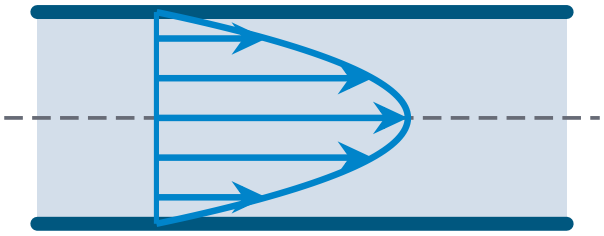
AKIŞKANLAR MEKANİĞİ 1

SORU KİTABI

ÖRNEK SAYFALAR

7 ünite · 152 soru · adım adım çözümler



Ertan Sinan Şahin

ertansinansahin.com

Bu kitap nasıl kullanılır?

- Her ünite, soruların dayandığı tanım ve formülleri özetleyen bir hatırlatma kutusuyla açılır.
- Zorluk: ★☆☆ temel ★★☆ orta ★★★ ileri. Her ünitede birkaç çoktan seçmeli kavram sorusu vardır; ünitenin son sorusu, birden çok konuyu birleştiren sınav tipi bir karma sorudur.
- Her sorunun altındaki noktalı alan sizin çözümünüz içindir. Önce kendiniz çözün; takıldığınızda hatırlatma kutusuna ve ders notuna dönün, çözüme en son bakın.
- Bütün çözümler kitabın sonundadır. Sorunun yanındaki Çözüm → bağlantısı çözüme, çözümdeki ← Soru bağlantısı soruya götürür. Kısa cevaplar **CEVAP** kutusundadır.
- **Ortak üniteler:** Ünite 6–7 (boyut analizi, iç akış) *Akışkanlar Mekaniği 2* kitabında da vardır; ikinci dönemi boyut analizi ve boru akışıyla başlayan okullar için o kitapta tekrar yer alır.
- **Vize ve final:** Tek dönemlik derslerde vize çoğunlukla akışkan özellikleri, akışkan statiği ve Bernoulli denklemine (Ünite 1–4) kadardır; final momentum analizi, boyut analizi ve boru akışını (Ünite 5–7) ekler. İnşaat, çevre, kimya ve gıda mühendisliğindeki derslerin ve tek dönemlik makine derslerinin konuları bu kitaptadır. İki dönemlik derslerde ikinci dönem için *Akışkanlar Mekaniği 2* gerekir. Kendi dersinizin izlencesine göre çalışacağınız üniteleri seçin.

İçindekiler

Sayfa numaraları tam kitaba aittir. Renkli üniteler bu örnekte vardır; tıklayınca o üniteye gidersiniz.

1 Giriş ve Akışkanların Özellikleri ..... 18 soru 4

2 **Basınç ve Akışkan Statiği** ..... 24 soru 14

3 Akışkan Kinematiği ..... 16 soru 28

4 **Kütle, Bernoulli ve Enerji Denklemleri** ..... 26 soru 38

5 Akış Sistemlerinin Momentum Analizi ..... 24 soru 52

6 Boyut Analizi ve Modelleme ..... 18 soru 65

7 **İç Akış** ..... 26 soru 75

Çözümler 90

2. ÜNİTE

BASINÇ VE AKIŞKAN STATİĞİ

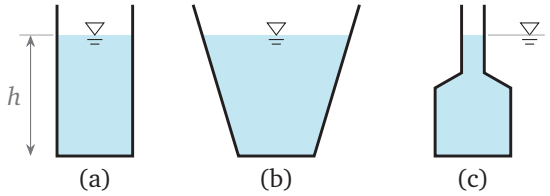
gösterge basıncı	$P_{\text{gös}} = P - P_{\text{atm}}$	kaldırma kuvveti	$F_B = \rho_f \, g \, V_{\text{bat}}$
derinlikle değişim	$P_2 = P_1 + \rho g \, (z_1 - z_2)$	metasantr yüksekliği	$\overline{GM} = \overline{KB} + \dfrac{I_0}{V_{\text{bat}}} - \overline{KG}$
düz yüzey	$F_R = (P_0 + \rho g h_C) A$	doğrusal ivme	$\tan\theta = \dfrac{a_x}{g + a_z}$
basınç merkezi ($P_0 = 0$, gösterge)	$y_P = y_C + \dfrac{I_{xx,C}}{y_C A}$	dönmede yüzey	$z_s = h_0 - \dfrac{\omega^2}{4g}\left(R^2 - 2r^2\right)$
eğri yüzey	$F_H = F_{\text{izd}}, \;\; F_V = \rho g V_{\text{üst}}$	dönmede basınç	$P = P_0 + \frac{1}{2}\rho \, \omega^2 r^2 - \rho g z$

Aksi verilmedikçe suyun yoğunluğu $\rho = 1000$ kg/m^3, cıvanın bağıl yoğunluğu $SG = 13.6$, yerçekimi ivmesi $g = 9.81$ m/s^2 ve atmosfer basıncı $P_{\text{atm}} = 101.3$ kPa alınır. Gazların hidrostatik basınç farkı, sıvılarınkinin yanında ihmal edilir. Basınçlar *gösterge* ya da *mutlak* diye açıkça belirtilir; atmosfer basıncı bir yüzeyin iki yüzüne de etkiyorsa kuvvet hesabında birbirini götürür. h serbest yüzeyden aşağı ölçülen derinliktir; z yukarı pozitiftir. Şekillerde su ve sulu sıvılar açık camgöbeği, yağ açık sarı, cıva ve sıvı metal gri, basınç ve kuvvet kırmızı çizilir; iki sıvının ara yüzeyi ince siyah çizgidir.

Basınç ve derinlikle değişimi

2.1 ★☆☆ Çözüm →

Şekildeki üç kabın taban alanları eşittir ve üçü de aynı h yüksekliğine kadar su ile doldurulmuştur. (b) kabı yukarı doğru genişler, (c) kabının ise dar bir boynu vardır. Kapların kendi ağırlıkları eşittir. Aşağıdakilerden hangisi doğrudur?



A) Taban basıncı en çok suyu içeren (b) kabında en büyüktür.

B) Taban basınçları da tabana etkiyen su kuvvetleri de üç kapta eşittir.

C) Taban basınçları eşittir, ama tabana etkiyen kuvvet (b) kabında en büyüktür.

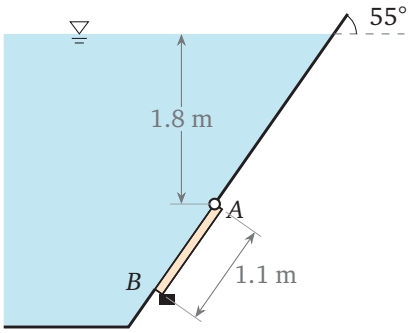
D) Kaplar sırayla bir teraziye konursa terazi üçünde de aynı değeri gösterir.

E) Taban basıncı (c) kabında en büyüktür, çünkü su dar boyunda sıkışır.

Düz yüzeylere etkiyen kuvvetler

2.10 ★★☆ Çözüm →

Bir yağmur suyu sarnıcının yan duvarı yatayla 55° açı yapar. Duvardaki dikdörtgen temizleme kapağı eğim boyunca 1.1 m uzunluğunda, 1.4 m genişliğindedir. Kapak üst kenarındaki *A* menteşesi etrafında dışarı açılabilir ve alt kenarı *B*'deki bir mandalla kapalı tutulur. *A* menteşesi su yüzeyinden 1.8 m aşağıdadır. Kapağın dış yüzü atmosfere açıktır; kapağın ağırlığını ihmal ediniz.



a. Kapağa etkiyen hidrostatik kuvveti bulunuz.

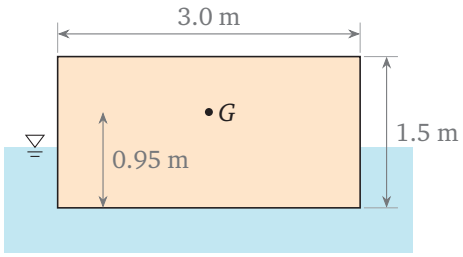
b. Basınç merkezinin eğim boyunca menteşeye uzaklığını bulunuz.

c. Mandalın kapağa uyguladığı kuvveti (kapağa dik) bulunuz.

Kaldırma kuvveti ve kararlılık

2.18 ★★★ Çözüm →

Bir baraj gölünde kullanılan yüzer pompa istasyonu, dikdörtgen prizma biçiminde bir dubadır: boyu 7.5 m, genişliği 3.0 m, yüksekliği 1.5 m. Dubanın donanımıyla birlikte kütlesi 8.1 t'dur ve ağırlık merkezi *G* tabandan 0.95 m yukarıdadır. Göl suyu tatlı sudur.



a. Dubanın su çekimini ve boyuna eksen etrafında yalpaya karşı metasantr yüksekliğini bulunuz. Duba kararlı mıdır?

b. Güverteye, dubanın ortasına 2.5 t'luk bir pompa ünitesi konacaktır. Metasantr yüksekliğinin en az 0.5 m kalması isteniyorsa ünitenin ağırlık merkezi güverteden en çok ne kadar yüksekte olabilir?

Örnek sayfalar · Kitabın tamamı: ertansinansahin.com

4. ÜNİTE

KÜTLE, BERNOULLİ VE ENERJİ DENKLEMLERİ

kütle korunumu $\dfrac{dm_{KH}}{dt} = \sum \dot{m}_{\text{gir}} - \sum \dot{m}_{\text{çık}}$

debi $\dot{m} = \rho V A, \quad \dot{V} = Q = VA$

Bernoulli (sürekli, sıkıştırılamaz, sürtünmesiz, akım çizgisi boyunca) $\dfrac{P}{\rho} + \dfrac{V^2}{2} + gz = \text{sabit}$

durma basıncı $P_0 = P + \frac{1}{2}\rho V^2$

debi ölçer $Q = C_d A_2 \sqrt{\dfrac{2\,\Delta P}{\rho\,(1-\beta^4)}}, \quad \beta = \dfrac{d}{D}$

HGL ve EGL $\text{HGL} = \dfrac{P}{\rho g} + z, \quad \text{EGL} = \text{HGL} + \alpha\dfrac{V^2}{2g}$

enerji denklemi $\dfrac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \dfrac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_{\text{pompa}} = \dfrac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \dfrac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{\text{türbin}} + h_L$

kinetik enerji düzeltme katsayısı $\alpha = \dfrac{1}{A}\displaystyle\int_A \left(\frac{u}{V}\right)^3 dA$

güç ve verim $\dot{W} = \rho g Q h, \quad \eta = \dfrac{\dot{W}_{\text{çıkan}}}{\dot{W}_{\text{giren}}}$

Aksi verilmedikçe suyun yoğunluğu $\rho = 1000\ \text{kg/m}^3$, cıvanın bağıl yoğunluğu $SG = 13.6$, yerçekimi ivmesi $g = 9.81\ \text{m/s}^2$ ve atmosfer basıncı $P_{\text{atm}} = 101.3\ \text{kPa}$ alınır; hava için $R = 0.287\ \text{kJ/(kg}\cdot\text{K)}$. Basınçlar *gösterge* ya da *mutlak* diye açıkça belirtilir; atmosfere açık yüzeylerde ve serbest jetlerde gösterge basıncı sıfırdır. z yukarı pozitiftir. Büyük bir depodaki serbest yüzeyin hızı ihmal edilir. Bernoulli denklemi yalnız sürekli, sıkıştırılamaz, sürtünmesiz akışta ve bir akım çizgisi boyunca geçerlidir; kayıp, pompa ya da türbin olan yerde enerji denklemi kullanılır. Aksi verilmedikçe $\alpha = 1$ alınır.

Bernoulli denklemi: statik, dinamik ve durma basıncı

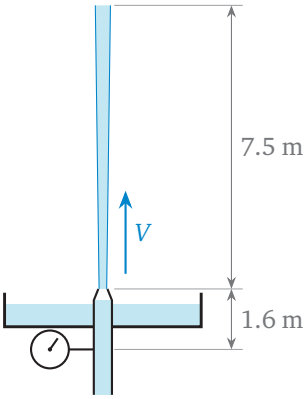
4.8 ★☆☆ Çözüm →

Bir kent meydanındaki süs havuzunun ortasında, düşey yukarı bakan bir lüleden çıkan su jeti lülenin 7.5 m üstüne çıkmalı ve debisi 7.0 L/s olmalıdır. Lüleyi besleyen düşey borunun iç çapı 80 mm'dir; boruya lüle çıkışının 1.6 m altında bir manometre bağlıdır. Manometre ile lüle çıkışı arasındaki yük kaybı 0.8 m'dir. Jette hava direncini ihmal ediniz.

a. Lüle çıkış hızını ve lüle çapını bulunuz.

b. Manometrenin göstermesi gereken gösterge basıncını bulunuz.

c. Jetin lülenin 5 m üstündeki çapını bulunuz. Jet neden genişler?



7. ÜNİTE

İÇ AKIŞ

Reynolds sayısı	$Re = \dfrac{\rho V D}{\mu},\ D_h = \dfrac{4A_c}{p}$	Colebrook	$\dfrac{1}{\sqrt{f}} = -2.0\log\left(\dfrac{\varepsilon/D}{3.7} + \dfrac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$
yük kaybı	$h_L = \left(f\,\dfrac{L}{D} + \Sigma K_L\right)\dfrac{V^2}{2g}$	Haaland	$\dfrac{1}{\sqrt{f}} \cong -1.8\log\left[\left(\dfrac{\varepsilon/D}{3.7}\right)^{1.11} + \dfrac{6.9}{Re}\right]$
laminer ($Re \lesssim 2300$)	$f = \dfrac{64}{Re},\ \dot{V} = \dfrac{\pi\,\Delta P\,D^4}{128\,\mu L}$	işletme noktası	$h_{\text{pompa}}(\dot{V}) = h_{\text{sistem}}(\dot{V})$
debi ölçer ($\beta = d/D$)	$\dot{V} = C_d A_0\sqrt{\dfrac{2\,\Delta P}{\rho\,(1-\beta^4)}}$		
enerji denklemi	$\dfrac{P_1}{\rho g} + \alpha_1\dfrac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_{\text{pompa}} = \dfrac{P_2}{\rho g} + \alpha_2\dfrac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L$		

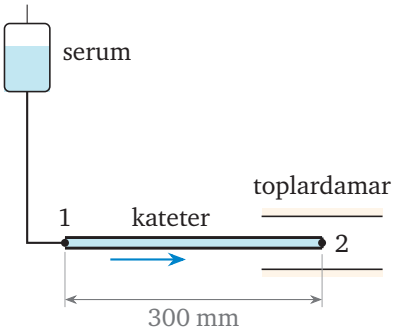
Aksi verilmedikçe su için $\rho = 1000\ \text{kg/m}^3$, $\mu = 1.00\times10^{-3}\ \text{Pa}\cdot\text{s}$; hava için $\rho = 1.2\ \text{kg/m}^3$, $\mu = 1.8\times10^{-5}\ \text{Pa}\cdot\text{s}$; $g = 9.81\ \text{m/s}^2$ ve $P_{\text{atm}} = 101.3\ \text{kPa}$ alınır. Akış sürekli ve sıkıştırılamazdır; borular dairesel kesitlidir ve akış tam gelişmiştir. Rejim her soruda Reynolds sayısıyla denetlenir ($Re \gtrsim 4000$ türbülanslı). Türbülanslı akışta f soruda belirtilen bağıntıdan bulunur (log on tabanlıdır) ve $\alpha = 1$ alınır. Seri borularda debi aynıdır, yük kayıpları toplanır; paralel borularda yük kaybı her kolda aynıdır, debiler toplanır. Şekillerde yağ ve yakıt açık sarı çizilir; tek çizgili şemalarda boru kalın siyah çizgidir.

Borularda laminer akış

7.4

★☆☆ Çözüm →

Bir hastaya fizyolojik serum, santral venöz kateterin bir kanalından veriliyor. Kanalın iç çapı 1.2 mm, uzunluğu 300 mm'dir. Kateter girişinde (1) basınç 9.0 kPa, toplardamar içindeki ucunda (2) 1.2 kPa'dır (ikisi de gösterge). Serumun yoğunluğu 1005 kg/m^3, viskozitesi $1.02\times10^{-3}\ \text{Pa}\cdot\text{s}$'dir; kateter yatay kabul edilir.



a. Akışı tam gelişmiş laminer kabul ederek debiyi mL/dk cinsinden bulunuz.

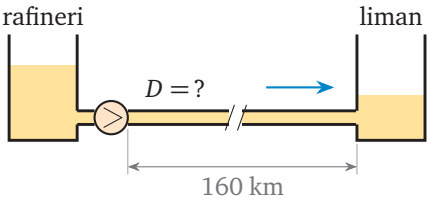
b. Reynolds sayısıyla kabulü denetleyiniz. Laminer giriş uzunluğu ($L_h \approx 0.05\,Re\,D$) kateterin ne kadarıdır?

c. Aynı debi, iç çapı 0.9 mm olan bir kanaldan verilmek istenirse basınç farkı ne olmalıdır?

Türbülanslı akış ve sürtünme katsayısı

7.9

★★★ Çözüm →



Bir rafineriden limandaki depolama tesisine motorin, 160 km uzunluğunda yatay bir çelik boru hattıyla ($\varepsilon = 0.045$ mm) 0.09 m^3/s debiyle pompalanacak. Motorinin yoğunluğu 840 kg/m^3, kinematik viskozitesi 3.0×10^{-6} m^2/s'dir. Tasarım ölçütü, sürtünmeden doğan basınç düşüşünün kilometre başına 45 kPa'yı aşmamasıdır. f'yi Haaland bağıntısıyla bulunuz; yerel kayıpları ihmal ediniz.

a. Gereken en küçük iç çapı bulunuz.

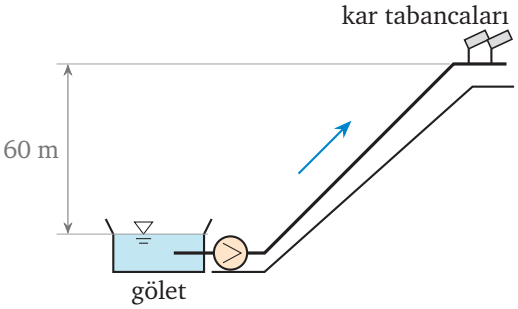
b. İç çapı 250, 300 ve 350 mm olan borulardan uygun olanı seçiniz; seçilen boruda kilometre başına basınç düşüşünü bulunuz.

c. Her pompa istasyonu en çok 6 MPa basınç artışı sağlayabiliyorsa hatta kaç istasyon gerekir? Pompaların akışkana verdiği toplam güç nedir?

Pompalı sistemler ve işletme noktası

7.20 ★★☆ Çözüm →

Bir kayak merkezinde suni kar üretimi için su, bir göletten pompayla yamaçtaki kar tabancalarına basılıyor. Tabancaları besleyen dağıtım hattının girişi gölet yüzeyinden 60 m yukarıdadır ve orada 600 kPa (gösterge) basınç gerekir. Ana boru çelik ($\varepsilon = 0.045$ mm), iç çapı 150 mm, uzunluğu 1.4 km'dir; yerel kayıp katsayıları toplamı $\Sigma K_L = 8$'dir. Su 2°C'dedir: $\mu = 1.67 \times 10^{-3}$ Pa · s. Pompanın yük–debi eğrisi $h_{\text{pompa}} = 200 - 1.2 \times 10^{4}\,\dot{V}^2$ bağıntısıyla verilir (h metre, $\dot{V}$ m^3/s). Dağıtım hattı girişindeki kinetik enerjiyi hesaba katınız; f'yi Haaland bağıntısıyla bulunuz.



a. Sistem eğrisinin denklemini yazınız ve işletme noktasını (debi ve pompa yükü) bulunuz.

b. İşletme noktasında pompa verimi 0.74 ise mil gücü nedir?

c. Her kar tabancası 8 L/s su harcıyorsa en çok kaç tabanca aynı anda tam basınçla çalıştırılabilir?

ÇÖZÜMLER

2 BASINÇ VE AKIŞKAN STATİĞİ

2.1

← Soru

Durgun bir sıvıda basınç yalnız derinliğe bağlıdır: üç kabın tabanında da $P_{\text{gös}} = \rho g h$. Taban alanları eşit olduğundan tabana etkiyen kuvvet $F = \rho g h A$ de üçünde aynıdır. **B** doğrudur.

- (A) ve (E): Basınç kabın biçimine ve sıvının miktarına bağlı değildir; su sıkıştırılamaz kabul edilir.
- (C): Basınç ve alan eşitse kuvvet de eşittir.
- (D): Terazi tabana etkiyen kuvveti değil, kabın ve suyun toplam ağırlığını okur. (b) kabındaki fazla suyun ağırlığını eğik duvarlar taşır; (c)'de omuzdaki su, kabı yukarı iter. Okumalar (b)'de en büyük, (c)'de en küçüktür. Bu *hidrostatik paradokstur*.

CEVAP B

2.10

← Soru

y ekseni kapak düzleminde, su yüzeyinin düzlemi kestiği çizgiden aşağı doğru ölçülür. Atmosfer basıncı iki yüzde de vardır, gösterge basıncı kullanılır.

a. Menteşenin ve ağırlık merkezinin y konumu:

$$y_A = \frac{1.8}{\sin 55^\circ} = 2.197 \text{ m},$$

$$y_C = 2.197 + 0.55 = 2.747 \text{ m},$$

$$h_C = y_C \sin 55^\circ = 2.251 \text{ m},$$

$$A = (1.1)(1.4) = 1.54 \text{ m}^2.$$

$$F_R = (1000)(9.81)(2.251)(1.54) = 34.0 \text{ kN}.$$

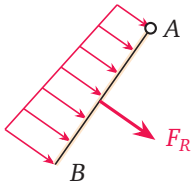
b. Basınç merkezi:

$$I_{xx,C} = \frac{(1.4)(1.1)^3}{12} = 0.1553 \text{ m}^4,$$

$$y_P - y_C = \frac{0.1553}{(2.747)(1.54)} = 0.0367 \text{ m}.$$

$$s = 0.55 + 0.0367 = 0.5867 \approx 0.587 \text{ m} \quad \text{(menteşeden)}.$$

Uzaklık y_P farkında y_C (yüzeyden ölçülen) kullanılır; menteşeye olan 0.55 m değil.



c. A etrafında moment (ağırlık ihmal; mandal kuvveti B'de, kapağa dik):

$$F_B(1.1) = F_R(0.5867),$$

$$F_B = \frac{(34.0)(0.5867)}{1.1} = 18.13 \approx 18.1 \text{ kN}.$$

Mandal, toplam kuvvetin yarısından biraz fazlasını taşır, çünkü basınç merkezi kapağın ortasının biraz altındadır.

CEVAP a. 34.0 kN b. 0.587 m c. 18.1 kN

2.18

← Soru

K taban (omurga) noktası, B batan hacmin ağırlık merkezi (kaldırma merkezi), M metasantrdır. Dikdörtgen kesitli dubada $\overline{KB} = T/2$, $\overline{BM} = I_0/V_{\text{bat}}$; I_0 su hattı alanının boyuna eksene göre atalet momentidir.

a. Su çekimi ve metasantr yüksekliği:

$$T = \frac{8100}{(1000)(7.5)(3.0)} = 0.360 \text{ m}, \quad \overline{KB} = 0.18 \text{ m}.$$

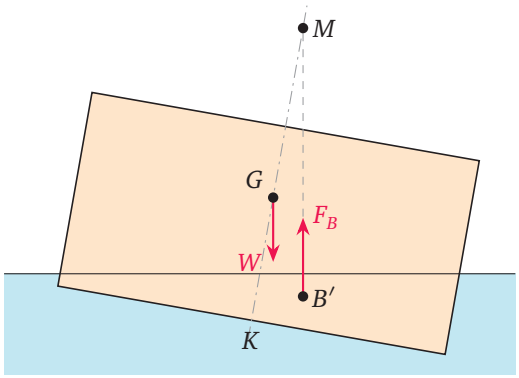
$$I_0 = \frac{(7.5)(3.0)^3}{12} = 16.875 \text{ m}^4, \quad V_{\text{bat}} = 8.1 \text{ m}^3,$$

$$\overline{BM} = \frac{16.875}{8.1} = 2.083 \text{ m}.$$

$$\overline{GM} = 0.18 + 2.083 - 0.95 = 1.313 \approx 1.31 \text{ m} > 0.$$

G, B'nin üstünde olduğu hâlde M, G'nin üstündedir: duba kararlıdır. Geniş ve sığ dubada su hattı alanının büyük atalet momenti kararlılığı sağlar.

ertansinansahin.com



b. Yeni kütle 10.6 t:

$$T' = \frac{10\,600}{(1000)(22.5)} = 0.4711 \text{ m}, \quad \overline{KB}' = 0.2356 \text{ m},$$

$$\overline{BM}' = \frac{16.875}{10.6} = 1.5920 \text{ m}, \quad \overline{KM}' = 1.8276 \text{ m}.$$

$\overline{GM}' \geq 0.5$ için $\overline{KG}' \leq 1.3276$ m. Ünitenin ağırlık merkezi tabandan z yüksekliğinde ise

$$\overline{KG}' = \frac{(8.1)(0.95) + 2.5z}{10.6} \leq 1.3276,$$

$$7.695 + 2.5z \leq 14.073 \Rightarrow z \leq 2.551 \text{ m}.$$

$$z - 1.5 = 1.051 \approx 1.05 \text{ m} \text{ (güverteden)}.$$

Yük hem G'yi yükseltir hem su çekimini artırıp $\overline{BM}$'yi küçültür; iki etki de kararlılığı azaltır.

CEVAP a. $T = 0.360$ m, $\overline{GM} = 1.31$ m, kararlı b. güverteden en çok 1.05 m

4 KÜTLE, BERNOULLİ VE ENERJİ DENKLEMLERİ

4.8

← Soru

Akış sürekli ve sıkıştırılamazdır. Jette sürtünme yoktur (hava direnci ihmal); basınç her yerde atmosfer basıncıdır, bu yüzden lüle çıkışından jetin tepesine kadar akım çizgisi boyunca Bernoulli denklemi geçerlidir. Manometre ile lüle arasında kayıp olduğundan orada enerji denklemi kullanılır.

a. Lüle çıkışı (2) ile jetin tepesi ($V = 0$) arasında:

$$V_2 = \sqrt{2(9.81)(7.5)} = 12.13 \approx 12.1 \text{ m/s},$$

$$A_2 = \frac{7.0 \times 10^{-3}}{12.13} = 5.771 \times 10^{-4} \text{ m}^2,$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} = 0.02711 \text{ m} \approx 27.1 \text{ mm}.$$

b. Manometre noktası (1) ile lüle çıkışı arasında ($\alpha = 1$), $V_1 = 7.0 \times 10^{-3}/(5.0265 \times 10^{-3}) = 1.393$ m/s:

$$\frac{P_{1,\text{gös}}}{\rho g} = (z_2 - z_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + h_L,$$

$$\frac{P_{1,\text{gös}}}{\rho g} = 1.6 + \frac{147.15 - 1.939}{19.62} + 0.8,$$

$$\frac{P_{1,\text{gös}}}{\rho g} = 1.6 + 7.401 + 0.8 = 9.801 \text{ m},$$

$$P_{1,\text{gös}} = (9810)(9.801) = 96.15 \approx 96.2 \text{ kPa}.$$

Kayıp olmasaydı 88.3 kPa yeterdi; borudaki 0.8 m'lik kayıp gereken basıncı yaklaşık 8 kPa artırır.

c. 5 m yükseklikte hız ve süreklilikten çap:

$$V = \sqrt{147.15 - 2(9.81)(5)} = \sqrt{49.05} = 7.004 \text{ m/s},$$

$$d = 27.11\sqrt{\frac{12.13}{7.004}} = 35.68 \approx 35.7 \text{ mm}.$$

Yükseldikçe su yavaşlar; debi sabit olduğundan VA sabit kalmalı ve kesit büyür.

CEVAP a. 12.1 m/s, $d = 27.1$ mm b. 96.2 kPa (gösterge) c. 35.7 mm

7 İÇ AKIŞ

7.4

← Soru

Kateter yataydır; basınç farkı $\Delta P = 9.0 - 1.2 = 7.8$ kPa yalnız sürtünmeyi yener.

ertansinansahin.com

a. Hagen–Poiseuille bağıntısında D^4:

$$(1.2\times10^{-3})^4 = 2.074\times10^{-12}\ \text{m}^4,$$

$$\dot V = \frac{\pi(7800)(2.074\times10^{-12})}{128\,(1.02\times10^{-3})(0.30)},$$

$$\dot V = \frac{5.082\times10^{-8}}{0.03917} = 1.297\times10^{-6}\ \text{m}^3/\text{s}.$$

Yani 1.297 mL/s = 77.8 mL/dk.

b. Ortalama hız ve Reynolds sayısı:

$$V = \frac{4(1.297\times10^{-6})}{\pi(1.2\times10^{-3})^2} = 1.147\ \text{m/s},$$

$$Re = \frac{(1005)(1.147)(1.2\times10^{-3})}{1.02\times10^{-3}} = 1356 \approx 1360.$$

$Re < 2300$: akış laminerdir, bağıntı geçerlidir. Giriş uzunluğu:

$$L_h = 0.05(1356)(1.2\times10^{-3}) = 0.0814\ \text{m},$$

kateterin yaklaşık %27'si. Giriş bölgesinde cidar kayma gerilmesi daha büyük olduğundan gerçek debi bulunandan biraz küçüktür; tam gelişmiş kabul burada yaklaşıktır.

c. Aynı debide $\Delta P \propto D^{-4}$:

$$\Delta P' = 7.8\left(\frac{1.2}{0.9}\right)^4 = 7.8(3.160) = 24.65 \approx 24.7\ \text{kPa}.$$

Ortalama hız $(1.2/0.9)^2$ katına çıkar; Reynolds sayısı ise D ile ters orantılıdır:

$$Re' = 1356\left(\frac{1.2}{0.9}\right) = 1808 < 2300,$$

akış yine laminerdir ve bağıntı geçerlidir. Çaptaki %25'lik azalma basınç farkını 3.16 katına çıkarır. İnce kateterlerde serum torbasının yüksekliği yetmez; infüzyon pompası kullanılır.

CEVAP a. 77.8 mL/dk b. $Re = 1360$, laminer; $L_h = 0.0814$ m (yaklaşık %27) c. 24.7 kPa

ertansinansahin.com

7.9

← Soru

Kilometre başına basınç düşüşü $V = 4\dot V/(\pi D^2)$ yazılarak çapa bağlanır:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{f}{D}\frac{\rho V^2}{2} = \frac{8f\rho\dot V^2}{\pi^2 D^5}.$$

a. $\Delta P/L = 45$ Pa/m için:

$$D = \left(\frac{8\rho\dot V^2}{\pi^2(45)}f\right)^{1/5} = (0.1226\,f)^{1/5}.$$

f çapa bağlıdır; ardışık yaklaşım: $f = 0.016$ tahmini $D = 0.2874$ m verir. Bu çapta $V = 1.387$ m/s, $Re = VD/\nu = 1.33\times10^5$, $\varepsilon/D = 1.57\times10^{-4}$ ve Haaland $f = 0.01765$ verir. Yeni f ile $D = 0.2931$ m, $Re = 1.30\times10^5$, $f = 0.01770$; bir adım daha:

$$D = [(0.1226)(0.01770)]^{1/5} = 0.2933\ \text{m}.$$

Akış türbülanslıdır ($Re \approx 1.3\times10^5$). En küçük çap 0.293 m'dir.

b. 250 mm yetmez; 300 mm seçilir:

$$V = \frac{4(0.09)}{\pi(0.30)^2} = 1.273\ \text{m/s}, \quad Re = 1.27\times10^5.$$

$\varepsilon/D = 1.5\times10^{-4}$; Haaland'da logaritmanın içi $1.333\times10^{-5} + 5.419\times10^{-5} = 6.752\times10^{-5}$'tir:

$$\frac{1}{\sqrt f} = -1.8\log\left(6.752\times10^{-5}\right) = 7.507,$$

$$f = 0.01774.$$

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{0.01774}{0.30}(680.9) = 40.26\ \text{Pa/m} \approx 40.3\ \text{kPa/km}$$

($\rho V^2/2 = 680.9$ Pa); ölçüt sağlanır.

c. Hattın toplam basınç düşüşü:

$$\Delta P = (40.26)(160) = 6442\ \text{kPa} = 6.44\ \text{MPa}.$$

Bu, bir istasyonun 6 MPa'lık sınırını aşar; **2 istasyon** gerekir (her biri yaklaşık 3.2 MPa). Toplam güç:

$$\dot W = \dot V\Delta P = (0.09)(6.442\times10^6) = 580\ \text{kW}.$$

350 mm'lik boru basınç düşüşünü yaklaşık yarıya (D^{-5} ile) indirir ve tek istasyon yeterdi; seçim, boru maliyeti ile pompa istasyonu ve enerji maliyeti arasındaki dengedir.

CEVAP a. $D_{\min} = 0.293$ m b. 300 mm; 40.3 kPa/km c. 6.44 MPa, 2 istasyon; 580 kW

7.20 ← Soru

Enerji denklemi gölet yüzeyi (1) ile dağıtım hattı girişi (2) arasında yazılır:

$$h_{\text{pompa}} = (z_2 - z_1) + \frac{P_2}{\rho g} + \left(1 + f\frac{L}{D} + \Sigma K_L\right)\frac{V^2}{2g}.$$

a. Statik yük $60 + 600\,000/[(1000)(9.81)] = 121.2$ m. $V = \dot{V}/A$ ile ($2gA^2 = 6.127 \times 10^{-3}$ m^5/s^2):

$$h_{\text{sistem}} = 121.2 + \frac{1 + 9333f + 8}{6.127 \times 10^{-3}}\dot{V}^2.$$

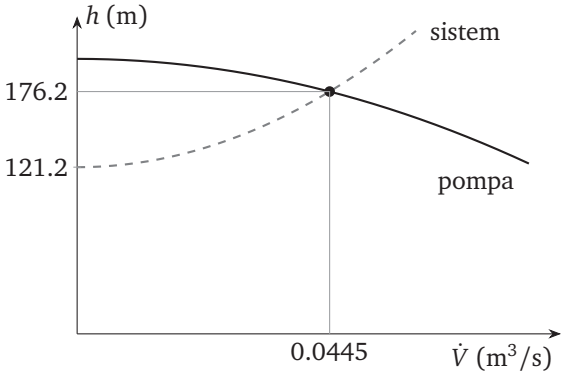
f debiye bağlıdır; $f = 0.017$ tahminiyle katsayı 2.737×10^4 olur. Pompa eğrisiyle eşitlenirse

$$\dot{V} = \sqrt{\frac{200 - 121.2}{1.2 \times 10^4 + 2.737 \times 10^4}} = 0.0447 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Bu debide $V = 2.53$ m/s, $Re = 2.27 \times 10^5$ (türbülanslı) ve Haaland $f = 0.01726$ verir. Katsayı $2.776 \times 10^4 \approx 2.78 \times 10^4$ olur ve yeni debi 0.0445 m^3/s'dir; bir adım daha değiştirmez ($Re = 2.26 \times 10^5$, $f = 0.01727$). İşletme noktası:

$$\dot{V} = 0.0445 \text{ m}^3/\text{s} = 44.5 \text{ L/s},$$

$$h = 200 - 1.2 \times 10^4(0.0445)^2 = 176.2 \approx 176 \text{ m}.$$



b. Mil gücü:

$$\dot{W}_{\text{mil}} = \frac{\rho g \dot{V} h}{\eta} = \frac{(1000)(9.81)(0.0445)(176.2)}{0.74},$$

$$\dot{W}_{\text{mil}} = 104 \text{ kW}.$$

c. $0.0445/0.008 = 5.56$: en çok **5 tabanca** tam basınçla çalışır. Altıncı tabanca açılırsa debi ihtiyacı işletme noktasını aşar; pompa yükü düşer ve tabancalardaki basınç 600 kPa'nın altına iner.

CEVAP a. $h_{\text{sis}} = 121.2 + 2.78 \times 10^4\,\dot{V}^2$; $\dot{V} = 44.5$ L/s, $h = 176$ m b. 104 kW c. 5 tabanca

ertansinansahin.com

KİTABIN TAMAMINDA

- 7 ünite, 152 soru ve hepsinin adım adım çözümü.
- Her ünitenin başında, soruların dayandığı bağıntıları özetleyen hatırlatma kutusu.
- Temel, orta ve ileri düzeyde sorular; her sorunun altında kendi çözümünüz için noktalı alan.
- Sorudan çözüme, çözümden soruya tek tıkla geçiş.

ertansinansahin.com