



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MÜHENDİSLİKTE DENEYSEL METODLAR -I

Deney Yürütücü: Dr. Öğr. Üyesi Musa ÖZKAN
Deney Yardımcısı: Dr. Öğr. Üyesi Onur ERKAN

BERNOULLİ DENEYİ FÖYÜ

1. GENEL BİLGİLER

Bernoulli denklemi basınç, hız ve yükseklik arasındaki ilişkiyi temsil eden yaklaşık bir bağıntıdır ve sürtünme kuvvetlerinin ihmal edilebilir olduğu daimi, sıkıştırılmaz akış bölgelerinde geçerlidir. Bernoulli denklemi basitliğine rağmen akışkanlar mekaniğini uygulamaları arasında oldukça geniş yer tutar.

Bernoulli denklemi, ilk olarak İsviçreli matematikçi Daniel Bernoulli tarafından ifade edilmiş olmasına karşın matematiksel olarak bu denklemi ifade eden ilk kişi Leonhard Euler olmuştur.

Bernoulli denklemi, esas itibari ile mekanik enerjinin (kinetik, potansiyel ve akış enerjileri) korunumu olarak ele alınabilir ve *sıkıştırılabilirlik ve sürtünme etkilerinin ihmal edildiğinde, bir akışkan parçacığının bir akım çizgisi boyunca daimi akışı sırasında, kinetik, potansiyel ve akış enerjilerinin toplamının sabit kaldığını* ifade eder. Bu ifade, mekanik enerjinin ısı enerjisine ya da ısı enerjinin mekanik enerjisine dönüşümünü içermeyen sistemler için genel enerji korunumu ilkesinin eşdeğeridir. Bu nedenle, bu tür sistemler için Bernoulli denklemi aynı zamanda *Enerji Korunumu* olarak da ifade edilir.

Bernoulli denklemi, çok yönlülüğü, basitliği ve kullanım kolaylığı sebebiyle akışkanlar mekaniğinde en sık kullanılan denklemlerin başında gelmekle birlikte çoğu zaman da yanlış kullanılmaktadır. Bu yüzden, uygulamada Bernoulli denkleminin aşağıda belirtilen sınırlar dahilinde dikkate alınmalıdır.

Bernoulli Denkleminin Kullanımındaki Sınırlamalar

1. Daimi akış
2. Sürtünmesiz akış
3. Mil işinin olmaması
4. Sıkıştırılmaz akış
5. Isı geçişinin olmaması
6. Bir akım çizgisi boyunca akış

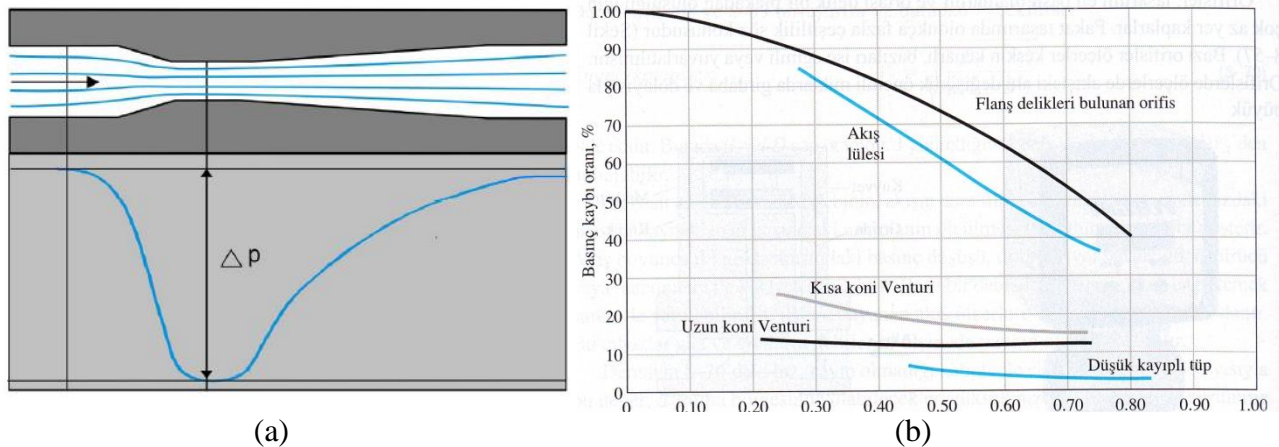
1.1. Deneyin Amacı

Yapılacak olan Bernoulli Deneyinin temel amacı, akışkanlar mekaniğinin en önemli denklemlerinden olan, Bernoulli (enerjinin korunumu) ve Süreklilik (kütlenin korunumu kanunu) denklemlerinin uygulamalarını laboratuvar ortamında gerçekleştirmenin yanında, uygulamada debi (hız) ölçümünde kullanılan Ventürimetre kullanımını ve önemini tanıtmaktır. Böylece statik basınç, dinamik basınç, toplam basınç, enerji dönüşümü ve enerji kayıpları gibi kavramların pratik olarak yapılacak ölçümlerle anlaşılması mümkün olacaktır.

1.2. Ventürimetre

Venturimetre, Amerikalı mühendis Clemans Herschel (1842-1930) tarafından icat edilmiştir. Herschel, konik akış kısımları üzerindeki öncü çalışmalarından dolayı İtalyan bilim insanı Giovanni Venturi'nin (1746-1822) adını bu cihaza vermiştir.

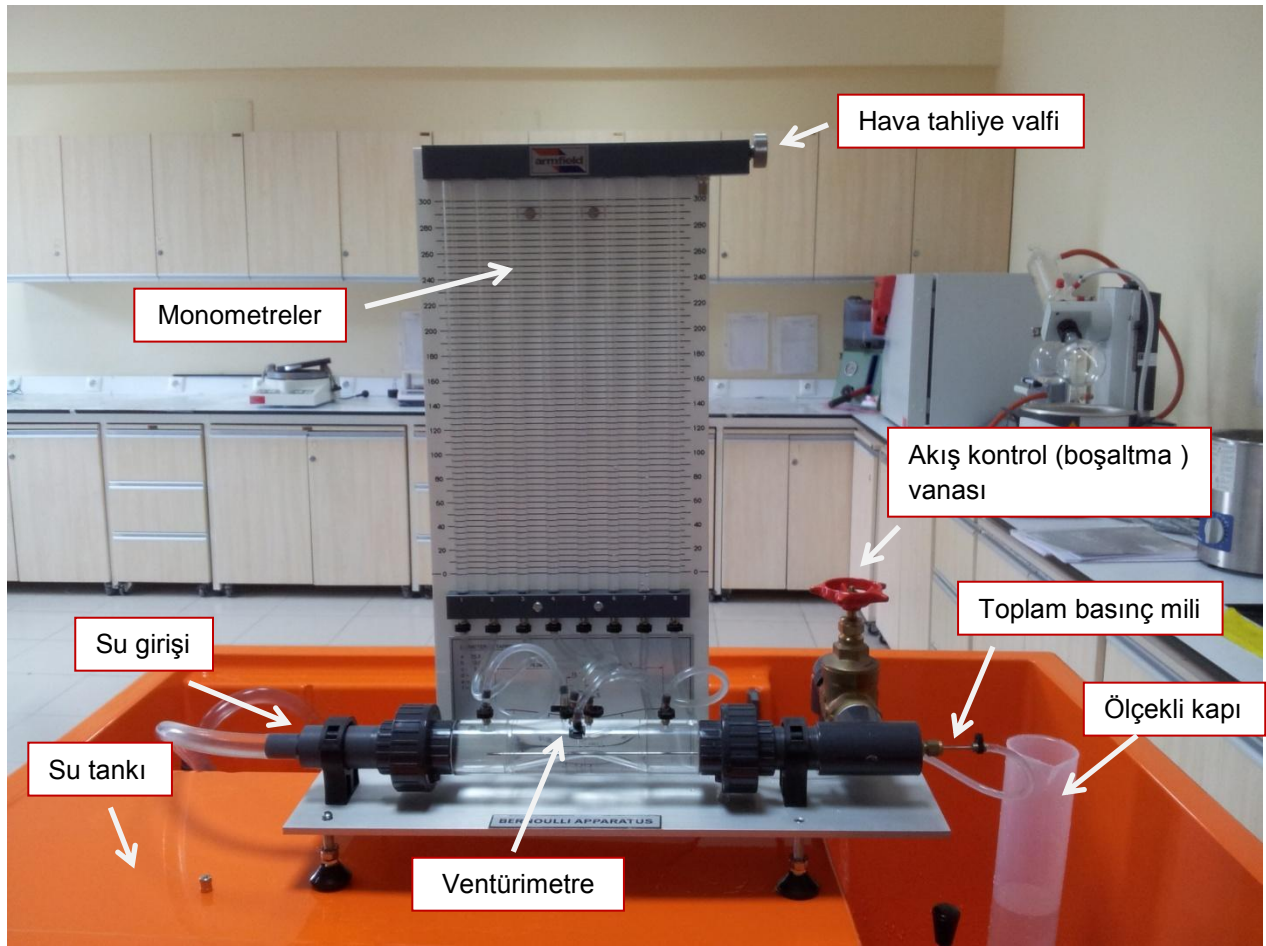
Venturimetre Şekil 1a' da görüldüğü gibi, daralan ve genişleyen akış bölgesine sahip boru ve kanallarda akış hızını ölçerek akışın hacimsel debisini belirleyen bir ölçüm cihazıdır. Venturimetreler engelli akış ölçerler grubu içerisindeki en hassas akış ölçerlerdir. Ventürimetredeki kesit daralmasının ve genişlemesinin yavaş olması akış ayrılması ve çevrinti oluşumunun önüne geçer ve sadece iç çeper yüzeylerinde sürtünme kayıpları etkili olur. Şekil 1b'de görüleceği üzere, venturimetreler çok düşük yük kayıplarına neden olur. Bu yüzden, özellikle, büyük basınç düşüşlerine izin verilmeyen uygulamalar için son derece uygundur. Ventürimetreler için sürtünmeden kaynaklanan yük kaybı yaklaşık %10 civarındadır.



Şekil 1 (a) Ventürimetre ve akış esnasındaki basınç dağılımı, (b) çeşitli engelli akış ölçerler için basınç (veya yük) kaybının oranı

2. DENEY DÜZENEĞİ

Su akımının gerçekleştirildiği akım ortamı ventürimetre (veya ventüri tüpü) olarak adlandırılan, daralan-genişleyen dairesel kesitli konik bir borudur. Ventürimetre pratikte debimetre (debi ölçer) olarak kullanıldığı gibi, jet pompalarında (enjektörlü pompalarda) ve herhangi bir akışkanın, ventüri tüpünden geçirilerek bir başka akışkanın emilmesinde (karbüratörlü motorlarda hava akımıyla benzinin emilmesi ve tarımda ilaç pompalarında vb.) kullanılır.



Şekil 2. Deney setinin genel görünüşü.

Şekil.2’de deney sisteminin önden görünüşü görülmektedir. Deney sistemine hidrolik su tanklarından su pompalaması yapılır. Su debisini ventürimetre girişindeki ve çıkışındaki vanalar yardımıyla ayarlamak mümkündür. Ventürimetrenin altı farklı kesitindeki statik basınç, ilgili

kesitlere bağlı Őeffaf statik tüpler yardımıyla mm s.s. cinsinden llebilmektedir. Ventürimetre içinde aksenal doğrultuda hareket ettirilebilen bir tp yardımıyla da ilgili kesitlerdeki toplam (statik + dinamik) basınçları ölçmek, daha Ventrimetrenin ilgili kesitindeki statik basınç ile fark alınarak, ilgili kesitteki dinamik basınçları hesaplamak ve akış debisini belirlemek mümkündür. Ayrıca debimetre için debi faktörünü (katsayısını) hesaplamak da mümkündür.

3. DENEYİN YAPILIŐI

Hidrolik su tankına bağlanan ventürimetre su ile beslenir. Toplam basınç milinin salmastrasını mil serbest hareket edebilecek Şekilde sıkılır. Su giriŐ ve boŐaltma vanalarını açınız. Toplam basınlerinin boŐaltma vanasını kapatınız. Pompayı çalıŐtırınız ve hidrolik tezgâhın giriŐ vanasını yavaş bir Şekilde açınız. Boru tipi basınçölçerler üzerindeki havalandırma vanalarını açınız ve boŐaltma vanasını bütün basınlerlerin su ile dolması için kapatınız. Hava tahliye valfini kullanarak sistemdeki havayı tahliye ediniz. GiriŐ ve çıkıŐ vanalarını basınlerlerdeki su yksekliliğini izlenebilir seviyelerde tutmak için eŐ zamanlı olarak ayarlayınız. Basınç lme tüpleri üzerinde hava alma muslukları açılarak varsa sistemin havası alınır. Bütün noktalardeki statik basınç ve mili hareket ettirerek toplam basınç değerlerini okuyunuz ve not ediniz. Hacimsel su debisi, boŐaltma vanası çıkıŐında bir ölçekli kap yardımıyla, suyun dolma süresini kronometre ile ölçerek ve dolan su hacmi (mL) ile dolma süresi (s) oranlanarak (mL/s) cinsinden ölçülür. En az dört farklı debi için zaman, hacim, statik ve toplam basınçları ölçümlerini yapılarak Tablo.1'deki ilgili yerleri doldurunuz.

Tablo 1. Bernoulli deneyi için ölçülen değerler tablosu

Toplanan Su hacmi	Toplama Süresi	Debi	Manometreler		Kesit Alanı	Statik Basınç	Hız	Dinamik Basınç	Toplam Basınç
			No	Konum (m)					
m^3	s	m^3/s			m^2	mSS	m/s	mSS	mSS
			h_1	0	490.9×10^{-6}				
			h_2	0.0603	151.7×10^{-6}				
			h_3	0.0687	109.4×10^{-6}				
			h_4	0.0732	89.9×10^{-6}				
			h_5	0.0811	78.5×10^{-6}				
			h_6	0.1415	490.9×10^{-6}				
			h_1	0	490.9×10^{-6}				
			h_2	0.0603	151.7×10^{-6}				
			h_3	0.0687	109.4×10^{-6}				
			h_4	0.0732	89.9×10^{-6}				
			h_5	0.0811	78.5×10^{-6}				
			h_6	0.1415	490.9×10^{-6}				
			h_1	0	490.9×10^{-6}				
			h_2	0.0603	151.7×10^{-6}				
			h_3	0.0687	109.4×10^{-6}				
			h_4	0.0732	89.9×10^{-6}				
			h_5	0.0811	78.5×10^{-6}				
			h_6	0.1415	490.9×10^{-6}				

4. TEORİ

Birim akışkan ağırlığı için bir akım çizgisi boyunca iki nokta arasında sıkıştırılmayan bir akış için kayıpsız (sürtünmesiz) halde Bernoulli denklemi,

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 = \text{sabit} \quad (1)$$

Burada P , V ve ρ sırasıyla akışkanın statik basıncını, hızını ve yoğunluğunu, g ise yerçekimi ivmesini göstermektedir. Statik basınçlar yerine;

$$h_1 = \frac{P_1}{\rho g} \quad (2a)$$

$$h_2 = \frac{P_2}{\rho g} \quad (2b)$$

olacak şekilde akışkan sütunu şeklinde basınçları yazarak ve sürtünme kayıplarını da dikkate alarak (1) denklemi;

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \xi_{1-2} \quad (3)$$

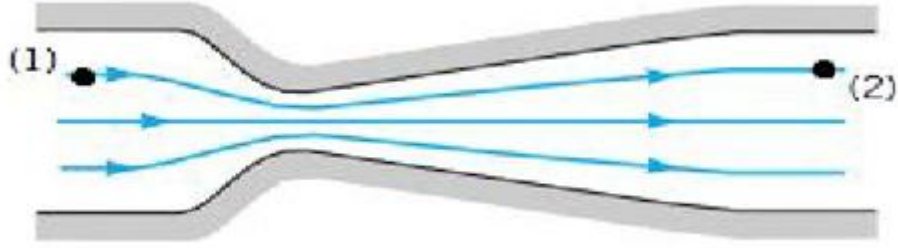
şeklinde yazılabilir. Burada ξ_{1-2} ; kesitleri arasındaki sürtünme kayıplarını göstermektedir. Süreklilik denklemi daimi su akımı için;

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \text{sabit} \quad (4)$$

$$\rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 \text{ ve } A_1 V_1 = A_2 V_2 \text{ veya } Q_1 = Q_2 = \text{sabit} \quad (5)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Hesaplanan teorik kesit ortalama akım hızları $V_{hes} = Q/A$ ifadesi yardımıyla hesaplanabilir. Deney düzeneğinde yer alan ventürimetre ait ölçüler Şekil 4 de verilmiştir.



Şekil 3. Ventürimetredeki akım çizgileri.

4.1. Dinamik Basıncın ve Akış Hızlarının Belirlenmesi

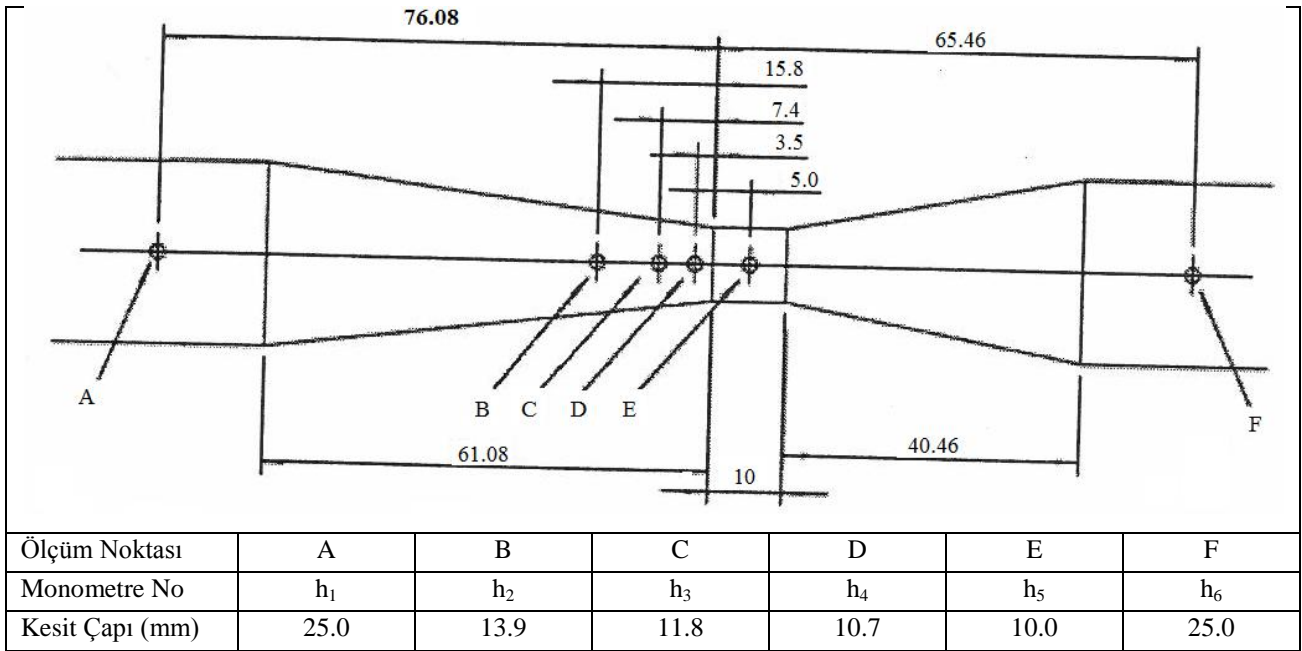
Toplam basınç statik basınç ve dinamik basıncın toplamı olduğundan,

$$h_{din} = h_{top} - h_{st} \quad (6)$$

ifadesiyle ilgili kesit için dinamik basınç bulunabilir. Daha sonra dinamik basıncın akış hızına bağlı ifadesi;

$$V_{ölç} = \sqrt{2gh_{din}} \quad (7)$$

kullanılarak, ilgili kesitteki ölçülen akış hızı bulunmuş olur.



Şekil 4. Ventürimetre ölçüleri

5. DENEY RAPORUNDA İSTENENLER

1. Tablo.1, gerekli ölçümler ve hesaplamalar sonucunda doldurulacaktır.
2. Ölçümlerinden faydalanarak, mmSS cinsinden ventürimetre eksenini boyunca statik, dinamik ve toplam basınç (yük veya toplam enerji) çizgilerini çizin. Grafik üzerinde sürtünme kayıplarını belirtiniz.
3. Ventürimetre eksenini boyunca ölçülen ve hesaplanan akış hızlarının değişimlerini çizin ve aradaki farkları % olarak hesaplayarak farklılığın nedenini açıklayınız.
4. Ventüri tüpü üzerinde akış yönünde bulunan 1. ve 3. ölçüm noktaları için Bernoulli denkleminin doğruluğunu aşağıda anlatıldığı gibi gösteriniz (akışın sürtünmesiz olduğu kabul edilmiştir).

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + z_1 = \frac{p_3}{\rho} + \frac{V_3^2}{2} + z_3 = \text{sabit}$$

Basınç değerlerini Ventürimetredeki basınçölçerleri kullanarak ölçünüz. 1. bölgedeki hızı hacimsel debi yardımıyla hesaplayınız ve 3. noktadaki hızı Bernoulli denklemini kullanarak bulunuz. Hata oranı hakkında yorum yapınız.

Not: Boru içinde “*h*” yüksekliğine sahip bir akışkanın sahip olduğu hidrostatik basınç,

$$P = \rho gh$$

ifadesiyle bulunur. Burada; *P* : Akışkan hidrostatik basıncını (Pa), *ρ* : akışkanın yoğunluğunu (kg/m³) (*ρ_{su}* = 1000 kg/m³), *g* : yerçekimi ivmesini (= 9.81 m/s²) ve *h* ise suyun boru içindeki yüksekliğini (m) göstermektedir.

5. Ventüri tüpü üzerinde bulunan 1. ve 3. ölçüm noktaları için süreklilik denkleminin doğruluğunu gösteriniz.