



Karadeniz Teknik Üniversitesi

Orman Fakültesi
Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü

TEKNİK FİZİK

4. AKIŞKANLAR MEKANİĞİ

Dr.-Mak.Müh. Kemal ÜÇÜNCÜ



4.1. Temel Kavramlar

- Akışkanlar mekaniği, akışkanların denge ve hareket kanunları ile bunların pratikteki uygulamalarını inceleyen bilim dalıdır.
- Bir çok özel alanlarla ilgili olmakla birlikte, esas olarak makina ve kısmen de inşaat mühendisliğinin konusudur.
- Hidrolik makinalar, su tesisleri, kimya endüstrisi, rüzgar hareketleri ile araçların, uçakların, gemilerin hareketleri bu bilim dalı içinde incelenir.
- Akışkanlar mekaniği, hidrostatik ve hidrodinamik olmak üzere başlıca iki dala ayrılır.
- Durgun haldeki akışkanların dengesi hidrostatik kapsamında incelenirken, hareket halindeki akışkanlar hidrodinamik adı altında incelenir.

4.2. Hidrostatik

Akışkanların Fiziksel Özellikleri

Temel Kavramlar

- Sıvı ve gazlar akışkan olarak tanımlanır. Sıvılar genellikle sıkıştırılamayan, gazlar ise sıkıştırılabilen akışkanlardır. Sıvılarla ilgili dala hidrodinamik, gazlarla ilgili dala aerodinamik denir. Bununla birlikte, çoğu özellikler ve kanunlar sıvı ve gazlarda ortaktır. Sıvı, çok küçük kuvvetlerin etkisi altında sınırsız şekil değiştirebilen bir sürekli ortamdır. Gazlardan farklı olarak sıvıların yoğunluğu, basınçla ihmal edilebilecek kadar az değişir. Katı cisimlerden farklı olarak sıvı elemanları yüksek derecede hareketli olduklarından, şekilleri sabit olmayıp, konuldukları kabın şeklini alırlar.
- Sıvıların başlıca fiziksel özellikleri; yoğunluk, sıkıştırılabilirlik ve viskozitedir.

4.2. Hidrostatik

Yoğunluk: Bir cismin yoğunluğu, birim hacminin kütlesidir.

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

- Sıcaklık arttıkça, sıvıların yoğunluğu azalır. Suyun yoğunluğu +4 °C sıcaklığında maksimumdur. Sıvıların yoğunluğu basınçla da değişmekle birlikte, bu değişim son derece sınırlıdır.

Bazı sıvıların yoğunlukları

Sıvı	Sıcaklık [°C]	Yoğunluk [kg/m³]
Su	4	1000
Su	15	999
Su	100	958
Deniz suyu	15	1020
Benzin	15	790-820
Alkol	15	790
Civa	15	13558



4.2. Hidrostatik

Sıkıştırılabilirlik

- Sıvıların ve gazların yoğunluklarının sıcaklık basınçla değişmesi sıkıştırılabilirlik özelliğidir. Sabit sıcaklık etkisinde basınç değişmesiyle birim hacimde meydana gelen bağıl değişme izotermal sıkıştırılabilirlik olarak ifade edilir.

$$\beta_T = \frac{1}{V_1} \left(\frac{\Delta V}{\Delta p} \right)_{T=\text{sabit}} \quad [\text{m}^2/\text{N}]$$

Bu bağıntıda; $\Delta V = V_1 - V_2$ ve $\Delta p = p_2 - p_1$ olarak tanımlanmıştır.

- Sıkıştırılabilirlik katsayısının (β_T) tersine, sıvının elastisite modülü denir.

$$e = \frac{1}{\beta_T} \quad [\text{N}/\text{m}^2]$$

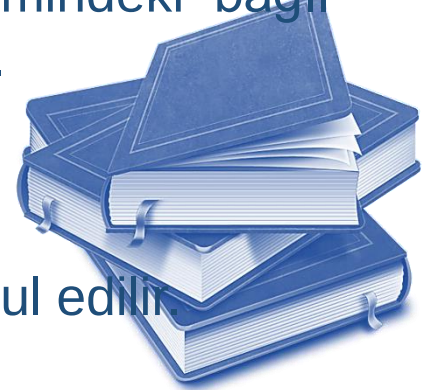


4.2. Hidrostatik

- Su için $e = 2,3 * 10^9 \text{ N/m}^2$ 'dir.
- Normal koşullarda sabit sıcaklıkta sıvıların hacimlerinde basınçla meydana gelen değişme ihmal edilebilir. Buna bağlı olarak sıvılar sıkıştırılamayan akışkanlar olarak kabul edilirler.
- Sıvıların sıkıştırılamaz kabul edilmesi mühendislik hesapları için de kolaylık sağlar.
- Sıvıların hacmi sıcaklıktaki artışla artar. Sıcaklığın $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ artmasıyla, sabit basınçta tutulan bir sıvının hacmindeki bağıl değişmeye sabit basınçta genleşme katsayısı denir.

$$\beta_p = \frac{1}{V_1} \left(\frac{\Delta V}{\Delta T} \right)_{p=\text{sabit}} \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$$

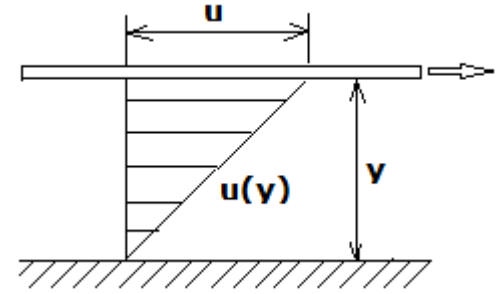
Küçük sıcaklık değişmelerinde ($0 - 30 \text{ } ^\circ\text{C}$), $\beta_p = 0$ kabul edilir.



4.2. Hidrostatik

Viskozite

- Viskozite, sıvının kaymaya karşı direncini ya da yapışkanlığını gösterir. Bu özellik, sadece sıvı hareketli ise sözkonusudur.
- Aralarında y uzaklığı bulunan iki düzlemsel levha arasında bir sıvı bulunsun. Üstteki levha u hızı ile hareket ederken, alttaki levha sabit olsun. Üstteki levha yüzeyinde sıvı molekülleri katı cidarlara tutunarak cidarla birlikte hareket ederler. Buna göre şekildeki gibi bir hız dağılımı meydana gelir. sıvının değişik katmanları değişik hızlarda hareket ettiğinde, diğer bir ifade ile katmanlar arasında bir kayma olduğunda, iç sürtünme kuvvetleri ortaya çıkar. Birim alana düşen iç sürtünme kuvveti kayma gerilmesini verir.



4.2. Hidrostatik

- Deneylerle doğrulanmış Newton hipotesine göre, kayma gerilmesi hız gradyenti ile doğru orantılıdır.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

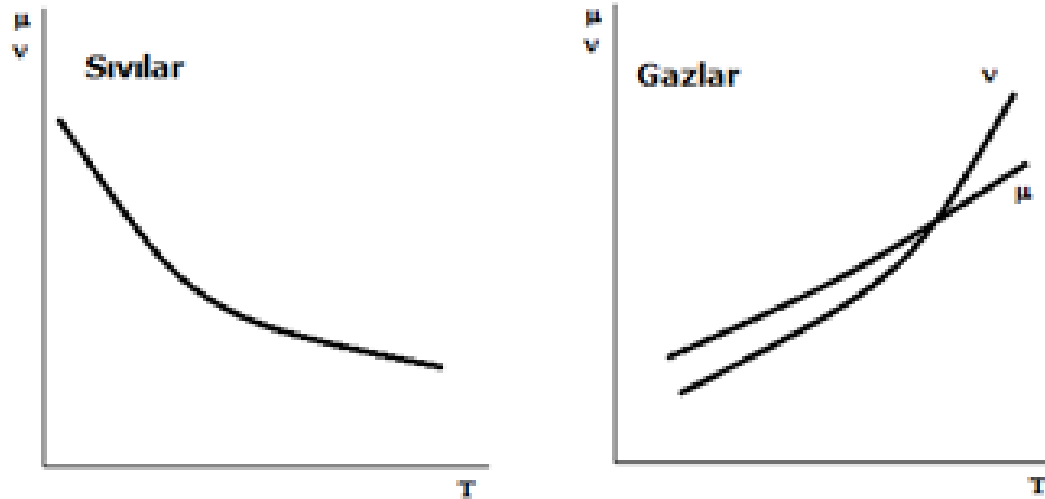
- Bu bağıntıda, τ iç sürtünme kayma gerilmesi, du/dy hız gradyenti, μ sıvıdan sıvıya değişen orantı faktörü olup, dinamik viskozite olarak adlandırılır. Dinamik viskozite μ , $\left[\frac{\text{kg}}{\text{ms}} = \text{Ns/m}^2\right]$ boyutundadır. Akışkanlar mekaniğinde bir sıvının viskozitesi, genellikle kinematik viskozite ile verilir. Kinematik viskozite, dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \left[\text{m}^2/\text{s}\right]$$



4.2. Hidrostatik

- Sıvılarda sıcaklık arttıkça viskozite azalır, gazlarda ise aksine sıcaklık arttıkça viskozite artar.



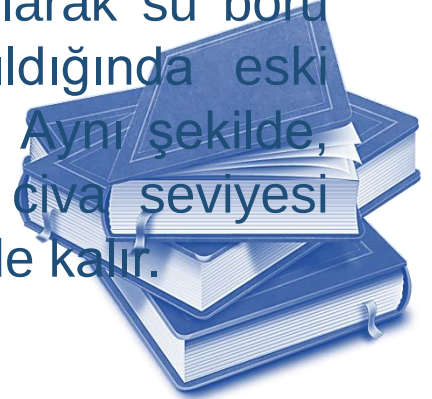
Viskozitenin sıcaklıkla değişimi



4.2. Hidrostatik

Yüzeysel Gerilim ve Kılcallık

- Sıvılarda bazı olaylar hidrodinamik kanunlarına aykırı bir durum gösterir. Bunlara aşağıdaki örnekler verilebilir.
- Sıvılar, içinde bulundukları kabın yüzeyi ile temas ettiği yerlerde yatay değildir. Bu durumda yataylığı bozma özellikleri bakımından sıvılar ıslatan ve ıslatmayan sıvılar olarak ikiye ayrılır. Islatan sıvılara su, ıslatmayan sıvılara civa örnek olarak verilebilir.
- Küçük çaplı bir boru, içinde bulunan bir kaba sokularak su boru içine emildikten sonra tekrar kendi haline bırakıldığında eski seviyesine inmez ve h yüksekliğinde dengede kalır. Aynı şekilde, ince boru civa içine sokulduğunda, boru içindeki civa seviyesi kaptaki civa seviyesine çıkıp, h yüksekliğinde dengede kalır.



4.2. Hidrostatik

- Yüzey gerilmesi, serbestçe genişleyemeyen bir sıvının başka bir sıvı, gaz ya da katı yüzeyle arasında oluşan yüzeye dik ve içeriye yönelik gerilme kuvvetleridir.
- Bir sıvının yüzey gerilmesi yeni bir yüzey oluşturmak için yüzey içinden yüzeye yeterli sayıda molekül taşımada yapılan iştir.
- Uzunluğu dL olan bir yüzeyde oluşan kuvvet σdL 'dir.
- Burada, σ yüzey gerilme katsayısı olup, birim alandaki enerjiyi ifade eder ve

$$\sigma = \frac{dE}{dA}$$

şeklinde ifade edilir. A ara yüzey alanı, E enerjidir.



4.2. Hidrostatik

- Buna göre yüzeysel gerilme katsayısının birimi $\frac{Nm}{m^2} = \frac{N}{m}$ olarak elde edilir.
- Birim uyumundan da yola çıkılarak, yüzey gerilmesi, kısmen veya tamamen izole edildiği kabul edilen sıvı yüzeyine ait bir elemanın dengesini sağlamak için, elemanın çevresine ve yüzeyine dik olarak uygulanan kuvvetlerin elemanın uzunluğuna oranı olarak tanımlanır.

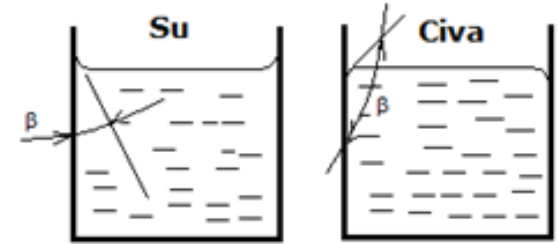
$$\sigma = \frac{F}{L} \text{ [N/m]}$$

- Yüzey gerilme katsayısı sıvının cinsine, temizliğine, sıcaklığına ve temas ettiği yüzeye bağlıdır. Sıvı sıcaklığının artması ve elektrik yükü ile yüzey gerilme değeri küçülür.

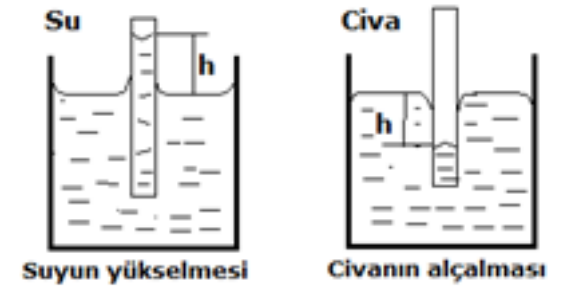


4.2. Hidrostatik

Ortam	Sıcaklık T (°C)	Yüzey gerilme katsayısı, σ (N/m)
Su- Hava	0	0,076
	20	0,073
	80	0,062
	100	0,059
Sabunlu su – Hava		0,026
Civa – Hava	15	0,487
Gliserin – Hava	20	0,063
Alkol – Hava		0,022
Eter – Hava		0,0165
Zeytinyağı – Hava		0,0285
Benzin – Hava		0,032
Sıvı hava (-190°C) – Hava		0,012
Sıvı hidrojen (-254 °C) – Hava		0,0025
Su – Alkol		0,0023



Sıvı yüzeyleri



Kılcallık olayı



4.2. Hidrostatik

- Bazı sıvılar yüzeye yapışır ve sıvıların ince boruların içerisinde yükselmesine (ağaçlardaki kılcal borular gibi) neden olur ve bu tip sıvılara ıslatan sıvılar denir.
- Yüzey gerilmesi, ince tüplerde sıvıların alçalmasına (cıva gibi) neden oluyorsa bu sıvılar ıslatmayan sıvılar olarak adlandırılır.
- Eğri yüzeylerin kesilmesinde oluşan yüzey gerilmelerini analiz edebilmek için kuvvet dengesinin ve sıvının katı yüzeye yapışması durumunda (ince tüpler) temas açısının (β) dikkate alınması gerekir.
- $\pi R^2 h \rho g$: Sıvının ince tüpte yükselen miktarının ağırlığıdır.



4.2. Hidrostatik

Her iki yönde etkiyen kuvvetler denge halinde

$$2\pi R\sigma\cos\beta = \pi R^2 h\rho g$$

eşitliği geçerlidir.

$$\sigma = \frac{Rh\rho g}{2\cos\beta}$$

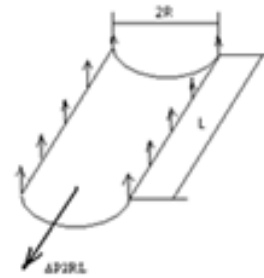
Basınç dengesi: Δh yükselme

$$P_1 + \Delta h \rho g = P_2 + (h + \Delta h) \rho g$$

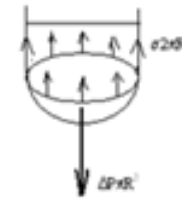
$$P_1 - P_2 = h\rho g$$

$$\sigma = \frac{R(P_1 - P_2)}{2\cos\beta}$$

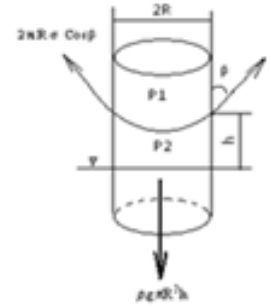
$$P_1 - P_2 = \frac{2\sigma\cos\beta}{R}$$



a) Yarıml silindir



b) Yarıml küre



c) İnce tüp

Sıvı yüzeylerinde kuvvet dengesi



4.2. Hidrostatik

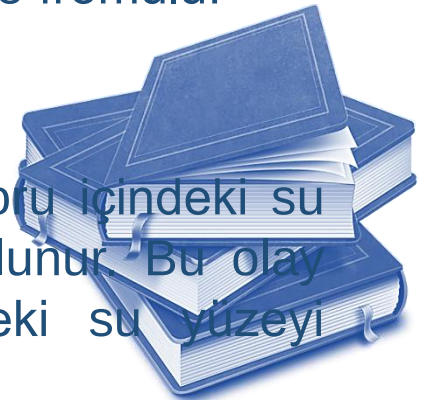
- Sıvıların serbest yüzeyi eğri olduklarından serbest yüzeyin iki tarafına etki eden basınç kuvvetleri farklıdır. Sıvının gaz ile ortak olan serbest yüzeyindeki yüzey gerilmesi σ , yüzey elemanının yarıçapları r_1 ve r_2 ise, sıvı ile gaz kısımları arasındaki basınç farkı (kapiler basınç)

$$\Delta P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

- Şeklinde Laplace formülü ile ifade edilir. küresel yüzeylerde $R_1 = R_2 = R$ olacağından küresel yüzeyler için Laplace formülü:

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{R}$$

- Küçük çaplı bir cam boru su içine sokulduğunda, boru içindeki su seviyesi kaptaki su seviyesinden daha yüksekte bulunur. Bu olay kapillarite veya kılcallık olarak bilinir. Boru içindeki su yüzeyi konvektir.



4.2. Hidrostatik

İçinde bulunduğu kabı ıslatan sıvılar için kılcal yükselme miktarı

$$h = \frac{4 \sigma \cos \beta}{\rho d}$$

Jürin formülü ile verilir.

$\beta = 0$ olduğunda, yani mükemmel ıslatan sıvılar için

$$h = \frac{4 \sigma}{\rho d}$$

eşitliği bulunur.



4.2. Hidrostatik

Hidrostatik'in Temel Denklemi ve Pascal Kanunu

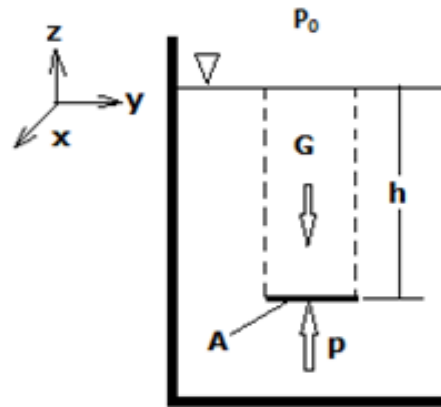
- Hidrostatik, hareketsiz sıvıların, özellikle suyun, denge şartlarını inceler. Uygulamada su, sıkışmayan bir akışkan olarak kabul edilir. Durgun veya hareketli sıvı elemanına iki çeşit kuvvet etki eder:
- **İç kuvvetler:** Sıvı moleküllerinin etki-tepki prensibi ile birbirlerine uyguladıkları kuvvetlerdir. Bunların bileşkeleri sıfır olup, hesaplara katılmazlar.
- **Dış kuvvetler:** Basınç, yer çekimi ve yüzey kuvvetleridir. Hidrostatikte bunlardan yalnız yer çekimi ve basınç kuvvetleri etkili olur.



4.2. Hidrostatik

➤ Hidrostatığın üç ana özelliği vardır:

- 1) Hareketsiz sıvılar içinde bulunan cisimlerin yüzeylerine yapılan basınç her noktada yüzeylere diktir.
- 2) Hareketsiz bir sıvının herhangi bir noktasındaki basınç kuvvetinin değeri, o noktadan geçen her yönde aynıdır.
- 3) Hareketsiz bir sıvının içinde yatay yönde basınç eğişiimi sıfırdır.



Sıvı basıncı



4.2. Hidrostatik

- Şekilde görüldüğü gibi, içi su dolu ve atmosfere açık bir kabın yüzeyinden itibaren h derinliğindeki (h yüksekliğinde taban alanı A olan bir silindir) yatay A alanına gelen p basıncı birtakım kuvvetlerin etkisi altında kalır. Bu kuvvetler,
- Açık yüzeye etki eden atmosferik basınçtan doğan kuvvet:
 $P_0 = p_0 A$
- A taban alanı ve h yüksekliğindeki silindir içindeki sıvı kütlesinin kendi ağırlığından dolayı oluşan kuvvet: $G = \rho g h A$
- Silindirin tabanına yukarı doğru dik olarak etkiyen p basıncı nedeniyle oluşan kuvvet, $P = p A$
- Silindirin yan yüzeyine etkiyen kuvvetler birbirini dengeler,
 $P_x = 0, P_y = 0$ şeklindedir.



4.2. Hidrostatik

- z- eksenine göre silindir için denge denklemi yazılırsa

$$P_0 + G - P = 0 \Rightarrow P_0 + \rho ghA - pA = 0$$

$$p = p_0 + \rho gh$$

olarak, hidrostatikğin temel denklemi elde edilir.

Buna göre, sıvı içinde herhangi bir noktadaki hidrostatik basınç, atmosfer basıncı ile sıvının o noktaya kendi ağırlığından dolayı uyguladığı basıncın toplamına eşittir. p_0 atmosfer basıncı, p mutlak basınç, ρgh ise efektif basınç (manometrik veya ölçüm basıncı) olarak tanımlanır.

Aynı eşitliğe göre, bir kabın içindeki durgun bir sıvının yüzeyine etki eden p_0 atmosfer basıncı, herhangi bir değişikliğe uğramadan sıvı içindeki her noktaya aynen iletilir. Bu ifade “Pascal Kanunu” olarak bilinir.



4.2. Hidrostatik

Hidrostatik basınç:

$$P_2 - P_1 = \rho g (h_2 - h_1)$$

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

Yükselme miktarı:

$$\Delta z = h = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

1 noktası: $P_1 = P_B + \rho_1 g h_1$

2 noktası: $P_2 = P_0 + \rho_2 g h_2$

Denge hali: $P_1 = P_2$

$$P_B + \rho_1 g h_1 = P_0 + \rho_2 g h_2$$

$$P_B = P_0 + g (\rho_2 h_2 - \rho_1 h_1)$$

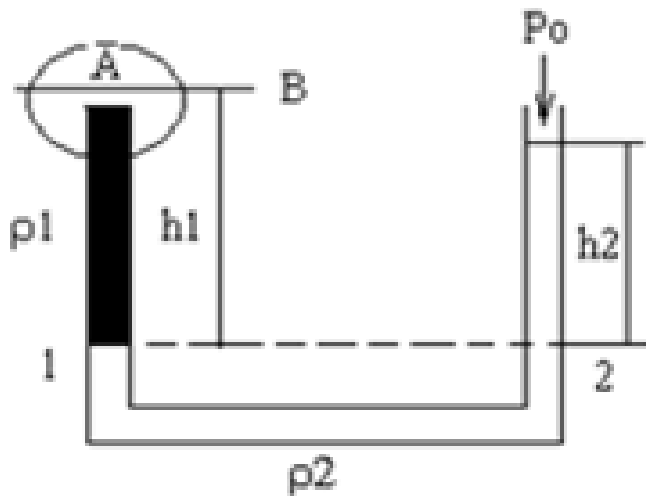


4.2. Hidrostatik

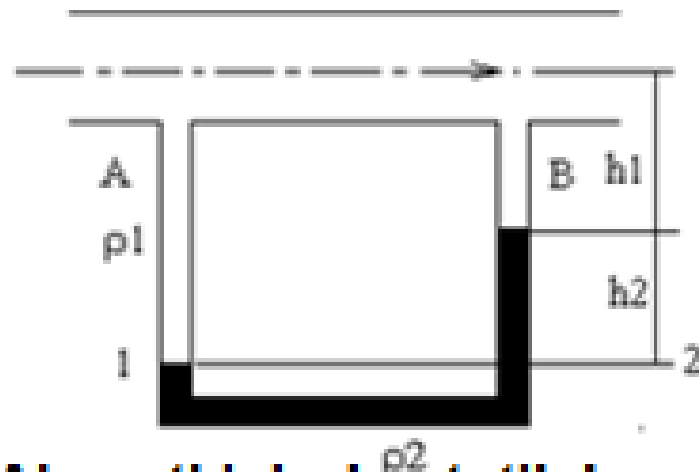
$$P_1 = P_A + \rho_1 g (h_1 + h_2)$$
$$P_2 = P_B + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2$$
$$P_1 = P_2$$

$$P_A + \rho_1 g (h_1 + h_2) = P_B + g (\rho_1 h_1) + \rho_2 h_2$$

$$P_A - P_B = (\rho_2 - \rho_1) g h_2$$



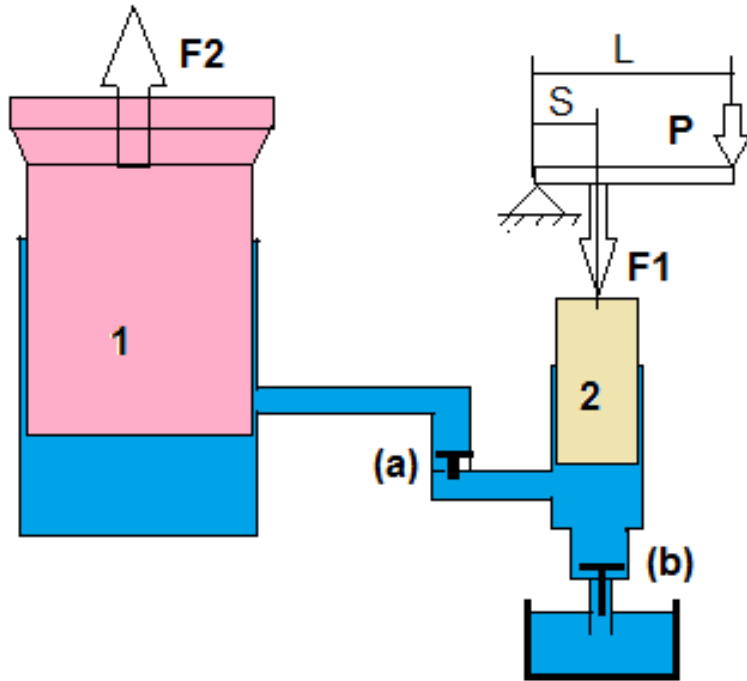
Manometre, şematik



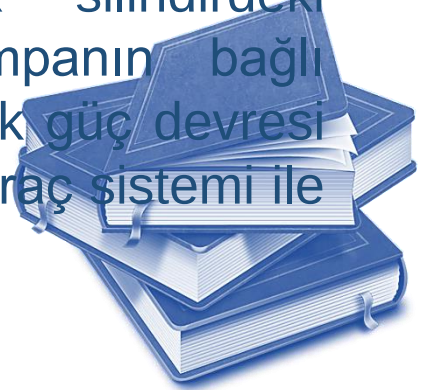
Akış etkisinde statik basınç

4.2. Hidrostatik

- Hidrolik presin çalışma esasını da Pascal Kanunu teşkil eder. Hidrolik pres otomatik kontrolde, presleme işlemlerinde ve yük kaldırma işlerinde kullanılır.



- Bir hidrolik pres, esas olarak basınca dayanıklı biri büyük diğeri küçük iki silindirden oluşur. Silindirler içerisinde çapları d ve D olan pistonlar bulunur. Küçük silindirdeki basınç bir pompanın bağlı olduğu bir hidrolik güç devresi ile ya da bir kaldırma sistemi ile sağlanabilir.



4.2. Hidrostatik

- Bir kaldıraçla küçük silindirde bir basınç etkisi oluşturulduğu varsayılın.
- Kaldıraç kuvvet kolu uzunluğu L , yük kolu uzunluğu S olmak üzere F kuvveti uygulanıyorsa

$$F_1 = F \frac{L}{S}$$

olarak ifade edilecektir. Bu kuvvetten doğan p_1 basıncı

$$p_1 = \frac{4 F_1}{\pi d^2}$$

olacaktır. Pascal kanununa göre, bu basınç büyük pistonu aynı değerde iletilir. Böylece büyük pistonu kaldıran kuvvet

$$F_2 = p_1 \frac{\pi D^2}{4} \text{ ve } p_1 = \frac{4 F_1}{\pi d^2} \text{ ile } F_2 = \frac{4 F_1}{\pi d^2} \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow F_2 = F_1 \left(\frac{D}{d}\right)^2$$
$$F_2 = F \frac{L}{S} \left(\frac{D}{d}\right)^2$$



4.2. Hidrostatik

- Sürtünmeler nedeniyle F_2 kuvveti gerçek değerinden daha az olacaktır. Pres verimi de dikkate alınarak pres kuvveti adıyla

$$F_2 = \eta F \frac{L}{S} \left(\frac{D}{d} \right)^2$$

bağıntısı elde edilir. Pres verimi $\eta = 0 - 80 - 0,85$ arasında değişebilir.



4.2. Hidrostatik

- Pistonların silindir içinde hiç sürtünmeden hareket ettiği ve sıvının ideal olduğu kabul edilirse, birinci pistonun silindir içinde h kadar ilerlemesi halinde yapılan iş:

$$W_1 = F_1 h$$

- İkinci piston da H kadar hareket ederse yaptığı iş:

$$W_2 = F_2 H$$

- Yapılan işler birbirine eşittir:

$$F_1 h = F_2 H$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{h}{H}$$

- Sonuç olarak, her iki pistonun yaptığı iş birbirine eşit olurken, pistonlara uygulanan kuvvetlerle ilerleme miktarları birbiriyle ters orantılıdır.

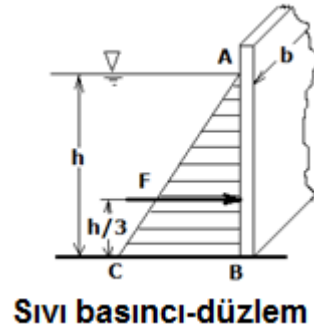


4.2. Hidrostatik

Hidrostatik Basınç

Düzlemsel Yüzey Üzerinde Sıvı Basıncı

- Şekilde görüldüğü gibi, durağan bir sıvı içindeki bir yüzeyin sıvıya değen yüzeyine, üzerindeki basınç dağılımına bağlı olarak belirli bir kuvvet etki edecektir.
- Bu kuvvete itme kuvveti denir. Duran sıvı kayma gerilmesi taşımayacağından, itme kuvvetini, her noktada yüzeye dik olan basınç meydana getirecektir. Derinlik arttıkça basınç doğrusal olarak artar.



4.2. Hidrostatik

- Şekilde, düzlemsel yüzeyde, basınç dağılımı ABC üçgeni ile belirlenir.
- Üçgenin taban alanı : $\overline{BC} = \rho g h$
- A'dan B'ye toplam basınç : $p = \frac{1}{2} \rho g h$
- AB yüzeyinin alanı : $A = b h$
- İtme kuvveti:

$$F = p A = \frac{1}{2} \rho g h^2 b$$

olarak elde edilir.

İtme kuvveti yayılı yükün oluşturduğu üçgenin ağırlık merkezinden geçeceğine göre, itme merkezi tabandan $h/3$ kadar yüksekte olacaktır.



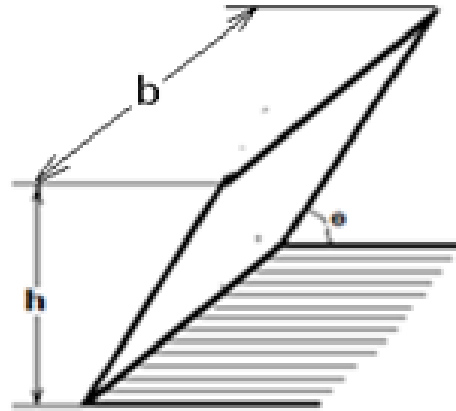
4.2. Hidrostatik

Eğik Yüzey Üzerinde Sıvı Basıncı

b genişliğinde, yatayla θ açısı yapan dikdörtgen bir duvarın su ile temas eden yüksekliği H ise, bu şekildeki eğik yüzeyde itme kuvveti

$$F = \frac{1}{2} \rho g \frac{h^2}{\sin \theta} b$$

olarak ifade edilir. Bu bağıntıda, $\theta = 90^\circ$ ise dik duvar hali oluşur.



Sıvı basıncı-eğik düzlem



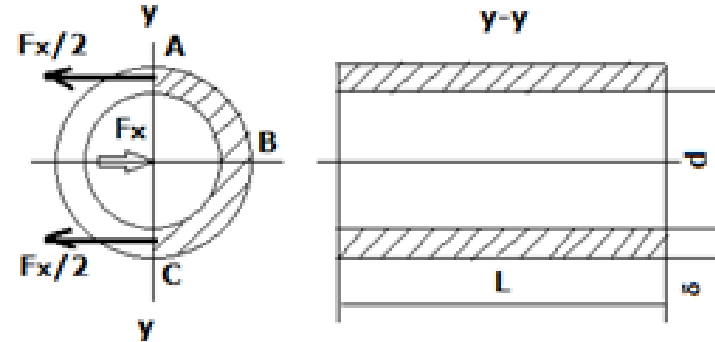
4.2. Hidrostatik

Boru Duvarları Üzerindeki Sıvı Basıncı

- Şekilde görüldüğü gibi, uzunluğu L , iç çapı d ve et kalınlığı δ olan bir borunun iç yüzeyine sıvı tarafından yapılan basınç nedeniyle oluşan F kuvvetinin belirlenmesi istensin.
- Borunun sol tarafının olmadığı varsayılırsa, ABC parçası üzerine p basıncına bağlı olarak bir kuvvet uygulanır. Boru çeperlerine dik olarak etkiyecek bu kuvvet F_x , borudaki akışkanın kütlesi ihmal edilirse, denge denklemi

$$p L d = F_x = F_y = F$$

olarak yazılabilir.



Sıvı basıncı-boru



4.2. Hidrostatik

- Burada Ld borunun eksenel kesit alanı (izdüşümü), F boru duvarı üzerinde akışkanın basınç kuvvetidir. F_x kuvveti, şekilde görüldüğü gibi, boru boyunca $F_x/2$ olarak iki noktada etkili olur. Bu durumda duvar malzemesinin gerilme dayanımı:

$$\sigma = \frac{F_x}{2\delta L}$$

$$\sigma = \frac{p L d}{2 \delta L} = \frac{p d}{2 \delta}$$

Bu durumda boru duvarlarının minimum et kalınlığı,

$$\delta = \frac{p d}{2\sigma}$$

bağıntısı ile belirlenir. Bu hesaplamalarda emniyet açısından kalınlık $a = 3-7$ mm fazla seçilir.



4.2. Hidrostatik

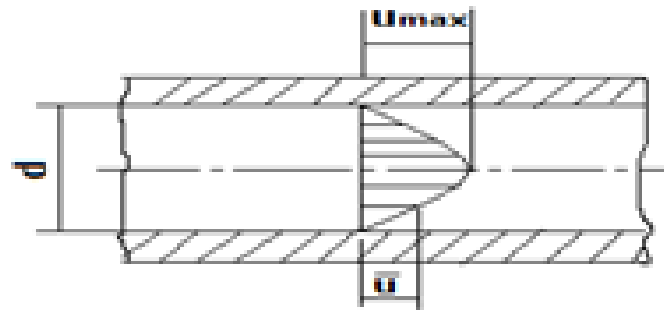
- **Basınç Dengesi**
- Sıkıştırılamaz akışlar:
 - $P_2 = P_1 - \rho g (z_2 - z_1)$
 - Yükseklik arttıkça basınç azalmaktadır.
- Sıkıştırılabilir akışlar:
 - İzotermal durum:
 - $P_2 = P_1 \exp \left[\frac{-g(z_2 - z_1)}{R T_0} \right]$
 - Lineer sıcaklık değişimi:
 - $P_2 = P_1 \left[1 - \frac{B z_2}{T_0} \right]^{g/RB}$
 - Uluslar arası standartlara göre; $\left\{ \begin{array}{l} B = 0,650 \text{ K/100 m} \\ R = 287 \text{ J/kgK} \\ g = 9,81 \text{ m/s}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{g}{RB} = 5,26$



4.2. Hidrodinamik

Temel Kavramlar

- Su ve diğer sıvılar, güç ve diğer üretim amaçları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sıvılar, değişik boru ve kanallar içinde bir yerden başka bir yere taşınmaktadır. Sıvıların akış kanunlarını inceleyen birim dalına hidrodinamik adı verilir. Bir sıvının hareketi, sürekli ve süreksiz olmak üzere iki farklı rejimde olabilir. Sürekli rejimdeki akışta, sıvı parçacıklarının hızı zamanla değişmezken, süreksiz rejimde zamanla değişir.



Hız profili



4.2. Hidrodinamik

- Sürekli rejimdeki akışta sıvı parçacıklarının yörüngeleri zamanla sabit kalır. Bu yörüngelere akış çizgileri denir. Bir grup akış çizgisinden meydana gelen yüzeye akış yüzeyi denir. Sonsuz küçük bir hacimde, belirli bir anda bu hacimden geçen akış çizgileri demetine akış tüpü denir. Sıvının akışı, tek tek akış tüplerinin toplamı olarak düşünülebilir. Akış kesiti, akış çizgilerine dik olarak akışı kesen düzlemler olup, kesit alanı (A), ıslak çevre (Ç) ve hidrolik çap (D_h) ile ifade edilir.

$$D_h = \frac{4A}{\chi} \text{ [m]}$$

Birim zamanda akış kesitinden geçen akış miktarına debi denir. Hacimsel debi $\dot{V}$ [m^3/s] ile kütleli debi $\dot{m}$ [kg/s] ile gösterilir. Bir akışkanın ortalama hızı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

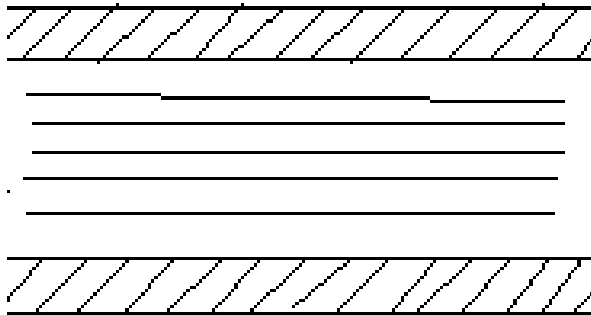
$$\bar{u} = \frac{\dot{V}}{A} \text{ [m/s]}$$



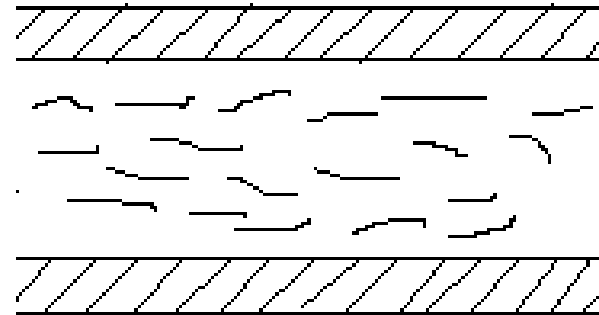
4.2. Hidrodinamik

Akış Tipleri ve Reynolds Sayısı

- Boru gibi kapalı kesitlerdeki akımlara basınçlı akım, açık kanallardaki akımlara da serbest yüzeyli akım denir. Akışkanların akışı, genel olarak laminar ve türbülanslı akış olmak üzere ikiye ayrılır. Laminer akışta akışkan parçacıkları katmanlar halinde akarken, türbülanslı akışta karmaşık bir hareket vardır.

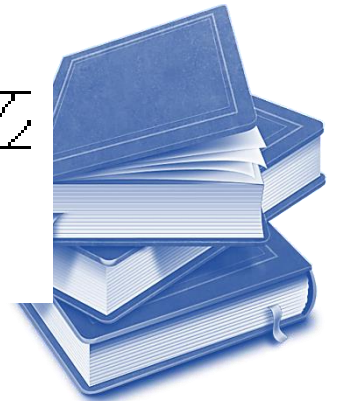


Laminer akış



Türbülanslı akış

Akış tipleri



4.2. Hidrodinamik

- Deneyler akış tipinin aşağıdaki etkilere bağlı olduğunu göstermiştir:
 - a) Akışkanın dinamik viskozitesi (μ)
 - b) Akışkanın yoğunluğu (ρ)
 - c) Akışkanın ortalama hızı (u)
 - d) Akışkan kesitinin karakteristik uzunluğu, boru için çap (d)
- Bu parametreler, bir akışkanın akış şartlarını belirlemede boyutsuz bir büyüklük olan Reynolds sayısından yararlanılabilir.

$$\bullet \text{ Re} = \frac{u d}{\nu} = \frac{\rho u d}{\mu}$$



4.2. Hidrodinamik

Borulardaki akışta Reynolds sayısının değerlerine göre

- $Re < 2300$ *Laminer akış*
- $2300 < Re < 10^4$ Geçiş akışı
- $Re > 10^4$ Türbülanslı akış

olarak tanımlanmıştır.

Serbest yüzeyli akışlarda ise

- $Re < 580$ *Laminer akış*
- $Re > 580$ *Türbülanslı akış*

olarak tanımlanmıştır.

Serbest yüzeyli akışlar genellikle türbülanslıdır.



4.2. Hidrodinamik

Süreklilik Denklemi

- Ştasyonere akışa ait bir akım ipçığının birim zaman içinde kesitlerden geçen sıvı hacmi veya kütlesi birbirine eşittir. Bu durumda akış için

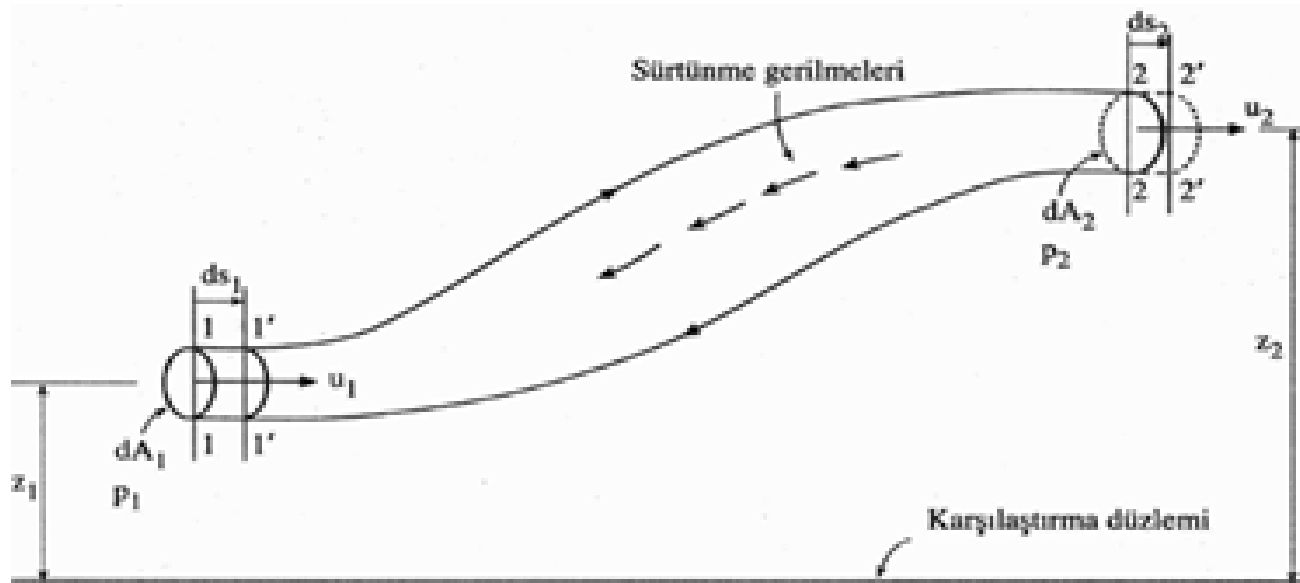
$$\dot{V} = u_1 A_1 = u_2 A_2 = \text{sabit}$$

bağıntısı yazılabilir.

- Diğer bir ifade ile, sabit rejimdeki akışta debi, bütün kesitlerde sabittir. Bu eşitliğe süreklilik eşitliği denir.
- Süreklilik denklemi, deforme olmayan borularda sıkıştırılmaz sıvıların ştasyonere akışları için geçerlidir.



4.2. Hidrodinamik



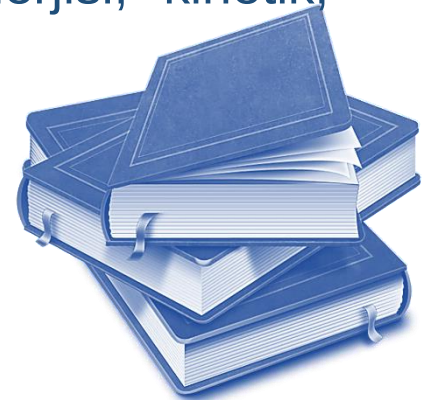
Değişken kesitte sürekli akış



4.2. Hidrodinamik

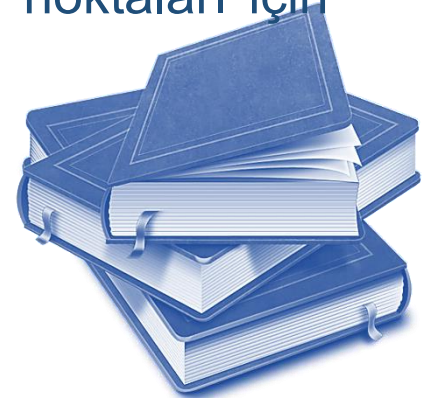
Bernoulli Denklemi

- Akışkanın mekanik enerjisi, kinetik enerji, potansiyel enerji ve basınç enerjisinden oluşur.
- Kinetik enerji : $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m u^2$
- Potansiyel enerji: $E_{\text{pot}} = mgz$
- Basınç enerjisi: $E_{\text{bas}} = pV$
- Bir sıvının elemanter akış tüpünün mekanik enerjisi; kinetik, potansiyel ve basınç enerjilerinin toplamına eşittir.
- $E = \frac{1}{2} m u^2 + mgz + pV$
- Bu denklem mg değerlen bölünürse
- $E_{\text{öz}} = e = \frac{u^2}{2g} + z + \frac{p}{\rho g}$



4.2. Hidrodinamik

- Akışın kinetik enerjisi
- $E_{\text{kin}} = \alpha \frac{u^2}{2g}$
- olarak ifade edilir ve burada α hızların kesit içinde homojen olmamasından kaynaklanan Coriolis katsayısını göstermektedir. Laminer akışlar için $\alpha = 2$, türbülanslı akışlar için $\alpha = 1,1$ 'dir. Potansiyel enerji, kesit içinde akışkan parçacığının konumuna bağlı değildir. Seçilmiş karşılaştırma düzelemine göre, özgül potansiyel enerji, verilen bir akışkan hacminin bütün noktaları için sabittir.
- $E_{\text{pot}} = \frac{p}{\rho g} + z = \text{sabit}$



4.2. Hidrodinamik

- Özgül enerji
- $E_{öz} = \alpha \frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z$
- olarak ifade edilir. Kesit alanı yavaşça değişen bir boru içindeki akışta 1 ve 2 kesitleri için toplam enerjiler aşağıdaki gibi ifade edilir.
- 1 nolu kesit için
- $E_{öz1} = \alpha_1 \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1$
- 2 nolu kesit için
- $E_{öz2} = \alpha_2 \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2$



4.2. Hidrodinamik

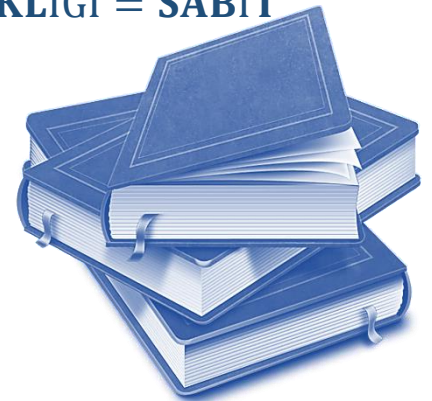
- Gerçek bir akışta enerjinin bir miktarı sürtünme kuvvetleri için harcanır. Enerji kaybı h_{kay} ile gösterilirse 1 ve 2 kesitleri arasında enerji dengesi
- $$\alpha_1 \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \alpha_2 \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + h_{kay}$$
- olarak ifade edilir. bu denkleme Bernoulli Denklemi denir.
- Bu bağıntı, $[m]$ boyutunda olup, enerjinin korunumu kanununun matematiksel ifadesidir. Bu ifade bir akış çizgisi boyunca geçerlidir. Bernoulli denklemi bir akış çizgisi boyunca kinetik enerji, basınç enerjisi ve yükselti enerjilerinin toplamının sabit olduğunu gösterir.



4.2. Hidrodinamik

- Bernoulli denkleminin geometrik anlamı:
 - (z) [m] : Jeodezik yükseklik
 - $p/\rho g$ [m] : Basınç yüksekliği
 - $u^2/2g$ [m] : Hız yüksekliği
- Buna göre, herhangi bir yörünge üzerinde çeşitli noktalar için aşağıdaki açık eşitlik yazılabilir.

$$H = \text{JEODEZİK YÜKSEKLİK} + \text{BASINÇ YÜKSEKLİĞİ} + \text{HIZ YÜKSEKLİĞİ} = \text{SABİT}$$



Debi Ölçülmesi

- $$\dot{V} = \frac{V}{t} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

- Boruların herhangi bir kesitindeki gibi kapalı ortamlardaki debi ölçümü bu yöntemle yapılamaz. Bunun için Şekilde görülen Venturimetre olarak adlandırılan aygıtlar kullanılır.



4.2. Hidrodinamik

- Bernoulli denklemi ile açıklanan prensibe göre çalışan venturimetreler Şekilde görüldüğü gibi A, B, C diye üç boru parçasından oluşur.
- Eksen boyunca $z_1 = z_2$ olduğundan I ve II kesitleri için Bernoulli denklemi
- $$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g}$$
- Olarak ifade edilebilir. Kayıplar $h_{kay} = 0$, Coriolis katsayıları $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 0$ alınmıştır. Bu durumda I ve II kesitleri arasındaki basınç farkı için
- $$\Delta h = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} \Rightarrow \Delta h = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}$$



4.2. Hidrodinamik

- Ve süreklilik denkleminde
- $A_1 u_1 = A_2 u_2 \Rightarrow u_2 = u_1 \frac{A_1}{A_2}$
- yazıldığında aşağıdaki eşitlik elde edilir.
- $$\Delta h = \frac{u_1^2 \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - u_1^2}{2g} \Rightarrow u_1 = \sqrt{\frac{2g \Delta h}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$
- Debi $\dot{V} = Q = uA$ olduğundan
- $$Q = \beta A_1 \sqrt{\frac{2g \Delta h}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$
- olarak ifade edilebilir. $\beta = 0,96 - 0,98$ arasında değerler alan ve venturimetreye ait debi katsayısıdır. Debi ölçümlerinde lüle, orifis, sukbe, rotametre denilen aygıtlar kullanılmaktadır.



4.2. Hidrodinamik

• Borular İçinde Akış

- Borular içinden akışlarda, akışkanın enerjisinin bir kısmı hidrolik kayıpları yenmek için harcanır. Hidrolik kayıplar da sürekli ve yerel kayıplar olmak üzere ikiye ayrılır. Sürekli kayıplar, akışkanın düzgün ve kesiti değişmeyen bir borudaki hareketinde, kendi içi sürtünmelerinden dolayı meydana gelen enerji kaybıdır. Yerel kayıplar ise, borunun kesitinde meydana gelen bir değişiklik (daralma veya genişleme), akışın bir dirsekle yön değiştirmesi veya vana, musluk gibi elemanların bulunması nedeniyle meydana gelen enerji kaybıdır.



Borular



Bağlantı elemanları



Vana



Klape

Vana ve klape

Borular ve bağlantı elemanları

4.2. Hidrodinamik

- **Sürekli kayıplar**
- Akışkanın boru cidarları ve kendi elemanları arasındaki sürtünmesi sonucu kaybedilen enerjidir. Sürekli ya da sürtünme kayıpları Darcy eşitliği ile ifade edilir.
- $$h_s = \lambda \frac{L}{D} \frac{u^2}{2g}$$
- Bu ifadede, λ sürtünme katsayısı, L boru uzunluğu, D boru çapı, u akışkan hızı, g yer çekimi ivmesidir.
- Sürtünme katsayısı, akışın cinsine ve akışın aktığı yüzeyin pürüzlülüğüne bağlıdır.
- Laminer akışta sürtünme katsayısı sadece akışın tipine bağlı olup, Poiseuille bağıntısı ile hesaplanır.
- $$\lambda = \frac{64}{Re}$$



4.2. Hidrodinamik

- Türbülanslı akışta sürtünme katsayısı, hem akış tipine hem de boruların iç yüzey pürüzlülüklerine bağlıdır. Bu akış tipinde sürtünme katsayısı için ampirik bağıntılar kullanılır.
- $15 \times 10^3 < Re < 8 \times 10^4$ aralığında pürüzsüz borularda sürtünme katsayısı Blasius eşitliği ile ifade edilir.
- $\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$
- olarak ifade edilir.
- Pürüzlü borularda sürtünme katsayısı Sheveliyov bağıntıları ile ifade edilir.

$$\bullet u < 1.2 \frac{m}{s} \Rightarrow \lambda = \frac{0.0179}{D^{0.3}} \left(1 + \frac{0.867}{u} \right)^{0.3}$$

$$\bullet u > 1.2 \frac{m}{s} \Rightarrow \lambda = \frac{0.021}{D^{0.3}}$$



4.2. Hidrodinamik

- **Yerel kayıplar**

- Boru kesitindeki daralma, genişleme ve boru üzerindeki yerel elemanlardan (musluk, vana, dirsek, filtre, vs.) ileri gelen kayıplardır. Gerçek sıvılarda sözkonusu olan bu kayıplar Bernoulli denklemine bir kayıp terim olarak ilave edilmelidir.

- Yerel sürtünme katsayısı

- $$h_y = K \frac{u^2}{2g}$$

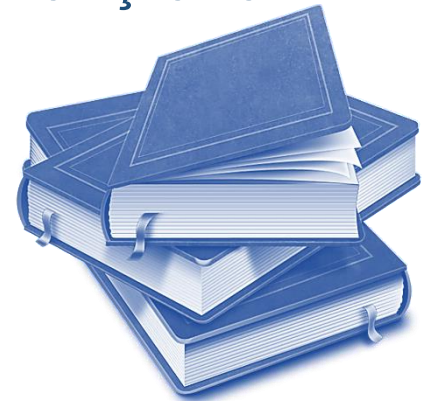
(4.63)

- bağıntısı ile hesaplanır. Burada, K yerel kayıp meydana getiren elemanın tipine bağlı ve deneysel olarak belirlenen yerel kayıp katsayısıdır. Çeşitli elemanların yerel kayıp katsayıları tablolar halinde verilmiştir.



4.2. Hidrodinamik

- Sürekli ve yerel kayıplar birlikte sözkonusu olduğunda, bir borudaki akışta toplam kayıplar
- $h_{\text{kay}} = h_s + \sum h_y$
- $h_{\text{kay}} = \lambda \frac{L}{D} \frac{u^2}{2g} + \sum K \frac{u^2}{2g} = \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{u^2}{2g}$
- olarak ifade edilir. Borudaki akışlarda yerel kayıplar olmasa da sürekli kayıplar her zaman vardır.
- Sürtünme kayıpları dikkate alınarak gerçek akışkanların borulardaki akışı için Bernoulli Denklemi
- $z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + h_{\text{kay}}$
- veya
- $H_1 = H_2 + h_{\text{kay}}$
- eşitliği ile ifade edilir.



4.2. Hidrodinamik

Pompa ile Su Basma

- L uzunluğunda D çapında boru yardımıyla Hg yüksekliğindeki bir depoya su basmak için kullanılacak santrifüj pompanın manometrik yüksekliği

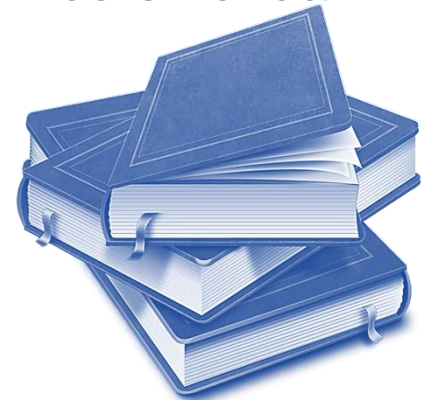
- $H_m = h_{kay} + H_g$

- $H_m = \lambda \frac{L}{D} \frac{u^2}{2g} + \sum K \frac{u^2}{2g} + H_g$

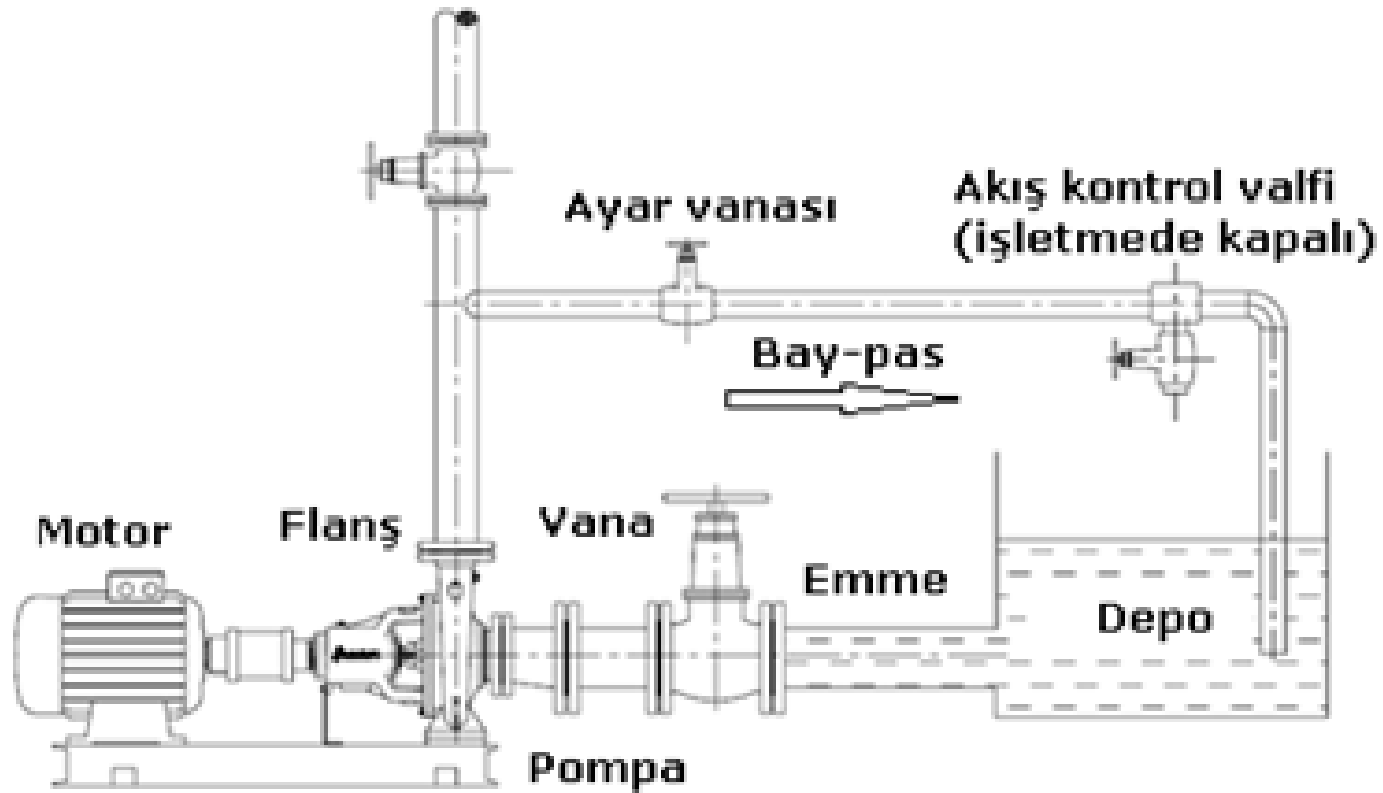
eşitliği ile hesaplanır. Yerel kayıpların olmaması durumunda manometrik yükseklik

- $H_m = \frac{8 \lambda L Q^2}{\pi^2 D^5 \eta_g} + H_g$

- eşitliği ile ifade edilir.



4.2. Hidrodinamik



Pompa ile su basma



