



**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

MEKATRONİK LABORATUVARI –I

BASINÇ KAYIPLARI DENEYİ

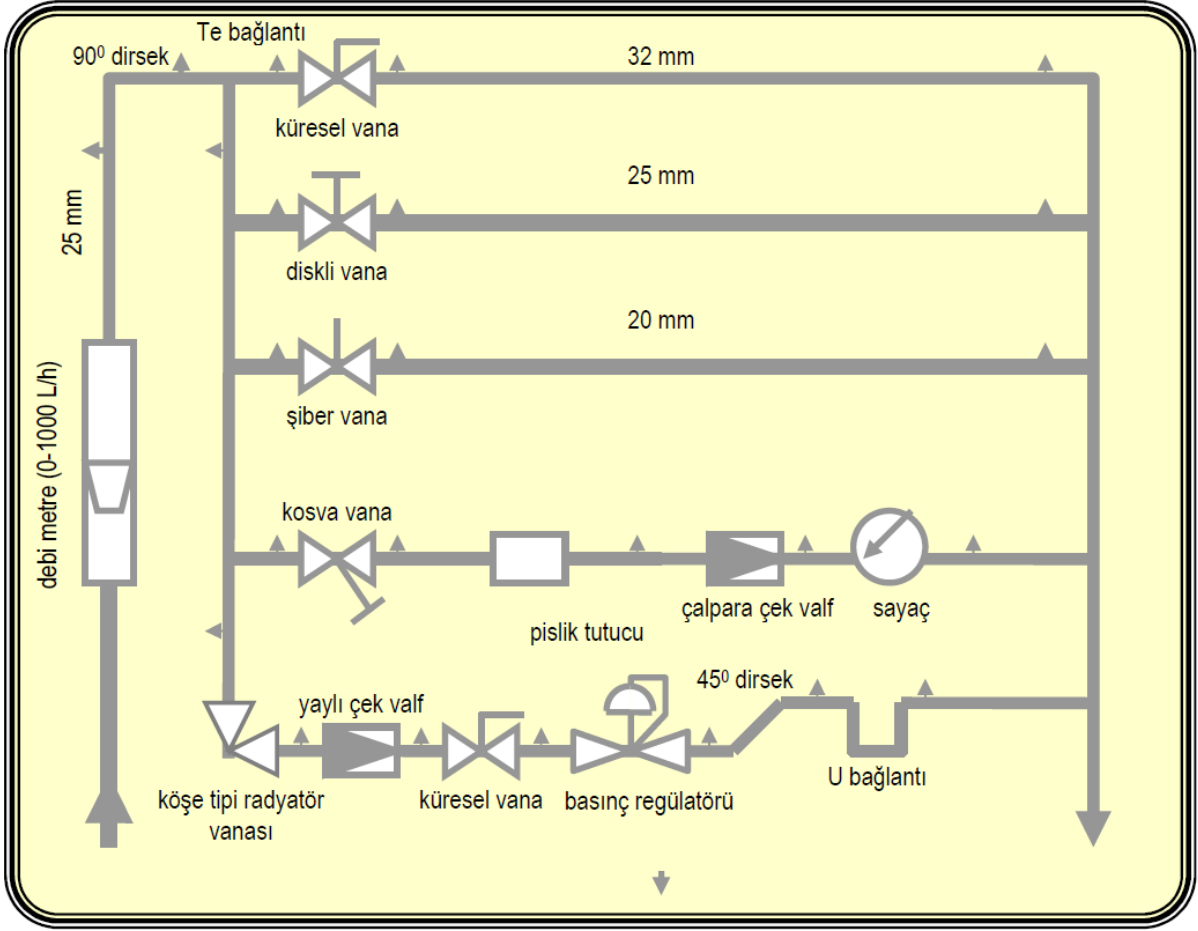
DENEY SORUMLUSU

Arş. Gör. Şaban ULUS

Ocak 2013

KAYSERİ

T-420 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

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.

SIVI AKIŞ KAYIPLARI

1. Akış Kayıplarının Nedenleri

Enerjinin korunumu prensibi gereğince bir borudaki veya kontrol hacmindeki ideal ve gerçek akışında enerji kayıplarının olmaması gerekir.

1. BORU VE BAĞLANTI ELEMANLARINDA BASINÇ KAYIPLARI

1.1. BASINÇ 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 dönüştürebilir 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 0,023⁰C yükselmeye yol açar.

1.2. 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 alanı enerji kayıplarının düşürülmesi ve sıvı akış sisteminin fiyatının arttırılmasıdır. Maksat, birçok durumlarda (hatta büyük tesisatlarda bile) mühendislik tecrübelerine dayanan 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.

* Bu durum aşağıdaki işlemlerle görülebilir;

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

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

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

$$\Delta T = \frac{m \times 9,81}{m \times 4,19 \cdot 10^3} = 0.023 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Sıvının viskozitesinin düşürülmesi. Bu genelde pratik bir uygulama değildir. Ancak fuel-oil gibi viskozitesi çok yüksek olan sıvılarda onları ısıtmak akışkanlıklarını arttırır. 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 olaksa bunları basınç kayıplarını en aza indirecek şekilde seçmek gerekir.

1.3. BORULARDA AKIŞ KAYIPLARI

Borularda akış kayıplarını hesaplamak için en kullanışlı formüllerden biri Darcy-Weisbach denklemidir (Darcy eşitliği olarak da bilinir).

$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad (1.1)$$

Burada;

H_L = basma kaybı (m akışkan akısı)

L = borunun uzunluğu (m)

u = ortalama anma akış hızı (m/s)

g = yer çekim ivmesi (m/s^2)

f = boyutsuz sürtünme faktörü

Örnek 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:

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

1.1 nolu formülde yerine konursa ;

$$H_L = \frac{0,02 \cdot 1000}{0,1} \cdot \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81} = 66,1 \text{ m bulunur.}$$

Basma yükseklik kaybı bir basınç kaybı olduğundan:

$$H_L = hp = \frac{P}{\rho \cdot g} \quad \text{ve} \quad P = \rho \cdot g \cdot H_L$$

$$P = 10^3 \cdot 9,81 \cdot 66,1 \text{ (Pa)} \quad P = 648 \text{ kPa} \quad \text{bulunur.}$$

Örnek 2: Örnek 1’de verilen boru için akış hızlarına karşı basma yüksekliği kayıplarını bir grafik halinde, anma akış hızı 0 ve 5 m/s aralığında 1m/s’lik adımlarla çiziniz. Sürtünme kaybını sabit kabul ediniz.

Çözüm:

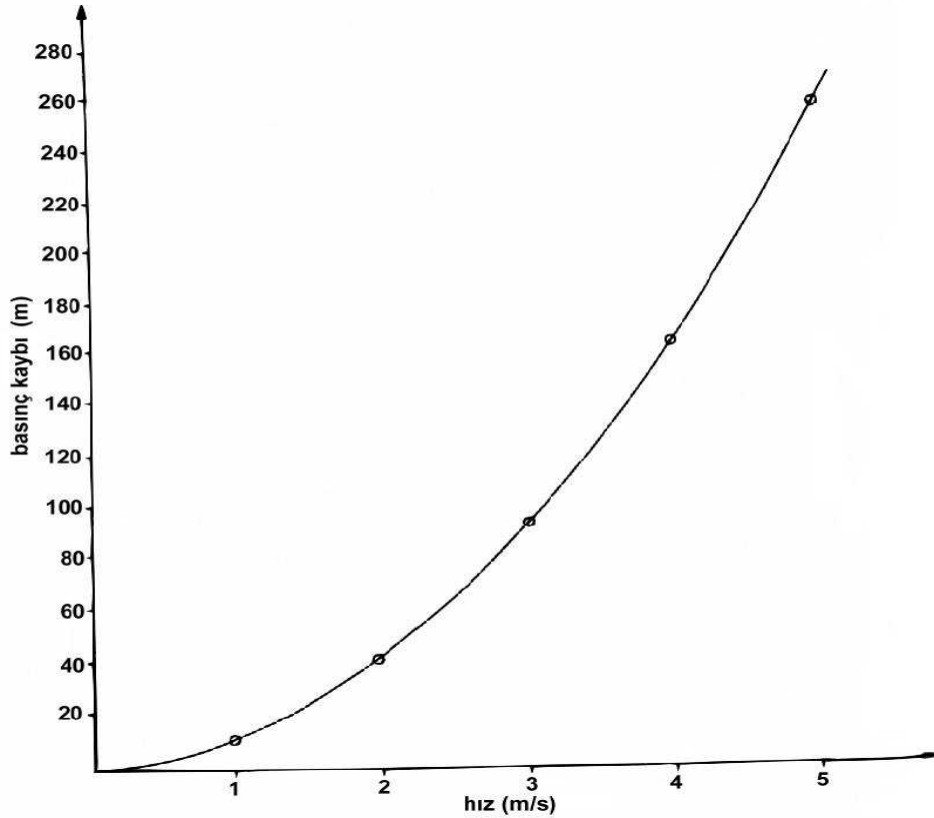
Darcy Eşitliğinden ;

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

$$H_L = \frac{0,02 \cdot 1000}{0.1} \cdot \frac{u^2}{2 \cdot 9,81} H_L = 10,19 \cdot u^2$$

u (m/s)	0	1	2	3	4	5
H _L (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

1.4. SÜRTÜNME FAKTÖRÜNÜN HESAPLANMASI

Örnek 2’de sürtünme faktörü sabit kabul edilmişti. Pratikte buna rağmen sürtünme faktöründeki artış bilinmez ve akış hızları değiştiğinden dolayı sabit kabul edilemez. Sürtünme kaybının bulunması ile ilgili birçok kartlar ve diyagramlar bulunmaktadır. Fakat, şekil 1.2’de gösterilen Moody diyagramı çok geniş kullanıma sahiptir. Moody diyagramı

aslında sürtünme faktörü (sol y ekseninde) ve Reynolds sayısının (x ekseninde) 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 çıkıntılarının ortalama yüksekliğidir ve borunun malzemesine ve üretim yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Tipik mutlak pürüzlülük değerleri Moody diyagramı içinde gösterilmiştir. Ekstrüzyonla 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 boruları” göstermektedir. Reynolds sayısı 2000’in altında ise akış katmanlıdır (laminerdir). Katmanlı akışta sürtünme faktörü, pürüzlülükten 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 baslar. 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.

Örnek 3

Viskozitesi 0,06 Pa.s olan yağ(BY=0,9), 120mm çapında, 100 m 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 $\epsilon = 0,25\text{mm}$ (dökme demir)

$$\epsilon_R = \frac{\epsilon}{d} = \frac{0,25}{120} = 0,0021$$

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

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

Akış katmanlı olduğundan $f=64/Re = 64/1800 = 0,0356$

1.1'deki formül kullanılarak

$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad H_L = 0,0356 \cdot \frac{100}{0,12} \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} \quad H_L = 1,51 \text{ m}$$

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

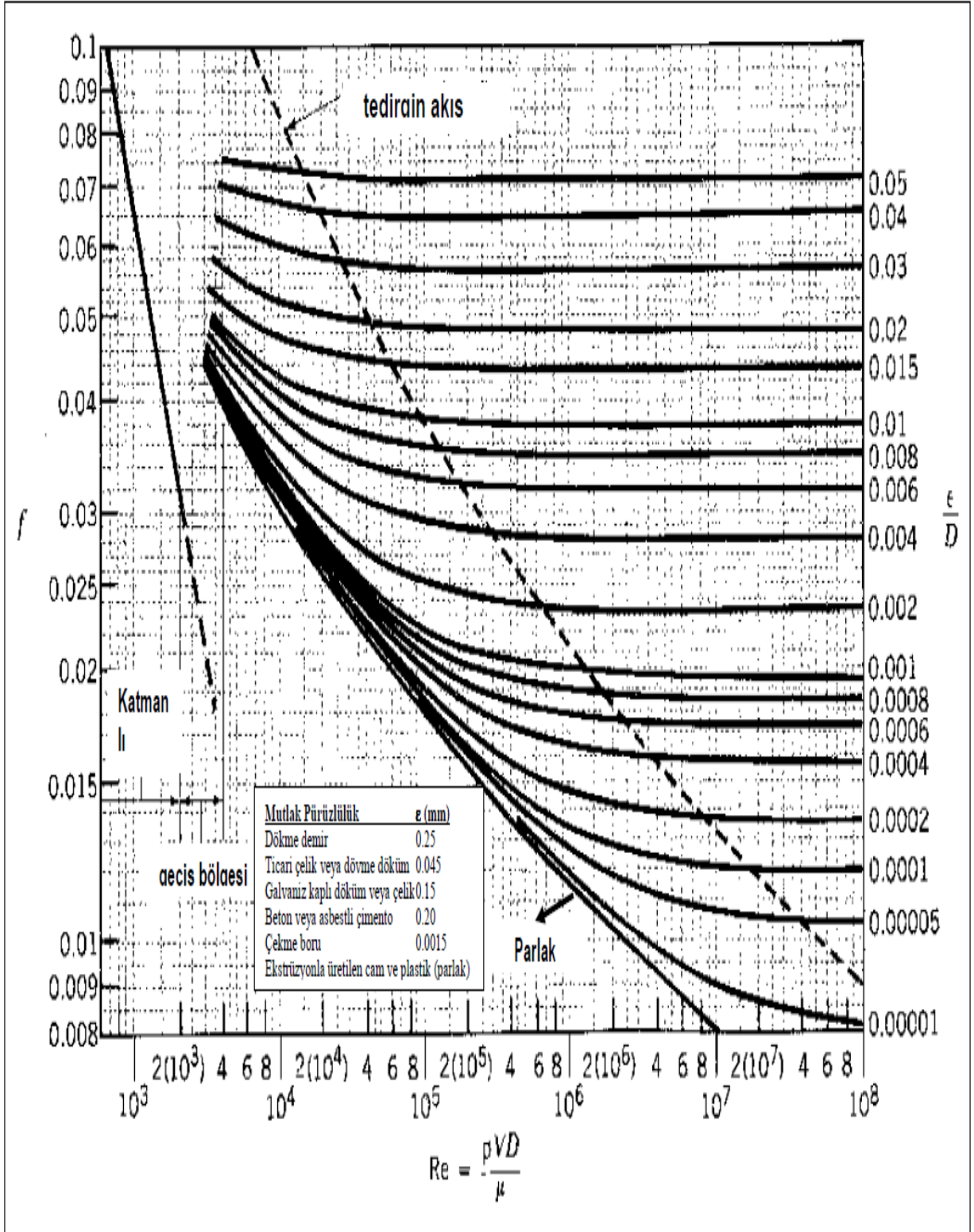
$$Re = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{3 \cdot 0,12 \cdot 900}{0,06} = 5400$$

Moody diyagramı kullanılarak $Re=5400$ ve bağıl pürüzlülük= $0,0021$ için $f=0,031$ bulunur.

1.1 formülünde yerine konursa

$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad H_L = 0,031 \cdot \frac{100}{0,12} \cdot \frac{10^2}{2 \cdot 9,81} \quad H_L = 132 \text{ m}$$

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.



Şekil 1.2. Moody Diyagramı

1.5. BAĞLANTI ELEMANLARINDAKİ BASMA KAYIPLARI

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 1.2 eşitliğinde tanımlanmaktadır.

$$H_L = K \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad (1.2)$$

Burada;

HL = bağlantı elemanlarındaki basma kayıpları (m akışkan akısı)

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

g = yer çekim ivmesi (m/s²)

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 A1 yüzeyi ile çıkış A2 yüzeyi oranına bağlıdır. Ani genişleme durumunda Tablo 1.1 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, A1/A2 oranı sıfır alınabilir. Bundan dolayı K=1 alınır. Bir tank veya depodan bir boruya girişte A2/A1 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°'yi aşarsa etkisi ani genişleme gibi olur ve K=1 alınabilir. Şayet açı çok keskin ise ve 10°'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 normal olarak tamamen açıktır. Buna rağmen, tasarım mühendisleri valfleri seçerken ayar emniyeti sağlamak üzere ½ veya ¾ 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 4’te açıklanmaktadır.

TABLO-1.1 Bağlantı elemanları için tipik K faktörleri

BAĞLANTI ELEMANI		K FAKTÖRÜ
U dönüşü (kapalı)		2.2
Standart 45 ⁰ dirsek		0.4
Standart 90 ⁰ dirsek		0.9
Uzun radyüslü (geniş) 90 ⁰ 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 ₂ /A ₁)	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 ⁰	1.0
	40 ⁰	0.9
	30 ⁰	0.7
	20 ⁰	0.4
	10 ⁰	0.15
Sürgülü (şiber) vana, (konumu),	tam açık	0.2
	¾ açık	0.9
	½ açık	5.0
	¼ açık	24
Stop (diskli) vana, (konumu),	tam açık	10.0
	¾ açık	11.0
	½ açık	12.5
	¼ 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 4: Bir sistemde su 60 m yükseğe 100mm çaplı galvanizli çelik boru ile pompalanmakta ve aşağıdaki bağlantı elemanları bulunmaktadır:

1 adet klapeli valf ve pislik tutucu

4 adet standart 90⁰ dirsek

4 adet dişli ünyon

2 adet kapama valfi

1 adet ani genişleme (basıncılı tanka)

Kapama valfi yarım açık konumda iken 20 L/s debide sistemdeki basma kayıplarını hesaplayınız. Suyun viskozitesini 0,9.10⁻³ Pa.s kabul edin.

Çözüm:

İlk olarak u hızı hesaplanır.

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

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 (şekil11.2) $\epsilon_{galvanizlidöküm} = 0,15mm$ alınır. Böylece bağlı pürüzlülük $\epsilon = \frac{0,15}{100} = 0,0015$

Diyagramdan; $f=0,0225$

11.1'de ki formülü kullanılarak;

$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad H_L = 0,0225 \cdot \frac{60}{0,1} \cdot \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81} \quad H_L = 4,47 m$$

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	5,0	5,0
	1 yarım	1,0	1,0
Genişleme	1	1,0	1,0
Toplam			12,0

11.2 formülü kullanılarak;

$$H_L = K \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad H_L = 12 \cdot \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81} \quad H_L = 3,98 \text{ m}$$

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

$$f \cdot \left(\frac{l_e}{d}\right) \cdot \left(\frac{u^2}{2} \cdot g\right) = K \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad l_e = K \cdot \frac{d}{f} \quad (1.3)$$

Örnek 5:

100 mm çaplı tamamen açık ve küresel vananın eşdeğer uzunluğunu bulunuz.

Çözüm: Tablo 1.1'den $K=10$, 11.3 eşitliği kullanılarak;

$$l_e = K \cdot \frac{d}{f} = \frac{10 \cdot 0,1}{0,02} = 50 \text{ m}$$

Örnek 6: Örnek 4'ü eşdeğer uzunluğu kullanarak çözünüz.

Çözüm: $K=12$, $f=0,0225$, $d=0,1\text{m}$

$$l_e = K \cdot \frac{d}{f} = \frac{12 \cdot 0,1}{0,0225} = 53,3 \text{ m} \quad l_{(toplam)} = 113,3 \text{ m}$$

$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad H_L = 0,0225 \cdot \frac{113,3}{0,1} \cdot \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81} \quad H_L = 8,45 \text{ m (daha önce bulunmuştu)}$$

2. BASINÇ KAYIPLARI (YÜK KAYBI) EĞİTİM DENEYİNİN YAPILIŞI

2.1. Yerel Basınç Kayıplarının Ölçümü Deneyi

A) DENEY NO : 1.1/01

B) DENEYİN ADI : Yerel basınç kayıplarının ölçümü

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 çıkısındaki tapalara bağlayın.

(Şekilde görüldüğü gibi 13 farklı bağlantı elemanı için ölçüm yapılacaktır .)

2.2. Sürekli basınç kayıplarının ölçümü

A) DENEY NO : 1.1/02

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. (Bu işlem üç farklı boru çapı için yapılacaktır)

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) Moody diyagramı yardımıyla borunun bağıl pürüzlülük değerini hesaplayın.

7) Akış hızı yardımıyla akışın Reynolds değerini hesaplayın.

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.

$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad (1.1)$$

10) Hesaplanan değer ile ölçülen değeri karşılaştırın.

