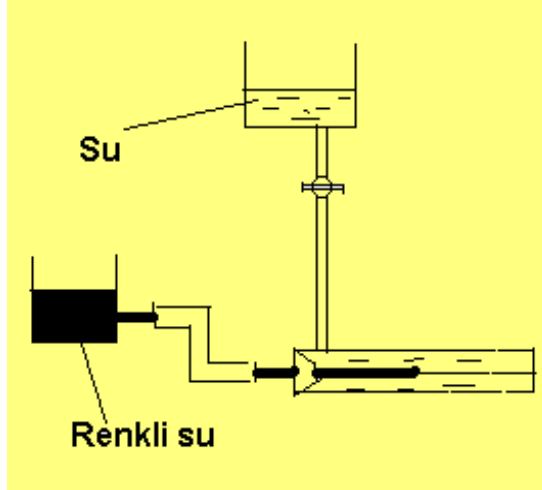


Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf İşiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuvar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011> 5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

DENEY 1: REYNOLDS DENEYİ

1883 de ilk defa Osborne Reynolds tarafından yapılan deneyde, cam bir boru içi su dolu bir depoya bağlanmış olup, boru içindeki suyun akma hızı arzu edilen değere ayarlanabilmektedir. Borunun giriş ucuna bir nozul (emzik) konularak boru içerisinde renklendirilmiş su verilebilmektedir. Bu deneye ait düzenek aşağıda verilen şekilde görülmektedir.



Reynolds bu deneyi borunun değişik noktalarındaki kesitlere uygulamış ve bu kısımlarda renkli suya ait akım iplikçığının bozulmadığını akışkanın birbirine paralel ve düz doğrular boyunca aktığını görmüştür. Akışkanın akım hızı arttırıldığında, hızın belirli bir değerinden sonra renkli suya ait akım iplikçığının ortadan kalktığı ve bütün su kütlelerinin renklendiği görülmüştür. Diğer bir ifadeyle yüksek akış hızlarında, suyu meydana getiren parçacıklar borunun uzun eksenini boyunca birbirine paralel hareket etmeyip, borunun kısa eksenini boyunca da hareket etmeye başlar ve böylece tam bir karışma (yani türbülans) meydana gelir. Akımın bu şekilde bir tipten diğerine değiştiği andaki sıvı akım hızı “kritik hız” olarak adlandırılır. Reynolds daha sonra yaptığı deneylerde bu iki tip akış şeklini meydana geliş şartlarını incelemiş ve kritik hızın ; boru çapına, akışkanın akışkan hızına yoğunluğuna ve viskozitesine bağlı olduğunu bulmuş ve bu 4 faktörün sadece bir şekilde gruplandırılabilceğini göstermiştir. Reynolds sayısı hidrodinamik incelemelerde büyük bir önem taşır ve makina mühendisliğinde yaygın şekilde kullanılır. Reynolds sayısının 2300 den büyük olduğu değerlere karşılık gelen akış hızlarında türbülans ile karşılaşılır.

1.1. DENEY CİHAZININ TANITIMI

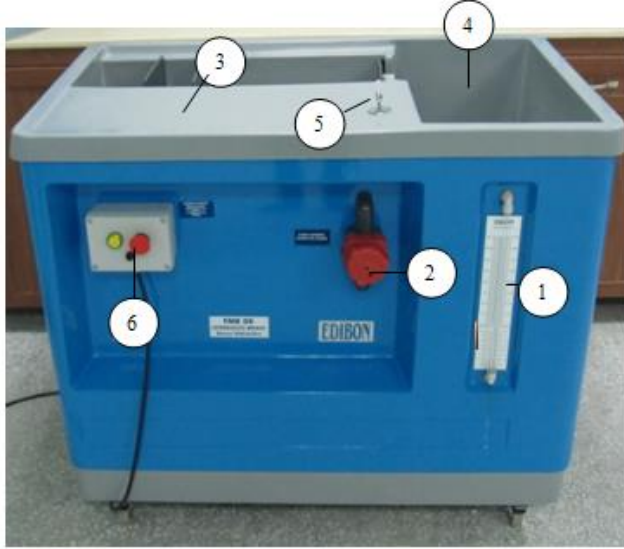
1.1.1. Hidrolik Tezgah

Deneyde, genel olarak; rezervuarda bulunan su, sürekli rejimde, bir pompa vasıtasıyla metal boru içerisinde geçirilmekte ve tekrar rezervuara boşaltılmaktadır. Metal tüp

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf Işiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuvar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011> 5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

boyunca, akan suyun, iki noktadaki statik basınç değerleri manometreler vasıtasıyla ölçülmektedir. Ayrıca, Bernoulli deneyinde olduğu gibi debi, belirli bir süre içerisinde biriken su miktarını ölçerek bulunmaktadı.

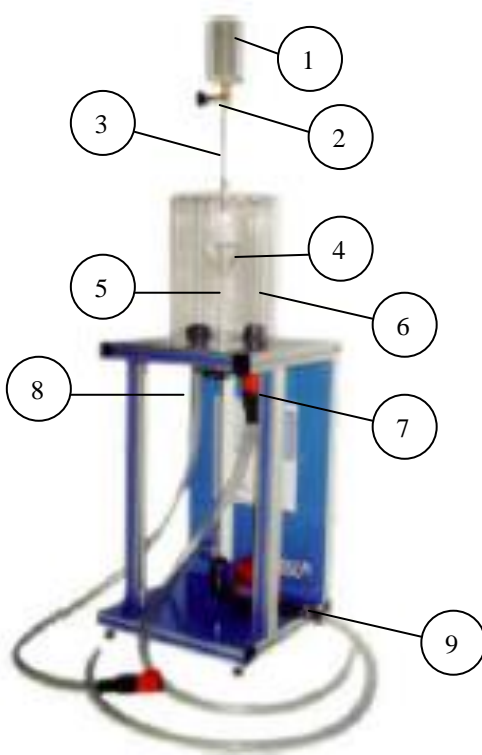


1. Sıvı seviye göstergesi (litre cinsinden).
2. Akış kontrol vanası (giriş vanası).
3. Bernoulli deney düzeneğinin yerleştirileceği yer.
4. Hacimsel debi ölçüm tankı.
5. Şamandıra.
6. Kontrol panosu.

Şekil 1.1 Hidrolik Tezgah

1.1.2. Reynold Deney Cihazı

Suyun sisteme pompalanması için şekil 1.1 'de gösterildiği gibi bir hidrolik tezgah bulunmaktadır. Reynold ölçüm deney düzeneği şekil 2.2 'de görülmektedir. Deney cihazı hidrolik tezgahın üzerine yerleştirilerek deney başlatılır.



1. Mürekkep kabı
2. Mürekkep vanası
3. Mürekkep akış borusu
4. Su girişi düzenleyici
5. Test borusu
6. Su rezervuarı
7. Taşma borusu
8. Su kaynağına bağlantı borusu
9. Boşaltma borusu

Şekil 1.2 Reynold deney düzeneği

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf İşiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuvar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011>

5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

1.2. DENEYDEN BEKLENTİLER VE HESAPLAMALAR:

- 1) Elde edilen bilgiler kapsamında akış karakterlerini belirleyiniz.
- 2) Deneyin aynı şartlarda farklı sıcaklıklarda tekrar edildiğinde hesaplamaları tekrarlayarak yorumlayınız?
- 3) Akış örneklerinin birbirlerinden nasıl farklılıklar gösterdiğini açıklayınız. Hesaplanan Re sayısı ile belirlenen akış rejimleri deneyde gözlemlenen akış rejimleriyle aynı mıdır?
- 4) Laminar ve türbülanslı akışta hız profilini açıklayınız. Ne gibi farklılıklar vardır?
- 5) Hız-Re sayısı grafiğini farklı sıcaklıklar için aynı grafik üzerinde çizin ve yorumlayınız. (sıcaklık değeri olarak 30-40 C seçiniz)

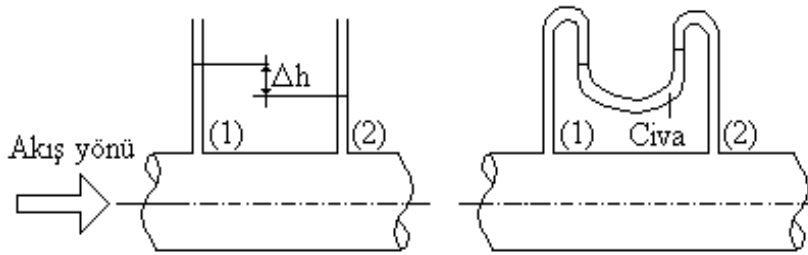
DENEY 2: CEBRİ AKIŞLI BORU SİSTEMİNDE YÜK KAYIPLARI

Bir boru hattı boyunca akan bir akışkan boru cidarlarındaki sürtünme direnci veya bağlantı noktalarında akışta meydana gelen karışmalar nedeniyle basınç kaybına uğrar. Bu kayıplar iki ana başlık altında toplanabilir.

1. Sürekli Kayıplar (Sürtünme Kayıpları)
2. Yerel Kayıplar (Lokal Kayıplar)

2.1. SÜREKLİ KAYIPLAR

Gerçek sıvıların boru içindeki hareketinde oluşan (ΔH) yük kaybı, akıma ters yöndeki sürtünme kuvvetlerinin neden olduğu enerji kaybının birim kütleye düşen değeridir. Borulardaki akıma Bernoulli denklemini uygulayabilmek için Δh ' ın belirlenmesi gerekir. Δh yatay bir boru için Bernoulli denkleminde bulunabilir.



Şekil 2.1

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \Delta h_{12}$$

$$v_1 = v_2, z_1 = z_2$$

olduğundan,

$$\Delta h_{12} = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} \quad \text{veya} \quad \Delta h_{12} = h_1 - h_2 \quad (1)$$

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf Işıker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011>

5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

bulunur. Buradan, Δh ' ın basınç kaybı ile orantılı olduğu görülür. Demek ki Şekil 1 deki gibi (1) ve (2) kesitlerine yerleştirilmiş piyezometre boruları arasındaki yükseklik farkı, doğrudan bu mesafedeki yük kaybını vermektedir. Piyezometrik düşü hattı'nın eğimi genellikle "hidrolik gradyent" olarak tanımlanır ve i sembolüyle gösterilir. (1) ve (2) kesitleri arasında

$$i = h_1 - h_2 / L$$

olarak yazılabilir. Şimdi hidrolik gradyenti teorik olarak bulmaya çalışalım.

Üstteki eşitlikten,

$$h_1 - h_2 = i.L$$

olduğu görülür. Bunu piyezometrik basınç cinsinden ifade edersek,

$$p_1 - p_2 = \rho.g.i.L$$

bulunur. Borunun L uzunluğu boyunca P_1 ve P_2 basınçlarından dolayı akış yönünde net bir kuvvet meydana gelir.

$$(p_1 - p_2)A$$

Boru cidarlarında ise bu kuvvete eşit fakat ters yönde kayma gerilmesinin sebep olduğu bir kuvvet oluşur.

$$\tau.P.L$$

Sonuçta,

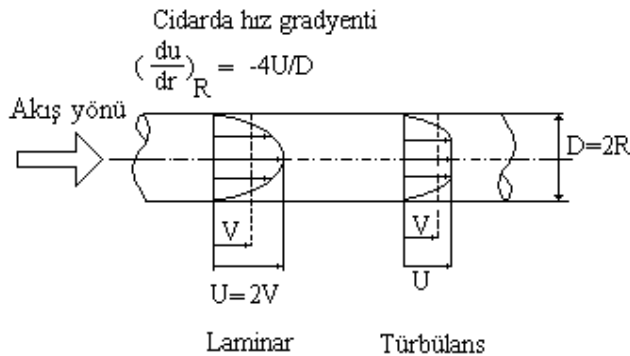
$$(p_1 - p_2)A = \tau.P.L$$

yazılabilir. Burada A borunun kesit alanı, P ise çevresidir.

$A = \pi D^2/4$, $P = \pi D$, $p_1 - p_2 = \rho.g.i.L$ yerine yazılırsa,

$$\tau = \left(\frac{D}{4}\right)\rho.g.i \quad (2)$$

bulunur. Şekil 1.2. de laminar ve türbülanslı akış için boru kesiti boyunca hız profilleri görülmektedir. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki laminar akış durumunda hız profilleri paraboliktir.



Şekil 2.2. Laminar ve türbülanslı akışlarda hız dağılımları

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf İşiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuvar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011>

5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

Merkez hattı hızı U , ortalama hız V ile gösterilirse laminar akış durumunda,

$$U/V = 2$$

dir. Cidardaki hız gradyenti,

$$\left(\frac{du}{dr} \right)_R = \frac{-4U}{D} = \frac{-8V}{D}$$

yazılabilir. Buradan kayma gerilmesi,

$$\tau = \frac{8\mu V}{D} \quad (3)$$

bulunur. (3) denklemini (2) de yerine yazılırsa,

$$i = \frac{32\nu V}{gD^2} \quad (4)$$

elde edilir. Böylece, yatay bir borudan V ortalama hızıyla akan akışkan için, laminar akış durumunda hidrolik gradyent teorik olarak bulunabilir.

Türbülanslı akış durumunda hız profiline Reynolds sayısı arttıkça gittikçe düzlemsel hale geldiği görülmektedir. Yani Re sayısı arttıkça U/V oranı'nda az da olsa değişmektedir.

Türbülanslı akışın tabiatı gereği cidardaki kayma gerilmesi için basit bir ifade bulmak mümkün değildir. Ancak deneysel sonuçlar göz önüne alınarak τ 'nin ortalama akışkan basıncı $(1/2)\rho V^2$ ile orantılı olduğu söylenebilir. Buradaki orantı sabiti boyutsuz bir sayı olan sürtünme faktörü (f) olarak tanımlanır.

$$\tau = f \cdot (1/2) \cdot \rho \cdot V^2 \quad (5)$$

Bu formül (2) denkleminde yerine yazılırsa,

$$i = \frac{4f}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

bulunur. $i = \Delta h / L$ yerine yazılırsa,

$$\Delta h = 4f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (7)$$

Darcy eşitliği bulunmuş olur. Dolayısıyla f değeri bilindiği takdirde (6) denkleminde hidrolik gradyent veya (7) den yük kaybı bulunabilir. (4) ile (6) denklemini birbirine eşitlenirse,

$$\text{laminar akış için } \boxed{f = 16/Re} \quad (8)$$

bulunur. Yani $f = 16/Re$ alınır (6) denklemini laminar akış için de kullanılabilir.

Türbülanslı akış durumunda, boru pürüzlülüğü de f 'in bulunmasında önemli bir faktördür. Prandtl'a göre Re sayısının 10^4 ile 10^7 değerleri arasında verilen

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf Işiker

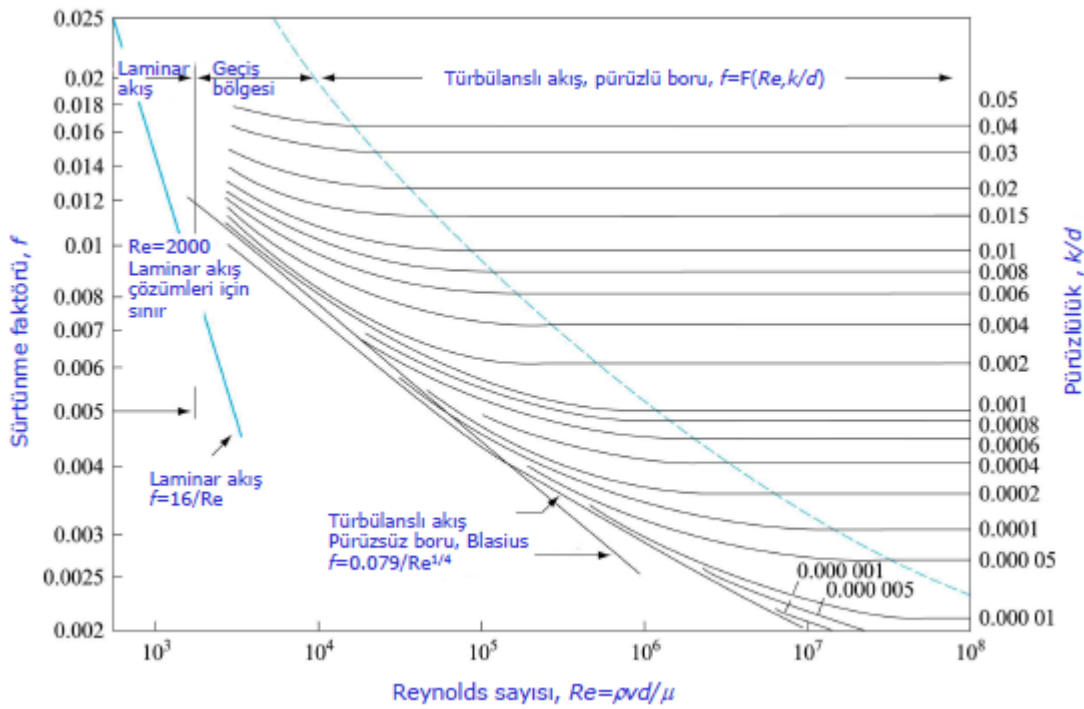
Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuvar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011> 5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4. \log\left(\frac{Re}{\sqrt{f}}\right) - 0.4 \quad (9)$$

denklemleri pürüzsüz borularla yapılan deneylerle oldukça iyi uyumaktadır. Buradan f 'i bulmak biraz güçtür. Dolayısıyla %2'lik bir hata payıyla 10^4 ile 10^5 Reynolds sayıları arasında pürüzsüz borular için Blasius denklemini kullanmak daha uygun olur.

$$f = 0.079. Re^{-0.25} \quad (10)$$

Pürüzlü borularda ise pürüzlülük oranına bağlı olarak f 'in bulunması için birtakım formüller verilmişse de en uygun yol Moody diyagramını kullanmaktır.



Şekil 2.3. Moody diyagramı

DeneySEL çalışmalar f 'nin Re sayısı ile pürüzlülüğün (ϵ/D) bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Türbülanslı bir akışta akışın laminar olduğu bölgede (laminar alt tabaka) f yalnız Re 'a, geçiş bölgesinde Re ve ϵ/D 'ye, tam türbülanslı bölgede ise yalnız ϵ/D 'ye bağlıdır.

2.2. YEREL KAYIPLAR

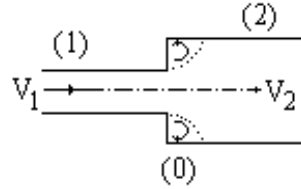
1. Ani genişleme kaybı
2. Ani daralma kaybı
3. Depoya giriş, depodan çıkış kaybı
4. Dirsek kayıpları
5. Çeşitli tesisat elemanlarının oluşturduğu kayıplar
6. Arka arkaya bağlanan elemanların kayıpları

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf İşiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011> 5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

Borularda sürtünmeden ileri gelen sürekli yük kayıpları yanında, akım yönünün ve kesit değişmesinin neden olduğu yerel yük kayıpları da vardır. Yerel yük kayıpları boru boyuna bağlı değildir ve çok kısa aralıkta enerji çizgisinin düşmesine neden olurlar.

2.2.1 Ani Genişleme Kaybı



Şekil 2.4.

Şekilde görüldüğü gibi A_1 kesitli borudan akmakta olan akışkan ani olarak daha büyük kesitli (A_2) borudan akmak durumunda kalırsa şekilde görüldüğü gibi 0 kesitinde ölü bir akışkan bölgesi meydana gelir. Bu bölgede bir p_0 basıncı oluşur.

(1) ve (2) kesitleri arasında meydana gelen momentum değişimi, p_0 , p_1 ve p_2 basınçlarının sebep olduğu kuvvetlerin toplamına eşit olmalıdır.

$$\text{Momentumdeğişimi} = \dot{m} \cdot \Delta V = \rho \cdot Q \cdot (V_1 - V_2) = \frac{\gamma \cdot Q}{g} (V_1 - V_2)$$

$$\sum F = -p_1 A_1 + p_2 A_2 - p_0 (A_2 - A_1)$$

deneysel göstermiştir ki $p_0 = p_1$ dir ve $\sum F = \dot{m} \cdot \Delta V$ den

$$A_2 (p_2 - p_1) = \frac{\gamma \cdot Q}{g} (V_1 - V_2)$$

$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$ den,

$$\frac{p_2 - p_1}{\gamma} = \frac{V_1 \cdot V_2 - V_2^2}{g} \longrightarrow \frac{p_2 - p_1}{\gamma} = \frac{2(V_1 \cdot V_2 - V_2^2)}{2 \cdot g} \quad (*)$$

(1) ve (2) noktaları arasında Bernoulli denklemi yazılırsa,

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h_{1,2}$$

$\Delta h_{1,2} = 1-2$ kesitleri arasında ani genişlemeden dolayı meydana gelen enerji kaybı,

$$\Delta h_{1,2} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} - \frac{p_2 - p_1}{\gamma}$$

(*) 1 yerine yazarsak sonuçta

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf Işiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuvar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011> 5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

$$\Delta h_{1,2} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

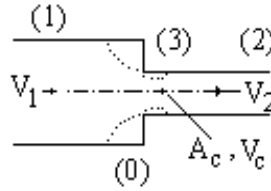
olur. Süreklilikten ($A_1 V_1 = A_2 \cdot V_2$) $V_2 = (A_1/A_2) \cdot V_1$ değerini yerine yazarsak,

$$\Delta h_{1,2} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{olur. Burada } k_1 = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \text{ dersek,}$$

$$\Delta h_{1,2} = k_1 \frac{V_1^2}{2g}$$

bulunur.

2.2.2. Ani Daralma Kaybı



Şekil 2.5.

Şekilde görüldüğü gibi A_1 kesitli borudan akmakta olan akışkan ani olarak daha küçük kesitli (A_2) borudan akmak durumunda kalırsa akım ani daralma nedeniyle önce en küçük kesit teşekkül ettirecek şekilde daralır, sonra dar boruyu tüm dolduracak şekilde genişler. Burada (1) ve (3) kesitleri arasındaki enerji kaybı ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Enerji kaybının büyük kısmı (3) ve (2) kesitleri arasında meydana gelir. Bu kesitler arasındaki kayıp, akım A_c kesitinden A_2 kesitine aniden genişliyormuş gibi düşünülerek bulunabilir. Ani daralma kaybı böylece (3) ve (2) kesitleri arasındaki ani genişleme kaybına eşit olacaktır. Ani daralma kaybı,

$$\Delta h_{1,2} = \frac{(V_c - V_2)^2}{2g}$$

olur. Süreklilikten ($A_c \cdot V_c = A_2 \cdot V_2$) $V_c = (A_2/A_c) \cdot V_2$ değerini yerine yazarsak,

$$\Delta h_{1,2} = \left(\frac{A_2}{A_c} - 1\right)^2 \frac{V_2^2}{2g}$$

olacaktır. Burada $\mu = A_c/A_2$ daralma katsayısı olarak tanımlanır.

$$k_2 = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 \quad (\text{direnç katsayısı})$$

değeri de yerine yazılırsa,

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf İşiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuvar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011>

5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

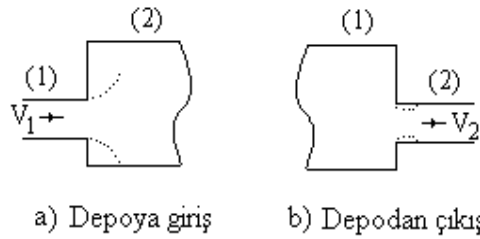
$$\Delta h_{1,2} = k_2 \frac{V_2^2}{2g}$$

bulunur.

Kesitler oranına bağlı olarak μ değerleri

A_2/A_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
μ	0.624	0.632	0.643	0.659	0.681	0.712	0.755	0.813	0.892	1.0

2.2.3. Depoya Giriş, Depodan Çıkış Kaybı



Şekil 2.6.

a) Depoya giriş kaybı, ani genişlemenin özel bir şeklidir. $k=1$, $v_2 \cong 0$ alınır. Sonuçta yük kaybı

$$\Delta h_{1,2} = \frac{V_1^2}{2g}$$

den bulunur.

b) Depodan çıkış kaybı, ani daralmanın özel bir halidir. $\frac{A_2}{A_1} \longrightarrow 0$, daralma katsayısı

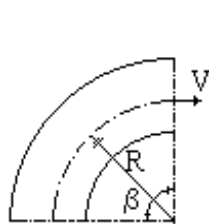
$\mu \cong 0.60$ alınır. $k = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 \cong 0.44$ (bazen 0.5) ve sonuçta

$$\Delta h_{1,2} = 0.44 \frac{V_1^2}{2g}$$

den yük kaybı bulunur.

2.2.4. Dirsek Kayıpları

a) Eğrisel dirsekler



$$\Delta h = k_{dir} \frac{V^2}{2g} \quad \text{şeklindedir}$$

Burada $k = f\left(\beta, \frac{R}{D}, \frac{k}{D}, Re\right)$

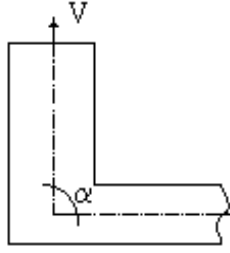
$$k_{dir} = [0.131 + 0.163(D/R)^{3.5}]$$

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf İşiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuvar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011>

5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

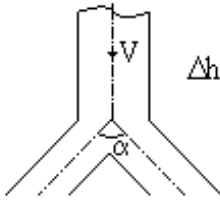
b) Köşeli Dirsekler



$$\Delta h = k \frac{V^2}{2g}$$

$$k = 0.9457 \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} + 2.047 \cdot \sin^4 \frac{\alpha}{2}$$

c) Çatallar



$$\Delta h = k \frac{V^2}{2g}$$

Akımı ayıran çatallarda

$$\alpha = 90^\circ \text{ ise } k = 0.5$$

$$\alpha = 45^\circ \text{ ise } k = 0.25$$

Akımı birleştiren çatallarda

$$\alpha = 90^\circ \text{ ise } k = 1$$

$$\alpha = 45^\circ \text{ ise } k = 0.25$$

2.2.5. Çeşitli Tesisat Elemanlarındaki Kayıplar

$$\Delta h = k_{\text{tes-el}} \frac{V^2}{2g}$$

(Tam açık)

k

Geri tepme ventili

$$0.1 \div 2$$

Sürgülü vana

$$0.1 \div 0.2$$

Kelebek vana

$$0.4 \div 0.6$$

Dip klapesi ve süzgeç

$$5 \div 15$$

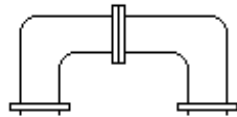
Rakor

$$0.02 \div 0.07$$

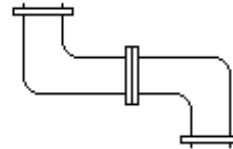
Köşe vanası (kalorifer)

$$2 \div 5$$

2.2.6. Arka Arkaya Bağlanan Elemanlar



Burada k iki katına çıkar



k dört katına çıkar

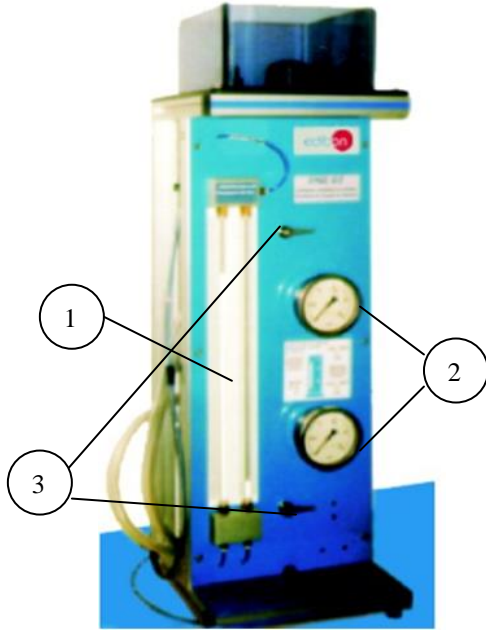
2.3. DENEY CİHAZININ TANITIMI

2.3.1. Borulardaki Enerji Kayıpları

Suyun sisteme pompalanması için şekil 1.1 'de gösterildiği gibi bir hidrolik tezgah bulunmaktadır. Enerji kayıpları ölçüm deney düzeneği şekil 2.7 'de görülmektedir. Deney cihazı hidrolik tezgahın üzerine yerleştirilerek deney başlatılır.

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf İşiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuvar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011> 5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları



1. Su Manometresi
2. Bourdon Manometresi
3. Su Manometresi için valf

Şekil 2.7. Borularda Enerji Kayıpları Deney Düzenegi

2.3.2. Yerel Kayıplar Deneyi

Suyun siteme pompalanması için şekil 1.1 'de gösterildiği gibi bir hidrolik tezgah bu sistemde kullanılmaktadır. Yerel kayıpları ölçüm deney düzenegi şekil 2.8 'de görülmektedir. Deney cihazı hidrolik tezgahın üzerine yerleştirilerek deney başlatılır.



1. Su kaynağına (hidrolik tezgahdaki) hortum bağlantısı.
2. 8 ölçüm noktalı manometre.
3. Boru Sistemleri
4. Akış Kontrol vanası

Şekil 2.8. Yerel kayıpları ölçüm deney düzenegi

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf İşiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuvar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011>

5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

2.4. DENEYDEN BEKLENTİLER VE HESAPLAMALAR: Borulardaki Enerji Kayıpları

- Her alınan veri için hacimsel debiyi hesaplayın.
- Her alınan veri için akışın hızını hesaplayın.
- Her alınan veri için sürtünme katsayısını (f) hesaplayın.
- Her alınan veri için Reynolds sayısını hesaplayın.
- Laminar ve türbülans akış rejimleri için Re aralığı ile kritik Re sayısını bulun. Yorumlayın.
- Deneyin amacı ve deneyin yapılışına ilişkin şematik şekil ve bilgiler

Yerel Kayıplar Deneyi

- Her alınan veri için hacimsel debiyi hesaplayın.
- Her alınan veri için akışın hızını hesaplayın.
- Her alınan veri için yük kayıp katsayısı (K) hesaplayın.
- Deneyin amacı ve deneyin yapılışına ilişkin şematik şekil ve bilgiler

DENEY 3: BERNOULLİ DENEYİ

3.1. BERNOULLİ DENKLEMİ

Bernoulli denklemi (BD) matematiksel olarak basit bir denklem olmasına karşın, pratik uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılabilir. Denklem çok sayıda akış için aynı akım çizgisi üzerindeki iki nokta arasında uygulanması sonucu akışa ait hız ve debi değerleri bulunabilmektedir. Bernoulli denklemi aşağıdaki gibidir.

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \gamma z_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \gamma z_2$$

BD' nin en önemli uygulamalarından biri; Şekil 3.1'de gösterilen değişken kesitli akış geometrileri (orifis, venturi ya da lüle) kullanılarak, akış debisinin belirlenmesidir. (1) ve (2) noktaları arasında kot farkı olmadığından ($z_1 = z_2$);

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

$$V_2^2 = \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho[1 - (V_1/V_2)^2]}$$

Süreklilik denklemi uygulandığında;

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

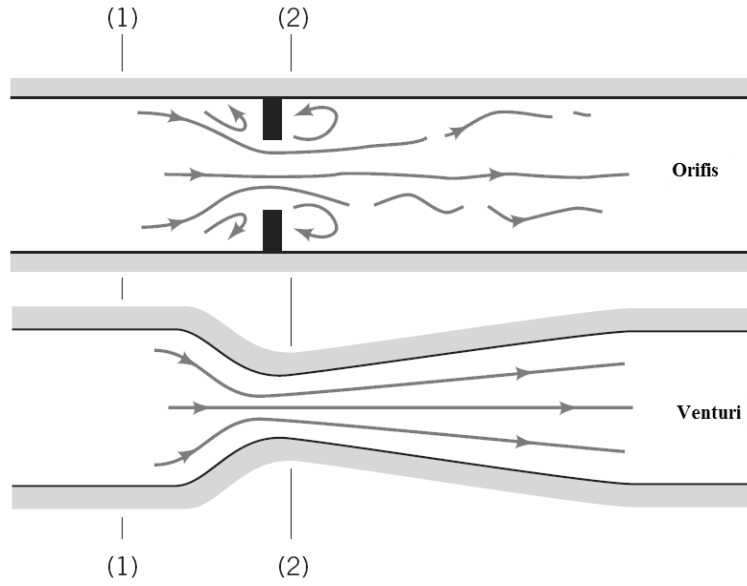
$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho[1 - (A_2/A_1)^2]}}$$

denklemi elde edilir. Bu son denklemde (1) ve (2) kesitleri bilinen değerler olup, bu iki nokta arasındaki basınç farkı ölçülerek debi değeri elde edilir.

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf İşiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011>

5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları



Şekil 3.1. Orifis ve venturimetre gibi değişken kesitli geometrilere akış

3.2. VENTURİMETRE ÖLÇÜMLERİ

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2} + z = \text{sabit}$$

Yukardaki denklemin ilk terim statik basınç yükünü, ikinci terim dinamik basınç yükünü, üçüncü terim yüksekliği ifade etmektedir. Bu üç basınç yükünün toplamına, h_{toplam} , toplam basınç yükü denmektedir ve bu denklem; sürekli rejimde, sürtünmesiz ve sıkıştırılamaz akış için, bir akım çizgisi boyunca sabittir;

$$h_{\text{toplam}} = h_{\text{statik}} + h_{\text{dinamik}} + h_{\text{geometri}} = \text{sabit}$$

Venturi tüpü yatayda olduğundan dolayı yükseklik hepsinde aynı olmaktadır.

$$h_{\text{toplam}} = h_{\text{statik}} + h_{\text{dinamik}} = \text{sabit}$$

Statik basınç ölçümü için, suyun durgun olduğu bir noktada ölçüm yapmak gerekir. Bu yüzden, statik basınç ölçümü tüp duvarında açılan küçük bir delik vasıtasıyla yapılır. Şekil 3.2’te de görüldüğü gibi, su partikülleri bu noktada küçük sapmalar yapsalar da durgun halledirler.

Toplam basınç yükünün ölçümü ise venturi tüpün içinde bulunan Pitot tüpü sayesinde gerçekleştirilir. Pitot tüpü, Şekil 3.2’te görüldüğü gibi, akış özelliklerine etkisi asgari olacak biçimde ince metal bir tüptür ve kanalın içine akış yönüne paralel şekilde yerleştirilmiştir. Diğer ucu ise bir manometreye bağlanmıştır. Tüp, akmakta olan suyu da içine aldığından hem statik hem dinamik yani toplam basınç yükü ölçülebilecek ve değeri, tüpe bağlı olan manometredeki yüksekliğe eşit olacaktır;

$$h_{\text{dinamik}} = h_{\text{toplam}} - h_{\text{statik}}$$

$$h_{\text{pitot}} = h_{\text{toplam}}$$

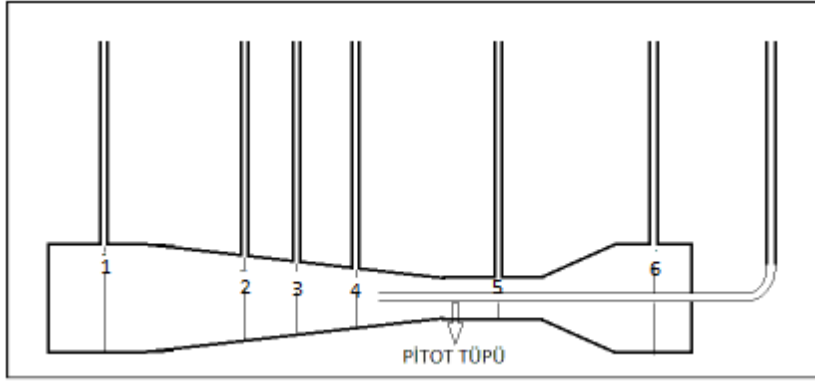
$$h_{\text{dinamik}} = \frac{V^2}{2g}$$

Akış sürekli rejimde ve sıkıştırılamaz olduğundan, sistemin her kesitinde hacimsel debi aynı olacaktır.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf İşiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011> 5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları



Şekil 3.2. Venturimetre ölçüm noktaları

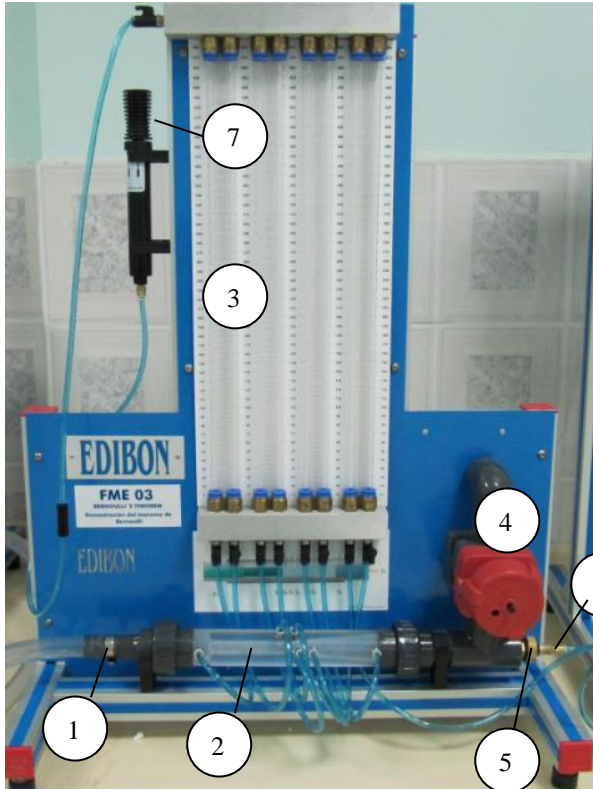
Debiyi ölçmenin bir başka yoluysa, sistemden atılan suyun belirli bir süre içerisindeki hacmini ölçmek ve bu değeri süreye bölmek olacaktır;

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \text{ buradan;}$$

$$V_{\text{hesaplanan}} = \frac{\Delta V}{A \Delta t} \text{ hesaplanır.}$$

3.3.1. Bernoulli Deney Cihazı

Suyun siteme pompalanması için şekil 1.1 'de gösterildiği gibi bir hidrolik tezgah bulunmaktadır. Bernoulli deneyi düzeneği şekil 3.3 'de görülmektedir. Deney cihazı hidrolik tezgahın üzerine yerleştirilerek deney başlatılır.



1. Su kaynağına (hidrolik tezgahdaki) hortum bağlantısı.
2. 8 ölçüm noktalı venturi tüpü.
3. 7 adet, venturi tüp boyunca statik basıncı ölçmek için, 1 tane, toplam basıncı ölçmek için boru tipi manometre.
4. Boşaltma vanası.
5. Sıkıştırma salmastrası.
6. Toplam basıncı ölçme mili (yatay hareket edebilir).
7. Hava alma vidası

Şekil 3.3. Bernoulli deneyi düzeneği

Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf Işiker

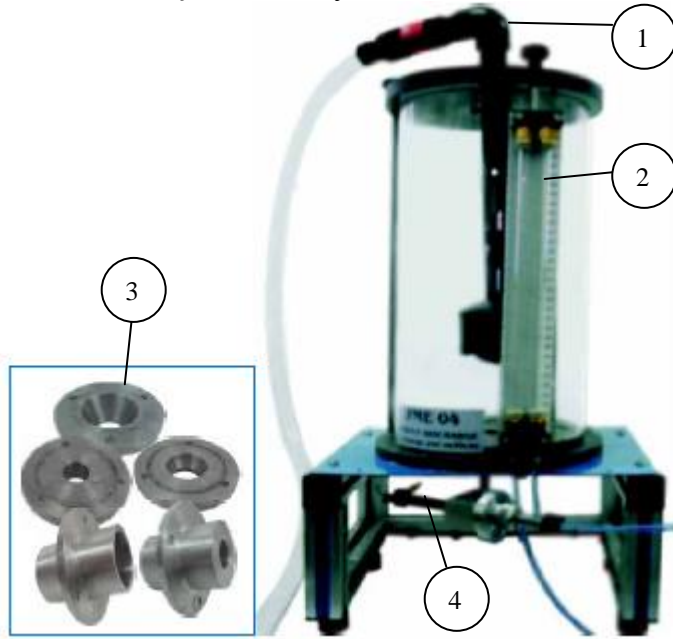
Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuvar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011> 5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

3.3.2. Orifis Deney Cihazı

Orifis bir hazne duvarının üzerindeki açıklık veya bir borunun eksenine dik bir şekilde yerleştirilen bir plakadaki açıklık olup, haznedeki boşalan akışın veya borudaki akışın debisini ölçmek için kullanılır. Debi;

$$Q = A_2 c_d \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho[1 - (A_2 / A_1)^2]}}$$

bulunur. C_d boşaltma katsayısıdır ve $C_d=0.63$ olarak alınacaktır.



1. Su kaynağına (hidrolik tezgahdaki) hortum bağlantısı.
2. 2 adet, venturi tüp boyunca statik basıncı ölçmek için, 1 tane, toplam basıncı ölçmek için boru tipi manometre.
3. Orifis için farklı kesit açıklıkları
4. Pitot tüpü

3.4. DENEYDEN BEKLENTİLER VE HESAPLAMALAR:

- a. Her kesit için dinamik basınç yükünü bulunuz.
- b. her kesit için ölçülen hız değerlerini bulunuz.
- c. Debiyi bulunuz.
- d. Her kesit için hesaplanan hız değerlerini bulunuz.
- e. Venturi tüp boyunca; h_{statik} , h_{dinamik} ve h_{toplam} eğrilerini çiziniz.
- f. Deneyin amacı ve deneyin yapılışına ilişkin şematik şekil ve bilgiler

DENEY 4: KAVİTASYON DENEYİ

Buharlaştırma basıncı; sıvının buharlaştığı ve kendi buharı ile dengede olduğu basınçtır. Akış nedeniyle sıvının basıncı, buharlaştırma basıncının altına düştüğünde, sıvı akış içerisinde buharlaşma eğilimine girer ve bu olaya kaviteasyon denir. Akış kaynaklı kaynamayı, yani kaviteasyonu tanımlayan boyutsuz sayı,

$$Ca = \frac{P_a - P_v}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

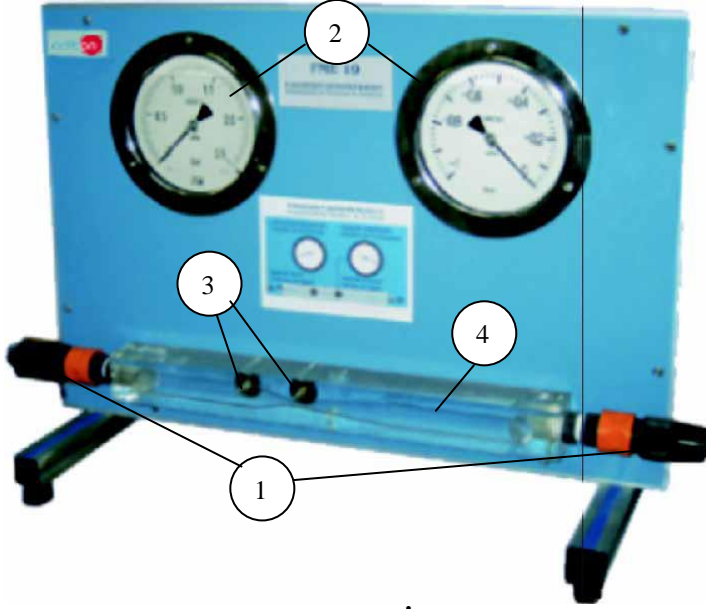
Hazırlayanlar: Bülent Yeşilata ve Yusuf İşiker

Kaynaklar: 1) <http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/viskozite.html>, 2) Haydar Eren, F.Ü. Akışkanlar Mekaniği Laboratuar Föyü 3) <http://nsezeruzol.etu.edu.tr/courses/MAK301> 4) <http://mak.etu.edu.tr/dersler/mak3011>

5) Bülent Yeşilata, Akışkanlar Mekaniği Ders Notları

şeklindedir. Denklemde; 'Pa' akış (ortam) basıncını, 'Pv' buharlaşma basıncını, 'V' ise karakteristik akış hızını göstermektedir.

4.1. DENEY CİHAZININ TANITIMI



1. Su kaynağına (hidrolik tezgahdaki) ve çıkış noktasındaki hortum bağlantıları.
2. Manometre ve vakum manometresi
3. Ölçüm noktaları
4. akışın gerçekleştiği kanal

4.2. DENEYDEN BEKLENTİLER VE HESAPLAMALAR:

- a- Kavitasyon cihazlarda neden zararlıdır araştırınız.
- b- Su için buharlaşma sıcaklığı ve basıncı arasındaki ilişki nasıl olur. Grafik üzerinde gösteriniz.
- c- Akış kaynaklı kaynamayı, yani kavitasyonu tanımlayan boyutsuz sayıyı bulunuz.