece düşey yöndeki mesafe ile değişir ve içinde bulunduğu kabın şeklinden bağımsızdır. Akışkan içinde verilen bir yatay düzlemdeki bütün noktalarda basınç aynıdır. Basınç akışkan içinde derinlikle artar.



Şekil 3.5 Aynı ve farklı akışkan içinde yatay düzlemde basınçlar



Şekil 3.6 Hidrostatik basıncın derinlikle değişimi

Sıkıştırılabilir akışkanlarda, yükseklik farkının binlerce metre olduğu durumlarda özgül ağırlığın değişimi gözönünde bulundurulmak zorundadır. İdeal gazlar için hal değişimi

$$P = \rho RT \quad 3.20$$

R: gaz sabiti

T: mutlak sıcaklık

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{gp}{RT}$$

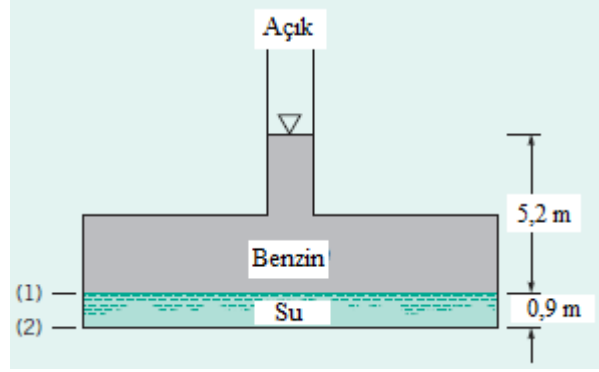
$$\int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = \ln \frac{p_2}{p_1} = -\frac{g}{R} \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{T} \quad 3.21$$

$$p_2 = p_1 \exp \left[-\frac{g(z_2 - z_1)}{RT_0} \right]$$

3.22

Örnek 3.1

Yere gömülmüş bir benzin tankındaki kaçıktan dolayı şekilde gösterilen derinlikten tanka su sızmaktadır. Benzinin bağıl yoğunluğu 0,68 dir. Benzin-su ara yüzeyindeki ve tankın tabanındaki basıncı bulunuz.



$$P = \gamma h + P_o$$

$$P_1 = \rho_b \gamma h + P_o = 34,7 + P_o$$

etkin ise $P_o = 0$ olur

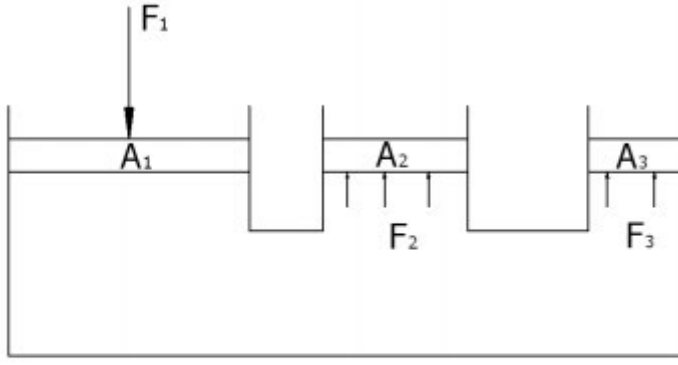
$$P_1 = 34,7 \text{ kN/m}^2$$

$$P_2 = \gamma_{su} h + P_1 = 9800 \cdot 0,9 + 34,7 = 43,5 \text{ kN/m}^2$$

PASCAL KANUNU

Bir akışkan içerisinde basıncın yatay doğrultuda aynı kalmasının bir sonucu da kapalı bir kapta bulunan bir akışkana uygulanan basıncın, akışkan içerisindeki basıncı her yerde aynı miktarda artmasıdır. Blaise Pascal'ın (1623-1662) adına atfen **Pascal Yasası** denmiştir. Pascal ayrıca bir akışkan tarafından uygulanan kuvvetin yüzey alanı ile orantılı olduğunu da biliyordu. Bununla da kalmayıp kesit alanları farklı hidrolik silindirlerin birbirlerine bağlanarak büyük silindirlerin, küçük olana uygulanan kuvvetten oransal olarak daha büyük bir kuvvet elde etmek amacıyla kullanılabileceğini fark etmişti. "Pascal makinesi" günlük hayatımızda hidrolik frenler ve kaldırma sistemleri gibi çok sayıda icadın esin kaynağı olmuştur. Bir arabayı şekildeki gibi tek elle kaldırabiliyorsak bu sayededir. Dikkat edilirse iki piston da aynı seviyededir ve bu nedenle $P_1 = P_2$ olur. Piston seviyeleri arasındaki küçük farklar özellikle yüksek basınçlarda önemsizdir.

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. Bu nedenle çıkış kuvvetinin giriş kuvvetine oranı



$$P_1 = P_2 = P_3$$

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

$$P_1 = P_2 = P_3$$

$$F_1/A_1 = F_2/A_2 = F_3/A_3$$

$$F_2/F_1 = A_2/A_1$$

olarak verilir. Burada A_2/A_1 oranına hidrolik kaldırıcının **ideal mekanik faydası** adı verilir.

Örneğin piston alanlarının oranı $A_2/A_1=100$ olan hidrolik krik o ile ($\approx 98\text{N}$) kuvvet uygulayan kimse 1 tonluk bir arabayı kaldırabilir.

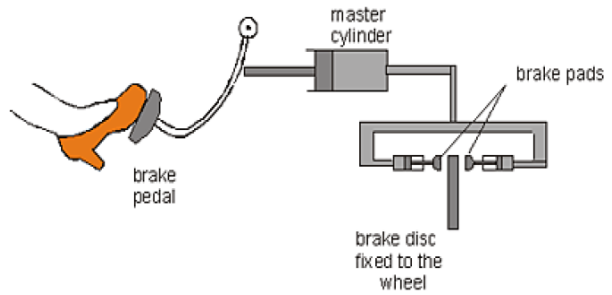
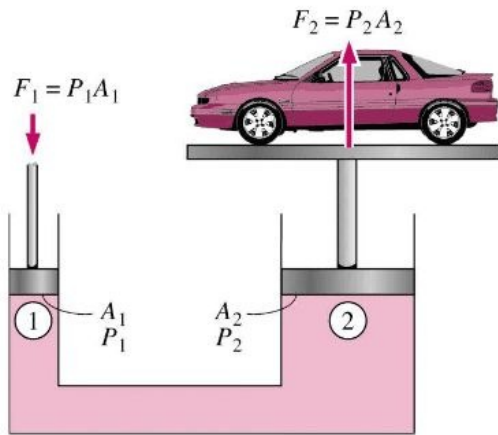
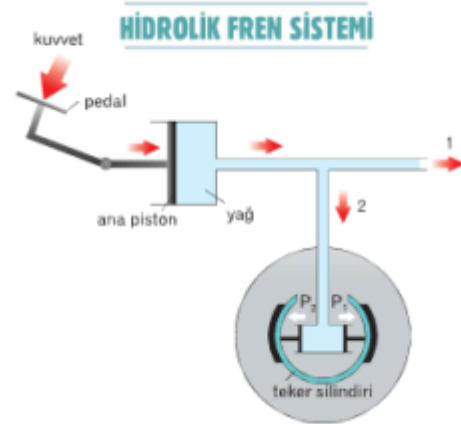


Figure 1.4 Hydraulic brakes

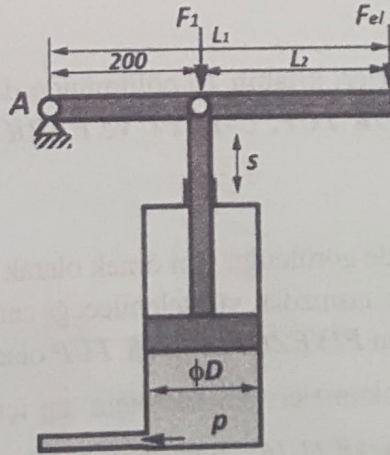




Şekil 3.7 Pascal prensibi uygulamaları

Örnek 3.4

Şekilde görülen el presi piston çapı $[D = \phi 60 \text{ mm}]$ olup ürettiği basınç $[p = 12 \text{ MPa}]$ 'dır. Diğer büyüklükler pres üstünde verilmiştir. $[F_{el} = 50 \text{ N}]$ 'nu aşmaması için $[L_1]$ boyu ne olmalıdır?



$[F_1]$ kuvveti için;

$$F_1 = p \cdot A, \quad F_1 = p \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,06^2,$$

$$F_1 = 12 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 0,06^2, \quad F_1 = 33,9 \text{ kN}$$

bulunur. $[A]$ noktasına göre moment alınarak,

$$F_{el} \cdot L_1 = F_1 \cdot L_2, \quad L_1 = \frac{F_1}{F_{el}} \cdot L_2, \quad L_2 = L_1 - 0,2$$

$$L_1 = \frac{F_1}{F_{el}} \cdot [L_1 - 0,2], \quad L_1 = 135,7 \text{ mm} \text{ elde edilir.}$$

Örnek 3.5**Yerçekimi Etkisiyle Serum Şişesinden Akış**

Damar içi infüzyonlar, genellikle damardan verilecek sıvı şişesinin toplardamarlardaki kan basıncını yenerek sıvıyı vücuda girmeye zorlamak amacıyla yeteri bir yüksekliğe asılarak yerçekimi etkisiyle yapılır. Şişe ne kadar yüksekte olursa sıvı debisi de o oranda yüksek olur. (a) Şişenin kol seviyesinden 1.2 m yukarıya asılması halinde akışkan ve kan basınçlarının birbirlerini dengelediği gözlemlendiğine göre, kanın etkin basıncını hesaplayınız. (b) Yeterli debi sağlamak için akışkanın kol seviyesindeki etkin basıncının 20 kPa olması gerektiği bilindiğine göre, şişenin ne kadar yükseğe yerleştirilmesi gerektiğini hesaplayınız. Sıvının yoğunluğunu 1020 kg/m^3 alınız.

ÇÖZÜM Damardan verilecek sıvının bulunduğu şişe belirli bir yükseklikte tutulduğunda sıvı ve kan basınçları birbirini dengelemektedir. Kanın etkin basıncı ve gerekli sıvı debisini sağlamak için şişenin ne kadar yükseğe asılması gerektiği belirlenecektir.

Kabuller 1 İnfüzyon sıvısı sıkıştırılmaz bir akışkandır. 2 Şişe atmosfere açıktır.

Özellikler İnfüzyon sıvısının yoğunluğu 1020 kg/m^3 olarak verilmiştir.

Analiz (a) Şişe kol seviyesinden itibaren 1.2 m yüksekliğe asıldığında infüzyon sıvısı ile kan basınçlarının birbirlerini dengelediği göz önüne alınırsa, kanın etkin basıncının, 1.2 m derinliğindeki infüzyon sıvısının etkin basıncına eşit olduğu söylenebilir:

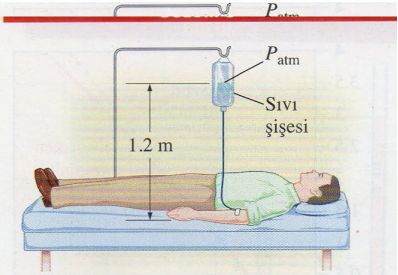
$$\begin{aligned} P_{\text{etkin, kol}} &= P_{\text{mutlak}} - P_{\text{atm}} = \rho g h_{\text{kol-şişe}} \\ &= (1020 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(1.20 \text{ m}) \left(\frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2} \right) \left(\frac{1 \text{ kPa}}{1 \text{ kN/m}^2} \right) \\ &= \mathbf{12.0 \text{ kPa}} \end{aligned}$$

(b) Kol seviyesinde 20 kPa basıncı oluşturmak için, kol seviyesinden itibaren şişedeki infüzyon sıvısının serbest yüzeyinin yüksekliği yine $P_{\text{etkin, kol}} = \rho g h_{\text{kol-şişe}}$ bağıntısından

$$\begin{aligned} h_{\text{kol-şişe}} &= \frac{P_{\text{etkin, kol}}}{\rho g} \\ &= \frac{20 \text{ kPa}}{(1020 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)} \left(\frac{1000 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2}{1 \text{ kN}} \right) \left(\frac{1 \text{ kN/m}^2}{1 \text{ kPa}} \right) \\ &= \mathbf{2.00 \text{ m}} \end{aligned}$$

olarak bulunur.

İrdeleme Yerçekimi etkisiyle gerçekleşen bu akışta şişe yüksekliğinin debiyi kontrol etmek amacıyla kullanılabileceği görülmektedir. Akış başladığında hortum içerisindeki sürtünmeden kaynaklanan basınç düşüşünün ayrıca göz önünde bulundurulması gerekir. Bu durumda istenen sıvı debisini sağlamak için şişeyi bir miktar daha yükseğe asmak gerekir. Böylece oluşan basınç düşüşü de karşılanmış olur.



ŞEKİL 3-15

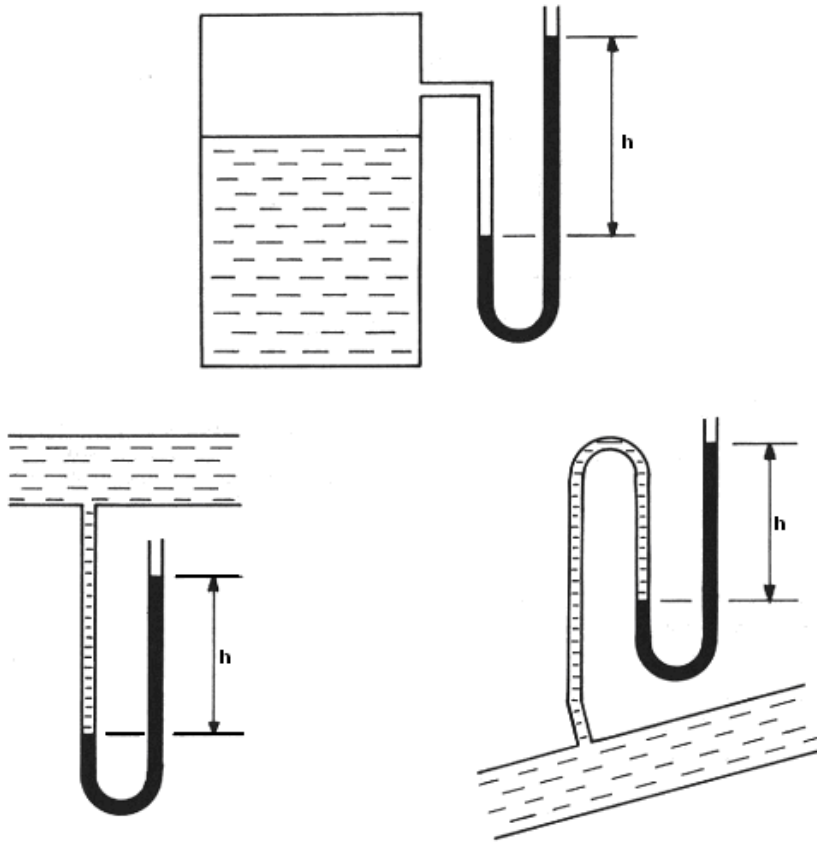
Örnek 3-3 için şematik çizim.

3.1.1 Manometreler

Düşük sıvı basınçlarını hassas olarak ölçmek için yaygın bir metot, bir veya birden fazla denge kolunu kullanan piezometre ve manometrelerin kullanılmasıdır.

Bir basınçtaki akışkan akışı için önemli bir not, aksine bir durum olmadıkça boru basıncını daima boru merkezindeki basınç olarak anlamalıyız. Gazlarda yoğunluk küçük olduğundan boru merkeziyle cidarı arasındaki basınç farkı çok küçüktür. Sıvılarda (özellikle büyük borularda) bu fark dikkate alınabilir.

Hidrostatik formülünden, bir sıvının $z_2 - z_1$ yükseltisindeki bir değişim, $(p_2 - p_1)/\gamma$ basıncında bir değişime eşdeğerdir. Böylece bir veya daha fazla sıvı veya gazdan oluşan bir statik sütun, iki nokta arasındaki basınç farkını ölçmek için kullanılabilir. Böyle bir cihaz **manometre** olarak adlandırılır. Manometreler küçük ve orta ölçekteki basınç farklarını ölçmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir manometre; civa, alkol, su veya yağ gibi içerisinde bir veya daha fazla akışkan bulunan cam yada plastik bir U tüpünden oluşur. Eğer yüksek basınç farkları öngörülüyorsa, manometre boyutunu kullanışlı bir seviyede tutmak için civa gibi ağır akışkanlar kullanılır.



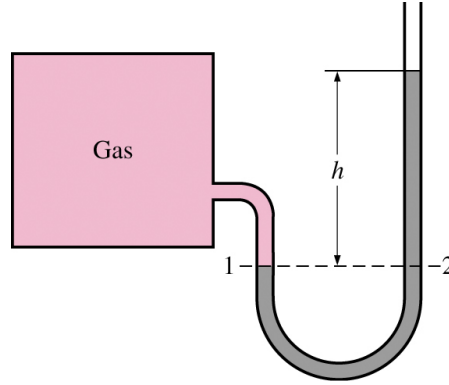
Şekil 3.8 Manometreler

Manometre, piezometrenin çift borulu veya “U” borulu kullanılmış bir uzantısıdır. Her koldan farklı sıvılar kullanılabilir ve oldukça kullanışlı bir cihaz olup onu gazların ölçümünde

kullanacağımız gibi sıvıların ölçümünde de kullanılabilir. Ayrıca sıvıları göstermek için cıva kullanılır, onunla daha yüksek basınçları ölçmek için piezometreler daha uygundur.

Piezometreye benzer olarak, manometre bağlantısı boruya dik olarak yapılır. Ancak piezometre borunun üzerine takılmasına rağmen manometrede borunun üstüne veya altına bağlanabilir.

Şekildeki gibi bir tank içerisindeki basıncı ölçmek için kullanılan manometreyi göz önüne alalım. Gazların ağırlık etkileri ihmal edilebildiğinden, tank içerisindeki basınç her yerde ve 1 konumunda aynı değeri alır. Ayrıca bir akışkan içerisindeki basınç yatay doğrultuda değişmediği için 2 noktasındaki basınç ile 1 noktasındaki basınç aynıdır ($P_1=P_2$).



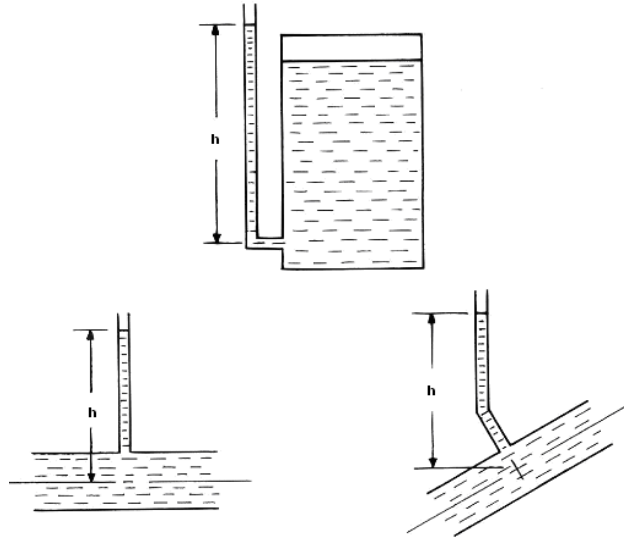
Sağ kolda görülen h yüksekliğindeki sütunu statik dengede olup atmosfere açıktır. Bu durumda 2 noktasındaki basınç doğrudan aşağıdaki denklem bulunur.

$$P_1 = P_2$$

$$P_2 = P_{atm} + \rho gh$$

Piezometre

En basit tip sıvı basıncı ölçme cihazı, alt ve üst ucu açık ve bir ucu basıncı ölçülecek yere bağlanan saydam borudan oluşan piezometredir. Bir boru içine sıvı aktığında boruya bağlantı dikey yönde olmalı, aksi halde okunan basınç hatalı olur. Piezometreler sıvı basınçlarını basit ve hassas ölçen aletlerdir, ancak sıvıların kullanımı uçucu, zehirli olmayan düşük basınçlı sıvılarla sınırlıdır.



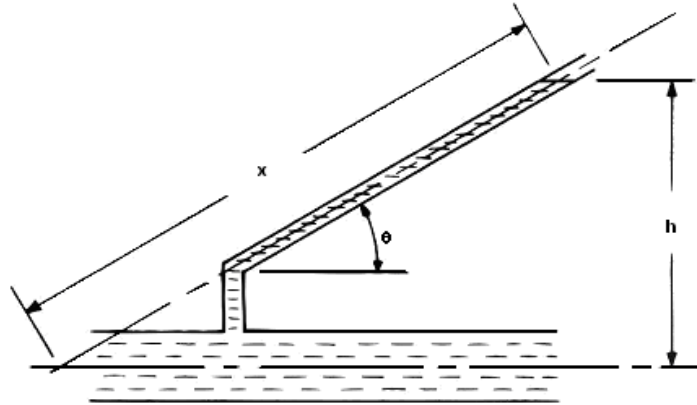
Şekil 3.9 Piezometreler

Eğik piezometre

Ölçülecek basınç küçük olduğu yerlerde, Şekil 3.10'de gösterilen eğik eksenli piezometre ile daha hassas ölçümler yapılabilir.

Borunun merkezindeki basınç gözlenen uzunluk x yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır:

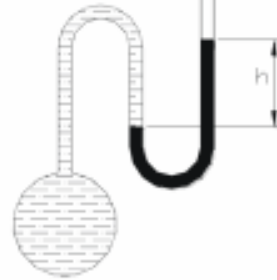
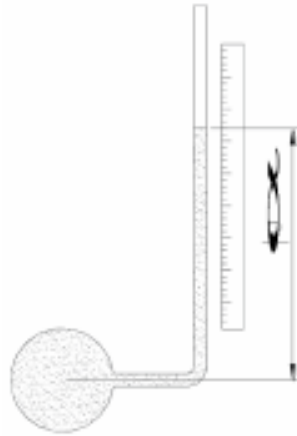
$$p = \rho \cdot g \cdot h \text{ burada; } h = x \cdot \sin \theta$$



Şekil 3.10. Eğik Piezometre

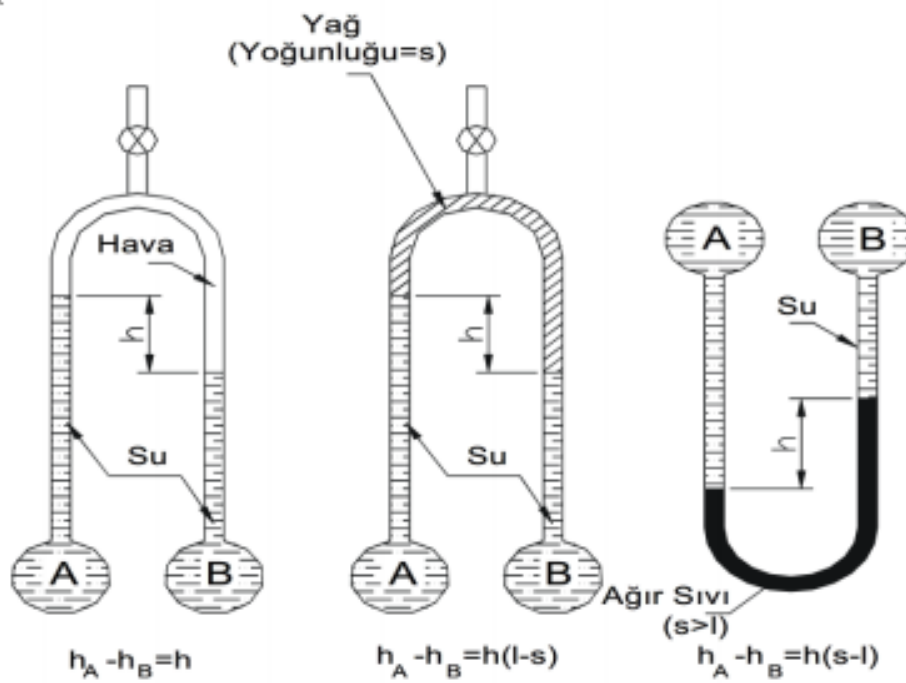


Piyezometre tüpü



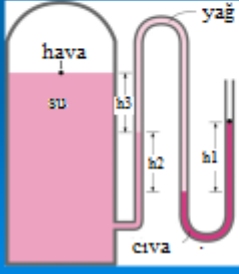
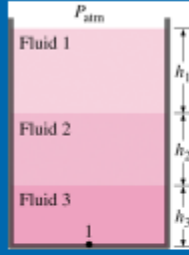
Basit manometreler

I



Diferansiyel manometreler

Çok Tabakalı Akışkanlar



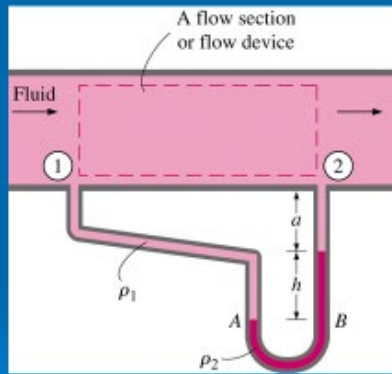
- Her bir sütunun basıncı $\Delta P = \rho gh$ ifadesinden hesaplanır.
- Basınç aşağı inildikçe artar (+), yukarı çıkıldıkça azalır (-).
- Aynı akışkanın iki noktası aynı seviyedeyse, bu iki noktanın basınçları aynıdır.
- Böylece bir noktadan başlayıp ρgh terimini aşağı inildikçe ekleyerek, yukarı çıkıldıkça çıkararak istenen noktanın basıncı hesaplanabilir:

$$P_2 + \rho_1 gh_1 - \rho_2 gh_2 - \rho_3 gh_3 = P_1$$

Çok Tabakalı Akışkanlar

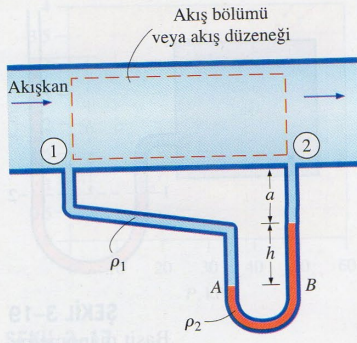
- Her bir sütunun basıncı $\Delta P = \rho gh$ ifadesinden hesaplanır.
- Basınç aşağı inildikçe artar (+), yukarı çıkıldıkça azalır (-).
- Aynı akışkanın iki noktası aynı seviyedeyse, bu iki noktanın basınçları aynıdır.
- Böylece bir noktadan başlayıp ρgh terimini aşağı inildikçe ekleyerek, yukarı çıkıldıkça çıkararak istenen noktanın basıncı hesaplanabilir:

Basınç Düşüşünün Hesaplanması



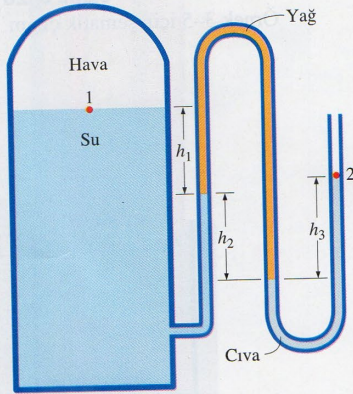
- Basınç düşüşünün ölçümü en iyi manometre ile yapılır.
- 1 noktasından başlanarak manometre içinden 2 noktasına gelinir. Bu esnada inerken (+) çıkarken (-) işaret kullanılarak $P_1 - P_2$ hesaplanır.
- Borudaki akışkan gaz ise, $\rho_2 \gg \rho_1$ ve $P_1 - P_2 = \rho gh$ olur.

BASINÇ VE AKIŞKAN STATİĞİ



ŞEKİL 3-22

Bir akış bölümü veya akış düzeneği boyuncu gerçekleşen basınç düşüşünün diferansiyel manometre ile ölçülmesi.



ŞEKİL 3-23

Örnek 3-6 için şematik çizim (çizim ölçekli değildir).

1 noktasına ulaşıncaya kadar ilerlemek ve sonucu P_1 'e eşitlemek suretiyle bulunabilir. Bunun sonucunda,

$$P_{\text{atm}} + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 + \rho_3 g h_3 = P_1$$

elde edilir.

Akışkanların tümünün aynı yoğunlukta olması durumunda bu bağıntının $P_{\text{atm}} + \rho g(h_1 + h_2 + h_3) = P_1$ haline geleceği açıktır.

Manometreler; özellikle belirli iki nokta arasında yer alan yatay bir akış bölümü boyunca vana veya ısı değiştirici gibi bir düzeneğin, ya da akışa karşı koyan herhangi bir direncin bulunmasından dolayı meydana gelen basınç düşüşlerinin ölçümü için çok uygundur. Bu tür bir ölçüm Şekil 3-22'de gösterildiği gibi manometre kollarını bu iki noktaya bağlayarak yapılır. Boru veya kanaldan geçen yoğunluğu ρ_1 olan akışkan, gaz ya da sıvı olabilir. Manometre sıvısının yoğunluğu ρ_2 ve manometre kolları arasındaki yükseklik farkı h 'dir. Bu tür bir düzenek kurulurken akışkanların birbirine karışmayan cinsten olması ve $\rho_2 > \rho_1$ seçilmesi gerekir.

1 noktasında P_1 'den başlayarak 2 noktasına ulaşıncaya kadar, boru boyunca $\rho g h$ terimlerini ekleyerek veya çıkararak ve sonucu P_2 'ye eşitleyerek $P_1 - P_2$ basınç farkı için bir bağıntı elde edilebilir:

$$P_1 + \rho_1 g(a + h) - \rho_2 g h - \rho_1 g a = P_2 \quad (3-14)$$

Dikkat edilirse A ve B noktalarındaki basınçlar eşit olduğundan, altta kalan kısım gözardı edilerek doğrudan A noktasından B noktasına atlanmıştır. Elde edilen sonuç sadeleştirilirse aşağıdaki bağıntı bulunur:

$$P_1 - P_2 = (\rho_2 - \rho_1) g h \quad (3-15)$$

Sonuç üzerinde a mesafesinin bir etkisinin olmadığı halde analize dahil edilmesi gerektiğine dikkat edilmelidir. Ayrıca boruda akan akışkanın gaz olması halinde $\rho_1 \ll \rho_2$ olacağından, Denklem 3-15 daha da sadeleşerek $P_1 - P_2 \approx \rho_2 g h$ haline gelir.

ÖRNEK 3-6 Çok Akışkanlı Bir Manometre ile Basınç Ölçümü

Bir tankta hava ile basınçlandırılmış bulunan suyun basıncı çok akışkanlı bir manometre ile Şekil 3-23'te gösterildiği gibi ölçülmektedir. Tank, atmosfer basıncının 85.6 kPa olduğu 1400 m rakımlı bir tepede bulunmaktadır. $h_1 = 0.1$ m, $h_2 = 0.2$ m ve $h_3 = 0.35$ m olması durumunda tanktaki basıncı belirleyiniz. Suyun, yağın ve cıvanın yoğunluklarını sırasıyla 1000 kg/m³, 850 kg/m³ ve 13600 kg/m³ olarak alınız.

ÇÖZÜM Bir su tankındaki basınç çok akışkanlı manometre ile ölçülmektedir. Tanktaki hava basıncı belirlenecektir.

Assumption Tanktaki hava basıncı üniformdur (yani havanın yoğunluğunun düşük olmasından dolayı tanktaki basınç yükseklikle değişmemektedir). Buna dayanarak basıncı hava-su arayüzünde belirleyebiliriz.

Özellikler Suyun, yağın ve cıvanın yoğunlukları sırasıyla 1000 kg/m³, 850 kg/m³ ve 13600 kg/m³ olarak verilmiştir.

Analiz Hava-su arayüzündeki 1 noktasından başlayıp 2 noktasına ulaşıncaya kadar $\rho g h$ terimlerini ekleyerek veya çıkararak tüp boyunca ilerler ve sonucu P_{atm} 'e eşitlersek (tüpün ağzı atmosfere açılmaktadır),

$$P_1 + \rho_{\text{su}} g h_1 + \rho_{\text{yağ}} g h_2 - \rho_{\text{civa}} g h_3 = P_2 = P_{\text{atm}}$$

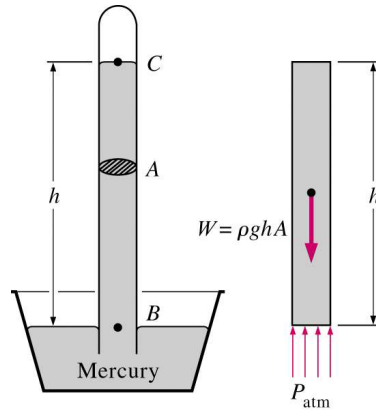
elde ederiz. Bu ifadeden P_1 'i çekip verilen değerler yerine konulursa aşağıdaki sonuç bulunur:

$$\begin{aligned} P_1 &= P_{\text{atm}} - \rho_{\text{su}} g h_1 - \rho_{\text{yağ}} g h_2 + \rho_{\text{civa}} g h_3 \\ &= P_{\text{atm}} + g(\rho_{\text{civa}} h_3 - \rho_{\text{su}} h_1 - \rho_{\text{yağ}} h_2) \\ &= 85.6 \text{ kPa} + (9.81 \text{ m/s}^2)[(13600 \text{ kg/m}^3)(0.35 \text{ m}) - (1000 \text{ kg/m}^3)(0.1 \text{ m}) \\ &\quad - (850 \text{ kg/m}^3)(0.2 \text{ m})] \left(\frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2} \right) \left(\frac{1 \text{ kPa}}{1000 \text{ N/m}^2} \right) \\ &= 130 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Barometre

Barometreler açık hava basıncını ölçmede kullanılır.

- Bu yüzden barometre basıncına atmosfer basıncı da denir.
- C noktasındaki civa buharının basıncı çok küçüktür ve sıfır alınabilir. Dolayısıyla akışkan sütununun ağırlığı alttan etkiyen atmosferik basınç kuvveti ile dengelenmelidir.
- Atmosfer basıncı yüksekere çıkıldıkça düşer ve bunun birçok etkisi olur: pişirme süresi, burun kanaması, motor performansı, uçakların performansı vb.



Şekil 3.21

$$P_c + \rho gh = P$$

$$P_{atm} = \rho gh$$

Örnek 3.7

Bir civalı manometre Şekil 3.11'de gösterildiği gibi bir gliserin depolama tankındaki buhar basıncını ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Kollardaki basınç farkı 256 mm olması halinde buhar basıncını ve ayrıca maksimum tank basıncını hesaplayınız.

Gliserinin bağıl yoğunluğu: 1.26, cıva: 13.6 g/cm^3 .

Çözüm:

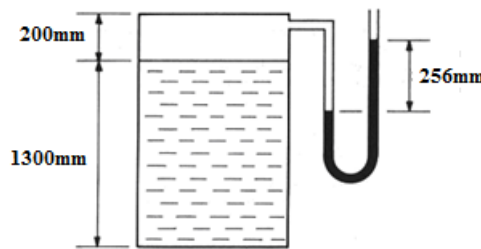
$$\text{Buhar basıncı} = \rho \cdot g \cdot h$$

$$= 13,6 \cdot 10^3 \times 9,81 \times 0,256 \text{ (Pa)}$$

$$= 34,15 \text{ kPa}$$

$$\text{Tank tabanındaki maksimum basınç} = 34,15 \cdot 10^3 + 1,26 \cdot 10^3 \times 9,81 \times 1,3$$

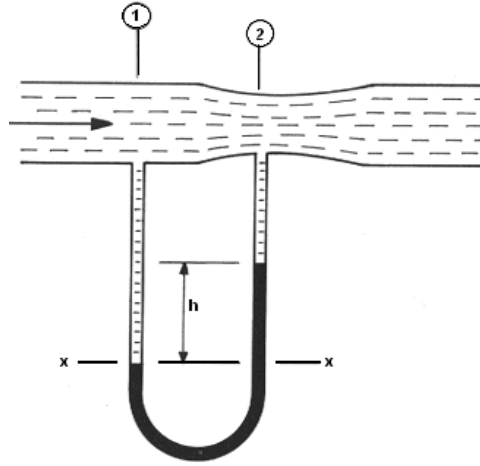
$$= 50,2 \text{ kPa}$$



Şekil 3.11

Diferansiyel manometre

Diferansiyel manometre Şekil 3.12’da gösterilmiştir. Diferansiyel manometre olarak bilinmesinin bir sebebi, fark basıncını ölçmesinden değil, iki noktadaki fark olmasındadır. Bu basınç farkı akışkanlar mekaniğinde sıklıkla kullanılır.



Şekil 3.12 Diferansiyel manometre

Benzer kollardaki sıvı yüksekliği h aynı olduğundan aynı kollardaki basınç artışında eşit olacağını düşünmemizi gerektirmez.

Sol kol: (X-X referans seviyesi kullanılarak)
 $p = P_1 + \rho \cdot g \cdot h$

Sağ kol: (X-X referans seviyesi kullanılarak)
 $p = P_2 + \rho_i \cdot g \cdot h$

burada ρ gösterge sıvısının yoğunluğudur.

$$P_1 + \rho \cdot g \cdot h = P_2 + \rho_i \cdot g \cdot h$$

$$P_1 - P_2 = \rho_i \cdot g \cdot h - \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_1 - P_2 = (\rho_i - \rho) \cdot g \cdot h \quad (3.9)$$

Bu eşitlik herhangi bir yatay diferansiyel manometreye uygulanır ve ilk prensiplerden yola çıkılarak hazırlanabilir.