

1. AKIŞKANLARIN TEMEL ÖZELLİKLERİ

1.8. Ses Hızı ve Mach Sayısı

Akışkanlardaki düzensizliklerin yayılma yada sinyal iletim hızına ses hızı denir. Bir ortamda hareket eden sonsuz küçük bir basınç dalgasıdır. Ses hızı basınçtaki ve özgül kütledeki değişimle ifade edilmektedir (Giles 1980).

$$C = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}}$$

Burada; C: Ses hızı (m/s), dP: Basınçtaki değişim (Pa), dρ : Özgül kütledeki değişim (kg/m³), E_v: Elastiklik modülü (Pa), ρ: Özgül kütle (kg/m³).

İzoentropik (ısı alışverişi yok) koşul göz önüne alındığında ideal gaz akışkanlarda ses hızı yalnızca sıcaklığın bir fonksiyonudur ve aşağıdaki şekilde hesaplanır (Streeter ve Wylie 1983).

$$C = \sqrt{\frac{k.P}{\rho}} = \sqrt{k.R.T}$$
 Burada T sıcaklık olup birimi K'dir. İzotermal

koşul için ses hızı $C = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$ ile hesaplanır.

Normal akış hızının ses hızına oranına Mach (mek ya da maak) sayısı denir ve aşağıdaki gibi ifade edilir (Shemmeri 2012).

$$Ma = \frac{V}{C} = V \sqrt{\frac{\rho}{E_v}}$$

Mach sayısı 1'e eşit olduğunda ses hızından ya da sonik, 1'den küçük olduğunda (Ma<1) subsonik hızdan, 1'den büyük olduğunda (Ma>1) süpersonik hızdan ve 1'den çok büyük olduğunda hipersonik hızdan söz edilir. Havadaki sesin yayılma hızı deniz seviyesinde ve oda sıcaklığında 346 m/s'dir. Sıvılar sıkıştırılmaz kabul edilir. Gazlar ise sıkıştırılabilen akışkanlardır. Ancak hesaplamalarda kolaylık sağlamak için gazlar, $Ma < 0.3$ koşulunda ya da özgül kütle farkının %5 in altında kaldığı durumlarda sıkıştırılmaz kabul edilir. Hava hızı pratik olarak 100 m/s' nin altında ise sıkıştırılmaz kabul edilebilir (Çengel ve Cimbala 2008, McDonough 2009).

1.9. Buhar Basıncı

Atmosferle ortak yüzeyi (serbest sıvı yüzeyi) bulunan tüm sıvılarda yüzeyden ayrılan moleküllerin atmosfere geçmesi olayına

buharlaşma denir. Buharlaşma sıvının sıcaklığına bağlıdır. Ancak sıvının sıcaklığı ne olursa olsun her sıcaklıkta buharlaşma olacaktır. Tüm sıvıların sıvı halden gaz haline geçme özelliği bulunmaktadır. Her sıcaklık derecesinde sıvı yüzeyindeki sıvı moleküllerinin bir kısmı sürekli atmosfere geçerler. Bu Şekilde atmosfere geçen moleküller atmosfer basıncından ayrı olarak sıvı yüzeyine basınç uygularlar. Tamamen kapalı bir kap içerisinde bulunan sıvıda da buharlaşma meydana gelir. Sıvı yüzeyinden kopan moleküllerin artmasıyla sıvı yzerindeki basınç da artar. Ancak kapalı kap olması nedeniyle sıvıdan ayrılan moleküllerin bir kısmı tekrar sıvıya döner. Sonunda denge durumuna ulaşılır. Yani sıvıdan ayrılanla sıvıya geri dönenler eşitlenir. Bu durumdaki basınç *doymuş buhar basıncı* ya da *buharlaşma basıncı* denir. Buharlaşma basıncı sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık arttıkça sıvı moleküllerinin kinetik enerjisi dolayısıyla hareketliliği artacağından buharlaşma basıncı da artar.

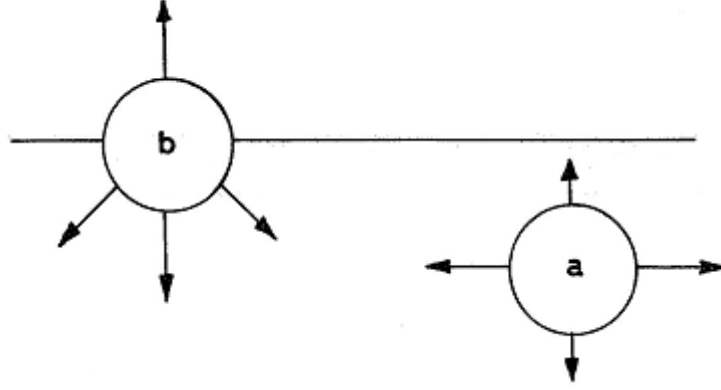
Belirli bir sıcaklıkta, sıvı yzerindeki basınç doymuş buhar basıncının altına düşerse *kaynama* denilen çabuk buharlaşma olayı başlar. Buna göre dış basınç belirli bir sıcaklık derecesindeki doymuş buhar basıncına eşit veya daha küçük olursa sıvı bu sıcaklık derecesinde kaynar. Bundan da anlaşılacağı gibi sıvıların kaynama noktası birincil olarak "basına" bağlıdır. Örneğin atmosferle temas halinde bulunan suyun yzerindeki basınç (mutlak) 98100 N/m^2 'dir. $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki suyun doymuş buhar basıncı da 98100 N/m^2 olduğundan su $100 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık derecesinde kaynamaya başlar (Not: Standart atmosfer= atm= 101330 Pa = $10,33 \text{ mSS}$, teknik ya da metrik atmosfer= at= 98100 N/m^2 = 10 mSS alınacaktır). Öte yandan $80 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta atmosferle temas halinde bulunan su yzerindeki basınç normal koşullarda yine 98100 N/m^2 'dir. Ancak $80 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta suyun doymuş buhar basıncı 47340 N/m^2 olduğundan kaynama görülmez. Bu sıcaklıkta kaynamanın oluşabilmesi için su yzerindeki basıncın 47340 Pa ya da altına düşmesi gerekir. Bu nedenle doymuş buhar basıncına aynı zamanda *kaynama basıncı* da denir.

Kapalı boru sistemlerinde diğer bir deyimle basınçlı akımlarda sıvının herhangi bir noktasında veya bölgesindeki basınç, sıvının o andaki sıcaklık derecesindeki buharlaşma basıncının altına düşerse bu nokta veya bölgede buharlaşma başlar. Bu olay bütün boru Őebekelerinde ve su çıkartma makinalarında oldukça önemlidir. Bunun sonucu *kavitasyon* meydana gelmektedir. Bu nedenle boru akımlarında sıvı basıncının buharlaşma basıncının altına düşmesini önlemek gerekir.

1.10. Yüzey Gerilmesi

Hareketsiz durgun halde bulunan sıvıların atmosferle temasta bulunan serbest sıvı yüzeyleri ya da birbirine karışmayan iki sıvının dokunma yüzeyleri sanki ince bir zar ile kaplanmış gibidir. Bu zarı delmek, yarmak için bir kuvvet harcamak gerekir. Harcanan kuvvet sıvının cinsine ve özelliğine bağlıdır. Sıvıların yüzeyinde bulunan bu zarın varlığını deneyle kanıtlamak olanaklıdır. Örneğin ince bir kağıt yzerine toplu iğne konursa, zamanla kağıtın batmasına rağmen iğnenin batmadan sıvı yüzeyinde kaldığı görülecektir. Küçük bir civa damlası düzgün bir yzeze

konduğunda küre biçimini alacaktır. Çünkü yüzeydeki kohezif (iç) kuvvetler moleküllerin tamamının kompakt biçim almasını sağlayacaktır. Yine su damlası mumlu yüzeye düştüğünde aynı nedenle küresel yapıya dönüşecektir. Bunu biraz daha açalım ve Şekil 1.6'deki a ve b moleküllerini



Şekil 1.6. Sıvı içerisinde (a) ve havayla temasta (b) bulunan moleküle etkili kuvvetler

ele alalım. A molekülü her yönden diğer sıvı molekülleri tarafından çekildiğinden dengededir. Sıvının serbest yüzeyinde bulunan b molekülü ise yanlarındaki sıvı molekülleri tarafından daha çok, üst kısmında bulunan hava molekülleri tarafından daha az bir kuvvetle çekildiğinden bu moleküle etki eden bileşke kuvvet aşağıya doğrudur. Bu nedenle sıvının serbest yüzeyi üzerindeki moleküller, sıvıyı aşağıya doğru bastırıyor gibi bir durum meydana getirirler. Bir sıvının serbest yüzeyini gergin bir zar haline getiren neden budur. Bir başka ifadeyle maddenin iç kısmındaki bir atom, komşu atomlar tarafından her yönden eşit bir kuvvetle çekilir. Böylece iç kısımdaki bir atoma etki eden tüm kuvvetler dengede olur ve atomlar arası mesafe sabit kalır. Ancak bu durum maddenin yüzeyinde değişir. Yüzeydeki bir atoma içerideki atomlar tarafından uygulanan çekme kuvveti, yüzey üzerindeki gaz ortamının atomları tarafından dengelenemez. Bunun sonucunda yüzeydeki atomlarla içerideki komşu atomlar arasındaki mesafe azalır ve dengelenmemiş kuvvetlerden doğan bir enerji fazlalığı ortaya çıkar. Bu olaya *yüzey gerilmesi* denir. Bu gerilme dengelenmemiş kuvvetlerin bileşkesine eşittir. Sıvı yüzeyindeki atomların, iç kısımlardaki atomlar tarafından büyük bir kuvvetle çekilmesi sonucu sıvı yüzeyi adeta bir zar gibi gerilir.

Sıvıların kararlı halde olabilmesi için yüzey alanının minimum olması gerekir. Bütün maddeler minimum enerji seviyesinde bulunmak ister. Katılar ve sıvılar buldukları ilk fırsatta yüzey alanlarını küçülterek yüzey geriliminden doğan enerji fazlalığını minimuma indirmek isteyecektir. Bir katı cisimde asılı kalan veya bir damlalıktan aşağıya düşen su damlacığının şekli küreseldir. Zira, sıvının belirli bir hacmi için en küçük yüzey o sıvının küre şeklinde bir hacim doldurduğu zaman sahip olduğu yüzeydir. Diğer bir deyimle aynı hacimde en küçük yüzey küre biçiminde olan cisimde bulunur.

Ortak yüzeyin birim alanını meydana getirmek amacıyla yeterli sayıdaki molekülün sıvının içinden ortak yüzeye getirilmesi için yapılan işe *yüzey gerilimi* denir. Yüzey gerilimi σ (sigma) ile gösterilir. Yüzey gerilimi sıvıların bir özelliğidir, sıcaklığa ve sıvıların cinsine bağlıdır. Yüzey geriliminin boyutu MT^{-2} olup birimi SI sisteminde N/m, CGS sisteminde dyn/cm ve teknik ölçü sisteminde kp/m'dir. Yüzey gerilimi sıcaklık arttıkça azalmaktadır.

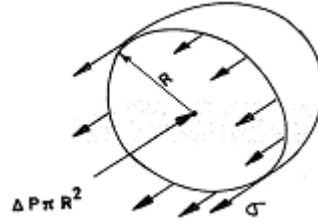
Bir akışkan damlasının içindeki yüzey gerilimi nedeniyle meydana gelen basınç değişimi; Şekil 1.7'deki serbest cisim diyagramı kullanılarak hesaplanabilir. Damla tam ortadan şekilde görüldüğü gibi kesilirse damlanın kenarında yüzey gerilimi nedeniyle meydana gelen basınç kuvveti $2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma$ olacaktır.

Dairesel alan πR^2 üzerine etkili iç (P_i) ve dış (P_e) basınçları arasındaki fark basınç (ΔP) tarafından yukarıda belirtilen yüzey gerilim kuvveti dengelenmek zorundadır. Yani;

$$2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma = \Delta P \cdot \pi \cdot R^2 \quad \text{ya da}$$

$$\Delta P = P_i - P_e = \frac{2\sigma}{R} \quad \text{olmalıdır (Edis 1972).}$$

Bu bağıntıdan da anlaşılacağı gibi damlanın içindeki basınç damlanın dışındaki basınçtan daha büyüktür. Bu bağıntıya *Laplace denklemi* denir. Herhangi bir sıvı için yüzey gerilimi sabittir. Buna göre Laplace denkleminde küçük yarıçaplı bir sabun köpüğünü şişirmek için gereken basınç farkının, büyük yarıçaplı sabun köpüğünü şişirmek için gereken basınç farkından daha büyük olduğu görülür. Yani küçük bir küreyi bir birim genişletmek için gereken basınç farkı daha büyüktür.



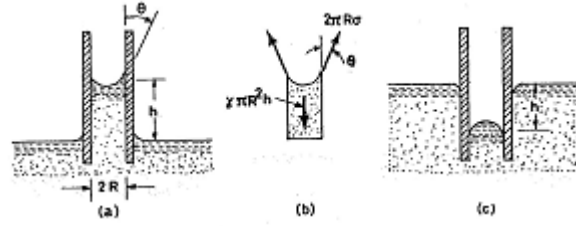
Şekil 1.7. Sıvı damlasının yarısına etkili olan kuvvetler (White 2012)

Sıvılarda yüzey gerilimini en iyi, sıvıya batırılmış ince "kılcal" borularda gözlemleyebiliriz. Çapı milimetre veya daha küçük olan ince borulara "Kılcal Borular" denmektedir. Bu tip boruların bir sıvı içerisine daldırılmasıyla sıvı bileşik kaplar kuralına uymayarak alçalmakta ya da yükselmektedir. Örneğin kılcal borunun cıva içerisine daldırılması durumunda boru içinde seviye alçalmakta, suya daldırılması halinde seviye yükselmektedir (Şekil 1.8). Buna göre kılcal borularda su gibi "ıslatan sıvılar" yükselmekte, cıva gibi "ıslatmayan sıvılar" ise alçalmaktadır.

Kılcal borularda sıvıların yükselmesi, sıvı moleküllerinin kendi aralarında kohezyon (iç çekim) denilen çekme kuvvetleriyle, sıvı ve cam gibi farklı moleküller arasındaki adhezyon (dış çekim) kuvvetlerinden ileri gelmektedir. İster katı, ister sıvı ve isterse gaz olsun bir maddenin atomları arasında birbirlerine karşı kuvvet etkileşimleri vardır. Aralarında uygun mesafe bulunan iki atom arasında çekme kuvvetleri etkilidir. Eğer iki atom çekme kuvvetinin etkisiyle birbirine çok yaklaşırsa bu defa birbirlerini itmeye başlarlar. İtme ve çekme kuvvetlerinin dengelendiği mesafede atomlar en kararlı konumlarda bulunur. Bir atomu kararlı konumdan ayırmak yani diğer atoma yaklaştırmak veya ondan uzaklaştırmak için enerjiye ihtiyaç vardır. Gerekli olan bu enerji katı cisimler için büyük, sıvılar için küçük, gazlar için ise ihmal edilebilecek kadar azdır. Bir maddenin atomları arasındaki bu çekme kuvvetlerine *kohezyon* denir. Atomlar arası kuvvetler yalnızca aynı madde içerisinde etki etmezler. Bir maddenin atomu ile diğer bir maddenin atomu arasında da çekme kuvvetleri mevcuttur ve buna da *adhezyon* denir.

Bir bardak içerisindeki suyu ele aldığımızda, su moleküllerinin kendi aralarındaki çekme kuvvetleri kohezyon, bardak molekülleri ile su molekülleri arasında çekim kuvvetleri ise adhezyondur. Kohezyon ve adhezyon kuvvetleri, bir sıvının, bulunduğu ortamdaki davranışını belirler. Sıvının kohezyonu bulunduğu kabın uyguladığı adhezyondan büyükse, sıvı, kabın çeperine yapışmaz yani kabı ıslatmaz. Bunun aksi durumda yani adhezyon kohezyondan büyük olduğunda sıvı kaba yapışır ve içinde yükselir. İslatan sıvılarda cam molekülleri ile sıvı molekülleri arasındaki adhezyon kuvveti, sıvı moleküllerinin kendi aralarındaki kohezyon kuvvetinden büyüktür. İslatmayan sıvılarda örneğin civada ise kohezyon kuvveti, adhezyon kuvvetinden daha büyük olduğundan cama yakın moleküller sıvı molekülleri tarafından daha büyük kuvvetle çekilerek kılcal boru içinde alçalırlar (Şekil 1.8.c). Eğer suyun kohezyonu civa gibi yüksek olsaydı, su vücudumuzu ıslatmazdı. Teknolojik uygulamalarda çeşitli katkı maddeleri ile sıvının veya katının özelliklerini değiştirerek kohezyon ve adhezyon kuvvetlerinin büyüklüğünü değiştirmemiz olanaklıdır. Suyun civa gibi davranarak ıslatmadığı maddeler de vardır. Böyle maddelere su sevmeyen *hidrofob* maddeler, su tarafından ıslatan maddelere ise suyu seven *hidrofil* maddeler adı verilir. Bu olaydan yararlanarak kontak lensler göz küresi üzerinde durmaktadır. Kontak lensler gözyaşını seven maddeden yapıldığından kornea tarafından çekilerek gözyaşlı film tabakasında yüzer durumda durur. Su örümceği, su üzerinde yüzey geriliminden dolayı oluşan zarın üzerinde yürür. Su üzerine yapışıp kalmaması için ayaklarının ucunda hidrofob balmumuna bulanmış kıllardan oluşan kadifemsi sık bir örgü bulunur.

Kılcal borularda yükselen ya da alçalın sıvının yüksekliği (h), yüzey gerilmesi (σ), boru yarıçapı (R), sıvının özgül ağırlığı (γ), sıvı ile boru arasındaki dokunma açısına (θ) bağlıdır. Kılcal boruda sıvıya etkiyen iki kuvvet vardır. Bunlardan birincisi sıvının kılcal boruda yükselmesini ya da alçalmasını sağlayan yüzey gerilim kuvveti olan $2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma \cdot \cos\theta$ ve ikincisi kılcal borudaki suyun ağırlığıdır ($\gamma \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h$). Yüzey gerilim kuvveti kılcal boru çevresi ($2 \cdot \pi \cdot R$), birim yüzey gerilimi (σ) ve $\cos\theta$ 'nın çarpımıdır. Bu iki kuvvet dengede olmak zorundadır.



Şekil 1.8. Kılcal borularda sıvının yükselmesi ve alçalması (a: ıslatan sıvılarda sıvının yükselişi, b: hesaplanan sütun yüksekliğinin serbest cisim diyagramı, c: ıslatmayan sıvılarda sıvının alçalışı) (Edis 1972).

Suyun ağırlığı= yüzey gerilim kuvveti

$$\gamma \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma \cdot \cos \theta$$

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\gamma \cdot R}$$

elde edilir (White 2012). Bu bağıntıda; $\gamma = \rho \cdot g$ olduğundan özgül kütleyle bağılı olarak tekrar düzenlenebilir.

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot R}$$

Pozitif değer yükselmeyi, negatif değer ise alçalmayı ifade etmektedir. Burada; θ açısı dokunma (temas) açısı olup sıvı ile borunun cinsine bağlıdır. Örneğin temiz cam boru ve su için $\theta = 0$ ve temiz cam boru ile cıva için $\theta = 130^\circ$, gazyağı-cam için 26° alınabilir. Yukarıdaki bağıntılarda;

- h : Sıvının yükselme veya alçalma miktarı (m),
- σ : Yüzey gerilimi (N/m),
- θ : Dokunma (temas) açısı ($^\circ$),
- R : Kılcal borunun yarıçapı (m),
- γ : Sıvının özgül ağırlığı (N/m³),
- ρ : Sıvının özgül kütlesi (kg/m³),
- g : Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s²)'dir.

Kılcal borularda suyun yükselmesi toprak-su ilişkileri bakımından oldukça önemlidir. Toprak içerisindeki yer altı su seviyesinden suyun bitki kök bölgesine yükselmesi, alt toprak katmanlarındaki nemin toprak yüzeyine yükselerek buharlaşması olayı da kılcallıkla ilgilidir. Yine ağaç dallarında suyun dolaşımı kılcallıkla açıklanabilir. Pülverizatörlerde damla oluşumunda suyun yüzey gerilimi azaldıkça sıvı daha küçük çaplı damlalara ayrılabilir ve bitki yüzeyine daha iyi yayılabilir. Bu şekilde değme çapı büyür, değme açısı küçülür ve kaplama oranı artar. Bu nedenlerle bazen ilaç içerisinde yüzey gerilimini azaltıcı (surfaktan) maddeler katılır.

1.11. Akışkanların Temel Özellikleri ile İlgili Uygulama Örnekleri

ÖRNEK-1.1: V: hızı, L: uzunluğu, W: ağırlığı ve μ dinamik viskoziteyi gösterdiğine göre aşağıdakilerin boyutlarını MLT sisteminde bulunuz.

a) $\frac{V.L.W}{\mu}$

b) $W.\mu.L$

c) $\frac{V.\mu}{L}$

d) $\frac{V.L^2.\mu}{W}$

Çözüm:

Önce verilenlerin boyutlarını yazalım.

$$V = L.T^{-1} \quad L = L, \quad W = M.L.T^{-2}, \quad \mu = M.L^{-1}.T^{-1}$$

$$a) \frac{V.L.W}{\mu} = \frac{(L.T^{-1}).(L).(M.L.T^{-2})}{M.L^{-1}.T^{-1}} = L^4.T^{-2}$$

$$b) W.\mu.L = (M.L.T^{-2}).(M.L^{-1}.T^{-1}) \quad L = M^2.T^{-3}.L$$

$$c) \frac{V.\mu}{L} = \frac{(L.T^{-1}).(M.L^{-1}.T^{-1})}{L} = M.L^{-1}.T^{-2}$$

$$d) \frac{V.L^2.\mu}{W} = \frac{(L.T^{-1}).(L^2).M.L^{-1}.T^{-1}}{M.L.T^{-2}} = L$$

ÖRNEK-1.2: Bir tankta 70 C°'de 8 kg hava sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan havanın manometreden okunan basıncı 400 kPa olduğuna göre tankın hacmini hesaplayınız. Havanın gaz sabiti R= 286,9 J/kg-K

Çözüm:

$$P = \rho.R.T$$

$$\rho = \frac{P}{R.T} = \frac{(400000 \text{ Pa} + 101330 \text{ Pa})}{\left(286,9 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}}\right).(273 + 70) \text{ K}} = 5,09 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{(8 \text{ kg})}{\left(5,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = 1,57 \text{ m}^3$$

ÖRNEK-1.3: Gaz sabiti $R= 518,5 \text{ J/kg.K}$ olan 40 C° 'deki metanın $8,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ mutlak basınç altındaki özgül kütleini ve özgül hacmini bulunuz?

Çözüm:

$$P = \rho \cdot R \cdot T$$

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} = \frac{(8,3 \cdot 10^5 \text{ Pa})}{\left(518,5 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}}\right) \cdot (273 + 40) \text{ K}}$$

$$\rho = 5,11 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Özgül hacim} = u = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{5,11} = 0,196 \text{ m}^3/\text{kg}$$

ÖRNEK-1.4: Bir boruda akan sıvının viskozitesi $\mu = 3,1 \cdot 10^{-4} \text{ Pas}$ ve yoğunluğu $0,68$ 'dir. Sıvının borudaki hız dağılımı $V = 1,125 - 200 \cdot (0,075 - y)^2$ ile verilmektedir. Bu eşitsizlikte $V(\text{m/s})$ hızı ve $y(\text{m})$ boru duvarından olan uzaklığı vermektedir. Boru çeperinden (duvarından) itibaren $0,025 \text{ m}$, $0,050 \text{ m}$ ve $0,075 \text{ m}$ uzaklıkların hangisinde kayma gerilmesi sıfırdır.

Çözüm:

$$V = 1,125 - 200 \cdot (0,075 - y)^2$$

$$\frac{dv}{dy} = 400 \cdot (0,075 - y) = 30 - 400 \cdot y$$

$y \text{ (m)}$	$V(\text{m/s})$	$dv/dy \text{ (s}^{-1}\text{)}$	$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy} \text{ (Pa)}$
0	0	30	$9,3 \cdot 10^{-3}$
0,025	0,625	20	$6,2 \cdot 10^{-3}$
0,050	1,000	10	$3,1 \cdot 10^{-3}$
0,075	1,125	0	0

$y = 0,075 \text{ m}$ uzaklıkta kayma gerilmesi sıfırdır. Hız değişiminin sıfır olduğu noktalarda kayma gerilmesi de sıfır olacaktır.

ÖRNEK-1.5: Sabit bir levhadan $h = 0,8 \text{ mm}$ uzakta, kare şeklinde ve kenar uzunluğu 100 mm olan hareketli bir levhayı $V = 0,5 \text{ m/s}$ hızla hareket

ettirebilmek için $F = 1$ N'luk bir kuvvet gerektiğine göre levhalar arasına konan yağlama yağının mutlak viskozitesini,

- SI birim sisteminde,
- Teknik ölçü sisteminde,
- CGS birim sisteminde bulunuz?

Çözüm:

Mutlak viskozite

$$\mu = \tau \cdot \frac{dy}{dv} = \frac{F \cdot h}{A \cdot V} = \frac{\tau \cdot h}{V}$$

ile hesaplanmaktadır.

Burada;

- A : Levhanın yüzey alanı (m^2),
- V : Hareketli levhanın hızı (m/s),
- F : Levhaya uygulanan kuvvet (N),
- h : Levhalar arası uzaklık (m),
- τ : Kayma gerilmesi (N/m^2),
- μ : Mutlak viskozitedir (Ns/m^2).

- SI birim sisteminde mutlak viskozite

$$\mu = \frac{F \cdot h}{A \cdot V} = \frac{(1 \text{ N}) \cdot (0,0008 \text{ m})}{(0,1 \text{ m})^2 \cdot (0,5 \text{ m/s})} = 0,16 \left(\frac{Ns}{m^2} = Pa \cdot s \right)$$

- Teknik ölçü sisteminde mutlak viskozitenin birimi $kp \cdot s/m^2$ 'dir.
Newton = N = 0,102 kp olduğundan $\mu = (0,16 \text{ Pas}) \cdot (0,102 \text{ kp}) = 0,01632 \frac{kp \cdot s}{m^2}$ dir.

- CGS sisteminde mutlak viskozite $dyn \cdot s/cm^2 = g/cm \cdot s =$ poise olarak ifade edilir.

$kp \cdot s/m^2 = 98,04 \text{ dyn} \cdot s/cm^2$ dir.

$\mu = (0,01632) \cdot (98,04) = 1,6$ poise saptanır. Veya

$\frac{Ns}{m^2} = Pa \cdot s = 10$ poise olduğundan $\mu = 0,16 \cdot 10 = 1,6$ poise elde edilir.

ÖRNEK-1.6: Çapı $d = 50$ mm olan bir mil, çapı $D = 50,2$ mm olan ve $L = 50$ mm genişliğinde bir yatak içerisinde aksenal doğrultuda $F = 50$ kp'luk bir kuvvetle $V = 0.01$ m/s'lik hızla hareket ettirilebiliyor.

- Mil ile yatak arasındaki yağlama yağının mutlak viskozitesini hesaplayınız.

- b) Aynı mili teğetsel doğrultuda aynı çevresel hızla döndürebilmek için döndürme momenti ne olmalıdır?

Çözüm:

- (a) Yatakla mil arasındaki h açıklığı;

$$h = \frac{D - d}{2} = \frac{(50,2\text{mm}) - (50\text{mm})}{2} = 0,1\text{ mm'dir.}$$

Milin yatak içerisinde kalan kısmının yüzey alanı;

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L = \pi \cdot d \cdot L = (\pi) \cdot (50\text{ mm}) \cdot (50\text{mm})$$

$$A = 7854\text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$

Mutlak viskozite;

$$\tau = \mu \cdot \frac{V}{h} \quad \mu = \frac{\tau \cdot h}{V} = \frac{F}{A} \cdot \frac{h}{V}$$

bağıntısı ile saptanır.

$$F = 50\text{ kp} = 490,5\text{ N}$$

$$h = 0,1\text{ mm} = 1 \cdot 10^{-4}\text{ m}$$

$$A = 7854\text{ mm}^2 = 7,854 \cdot 10^{-3}\text{ m}^2$$

$$V = 0,01\text{ m/s} \text{ olduğuna göre}$$

$$\mu = \frac{(490,5\text{N}) \cdot (1 \cdot 10^{-4}\text{ m})}{(7,854 \cdot 10^{-3}\text{ m}^2) \cdot (0,01\text{ m/s})} = 624,52\text{Pa} \cdot \text{s'dir.}$$

- b) Mili çevresel olarak aynı hızda döndürmek için gerekli olan moment;

$$M = \frac{F \cdot d}{2} \text{ dir.}$$

Buradaki F kuvveti teğetsel doğrultudaki kuvettir ve hesaplanması gerekir.

$$M = \frac{(490,5\text{ N}) \cdot (0,05\text{ m})}{2} = 12,26\text{ N} \cdot \text{m} \text{ hesaplanır.}$$

ÖRNEK-1.7: Havanın 20 °C deki mutlak viskozitesi $18 \cdot 10^{-6}$ (N.s/m²) ise 800 °C deki viskozitesini;

- a) ÜSS kanununa göre
b) Sutherland kanununa göre hesaplayınız.

Çözüm:

Gazların viskozitesi sıcaklıkla artmaktadır. Bu artışın bulunmasını sağlayan ÜSS kanunu ve Sutherland kanunu sırasıyla aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\text{ÜSS kanunu} = \mu = \mu_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^n$$

$$\text{Sutherland kanunu} = \mu = \mu_0 \cdot (T/T_0)^{3/2} \cdot (T_0 + S) / (T + S)$$

Burada;

μ_0 : T_0 (genellikle 273 K) mutlak sıcaklıkta bilinen viskozite,

n ve S: Sabitler olup hava için n= 0,67 ve S= 110 K alınabilir.

a) Önce 0 °C (273 K) deki viskoziteyi bulalım.

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^n \Rightarrow \mu_0 = \frac{\mu}{\left(\frac{T}{T_0} \right)^n} = \frac{(1,8 \cdot 10^{-5} \text{ N.s/m}^2)}{\left(\frac{293 \text{ K}}{273 \text{ K}} \right)^{0,67}}$$

$$\mu_0 = 1,72 \cdot 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$$

Bu değeri aynı formülde yerine koyarak 800 °C'de viskozite hesaplanır.

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^n = (1,72 \cdot 10^{-5} \text{ N.s/m}^2) \left(\frac{800 + 273 \text{ K}}{273 \text{ K}} \right)^{0,67}$$

$$\mu = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ N.s/m}^2 \text{ dir.}$$

b) Sutherland kanununa göre yine öncelikle 0 C'deki viskozite hesaplanmalıdır.

$$\mu_0 = \frac{\mu \cdot (T + S)}{(T/T_0)^{3/2} \cdot (T_0 + S)}$$

$$\mu_0 = \frac{(1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Pa.s}) \cdot (293 \text{ K} + 110 \text{ K})}{(293 \text{ K} / 273 \text{ K})^{3/2} \cdot (273 \text{ K} + 110 \text{ K})} = 1,703 \cdot 10^{-5} \text{ Pa.s}$$

0 C° de bulunan viskozite değeri 800 C° için kullanılır.

$$\mu = \mu_0 \cdot \frac{(T/T_0)^{3/2} \cdot (T_0 + S)}{(T + S)}$$

$$\mu = \frac{(1,703 \cdot 10^{-5} \text{ Pa.s}) \cdot (1073 \text{ K}/273 \text{ K})^{3/2} \cdot (273 \text{ K} + 110 \text{ K})}{(1073 \text{ K} + 110 \text{ K})} = 4,296 \cdot 10^{-5} \text{ Pas}$$

ÖRNEK-1.8: Yatay düzlem üzerinde akan yağsız sütün viskozitesi $\mu = 1,37$ cp olup hız dağılımı $V = y^2 - 0,30y$ olarak verilmiştir. Burada, V , m/s olarak hızı ve y ise m olarak düşey mesafeyi göstermektedir. Bu verilere göre $y = 0,20$ m'deki kayma gerilmesini hesaplayınız.

Çözüm:

Kayma gerilmesi bilindiği gibi

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy} \text{ ile hesaplanmaktadır.}$$

$$V = y^2 - 0,30y$$

$$\frac{dv}{dy} = 2 \cdot y - 0,30 \text{ (hızın } y \text{'ye göre kısmi türevini aldık.)}$$

$y = 0,20$ m için açısal deformasyon (hız eğimi)

$$\frac{dv}{dy} = 2 \cdot (0,20) - 0,30 = 0,1 \text{ rad/s bulunur.}$$

Buna göre kayma gerilmesi;

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy} = (1,37 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s})(0,1 \text{ rad/s})$$

$$\tau = 1,37 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}$$

ÖRNEK-1.9: Çapı $d = 1,2$ mm ve özgül kütlesi $\rho = 7,8$ g/cm³ olan bir çelik küre, özgül kütlesi $\rho = 1,5$ g/cm³ olan bir sıvı içinde $V = 5$ mm/s'lik bir limit (terminal) hızla düşmektedir. Kılcal viskozimetrede bulunan sıvının kinematik viskozitesini cst olarak hesaplayınız.

Çözüm:

Kılcal viskozimetrede limit hızla düşen bir sıvının dinamik (mutlak) viskozitesi CGS birim sisteminde aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mu = \frac{2}{9} \cdot \frac{g}{V} \cdot R^2 (\rho_{cis} - \rho_{sivi})$$

R : Kürenin yarıçapı (0,06 cm),
 ρ_{cis} : Kürenin özgül kütlesi (=7,8 g/cm³),
 ρ_{sivi} : Sıvının özgül kütlesi (=1,5 g/cm³),
V : Kürenin hızı (0,5 cm/s).

$$\mu = \frac{2}{9} \cdot \frac{(981 \text{ cm}^2/\text{s}) \cdot (0,06 \text{ cm})^2 \cdot (7,8 - 1,5) \text{ g/cm}^3}{(0,5 \text{ cm/s})}$$

$$\mu = 9,9 \text{ (g/cms= poise)}$$

kinematik viskozite;

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho_{sivi}} = \frac{(9,9 \text{ g/cm.s})}{(1,5 \text{ g/cm}^3)} = 6,6 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

$$\vartheta = \left(6,6 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right) \cdot \left(100 \frac{\text{cst}}{\frac{\text{cm}^2}{\text{s}}} \right) = 660 \text{ cst}$$

saptanır.

ÖRNEK-1.10: Döner viskozimetrede iç silindirin yarıçapı 100 mm olup iç silindirle dış silindir arasındaki açıklık 2,5 mm'dir. Sıvı olarak gliserin kullanılmakta olup gliserinin viskozitesi 0,407 Pas dir. İç silindirin 180 min⁻¹ hızla dönebilmesi için gerekli momenti ve gücü bulunuz. Dış silindir sabittir ve iki silindir arasındaki hız dağılımı doğrusaldır. İç silindirin uzunluğu 150 mm olup tamamı sıvı içerisindedir.

Çözüm:

$$M = \frac{2 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot h \cdot \mu \cdot \omega}{R - r} \quad \omega = \frac{2 \cdot \pi n}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 180}{60} = 6\pi \text{ rad/s}$$

$$M = \frac{2 \cdot \pi \cdot (0,1 \text{ m})^3 \cdot (0,15 \text{ m}) \cdot (0,407 \text{ Pa.s}) \cdot (6 \pi \text{ s}^{-1})}{(0,0025 \text{ m})} = 2,892 \text{ Nm}$$

$$\text{Güç} = N = \frac{M \cdot n}{9550} \text{ (kW)}$$

$$N = \frac{(2,892 \text{ Nm}) \cdot (180 \text{ min}^{-1})}{9550} = 0,0545 \text{ kW}$$

$$N = 54,5 \text{ W}$$

ÖRNEK-1.11: Kenar uzunlukları 15 cm olan bir küpün ağırlığı 500 N'dur. Bu küp eğimi 30° olan bir eğik düzlem üzerinde V= 0,5 m/s hızla kendi ağırlığıyla kaymaktadır. Eğik düzlem ile küp arasında dinamik viskozitesi

0,800 Pas olan bir yağ bulunmaktadır. Bu küp ile yüzey arasındaki hız dağılımı homojen ise yağın kalınlığını bulunuz?

Çözüm:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} = \mu \frac{V}{y}$$
$$y = \frac{\mu.V}{\tau} = \frac{\mu.V}{\frac{F}{A}} = \frac{\mu.V.A}{F}$$
$$y = \frac{\mu.V.A}{F}$$

$\mu = 0.800$ Pas

$V = 0.5$ m/s

$A =$ Eğik düzleme dokunan yüzey $= 0,15 \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m} = 0,0225 \text{ m}^2$

$F =$ Küpün hareket yönündeki ağırlık bileşenidir.

$F = F_x = 500 \text{ N} \cdot \sin 30 = 250 \text{ N}$

$$y = \frac{(0,800 \text{ Pa} \cdot \text{s}) \cdot (0,5 \text{ m/s}) \cdot (0,0225 \text{ m}^2)}{250 \text{ N}} = 0,000036 \text{ m} = 0,036 \text{ mm}$$

ÖRNEK-1.12: Silindirik bir kaba bağlı borunun girişindeki sıvıya $P_1 = 500\,000$ Pa'lık sabit bir basınç etki etmektedir. Bu borunun uzunluğu $L = 1$ m ve çapı $d = 2$ mm'dir. Borunun diğer ucunun basıncı $P_2 = 101\,325$ Pa olup atmosfere açıktır. Bu koşullarda bu borudan geçen sıvının hızı $V = 0,08$ m/s'dir. Sıvının mutlak viskozitesini saptayınız?

Çözüm:

Bu tip problemlerde uygulanacak bağıntı;

$$Q = \frac{\pi.R^4}{8.\mu.L} (P_1 - P_2) \text{ olmaktadır.}$$

Bu bağıntıda;

Q : Borudan akan sıvı verdisi (m^3/s)

R : Borunun yarıçapı $= \frac{d}{2} = 1 \text{ mm} (= 1 \cdot 10^{-3} \text{ m})$

μ : Sıvının mutlak viskozitesi (Pas)

P_1 : Birinci basınç (Pa) $= 500\,000$ Pa

P_2 : Atmosfer basıncı (Pa) $= 101\,325$ Pa

Debi, ince borunun kesit alanı ve bu borudan geçen sıvının hızından yararlanılarak bulunabilir.

$$Q = A.V = \frac{\pi.d^2}{4} . V = \frac{\pi.(2 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{4} . (0,08 \text{ m/s}) = 2,51 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\mu = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot Q \cdot L} \cdot (P_1 - P_2) = \frac{\pi \cdot (1 \cdot 10^{-3} \text{ m})^4 \cdot (500000 - 101325) \text{ Pa}}{8 \cdot (2,51 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}) \cdot 1 \text{ m}}$$

$$\mu = 0,624 \text{ Pas}$$

ÖRNEK-1.13: Suyun elastiklik modülünün $E_v = 2,2 \text{ GPa}$ olduğu koşulda hacminde % 0,5'lik bir azalma meydana getirebilmek için gerekli olan basınç değişimini bulunuz?

Çözüm:

$$V_0 = 100 \text{ cm}^3$$

$$V = 99,5 \text{ cm}^3$$

$$E_v = -\frac{dP}{\frac{dV}{V_0}}$$

$$dP = -E_v \cdot \frac{dV}{V_0} = -2,2 \cdot \text{GPa} \cdot \frac{(99,5 \text{ cm}^3 - 100 \text{ cm}^3)}{100 \text{ cm}^3} = 0,011 \text{ GPa}$$

$$= 11 \text{ MPa} = 11 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Alternatif çözüm;

$$\% 0,5'lik \text{ hacim azalması } \frac{V - V_0}{V_0} = \frac{0,5}{100} = 0,005$$

$$E_v = \frac{dP}{\frac{dV}{V_0}} = \frac{dP}{\frac{V - V_0}{V_0}} \quad dP = E_v \cdot 0,005$$

$$dP = 11 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

ÖRNEK-1.14: 0,4 MPa mutlak basıncındaki havanın izotermal elastiklik modülü nedir?

Çözüm:

İzotermal koşulda
 $E_v = P$ dir.

$$E_v = 0,4 \text{ Mpa}$$

ÖRNEK-1.15: Bir silindirde 50 C°'de $2,76 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ mutlak basınç altında $0,35 \text{ m}^3$ hava vardır. Hava $0,071 \text{ m}^3$ 'e kadar sıkıştırılıyor.

a) İzotermal koşullarda yeni basıncı ve elastiklik modülünü bulunuz.

- b) İzoentropik koşullarda son basıncı, sıcaklığı ve elastiklik modülünü bulunuz. $k= 1,4$ alınacaktır.

Çözüm:

- a) İzotermal koşul için;

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$(2,76 \cdot 10^5 \text{ Pa}) \cdot (0,35 \text{ m}^3) = P_2 \cdot (0,071 \text{ m}^3)$$

$$P_2 = 1\,360\,563,4 \text{ Pa}$$

$$E_v = P_2 = 1\,360\,563,4 \text{ Pa}$$

- b) İzoentropik koşullarda;

$$P_1V_1^k = P_2V_2^k$$

$$(2,76 \cdot 10^5 \text{ Pa}) \cdot (0,35 \text{ m}^3)^{1,4} = P_2 \cdot (0,071 \text{ m}^3)^{1,4}$$

$$P_2 = 2\,575\,387,93 \text{ Pa}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\left(\frac{k-1}{k} \right)}$$

$$\frac{T_2}{(273 + 50) \text{ K}} = \left[\frac{(2\,575\,387,93 \text{ Pa})}{(2,76 \cdot 10^5 \text{ Pa})} \right]^{\frac{1,4-1}{1,4} (=0,2857)}$$

$$T_2 = 611,38 \text{ K} = 338,38 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E_v = k \cdot P_2 = 1,4 \cdot 2\,575\,387,93 \text{ Pa} = 3\,605\,543,102 \text{ Pa}$$

ÖRNEK-1.16: Bir silindire sıkıştırılmış sıvının $1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ basınçtaki hacmi 2000 cm^3 ve $2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ basınçtaki hacmi ise 1990 cm^3 olarak verilmektedir.

- a) Sıvının elastiklik modülünü,
b) Sıvının özgül ağırlığı $10104,3 \text{ N/m}^3$ ise ses hızını hesaplayınız?
c) Aynı silindirde normal koşullardaki su olduğu kabul edilirse suyun ses hızının sıvının ses hızına oranı nedir?

Çözüm:

$$a) E_v = -\nabla_0 \frac{dP}{dV} = (-2000 \text{ cm}^3) \cdot \frac{(2 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^6) \text{ Pa}}{(1990 - 2000) \text{ cm}^3} = 2 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

$$b) \rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{10104,3 \text{ N/m}^3}{9,81 \text{ m/s}^2} = 1030 \text{ kg/m}^3$$

$$C = \left(\frac{E_v}{\rho} \right)^{1/2} = \left(\frac{2 \cdot 10^8 \text{ Pa}}{1030 \text{ kg/m}^3} \right)^{1/2} = 440,65 \text{ m/s}$$

c) Su için ses hızı (C_s)

$$C_s = \left(\frac{2 \cdot 10^8 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3} \right)^{1/2} = 447,2 \text{ m/s}$$

$$\frac{C_s}{C} = \frac{447,2 \text{ m/s}}{440,65 \text{ m/s}} = 1,0148$$

ÖRNEK-1.17: R=1 mm yarıçaplı cam borudaki 20 °C'deki su ve 15 °C'deki civa için yükselme miktarlarını bulunuz?

Çözüm:

20 C°'deki su için alınması gerekli sabitler,

$$\theta = 0^\circ, \sigma = 0,075 \text{ N/m}, \rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

15 °C'deki civa için alınması gerekli sabitler.

$$\theta = 130^\circ, \sigma = 0,487 \text{ N/m}, \rho = 13600 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{su} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \text{Cos} \theta}{R \cdot \rho \cdot g} = \frac{2 \cdot (0,075 \text{ N/m}) \cdot \text{Cos} 0^\circ}{(1 \cdot 10^{-3} \text{ m}) \cdot \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)} = 0,01529 \text{ m}$$

$$h_{su} = 15,29 \text{ mm}$$

$$h_{civa} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \text{Cos} \theta}{R \cdot \rho \cdot g} = \frac{2 \cdot (0,487 \text{ N/m}) \cdot \text{Cos} 130^\circ}{(1 \cdot 10^{-3} \text{ m}) \cdot \left(13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} = -4,693 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$h_{civa} = -4,693$ mm bulunur. Buradaki eksi (-) işareti civanın boru içerisinde alçaldığı anlamına gelmektedir.

ÖRNEK-1.18: Non-newtoniyen bir akışkan çapı 7,5 mm, uzunluğu 300 mm olan bir boruda 50 cm³/s debiyle akarken 700 Pa'lık bir basınç düşümü meydana getiriyor.

a) Laminer akımda Newtoniyen akışkanlarda kullanılan basınç düşümü formülünü kullanarak görünür viskoziteyi,

b) Aynı akışkan çapı yine 7,5 mm, uzunluğu 200 mm olan boruda 100 cm³/s debiyle akarken 800 Pa'lık basınç düşümü meydana getirirse akışkanın akım davranış ve koyuluk indeksini bulunuz.

c) 50 cm³/s ve 100 cm³/s debilerdeki duvar kayma gerilmelerini bulunuz.

Çözüm:

$$a) R = \frac{0,0075m}{2} = 0,00375m = 3,75mm \quad L=0,3m \quad \Delta P=700Pa$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4(50 \cdot 10^{-6})}{\pi(2 \cdot 0,00375)^2} = 1,1318 \frac{m}{s}$$

$$\mu_{ap1} = \frac{\Delta P R^2}{8LV} = \frac{700 \cdot 0,00375^2}{8 \cdot 0,3 \cdot 1,1318} = 0,003624 Pa \cdot s$$

$$b \text{ ve } c) V = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4(100 \cdot 10^{-6})}{\pi(2 \cdot 0,00375)^2} = 2,2635 \frac{m}{s}$$

$$\mu_{ap2} = \frac{\Delta P R^2}{8LV} = \frac{800 \cdot (0,00375)^2}{8 \cdot (0,2) \cdot (2,2635)} = 0,003106 Pa \cdot s$$

50 cm³/s için (1), 100 cm³/s için de (2) indisini kullanalım.

$$\frac{\mu_{ap1}}{\mu_{ap2}} = \frac{K(4\phi/R)^{n-1} V_1^{n-1}}{K(4\phi/R)^{n-1} V_2^{n-1}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1}$$

$\log \frac{\mu_{ap1}}{\mu_{ap2}} = \log \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1}$ buradan gerekli değerler yerine konursa $n=0,777$ bulunur.

$$\phi = 0,75 + \frac{0,25}{0,777} = 1,072 \text{ elde edilir.}$$

50 cm³/s için

$$\delta_w = \frac{4V_1\phi}{R} = \frac{4 \cdot 1,1318 \cdot 1,072}{0,00375} = 1294 \text{ s}^{-1}$$

$$K = \frac{\mu_{ap1}}{\delta^{n-1}} = \frac{0,003624}{1294^{0,777-1}} = 0,0179 \text{ Pa s}^n$$

$$\tau_w = K(\delta)^n = 0,0179 \cdot (1294)^{0,777} = 4,689 \text{ Pa}$$

100 cm³/s için

$$\delta_w = \frac{4V_2\phi}{R} = \frac{4 \cdot 2,2635 \cdot 1,072}{0,00375} = 2588,24 \text{ s}^{-1}$$

$$K = \frac{\mu_{ap2}}{\delta^{n-1}} = \frac{0,003106}{2588,24^{0,777-1}} = 0,0179 \text{ Pa s}^n$$

$$\tau_w = K(\delta)^n = 0,0179 \cdot (2588,24)^{0,777} = 8,03 \text{ Pa}$$

ÖRNEK-1.19: Kılcal viskozimetre, viskozitesi 10 santipoise olan bir akışkan için kullanılıyor ve akışkanın 1,5 min akması sağlanıyor. Aynı viskozimetre başka bir akışkan için kullanıldığında o akışkanın viskozimetredeki ölçüm süresi 2,5 min bulunuyor. Her iki akışkanın özgül kütleleri aynı ise ikinci akışkanın viskozitesini bulunuz.

Çözüm:

$$k_v = \frac{\mu_1}{\rho t} = \frac{10}{1,5 \rho}$$

$$\mu_2 = \rho \left[\frac{10}{1,5 \rho} \right] 2,5 = 16,67 \text{ santipoise}$$

