

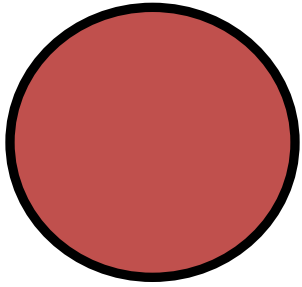
BÖLÜM 7



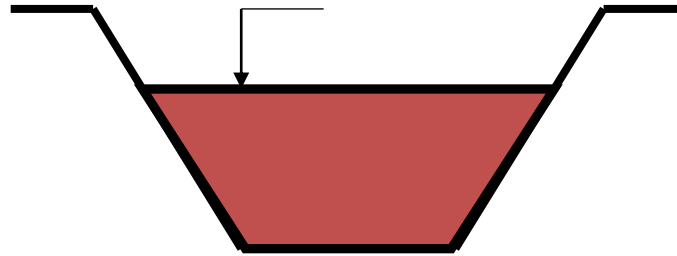
**BORULARDA
GERÇEK AKIM**



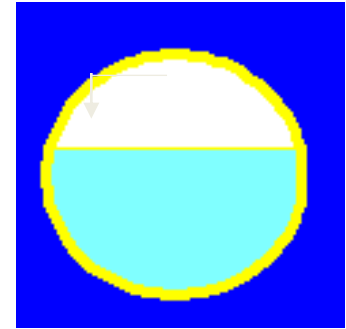
- Enkesitin tamamen dolu olarak aktığı akımlara “basınçlı akım”, Basınç altında sıvı nakleden kapalı akış yollarına “boru” adı verilmektedir.



Boru

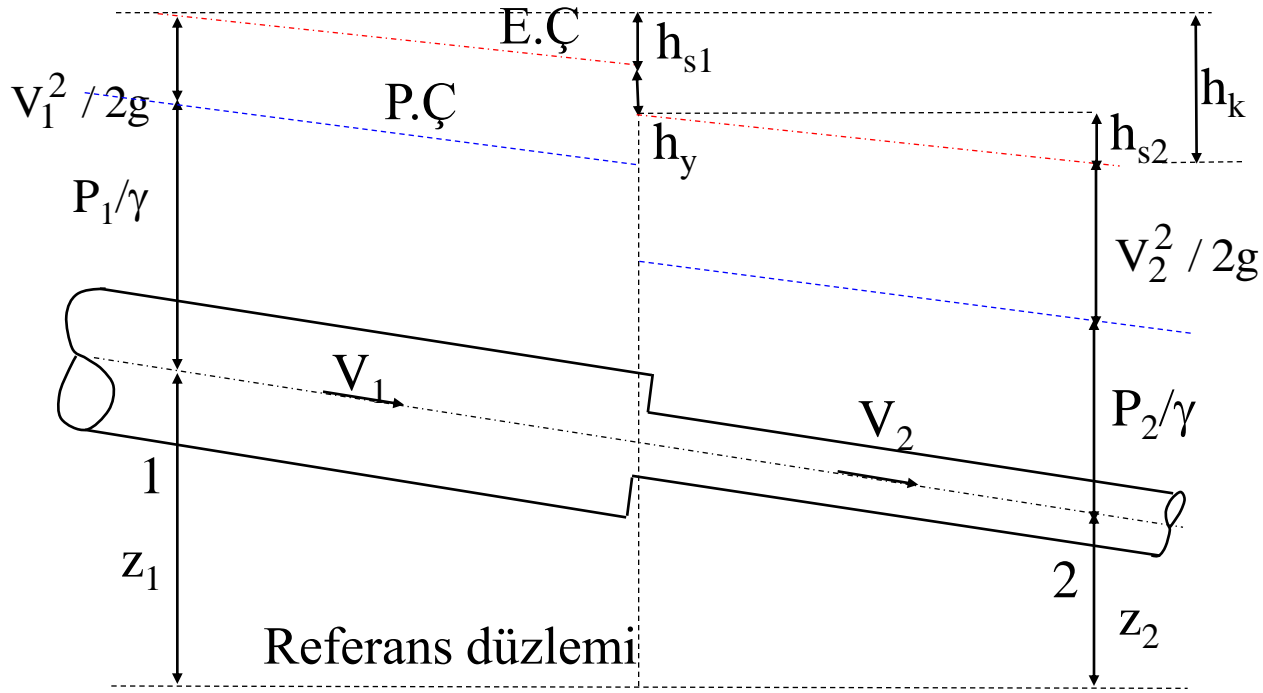


Açık kanal



Boru

(serbest yüzeyli akım)



1-2 noktaları arasındaki Bernoulli denklemi:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_{s1} + h_y + h_{s2}$$

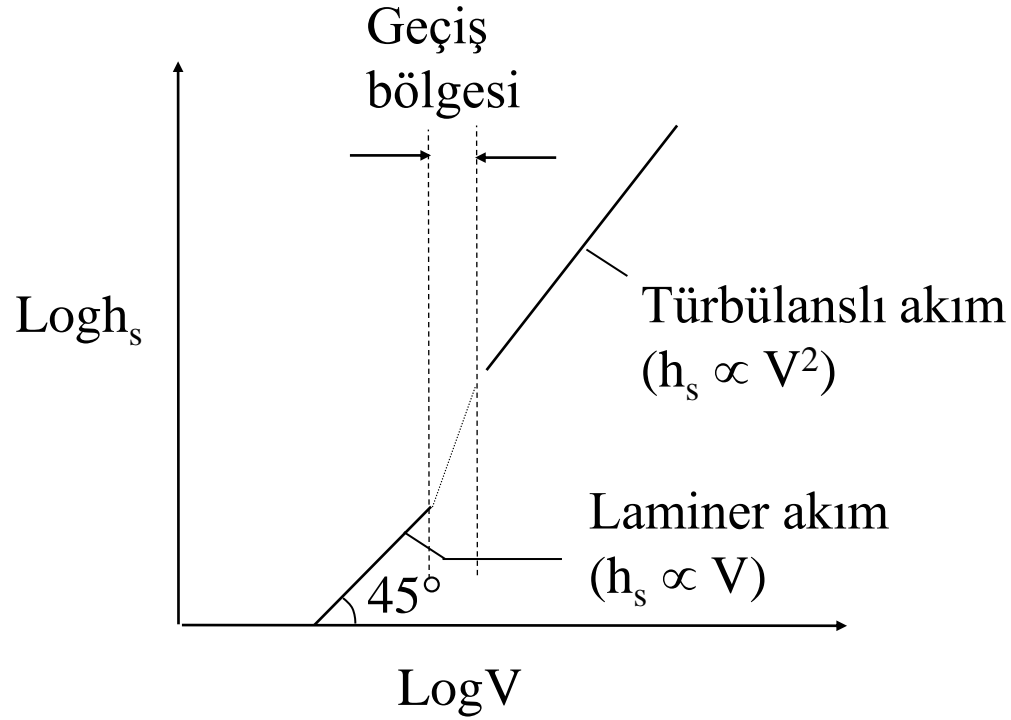
$$h_{s1} + h_y + h_{s2} = h_k$$

$$h_k = \sum h_s + h_y$$

Toplam kayıp yüksekliği= Sürtünme kayıpları+yerel kayıplar

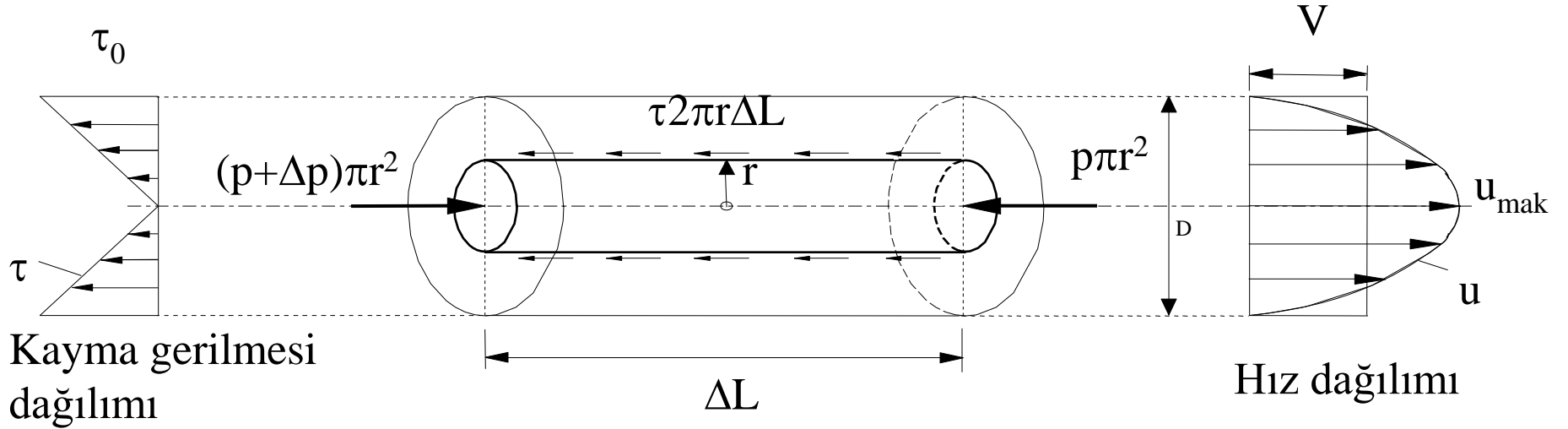
$Re = VD/\nu \leq 2000$ akım laminer

$Re > 4000$ akım türbülanslı



Laminer Akım

Hız dağılımı



$$(P + \Delta P)\pi r^2 - P\pi r^2 - \tau 2\pi r \Delta L = 0$$

$$\tau = \frac{\Delta P}{\Delta L} \frac{r}{2}$$

Newton'un kayma gerilmesi ifadesi : $\tau = -\mu \frac{du}{dy}$

$$-\mu \frac{du}{dy} = \frac{\Delta P}{\Delta L} \frac{r}{2} \longrightarrow du = \frac{\Delta P}{\Delta L} \frac{r}{2\mu} dr$$

İntegre edilirse: $u = -\frac{\Delta P}{\Delta L} \frac{r^2}{4\mu} + C$

$r=D/2$ de $u=0$ sınır şartı kullanılarak:

$$C = (\Delta P / \Delta L) (D^2 / 16\mu)$$

$$u = \frac{\Delta P}{\Delta L} \frac{1}{4\mu} \left(\frac{D^2}{4} - r^2 \right)$$

Laminer akımda parabolik hız dağılımı.

Kayma gerilmesi dağılımı

Maksimum hız dağılımı kanal ekseninde, $r=0$, oluşur.

$$u_{\text{mak}} = \frac{\Delta P}{\Delta L} \frac{D^2}{16\mu}$$

Parabolik hız dağılımında ortalama hız;

$$V = \frac{U_{\text{mak}}}{2} = \frac{\Delta P}{\Delta L} \frac{D^2}{32\mu}$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = \frac{32\mu V}{D^2}$$

$\Delta P / \Delta L$ kayma gerilmesi ifadesinde yerine konursa dağılım:

$$\tau = \frac{\Delta P}{\Delta L} \frac{r}{2} = \frac{16\mu V r}{D^2}$$

Bu ifade $r=0$ için boru ekseninden geçen doğru denklemini göstermektedir.

Sürtünme Kaybı

Enerji kaybı : $U_{\text{ort}} = V$ denirse

$V = U_{\text{mak}} / 2$ (paraboloid özelliğinden)

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = h_s = \frac{32\mu V}{\gamma D^2} \Delta L$$

$$h_s = \frac{32\nu VL}{gD^2} \quad \text{HAGEN – POISEUILLE Denklemi}$$

Türbülanslı Akım

Hız Dağılımı :

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{\chi} \text{Ln } y + C$$

$y = D/2$ boru ekseninde $u = u_{\text{mak}}$, sınır şartı ile:

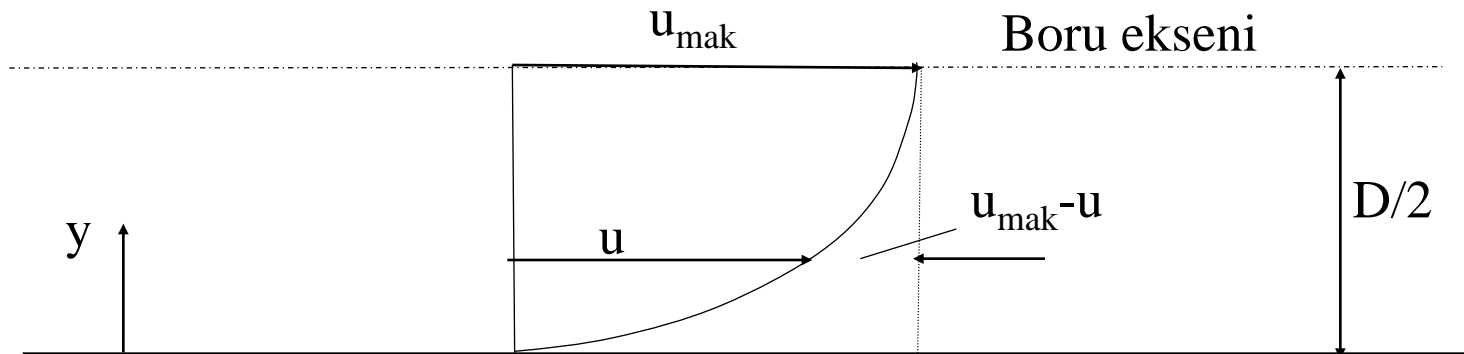
$$C = \frac{u_{\text{mak}}}{u_*} - \frac{1}{\chi} \text{Ln } \frac{D}{2}$$

$$\frac{u_{\text{mak}} - u}{u_*} = \frac{1}{\chi} \text{Ln } \frac{D}{2y}$$

$$\frac{u_{\text{mak}} - u}{u_*} = 2.5 \text{Ln} \frac{D}{2y}$$

Noksan hız Defect Dağılımı,
Velocity Defect Distribution

$$\frac{u_{\text{mak}} - u}{u_*} = 5.75 \text{Log} \frac{D}{2y}$$



1) Boru ekseninde du/dy sıfır etmesi gerektiği halde bu ifade sonlu bir değer vermektedir.

$$\frac{du}{dy} = 2.5 u_* \frac{2 D}{D 2y} = \frac{2.5 u_*}{y} = \frac{5 u_*}{D}$$

2) Bu hız dağılımına göre hız $y=0$ da yani katı sınırdaki $-\infty$ olmaktadır. $u=0$ değeri sınırdan belli bir uzaklıkta oluşmaktadır.

Cilalı Borularda Hız Dağılımı :

Viskoz Alt Tabakada :

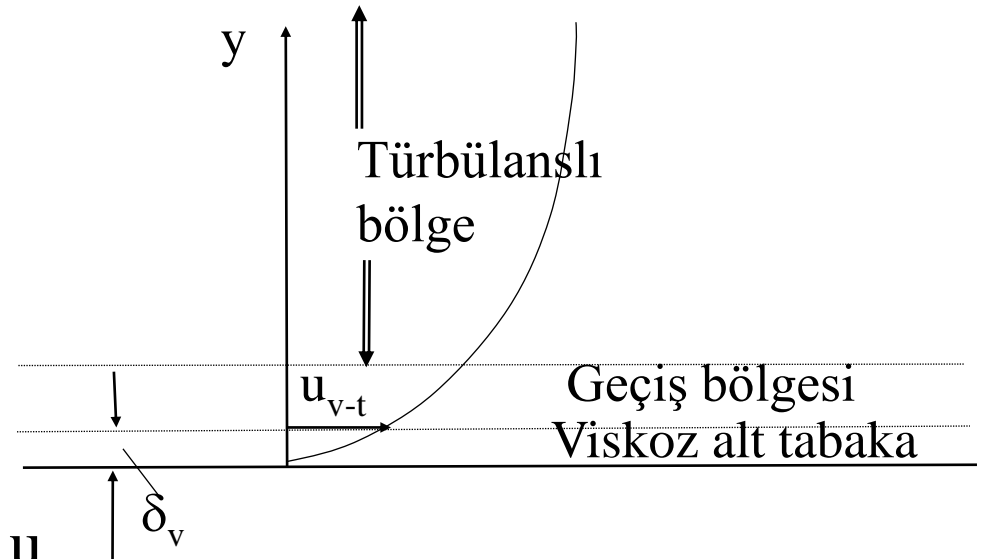
$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

$y = \delta_v$ için:

$$\tau_0 = \rho \nu \frac{u}{y}$$

$$\frac{\tau_0}{\rho} = \nu \frac{u}{y} \Rightarrow u_*^2 = \nu \frac{u}{y}$$

$$\frac{u}{u_*} = \frac{u_* y}{\nu}$$



Türbülanslı İç Bölge :

$$\frac{u_{vt}}{u_*} = \frac{u_* \delta_v}{\nu}$$

$$\frac{u_{vt}}{u_*} = \frac{1}{\chi} \text{Ln } \delta_v + C$$

$$\delta_v = u_{vt} \nu / u_*^2$$

$$C = \frac{u_{vt}}{u_*} - \frac{1}{\chi} \text{Ln } \frac{u_{vt} \nu}{u_*^2}$$

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\chi} \text{Ln } y + \frac{u_{vt}}{u_*} - \frac{1}{\chi} \text{Ln} \frac{u_{vt} \nu}{u_*^2} = \frac{1}{\chi} \text{Ln} \frac{u_*^2 y}{u_{vt} \nu} + \frac{u_{vt}}{u_*}$$

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\chi} \text{Ln} \frac{u_* y}{\nu} + \frac{u_{vt}}{u_*} - \frac{1}{\chi} \text{Ln} \frac{u_{vt}}{u_*}$$

$$B = \frac{u_{vt}}{u_*} - \frac{1}{\chi} \text{Ln} \frac{u_{vt}}{u_*}$$

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\chi} \text{Ln} \frac{u_* y}{\nu} + B$$

$$\frac{u}{u_*} = 2.5 \text{Ln} \frac{u_* y}{\nu} + 5.5 \quad \text{Law of the wall (duvar kanunu)}$$

Prandl'ın deneysel (ampirik Hız dağılım ifadesi:

$$\frac{u}{u_{\text{mak}}} = \left(\frac{y}{D/2} \right)^{1/n}$$

Re	$4 \cdot 10^3$	$1.1 \cdot 10^5$	$\geq 2 \cdot 10^6$
n	6	7	10

Pürüzlü Borular İçin Hız Dağılımı

$$\frac{u}{u^*} = \frac{1}{\chi} \operatorname{Ln} \frac{y}{D/2} + \frac{u_{\max}}{u^*} + \frac{1}{\chi} \operatorname{Ln} (2k) - \frac{1}{\chi} \operatorname{Ln} (2k)$$

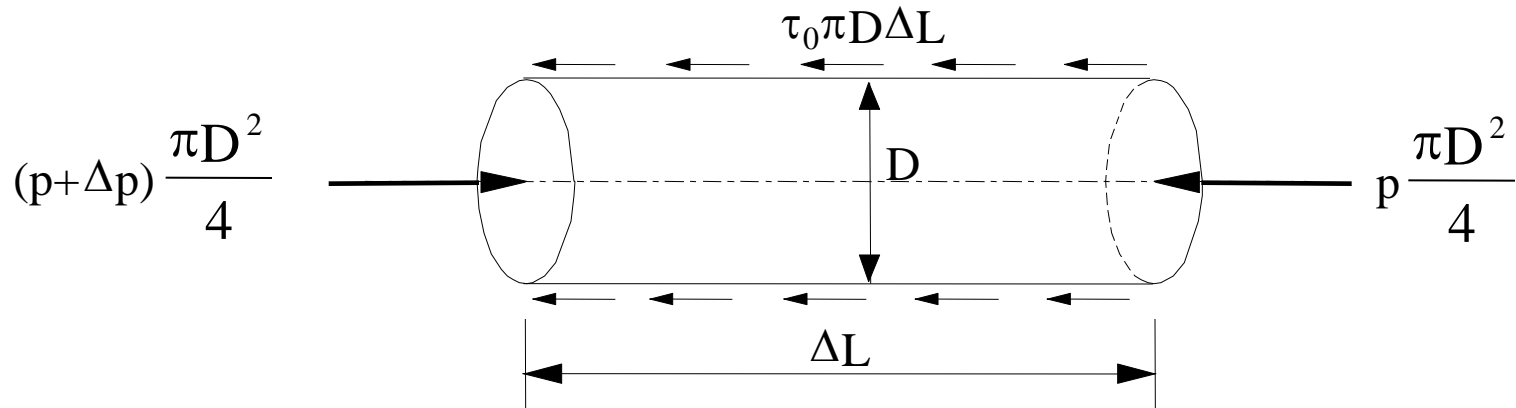


$$\frac{u}{u^*} = \frac{1}{\chi} \operatorname{Ln} \frac{y}{k} + \left(\frac{1}{\chi} \operatorname{Ln} \frac{k}{D/2} + \frac{u_{\max}}{u^*} \right)$$

$$\frac{u}{u^*} = A \operatorname{Ln} \frac{y}{k} + B$$

$$\frac{u}{u^*} = 2.5 \operatorname{Ln} \frac{y}{k} + 8.5$$

Sürtünme Kaybı – Darcy-Weisbach Formülü



$$(p + \Delta p) \frac{\pi D^2}{4} - p \frac{\pi D^2}{4} - \tau_0 \pi D \Delta L = 0$$

$$\Delta p \frac{\pi D^2}{4} = \tau_0 \pi D \Delta L \quad \longrightarrow \quad \frac{\Delta p}{\gamma} = \Delta h_s = \frac{4 \tau_0 \Delta L}{\rho g D}$$

$$\Delta h_s = \frac{8c}{\rho} \frac{\Delta L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_s = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \text{Darcy-Weisbach denklemi}$$

Borunun birim uzunluğu için sürtünme kaybı yüksekliği:

$$\frac{h_s}{L} = S = \lambda \frac{V^2}{2gD}$$

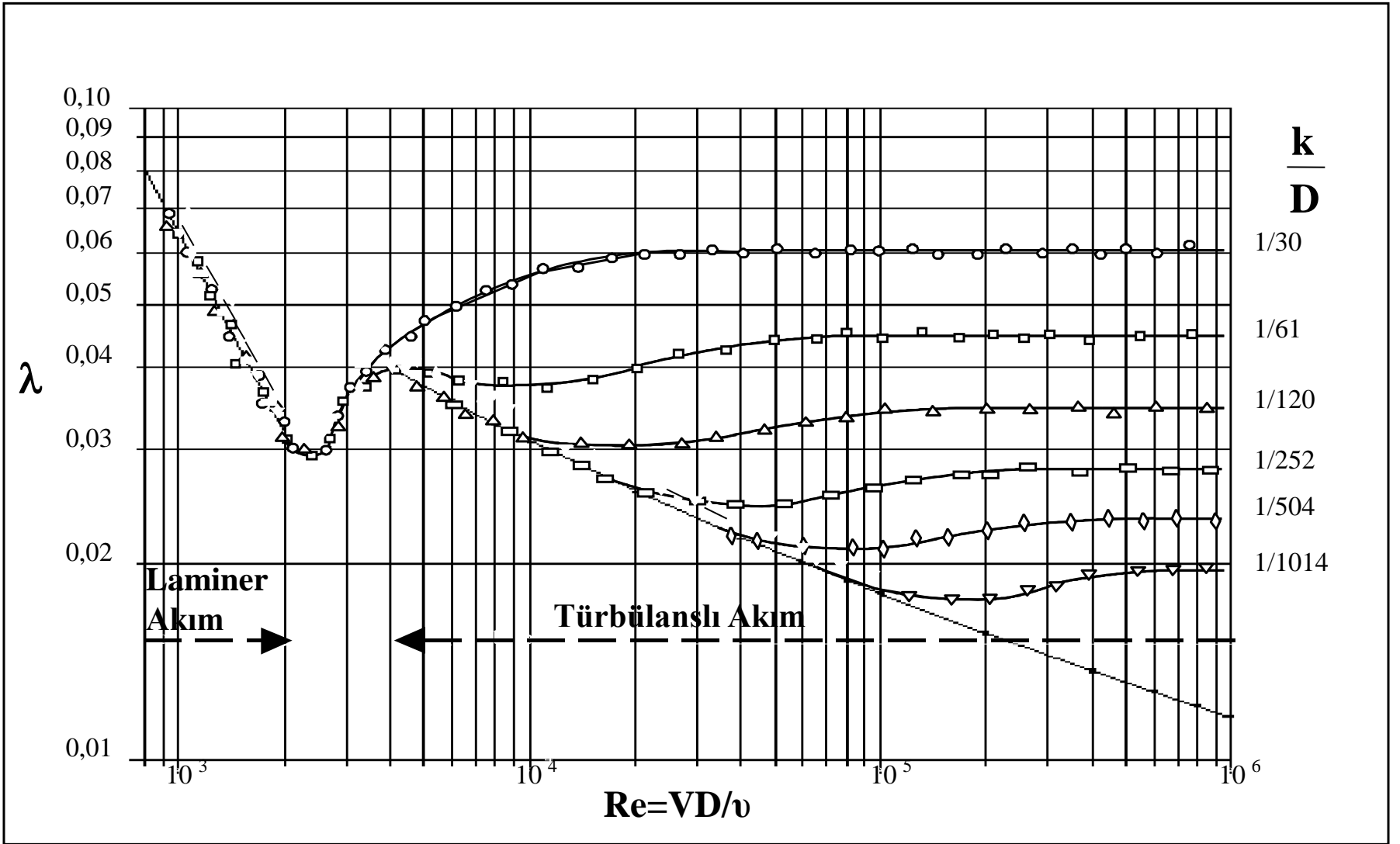
λ : boyutsuz **sürtünme faktörü**

λ için Nikuradse Diyagramı

Laminer Akımda ($Re \leq 2000$):

$$h_s = \frac{32 \nu V L}{g D^2} = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$\lambda = \frac{64 \nu}{V D} = \frac{64}{Re}$$



Şekil Nikuradse diyagramı

(b) **Türbülanslı Akımda ($Re \geq 4000$)** : Türbülanslı akımda λ aynı pürüzlülük şartları için üç farklı davranış sergilemektedir.

1. Hidrolik bakımdan cilalı boru durumu : $\lambda = \lambda(Re)$
2. Hidrolik bakımdan cilalı-pürüzlü geçiş durumu : $\lambda = \lambda(Re, k/D)$
3. Hidrolik bakımdan pürüzlü boru durumu : $\lambda = \lambda(k/D)$

k/D rölatif pürüzlülük değerini göstermektedir.

Reynolds pürüzlülük sayısı: $R^*=u^*k/\nu$

$R^*\leq 5$: Viskoz sürtünme

$5 < R^* < 70$: Viskoz-türbülanslı sürtünme

$70 \leq R^*$: Türbülanslı sürtünme

$$\frac{u^* \delta_v}{\nu} = 2.5 \operatorname{Ln} \frac{u^* \delta_v}{\nu} + 5.5$$

$$\frac{u_* \delta_v}{\nu} = 11.6$$

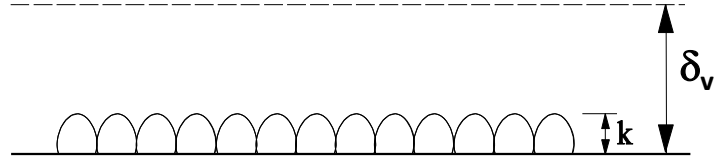
$$\frac{u_* k \alpha}{\nu} = 11.6$$

$$R_* \alpha = 11.6$$

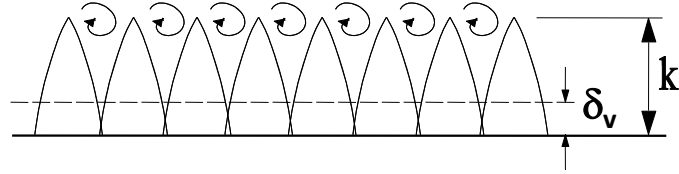
$R^* \leq 5$ $\lambda = \lambda(Re)$, boru hidrolik bakımdan cilalı,

$R^* \geq 70$ $\lambda = \lambda(k/D)$, boru hidrolik bakımdan pürüzlü

$5 < R^* < 70$ $\lambda = \lambda(Re, k/D)$, boru hidrolik bakımdan cilalı-pürüzlü geçiş.



(a) Cilalı akım



(b) Pürüzlü akım

Şekil Pürüzlülük ve viskoz alt tabaka yüksekliği

Cilalı Boru Kanunu

$$4000 \leq \text{Re} \leq 3 \times 10^6$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \frac{\text{Re} \sqrt{\lambda}}{2.51}$$

Karman-Prandtl formülü

$$\text{Re} \leq 10^5$$

$$\lambda = \frac{0.316}{\text{Re}^{0.25}}$$

Blasius formülü

Pürüzlü Boru Kanunu

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \frac{3.7}{k/D} \quad \text{Karman-Prandtl formülü}$$

Cıvalı-Pürüzlü Geçiş Kanunu

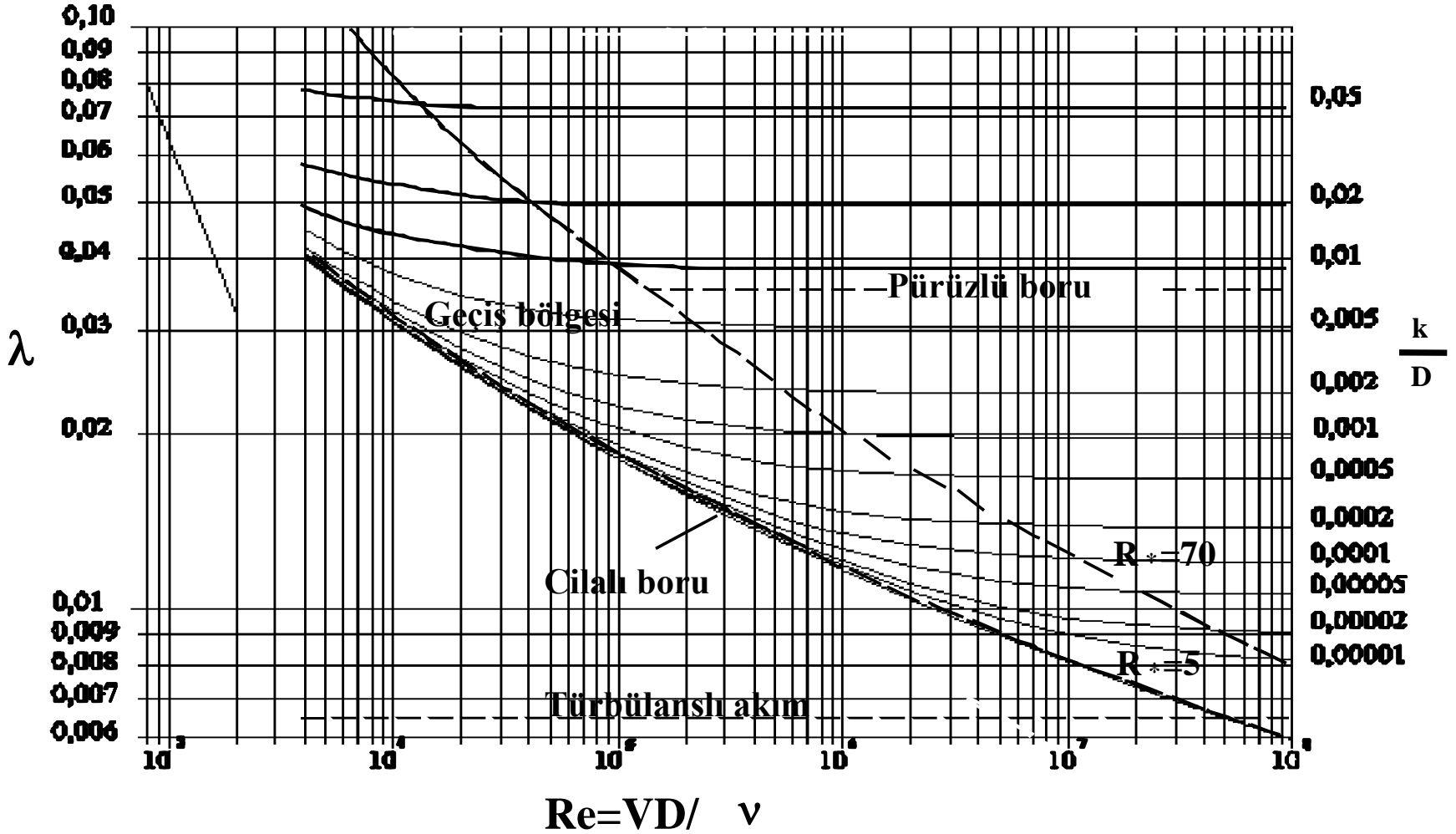
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right)$$

Colebrook-White geçiş formülü

λ İçin Moody Diyagramı

Tablo k değeri eődeęer kum pürüzlülük değerleri

<u>Boru Malzemesi</u>	<u>k (mm)</u>
Cam	cilalı
Tunç, bakır	0.0015
Plastik	0.007
Asbestli imento	0.025
Kaplamasız elik	0.03
Kaplamalı elik	0.06
Asfalt kaplamalı font	0.12
Galvanizli demir	0.15
Kaplamasız font	0.26
Beton	0.3-3



Şekil Moody diyagramı

Darcy-Weisbach Formülünün Dairesel Olmayan Borulara Uygulanması

Dairesel boruda **hidrolik yarıçap**:

$$R = \frac{\text{Akım kesit alanı, } A}{\text{Akım ıslak çevresi, } P} = \frac{\pi D^2 / 4}{\pi D} = \frac{D}{4}$$

$$D=4R$$

$$h_s = \lambda \frac{L}{4R} \frac{V^2}{2g}$$

$$\frac{h_s}{L} = S = \lambda \frac{V^2}{8gR}$$

$$Re = \frac{4VR}{\nu}$$

$$\frac{k}{D} = \frac{k}{4R}$$

Borularda Su Akımı İçin Ampirik Formüller

$$V = a D^x S^y$$

$$V = a R^x S^y$$

V : Akım ortalama hızı,

a : Pürüzlülük katsayısı,

D : Boru çapı,

R : Hidrolik yarıçap,

S : Enerji çizgisi eğimi,

x ve y deneysel olarak bulunan üslerdir.

Hidrolik Cilalı Borular İçin

$$\lambda = 0.316 / \text{Re}^{0.25}$$

$$S = \lambda \frac{V^2}{2gD} = \frac{0.316}{\text{Re}^{0.25}} \frac{V^2}{2gD} = 0.316 \left(\frac{\nu}{VD} \right)^{0.25} \frac{V^2}{2gD}$$

Su için $\nu = 1.14 \text{ mm}^2/\text{s}$ değeri kullanılırsa:

$$V = 75 D^{5/7} S^{4/7} = 75 D^{0.71} S^{0.57} \quad \text{veya} \quad V = 201 R^{5/7} S^{4/7}$$

$D = \text{m}$, $R = \text{m}$ ve $V = \text{m/s}$ cinsindedir.

Geçiş Bölgesi Boruları İçin

$$V = 0.354 C D^{0.63} S^{0.54} \quad \text{veya} \quad V = 0.85 C R^{0.63} S^{0.54}$$

C Pürüzlülük katsayısı:

Tablo C değerleri

Boru malzemesi	C
PVC, AÇB	140
Yeni çelik veya font	130
Beton	120
Yeni kaplamalı çelik	110
Eski font	100
Çok eski ve paslı font	80

Hidrolik Pürüzlü Borular İçin Manning Denklemi

$$V = \frac{0.397}{n} D^{2/3} S^{1/2} \quad \text{veya} \quad V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Tablo n pürüzlülük katsayısı değerleri

<u>Boru cinsi</u>	<u>n</u>
Pirinç ve cam borular	0.009 - 0.011
Asbest çimento borular	0.010 - 0.012
Kaynaklı çelik borular	0.011 - 0.013
Ahşap boru	0.011 - 0.013
Temiz, içi kaplamalı olmayan font boru	0.013 - 0.015
Temiz, içi kaplamalı font boru	0.012 - 0.014
Galvaniz boru	0.015 - 0.017
İyi cilalı beton boru	0.011 - 0.012
Kalıptan çıkmış beton boru	0.012 - 0.014
Künk drenaj borusu	0.012 - 0.014
Sılanmış kanalizasyon borusu	0.013 - 0.015
Perçinli çelik boru	0.015 - 0.017
Pislenmiş font boru	0.015 - 0.035
Kıvrımlı demir boru	0.020 - 0.022

CHEZY Formülü

$$V = C\sqrt{RS}$$

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$$

C: Chezy katsayısı ($m^{1/2}/s$)

$$C = \frac{100\sqrt{R}}{m + \sqrt{R}}$$

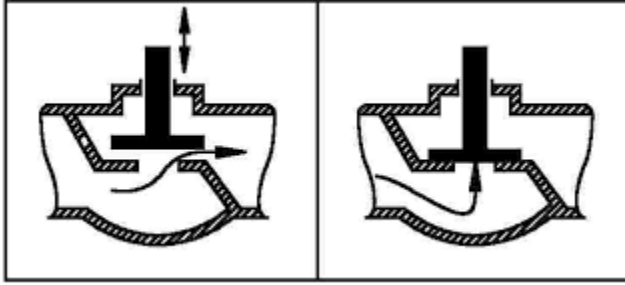
$$C = \frac{100\sqrt{D}}{2m + \sqrt{D}}$$

m: pürüzlülük katsayısı

Tablo m değerleri

<u>Boru cinsi</u>	<u>m</u>
Yeni font borular	0.20
Kullanılmış font borular	0.25
Dökme elik borularda	0.20
Yeni greseramik borular	0.25
Kullanılmış greseramik borular	0.30 – 0.35
Pis su kanalları	0.30 – 0.35
Cıvalı sıvalı galeriler	0.20 – 0.25

YEREL KAYIPLAR



Vana



Çek Valf



Boru bağlantı elemanları

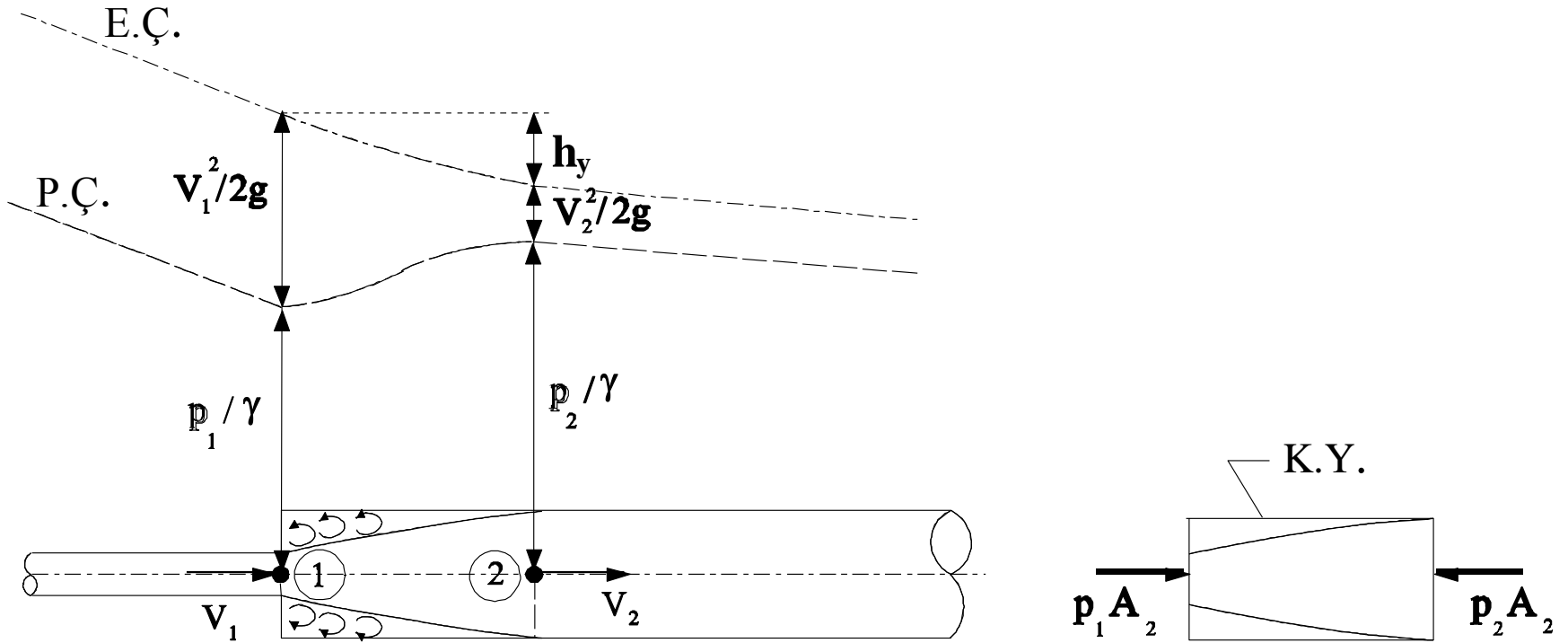
(a) Yerel enerji kaybı aşağıdaki formül ile tanımlanabilir:

$$h_y = K \frac{V^2}{2g}$$

K yerel kayıp katsayısı

(b) Yerel enerji kaybı; aynı kaybı oluşturacak boru boyuna dönüştürülerek kayıp ifade edilir.

Ani Genişleme Kaybı



1 ve 2 noktaları arasında Bernoulli denklemi:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_y, \quad z_1 = z_2$$

1 ve 2 arasında yerel enerji kayıp yüksekliği:

$$h_y = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

1 ve 2 kesitleri arasındaki K.H. için momentum denklemi:

$$\sum F_x = \rho Q (u_2 - u_1)$$

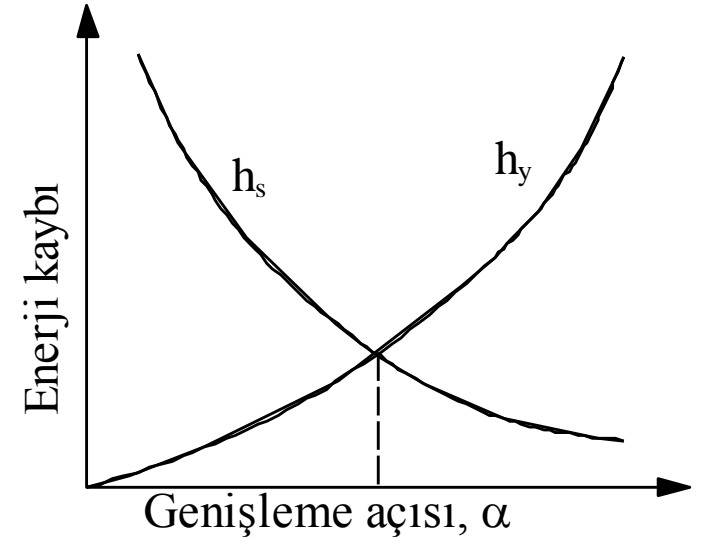
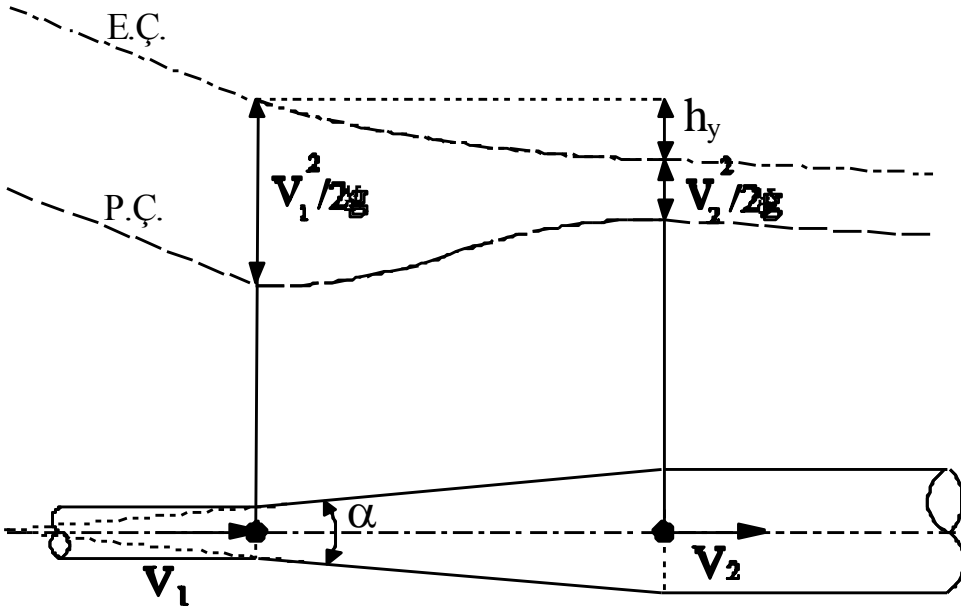
$$p_1 A_2 - p_2 A_2 = \rho V_2 A_2 (V_2 - V_1)$$

$$p_1 - p_2 = \rho V_2 (V_2 - V_1)$$

$$h_y = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + \frac{\rho V_2 (V_2 - V_1)}{\gamma} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g}$$

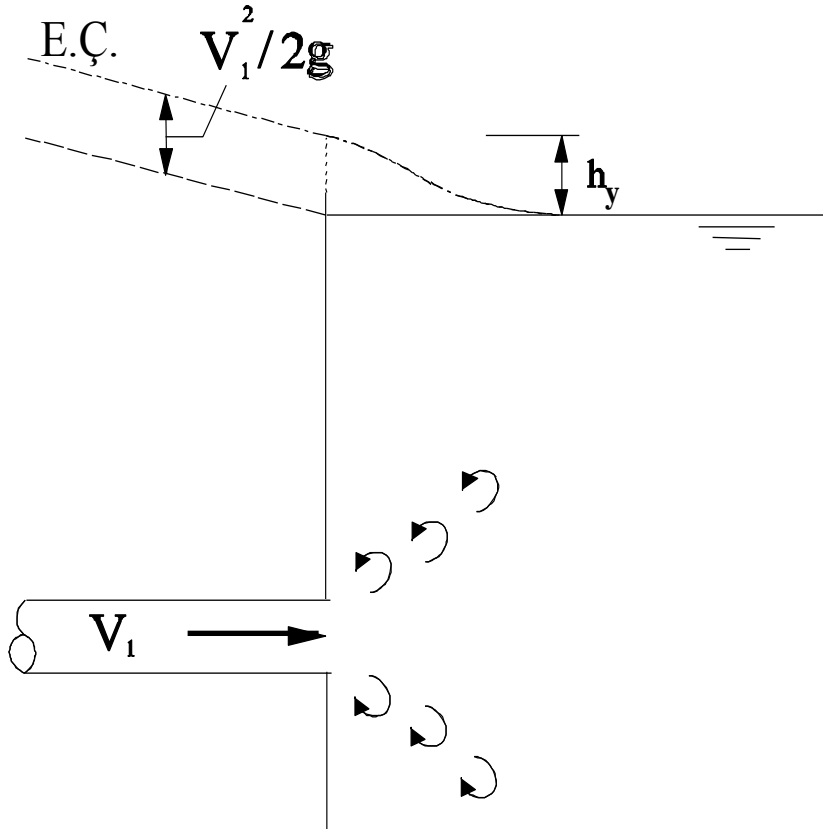
$$h_y = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g} = K \frac{V_1^2}{2g}$$

Yavaş Genişleme Kaybı



Optimum koni açısı $\alpha=6^\circ$ civarında olup bu durumda $K \leq 0,1$ olmaktadır.

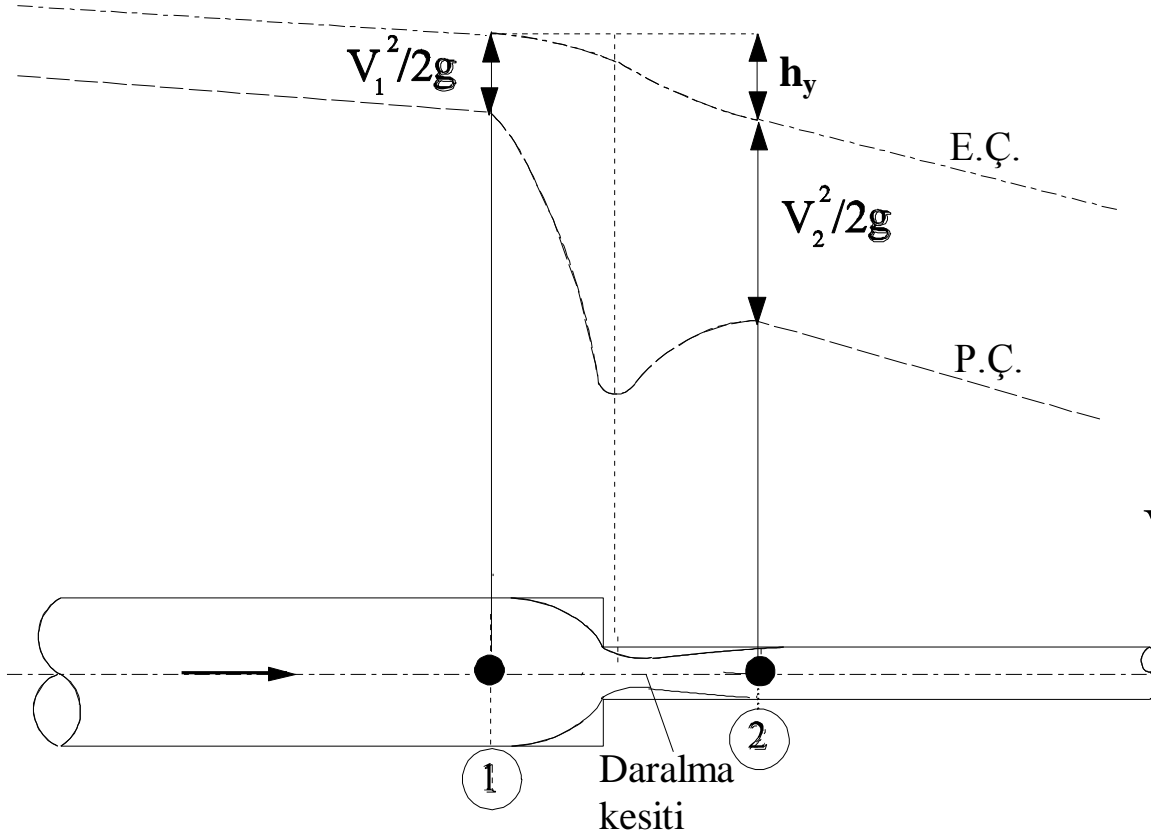
Boru Çıkış Kaybı



$$h_y = \frac{V_1^2}{2g}$$

$$K=1$$

Ani Daralma Kaybı



$$h_y = \left(1 - \frac{A_c}{A_2}\right)^2 \frac{V_c^2}{2g}$$

$$h_y = (1 - C_c)^2 \frac{V_2^2}{C_c^2 2g}$$

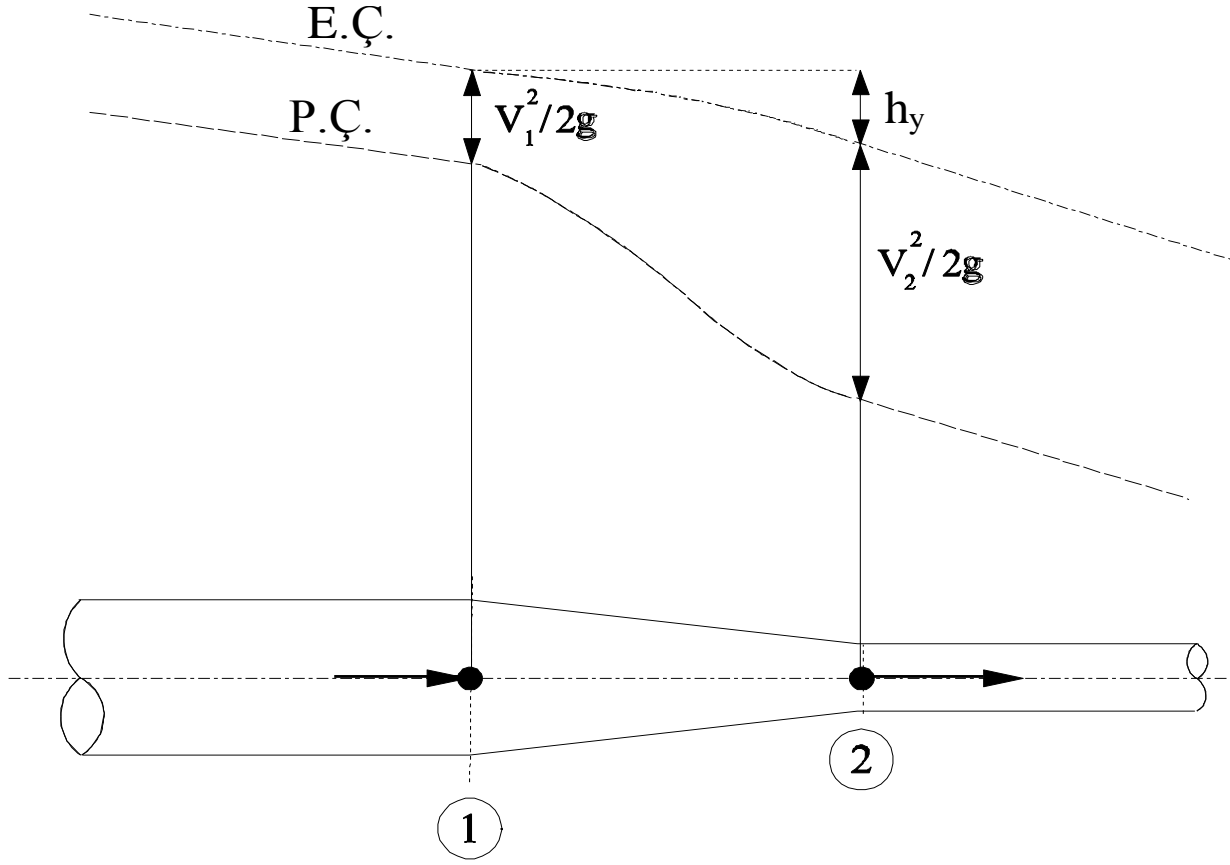
$$V_c A_c = V_2 A_2 \text{ ve } A_c/A_2 = C_c$$

$$h_y = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2 \frac{V_2^2}{2g} = K \frac{V_2^2}{2g}$$

Tablo K değerleri

D_2/D_1	0.1	0.4	0.7	0.9	1
C_c	0.62	0.66	0.76	0.89	1
K	0.38	0.27	0.1	0.015	0

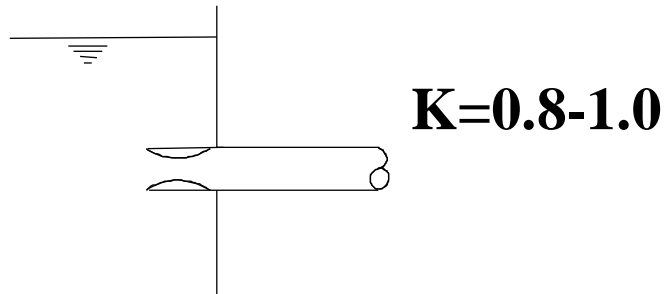
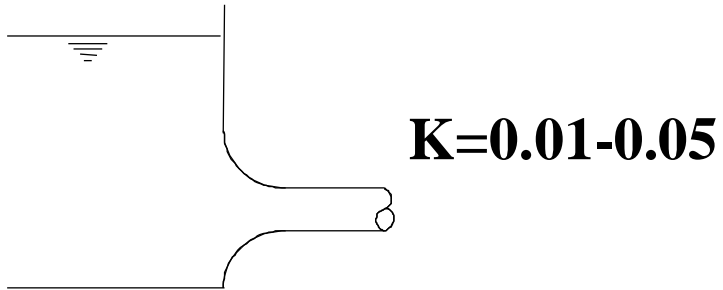
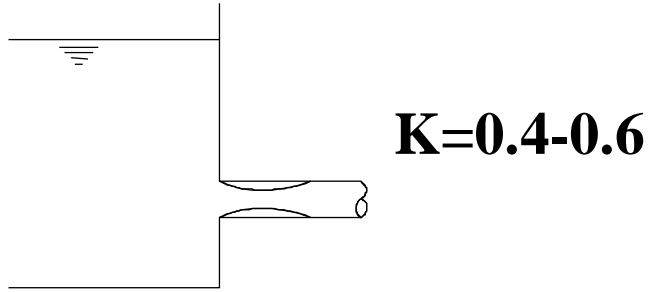
Yavaş Daralma Kaybı



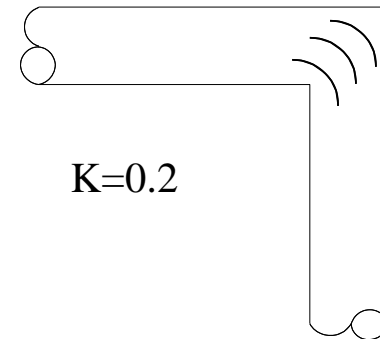
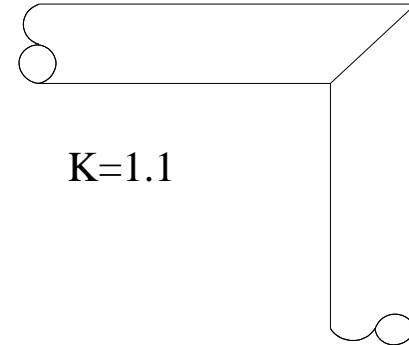
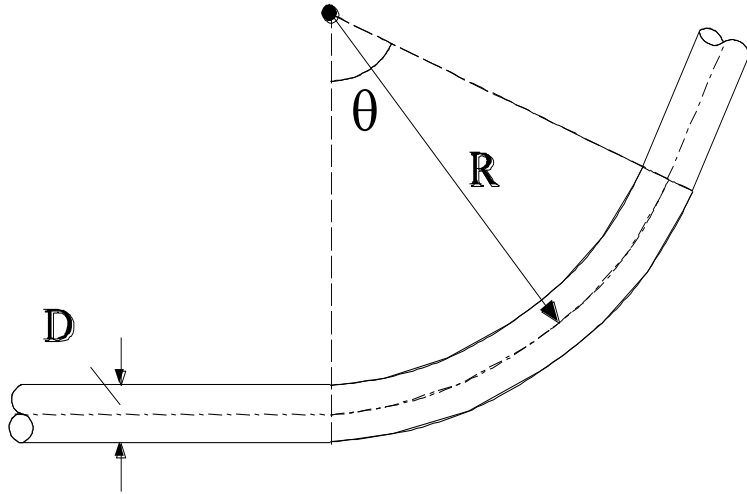
Daralma konisinin açısı 20° ile 40°

$K \approx 0.1$

Boru Giriş Kaybı



Dirsek Kaybı



θ	K (Cilalı boru)	
	R/D=5	R/D=15
45 ⁰	0.15	0.27
90 ⁰	0.22	0.47



45° dirsek



45° kuyruklu dirsek



90° dirsek



90° kuyruklu dirsek



90° redüksiyon dirsek



90° kuyruklu deveboynu



90° deveboynu



Te



inegal
(redüksiyon) Te



Dirsekli Te



kruva



inegalte
(redüksiyon) kruva



Redüksiyon



Manşon
redüksiyon



Nipel
redüksiyon



Manşon



Kuyruklu (iç dış)
manşon



Nipel



Rakor



Kuyruklu rakor



Dirsekli rakor



Kuyruklu dirsekli
rakor



Köprü (boru atlama
manşonu)



Te'li köprü

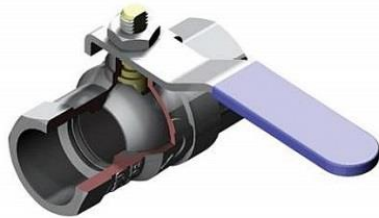
Vana ve T-Parçalarında Kayıp

Tablo K değerleri

Eleman türü		K	
		Vidalı	Flanşlı
Vana (tam açık)	Sürgülü	0.2	0.1
	Küresel	10	5
T-parçası	Doğrultu akımı	0.9	0.2
	Branş akımı	2	1



Kelebek vana



Küresel vana



Sürgülük vana

BORU HATTI PROBLEMLERİ

Doğrudan Çözülebilir Problemler

Boru boyu L ,

Çap D ,

Pürüzlülük k

Debi Q verilir;

Toplam enerji kaybı h_k istenir.

BORU HATTI PROBLEMLERİ

Deneme Yanılma Yöntemini Gerektiren Problemler

1) Boru boyu L , Çap D , Pürüzlülük k , Enerji kaybı h_k verilir;
Debi Q istenir.

λ , Re ve k/D ye bağlıdır, Re bilinmemektedir.

- Sadece k/D yardımıyla λ için Moody diyagramından (veya formüllerle) bir tahmin yapılır.
- Çözüm sonucu hesaplanan λ ile ilk tahmin değeri karşılaştırılır.
- Aradaki fark kabul edilemez boyutta ise problemin çözümü yeni λ ile tekrarlanır.

BORU HATTI PROBLEMLERİ

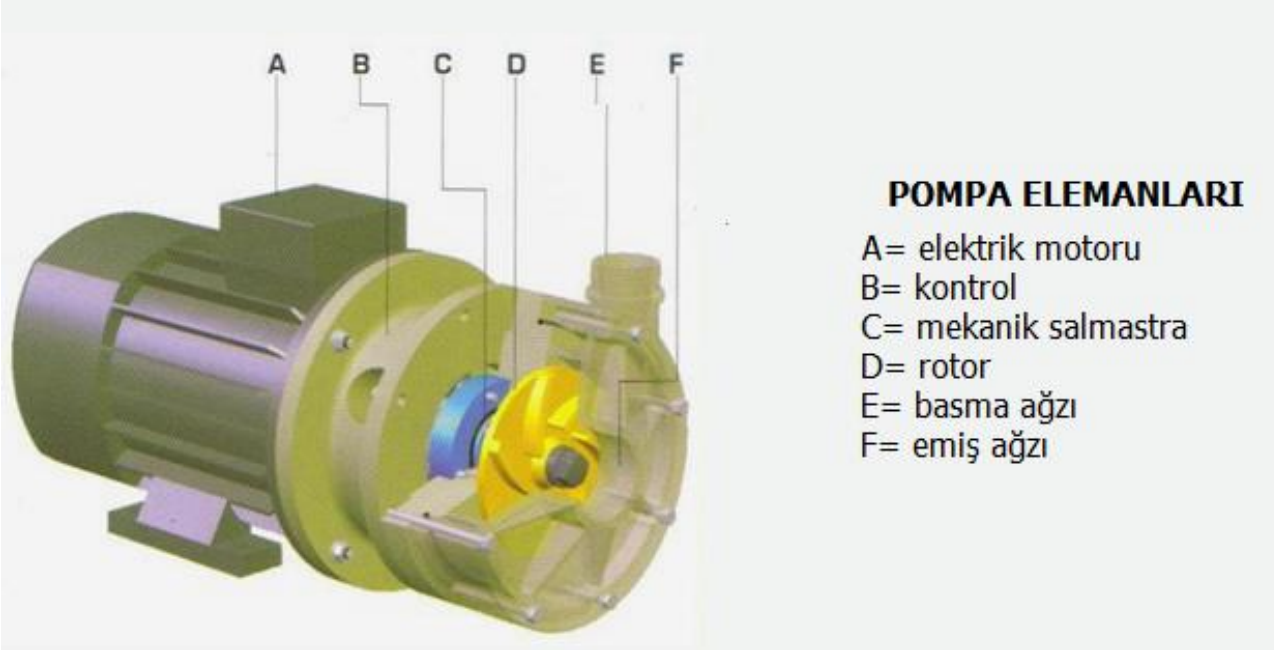
Deneme Yanılma Yöntemini Gerektiren Problemler

2) Debi Q , boru boyu L , pürüzlülük k , enerji kaybı h_k verilir;

Boru çapı D istenir.

- Bu durumda hem Re hem de k/D bilinmediğinden λ nın değeri kabaca tahmin edilir.
- 1) deki deneme-yanılma yöntemi uygulanır.

Boru Hatlarında Pompa Kullanımı



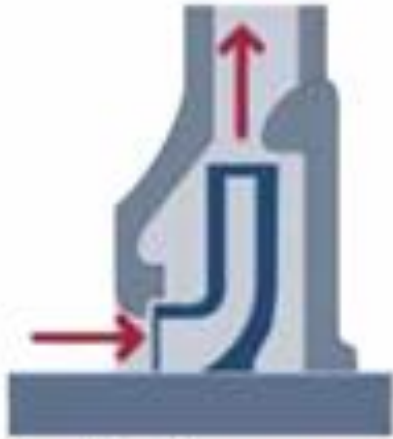
Santrifüj Pompa



Dalgıç Pompa

Boru Hatlarında Pompa Kullanımı

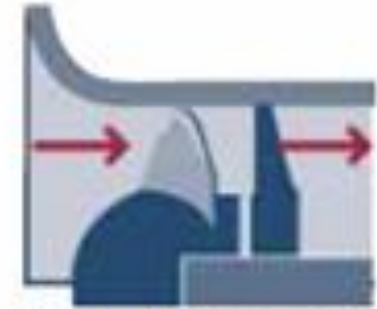
- Rotodinamik pompalar çarkının biçimine göre üç gruba ayrılır:
- (a) Radyal akımlı pompa,
- (b) Karışık akımlı pompa,
- (c) Eksenel akımlı pompa.



Radyal akış pompası



Karışık akış pompası



Eksenel akış pompası

Pompanın özgül hızı, 1.0m³/s lik debiyi 1.0m yüksekliğe basan pompanın hızıdır.

$$n_s = \frac{n Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

n (d/d) dönme hızı,

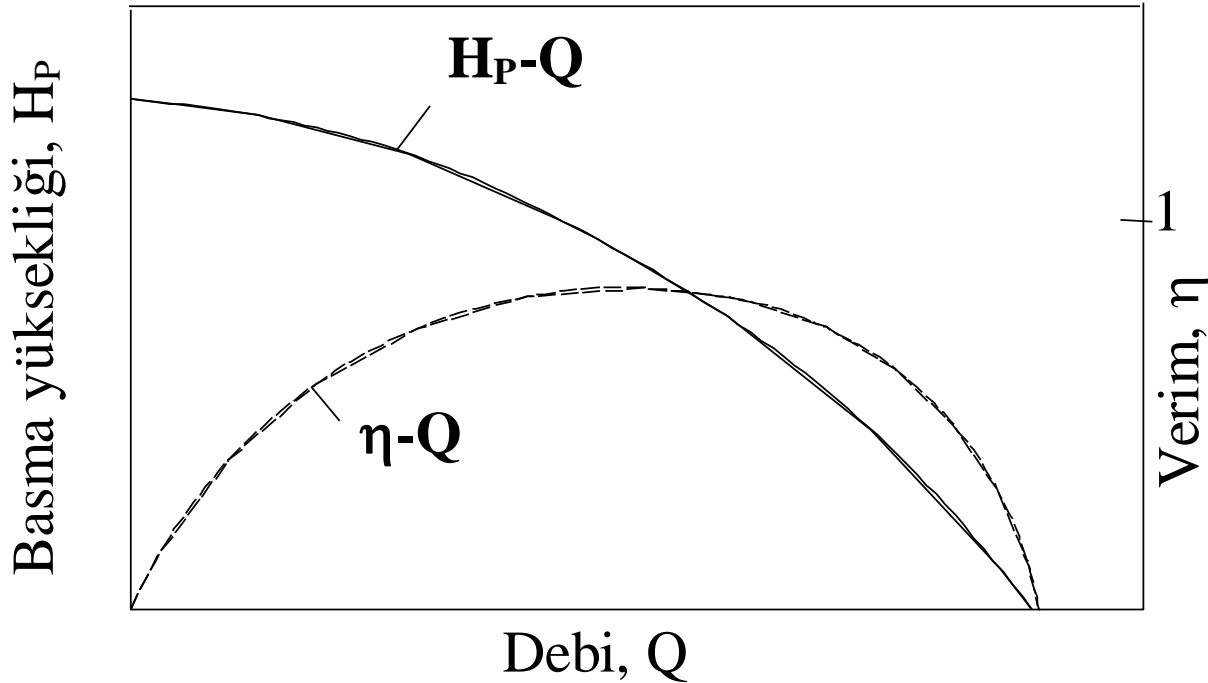
Q (m³/s) debi,

H (m) basma yüksekliğidir.

Pompa tipi	n_s
Radyal akımlı (santrifüj)	≤ 80
Karışık akımlı	80-150
Eksenel akımlı	$150 \leq$

Bir pompanın basma yüksekliği (H_P) ve Verimi (η) debinin fonksiyonudur.

Pompa karakteristik eğrileri olarak adlandırılan bu ilişkiler pompa üreticisi firma tarafından verilir.



Pompalar için HP-Q eğrisi aşağıdaki gibi fonksiyonel olarak ifade edilebilir:

$$H_P = a + b Q + c Q^2$$

$$P = \gamma Q H_P, \quad P = \frac{\gamma Q H_P}{\eta}$$

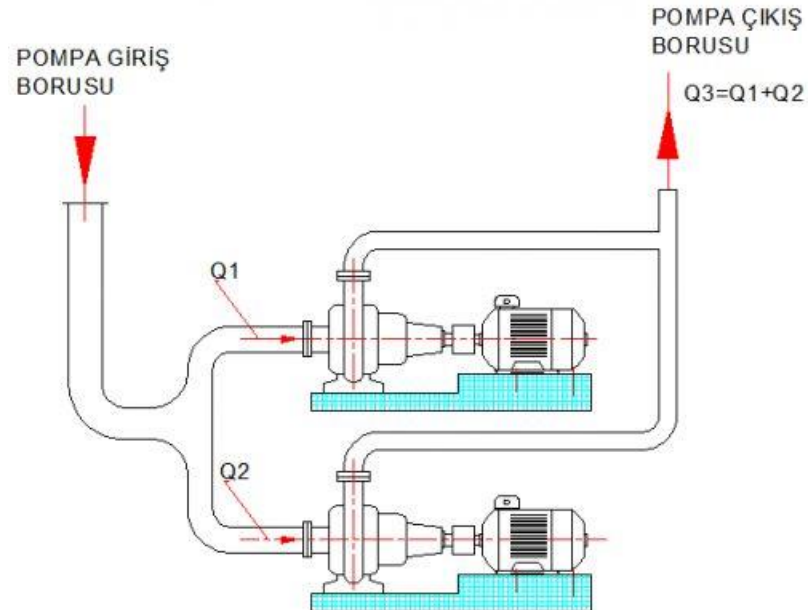
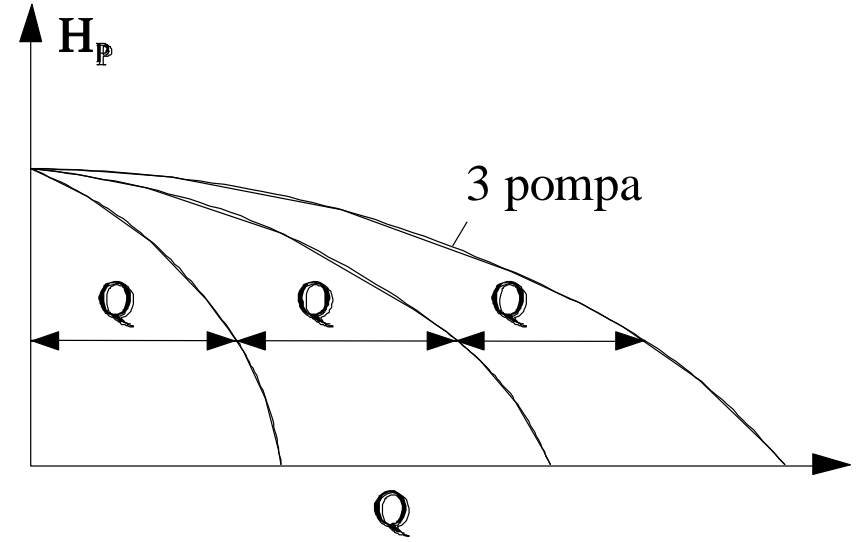
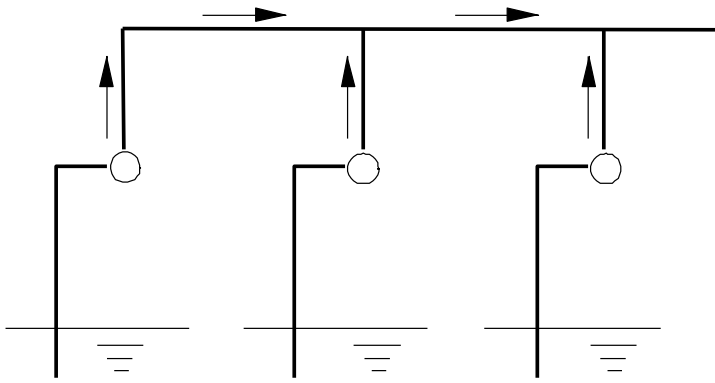
$$\gamma = \text{N/m}^3,$$

$$Q = \text{m}^3/\text{s},$$

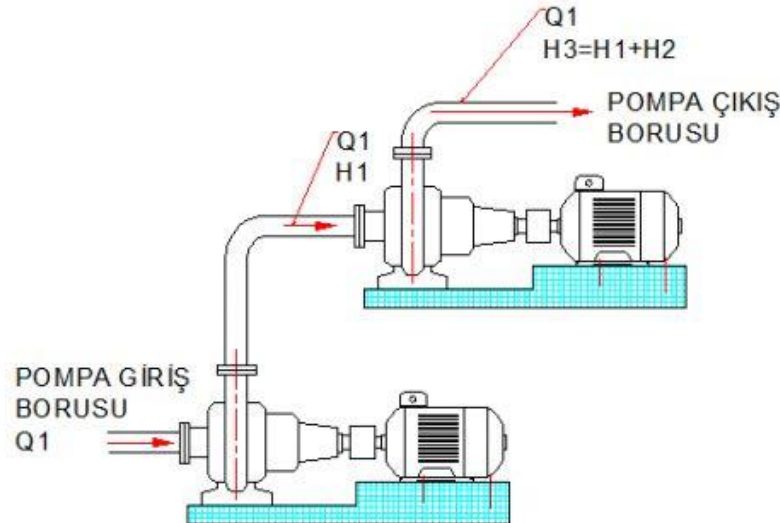
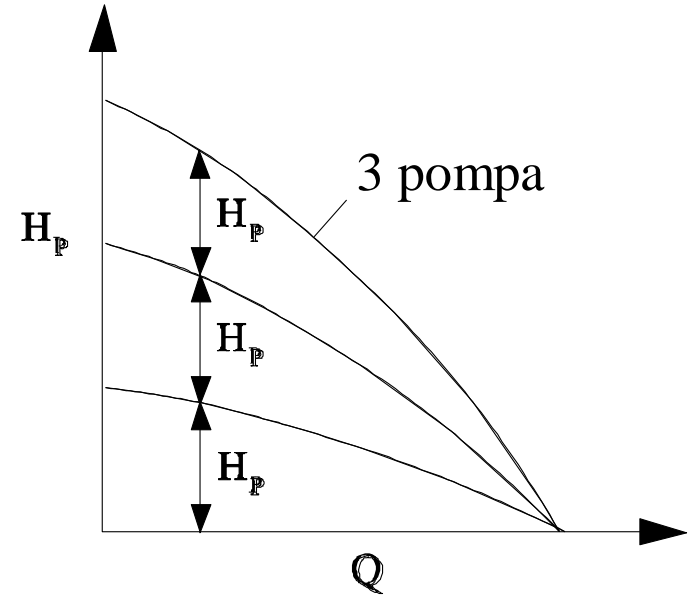
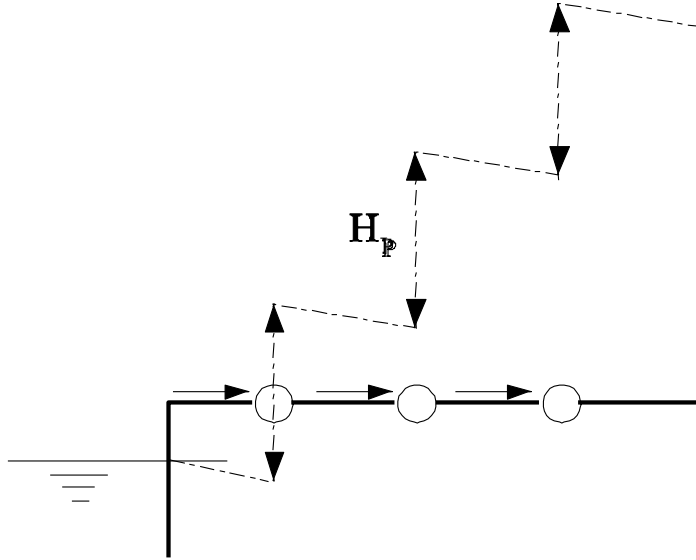
$$H_P = \text{m},$$

$$P = \text{watt}$$

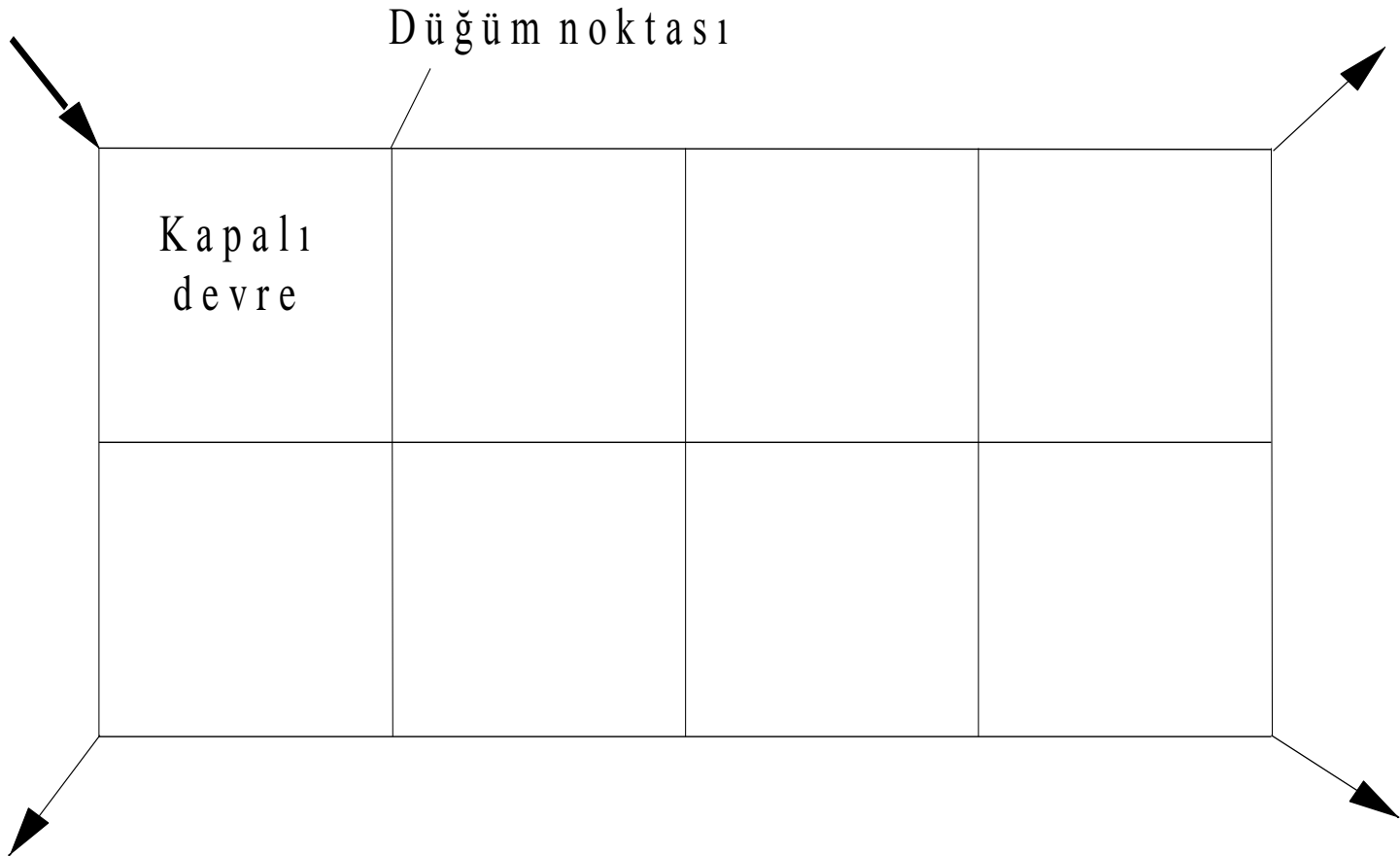
Paralel Pompa İşletimi



Seri Pompa İşletimi



BORU AĞLARININ HİDROLİK ANALİZİ



Hardy Cross Yöntemi

(a) Bir düğüm noktasına gelen toplam debi giden toplam debiye eşit olmak zorundadır (debinin sürekliliği).

(b) Boru ağındaki her bir kapalı devre üzerinde enerji kayıplarının cebirsel toplamı sıfır olmalıdır (enerjinin sürekliliği).

Hardy Cross Yönteminin Uygulanışı

1. Dügüm noktalarında debinin sürekliliği sağlanacak şekilde boru ağındaki her bir boru için bir başlangıç debi dağıtımı yapılır. Debiler, bir kapalı devrede saat akrebi yönünde pozitif aksi yönde negatif olarak işaret alırlar.
2. Her bir boru için enerji kaybı hesaplanır. Enerji kayıpları, bir kapalı devrede saat akrebi yönünde pozitif aksi yönde negatiftir.

Darcy-Weisbach formülü : $h_s = \frac{\lambda L}{12.1 D^5} Q^2$

Hazen-Williams formülü : $h_s = \frac{10.67 L}{C^{1.85} D^{4.87}} Q^{1.85}$

Manning formülü : $h_s = \frac{10.31 n^2 L}{D^{5.33}} Q^2$

3. Her bir devre için enerji kayıplarının cebirsel toplamı alınır.

$$\sum h_s = \sum r Q^m$$

Eğer, enerji kayıplarının toplamı her bir devre için kabul edilebilir ölçüde sıfıra yakınsa başlangıç debi dağıtımını doğru yapılmış demektir. Aksi halde her bir boru için debilerin düzeltilmesi gerekir.

4. Genellikle birinci hesap yaklaşımında $\sum h_s \approx 0$ çıkmaz. Bu durumda her bir devre için ayrı ayrı olmak üzere ΔQ düzeltme debileri hesaplanır. Bir devre üzerindeki ΔQ düzeltme debisini veren formül aşağıdaki gibi çıkarılabilir. Bir borudaki başlangıç debisi Q_0 ise düzeltilmiş debi:

$$Q = Q_0 + \Delta Q$$

şeklindedir. Yeni debiye göre bir borudaki enerji kaybı binom serisine göre aşağıdaki gibi yazılabilir (ikinci terimden sonrası ihmal edilerek):

$$h_s = r Q^m = r (Q_0 + \Delta Q)^m = r (Q_0 + m Q_0^{m-1} \Delta Q + \dots)$$

Düzeltilmiş debilere göre bir devre üzerindeki enerji kayıplarının cebirsel toplamının sıfır olmasını istiyoruz, yani:

$$\sum h_s = \sum r Q^m = \sum r Q_0^m + m \Delta Q \sum r Q_0^{m-1} = 0$$

Buradan bir devredeki herbir boru için düzeltme debisi:

$$\Delta Q = \frac{-\sum r Q_0^m}{m \sum r Q_0^{m-1}} = \frac{-\sum h_s}{m \sum (h_s / Q_0)}$$

Bu ifadenin payı cebirsel, paydası aritmetik toplamdır.

5. Devre üzerindeki her bir borunun debisi ΔQ nun cebirsel olarak toplanması ile düzeltilir:

$$Q = Q_0 + \Delta Q$$

İki devre arasındaki ortak bir borunun düzeltme debisi, bu boru için iki devreden bulunan düzeltme debilerinin cebirsel toplamı alınarak elde edilir.

6. Hesap işlemleri ikinci adımdan itibaren düzeltilmiş debilerle tekrarlanır.