



T.C.

**BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**DEBİ ÖLÇME DENEYİ**  
**DENEY FÖYÜ**

## 1. DENEYİN AMACI

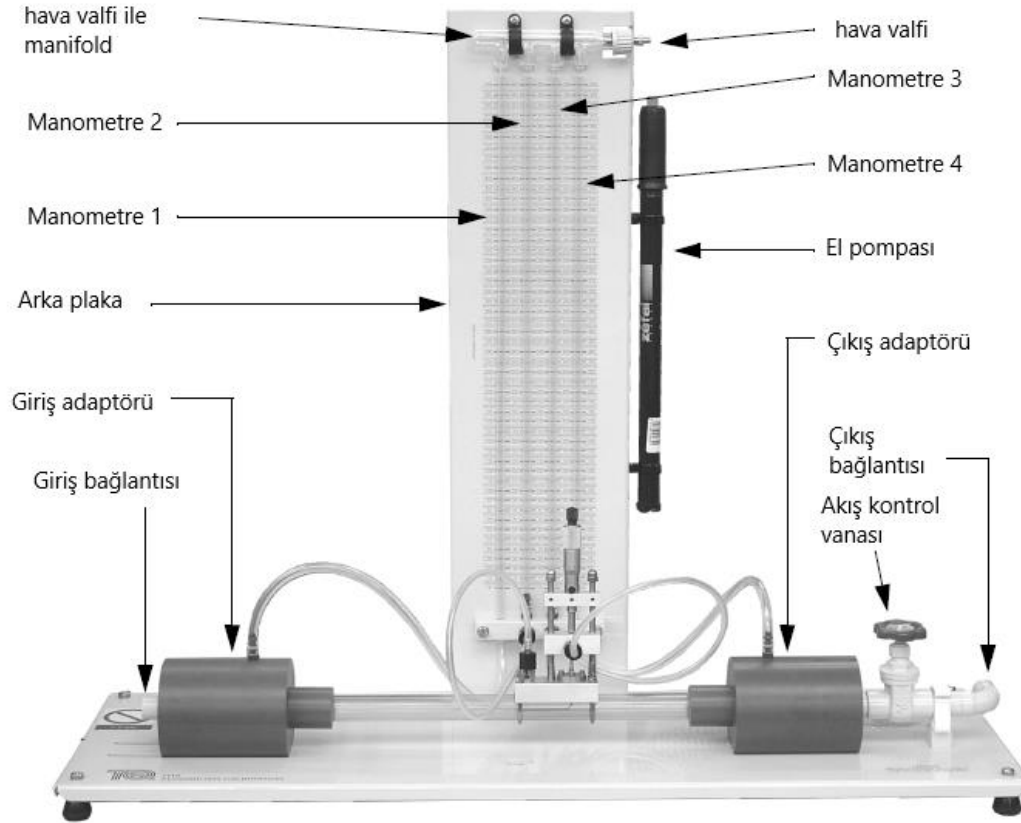
Borudaki bir akışta borunun çeperinden merkezine doğru akış hızının nasıl değiştiğinin ve bu değişimin nelere bağlı olduğunun öğrenilmesi amaçlanır.

## 2. DENEYİN ÖĞRENME ÇIKTILARI

Akış hesapları için basınç gösterge değerleri ve debimetrenin verilen boyutları kullanılacaktır. Verilen debi aralığında debimetrenin doğruluğunu göstermek için sonuçlar gerçek akışla karşılaştırılacaktır. Boruda akış için sınır tabaka hız profili çizilecektir. Termodinamiğin birinci yasasından Bernoulli denklemi türetilenektir.

## 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Arka plakaya dört adet manometre tüpü takılmıştır. Manometrelerin tepesinde hava valfli küçük bir manifold bulunur. Manifolddaki hava basıncını artırmak ve manometrelerin ölçümünü dengelemek için el pompasını kullanılabilir.

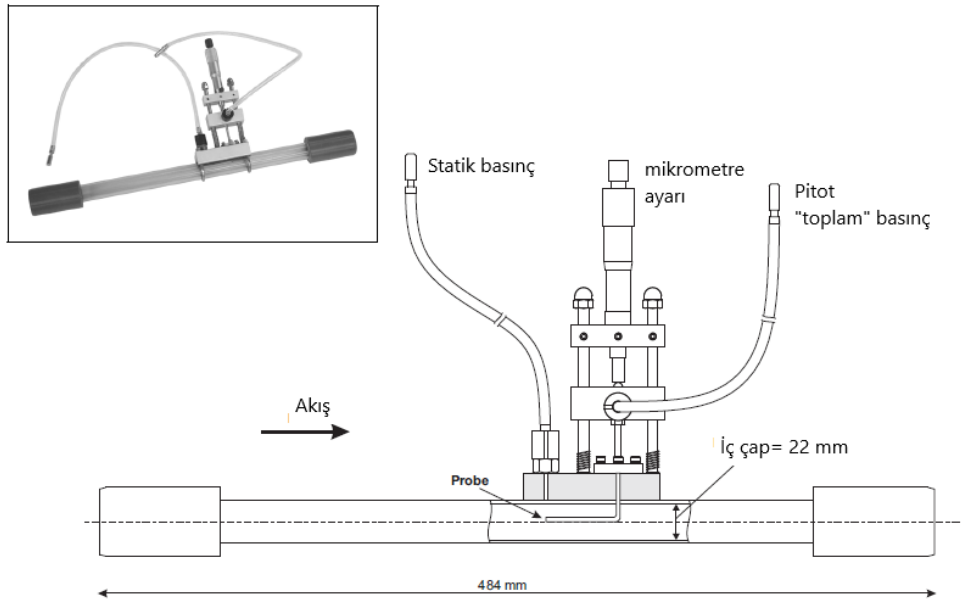


Şekil 1. Debimetre kalibrasyon cihazının bileşenleri

Giriş ve çıkış adaptörleri, debimetrenin uçları için soketler ve contalar içerir. Giriş adaptörü, debimetrelerin kolayca çıkarılmasına ve takılmasına izin vermek için kaydırılır. Giriş ve çıkış adaptörlerinin iç şekli sırasıyla kademeli olarak genişler ve daralır. Bu, istenmeyen akış düzensizliklerini azaltır. Çıkışta, debimetrelerin akışını kontrol eden bir akış kontrol vanası vardır. Bu aparat için, aşağı (çıkış) akış kontrolü, yukarı (giriş) akış kontrolünden daha iyidir. Bunun nedeni, yukarı akışa monte edilmesi durumunda vananın kendisinin akış düzensizlikleri oluşturabilmesidir.

### 3.1. Pitot Tüpü

Pitot tüpü sıvı ve gaz akışındaki dinamik ve statik basınçların toplamı olan durma basıncını ölçer. Debi arttıkça, kesitten geçen akışkanın toplam enerjisi ve toplam basıncı artar. Pitot probu yalnızca durma basıncını ölçmek için, pitot probu ile aynı radyal düzlemde bulunan boru cidarındaki basınç tıpası ise statik basıncı ölçmek için kullanılır (Şekil 2). Dinamik basınç ise durma ve statik basınçlar arasındaki fark dikkate alınarak hesaplanır. Pitot tüpü, probunun akışta doğru konumlandırılması için mikrometre tipi bir ayara sahiptir. Prob, hızın bir borunun çapı boyunca (bir hız profili) nasıl değiştiğini göstermek için akış boyunca hareket ettirilebilir. Birçok uçak türü, hava hızını ölçmek için Pitot tüpü kullanır. Ayrıca, yarış arabalarında ve rüzgar hızı ölçümü için bazı rüzgar türbinlerinde kullanılır.



Şekil 2. Pitot Tüpü

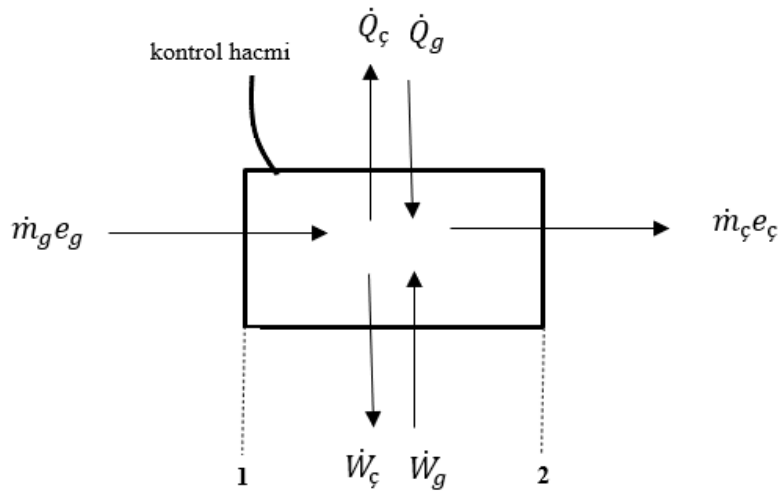
### 3.2. Notasyon

Tablo 1. Notasyon

|                    |            |                                 |                     |            |                        |
|--------------------|------------|---------------------------------|---------------------|------------|------------------------|
| Giriş çapı         | $D$        | m                               | Basınç              | $p$        | Pa                     |
| Giriş borusu alanı | $A_I$      | m <sup>2</sup>                  | Diferansiyel basınç | $\Delta p$ | Pa                     |
| Hacimsel debi      | $Q_v$      | m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> | Viskozite           | $\mu$      | Pa.s                   |
| Kütlesel debi      | $Q_m$      | kg.s <sup>-1</sup>              | Su yoğunluğu        | $\rho$     | kg.m <sup>-3</sup>     |
| Su yüksekliği      | $h$        | m                               | Yerçekimi ivmesi    | $g$        | 9.81 m.s <sup>-2</sup> |
| yükseklik farkı    | $\Delta h$ | m                               | Akış hızı           | $v$        | m.s <sup>-1</sup>      |

### 3.3. Bernoulli Prensibi

Akışkanlar mekaniğinin en önemli denklemlerinden biri olan Bernoulli denklemi esas itibari ile Termodinamiğin birinci yasasının özel bir halidir. Buna göre laminar bir akışta, akışın sahip olduğu tüm mekanik enerjilerin toplamı yine akış üzerindeki her noktada eşittir.



Şekil 3. Kontrol Hacmine Isı, Kütle Ve İş Giriş-Çıkışı

Termodinamiğin birinci kanunu:

$$\dot{E}_g - \dot{E}_ç = \frac{dE_{KH}}{dt} \quad (\text{kJ/sn})$$

1. Kabul: Sürekli (Daimi Akış)  $\dot{m}_g = \dot{m}_ç = \dot{m}$

$$\dot{E}_g - \dot{E}_ç = \frac{dE_{KH}}{dt}$$

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç \quad (\text{kJ/sn})$$

$$\dot{m}e_g + \dot{Q}_g + \dot{W}_g = \dot{m}e_ç + \dot{Q}_ç + \dot{W}_ç + \dot{E}_{\text{sürtünme}} \quad (\text{kJ/s})$$

$$\dot{m}\left(u_g + \frac{P_g}{\rho_g} + \frac{V_g^2}{2} + gz_g\right) + \dot{Q}_g + \dot{W}_g = \dot{m}\left(u_ç + \frac{P_ç}{\rho_ç} + \frac{V_ç^2}{2} + gz_ç\right) + \dot{Q}_ç + \dot{W}_ç + \dot{E}_{\text{sürtünme}} \quad (\text{kJ/s})$$

2. Kabul: Sıkıştırılmaz akış  $\rho_g = \rho_ç = \rho = \text{sbt}$

3. Kabul : Sürtünme ihmal

4. Kabul: Isı ve iş akışı yok  $u_g = u_ç = u = \text{sbt}$

$$\dot{m}\left(u_g + \frac{P_g}{\rho_g} + \frac{V_g^2}{2} + gz_g\right) + \dot{Q}_g + \dot{W}_g = \dot{m}\left(u_ç + \frac{P_ç}{\rho_ç} + \frac{V_ç^2}{2} + gz_ç\right) + \dot{Q}_ç + \dot{W}_ç + \dot{E}_{\text{sürtünme}}$$

İlgili kabuller yapıldıktan sonra denklem şu şekilde karşımıza çıkar:

$$\frac{P_g}{\rho_g} + \frac{V_g^2}{2} + gz_g = \frac{P_ç}{\rho_ç} + \frac{V_ç^2}{2} + gz_ç \quad (\text{kJ/s})$$

Akış işi      Kinetik enerji      potansiyel enerji

Her iki tarafı  $\rho$  ile çarparsak denklemin son hali Denklem-1'de :

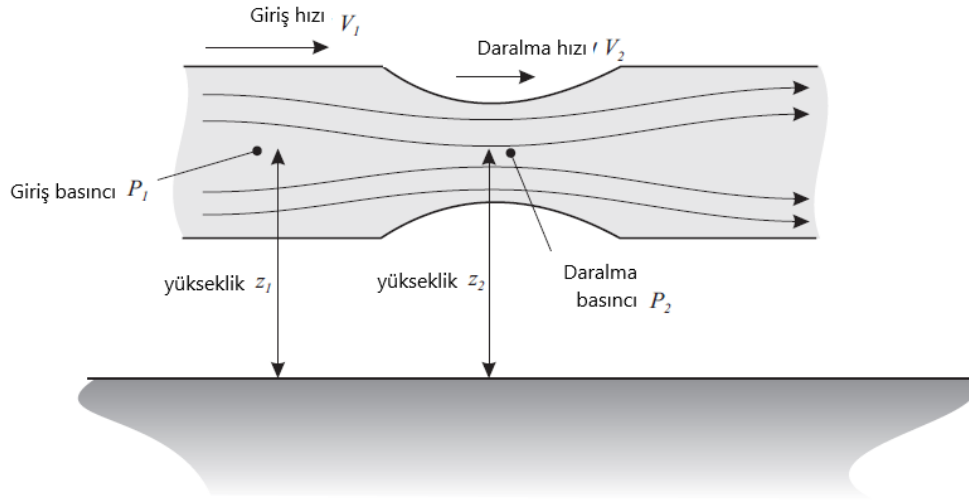
$$P_g + \frac{1}{2}\rho V_g^2 + \rho g z_g = P_\zeta + \frac{1}{2}\rho V_\zeta^2 + \rho g z_\zeta \quad (\text{Pa}) \quad (1)$$

statik basınç
dinamik basınç
hidrostatik basınç

durma basıncı

Denklem 1 ve Şekil 4, Bernoulli Prensibine göre daralan bölgede bir borudaki basınç ve debi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Yükseklikler (z) aynıysa birbirini götürdüğünü unutmayın.



Şekil 4. Bernoulli Prensibi

### 3.4.Hacimsel debi - Pitot Tüpü

Bir Pitot tüpü akış hızını ölçer. Bu nedenle, hacimsel debiyi bulmak için önce hızı hesaplamamız, ardından bunu giriş kesit alanıyla çarpmanız gerekir. Pitot tüpü için:

$$\text{Dinamik basınç} = \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{Durma basıncı} - \text{Statik basınç} = \Delta p$$

$$\Delta p = \frac{1}{2}\rho v^2$$

Böylece basınç farkı su yüksekliğine dönüştürüldüğünde

$$v = \sqrt{2g\Delta h}$$

Bundan, hacimsel debi şunlardan bulunur:

$$Q_v = vA$$

Dolayısıyla,

$$Q_v = A\sqrt{2g\Delta h} \quad (2)$$

Sonuçlarımız saniyede m<sup>3</sup> olacaktır, bu nedenle L/sn olması için 1000 ile çarpmanız gerekir.

### 3.5.Birim Dönüşümleri

Hacim debiyi (L/s) kütleli debiye (kg/s) dönüştürmek için:

$$\text{Kütleli Debi (kg/s)} = \text{Hacimsel debi (L/s)} \times \frac{\text{Suyun yoğunluğu } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{1000} \quad (3)$$

$$1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 1000 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$$

### 3.6.Hata hesabı

Debi ölçümlerinizin hata yüzdesini bulmak için denklem 4'ü kullanın.

$$\frac{\text{Gerçek akış hızı} - \text{Hesaplanan akış hızı}}{\text{Gerçek akış hızı}} \times 100 \quad (4)$$

## 4. DENEYİN YAPILIŞI

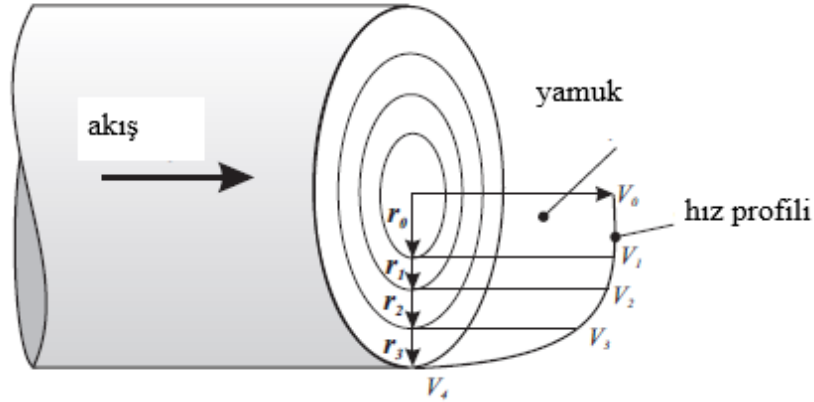
### 4.1. TEST-1

Debinin, debimetrelerin doğruluğu üzerindeki etkisini göstermek amaçlanır. Değişen debi miktarına göre manometreler arasında ölçülen akışkanın yükseklik farkına göre hızı ve debiyi hesaplamamız istenmektedir. Buna göre gerçek debi değeri ile hesaplanan debi değeri arasındaki yüzde hatayı bulmanız gerekmektedir. İlgili sonuçları aşağıdaki tabloya doldurunuz. (Giriş çapı D=22 mm)

| Gerçek Debi [L/s] | Debimetre $\Delta h$ [mm] (Manometre 2 ve 3) | v [m/s] | Hesaplanan Debi [L/s] | % Hata |
|-------------------|--|---------|-----------------------|--------|
| 0,7391304         | 400  |         |                       |        |
| 0,5964912         | 263  |         |                       |        |
| 0,3541667         | 93   |         |                       |        |

#### 4.2. TEST-2

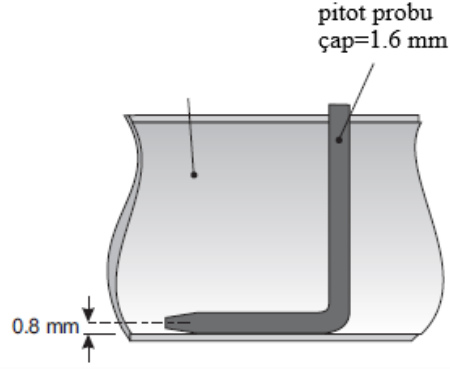
Bir borudaki akış hızı borunun genişliği boyunca her yerinde aynı değildir. Borunun çeperindeki sürtünme faktörü, akışın yavaşlamasına neden olur. Çepere yakın olan ve yavaş hareket eden bu akış katmanına “sınır tabaka” denir. Yüzeyin fazla pürüzlü olması, boru uzunluğunun artması ve akış hızının fazla olması sınır tabaka etkisini artırır. Borunun merkezindeki akış, bu sürtünme kaybından daha az etkilenir ve burada akış hızı biraz daha yüksektir.



Şekil 5. Borunun içinde hız profili

Pitot probu bu hız profilini ölçmek için mükemmel bir araçtır. Pitot tüp ile kullanılan boru pürüzsüzdür (sürtünme etkisi düşüktür). Ancak yüksek akış hızlarında bir sınır tabaka oluşur. Borudaki akış hızını bulmak için farklı yarıçaplardaki hızı bulmanız gerekir. Daha sonra eğrinin altındaki alanı bulmak için yamuk yöntemini kullanmalısınız.





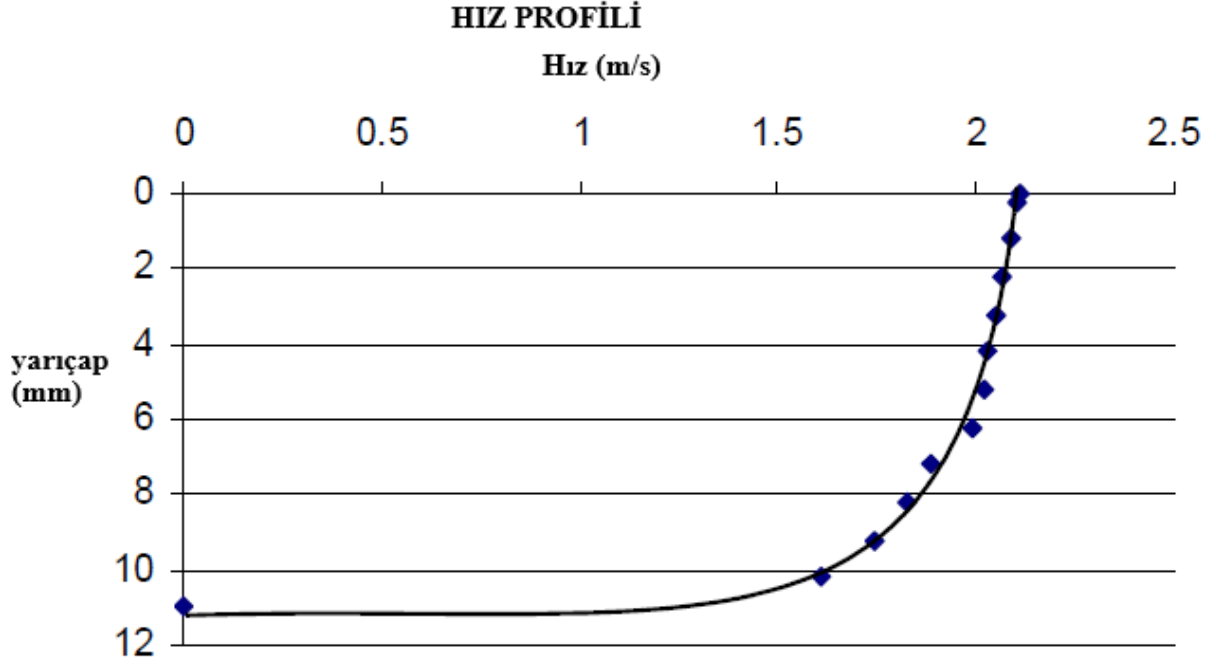
Şekil 6. Pitot probu gösterimi

İzlenecek adımlar:

1. Her prob konumunda akış hızını hesaplayın. Bunun için aşağıdaki gibi bir tablo oluşturun.

| Pitot yükseklik [mm]                        | yarıçap [mm] | A [m <sup>2</sup> ] | alan farkı | $\Delta h$ [mm] | v [m/s ] | yamuk kuralı |
|---|--------------|---------------------|------------|-----------------|----------|--------------|
| 0   | 11           |                     |            | 0               |          |              |
| 0,8   | 10,2         |                     |            | 266             |          |              |
| 1,8   | 9,2          |                     |            | 287             |          |              |
| 2,8   | 8,2          |                     |            | 302             |          |              |
| 3,8   | 7,2          |                     |            | 314             |          |              |
| 4,8   | 6,2          |                     |            | 317             |          |              |
| 5,8   | 5,2          |                     |            | 314             |          |              |
| 6,8   | 4,2          |                     |            | 313             |          |              |
| 7,8   | 3,2          |                     |            | 314             |          |              |
| 8,8   | 2,2          |                     |            | 313             |          |              |
| 9,8   | 1,2          |                     |            | 313             |          |              |
| 10,8  | 0,2          |                     |            | 314             |          |              |
| 11  | 0            |                     |            | 314             |          |              |
| toplam hesaplanan debi (m <sup>3</sup> /s)= |              |                     |            |                 |          |              |

2. Borunun alt yarısının hız profilini görmek için yarıçapa (dikey eksen) karşı hızın (yatay eksen) grafiğini aşağıdaki şekil gibi çizin.



3. Her yamuğun alanını hesaplamak için yamuk kuralını kullanın. Bunu yapmak için şunları yapmalısınız:
- Her iki ardışık alan arasındaki farkı bulun (sonuçlar tablosunda sizin için zaten yapılmıştır)
  - Bunu ardışık iki hızın toplamının yarısıyla çarpın.

Böylece:

$$\text{Yamuğun alanı} = (\pi r_1^2 - \pi r_2^2) * (V_1 + V_2)/2$$

4. Şimdi, debiyi bulmak ve gerçek debi ile karşılaştırmak için tüm yamuk alanlarını toplamalısınız (Gerçek debi=0,839 kg/s).

## 5. RAPOR İÇİN İSTENENLER

- 1) Deneyin amacı, deneyin yapılışı hakkında bilgi verilecek.
- 2) Pitot tüpü ile ilgili kısa bilgi verilecek ve nerelerde kullanıldığı belirtilecek
- 3) Bernoulli prensibinde yapılan kabuller nelerdir? Bu kabullere göre termodinamiğin birinci yasasından Bernoulli denklemi türetiniz
- 4) Uçaklar nasıl havada kalır? (Bernoulli prensibi ile ilişkilendirilecek)
- 5) Test 1 için verilenler listelenecek ilgili birim dönüşümleri dikkate alınarak çözümler yapılacak ve tabloya işlenecek
- 6) Test 2 için verilenler listelenecek, Sınır tabaka ile ilgili bilgiler verilecek, hız (yatay eksen) – Yarıçap (düşey eksen) olacak şekilde hız profili çizilecek
- 7) Sonuçlar tablolara işlenip yorumlanacak