



AKIŞKANLAR MEKANİĞİ

LABORATUARI 2

Deney Sorumlusu ve Uyg. Öğr. El.

Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN

Prof. Dr. Haydar EREN

Doç.Dr. Nevin ÇELİK

Arş. Gör. Celal KISTAK

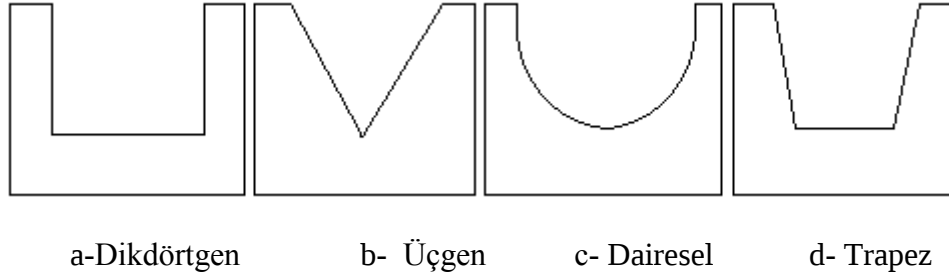
DENEY NO: 1**KONU: Savak deneyi**

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.

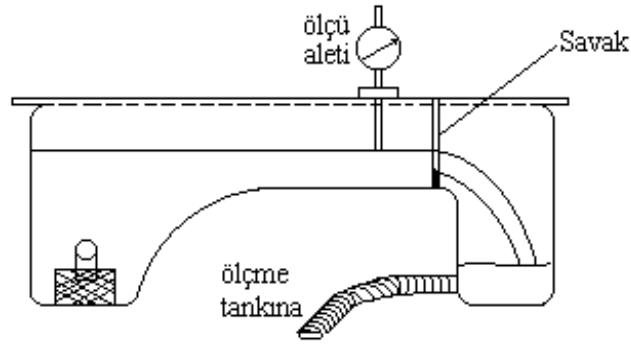
Savaklar hüzmeye şekline göre de yapışık hüzmeli, serbest hüzmeli veya dalmış savaklar ismini alır. Şekil 1’ de dört tip savak şekli görülmektedir.



Şekil 1. Değişik geometrili savak tipleri

2. DENEY CİHAZININ TARİFİ

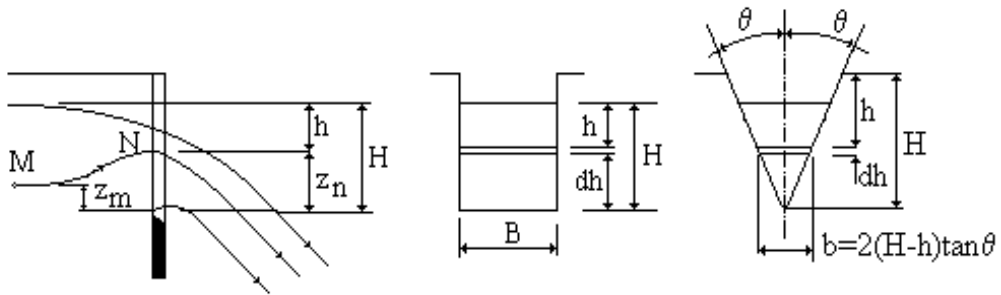
Kapalı devre halinde çalışan sistemde depodan emilen su, su kanalına gönderilmektedir. Bu su, kanal içine yerleştirilmiş bir savak üzerinden akarken savakta yükselen su seviyesi alt akıma yerleştirilmiş bir ölçme aleti yardımıyla tespit edilmektedir. Su daha sonra kanaldan kaldırıcı kolu prensibiyle 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 $dA = b \cdot dh$ 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, $m=C_d .2/3$ 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 metre 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 < H < 0.8 metre Q - m ³ / s

Bu eşitliklerin geçerli olabilmesi için H savak yükü ile eşik yüksekliği (w) metre olarak alınmalı, savak serbest huzmeli 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. Dolayısıyla $b=2(H-h).tg\theta$ alınmalıdır. Dikdörtgen savaktaki integral işlemini burada da kullanabiliriz.

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

Sonuçta,

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

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

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

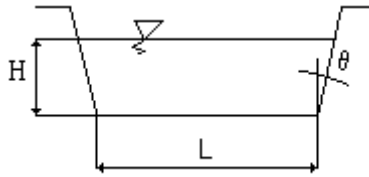
Üçgen savaklarla ilgili olarak da bazı araştırmacılar şu formülleri önermiştir.

Tablo 2. Bazı araştırmacıların üçgen savak formülasyonları.

Araştırmacı	Formulasyon	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)	$Q = [(0,3066 \operatorname{tg} \theta + 0,0032) H^{5/2} \sqrt{2 \cdot g}] (3,28 \cdot H)^{\frac{-0,0195}{0,75 \cdot \operatorname{tg} \theta}}$	$10^\circ < \theta < 170^\circ$ $0,05 < H < 0.50 \text{ metre}$

3.3. Trapez Savaklar

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



Şekil 4. Bir Cipoletti savağından kesit görüntüsü

$m = 0,42$ 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, $0,08 \leq H \leq 0,60$ metre, $L \leq 3.h$ metre, $w > 3.h$ 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
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

$$H_{\text{ort}} =$$

Deneysel olarak bulunacak debi $Q = K.H^n$ şeklinde olmalıdır. Bunu bulabilmek için eşitliğin her iki tarafının logaritmasını alıp eşitliği doğru denklemine 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: 2**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.

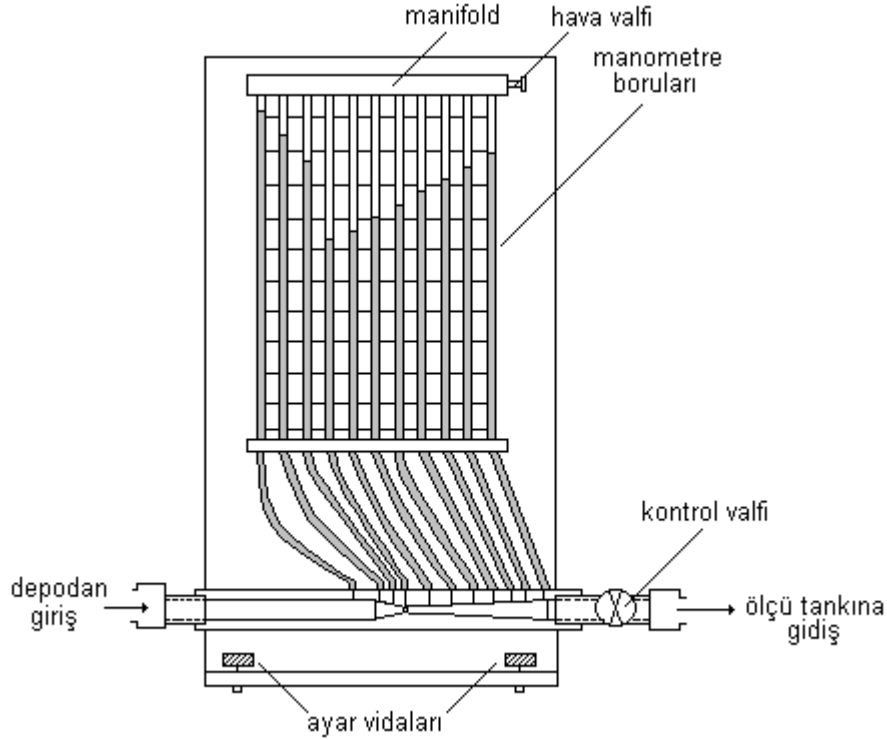
2. TEORİK BİLGİLER

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.

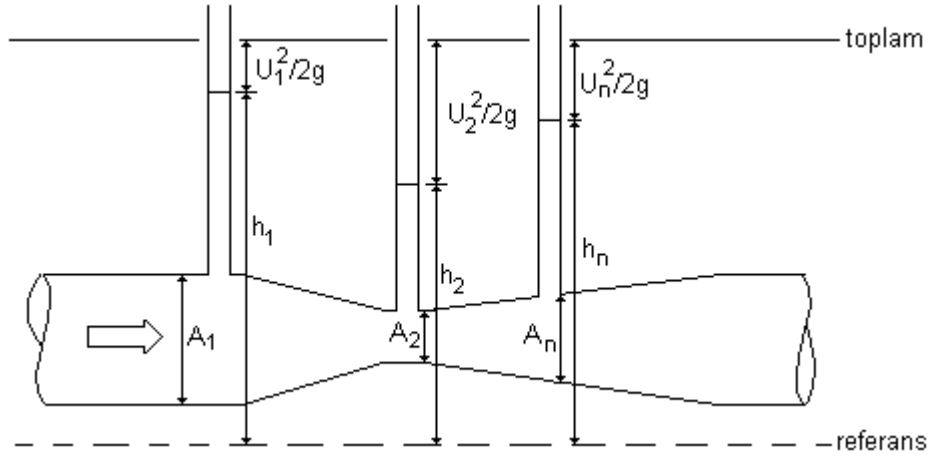


Şekil 1. Ventürimetre deney düzeneğinin şematik görünüşü.

Sıkıştırılamayan 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 denkleminden,

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

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 denkleminde,

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

yazabiliriz. Bu ifadeyi $u_2^2 / 2g$ ye bölersek,

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

bulunur. Süreklilik denkleminden,

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

değerlerini yerine yazarsak,

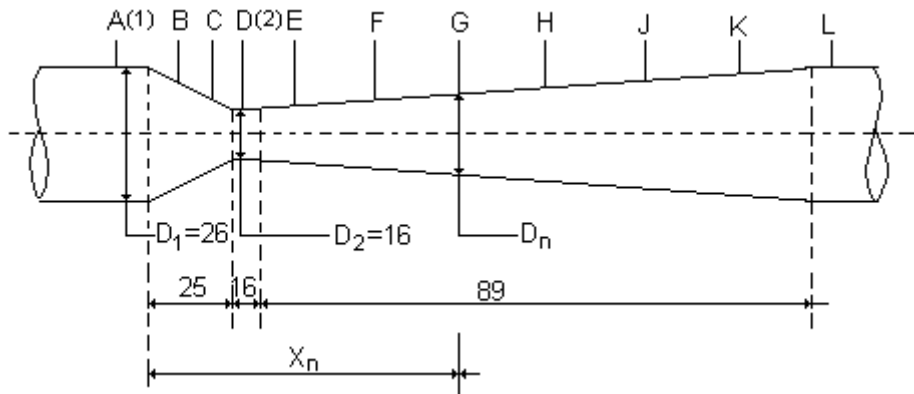
$$C_{ph} = \left(A_2 / A_1 \right)^2 - \left(A_2 / A_n \right)^2$$

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. 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.

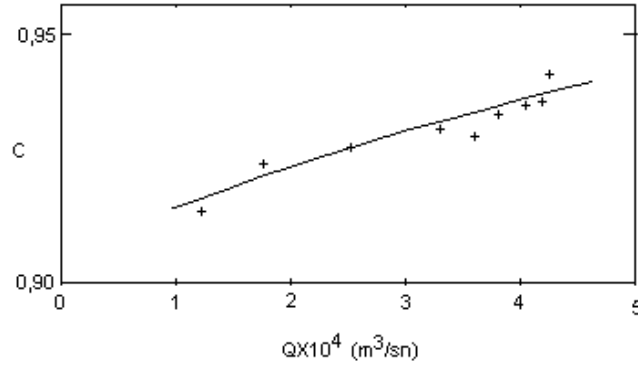
Tablo 1. İdeal boyutsuz basınç katsayısı (C_{ph}) hesabı

Referans	$x_n(\text{mm})$	$D_n(\text{mm})$	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

Tablo 2. Q ve $(h_1 - h_2)$ ölçümleri

m (kg)	t(sn)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	$Q \times 10^4 (\text{m}^3/\text{sn})$	$(h_1-h_2)(\text{m})$	$(h_1-h_2)^{1/2}(\text{m}^{1/2})$	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.

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

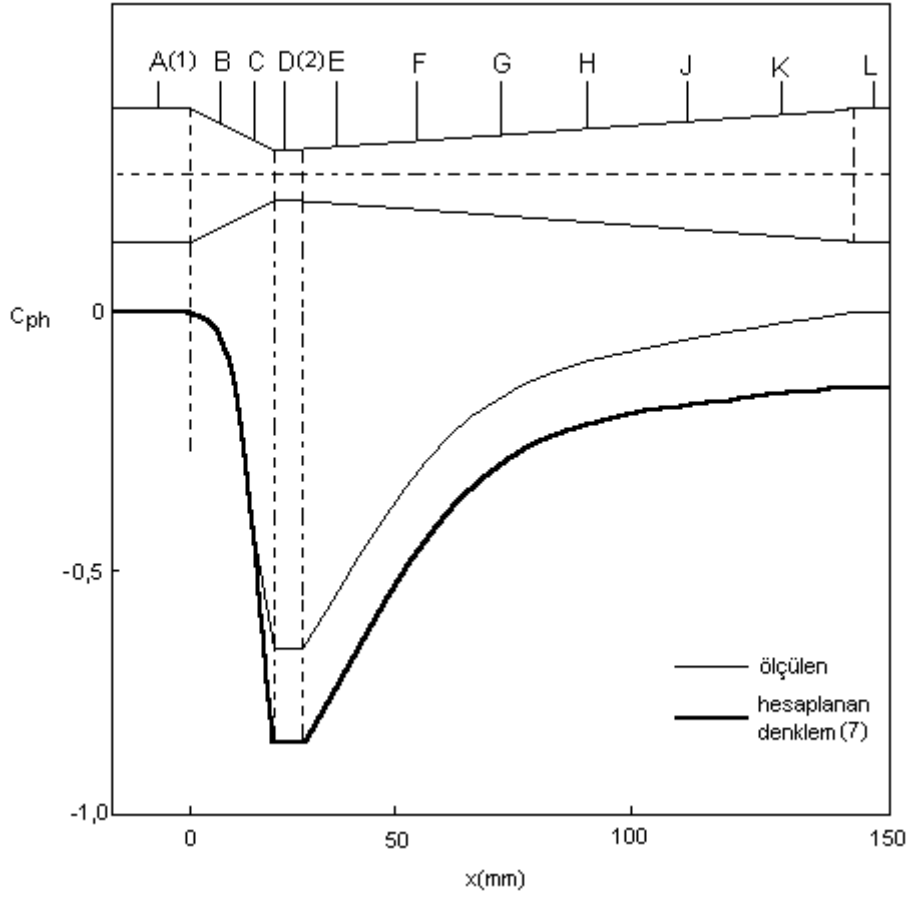
$$u_2^2 / 2g = 2.22^2 / (2 \times 9.81) = 0.251 \text{ m}$$

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=4,46X10 ⁻⁴ (m ³ /sn) U ₂ ² /2g=0,251 m			
Piyezometrik referans	h _n (mm)	(h _n -h ₁) (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) çizilmesi.
- 3) Sonuçların yorumu.
- 4) Deney düzeneğinin iyileştirilmesi yönünde varsa önerileriniz.