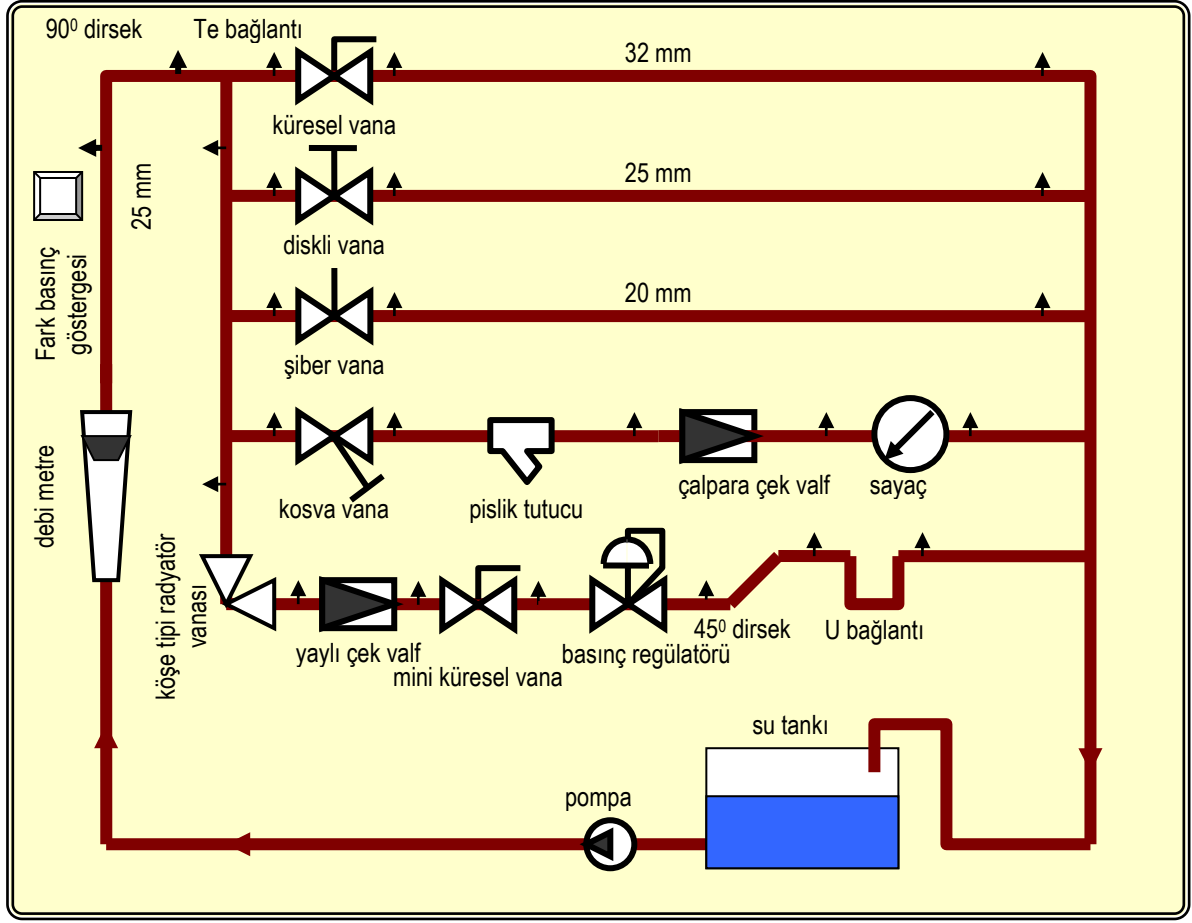


T.C. HİTİT ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

# BORU BASINÇ KAYIPLARI DENEYİ



## BORU BASINÇ KAYIPLARI EĞİTİM SETİ ŞEMASI



### 1. CİHAZIN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

1	Pano boyutları	1800x1200 mm
2	Pano malzemesi	Polyester
3	Deneysel ölçüm sayısı	15
4	Debi ölçüm aralığı	0-1000 L/h
5	Boru malzemesi ve çapı	PPRC-25 mm
6	20 mm PPRC boru iç çapı	12,5 mm
7	25 mm PPRC boru iç çapı	16 mm
8	32 mm PPRC boru iç çapı	20 mm
9	Pompa maks. basma yüksekliği	35 mSS
10	Pompanın maksimum debisi	3000 L/h

## 2. BAĞLANTI TALİMATNAMESİ

1. Cihaz girişini hortum yardımıyla hortum rakorlu ve vanalı bir tesisat çıkışına kelepçe ile bağlayın.
2. Cihaz çıkışını uygun spiral hortum ile drenaj hattına bağlayın.
3. Deneyler esnasında suyu kapatarak manometre giriş hortumlarını basınç kaybı ölçülecek olan cihazın giriş ve çıkışındaki tapalara bağlayın.
4. Deneyden sonra cihaz içindeki suyu drenaj hattına tahliye edin.

## 3. SIVI AKIŞ KAYIPLARI (TEORİK BİLGİ)

### 3.1. AKIŞ KAYIPLARININ NEDENLERİ

Enerjinin korunumu prensibi gereğince bir borudaki veya kontrol hacmindeki ideal ve gerçek akışında enerji kayıplarının olmaması gerekir. İdeal bir sıvı akışı halinde enerji dönüşümleri sadece bunlar arasında oluşur;

1. Akış işi (basınç yüksekliği)
2. Kinetik enerji (hız yüksekliği)
3. Potansiyel enerji (potansiyel yükseklik)

Bütün enerji formlarının (biçimleri) hepsi kullanışlı olup kullanışlı bir enerji çıkışına dönüştürülebilir veya sıvı akışında kullanılabilir (basınçlı tanklar içinde).

Gerçek sıvılar olması durumunda, sıvı akışı durumunda moleküller arasında sürtünme oluşur. Bu sürtünme iki ana nedenden dolayı ortaya çıkmaktadır.

1. Akışın akıntı dışı doğası
2. Sıvı viskozitesi sonucu sıvı sürtünmesi

Moleküller arasında sıkıntı sonucu gerçek sıvılarda enerjinin dördüncü bir biçimi ortaya çıkar, sıvıların iç enerjisinin transfer olan bir enerji olarak isimlendirilir. Sonuç olarak bu enerji sonucu sıvı ısınır. Bu enerji transferi genellikle denetlenmediğinden “*kayıp*” olarak kabul edilir. Çünkü sıvıdaki sıcaklık artışı çok küçüktür ve hızla yüzeylerden dağılır. Örnek olarak 10m’lik basınç kaybı su sıcaklığında sadece 0,023<sup>0</sup>C yükselmeye yol açar\*.

### 3.2. BASINÇ KAYIPLARININ EN AZA İNDİRİLMESİ

Akış kayıpları faydalı enerjinin kaybı olduğundan, kayıpların en aza indirilmesi çok önemlidir. Buna rağmen borular, bağlantı elemanları ve tesisat üzerindeki akış kayıplarının en aza indirilmesi için oldukça büyük bir masraf yapılması kaçınılmaz olacaktır.

İdeal olanı enerji kayıplarının düşürülmesi ve sıvı akış sisteminin fiyatının artırılmasıdır. Maksat, birçok durumlarda (hatta büyük tesisatlarda bile) mühendislik tecrübelerine dayanan

\* Bu durum aşağıdaki işlemlerle görülebilir;

$$\text{Enerji} = m \cdot g \cdot H = m \cdot 9,81 \cdot 10 = m \cdot 9,81 \text{ (J)}$$

$$\text{Sıcaklık artışı} = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$\text{Su için } c_p = 4,19 \text{ kJ/kgK}$$

$$\Delta T = \frac{m \cdot 9,81}{m \cdot 4,19 \cdot 10^3} = 0,023 \text{ } ^\circ\text{C}$$

çok ekonomik sistem tasarım hesaplarına teşebbüs edilmez, geçmiş tecrübelerden yararlanarak pratik kurallardan yararlanır. Bununla birlikte en ekonomik olarak tasarlanan sistem tasarımına ödenecek harç bir miktar fazla olabilecek iken enerji maliyetinin artması kaçınılmazdır.

Akış kayıpları şu yollarla azaltılabilir:

1. Akış hızını düşürün. Çünkü basma kayıpları katmanlı (laminer) akışta hıza eşit olarak değişirken türbülanslı akışta hızın karesiyle orantılı değişir. Akış hızı bir sistemde hız düşürülerek veya verilen bir debi için boru çapı büyütülerek düşürülür.
2. Sıvının viskozitesinin düşürülmesi. Bu genelde pratik bir uygulama değildir. Ancak fuel-oil gibi viskozitesi çok yüksek olan sıvılarda onları ısıtmak akışkanlıklarını artırır. Diğer bütün durumlarda basınç kayıplarının düşürülmesi ısıtma masraflarından ucuza gelecektir.
3. Girdap ve türbülansların en aza indirilmesi. Bu, boru ve elemanlarında keskin köşelerden, ani kesit değişimlerinden pürüzlü iç yüzeylerden kaçınmak suretiyle dikkatli sistem tasarımıyla sağlanabilir. Buna rağmen, standart boru ve bağlantı elemanlarının kullanılması ekonomik olacaksa bunları basınç kayıplarını en aza indirecek şekilde seçmek gerekir.

### 3.3. BORULARDA AKIŞ KAYIPLARI

Bir borudaki akış incelendiğinde akışkan hareketinin, düşük hızlarda düzgün bir biçimde olduğu, fakat hız belli bir değerin üzerine çıkarıldığında ise çalkantılı hale döndüğü görülür. İlk durumdaki akış rejimi, düzgün akım çizgili ve yüksek derecede düzenli hareket yapar ve akışın laminer olduğu söylenir. 2. durum ise akışta hız değişimleri vardır ve akış yüksek derecede düzensiz hareket yapar ve akışın türbülanslı olduğu söylenir. Reynolds sayısı, laminer akış ve türbülanslı akış gibi değişik akış rejimlerini nitelemek için kullanılır. Akışkanlar mekaniğinde Reynolds sayısı, bir akışkanın, atalet kuvvetlerinin ( $v\rho$ ) nin viskozite kuvvetlerine ( $\mu/L$ ) olan oranıdır.

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{VL}{\nu} = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskozite kuvvetleri}}$$

$V$  - akışkanın hızı

$L$  - karakteristik uzunluk

$\mu$  - akışkanın dinamik viskozitesi

$\nu$  - akışkanın kinematik viskozitesi:  $\nu = \mu / \rho$

$\rho$  - akışkanın yoğunluğu

#### **SORU 1 : Reynolds denkleminin elde edilmesini çıkarınız.**

Boru hattında farklı kesitlerdeki basınç farkları ve akım debisi ölçülür. Basınç farkı ve debi ölçüm sonuçlarından yararlanılarak akım ortalama hızı,  $Re$  (Reynolds sayısı), sürtünme faktörü ve yerel kayıp katsayıları hesaplanarak belirlenir. Akım ortalama hızı süreklilik denklemi, sürtünme faktörü ve yerel kayıp katsayıları Bernoulli denklemi kullanılarak belirlenir. Hesaplamalara ilişkin denklem ve bağıntılar aşağıda verilmiştir:

Sıkıştırılmayan bir akışkanın boru içerisindeki akışı için şu denklemler yazılabilir:

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (\text{Süreklilik denklemi})$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + \eta W_p = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H_k \quad (\text{Mekanik enerji dengesi})$$

Burada:

Q : Hacimsel akış hızı ( m<sup>3</sup>/s )

P : Statik basınç ( N/m<sup>2</sup> )

V : Akış hızı ( m/s )

H<sub>k</sub> : Toplam kayıp ( Nm/kg )

A : Borunun kesit alanı ( m<sup>2</sup> )

ρ : Yoğunluk ( kg/m<sup>3</sup> )

z : Yükseklik ( m )

g : Yerçekimi ivmesi ( 9,81 m/s<sup>2</sup> )

W<sub>p</sub> : Pompa işi ( Nm/kg )

η : Pompa verim

**SORU 2 : Daimi, sıkıştırılmaz akış için Bernoulli denklemini türetiniz.**

**SORU 3 : Bernoulli denkleminin kullanımındaki sınırlamalar nelerdir?**

Boru hatları farklı malzemeli ve farklı ebatlarda borulardan, vana, nipel ve dirsek gibi tesisat elemanlarından oluşur. Boru hatlarındaki toplam basınç kaybı viskoz etkilerin sebep olduğu sürtünmeden dolayı meydana gelen **sürekli kayıplar** ile farklı boru ve tesisat elemanlarının sebep olduğu direncin meydana getirdiği **yerel kayıpların** toplamıdır.

$$H_k = H_{k,sürtünme} + H_{k,yerel}$$

Bir boru akımında sürtünmeden kaynaklanan kayıplar sürekli, yani daima mevcuttur, bu yüzden sürekli kayıplar diye de adlandırılır. Sürekli kayıplar, akışkan yoğunluğu ve viskozitesi, boru çapı ve uzunluğu, boru iç yüzeyinin pürüzlülüğü ve akım hızına bağlıdır.

$$H_k = f(\rho, \mu, D, L, \varepsilon, V)$$

Burada , ρ akışkan yoğunluğu, μ akışkan dinamik viskozitesi, D boru iç çapı, L boru uzunluğu, V akım ortalama hızı ve ε boru iç yüzeyinin pürüzlülüğünü ifade eden karakteristik bir uzunluktur ve pürüzlülük diye adlandırılır.

Borudaki akış analizlerinde basınç düşüşü;

Laminer akış :

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{8\mu LV_{ort}}{R^2} = \frac{32\mu LV_{ort}}{D^2}$$

biçiminde ifade edilebilir. Uygulamalarda, tam gelişmiş iç akışların tüm türlerini (laminer veya türbülanslı akış, dairesel veya dairesel olmayan borular, pürüzsüz ve pürüzlü yüzeyler veya eğimli borular) için basınç kaybını;

$$\Delta P_k = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{ort}^2}{2}$$

biçiminde ifade etmek daha uygundur. **Darcy- Weisbach** denklemi elde edilir. Bu denklem tüm akışkan ve akım rejimleri için kullanılan genel bir denklemdir.  $\Delta P$  , sadece sürtünme ve sürüklenme kayıplarını karşılamak için gerekli basınç kaybıdır. Borulama sistemlerinin analizinde, basınç kayıpları genelde yük kaybı,  $H_k$  denen eşdeğer akışkan sütunu yüksekliği cinsinden ifade edilir. Yük kaybı  $H_k$ , borudaki sürtünmeden kaynaklanan kayıpları yenmek için akışkanın pompa tarafından çıkarılması gereken ilave yüksekliği temsil eder.

Sürtünme kaynaklı yük kaybı;

$$H_{k,sürtünme} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Formülü ile hesaplanır. Burada;

$H_k$  sürtünmeden kaynaklı yük kaybı (SI birim: m);

L borunun uzunluğu(m);

D borunun hidrolik çapı (borunun dairesel kesiti için iç çapa eşittir) (m);

V ortalama akış hızı (hacimsel akış ile birim zamanda ıslanan alan oranı) (m/s);

g yerçekimi ivmesi (m/s<sup>2</sup>);

Burada  $f$  Darcy sürtünme faktörüdür. Viskoz etkilerin meydana getirdiği sürtünme kuvvetlerini boyutlandırılan boyutsuz bir katsayıdır. Katı yüzey üzerinde meydana gelen kayma gerilmeleri ile boru kesitindeki ortalama dinamik basınç arasındaki orandır.

$$f = \frac{8\tau_w}{\rho V_{ort}^2}$$

Pratikte sürtünme faktöründeki artış bilinmez ve akış hızları değiştiğinden dolayı sabit kabul edilemez. Sürtünme kaybının bulunması ile ilgili birçok kartlar ve diyagramlar bulunmaktadır. Fakat Şekil-1'de gösterilen Moody diyagramı çok geniş kullanıma sahiptir.

Moody diyagramı aslında sürtünme faktörü (sol y ekseninde) ve Reynolds sayısı(x ekseninde)nın logaritmik ölçekte çizimidir. Sağ taraftaki y eksenini şu şekilde tanımlanan bağıl pürüzlülük değerini verir:

$$\text{Bağıl pürüzlülük } (\epsilon_R) = \frac{\text{mutlak pürüzlülük } (\epsilon)}{\text{boru çapı}(d)}$$

Mutlak pürüzlülük yüzeydeki girinti çıkıntıların ortalama yüksekliğidir ve borunun malzemesine ve üretim yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Tipik mutlak pürüzlülük değerleri Moody diyagramı içinde gösterilmiştir. Ekstruzyonla üretilen (demir dışı) borular, cam ve plastik borular çok hassas yüzeye sahiptir ve tamamen sürtünmesiz olarak kabul edilebilir. En düşük sürtünme faktörü (verilen bir Reynolds sayısı ile) en aşağıdaki eğri “*pürüzsüz borular*”ı göstermektedir.

Reynolds sayısı 2000’in altında ise akış katmanlı (laminer)dır. Laminer akışta sürtünme faktörü, pürüzlülüğten bağımsız olarak sadece Reynolds sayısına bağlıdır. Bu, diyagramın sol tarafında aşağıya doğru düz bir çizgi olarak gösterilmiştir. Sadece katmanlı akış için;

$$f = 64/Re$$

Bu değer Reynolds sayısı 2000 ile 4000 arasında olduğundan akış kararsız bir bölgededir ve diyagram kullanılamaz.

Reynolds sayısı arttığında akış tedirgin (türbülanslı) olmaya başlar. Diyagramda sağa yatay olarak tamamen türbülanslı bölgeye gelindiğinde, sürtünme faktörü Reynolds sayısından bağımsız hale gelir. Bu bölge diyagramda kesikli çizgiler halinde ayrılmıştır. Sadece bu bölge için sürtünme faktörü hızın değişmesi ile değişmez ve basma kayıpları eğrisi doğru bir parabol olacaktır.

Bağlantı elemanlarındaki basma kayıpları sıklıkla “*ikincil kayıplar*” olarak adlandırılırsa da yanlış kullanım olduğunda bağlantı elemanlarından kaynaklanan basma kayıpları boruların kendisinden kaynaklanan kayıpları geçebilir.

Bağlantı elemanlarındaki kayıpların hesaplanmasında çeşitli yöntemler kullanılabilir, en yaygın ve geniş kullanım “*K faktörü*” yöntemidir. K faktörü aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmaktadır.

$$H_{k,yerel} = K \frac{V^2}{2g}$$

Burada;

$H_K$  = bağlantı elemanlarındaki basma kayıpları (m akışkan akışı)

V veya u= ortalama veya anma akış hızı (m/s)

g = yer çekim ivmesi (m/s<sup>2</sup>)

K = boyutsuz bağlantı kayıp faktörü

K değerinin bulunması için birçok tablo ve diyagramlar elde edilebilir ki o pratikte şunlara bağlıdır:

1. Bağlantı elemanının malzemesi ve üretim yöntemi
2. Bağlantı elemanının boyutu
3. Akışkanın doğası (durumu) (karakteri)

Buna rağmen K faktörünün hesabında yüksek hassasiyet gerektirmeyen durumlar için Tablo 1.1'deki ortalama değerleri birçok durumlarda kullanılabilir.

#### Notlar:

1. Ani duraklama ve genişlemelerde K faktörü giriş  $A_1$  yüzeyi ile çıkış  $A_2$  yüzeyi oranına bağlıdır. Ani genişleme durumunda Tablo 11.1 K faktörünü belirlemek için basit bir formül verilmiştir. Ani daralma durumunda aynı formül kullanılmaz ve K değeri tablodan uygun olan oranına göre seçilir.
2. Şayet bir boru tank veya depoya bağlanıyorsa,  $A_1/A_2$  oranı sıfır alınabilir. Bundan dolayı  $K=1$  alınır. Bir tank veya depodan bir boruya girişte  $A_2/A_1$  oranı sıfır alınabilir, böylece  $K=0,5$  alınır.
3. Yavaş daralmalar için, gittikçe incelen veya iyi yuvarlatılmış geçişlerde basma kaybı ihmal edilebilir. Kademeli genişlemelerde K faktörü duvarın eğimine bağlıdır. Şayet açı  $50^\circ$ 'yi aşarsa etkisi ani genişleme gibi olur ve  $K=1$  alınabilir. Şayet açı çok keskin ise ve  $10^\circ$ 'nin altında ise basma kayıpları ihmal edilebilir ve  $K = 0$  alınabilir.
4. Vana için K faktörü (ve ayrıca basma kaybı) valfin açılma oranına bağlıdır. Valf tamamen kapalı olduğunda K faktörü sonsuz olduğunda valfle tamamen basma kaybı vardır (akış olmaz). Tam akış olan bir sistemde valf norma olarak tamamen açıktır. Buna rağmen, tasarım mühendisleri valfleri seçerken ayar emniyeti sağlamak üzere  $\frac{1}{2}$  veya  $\frac{3}{4}$  açık olarak dikkate alırlar. Bazı durumlarda kısma kontrolün önemli bir parçasıdır, sıvı akış sistemini tasarlarken düşük bir kısma gerekebilir.
5. Sabit boru çaplarında uygun boyutlu bağlantı elemanları kullanılabilir. u hızı bütün bağlantı elemanlarında sabit kabul edilir. Böylece toplam K faktörü bütün bağlantı elemanlarının K değerlerinin toplamı olarak alınabilir. Bu durum Örnek 11.4'te açıklanmaktadır.

#### **Örnek 1.1**

Uzunluğu 1km, çapı 100mm olan borudan 20 L/s su geçmesi durumunda basma yüksekliği kaybını ve böylece basınç kayıplarını hesaplayınız. Sürtünme faktörü 0,02 kabul edilecektir.

#### **Çözüm:**

İlk olarak anma hızı u hesaplanır:

$$u = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{0,1^2}{4}} = 2,55 \text{ m/s}$$

1.1 formülünde yerine konursa;



$$H_K = 0,02 \cdot \frac{1000}{0,1} \cdot \frac{2,55^2}{2,9,81}$$

$$H_K = 66,1m$$

*basma yükseklik kaybı bir basıncı kaybı olduğu;*

$$H_K = hp = \frac{P}{\rho g}$$

$$P = \rho \cdot g \cdot H_K$$

$$P = 10^3 \cdot 9,81 \cdot 66,1 \text{ (Pa)}$$

$$P = 648 \text{ kPa bulunur.}$$

### **Örnek 1.2**

Örnek 1.1’de verilen boru için akış hızlarına karşı basma yüksekliği kayıplarını bir grafik halinde, anma akış hızı 0 ve 5m/s aralığında 1m/s’lik adımlarla çiziniz. Sürtünme kaybını sabit kabul ediniz.

### **Cözüm:**

Darcy eşitliğinden;

$$H_K = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

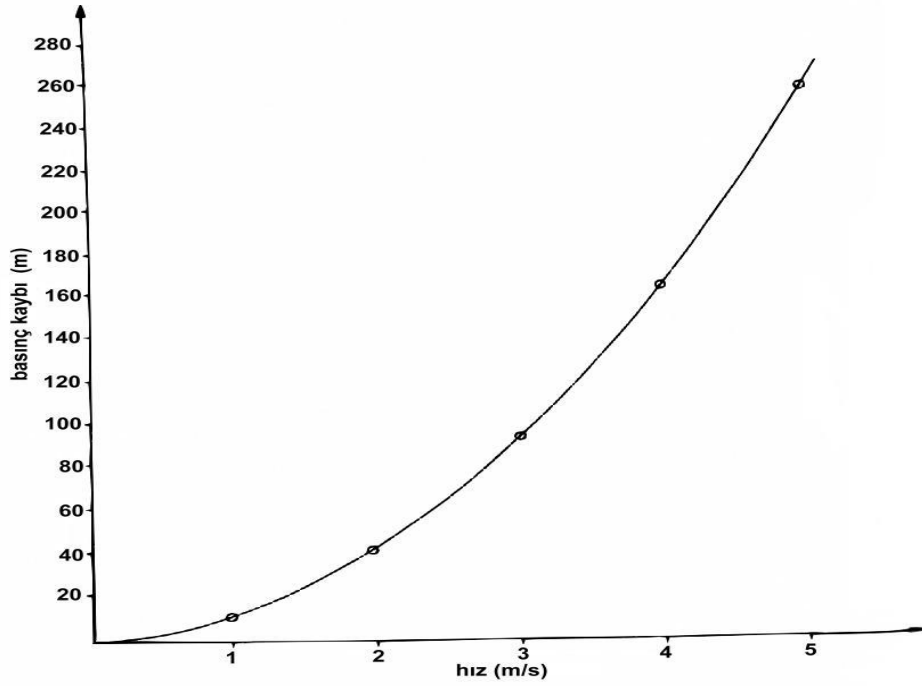
$$H_K = 0,02 \cdot \frac{1000}{0,1} \cdot \frac{u^2}{2,9,81}$$

$$H_K = 10,19u^2$$

Şimdi yukarıdaki formüle hızları koyarak basma kayıplarını hesaplayabiliriz.

u (m/s)	0	1	2	3	4	5
H <sub>K</sub> (m)	0	10,2	40,8	91,7	163	255

Bu noktalar Şekil-1.1’de çizilmiştir. Bu elbette bir paraboldür, çünkü sürtünme kaybı sabit kabul edildiğinden, basma kayıpları hızın karesiyle değişir. Böylelikle uzun borularda yüksek akış hızlarından kaçınmak gerektiğini görmekteyiz ve küçük bir hız azalmasında (örnek olarak 5m/s’den 4m/s’ye azalmasında) basma kayıplarında çok önemli bir azalma olmaktadır(255m’den 163m’ye düşer).



Şekil-1.1

**Örnek-1.3**

Viskozitesi 0,06 Pa.s olan yağ (BY=0,9), 120mm çapında, 100m uzunluğunda dökme demir bir boru içinden akmaktadır. Basma kayıplarını su hızlar için hesaplayınız.

- a) 1m/s                      b) 3m/s                      c) 10m/s

**Çözüm:**

Moody diyagramından mutlak pürüzlülük  $\varepsilon = 0,25\text{mm}$  (dökme demir)

$$\varepsilon_R = \frac{\varepsilon}{d} = \frac{0,25}{120} = 0,0021$$

a)  $u = 1\text{m/s}$

$$\text{Re} = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{1,0 \cdot 12,900}{0,06} = 1800$$

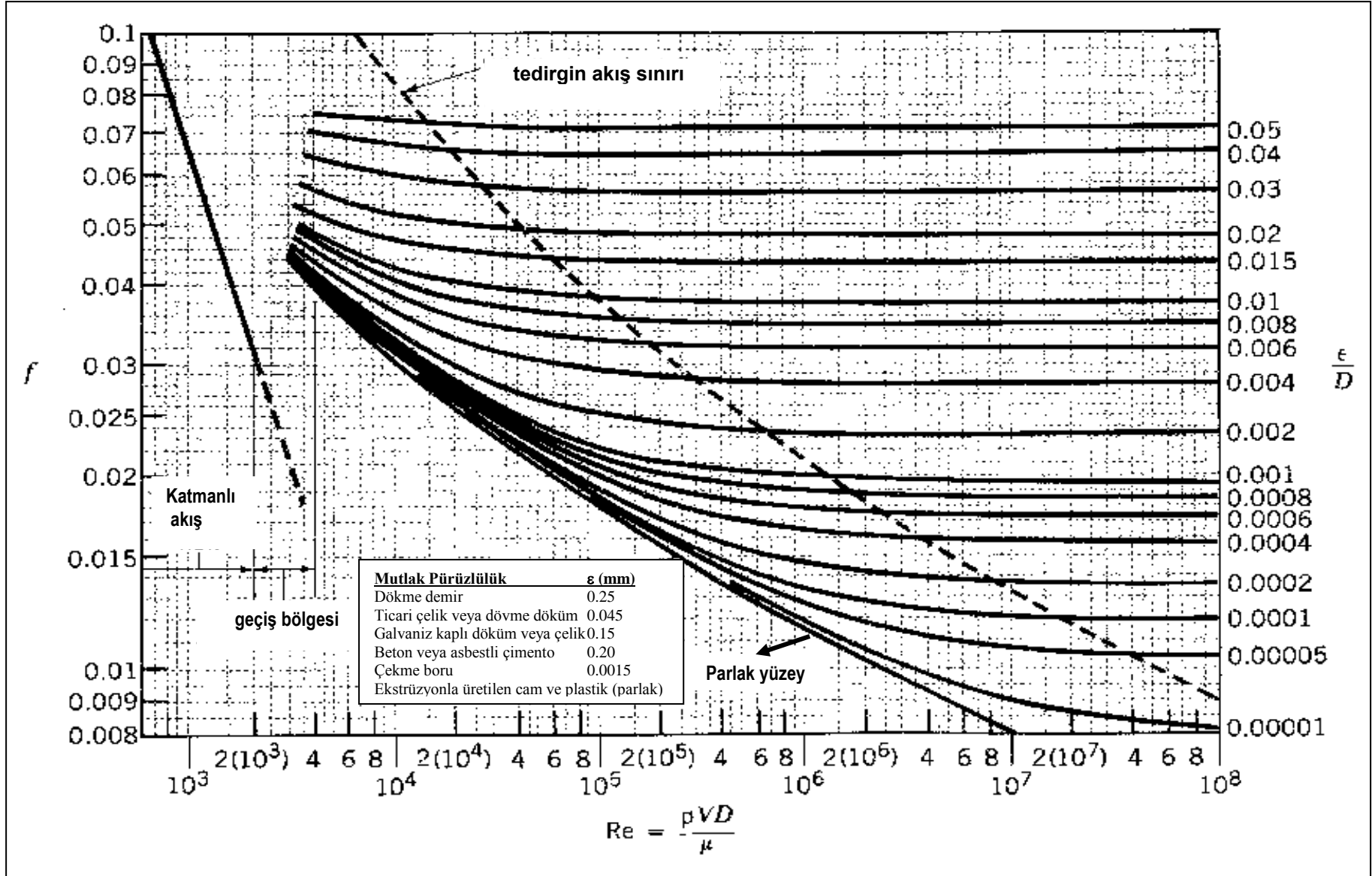
Akış katmanlı olduğundan  $f = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{1800} = 0,0356$

11.1'deki formül kullanılır ak;

$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

$$H_L = 0,0356 \cdot \frac{100}{0,12} \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$H_L = 1,51\text{m}$$



Şekil-1.2 Moody diyagramı

**b)  $u = 3\text{m/s}$**

$$\text{Re} = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{3,0 \cdot 12 \cdot 900}{0,06}$$

$$\text{Re} = 5400$$

Moody diyagramı kullanılarak  $\text{Re} = 5400$  ve bağıl pürüzlülük = 0,0021 için  $f = 0,0395$  bulunur .

11.1 formülünde yerine konulursa ;

$$H_L = 0,0395 \cdot \frac{100}{0,12} \cdot \frac{3^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$H_L = 15,1\text{m}$$

**c)  $u=10\text{m/s}$**

$$\text{Re} = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{10 \cdot 12 \cdot 900}{0,06}$$

$$\text{Re} = 18 \cdot 10^3$$

Moody diyagramının da  $\text{Re} = 18 \cdot 10^3$  ve bağıl pürüzlülük = 0,0021 için  $f = 0,031$  bulunur .

11.1 formülünde yerine konulursa ;

$$H_L = 0,031 \cdot \frac{100}{0,12} \cdot \frac{10^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$H_L = 132\text{m}$$

Bu basma kayıpları elbette çok yüksek olduğundan pratik değildir.  $P = \rho \cdot g \cdot h_p$  olduğundan boru boyunca basınç düşmesi  $900 \cdot 9,81 \cdot 132 = 1,165 \text{ MPa}$  olacaktır. Bu açık bir durum olduğundan mühendisler basma kayıplarını düşürmek için boru çaplarını büyüterek akış hızlarını düşürmelidirler. Ayrıca dökme demir yerine daha pürüzsüz yüzeye sahip çelik boru veya çekme demir boru kullanılarak basma kayıplarını azaltabilirler.

TABLO-1.1 Bağlantı elemanları için tipik K faktörleri

BAĞLANTI ELEMANI	K FAKTÖRÜ
U dönüşü (kapalı)	2.2
Standart 45 <sup>0</sup> dirsek	0.4
Standart 90 <sup>0</sup> dirsek	0.9
Uzun radyuslu (geniş) 90 <sup>0</sup> dirsek	0.6
Dişli birleştirme (ünyon)	0.05
T (akış hat boyunca)	0.4
T (akış yan taraftan)	1.8
Ani genişleme	$(1-A_1/A_2)^2$
Ani daralma (A <sub>2</sub> /A <sub>1</sub> )	
0	0.5
0.1	0.4
0.3	0.45
0.5	0.3
0.7	0.2
0.9	0.08
Yavaş daralma	İhmal edilebilir
Yavaş genişleme, açığa bağlı	
>50 <sup>0</sup>	1.0
40 <sup>0</sup>	0.9
30 <sup>0</sup>	0.7
20 <sup>0</sup>	0.4
10 <sup>0</sup>	0.15
Sürgülü (şiber) vana, (konumu)	
tam açık	0.2
<sup>3</sup> / <sub>4</sub> açık	0.9
<sup>1</sup> / <sub>2</sub> açık	5.0
<sup>1</sup> / <sub>4</sub> açık	24
Stop (diskli) vana, (konumu)	
tam açık	10.0
<sup>3</sup> / <sub>4</sub> açık	11.0
<sup>1</sup> / <sub>2</sub> açık	12.5
<sup>1</sup> / <sub>4</sub> açık	50.0
Klapeli valf, filtreli (mafsallı)	2.0
(kaldırmalı)	10.0
Çek valf (klape), (mafsallı)	2.5
(bilyalı)	4.0
(kaldırmalı)	15.0

**Örnek-1.4**

Bir sistemde su 60m yükseğe 100mm çaplı galvanizli çelik boru ile pompalanmakta ve aşağıdaki bağlantı elemanları bulunmaktadır:

- 1 adet klapeli valf ve pislik tutucu
- 4 adet standart 90<sup>0</sup> dirsek
- 4 adet dişli ünyon
- 2 adet kapama valfi
- 1 adet ani genişleme (basınçlı tanka)

Kapama valfi yarım açık konumda iken 20 L/s debide sistemdeki basma kayıplarını hesaplayınız. Suyun viskozitesini  $0,9 \cdot 10^{-3}$  Pa.s kabul edin.

**Cözüm:**

İlk olarak u hızı hesaplanır.

$$u = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{0,1^2}{4}} = 2,55 \text{ m/s}$$

Böylece Reynolds sayısı hesaplanabilir;

$$Re = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{2,55 \cdot 0,1 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 10^{-3}} = 2,83 \cdot 10^5$$

Boru Moody diyagramında (şekil 11.2)  $\varepsilon_{(\text{galvanizli döküm})} = 0,15 \text{ mm}$  alınır. Böylece bağlı pürüzlülük  $\varepsilon = 0,15/100 = 0,0015$

Diyagramdan;  $f = 0,0225$

1.1'deki Darcy formülü kullanılarak;

$$H_K = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

$$H_K = 0,0225 \cdot \frac{60}{0,1} \cdot \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$H_K = 4,47 \text{ m}$$

Bağlantı Elemanları

Tablo-1.1 kullanılarak;

Bağlantı	Sayısı	K Faktörü	Toplam K Faktörü
Dip vanası	1	2,0	2,0
Dirsek	4	0,9	3,6
Ünyon	4	0,05	0,2
Burgulu vana	1 açık 1 yarım açık	5,0 1,0	5,0 1,0
Genişleme	1	1,0	1,0
<b>Toplam</b>			<b>12,0</b>

1.2 formülü kullanarak;

$$H_K = K \frac{u^2}{2g}$$

$$H_K = 12 \cdot \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$H_K = 3,98 \text{ m}$$

Sistemdeki toplam basma kayıpları, borulardaki ve bağlantı elemanlarındaki basma kayıplarının toplamıdır.

$$H_{(\text{toplam})} = 4,47 + 3,98 = 8,45\text{m}$$

A) DENEY NO : P-420-01

B) DENEYİN ADI : **Yerel kayıp katsayılarının hesabı**

C) DENEYİN AMACI : Sıvı akışkan hatlarında kullanılan ve akım çizgilerini geometrik olarak değiştirerek kısıtlayan yerel bağlantı cihazlarındaki basınç kayıplarını ölçmek. Bu ölçüm değerlerine bağlı olarak yerel kayıp katsayısı K değerini hesaplayabilmek.

D) GEREKLİ ALET VE CİHAZLAR

E) DENEYİN YAPILIŞI

- 1) Manometre bağlantı hortumlarını diskli vana giriş ve çıkışındaki tapalara bağlayın.
- 2) Su hattını açın ve debiyi 100 L/h değerine ayarlayın.
- 3) Ölçüm değerlerini tabloya kaydedin.
- 4) Su debisini sırayla 200, 300, 400, ve 500 L/h değerlerine ayarlayarak ölçümleri tabloya kaydedin.
- 5) Debi değerlerini boru kesitine bölerek akış hızlarını bulun.
- 6) (1.2) formülü yardımıyla K değerlerini farklı akış hızları ve basınç kayıpları için hesaplayın.

$$K = \frac{H_k}{u^2} \cdot 2g$$

- 7) 1 ile 6 arasındaki işlem adımlarını vananın farklı açıklık oranları için tekrarlayabilirsiniz.
- 8) Diğer vana ve bağlantı elemanları için deneyleri benzer şekilde tekrarlayın.

F) RAPORDA İSTENENLER

Deney no, deneyin adı ve amacı, ölçüm sonuçları ve K değerleri



ÖLÇÜM	DEB İ L/h	ΔP mmSS	ÖLÇÜM	DEB İ L/h	ΔP mmSS
Dirsek, PPRC, 25 mm	150 0	3	Su sayacı, metal, 3/4"	140 0	588
Dirsek, PPRC, 25 mm	100 0	2	Su sayacı, metal, 3/4"	100 0	336
Dirsek, PPRC, 25 mm	500	1	Su sayacı, metal, 3/4"	500	128
Te, galvaniz, 3/4" (yatay akış)	150 0	2	Su sayacı, metal, 3/4"	250	74
Te, galvaniz, 3/4" (yatay akış)	100 0	9			
Te, galvaniz, 3/4" (yatay akış)	500	21	Radyatör vana, piriç, 1/2" (tam açık)	137 0	129
Te, galvaniz, 3/4" (düşey akış)	150 0	28	Radyatör vana, piriç, 1/2" (3/4 açık)	136 0	164
Te, galvaniz, 3/4" (düşey akış)	100 0	12	Radyatör vana, piriç, 1/2" (1/2 açık)	135 0	236
Te, galvaniz, 3/4" (düşey akış)	500	3	Radyatör vana, piriç, 1/2" (1/4 açık)	124 0	598
Küresel vana, piriç, 25 mm (tam açık)	177 0	14			
Küresel vana, piriç, 25 mm (3/4 açık)	175 0	46	Mini küre. vana, piriç, 3/4" (tam açık)	137 0	78
Küresel vana, piriç, 25 mm (1/2 açık)	170 0	144	Mini küre. vana, piriç, 3/4" (3/4 açık)	130 0	375
Küresel vana, piriç, 25 mm (1/4 açık)	164 0	320	Mini küre. vana, piriç, 3/4" (1/2 açık)	105 0	1178
Sürgülü vana, piriç, 25 mm (tam açık)	170 0	36	Mini küre. vana, piriç, 3/4" (1/4 açık)	500	2800
Sürgülü vana, piriç, 25 mm (3/4 açık)	169 0	40			
Sürgülü vana, piriç, 25 mm (1/2 açık)	168 0	58	Yaylı çek valf , piriç, 25 mm	137 0	70
Sürgülü vana, piriç, 25 mm (1/4 açık)	155 0	375	Yaylı çek valf , piriç, 25 mm	100 0	47
Diskli vana, piriç, 25 mm (tam açık)	160 0	143	Yaylı çek valf , piriç, 25 mm	500	24
Diskli vana, piriç, 25 mm (3/4 açık)	159 5	148	Yaylı çek valf , piriç, 25 mm	250	15
Diskli vana, piriç, 25 mm (1/2 açık)	159 0	171			
Diskli vana, piriç, 25 mm (1/4 açık)	155 0	266	Basınç regülatörü, piriç, (tam açık)	137 0	482
Kosva vana, piriç, 25 mm (tam açık)	139 0	77	Basınç regülatörü, piriç, (tam kapalı)	126 0	1110

Kosva vana, piriç, 25 mm (3/4 açık)	138 0	100			
Kosva vana, piriç, 25 mm (1/2 açık)	136 0	144	Yarım dirsek, 45°, PPRC, 25 mm	137 0	11
Kosva vana, piriç, 25 mm (1/4 açık)	132 0	304	Yarım dirsek, 45°, PPRC, 25 mm	100 0	4
Pislik tutucu, piriç, 25 mm	140 0	80	Yarım dirsek, 45°, PPRC, 25 mm	500	2
Pislik tutucu, piriç, 25 mm	100 0	40	Yarım dirsek, 45°, PPRC, 25 mm	250	1
Pislik tutucu, piriç, 25 mm	500	12			
Pislik tutucu, piriç, 25 mm	250	4	U parçası (4'lü dirsek), PPRC, 25 mm	137 0	74
Çalpara çek valf, piriç, 25 mm	140 0	27	U parçası (4'lü dirsek), PPRC, 25 mm	100 0	39
Çalpara çek valf, piriç, 25 mm	100 0	13	U parçası (4'lü dirsek), PPRC, 25 mm	500	10
Çalpara çek valf, piriç, 25 mm	500	5	U parçası (4'lü dirsek), PPRC, 25 mm	250	2
Çalpara çek valf, piriç, 25 mm	250	3			

A) DENEY NO : P-420-2

B) DENEYİN ADI : **Sürekli basınç kayıplarının ölçümü**

C) DENEYİN AMACI : Sıvı akışkan hatlarında kullanılan boruların gerek iç yüzey (cidar) akışkan arasındaki sürtünmeden ve gerekse akışkan moleküllerinin kendi aralarındaki sürtünmesinden kaynaklanan basınç kayıplarını ölçmek. Bu ölçüm değerlerine bağlı olarak sürtünme katsayısı değerini hesaplayabilmek.

D) GEREKLİ ALET VE CİHAZLAR

E) DENEYİN YAPILIŞI

- 1) Manometre bağlantı hortumlarını ince düz boru (çap 20 mm) giriş ve çıkışındaki tapalara bağlayın.
- 2) Su hattını açın ve debiyi 100 L/h değerine ayarlayın.
- 3) Ölçüm değerlerini tabloya kaydedin.
- 4) Su debisini sırayla 250, 500, 1000, ve 1500 L/h değerlerine ayarlayarak ölçümleri tabloya kaydedin.
- 5) Debi değerlerini boru kesitine bölerek akış hızlarını bulun.
- 6) Moody diyagramı yardımıyla borunun bağıl pürüzlülük değerini hesaplayın.
- 7) Akış hızı yardımıyla akışın Reynolds değerini hesaplayın.

$$Re = \frac{\rho v_s d}{\mu} = \frac{v_s d}{\nu} = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskozite kuvvetleri}}$$

- $v_s$  - akışkanın hızı [m/s]
- $d$  - boru çapı [m]
- $\mu$  - akışkanın dinamik viskozitesi [Ns/m<sup>2</sup>]
- $\nu$  - akışkanın kinematik viskozitesi:  $\nu = \mu / \rho$
- $\rho$  - akışkanın yoğunluğu [kg/m<sup>3</sup>]

- 8) Bağıl pürüzlülük ve Re sayısını Moody diyagramında kesiştirerek  $f$  sürtünme katsayısını bulun.
- 9) Sürtünme katsayısı ( $f$ ) değerini Darcy (1.1) formülünde yerine koyarak basınç kaybını hesaplayın.

$$H_k = f \frac{L u^2}{D 2g} \quad (1.1)$$

- 10) Hesaplanan değer ile ölçülen değeri karşılaştırın.

F) RAPORDA İSTENENLER

Deney no, deneyin adı ve amacı, ölçüm sonuçları ve  $f$  değerleri



