



T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
BÖLÜMÜ

AKIŞKANLAR MEKANİĞİ LABORATUVARI

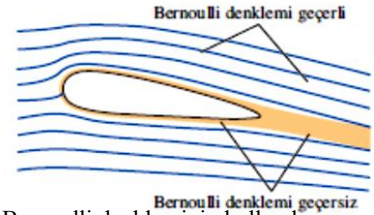
BERNOULLİ DENEYİ FÖYÜ

1. GENEL BİLGİLER

Bernoulli denklemi basınç, hız ve yükseklik arasındaki ilişkiyi temsil eden yaklaşık bir bağıntıdır ve net sürtünme kuvvetlerinin ihmal edilebilir olduğu daimi, sıkıştırılamaz akış bölgelerinde geçerlidir. Bernoulli denklemi, Newton'un II. yasasının (akışkanlar mekaniğinde doğrusal momentumun korunumu bağıntısı olarak ifade edilir) bir akım çizgisi boyunca hareket eden parçacığa uygulanması ile başlıca üzerine etkiyen basınç ve parçacığın ağırlığından dolayı oluşan kuvvetler dengesinin yazılması ile elde edilir.

Bernoulli denklemi sadece viskoz olmayan akış bölgelerine uygulanan bir yaklaşım olduğundan, bu denklemi uygularken dikkatli olunmalıdır. Fakat burada viskoz olmayan akışkandan kasıt *akışın kendisinin viskoz olmadığı veya sürtünmesiz olduğu bölgeler değil, sadece net viskoz ve sürtünme kuvvetlerinin akışkan parçacıkları üzerine etkiyen diğer kuvvetlere oranla ihmal edilebilir olduğu bölgelerdir.*

Genelde, katı cismin çeperlerine çok yakın bölgelerdeki (sınır tabakalardaki) ve cisimlerin hemen aşağıdaki (akışın art izlerindeki) sürtünme etkileri her zaman önemlidir. Bu yüzden, Bernoulli yaklaşımı genellikle, akış hareketinin basınç ve yerçekimi kuvvetlerinin birleşik etkileri ile yönlendirildiği, sınır tabakaları ve art izleri dışında kalan akış bölgelerinde kullanışlıdır. Bernoulli denklemi, sadece net viskoz kuvvetlerin atalet, yerçekimi veya basınç kuvvetlerine oranla ihmal edilebilecek derecede küçük olduğu viskoz olmayan akış bölgelerinde geçerli olan temsili bir denklemdir. Bu tür bölgeler, sınır tabaka ve art izlerinin dışında görülür. (şekil 1)



Şekil 1. Bernoulli denkleminin kullanılması

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, *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 enerjiye dönüşümünü içermeyen sistemler için genel enerjinin korunumu ilkesinin eşdeğeridir ve bu şekilde mekanik ve ısı enerjisi ayrı ayrı korunur. Bernoulli denklemi sürtünmenin ihmal edildiği daimi, sıkıştırılamaz akış esnasında mekanik enerjinin farklı formlarının birbirlerine dönüştüğünü, ancak toplamlarının her zaman sabit kaldığını ifade eder.

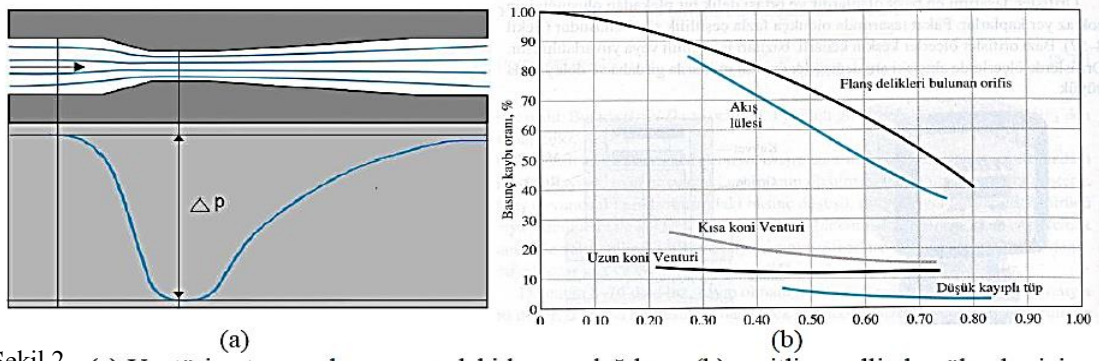
Bernoulli denklemi, çok yönlülüğü, basitliği ve kullanım kolaylığı sebebiyle akışkanlar mekaniğinde en sık kullanılan denklemlerin başında gelmekle birlikte çoğu zaman da yanlış kullanılmaktadır. Bu yüzden, uygulamada Bernoulli denkleminin kullanılması aşağıda belirtilen sınırlar dâhilinde dikkate alınmalıdır.

Bernoulli Denkleminin Kullanımındaki Sınırlamalar

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

1.1. Venturimetre

Venturimetre, Amerikalı mühendis Clemens Herschel (1842-1930) tarafından icat edilmiştir. Herschel, konik akış kısımları üzerindeki öncü çalışmalarından dolayı İtalyan bilim insanı Giovanni Battista Venturi'nin (1746-1822) adını bu cihaza vermiştir. Venturimetre Şekil 2a'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. Venturimetredeki kesit daralmasının ve genişlemesinin yavaş olması akış ayrılması ve çevrinti oluşumunun önüne geçer ve sadece iç çeper yüzeylerinde sürtünme kayıpları etkili olur. Şekil 2b'de görüleceği üzere, venturimetreler çok düşük yük kayıplarına neden olur. Bu yüzden, özellikle, büyük basınç düşüşlerine izin verilmeyen uygulamalar için son derece uygundur. Venturimetreler için sürtünmeden kaynaklanan yük kaybı yaklaşık %10 civarındadır.



Şekil 2 (a) Ventürimetre ve akış esnasındaki basınç dağılımı, (b) çeşitli engelli akış ölçerler için basınç (veya yük) kaybının oranı

2. DENEYİN AMACI

Yapılacak olan Bernoulli deneyinin temel amacı, akışkanlar mekaniğinin en önemli denklemlerinden olan, Bernoulli (enerjinin korunumu) ve Süreklilik (kütle 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.

3. 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 (mmSS: milimetre su sütunu) cinsinden basınçları yazarak ve sürtünme kayıplarını da dikkate alarak (1) denklemi;

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \sum H_{f1-2} \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $\sum H_{f1-2}$ 1 ve 2 kesitleri arasındaki sürtünme kayıplarını göstermektedir.

Süreklilik denklemi daimi su akımı için;

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

$$\rho A_1 U_1 = \rho A_2 U_2 \text{ ve } A_1 U_1 = A_2 U_2 \text{ veya } \dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \text{sabit} \text{ şeklinde ifade edilebilir.} \quad (5)$$

3. 1. Statik, Dinamik ve Durma Basınçları

Bernoulli denklemi, bir akışkan parçacığının bir akım çizgisi boyunca daimi akışı esnasında akış, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamının sabit kaldığını ifade eder. Bu nedenle, akış esnasında akışkanın kinetik ve potansiyel enerjileri akış enerjisine dönüşerek (ya da tam tersi) basınç değişimine neden olabilir. Bu olay Bernoulli denklemindeki her bir terim yoğunluk (ρ) ile çarpılarak daha görünür hale getirilebilir:

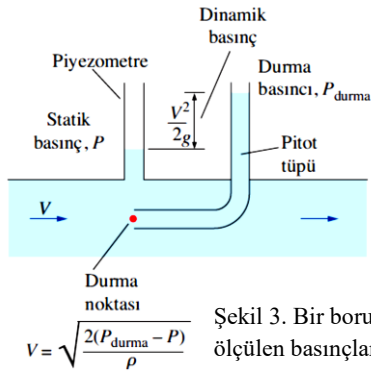
$$P + \rho \frac{V^2}{2} + \rho g z = \text{sabit (bir akım çizgisi boyunca)} \quad (6)$$

Yukarıdaki denklemde bulunan her bir terim basınç biriminde (Pa) olup farklı basınç türlerini ifade etmektedir.

- P : *statik basınç*, akışkanın gerçek termodinamik basıncın ifade eder ve termodinamik ve özellik tablolarından kullanılan basınçla aynıdır. Dinamik etkileri içermez.
- $\rho V^2/2$: *dinamik basınç*, hareket halindeki bir akışkanın izentropik olarak durmaya zorlandığında akışkanda meydana gelen basınç artışını ifade eder.
- $\rho g z$: *hidrostatik basınç*, değeri, seçilen referans seviyesine bağlı olduğundan tam anlamıyla belirli bir basıncı ifade etmez, yüksekliğin yani akışkan ağırlığının basınç üzerindeki etkilerini hesaba katar.

Statik, dinamik ve hidrostatik basınçların toplamı **toplam basınç** olarak adlandırılır. Statik ve dinamik basınçların toplamı **durma basıncı** olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$P_{durma} = P + \rho \frac{V^2}{2} \quad (\text{Pa}) \quad (7)$$



Durma basıncı, akış içerisindeki bir noktada akışkanı izentropik olarak durmaya zorlayan basıncı ifade eder. Statik, dinamik ve durma basınçları Şekil 3' de gösterilmektedir.

Belirli bir noktadaki statik ve durma basınçları ölçüldüğünde o noktadaki akışkan hızı aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir.

$$V = \sqrt{\frac{2(P_{durma} - P)}{\rho}} \quad (8)$$

3.2. Dinamik Basıncın ve Akış Hızlarının Belirlenmesi

Deney düzeneğinde bulunan mil yardımıyla, venturimetre üzerinden ölçüm alınan noktanın toplam basınç ifadesi okunur. Toplam basınç statik ve dinamik basınçların toplamı olduğundan,

$$h_{din} = h_{top} - h_{st} \quad (9)$$

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

$$V_{ölç} = \sqrt{2gh_{din}} \quad (10)$$

kullanılarak, ilgili kesitteki ölçülen akış hızı bulunmuş olur.

4. DENEY DÜZENEGİ

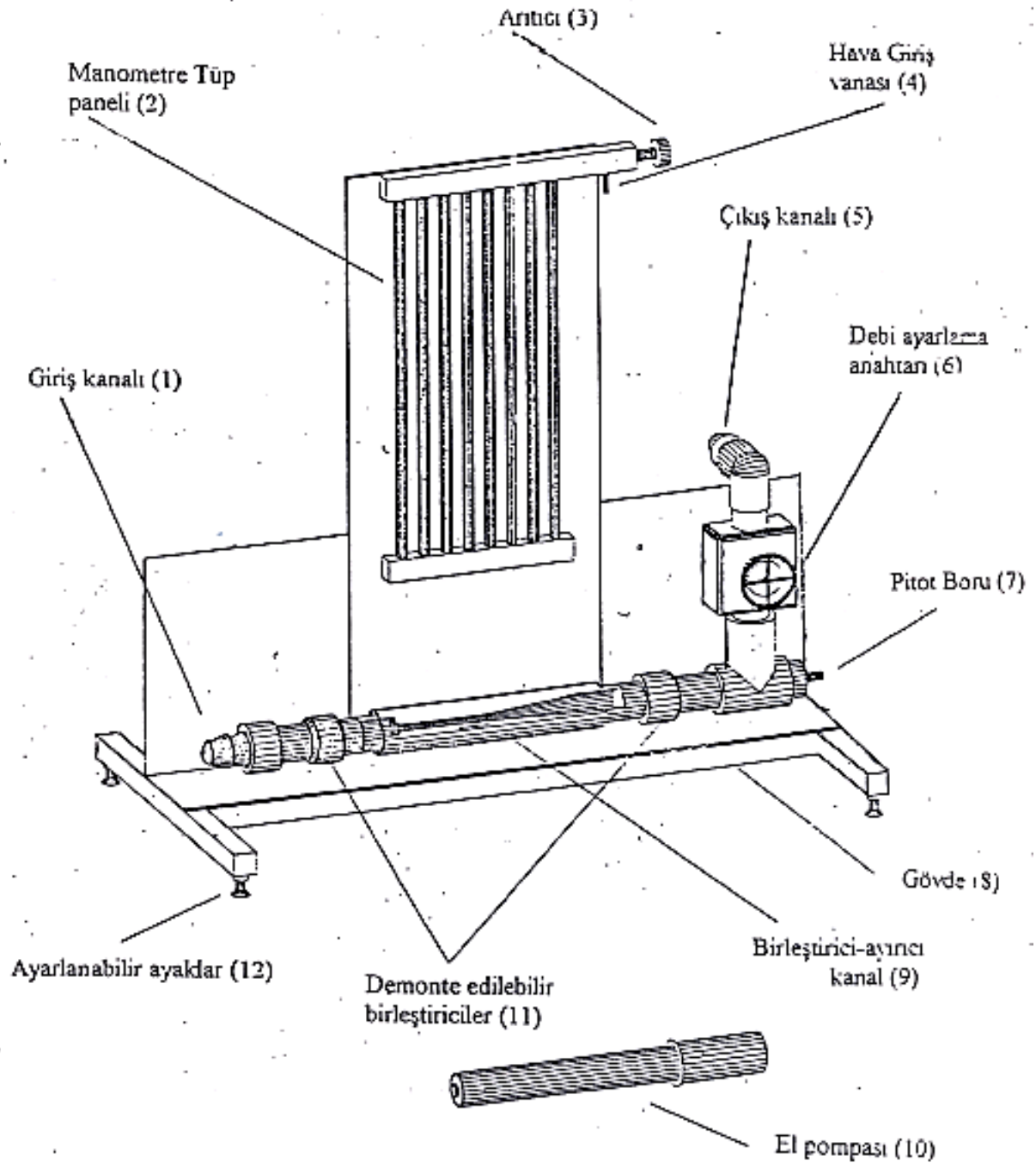
Su akımının gerçekleştirildiği akım ortamı venturimetre (veya venturi tüpü) olarak adlandırılan, daralan-genişleyen dairesel kesitli konik bir borudur. Venturimetre pratikte debimetre (debi ölçer) olarak kullanıldığı gibi, jet pompalarında (enjektörlü pompalarda) ve herhangi bir akışkanın, venturi tüpünden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

Şekil. 4'de deney düzeneğinin ön görünüşü verilmiştir. Deney düzeneğine hidrolik su tankından su pompası ile su gönderilir. Su debisi venturimetre girişindeki ve çıkışındaki vanalar yardımıyla ayarlanır. Venturimetrenin sekiz farklı kesitindeki statik basınç, değerleri bu kesitlere bağlı olan piyezometreler (şeffaf statik tüpler) yardımıyla mmSS (milimetre su sütünü) cinsinden ölçülebilmektedir. Venturimetre içinde eksenel doğrultuda hareket ettirilebilen bir tüp yardımıyla da ilgili kesitlerdeki toplam (statik + dinamik) basınçları ölçmek mümkündür. Ayrıca venturimetrenin ilgili kesitindeki statik basınç toplam basınçtan çıkarılarak, ilgili kesitteki dinamik basınçları hesaplamak ve akış debisini belirlemek mümkündür. Ayrıca debimetre için debi faktörünü (katsayısını) hesaplamak da mümkündür.

5. DENEYİN YAPILIŞI

Hidrolik su tankı çıkışına plastik boru ile bağlanan venturimetre pompa yardımıyla su ile beslenir. Toplam basınç milinin salmastrası mil serbest hareket edebilecek şekilde sıkılır. Su giriş ve boşaltma vanaları açılır. Pompa çalıştırılır ve hidrolik tezgâhın giriş vanası yavaş bir şekilde açılır. Boru tipi basınçölçerler üzerindeki havalandırma vanaları açılır ve boşaltma vanası bütün basınçölçerlerin su ile dolması için kapatılır. Hava tahliye

valfi kullanılarak sistemdeki hava tahliye edilir. Giriş ve çıkış vanaları basınçölçerlerdeki su yüksekliğini izlenebilir seviyelerde tutmak için eş zamanlı olarak ayarlanır. Basınç ölçme tüpleri üzerinde hava alma muslukları açılarak varsa sistemin havası alınır. Bütün noktalardaki statik basınç ve mili hareket ettirerek toplam basınç değerlerini okunur ve not edilir. Hacimsel su debisi, boşaltma vanası çıkışında bir ölçekli kap yardımıyla, suyun dolma süresi süreölçer ile ölçülerek hesaplanır. Ölçekli kaba dolan su hacmi (mililitre) ile dolma süresi (saniye) oranlanarak (mL/s) cinsinden hacimsel debi ölçülmüş olur. Farklı su debilerinde, istenilen sayıda deney tekrarlanır ve değerler not edilir. Elde edilen değerler kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılır.



Alan $S_0 = 490,87 \text{ mm}^2$	Alan $S_4 = 121,73 \text{ mm}^2$
Alan $S_1 = 78,54 \text{ mm}^2$	Alan $S_5 = 174,33 \text{ mm}^2$
Alan $S_2 = 88,41 \text{ mm}^2$	Alan $S_6 = 490,87 \text{ mm}^2$
Alan $S_3 = 98,87 \text{ mm}^2$	Alan $S_7 = 490,87 \text{ mm}^2$

Şekil 4. Deney düzeneği

Konum	Kesit alanı (m^2)	Kesit çapı (m)	Debi (ml/s)	Hız (m/s)	Statik basınç ($mm\ SS$)	Dinamik basınç ($mm\ SS$)	Toplam basınç ($mm\ SS$)
0							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							

6. DENEY RAPORUNDA İSTENENLER

1. Deneyin amacını ve yapılışını kısaca tarif ediniz.
2. Deneyde ölçülen tüm değerleri tablo halinde gösteriniz.
3. Her bir ölçüm noktasındaki statik basıncı P_a cinsinden bulunuz.
4. Ölçüm yapılan her bir noktadaki akışkan hızını pitot tüpü ve süreklilik denklemi teoremlerini kullanarak bulunuz.
5. Her bir ölçüm noktasındaki dinamik basıncı P_a cinsinden bulunuz.
6. Her bir ölçüm noktasındaki toplam basıncı P_a cinsinden bulunuz.
7. Elde edilen sonuçları dikkate alarak her bir noktadaki basınç yükü ($P/\rho g$) ve hız yükü ($(V^2/2g)$ ve $(U^2/2g)$) ifadelerini hesaplayıp konuma bağlı olarak grafik şeklinde gösteriniz ve elde edilen grafiği yorumlayınız.
8. Deneyde ölçülen ve teorik olarak yapılan hesaplamalarda meydana gelebilecek farklılıkları yorumlayınız.