

POMPALAR

1. BORULARDA AKIŞ

Borularda akış esnasında basınç düşmesi ve yük kaybı ile doğrudan ilişkili olan sürtünmeye özel önem göstermek gerekir. Çünkü bu basınç düşmesi pompalama gücü ihtiyacını belirlemek için kullanılır. Borulama sisteminde kullanılacak pompanın gücünün belirlenmesi borulardaki akış kayıplarının yanında devre üzerindeki dirsek sayısı ve açısı, valflerin tipleri ve sayısı, boruların devreye bağlanma açısı gibi pek çok parametreye bağlıdır.

1.1 Laminer ve Türbülans Akış

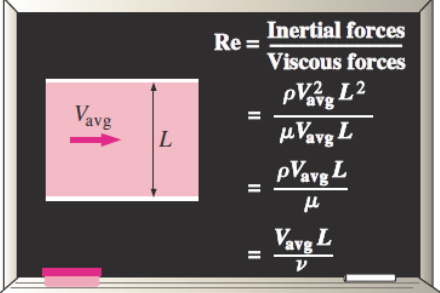
Akışın karakteristiği, basınç kayıpları ve eğer bu sistem soğutma sistemi ise ısı transfer etkinliği üzerinde ve borulama sisteminde kullanılacak pompanın gücü üzerinde etkili olduğu için önemlidir. Akışkan düşük hızlarda akım çizgisi halinde, yüksek hızlarda ise karmaşıktır. Akım çizgilerinin düzgün olduğu birinci haldeki akışa **laminer** akış, akışın çalkantılı olduğu haldeki akışa ise **türbülanslı akış** denir.

Türbülanslı akıştaki hızlı değişimlerin sonucunda akışkanın yoğun bir şekilde karışması akışkan parçacıkları arasındaki momentum geçişini artırır. Buda yüzeydeki sürtünme kuvvetlerini ve dolayısıyla gerekli pompa gücünü artırır.

1.1.1 Reynolds Sayısı

Akışın laminardan türbülanslı akışa geçişi geometri,yüzey pürüzlülüğü, akış hızı, yüzey sıcaklığı,akışkan türü vb. gibi pek çok parametreye bağlıdır. Akışın karakteristiği hem pompalama gücünün belirlenmesi hemde ısı etkinliği üzerinde etkili olduğu için Reynolds tarafından akışın karakteristiği tanımlanmıştır. Akışın karakteristiği Reynold sayısına göre belirlenir. Dairesel kesitli borularda Reynolds sayısı:

$$Re = \frac{\text{Atalet Kuvvetleri}}{\text{Viskoz. Kuvvetler}} = \frac{V_{ort}.D}{\nu} = \frac{\rho V_{ort}.D}{\mu} \quad (1)$$


$$Re = \frac{\text{Inertial forces}}{\text{Viscous forces}} = \frac{\rho V_{avg}^2 L^2}{\mu V_{avg} L} = \frac{\rho V_{avg} L}{\mu} = \frac{V_{avg} L}{\nu}$$

Büyük Reynolds sayılarında akışkanın yoğunluğu ve akışkanın hızının karesi ile orantılı olan atalet kuvvetleri, viskoz kuvvetlere göre daha büyüktür. Bundan dolayı viskoz kuvvetler akışın çalkantılı akışına engel olamazlar. Ancak düşük hızlarda viskoz kuvvetler akışın çalkantılı akışına engel olurlar. Akışın türbülanslı olmaya başladığı reynolds sayısına **kritik Reynolds sayısı(Re_{kr})** denir. Borular için kritik Reynolds sayısı Re_{kr}=2300 dür. Reynold sayısının boyutsuz olduğu unutulmamalıdır. Dairesel kesitli borular için akış karakteristiği şu şekilde belirtilir.

$Re \leq 2300$	Laminer akış
$2300 \leq Re \leq 4000$	Geçiş akışı
$Re \geq 4000$	Türbülanslı akış

1.2 Borularda Laminer Akış İçin Basınç Düşmesi ve Yük Kaybı

1.2.1 Yatay borularda Basınç Düşmesi ve Yük Kaybı

Borularda basınç düşmesi ΔP , fan ve pompaların güç hesabıyla doğrudan ilgilidir. Artan basınç kaybı pompa tarafından karşılanması gereken kayıp enerji olarak değerlendirilebilir. Bu daha güçlü elektrik motoru ve daha fazla enerji sarfiyatı anlamına gelir. Gemilerde enerji verimliliği dikkate alındığında pompalama sisteminde basınç düşmesine neden alan tüm kayıpların minimize edilmesi önem arz eder.

Boruda ortalama akış V_{ort} :

$$V_{avg} = \frac{R^2}{8\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \quad (2)$$

Basınç Düşmesi ΔP :

$$\frac{dP}{dx} = \frac{P_2 - P_1}{L} \quad (3)$$

Laminer akış için basınç düşmesi:

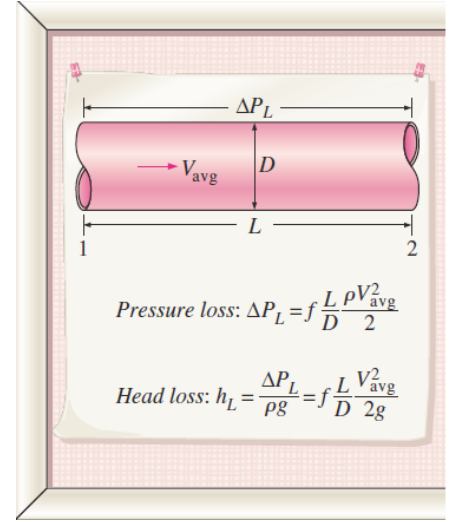
$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{8\mu L V_{ort}}{R^2} = \frac{32\mu L V_{ort}}{D^2} \quad (4)$$

Burada R, boru yarı çapı, D boru çapı, μ ise akışkanın viskozitesidir. Denklem (4) incelendiğinde basınç düşmesinin akışkanın viskozitesiyle doğru olduğu ve sürtünme yoksa basınç düşmesinin olmayacağı görülmektedir. O halde viskoz akışlarda basınç düşmesinin çok artacağını ve pompa gücünün de büyüyeceğine dikkat edilmelidir. Denklem (4), çapı D, uzunluğu L olan boru içerisinde viskozitesi μ olan bir akışkanın

Uygulamada, tam gelişmiş tüm akış türleri (laminer veya türbülanslı) dairesel veya dairesel olmayan borular, pürüzlü veya pürüzsüz yüzeyler veya eğimli borular için basınç kaybı

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{ort}^2}{2} \quad (5)$$

Biçiminde gösterilir. Burada $\rho V_{ort}^2/2$ ifadesi dinamik basınç, f ise Darcy sürtünme faktörüdür. Dairesel borudaki tam gelişmiş laminer akış için için sürtünme faktörü



Şekil 2. Borularda basınç ve yük kaybı

$$f = \frac{64\mu}{\rho D V_{ort}} = \frac{64}{Re} \quad (6)$$

Bu denklem laminer akışta sürtünme faktörünün sadece Reynold sayısının bir fonksiyonu olduğunu ve boru yüzeylerindeki pürüzlülükten bağımsız olduğunu göstermektedir. Bu durum aynı zamanda hızın belirli değerin altında olması durumunda akış sürtünmelerin azalacağını da bir göstergesidir. Bu aynı zamanda gemilerde enerji verimliliği açısından pompaların düşük ve yüksek yüklerde farklı hızlarda çalıştırılması durumunda enerji tasarrufu sağlanacağını da göstermektedir.

Borulama sistemlerinde basınç kayıpları genelde yük kayıpları h_K denen eşdeğer akışkan sütun yüksekliği cinsinden ifade edilir. $\Delta P_K = \rho g h_K$ olduğu dikkate alındığında basınç kaybından kaynaklanan m cinsinden yük kaybı h_K ,

$$h_K = \frac{\Delta P_K}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V_{ort}^2}{2g} \quad (7)$$

Tekrar hatırlayacak olursak yük kaybı h_K , borudaki sürtünmeden kaynaklanan kayıpları yenmek için akışkanın pompa tarafından çıkarılması gereken ilave yüksekliği temsil eder. Basınç kaybı (veya yük kaybı) belirlendikten sonra basınç kaybını yenmek için gereken pompalama gücü,

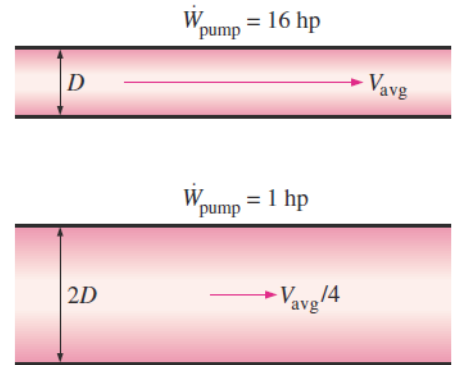
$$\dot{W}_{pompaK} = \dot{V} \cdot \Delta P_K = \dot{V} \rho g h_K = \dot{m} g h_K \quad (8)$$

Yatay borudaki laminer akış için

$$V_{ort} = \frac{(P_1 - P_2) R^2}{8\mu L} = \frac{(P_1 - P_2) D^2}{32\mu L} = \frac{\Delta P \cdot D^2}{32\mu L} \quad (9)$$

Çapı D ve uzunluğu L olan yatay borunun debisi, \dot{V} :

$$\dot{V} = V_{ort} \cdot A_c = \frac{\Delta P \cdot D^2}{32\mu L} \cdot \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\Delta P \pi D^4}{128\mu L} \quad (10)$$



Şekil 3. Boru çapını iki kat büyütmeyle gerekli pompa gücü 1/16 kat azalabilir.

Denklem (10) incelendiğinde verilen bir debi için basınç düşmesi nedeniyle gerekli pompalama gücü, borunun uzunluğu ve viskozitesi ile doğru orantılı, boru çapının dördüncü kuvvetiyle ters orantılı olarak artar. Burada dikkat edilmesi gereken husus çap büyütmeyle elde edilen kazancın boru maliyetinden fazla olması gerektiğidir.

Boru çapı eşit olan yatay konumlandırılmış borularda basınç düşmesi basınç kaybına eşittir. Ancak, eğimli borularda ve giriş çıkış kesiti farklı olan borularda basınç düşmesi (ΔP), basınç kaybına ($\Delta P_K = \rho g h_K$) eşit değildir.

1.2.2 Eğimli borularda Basınç Düşmesi ve Yük Kaybı

Eğimli borulardaki laminer akışa ait ortalama hız ve hacimsel debi sırasıyla

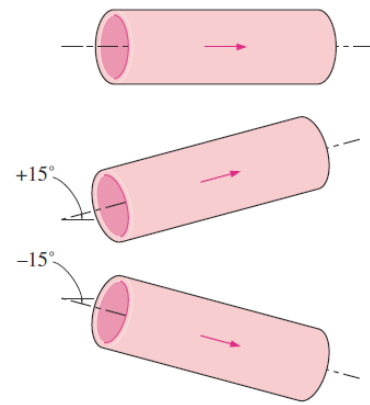
$$V_{ort} = \frac{(\Delta P - \rho g L \sin \theta) D^2}{32 \mu L} \quad (11)$$

$$\dot{V} = \frac{(\Delta P - \rho g L \sin \theta) \pi D^4}{128 \mu L} \quad (12)$$

Burada, *yukarı yönlü akış için $\theta > 0$ ve dolayısıyla $\sin \theta > 0$; aşağı yönlü akış için ise borularda $\theta < 0$ ve dolayısıyla $\sin \theta < 0$ olduğuna* dikkat edilmelidir. Eğimli borularda akışı oluşturan basınç farkı ve yerçekiminin birleşik etkileridir. Yerçekimi, aşağı yönlü akışı kolaylaştırır, fakat yukarı yönlü akışı zorlaştırır. Bu nedenle yukarı yönlü akışın devamını sağlamak için daha fazla daha büyük basınç farkları uygulamak gerekir. Gazların yoğunluğu düşük olduğu için bu durum sadece sıvılar içindir. Akışın olmadığı özel durumda ($\dot{V} = 0$), $\Delta P = \rho g L \sin \theta$ olmaktadır.

Örnek1.1 Yatay ve Eğimli Borulardaki debiler

20 °C sıcaklığındaki yağ ($\rho=888 \text{ kg/m}^3$ ve $\mu=0.8 \text{ kg/m.s}$) 5 cm çapında, 40 m uzunluğundaki borudan daimi olarak akmaktadır (Şekil 4). Borunun giriş ve çıkışındaki basınçlar sırasıyla 745 ve 97 kPa olarak ölçülmüştür. Borunun a) Yatay b) 15° yukarı eğimli c) 15° aşağı eğimli olduğunu kabul ederek borudan geçen yağın debisini hesaplayınız.



Şekil 4

Çözüm.

Boru boyunca meydana gelen basınç düşmesi

$$\Delta P = P_1 - P = 745 - 97 = 648 \text{ kPa}$$

$$A_c = \pi D^2 / 4 = \pi (0.05 \text{ m})^2 / 4 = 0.001963 \text{ m}^2$$

a) Üç durum içinde Denklem 12 kullanılabilir.

$$\dot{V} = \frac{(\Delta P - \rho g L \sin \theta) \pi D^4}{128 \mu L}$$

Yatay boru için $\theta = 0$ debi ifadesi

$$\begin{aligned} \dot{V}_{yatay} &= \frac{\Delta P \pi D^4}{128 \mu L} = \frac{(648 \text{ kPa}) \pi (0.05 \text{ m})^4}{128 (0.800 \text{ kg/m.s}) (40 \text{ m})} \left(\frac{1000 \text{ N/m}^2}{1 \text{ kPa}} \right) \left(\frac{1 \text{ kg.m/s}^2}{1 \text{ N}} \right) \\ &= 0.00311 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

b) 15° lik açı ile yukarı yönlü akışta, $\theta = +15^\circ$ dir. Ve

$$\dot{V}_{yukarı} = \frac{(\Delta P - \rho g L \sin \theta) \pi D^4}{128 \mu L} = \frac{[648000 Pa - (888 kg / m^3)(40 m) \sin 15^\circ] \pi (0.05 m)^4}{128 (0.800 kg / m.s)(40 m)} \left(\frac{1 kg.m / s^2}{1 N} \right)$$

$$= 0.00267 m^3/s$$

c) 15° lik açı ile aşağı yönlü akışta, $\theta = -15^\circ$ dir

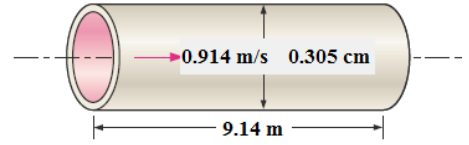
$$\dot{V}_{yukarı} = \frac{(\Delta P - \rho g L \sin \theta) \pi D^4}{128 \mu L} = \frac{[648000 Pa - (888 kg / m^3)(40 m) \sin(-15^\circ)] \pi (0.05 m)^4}{128 (0.800 kg / m.s)(40 m)} \left(\frac{1 kg.m / s^2}{1 N} \right)$$

$$= 0.00354 m^3/s$$

Beklendiği gibi yerçekimin etkisi nedeniyle en yüksek debi aşağı eğimli boruda çıkmıştır. Bu durum yatay borudaki akıştaki sıvı debisini basmak için daha az enerji harcayacağı anlamına gelir. Benzer şekilde yatayla aynı debiye ulaşmak için yukarı eğimli borudan geçen akışkanın basılması için daha fazla enerjiye ihtiyaç vardır. Boru tamamen düşey hale geldiğinde $P_1 = P_2 = 97$ kPa olacak ve sıvı $0.00043 m^3/s$ debi ile akacaktır.

Örnek 2. Bir Borudaki Basınç Düşmesi ve Yük Kaybı

$4^\circ C$ ' deki su ($\rho = 1000 kg/m^3$ ve $\mu = 0.001545 kg/m.s$), 0.305 cm çapında ve 9.14 m uzunluğundaki yatay



borudan daimi olarak 0.914 m/s ortalama hızıyla akmaktadır. a)Yük kaybını, b) Basınç düşmesini, c) Basınç düşmesini yenmek için gerekli pompa gücünü hesaplayınız.

Çözüm.

a) Akış rejimini belirlemek için Re sayısının hesaplanması gerekir.

$$Re = \frac{\rho V_{ort} D}{\mu} = \frac{(1000 kg / m^3) \cdot (0.914 m / s) \cdot (0.00305 m)}{0.001545} = 1805$$

$Re < 2300$ olduğu için akış laminerdir. Laminer akış için sürtünme faktörü ve yük kaybı ise

$$f = \frac{64 \mu}{\rho D V_{ort}} = \frac{64}{1804} = 0.0355$$

$$h_K = \frac{\Delta P_K}{\rho g} = f \frac{L V_{ort}^2}{D 2g} = 0.0355 \frac{9.14 m (0.914 m / s)^2}{0.00305 m 2(2.81 m / s^2)} = 4.53 m$$

b) Borunun yatay konumda ve çapının sabit olduğunu, ayrıca borudaki basınç düşmesinin tamamen sürtünme kayıplarından kaynaklandığını ve bunun basınç kayıplarına eşit olduğunu dikkate aldığımızda,

$$\Delta P = \Delta P_K = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{ort}^2}{2} = 0.0355 \frac{9.14m}{0.00305m} \frac{(1000kg/m^3)(0.914m/s)^2}{2(2.81m/s^2)} = 44436Pa$$

c) Hacimsel debi ve gerekli pompalama gücü

$$\dot{V} = V_{ort} \cdot A_c = (0.914m/s) \cdot \pi (0.00305m)^2 / 4 = 6.678 \times 10^{-6} m^3 / s$$

$$\dot{W}_{pompa} = \dot{V} \cdot \Delta P = 6.678 \times 10^{-6} (m^3 / s) (44436Pa) \approx 0.30 W$$

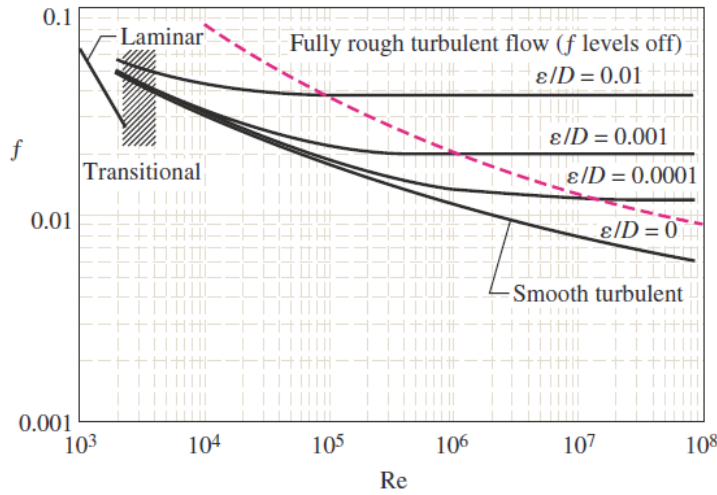
Viskozite kayıplarını yenmek için verilmesi gereken güç 0.30 W'tır. Tersinmez yük kayıplarını yenmek için pompa ilave olarak 4.53m lik su yükünü karşılamalıdır.

1.3 Borularda Türbülans Akış İçin Basınç Düşmesi ve Yük Kaybı

Türbülanslı akışta boru içerisinde akışta sürtünme Reynold sayısına ve boru pürüzlülüğünün ortalama yüksekliğinin boru çapına oranı olan bağıl pürüzlülük ϵ/D 'ye bağlıdır. Türbülanslı akışın bu bağımlılığı teorik olarak ifade edilemediği için ampirik bağıntılar kullanılmaktadır. Coolbrook, pürüzlü ve pürüzsüz borularda geçiş ve türbülans akışlar için mevcut olan bilgileri birleştirmiş ve Coolbrook denklemi olarak adlandırılan aşağıdaki kapalı denklemi elde etmiştir:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (13)$$

Coolbrook denklemi kullanılarak f ve Re ye bağlı olarak çizilmiş diyagrama **Moody Diagramı** denmektedir.



Şekil 5. Moody Diyagramı

Şekil 5 incelendiğinde çok büyük Reynolds sayılarında, Moody diyagramındaki sürtünme faktörü eğrileri hemen hemen yataydır ve dolayısıyla sürtünme faktörleri Reynolds sayısından

bağımsızdır. Denklem 13 teki Coolbrook denklemi f 'ye göre kapalı bir fonksiyon olduğu için iterasyon gerektirmektedir. f nin yaklaşık yaklaşık açık bağıntısı şu şekilde verilmektedir.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right] \quad (14)$$

Boru akışıyla ilgili problemler 3 ana grupta toplanabilir:

1. Verilen bir debi (veya hız) için boru uzunluğu ve çapı verildiğinde **basınç düşüşünün** (veya yük kaybının) hesaplanması
2. Verilen bir basınç düşüşü (veya yük kaybı) için boru uzunluğu ve çapı verildiğinde **debinin** hesaplanması
3. Verilen bir basınç düşüşü (veya yük kaybı) için boru uzunluğu ve debi verildiğinde **boru çapının** hesaplanması

Problem type	Given	Find
1	L, D, \dot{V}	ΔP (or h_L)
2	$L, D, \Delta P$	\dot{V}
3	$L, \Delta P, \dot{V}$	D

İterasyon olmaksızın açık olarak yukarıda belirtilen üç tip problemin (yük kaybı,debi ve çap) hesaplamaları için önerilen denklemler:

$$h_K = 1.07 \frac{\dot{V}L}{gD^5} \left\{ \ln \left[\frac{\varepsilon}{3.7D} + 4.62 \left(\frac{\nu D}{\dot{V}} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2} \quad \begin{array}{l} 10^{-6} < \varepsilon/D < 10^{-2} \\ 3000 < Re < 3 \times 10^8 \end{array}$$

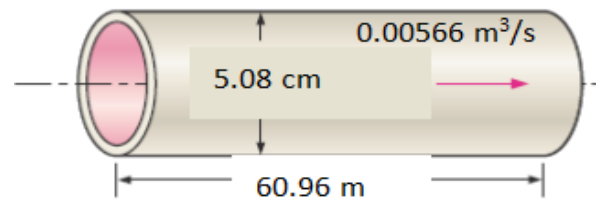
$$\dot{V} = -0.965 \left(\frac{gD^5 h_K}{L} \right)^{0.5} \ln \left[\frac{\varepsilon}{3.7D} + \left(\frac{3.17 \nu^2 L}{gD^3 h_K} \right)^{0.5} \right] \quad Re > 2000$$

$$D = 0.66 \left[\varepsilon^{1.25} \left(\frac{L \dot{V}^2}{g h_K} \right)^{4.75} + \nu \dot{V}^{9.4} \left(\frac{L}{g h_K} \right)^{5.2} \right]^{0.4} \quad \begin{array}{l} 10^{-6} < \varepsilon/D < 10^{-2} \\ 5000 < Re < 3 \times 10^8 \end{array}$$

Yukarıda verilen bağıntılar Moody Diyagramı'ndan %2 farklıdır.

Örnek 3. Bir Su Borusundaki Yük Kaybının Belirlenmesi

Sıcaklığı 15.6 C olan su ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ ve $\mu=0.001545 \text{ kg/m.s}$), 5.08 cm çaplı paslanma çelikten yapılmış yatay boruda 0.00566 m³/s debi ile daimi olarak akmaktadır. Borunun 60.96 m'lik kısmı boyunca akıştaki basınç düşüşünü, yük kaybını ve gerekli pompalama gücünü hesaplayınız.



Çözüm: Akış rejimini bulmak için hız ve Re

sayısının bulunması gerekir.

$$V = \frac{\dot{V}}{A_c} = \frac{\dot{V}}{\pi D^2 / 4} = \frac{0.00566 \text{ m}^3 / \text{s}}{\pi (0.0508)^2 / 4} = 2.79 \text{ m} / \text{s}$$

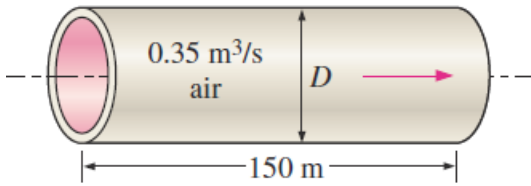
$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{(999 \text{ kg} / \text{m}^3)(2.79 \text{ m} / \text{s})(0.0508 \text{ m})}{0.00112 \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{s}} = 126420$$

Re değeri 4000' den büyük olduğu için akış türbülanslıdır. Borunun pürüzlülüğü

$$\varepsilon / D = \frac{0.02 \times 10^{-6} \text{ m}}{0.0508 \text{ m}} = 39.4 \times 10^{-6}$$

Bağıl pürüzlülük ve Re sayısı değerine karşılık gelen sürtünme faktörü Moody diyagramından bulunabilir. Herhangi okuma hatasından kurtulmak için f Colebrook denkleminde hesaplanabilir.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{39.4 \times 10^{-6}}{3.7} + \frac{2.51}{126420 \sqrt{f}} \right)$$



İterasyonla $f=0.0174$ olarak bulunur. Buna göre basınç düşüşü (bu durumda basınç kaybına eşdeğerdir), yük kaybı ve gerekli güç aşağıdaki gibi olur.

$$\Delta P = \Delta P_K = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{ort}^2}{2} = 0.0174 \frac{60.96 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}} \frac{(999 \text{ kg} / \text{m}^3)(2.74 \text{ m} / \text{s})^2}{2(2.81 \text{ m} / \text{s}^2)}$$

$$h_K = \frac{\Delta P_K}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V_{ort}^2}{2g} = 0.0174 \frac{60.96 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}} \frac{(2.74 \text{ m} / \text{s})^2}{2(2.81 \text{ m} / \text{s}^2)} = 8.28 \text{ m}$$

$$\dot{W}_{pompa} = \dot{V} \cdot \Delta P = (0.00566 \text{ m}^3 / \text{s})(81185 \text{ Pa}) = 460 \text{ W}$$

Örnek4. Bir hava kanalının Çapının Belirlenmesi

1 atm ve 35 °C' de olan ısıtılmış hava, 150 m uzunluğundaki dairesel plastik kanalda 0.35 m³/s'lik debi ile taşınmaktadır. Borudaki yük kaybının 20 m'yi aşması istenmediğine göre minimum kanal çapını hesaplayınız.

Çözüm: 35 °C' deki havanın yoğunluğu $\rho = 1.145 \text{ kg} / \text{m}^3$, Dinamik viskozite $\mu = 1.895 \times 10^{-5} \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{s}$ ve $\nu = 1.655 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$.

Kabul:1) Kanalda dönüş, vana ve bağlantı elemanı gibi parça yoktur. 2)Kanal plastikten yapıldığı için pürüzsüzdür. 3) Akış sıkıştırılmazdır. 4) Hava ideal gazdır. 5) Akış türbülanslıdır.

Swamee-Jain Denklemi ile çözüm:

$$D = 0.66 \left[\varepsilon^{1.25} \left(\frac{L \dot{V}^2}{gh_K} \right)^{4.75} + \nu \dot{V}^{9.4} \left(\frac{L}{gh_K} \right)^{5.2} \right]^{0.04}$$

$$D = 0.66 \left[0 + (1.655 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}) (0.35 \text{ m}^3 / \text{s})^{9.4} \left(\frac{150 \text{ m}}{(9.81 \text{ m}^2 / \text{s}) (20 \text{ m})} \right)^{5.2} \right]^{0.04}$$

$$= 0.271 \text{ m}$$

İrdeleme. Bu sonuca göre, yük kaybının 20 m nin altında olması istenmiyorsa kanal çapının 0.271 m nin altında yapılmaması gerekmektedir.

1.4 Yerel Kayıplar

Gemilerde pek çok devre ve bu devrelerle ilgili boru ve bağlantı elemanlarından oluşur. Bu elemanlar, farklı tipte valfler, farklı eğim ve çapta dirsekler (90°, T dirsek vs.), ani genişleme ve daralmalar bunlar arasında sayılabilir. Çok uzun borulama sistemlerinde akışkanın boru boyunca akması esnasında oluşan akış kayıplarına oranla bağlantı elemanlarının oluşturacağı kayıplar düşük kalabilir. Ancak küçük sistemlerde bağlantı elemanlarının kayıpları akış kayıplarının üzerine çıkabilir. Bazen operasyonel hatalarda bu yerel kayıpların önemli seviyelere çıkmasına neden olabilir.

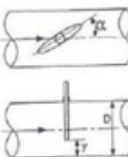
Yerel kayıplar çoğunlukla **kayıp katsayısı** K_K cinsinden şöyle ifade edilirler

$$K_K = \frac{h_K}{V^2 / 2g}$$

Kayıp katsayısı, *yerel kayba neden olan elemanın yol açtığı ilave basınç kaybının dinamik basınca bölünmesiyle bulunur.* Diğer bir ifade

$$K_K = \frac{h_K}{V^2 / 2g} = \frac{\Delta P_K}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

$\Delta P_K = \rho g h_K$ olduğu hatırlanmalıdır. Yerel kayıplar akış kayıplarında olduğu gibi eşdeğer boru uzunluğu cinsinden ifade edilebilir. Bu kabulde, kayba neden olan yerel kaybın basınç düşümüne neden olan uçları arasına sanal bir boru yerleştirilir. Yerel kayıp, sanal borunun neden olacağı kayıptan çıkarılır. Gerek yerel gerekse akış kayıpları ortak olarak toplam yük kaybı olarak şu şekilde ifade edilirler:



Kelebek vana								
α (°)	0	10	20	30	40	50	60	70
K	0.2	0.7	0.7	2	7	20	60	300

Sürgülü vana								
y/D	1.	3/4	5/8	1/2	3/8	1/4	1/8	
K	0.15	0.3	0.8	2.1	5.5	17.	96	

Şekil 5. Valflerin açıklık durumları yerel kayıpların tam açık duruma göre 1500 kata kadar artmasına neden olabilmektedir.

Toplam yük kaybı:

$$h_{K,toplam} = h_{K, akış} + h_{K,yerel}$$

$$h_{K,toplam} = \sum_i f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{V_i^2}{2g} + \sum_j K_{K,j} \frac{V_j^2}{2g}$$

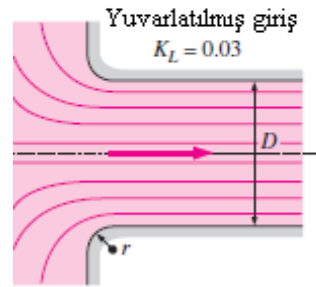
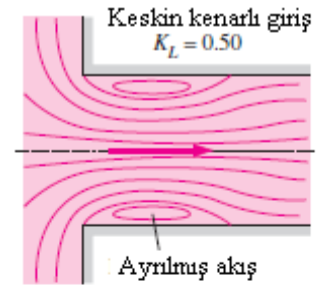
D = sbt ise

$$h_{K,toplam} = \left(f \frac{L}{D} + \sum K_{K,j} \right) \frac{V^2}{2g}$$

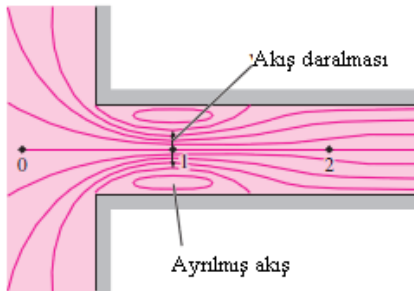
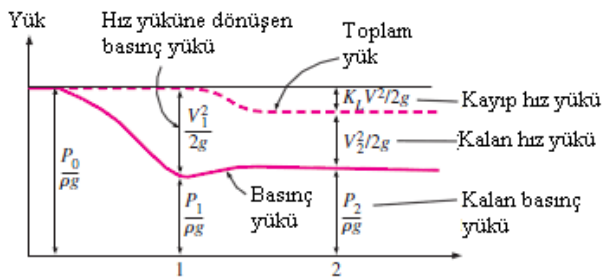
Olacaktır.

Genelde kayıp katsayıları, boru çapı, yüzey pürüzlülüğü, Reynolds sayısı ve tasarım ayrıntılarına göre değişim gösterir. Benzer şekilde boru giriş ve çıkışındaki geometri yük kaybını doğrudan etkiler. Bu kayıp yuvarlak girişler için ihmal edilebilir.

Şekil 6 da görüleceği gibi, akışkan kesik kenarlı girişlerde hız yükünün yarsına kadar kaybedebilir. Bu nedenle boru bağlantılarında keskin kenarlardan kaçınmak gerekir. Keskin kenarlı köşelerde akış ayrılmaları olur ve akış borunun orta kısmında ortaya çıkan daralmış kesit içerisine sıkışır. Bundan dolayı keskin kenarlı keskin kenarlı giriş akış kısıtlayıcısı gibi davranır.

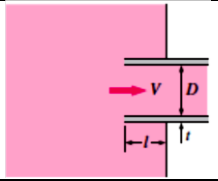
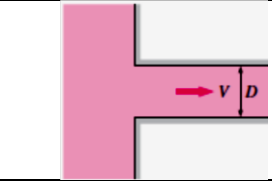
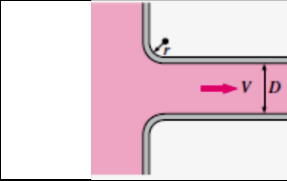
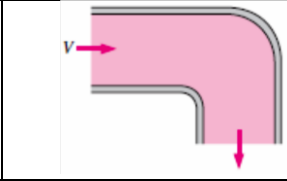
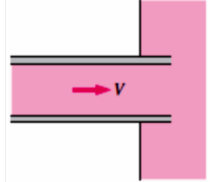
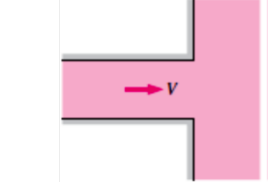
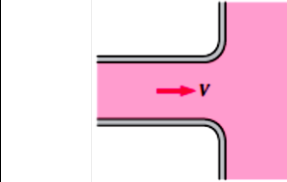
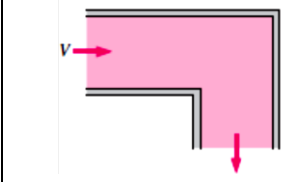

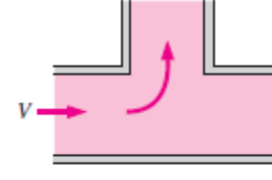
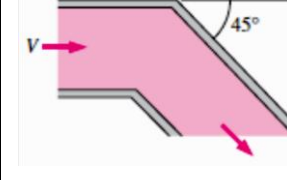
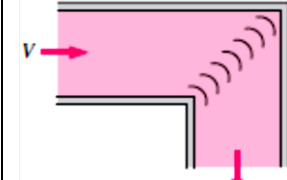
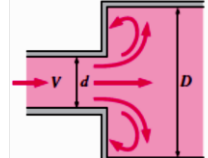
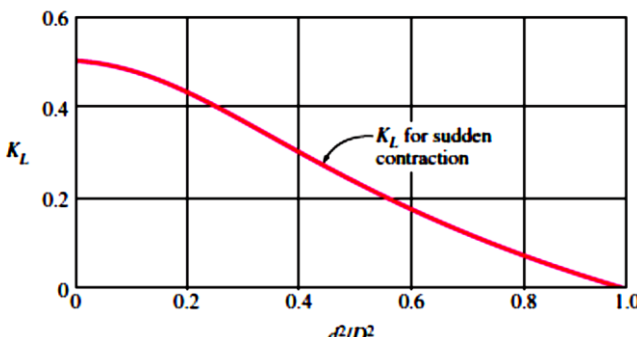
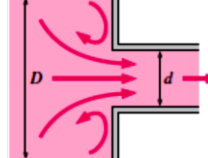
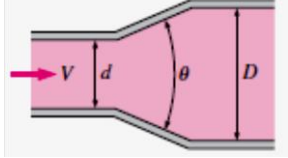
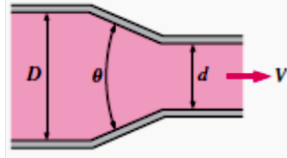


Şekil 6. Boru girişlerinde yük kaybı. $r/D > 0.2$ için kayıp ihmal edilebilir.



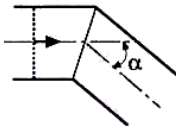
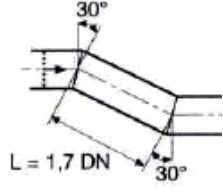
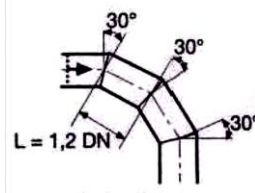
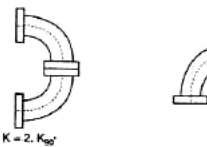
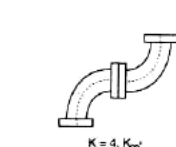
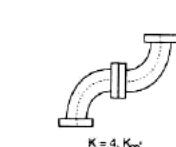
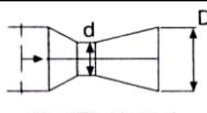
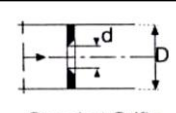
Şekil 7. Keskin kenarlı girişlerde basınç yükü hız yüküne dönüşür. Kesit çıkışında kaybolan basınç yeniden kazanılmaz ve kayıp ısıya dönüşerek kalıcı kayıplara neden olur.

Tablo 1. Yerel kayıp katsayılarının çeşitli boru bağlantılarına göre değerleri


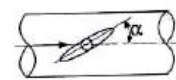
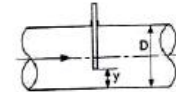
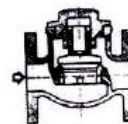
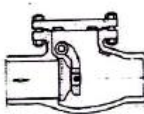
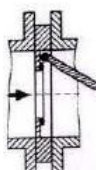
Boru girişi Çıkıntılı giriş: $K_K=0.8$ $t \ll D$ ve $l \approx 0.1D$	Keskin kenarlı $K_K=0.5$	İyi yuvarlatılmış ($r/D > 0.2$); $K_K=0.03$ Hafif yuvarlatılmış, ($r/D = 0.1$); $K_K=0.12$	90° düzgün dönüşlü boru Flanşlı: $K_K=0.3$ Diş açılmış: $K_K=0.9$
			
Boru Çıkışı Çıkıntılı çıkış: $K_K=\alpha^*$	Keskin kenarlı $K_K=\alpha$	Yuvarlatılmış, $K_K=\alpha$	90° keskin dönüşlü boru (kanatsız) $K_K=1.1$
			
180° dönüşlü Flanşlı: $K_K=0.3$ Diş açılmış: $K_K=1.5$	T bağlantı (dallanan akış) Flanşlı: $K_K=1.0$ Diş açılmış: $K_K=2.0$	45° diş açılmış dirsek $K_K=0.4$	90° dönüş (kanallı) $K_K=0.2$
			
Ani genişleme ve daralma			
Ani genişleme:	$K_L = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$		
Ani genişleme			
Ani daralma			
Yavaş genişleme ve daralma			
Genişleme $\theta=20^\circ$	Daralma		
$d/D=0.2$ için $K_K=0.30$ $d/D=0.2$ için $K_K=0.25$ $d/D=0.2$ için $K_K=0.15$ $d/D=0.2$ için $K_K=0.10$		$\theta=20^\circ$ için $K_K=0.02$ $\theta=45^\circ$ için $K_K=0.04$ $\theta=60^\circ$ için $K_K=0.07$	

*: Kinetik enerji düzeltme faktörü. $\alpha=2$ (tam gelişmiş laminer akım), $\alpha=1.05$ (tam gelişmiş türbülans akış)

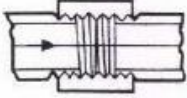
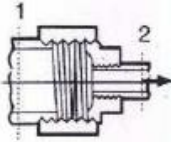


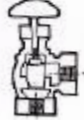

(Tablo 1. Devam)

		Kaynaklı, parçalı dirsekler																										
		DN (mm)																										
		25	50	100	200	400																						
	K	$\alpha=30^\circ$	0,18	0,15	0,14	0,11	0,10																					
		$\alpha=45^\circ$	0,35	0,29	0,26	0,21	0,20																					
		$\alpha=60^\circ$	0,58	0,48	0,43	0,35	0,33																					
		$\alpha=75^\circ$	0,92	0,76	0,68	0,56	0,52																					
		$\alpha=90^\circ$	1,38	1,14	1,02	0,84	0,78																					
Seri Bağlı Dirsekler(k_{90} : 90° bir dirseğin kayıp katsayısı)		 L = 1,7 DN K = 0,38			 L = 1,2 DN K = 0,35																							
 K = 2. K_{90}		 K = 3. K_{90}		 K = 4. K_{90}		<table border="1"> <thead> <tr> <th>d/D</th> <th>0.3</th> <th>0.4</th> <th>0.5</th> <th>0.6</th> <th>0.7</th> <th>0.8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K Kısa venturi</td> <td>21</td> <td>6</td> <td>2</td> <td>0.7</td> <td>0.3</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>K Standart orifis</td> <td>300</td> <td>85</td> <td>30</td> <td>12</td> <td>4.5</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>		d/D	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	K Kısa venturi	21	6	2	0.7	0.3	0.2	K Standart orifis	300	85	30	12	4.5	2
d/D	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8																						
K Kısa venturi	21	6	2	0.7	0.3	0.2																						
K Standart orifis	300	85	30	12	4.5	2																						
 Kısa Tip Venturi		 Standart Orifis																										

Tablo 2. Bazı valf ve bağlantı elemanlarına ait yerel kayıp katsayıları

Vanaların kısmi açıklıklarında kayıp katsayıları																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Küresel vana</th> </tr> <tr> <th>α (°)</th> <th>0</th> <th>10</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>40</th> <th>50</th> <th>60</th> <th>70</th> <th>80</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>0.05</td> <td>0.3</td> <td>1.6</td> <td>5.5</td> <td>17.3</td> <td>25.6</td> <td>20.6</td> <td>48.5</td> <td>∞</td> </tr> </tbody> </table>	Küresel vana		α (°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	K	0.05	0.3	1.6	5.5	17.3	25.6	20.6	48.5	∞													
Küresel vana																																				
α (°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80																											
K	0.05	0.3	1.6	5.5	17.3	25.6	20.6	48.5	∞																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Kelebek vana</th> </tr> <tr> <th>α (°)</th> <th>0</th> <th>10</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>40</th> <th>50</th> <th>60</th> <th>70</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>0.2</td> <td>0.7</td> <td>0.7</td> <td>2</td> <td>7</td> <td>20</td> <td>60</td> <td>300</td> </tr> </tbody> </table>	Kelebek vana		α (°)	0	10	20	30	40	50	60	70	K	0.2	0.7	0.7	2	7	20	60	300															
Kelebek vana																																				
α (°)	0	10	20	30	40	50	60	70																												
K	0.2	0.7	0.7	2	7	20	60	300																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Sürgülü vana</th> </tr> <tr> <th>y/D</th> <th>1.</th> <th>3/4</th> <th>5/8</th> <th>1/2</th> <th>3/8</th> <th>1/4</th> <th>1/8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>0.15</td> <td>0.3</td> <td>0.8</td> <td>2.1</td> <td>5.5</td> <td>17.</td> <td>98</td> </tr> </tbody> </table>	Sürgülü vana		y/D	1.	3/4	5/8	1/2	3/8	1/4	1/8	K	0.15	0.3	0.8	2.1	5.5	17.	98																	
Sürgülü vana																																				
y/D	1.	3/4	5/8	1/2	3/8	1/4	1/8																													
K	0.15	0.3	0.8	2.1	5.5	17.	98																													
Çek - Valfler :																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tablali tip (Pistonlu)</th> </tr> <tr> <th>DN (mm)</th> <th>25</th> <th>50</th> <th>100</th> <th>200</th> <th>300</th> <th>500</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">K</td> <td>Düsey Pistonlu</td> <td>13.8</td> <td>11.4</td> <td>10.2</td> <td>8.4</td> <td>7.8</td> <td>7.2</td> </tr> <tr> <td>Eğik Pistonlu</td> <td>1.3</td> <td>1.1</td> <td>1.0</td> <td>0.8</td> <td>0.7</td> <td>0.7</td> </tr> </tbody> </table>	Tablali tip (Pistonlu)		DN (mm)	25	50	100	200	300	500	K	Düsey Pistonlu	13.8	11.4	10.2	8.4	7.8	7.2	Eğik Pistonlu	1.3	1.1	1.0	0.8	0.7	0.7											
Tablali tip (Pistonlu)																																				
DN (mm)	25	50	100	200	300	500																														
K	Düsey Pistonlu	13.8	11.4	10.2	8.4	7.8	7.2																													
	Eğik Pistonlu	1.3	1.1	1.0	0.8	0.7	0.7																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Çalpara tipi (karşı ağırlıksız)</th> </tr> <tr> <th>DN (mm)</th> <th>25</th> <th>50</th> <th>100</th> <th>200</th> <th>300</th> <th>400</th> <th>500</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">K</td> <td>v=1m/s</td> <td>3.8</td> <td>3.1</td> <td>3</td> <td>2.9</td> <td>2.9</td> <td>2.9</td> <td>2.8</td> </tr> <tr> <td>v=2m/s</td> <td>1.7</td> <td>1.4</td> <td>1.4</td> <td>1.3</td> <td>1.3</td> <td>1.2</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>v=3m/s</td> <td>1.1</td> <td>0.9</td> <td>0.9</td> <td>0.8</td> <td>0.3</td> <td>0.7</td> <td>0.6</td> </tr> </tbody> </table>	Çalpara tipi (karşı ağırlıksız)		DN (mm)	25	50	100	200	300	400	500	K	v=1m/s	3.8	3.1	3	2.9	2.9	2.9	2.8	v=2m/s	1.7	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	v=3m/s	1.1	0.9	0.9	0.8	0.3	0.7	0.6
Çalpara tipi (karşı ağırlıksız)																																				
DN (mm)	25	50	100	200	300	400	500																													
K	v=1m/s	3.8	3.1	3	2.9	2.9	2.9	2.8																												
	v=2m/s	1.7	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1																												
	v=3m/s	1.1	0.9	0.9	0.8	0.3	0.7	0.6																												
Karşı ağırlıklı çek-valflerde kayıp katsayıları yukarıda verilen değerlerin 2.5 katıdır.																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Sandviç (wafer) tipi, klapeli</th> </tr> <tr> <th>DN (mm)</th> <th>32</th> <th>50</th> <th>100</th> <th>150</th> <th>200</th> <th>300</th> <th>400</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">K</td> <td>v=1m/s</td> <td>29</td> <td>5</td> <td>4.6</td> <td>2.7</td> <td>1.8</td> <td>2.3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>v=2m/s</td> <td>12</td> <td>3.3</td> <td>4.3</td> <td>2.4</td> <td>1.8</td> <td>2.2</td> <td>2.8</td> </tr> <tr> <td>v=3m/s</td> <td>9</td> <td>3.6</td> <td>4.3</td> <td>2.5</td> <td>1.9</td> <td>2.1</td> <td>2.6</td> </tr> </tbody> </table>	Sandviç (wafer) tipi, klapeli		DN (mm)	32	50	100	150	200	300	400	K	v=1m/s	29	5	4.6	2.7	1.8	2.3	3	v=2m/s	12	3.3	4.3	2.4	1.8	2.2	2.8	v=3m/s	9	3.6	4.3	2.5	1.9	2.1	2.6
Sandviç (wafer) tipi, klapeli																																				
DN (mm)	32	50	100	150	200	300	400																													
K	v=1m/s	29	5	4.6	2.7	1.8	2.3	3																												
	v=2m/s	12	3.3	4.3	2.4	1.8	2.2	2.8																												
	v=3m/s	9	3.6	4.3	2.5	1.9	2.1	2.6																												

Tablo2 (devam)

		<p>Manşon</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DN (mm)</th> <th>15</th> <th>25</th> <th>50</th> <th>100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>0.12</td> <td>0.08</td> <td>0.05</td> <td>0.04</td> </tr> </tbody> </table>				DN (mm)	15	25	50	100	K	0.12	0.08	0.05	0.04												
DN (mm)	15	25	50	100																							
K	0.12	0.08	0.05	0.04																							
		<p>Redüksiyonlu manşon</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>D₂/D₁</th> <th>0.3</th> <th>0.5</th> <th>0.7</th> <th>0.9</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>0.5</td> <td>0.4</td> <td>0.3</td> <td>0.1</td> </tr> </tbody> </table>				D ₂ /D ₁	0.3	0.5	0.7	0.9	K	0.5	0.4	0.3	0.1												
D ₂ /D ₁	0.3	0.5	0.7	0.9																							
K	0.5	0.4	0.3	0.1																							
<p>Vanalar (tam açık)</p>																											
		<p>Sürgülü vana</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DN (mm)</th> <th>25</th> <th>50</th> <th>100</th> <th>200</th> <th>300</th> <th>500</th> <th>1000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">K</td> <td>Dişli</td> <td>0,25</td> <td>0,15</td> <td>0,12</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Flanşlı</td> <td>0,55</td> <td>0,45</td> <td>0,30</td> <td>0,25</td> <td>0,20</td> <td>0,18</td> </tr> </tbody> </table>			DN (mm)	25	50	100	200	300	500	1000	K	Dişli	0,25	0,15	0,12	-	-	-	Flanşlı	0,55	0,45	0,30	0,25	0,20	0,18
DN (mm)	25	50	100	200	300	500	1000																				
K	Dişli	0,25	0,15	0,12	-	-	-																				
	Flanşlı	0,55	0,45	0,30	0,25	0,20	0,18																				
		<p>Tablalı vana (Glob vana)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DN (mm)</th> <th>15</th> <th>25</th> <th>50</th> <th>100</th> <th>200</th> <th>300</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">K</td> <td>Dişli</td> <td>14.</td> <td>9.</td> <td>7.</td> <td>5.5</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Flanşlı</td> <td>-</td> <td>12.</td> <td>9.</td> <td>6.5</td> <td>5.5</td> <td>5.5</td> </tr> </tbody> </table>			DN (mm)	15	25	50	100	200	300	K	Dişli	14.	9.	7.	5.5	-	-	Flanşlı	-	12.	9.	6.5	5.5	5.5	
DN (mm)	15	25	50	100	200	300																					
K	Dişli	14.	9.	7.	5.5	-	-																				
	Flanşlı	-	12.	9.	6.5	5.5	5.5																				
		<p>Açılı vana (Düsey Millî)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DN (mm)</th> <th>15</th> <th>25</th> <th>50</th> <th>100</th> <th>200</th> <th>300</th> <th>500</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">K</td> <td>Dişli</td> <td>8.</td> <td>5.</td> <td>2.</td> <td>1.</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Flanşlı</td> <td>4.</td> <td>3.5</td> <td>2.9</td> <td>2.6</td> <td>2.1</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>			DN (mm)	15	25	50	100	200	300	500	K	Dişli	8.	5.	2.	1.	-	-	Flanşlı	4.	3.5	2.9	2.6	2.1	2.0
DN (mm)	15	25	50	100	200	300	500																				
K	Dişli	8.	5.	2.	1.	-	-																				
	Flanşlı	4.	3.5	2.9	2.6	2.1	2.0																				
		<p>Açılı vana (Eğik millî, flanşlı)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DN (mm)</th> <th>25</th> <th>50</th> <th>100</th> <th>200</th> <th>300</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>1.7</td> <td>1.1</td> <td>0.9</td> <td>0.8</td> <td>0.7</td> </tr> </tbody> </table>			DN (mm)	25	50	100	200	300	K	1.7	1.1	0.9	0.8	0.7											
DN (mm)	25	50	100	200	300																						
K	1.7	1.1	0.9	0.8	0.7																						
		<p>Kelebek vana (PN 16)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DN (mm)</th> <th>100</th> <th>200</th> <th>400</th> <th>600</th> <th>1000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>2.15</td> <td>1.70</td> <td>1.20</td> <td>0.85</td> <td>0.60</td> </tr> </tbody> </table>			DN (mm)	100	200	400	600	1000	K	2.15	1.70	1.20	0.85	0.60											
DN (mm)	100	200	400	600	1000																						
K	2.15	1.70	1.20	0.85	0.60																						
		<p>Küresel vana</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DN (mm)</th> <th>25</th> <th>50</th> <th>100</th> <th>200</th> <th>300</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>0.07</td> <td>0.06</td> <td>0.05</td> <td>0.04</td> <td>0.04</td> </tr> </tbody> </table>			DN (mm)	25	50	100	200	300	K	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04											
DN (mm)	25	50	100	200	300																						
K	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04																						
		<p>Şiber vana</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DN (mm)</th> <th>40</th> <th>50</th> <th>100</th> <th>200</th> <th>300</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>3.2</td> <td>2.9</td> <td>2.6</td> <td>2.1</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>			DN (mm)	40	50	100	200	300	K	3.2	2.9	2.6	2.1	2.0											
DN (mm)	40	50	100	200	300																						
K	3.2	2.9	2.6	2.1	2.0																						
		<p>İğne vana</p> <p>K = 0.5 - 0.8</p>																									
		<p>Mustuk</p> <p>K = 0,10 - 0,15</p>																									

BÖLÜM SORULARI

1. Akışkan sıcaklığına bağlı olarak değişen viskozite değerleri için basınç düşmesinin nasıl değiştiğini grafik çizerek gösteriniz(Denklem 2-4 kullanılacak).
2. Pompanın iki farklı debide çalıştırılacak şekilde motor devri değiştirildiğinde basınç kaybındaki değişimin nasıl değiştiğini gösterecek bir program yazarak grafikte değişimi gösteriniz.
3. Problem 1'i kullanarak $\theta=0-+90$ ve $\theta=0-(-90^0)$ için debi değerlerini hesaplayacak bir program yazarak yatay boruya göre her iki durum için harcanması gereken güçleri hesaplayarak grafikte gösteriniz.
- 4.