

1. AKIŞKANLAR MEKANİĞİ LABORATUARI

Makine Mühendisliği Bölümümüzde verilen teorik derslerin uygulamalarına yardımcı olmak amacı ile bilim dallarına göre düzenlenmiş atölyeler ve laboratuvarlar bulunmaktadır. Bunlardan bir olan Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında çeşitli test ve deney üniteleri üzerinde öğrenciler çalışmalar yaparak eğitimlerini tamamlamaktadırlar. Ayrıca, ileri düzeydeki araştırmalar için birçok cihaz ve aletler de öğretim elemanlarının kullanımına sunulmuştur. Laboratuvarımızda bulunan bazı deney düzenekleri ve teçhizatlar şöyledir:

Jet Deney Seti : Değişik geometrili kanatlara çarpan su jetinin kanada etkidiği impuls kuvvetinin tayin edilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Akış Ölçerler Deney Seti: Venturimetre, orifis, rotametre gibi farklı debi ölçme cihazlarını birlikte bünyesinde barındıran deney setidir. Her bir cihazdan geçen debi değeri okunarak cihazların biri birlerine göre mukayesesi yapılabilmektedir. Ayrıca, deney seti üzerinde ani genişleme ve dirsek kayıplarını da tespit etmek mümkündür.

Boru Kayıpları Deney Seti: Laminar ve türbülanslı akışlar için belirli uzunlukta bir boru boyunca meydana gelen kayıplar bu deney seti yoluyla tespit edilebilir.

Viskozite Deney Seti : Kılcal borulu viskozimetre deney setinde su, yağ v.b., akışkanların viskozitelerinin sıcaklıkla değişimi tespit edilebilir.

Savak Deney Seti : Açık kanal akışı deneylerinin yapılabildiği bu deney setinde, farklı tipte savakların debi katsayıları bulunabilmektedir. Ayrıca deney seti açık kanallarda farklı geometrili cisimler üzerinden akışı incelemeye de müsaittir.

Hava Tüneli : Laboratuvarımızda, emmeye çalışan, açık devreli 30X30 cm² deney odasına sahip bir hava tüneli bulunmaktadır.

Venturimetre Deney Seti : Bir venturi boyunca basınç düşüşünü incelemek ve debi ölçmek amacıyla kullanılmaktadır.

Reynolds Deney Seti: Akımın laminar ve türbülans sınırlarını incelemek amacıyla kullanılmaktadır.

Bunların dışında öğrencilerin yıl içi ve bitirme ödevlerinde hazırladıkları çeşitli düzenekler mevcuttur.

DENEY NO:1**KONU:** Akış ölçerler.

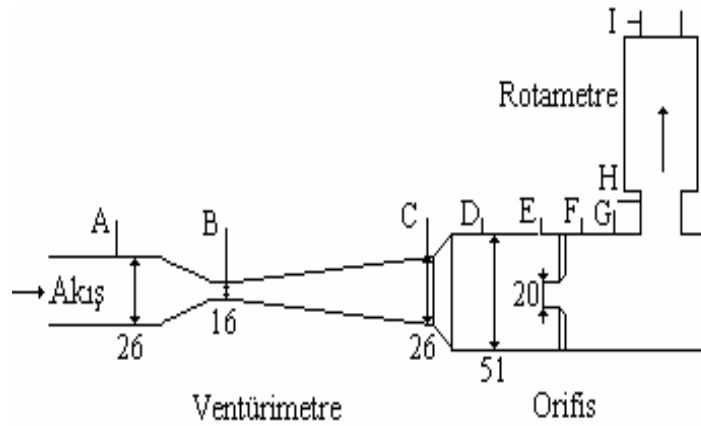
AMAÇ: Akışkanlar Mekaniğindeki en önemli ölçüm konularından biri olan debi ölçümü hakkında uygulamalı bilgilerin verilmesi. Debi ölçüm sistemlerinin hassasiyetinin araştırılarak birbirlerine göre kıyasının yapılması.

1. GİRİŞ

Venturi, orifis ve rotametre borularda debi ölçümünde uzun yıllardan beri sıkça kullanılmaktadır. Venturi ve orifiste kesit daralması dolayısıyla hız ve basınçtaki değişim esas alınmakta, rotametrede ise akışkanın kaldırma kuvvetinden yararlanarak debi ölçümü yapılmaktadır. Bu deneyde aynı deney seti üzerinde bulunan akış ölçerlerin debi katsayılarının bulunması amaçlanmaktadır.

2. DENEY ALETİNİN TANITILMASI

Deney aleti şematik olarak Şekil 1’ de görülmektedir.



Şekil 1. Akış ölçerler

Hidrolik tanktan alınan su önce venturimetre sonra sırasıyla difüzör, orifis, dirsek ve rotametreden geçerek ölçü tankına dökülmektedir. Burada toplanan su miktarı ölçüldükten sonra su tekrar hidrolik tezgaha boşaltılmaktadır. Her bir akış ölçerin uçlarına bağlanmış piyezometrik borulardan okunan yükseklikler yardımıyla basınç farkları, dolayısıyla hız ve debi tespit edilebilmektedir. Bu deneyimizde yer verilmeyen dik dirsek, ani genişleme ve ani daralma kayıpları da istendiği takdirde tespit edilebilmektedir.

3. TEORİK BİLGİLER

3.1. Venturimetre

Sıkışamaz bir akışkanın kararlı adyabatik akışı için Bernoulli denklemini şu şekilde yazabiliriz.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \Delta H_{12} \quad (1)$$

Şekil 1 de A ve B noktaları arasında bu denklemi yazarsak ve ΔH_{AB} ' yi ihmal edersek,

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} \quad (2)$$

bulunur. Süreklilik denklemi, $\rho V_A A_A = \rho V_B A_B$ yi de (2) de yerine yazıp v_B yi çekersek,

$$v_B = \left[\frac{2g}{1 - (A_B / A_A)^2} \left(\frac{P_A}{\rho g} - \frac{P_B}{\rho g} \right) \right]^{1/2} \quad (3)$$

bulunur. $(P_A/\rho g) - (P_B/\rho g) = h_A - h_B$ yazar, ve buradan debiye geçerse, $Q = A_B v_B$ ' den;

$$Q = A_B \left[\frac{2g}{1 - (A_B / A_A)^2} (h_A - h_B) \right]^{1/2} \quad (4)$$

bulunur. Mevcut deney seti için $A_B/A_A = 0.38$, $A_B = 2.01 \cdot 10^{-4}$ değerlerini yerine yazarsak,

$$Q = 9.62 \cdot 10^{-4} (h_A - h_B)^{1/2} \text{ m}^3 / \text{s} \quad (5)$$

veya

$$\dot{m} = 0.962 (h_A - h_B)^{1/2} \text{ kg} / \text{s} \quad (6)$$

bulunur. Bulunan bu formüller teorik debi formülleridir. Gerçek debiyi bulmak için bunun bir C debi katsayısıyla çarpılması gerekir.

3.2. Orifis

Burada da Bernoulli deklemini E ve F noktaları arasında yazıldığında venturimetredeki gibi bir formül bulunur.

$$Q = A_F \left[\frac{2g}{1 - (A_F / A_E)^2} (h_E - h_F) \right]^{1/2} \quad (7)$$

yazabiliriz. E noktasında çap 51 mm, F ' de ise 20 mm olduğundan $A_F/A_E = 0.1538$, $A_F = 3.1415 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ alırsak,

$$Q = 1.51 \cdot 10^{-3} (h_E - h_F)^{1/2} \text{ m}^3 / \text{s} \quad (8)$$

veya

$$\dot{m} = 1.51 (h_E - h_F)^{1/2} \text{ kg} / \text{s} \quad (9)$$

bulunur. Yalnız orifis için ΔH_{EF} ihmal edilemeyecek kadar büyüktür. Dolayısıyla yukarıdaki formülle bulunan debi gerçeğinden çok farklıdır. O halde orifis için kullanılacak debi katsayısı ventürimetre debi katsayısına kıyasla çok daha küçük olmalıdır. Orifis debi katsayısına da K dersek yukarıdaki formüllerin K ile çarpılması gerekir.

3.3. Rotametre

Rotametrede debi ölçümü alet üzerindeki ölçü cetvelinden yararlanarak yapılmaktadır. Her bir ölçü çizgisinin hangi debiye karşılık geleceği ise hidrolik tezgahtan ölçülen debi ile rotametre cetveli arasında çizilecek bir kalibrasyon eğrisi ile bulunabilir.

4. HESAPLAMALAR

Test No	Manometrik Seviyeler (mm)									Rotametre cm	W kg	T sn	$\dot{m}$ (kg/s)			Debi katsayısı	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I				Venturi	Orifis	Ölçü tankı W/T	Venturi C	Orifis K

Hesap tablosu hazırlandıktan sonra rotametre ile ölçü tankından bulunan $\dot{m}$ arasında bir kalibrasyon eğrisi çizilecektir.

5. DENEY RAPORUNDAN İSTENENLER

- 1) Deneyin amacı, teorisi ve literatür araştırması, deneyin yapılışı hakkında bilgi verilecek.
- 2) Hesaplamalar (en az bir noktaya ait hesabın raporda tam olarak gösterilmesi gerekir)
- 3) Hesap tablosu hazırlanarak venturi ve orifis için debi katsayısının bulunması.
- 4) Rotametre için kalibrasyon eğrisinin çizimi.
- 5) İrdeleme (deney hakkındaki öneri ve eleştirilerinizi belirtiniz). Akış ölçme metotlarını fiyat (maliyet), üretim kolaylığı ve basınç kaybı açısından irdeleyiniz.

DENEY NO:2

KONU: Jet deneyi.

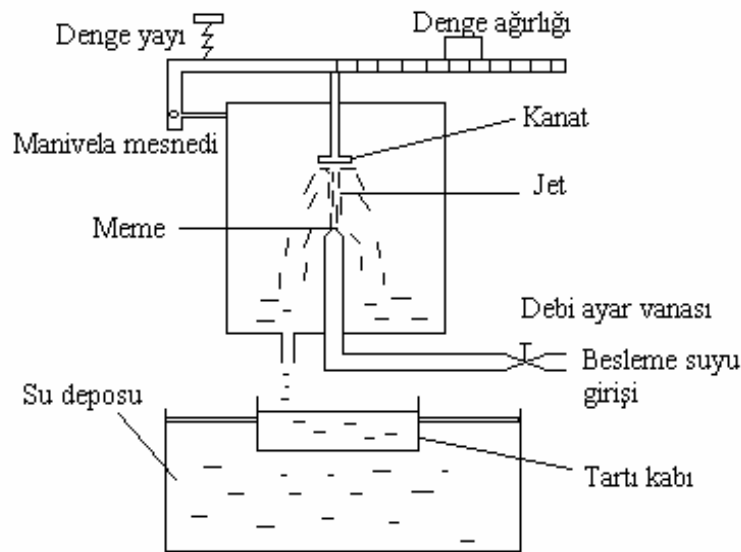
AMAÇ: Su jetinin farklı geometrilere çarptırılmasıyla elde edilen itme kuvvetinin uygulamalı olarak gösterilmesi.

1. GİRİŞ

Basınç altındaki akışkan bir lüleden geçirilirse hızı artar. Bu jet akımı bir türbin kanadına çarptırılırsa, türbin şaftını döndürür dolayısıyla suyun enerjisinden mekanik iş elde edilmiş olur. Bu deneyde, jetin çarptığı kanat geometrisinin itme kuvvetinde meydana getireceği etki araştırılacak ve sonuçlar impuls (hareket) teorisinden bulunacak sonuçlarla kıyaslanacaktır.

2. DENEY ALETİNİN TARİFİ

Deney düzeneği Şekil 1 de görülmektedir.



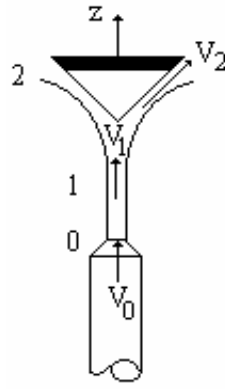
Şekil 1. Jet deney düzeneği.

Lüleden fışkıran su düz veya kepçe şeklinde bir kanada çarptırılmaktadır. Şeffaf bir silindire dökülen su tartı kabında toplanmakta ve debi ölçümünden sonra su deposuna boşaltılmaktadır. Şekil 1' de görüldüğü gibi suyun kanada uyguladığı itme kuvveti bir manivela kolu ve denge ağırlığı yardımıyla deneysel olarak bulunabilir. Debi arttıkça denge

ağırlığını sağa doğru kaydırıp sistemi dengeye getirmek ve bu durumda denge ağırlığının pozisyonunu tespit etmek gerekir.

3. TEORİK BİLGİLER

Şekil 2' deki gibi bir kanat göz önüne alalım. $\dot{m}$ (kg/s) debisiyle akan V_1 hızındaki akışkanın z istikametinde kanada çarptığını düşünelim. Akışkan kanada çarptıktan sonra z yönü ile α açısı yaparak kanadı yalar ve sistemi terk eder. Bu esnada akışkanın hızı V_2 ye düşer. Şekil 2 deki sisteme hareket miktarı teoremi uygulanırsa z yönündeki momentum,



Şekil 2. Nozuldan çıktığı esnada hız dağılımı.

$$\dot{m} \cdot V_1 \quad (\text{N}) \quad (1)$$

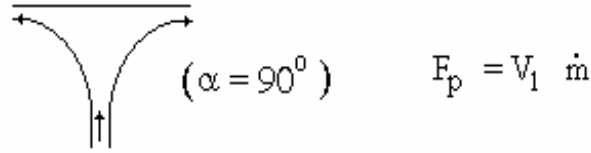
olur. Momentumun sistemi terk etme miktarı ise,

$$\dot{m} \cdot V_2 \cos \alpha \quad (\text{N}) \quad (2)$$

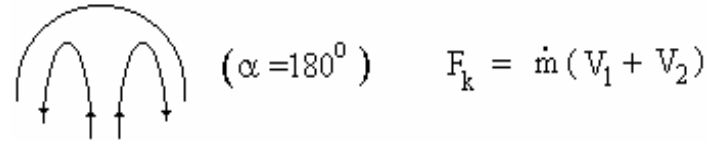
olur. Kanat üzerinde z yönünde meydana gelen kuvvet, bu jet kuvvetine eşit fakat ters yöndedir. Böylece itme kuvveti,

$$F = \dot{m} (V_1 - V_2 \cos \alpha) \quad (\text{N}) \quad (3)$$

şeklinde bulunur. Eğer kanat düz bir plaka şeklinde olsaydı impuls kuvveti,



şeklinde olurdu. Kepçe şeklindeki bir kanat için ise,



şekline girer. Piyezometrik basınç değişimi ve seviye farkı ihmal edilerek V_2 hızı V_1 e eşit kabul edilirse,

$$F_{km} = 2 \dot{m} \cdot V_1 \quad (N) \quad (4)$$

elde edilir. Formüllerdeki V_1 hızı (1) kesitindeki hızdır ve $V_1 = \dot{m} / (A_1 \rho)$ şeklindedir. (1) kesiti su jetinin alanıdır ve değeri tam olarak bilinmemektedir.

(0) ve (1) kesiti arasında Bernoulli denklemini yazarsak meme (0) kesitindeki su hızından yararlanarak V_1 hızını bulabiliriz.

$$\frac{P_0}{\rho g} + \frac{V_0^2}{2g} + z_0 = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 \quad (5)$$

$P_0 = P_1$ ve $z_0 - z_1 = -h$ olduğundan,

$$V_1 = \sqrt{V_0^2 - 2gh} \quad (6)$$

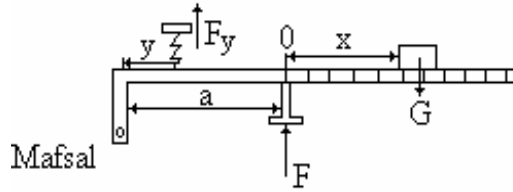
bulunur. Buradaki V_0 hızı süreklilik denkleminde bulunabilir.

$$V_0 = \dot{m} / (A_0 \rho) \quad (7)$$

A_0 memenin kesit alanıdır. Meme çapı bilindiğinden kolayca bulunabilir ($A_0 = \pi d_0^2 / 4$).

4. JET KUVVETİNİN DENEYSEL OLARAK HESAPLANMASI

Kanada etkiyen kuvvet Şekil 3’ de görüldüğü gibi bir manivela kolu yardımıyla mafsala etkiyen momentlerin denkleğinden bulunabilir.



Şekil 3. Jete etki eden kuvvetler.

- G : Jokey ağırlığı (610 gr)
a : Jetin mafsala uzaklığı (150 mm)
x : Jokey ağırlığın jete olan uzaklığı (mm)
h : Kanat ile 0 noktası arasındaki mesafe (40 mm)

Mafsala göre moment alınırsa,

$$\sum M = - F \cdot a + G \cdot (x+a) - F_y \cdot y = 0 \quad (8)$$

bulunur. F_y kuvvetini ise $F=0$ iken yani kanada etkiyen herhangi bir itme kuvveti yokken mafsala göre moment olarak bulabiliriz. Bu durumda jokey ağırlık 0 noktasında olmalıdır.

$$\sum M = G \cdot a - F_y \cdot y = 0 \quad (9)$$

buradan bulunan $F_y \cdot y = G \cdot a$ önceki moment ifadesinde yerine yazılırsa deneysel itme kuvveti,

$$F = \frac{G \cdot x}{a} \quad (10)$$

şeklinde bulunmuş olur.

5. DENEYİN YAPILIŞI

Deneye başlamadan önce manivela kolu üzerindeki jokey ağırlık sıfıra getirilerek tartı sistemi dengelenir. Pompa çalıştırılarak suyun kanada çarpması sağlanır. Bu sırada dengesi bozulan manivela kolu, jokey ağırlık sağa doğru kaydırılarak tekrar denge haline getirilir. Jokey ağırlığın konumu kaydedilir. Sistemi terk eden su, tartı kabında toplanır ve burada kaldırma kolu sistemine benzer bir baskül yardımıyla debisi ölçülür. Debi ayar vanası yardımıyla akışkanın debisi değiştirilebilir. Bu durumda manivela kolu tekrar dengeye getirilmelidir. Böylece deney değişik debilerde tekrarlanır. Aynı işlem hem plaka hem de kepçe şeklindeki kanat için tekrar edilir ve sonuçlar bir hesap tablosuna kaydedilir.

5.1. Hesap Tablosu

Deney No	Tartılan su miktarı (kg)	Süre (s)	x (m)	Kütleli debi (kg/s)	V_0 (m/s)	V_1 (m/s)	Teorik kuvvet $\dot{m} \cdot V_1$ (N)	Deneyisel kuvvet $G \cdot x / a$ (N)

6. DENEY RAPORUNDAN İSTENENLER

- 1) Deneyin amacı, teorisi ve literatür araştırması, deneyin yapılışı hakkında bilgi vermek.
- 2) Hesaplamalar (en az bir noktaya ait hesabın raporda tam olarak gösterilmesi gerekir).
- 3) Hesap tablosunun hazırlanması
- 4) Plaka ve kepçe için deneyel ve teorik itme kuvvetleri [$F_d = G \cdot x / a$, $F_t = \dot{m} V_1$] arasındaki eğrilerin çizimi.
- 5) Deneyel olarak $F_p = k_1 (\dot{m} V_1)$ ve $F_k = k_2 (\dot{m} V_1)$ formüllerinin bulunması
- 6) İrdeleme (Deney hakkındaki öneri ve eleştirilerinizi belirtiniz).

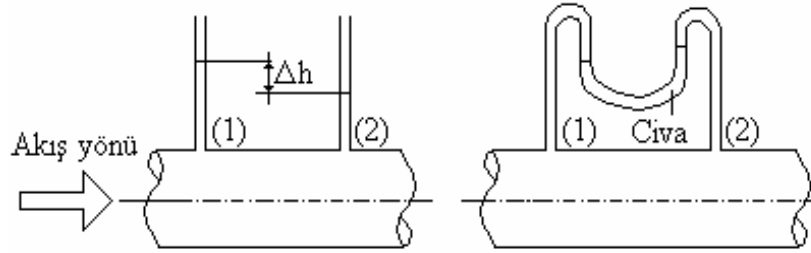
DENEY NO:3**KONU:** Cebri akışlı boru sisteminde yük kayıpları.**AMAÇ:** Düzgün dairesel bir boru boyunca sürekli kayıpların deneysel olarak tespit edilmesi.**1.GİRİŞ**

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)

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 1.Borulara manometrelerin bağlantı noktaları.

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

$$v_1 = v_2, z_1 = z_2$$

olduğundan,

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

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.

$$F_p = (p_1 - p_2)A$$

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

$$F_k = \tau.P.L$$

Sonuçta,

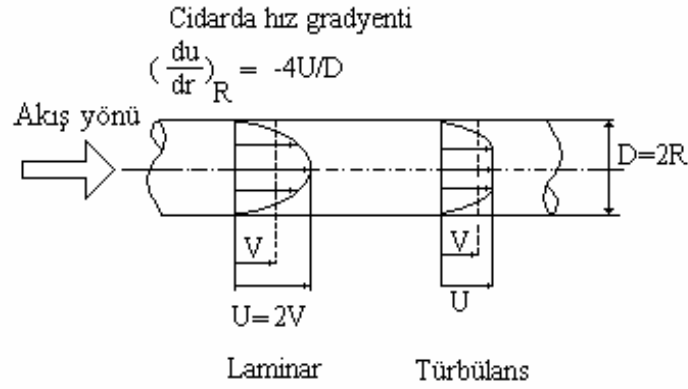
$$(p_1 - p_2)A = \tau.P.L$$

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

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

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

bulunur. Şekil 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. Laminar ve türbülanslı akışlarda hız dağılımları

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 gradyen teorik olarak bulunabilir.

Türbülanslı akış durumunda hız profilinin 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 'nın 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,

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

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) denklemi birbirine eşitlenirse, laminar akış için;

$$\boxed{f = 16 / Re} \quad (8)$$

bulunur. Yani $f = 16/Re$ alınırsa (6) denklemi 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

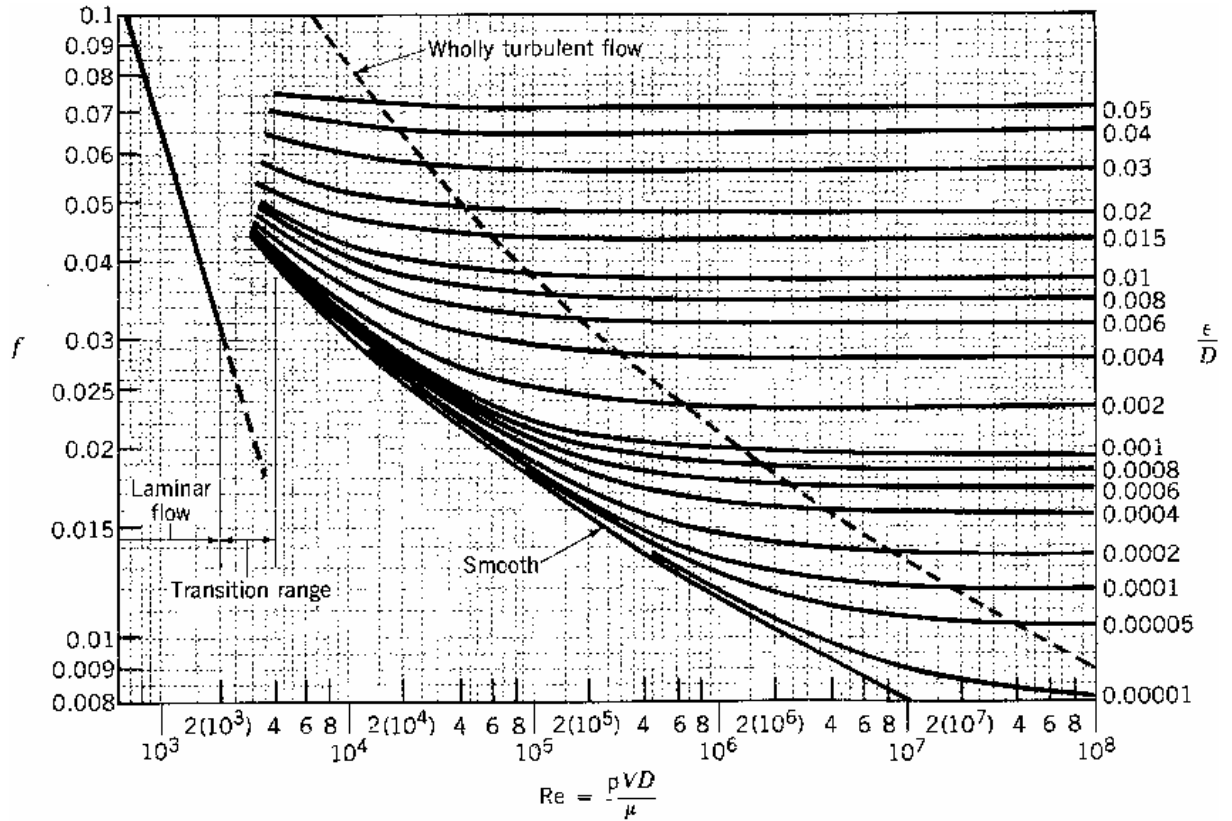
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \cdot \log\left(\frac{Re}{\sqrt{f}}\right) - 0.4 \quad (9)$$

denklemini pürüzsüz borularla yapılan deneylerle oldukça iyi uyuşmaktadır. 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.

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

Pürüzlü borularda ise pürüzlülük oranına bağlı olarak f 'in bulunması için birtakım formüller verilmişse de en uygun yol Moody diyagramını kullanmaktır (Şekil 3).

Deneyisel 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.



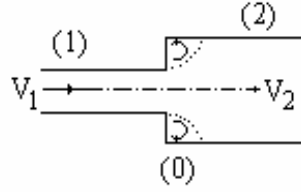
Şekil 3. Moody diyagramı.

3. 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

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.

2.1. Ani Genişleme Kaybı



Şekil 4. Ani genişleme kesiti.

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.

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

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

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

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

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \text{ den,}$$

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

(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,

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

(*) ı yerine yazarsak sonuçta

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

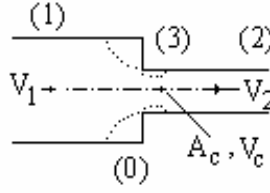
olur. Süreklilikten ($A_1 V_1 = A_2 \cdot V_2$) $V_2 = (A_1/A_2) \cdot V_1$ değerini yerine yazarsak,

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

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

bulunur.

2.2. Ani Daralma Kaybı



Şekil 5. Ani daralma kesiti.

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 ($A_c V_c = A_2 V_2$) $V_c = (A_2/A_c) V_2$ 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,

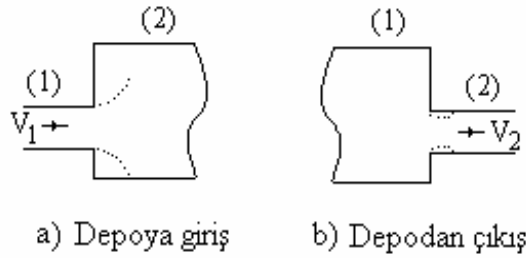
$$\Delta h_{1,2} = k_2 \frac{V_2^2}{2g}$$

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

2.3. Depoya Giriş, Depodan Çıkış Kaybı



Şekil 6. Depo giriş ve çıkış kesitleri.

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

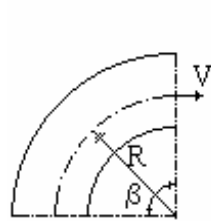
$\mu \cong 0.60$ alınır. $k = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 \cong 0.44$ (bazen 0.5) ve sonuçta

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

den yük kaybı bulunur.

2.4. Dirsek Kayıpları

a) Eğrisel dirsekler

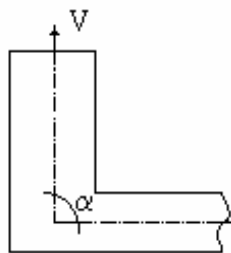


$$\Delta h = k_{\text{dir}} \frac{V^2}{2g} \quad \text{şeklindedir}$$

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

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

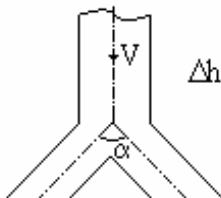
b) Köşeli Dirsekler



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

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

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

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

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

2.5. 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

$$5 \div 15$$

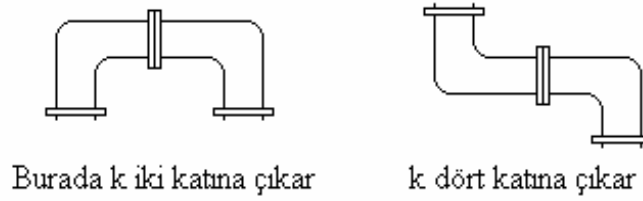
Rakor

$$0.02 \div 0.07$$

Köşe vanası (kalorifer)

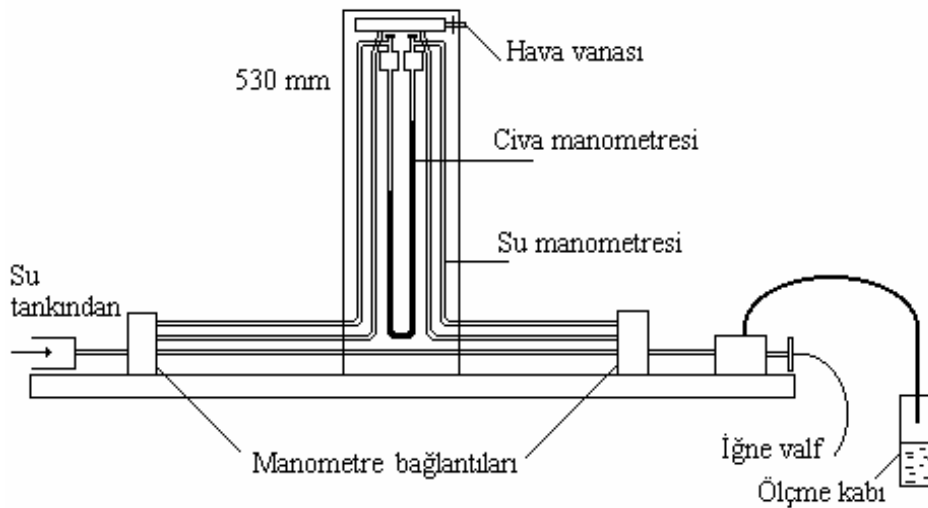
$$2 \div 5$$

2.6. Arka Arkaya Bağlanan Elemanlar



3. DENEYİN YAPILIŞI VE HESAPLAR

Deney düzeneği Şekil 7’de görülmektedir. Hidrolik tanktan gelen su ölçüm yapılacak borudan geçerek dereceli kaba boşaltılmaktadır. Bu esnada borunun her iki ucuna yerleştirilmiş su veya civa manometresi yardımıyla L uzunluktaki boru boyunca meydana gelecek yük kaybı ölçülebilmektedir.



Şekil 7. Sürtünme kaybı deney düzeneği.

Deneyde düşük hızlarda kayıp su manometresi ile direk olarak ölçülmektedir. Yani hidrolik gradyen $i = h_1 - h_2 / L$ den bulunacaktır. Yüksek akış hızlarında ise bu manometrenin başlangıç ve bitiş noktalarındaki seviye farkı yeterli gelmediğinden (basınç farkı fazla olduğundan) içerisinde civa bulunan bir U manometresi kullanılmaktadır. Bu durumda, U manometresinden okunan seviye farkı civa sütunu cinsindendir. Bunu su sütunu’na dönüştürmek için 12.6 ile çarpmak gerekir. Yani hidrolik gradyen,

$$i = 12.6 \frac{(h_1 - h_2)}{L}$$

şeklinde hesaplanmalıdır.

Deney esnasında dereceli kapta biriken suyun boşalma süresi ölçülerek hacimsel debi tayin edilebilir. Debi bilindiğine göre süreklilik denkleminde V hızı bulunabilir. Ayrıca (6) denklemi kullanılarak f hesaplanmalıdır. Re sayısı ise kinematik viskozitenin su sıcaklığına bağlı olarak bulunması halinde kolayca hesaplanabilir. Bunun için şu formül önerilebilir.

$$10^6 \nu = 1.0049 - 0.02476 (T-20) + 0.00044 (T-20)^2$$

3.1. Hesap Tablosu

Deney No	V (ml)	t (s)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	i	Re	f

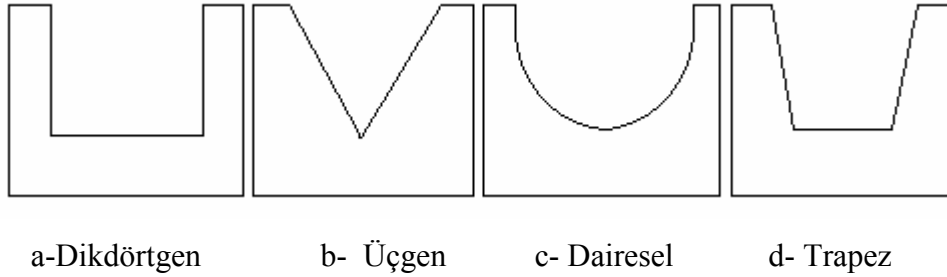
4. DENEY RAPORUNDAN İSTENENLER

- 1) Deneyin amacı, teorisi ve literatür araştırması, deneyin yapılışı
- 2) Hesaplamalar (bir noktaya ait hesabın raporda tam olarak gösterilmesi gerekir).
- 3) Hesap tablosunun hazırlanması (su ve civa manometresi ölçümleri ile birlikte).
- 4) i ile V arasındaki eğri çizilerek laminardan türbülanslı akışa geçişteki kritik Re sayısının hesaplanması
- 5) f ile Re arasındaki eğri çizilecektir.
- 6) İrdeleme, deney şartlarının daha da iyileştirilmesi yönündeki tavsiyeleriniz.

DENEY NO: 4**KONU:** Savak deneyi.**AMAÇ:**Açık kanallarda debi ölçümünde kullanılan sistemlerin uygulamalı olarak tanıtılması.**1. GİRİŞ**

Savaklar teknikte açık kanallarda debi, hız ölçümlerinde kullanılır. Yöntem diğer (lüle, ventüri, orifis v.s.) ölçme yöntemlerindeki gibi akış hızının bir engelle değiştirilmesidir. Bu amaçla kanalların önüne çeşitli geometrik şekillere sahip engeller yerleştirilir. Bu engellere savak denir ve savaklar kesit şekillerine göre üçgen, dikdörtgen, trapez, dairesel v.s olabilir.

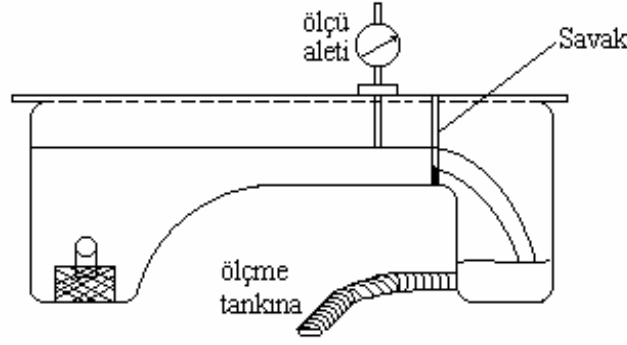
Savaklar hüzmeye şekline göre de yapışık hüzmeli, serbest hüzmeli veya dalmış savaklar ismini alır. Şekil 1’ de dört tip savak şekli görülmektedir.



Şekil 1. Değişik geometrili savak tipleri

2. DENEY ALETİNİN TARİFİ

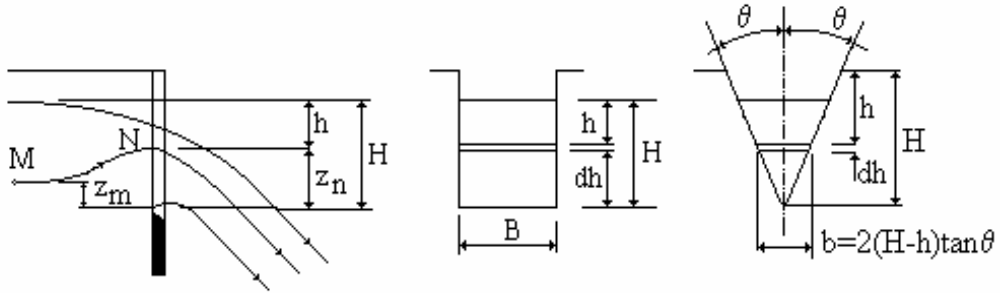
Kapalı devre halinde çalışan sistemde depodan emilen su, su kanalına gönderilmektedir. Bu su, kanal içine yerleştirilmiş bir savak üzerinden akarken savakta yükselen su seviyesi alt akıma yerleştirilmiş bir ölçme aleti yardımıyla tespit edilmektedir. Su daha sonra kanaldan kaldıraç kolu prensibiyle çalışan ölçme tankına boşaltılarak akışkanın debisi ölçülebilmektedir. Teorik olarak hesaplanan debi ile kova-kronometre yöntemiyle ölçülen gerçek debi arasında oran yapılarak kayıp miktarı boyutsuz olarak hesaplanır.



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

3. SAVAK TEORİSİ

Şekil 3. bir dikdörtgen ve üçgen savağın ana hatlarını göstermektedir. Şekilden görülebileceği gibi aynı su seviyesinde üçgen bir savakta kesit alanı dikdörtgen bir savaktan daha küçüktür. Bu bize küçük debilerde, yani dikdörtgen savakla su yükünün hassas olarak okunamayacağı durumlarda üçgen savak kullanmanın daha avantajlı olduğunu gösterir.



Şekil 3. Keskin uçlu bir dikdörtgen ve üçgen savağın ana hatları

Akışkanın bir akım çizgisi boyunca M noktasından N noktasına hareket ettiğini düşünelim (Şekil 3). Toplam düşüde herhangi bir kayıp olmadığı kabulü ile Bernoulli denklemi şöyle yazılabilir.

$$H = \frac{p_M}{w} + z_M = \frac{u_N^2}{2g} + \frac{p_N}{w} + z_N \quad (1)$$

N noktasında atmosfer basıncının hüküm sürdüğü kabulü ile $P_N = 0$ alabiliriz. Dolayısıyla;

$$H = u_N^2 / 2g + z_N \quad (2)$$

yazılabilir. $H - z_N = h$ değerini yerine yazarsak,

$$u_N = \sqrt{2gh} \quad (3)$$

bulunur.

3.1. Dikdörtgen savak

(3) formülüyle bulduğumuz hızı $dA = b.dh$ birim elemanın kesit alanıyla çarptığımızda birim elemandan geçen debiyi bulmuş oluruz.

$$dQ = u_N dA = \sqrt{2gh} b dh$$

Toplam debi, bu ifadenin 0 ile H arasında integrasyonu ile bulunabilir. Sonuçta,

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2gB} H^{3/2} \quad (4)$$

elde edilir.

Bulunan bu debi birtakım kayıpların hesaba katılmaması dolayısı ile ideal debidir. Bunu bir debi katsayısı (C_d) ile çarparsak gerçek debiyi elde etmiş oluruz.

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2gB} H^{3/2} \quad (5)$$

Araştırmacılar, $m=C_d \cdot 2/3$ tanımıyla m katsayısını farklı şekilde vermişlerdir. Tablo 1’de bazı araştırmacıların buldukları katsayılar sunulmuştur.

Tablo 1. $m=C_d .2/3$ değerleri.

Araştırmacı	Formül	Tatbik sınırı
H.BAZIN (1888)	$m = (0.405 + \frac{3}{1000H})[1 + 0.55(\frac{H}{H+w})^2]$	$0.5 < B < 2$ metre $0.1 < H < 0.6$ “ $0.2 < w < 2$ “
F. FRESE (1890)	$m = (0.410 + \frac{1.4}{1000H})[1 + 0.55(\frac{H}{H+w})^2]$	$0.1 < H < 0.6$ metre $H > B$
SIA (İsviçre Müh. Birliği) 1924	$m = 0.41 (1 + \frac{1}{1000H + 1.6})[1 + 0.55(\frac{H}{H+w})^2]$	$w > 0.3$ metre $0.024 < H < 0.8$ “ $H < w$
T.REWBOCK (1929)	$m = 0.402 + 0.0542(\frac{H + 0.0011}{H})]$ $Q = [1.782 + 0.24)(\frac{H + 0.0011}{w})] B (H + 0.0011)^{3/2}$	$0.05 \leq H \leq 0.8$ metre $Q - m^3 / s$

Bu eşitliklerin geçerli olabilmesi için H savak yükü ile eşik yüksekliği (w) metre olarak alınmalı, savak serbest hüzmeli olmalı, savağa yaklaşan akıntının çalkantılı olmaması ve H savak yükünün mümkün olduğu kadar savağın gerisinden okunması gerekir.

3.2. Üçgen Savak

(3) formülüyle bulunan hız $dA=b.dh$ ile çarpılırsa birim elemandan geçen debi bulunmuş olur. Yalnız burada b sabit değildir. Bunu da h cinsinden ifade etmek gerekir. Dolayısı ile $b=2(H-h).tg\theta$ alınmalıdır. Dikdörtgen savaktaki integrasyon işlemini burada da kullanabiliriz.

$$Q = \int_0^H \sqrt{2.g.h} \cdot 2.(H-h) tg\theta . dh$$

Sonuçta,

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2.g} tg\theta . H^{5/2} \quad (6)$$

bulunur. Gerçek debiyi bulmak için bu formülü bir debi katsayısı ile çarpmamız gerekir.

$$Q = C_d \frac{8}{15} \sqrt{2 \cdot g} \operatorname{tg} \theta \cdot H^{5/2} \quad (7)$$

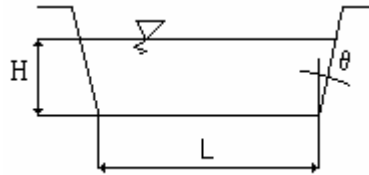
Üçgen savaklarla ilgili olarak da bazı araştırmacılar şu formülleri önermiştir.

Tablo 2. Bazı araştırmacıların üçgen savak formülasyonları.

Tatbik Sınırı		
GOURLEY	$Q = 1,32 \operatorname{tg} \theta \cdot H^{2.47}$	$\theta = 90, 60, 45^\circ$ için
THOMSON	$Q = 1,40 \cdot H^{5/2}$	$\theta = 90$ ve $0.05 < H < 0.18\text{m}$
CONE (1916)	$Q = [(0,3066 \operatorname{tg} \theta + 0,0032) H^{5/2} \sqrt{2 \cdot g}] (3,28 \cdot H)^{\frac{-0,0195}{0,75 \cdot \operatorname{tg} \theta}}$	$10^\circ < \alpha < 170^\circ$ $0,05 < H < 0.50 \text{ metre}$

3.3. Trapez Savaklar

$$Q = m [L + 0.8 \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot H] \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{3/2}$$



$m = 0,42$ ve $\operatorname{tg} \theta = 1/4$ alınarak CIPOLETTI tarafından verilen

$$Q = 1,86 \cdot L \cdot H^{3/2} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

bulunur.

Tatbik sınırları, $0,08 \leq H \leq 0,60 \text{ metre}$, $L \geq 3 \cdot h \text{ metre}$, $w > 3 \cdot h \text{ metre}$

Trapez savağın bulunduğu kanalın uzunluğu $(30 - 60) H$ olmalı ve bu savakta hassas ölçüm yapabilmek için Q değeri $0,150 \text{ m}^3 / \text{s}$ den küçük olmamalıdır.

3.4. Dairesel Savaklar

Yine dikdörtgen savaklara göre küçük debilerin ölçülmesi bu savaklarla daha hassas olur. Bazı araştırmacılara göre debi değerleri şöyle verilmiştir.

$$Q = C.K.H^{5/2}$$

$$K = 2,203 \left(\frac{H}{D}\right)^{1,975} - 0,842 \left(\frac{H}{D}\right)^{3,78}$$

$$C = \left[0,555 + \frac{D}{110.H} + 0,041 \frac{H}{D}\right] \left(\frac{2.D}{L}\right)^{0,0625}$$

4. DENEYİN YAPILIŞI

Bu deneyde deneysel debi formülünü, ölçülen debi ve savak yüküne bağlı olarak tespit edeceğiz ve bunu teorik debi formüllerine eşitleyerek savak debi katsayısını bulmaya çalışacağız. Bu amaçla aşağıdaki tabloyu hazırlamak faydalı olabilir.

Deney No	m(kg)	t(sn)	H(m)	Q(m ³ /s)	- log H	- log Q

H_{ort} =

Deneysel olarak bulunacak debi $Q = K.H^n$ şeklinde olmalıdır. Bunu bulabilmek için eşitliğin her iki tarafının logaritmasını alıp eşitliği doğru denkleme dönüştürmek kolaylık sağlar.

$$\log Q = \log K + n.\log H$$

Böylece $\log Q$ ile $\log H$ arasında çizilecek eğrinin eğimi n sayısını, eğrinin $\log Q$ eksenini kestiği nokta ise $\log K$ sayısını verecektir. Deneysel olarak bulunan debi, teorik debiye eşitlenirse C bulunabilir. Mesela dikdörtgen savak için,

$$K.H^n = C \frac{2}{3} B \sqrt{2.g} H^{3/2}$$

yazılabilir. Burada n sayısının $3/2$ çıkmaması durumunda eşitliğin her iki tarafında da H yerine deney boyunca ölçülen H değerlerinin aritmetik ortalaması alınmalıdır.

5. DENEY RAPORUNDAN İSTENENLER

- 1- Deneyin Teorisi,
- 2- Hesap tablosu hazırlanarak bir noktaya ait hesaplamaların formüller üzerinde gösterilmesi,
- 3- $\log Q - \log H$ eğrisinin çizilerek deneysel debi formülünün bulunması,
- 4-Bulunan bu formül ve teorik debi formüllerinden yararlanılarak debi katsayısı C nin bulunması.

DENEY NO: 5

KONU: Bir venturimetre içerisinde akış.

AMAÇ: Kapalı kanallarda debi ölçme sistemlerinin en gelişmişlerinden biri olan venturinin tanıtılması, venturi boyunca basınç dağılımının ve kayıp miktarlarının uygulamalı olarak tespiti.

1. GİRİŞ

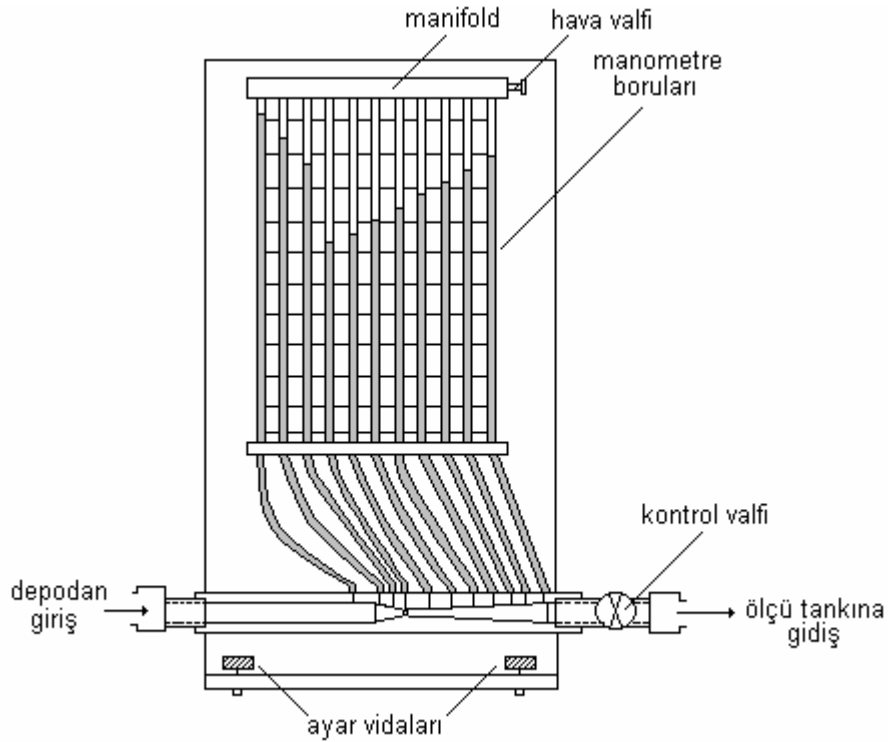
Ölçüm sistemleri içerisinde kayıp miktarı açısından en güvenilir sistemlerden biri olan venturi borusu uzun yıllardan beri bir boru içerisinde akan akışkanın debisini ölçmek için kullanılmaktadır. Bu deneyimizde venturi borusu boyunca basınç değişimi ve kayıp miktarını tespit edeceğiz.

2. TEORİK BİLGİLER

Venturi borusu Şekil 1’de görüldüğü gibi silindirik dar bir boğaza kadar kesiti gittikçe azalan bir daralma bölümü ve boğazdan sonra orijinal çapa geri dönünceye kadar genişleyen bir difüzörden ibarettir. Girişten boğaza kadarki bölümde akışkanın hızı gittikçe artarken basınçta düşme görülmektedir. Bu değişimin büyüklüğü akışkanın debisine bağlıdır. Dolayısı ile giriş ve boğaz kesitleri arasında piyezometreler vasıtasıyla ölçülen basınç farkı ile debi arasında bir ilişki bulunmaktadır. Venturi borusu ve piyezometrelerden oluşan cihaza venturimetre denir.

Her ne kadar debi ölçümü için üst akım ile boğaz kesitine yerleştirilmiş piyezometre boruları yeterli ise de tüm venturi borusu boyunca basınç değişiminin gözlenebilmesi amacıyla değişik kesitlere yeterli sayıda piyezometre borusu yerleştirilmiştir. Böylece deney aleti boyunca basınç değişimi deneysel olarak gözlenebilmekte ve teorik değerlerle kıyaslaması yapılabilmektedir.

Hidrolik tanktan gelen su Şekil 1’de görülen düzeneğe girdiğinde manometre boruları arkasına yerleştirilmiş ölçü cetvelleri sayesinde her bir kesitteki statik basınç ölçülebilmektedir. Aletten çıkan su, hidrolik tankın içindeki kaldırma kolu prensibi ile çalışan ölçü kabında toplanmaktadır. Burada belirli sürelerde toplanan su miktarının ölçülmesi ile debi bulunabilmektedir. Debi, venturimetre girişinden önce yerleştirilmiş bir vana yardımıyla ayarlanabilmektedir. Sistemde bulunabilecek hava kabarcıklarını dışarı atmak için ayrıca bir hava valfi ve kontrol valfi düzeneğe eklenmiştir.

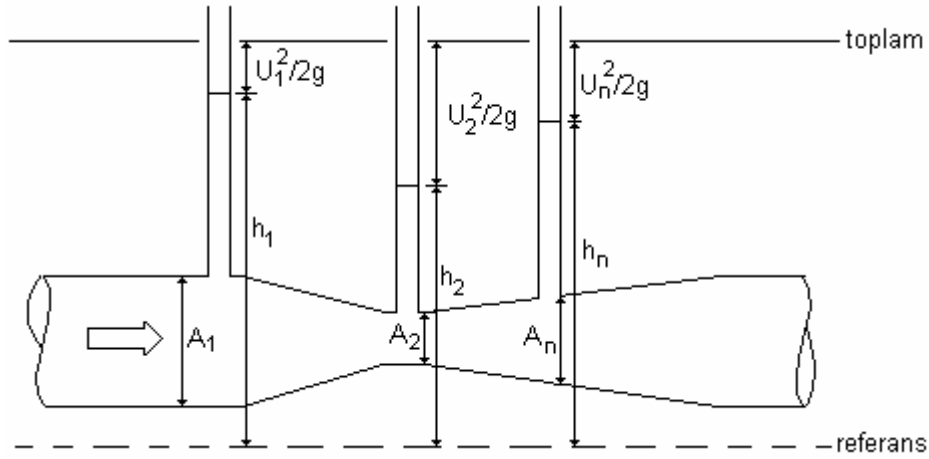


Şekil 1. Ventürimetre deney düzeneğinin şematik görünüşü.

Sıkıştırılmayan bir akışkanın Şekil 2’de görülen daralan genişleyen bir venturi borusundan aktığını düşünelim. Üst akım kesit alanı A_1 , boğaz kesiti A_2 ve keyfi bir kesitteki alan A_n olsun. Piyezometre borularındaki sıvı yükseklikleri referans seviyesinden itibaren sırasıyla h_1 , h_2 ve h_n olsun. Bu kesitlerin her birinde hız ve piyezometrik düşünün sabit olduğu (yani zamanla değişmediği) kabulü ve bir boyutlu akış kabulü ile Bernoulli denkleminde,

$$\frac{U_1^2}{2g} + h_1 = \frac{U_2^2}{2g} + h_2 = \frac{U_n^2}{2g} + h_n \quad (1)$$

yazılabilir. Burada u_1 , u_2 ve u_n 1, 2 ve n kesitlerindeki akış hızlarıdır.



Şekil 2. Bir venturimetrede ideal şartlar.

$$D_1 = 26.00 \text{ mm}$$

$$A_1 = 531 \text{ mm}^2 = 5.31 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$D_2 = 16.00 \text{ mm}$$

$$A_2 = 201 \text{ mm}^2 = 2.01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$(A_2 / A_1)^2 = 0.144$$

$$1 - (A_2 / A_1)^2 = 0.858$$

Bu kesitlerdeki süreklilik denklemi,

$$U_1 A_1 = U_2 A_2 = U_n A_n = Q \quad (2)$$

yazılabilir. Burada Q hacimsel debiyi göstermektedir. Süreklilikten u_1 çekilip (1) denkleminde yerine yazılırsa ,

$$\frac{U_2^2}{2g} \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 + h_1 = \frac{U_2^2}{2g} + h_2$$

bulunur ve buradan u_2 hızı çekilirse ,

$$U_2 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - (A_2 / A_1)^2}}$$

yazılabilir. Bulunan hız boğaz kesit alanı A_2 ile çarpılırsa hacimsel debi bulunabilir.

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - (A_2 / A_1)^2}} \quad (3)$$

Bu ideal debidir. Pratikte 1 ve 2 kesitleri arasında bazı kayıplar mevcuttur. Bunun yanında bu kesitlerin her birinde hız tam olarak sabit de değildir. Sonuç olarak gerçek debi (3) denklemi ile verilen ideal debiden az bir miktar daha düşük olacaktır. Dolayısıyla (3) denklemi, debi katsayısı veya basitçe venturimetre katsayısı dediğimiz bir C katsayısı ile çarpılırsa gerçek debi bulunmuş olur.

$$Q = CA_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - (A_2 / A_1)^2}} \quad (4)$$

Laboratuvarımızda mevcut deney seti için A_1 ve A_2 değerlerini yerine yazarsak;

$$Q = C \times 9.62 \times 10^{-4} (h_1 - h_2)^{1/2} \quad (5)$$

bulunur.

C' nin değeri deneysel olarak tespit edilmektedir ve bu değer 0.92'den 0.99'a kadar uzanabilir. C, bir venturimetreden bir başkasına da değişiklik gösterebilir. Hatta değişken debilerde dahi az bir miktar değişikliğe uğrayabilir.

Şimdi venturimetre boyunca piyezometrik yükseklik değişimini inceleyelim. Bunu yaparken 1 giriş kesiti ile n kesiti arasındaki piyezometrik yükseklik farkını boğazdaki $u_2^2 / 2g$ değerine oranlarsak boyutsuz olarak basınç değişimini buluruz. Bunu piyezometrik basınç katsayısı C_{ph} olarak tanımlarız.

$$C_{ph} = \frac{h_n - h_1}{U_2^2 / 2g} \quad (6)$$

Tamamen venturi borusunun geometrisine bağlı olarak boru boyunca ideal C_{ph} dağılımını basit bir ifade ile bulabiliriz. Bernoulli denkleminden,

$$h_n - h_1 = u_1^2 / 2g - u_n^2 / 2g$$

yazabiliriz. Bunu $u_2^2 / 2g$ ye bölersek ,

$$\frac{h_n}{U_2^2/2g} = \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 - \left(\frac{U_n}{U_2} \right)^2$$

bulunur. Süreklilik denkleminde,

$$U_1/U_2 = A_2/A_1 \text{ ve } U_n/U_2 = A_2/A_n$$

değerlerini yerine yazarsak,

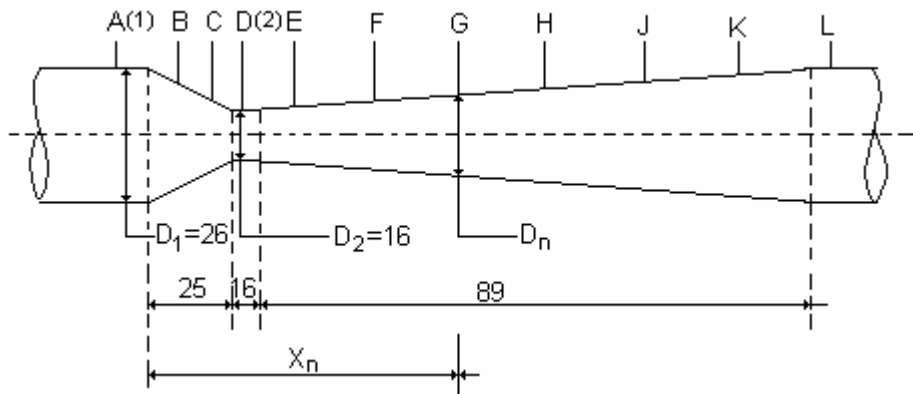
$$C_{ph} = \left(A_2 / A_1 \right)^2 - \left(A_2 / A_n \right)^2$$

buluruz. Bu eşitlik boru boyunca boyutsuz piyezometrik basınç katsayısını verir. Bunu boru çapları cinsinden de ifade etmek mümkündür.

$$C_{ph} = \left(D_2 / D_1 \right)^4 - \left(D_2 / D_n \right)^4 \quad (7)$$

2. DENEYİN YAPILIŞI

Piyezometre borularının venturi borusu boyunca yerleşimi Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 3. Piyezometre borularının venturi borusu boyunca yerleşimi

Deney debi katsayısının bulunması ve ideal - gerçek boyutsuz basınç dağılımının hesabı olmak üzere iki aşamalıdır. Debi katsayısının bulunması için değişik debilerde sadece 1 ve 2 kesitlerindeki piyezometrik yükseklik farkının okunması yeterlidir. Boyutsuz basınç

dağılımlarının bulunuşunda ise belirli bir hacimsel debi için tüm boru boyunca piyezometrik yüksekliklerin okunması gerekir.

Tablo 1, laboratuvarımızda mevcut venturimetre için boyutsuz piyezometrik basınç katsayısının hesaplanmış ideal değerlerini göstermektedir.

Tablo 1. İdeal boyutsuz basınç katsayısı (C_{ph}) hesabı

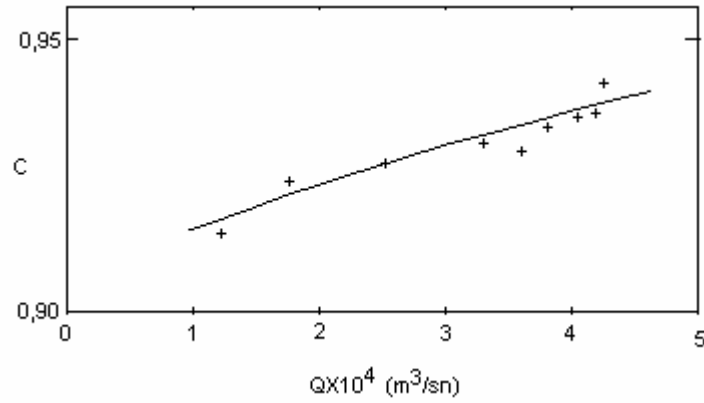
Piyezometrik referans	x_n (mm)	D_n (mm)	D_2/D_n	$(D_2/D_n)^4$	C_{ph}
A(1)	-13	26,000	0,615	0,143	0,000
B	7	23,000	0,690	0,226	-0,083
C	19	18,400	0,870	0,572	-0,428
D(2)	33	16,000	1,000	1,000	-0,857
E	48	16,790	0,953	0,825	-0,682
F	63	18,470	0,866	0,563	-0,419
G	78	20,160	0,794	0,397	-0,254
H	93	21,840	0,733	0,288	-0,144
J	108	23,530	0,680	0,214	-0,070
K	123	25,210	0,635	0,162	-0,019
L	143	26,000	0,615	0,143	0,000

Deneyler yapılırken debi, ölçü tankında toplanan su miktarının süreye bölünmesiyle elde edilir. $(h_1 - h_2)$ yükseklik farkı (5) denkleminde yerine yazılarak her bir debi için C katsayısı hesaplanabilir. Tablo 2, önceden yapılmış örnek bir deney sonucunu göstermektedir.

Tablo 2. Q ve $(h_1 - h_2)$ ölçümleri.

m (kg)	t (sn)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	$Q \times 10^4$ (m ³ /sn)	$(h_1 - h_2)$ (m)	$(h_1 - h_2)^{1/2}$ (m ^{1/2})	C
45	100,9	247,5	6,0	4,46	0,2415	0,491	0,943
45	103,6	246,0	13,0	4,34	0,2330	0,483	0,935
45	110,7	232,5	26,5	4,07	0,2060	0,454	0,931
30	80,2	215,5	41,0	3,74	0,1745	0,418	0,931
30	87,9	201,0	56,0	3,41	0,1450	0,381	0,932
30	101,5	181,0	69,5	2,96	0,1115	0,334	0,920
30	118,5	159,5	79,5	2,53	0,0800	0,283	0,930
15	84,4	136,5	97,0	1,78	0,0395	0,199	0,929
15	134,9	121,0	105,0	1,11	0,0160	0,126	0,914

Bu tablo yardımıyla ventürimetre için C 'nin Q ile değişimi çizilebilir.



Şekil 4. Ventürimetre debi katsayısının Q ile değişimi

Tablo 2 ' de debinin maksimum değeri olan $4.46 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$ yi referans alarak deneysel yöntemle C_{ph} ı bulmaya çalışalım.

$$Q = 4.46 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s} , u_2 = Q / A_2 = 4.46 \times 10^{-4} / 2.011 \times 10^{-4} = 2.22 \text{ m} / \text{s}$$

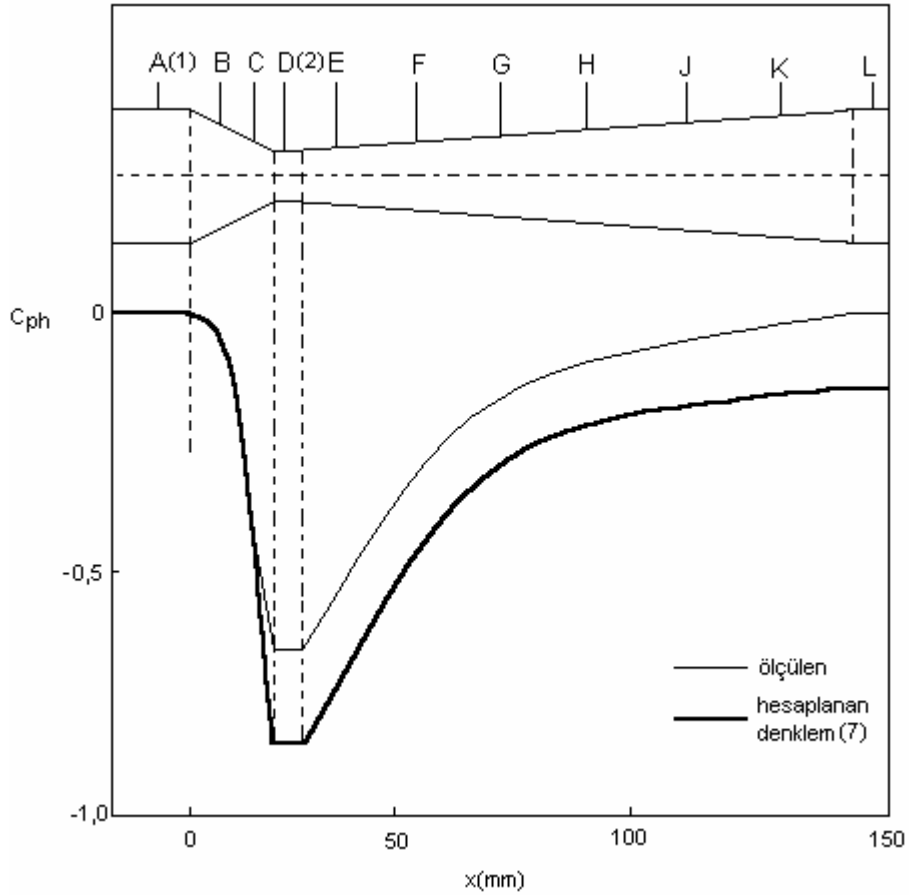
$$u_2^2 / 2g = 2.22^2 / (2 \times 9.81) = 0.251 \text{ m}$$

C_{ph} ı bulmak için verilen debiye karşılık gelen piyezometrik yüksekliklerin boru boyunca okunması gerekmektedir. Yukarıdaki örnek hesap için Tablo 3' de deneysel C_{ph} ın bulunuşu gösterilmiştir.

Tablo 3. Venturimetre boyunca boyutsuz piyezometrik basınç katsayısının değişimi.

$Q=4,46 \times 10^{-4} \text{ (m}^3/\text{s)}$ $U_2^2/2g=0,251 \text{ m}$			
Piyezometrik referans	$h_n(\text{mm})$	$(h_n-h_1) \text{ (mm)}$	$C_{ph}=(h_n-h_1)/ U_2^2/2g$
A(1)	247,5	0,0	0,0
B	228,5	-0,0190	-0,076
C	140,5	-0,1070	-0,427
D(2)	6,0	-0,2415	-0,962
E	26,0	-0,2215	-0,882
F	112,0	-0,1355	-0,540
G	150,5	-0,0970	-0,386
H	176,0	-0,0715	-0,285
J	193,0	-0,0545	-0,217
K	204,0	-0,0435	-0,173
L	209,0	-0,0385	-0,153

Tablo 1 ve Tablo 3 den yararlanarak ideal ve ölçülmüş C_{ph} değerlerinin venturimetre boyunca değişimi Şekil 5 de görülebilir.



Şekil 5. Ölçülen ve ideal C_{ph} değerlerinin venturi borusu boyunca değişimi.

3. DENEY RAPORUNDAN İSTENENLER

- 1) Deneyin teorisi ve yapılışı.
- 2) Gerekli tabloların, kendi bulduğunuz deneysel sonuçlar yardımıyla hazırlanması ve C eğrisi ile C_{ph} eğrilerinin (ideal ve ölçülen) mili metrik kağıda çizilmesi.
- 3) Sonuçların yorumu.
- 4) Deney düzeneğinin iyileştirilmesi yönünde varsa önerileriniz.

EK-1. Akışkan Özellikleri.**Tablo 1.**Bazı Gazların Yaklaşık Özellikleri

Gazlar	Yoğunluk (kg/m ³) 20 °C, 1,013 bar	Kinematik vis.(m ² /sn) 20 °C, 1,013 bar	Gaz sabit R (J/kgK)	İzotropik katsayı k
Hava	1,204	1,486 x 10 ⁻⁵	287,1	1,4
Amonyak	0,718	1,533	481,8	1,32
Karbondioksit	1,841	0,845	187,8	1,3
Metan	0,667	1,793	518,5	1,32
Azot	1,165	1,589	296,8	1,4
Oksijen	1,329	1,589	260,1	1,4
Kükürtdioksit	2,720	0,520	127,1	1,26

Tablo 2. Atmosfer Basıncında Havanın Bazı Özellikleri

Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Kinematik vis.(m ² /sn)
-17,8	1,382	1,171x10 ⁻⁵
-6,7	1,326	1,68
4,4	1,274	1,73
15,6	1,222	1,79
20,0	1,202	1,8
26,7	1,176	1,84
37,8	1,135	1,9
48,9	1,109	1,95

Tablo 3. Atmosfer Basıncında Suyun Bazı Özellikleri.

Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Dinamik vis.(m ² /sn)	Buhar basıncı (Pa)
0	1000	1,796x10 ⁻⁵	552
4,4	1000	1,550	827
10,0	1000	1,311	1170
15,6	1000	1,130	1790
21,1	1000	0,977	2480
26,7	995	0,862	3520
32,2	995	0,761	4380
37,8	995	0,680	6620
48,9	990	0,560	11700

AKIŞKANLAR MEKANİĞİ LABORATUARINDA YARARLANILABİLECEK KAYNAKLAR

- 1) Soğukoğlu, M., Akışkanlar Mekaniği, YTÜ, 1995.
- 2) Umur, H. Akışkanlar Mekaniği, Alfa Yayınevi, 1998.
- 3) Rana, V., Giles, B.S., M.S. in C.E., (Tercüme Örencik, K.)Teori ve Problemlerle Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik, Sanem Çözümlü Serisi, Güven Yayıncılık, 1962.
- 4) Genceli, O.F., Ölçme Tekniği, Birsan Yayınevi, 1995.
- 5) Genceli O.F., Optik Ölçme Metotları, İTÜ Kütüphanesi, 1989.
- 6) Tse, F.S., Morse, I.E., Measurement and Instrumentation in Engineering, 1989.
- 7) Blevins, R.D., Applied Fluid Dynamics Handbook, Florida, 1992.
- 8) Holman, J.P., Experimental Methods for Engineers, McGraw Hill Book Co., New York, 1989.
- 9) White, F.M., Fluid Mechanics, McGraw Hill Publishing Co. 1986.
- 10) Fluid Meters, Their Theory, and Applications, ASME, New York, 1961.
- 11) Janna W.S., Fluid Mechanics, McGraw Hill Publishing Co.1985.