

Ege Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Tekstil Mühendisliği Bölümü

Akışkanlar Mekaniği Ders Notu

Ders03-Konu: **Akışkanların Özellikleri-Viskozitenin Önemi**

Prof.Dr.Hüseyin GÜNERHAN

<https://www.huseyingunerhan.com/>

Bu ders notu Dr.Hüseyin GÜNERHAN tarafından hazırlanmış ve her sayfası izinsiz kopyalamaya ve çoğaltmaya karşı notere tasdik ettirilmiştir. Ders notunun tüm hakları saklıdır. Ders notunun fotokopi ile çoğaltılıp-ciltletilmesi için yazarından yazılı olarak izin alınması zorunludur.

Bu ders notu, kitap değildir ve yazarın özgün fikirlerini içermektedir. Kaynaklardan alınan bilgiler için kaynak isimleri her bölümün "özet bilgiler" kısmında verilmiştir.

AKIŞKANLARIN ÖZELİKLERİ

Viskozitenin Önemi

Bir akışkanın **viskozitesi**, şekil değişimine karşı direncinin bir ölçüsüdür. Birim alan başına teğetsel kuvvete **kayma gerilmesi** [τ , (Pa)] denir. Kayma gerilmesi, Newton tipi akışkanlar ve plakalar arasındaki basit kayma akışı (bir-boyutlu akış) için aşağıda verildiği gibi ifade edilebilir:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

Bu eşitlikte yer alan μ akışkanın viskozite katsayısını veya **dinamik** (ya da mutlak) **viskozitesini** (Pa.s), u (m/s) akış yönündeki hız bileşenini ve y (m) akış yönüne dik olan yönü göstermektedir. du/dy ise hız değişimini vermektedir. Bir Newton tipi akışkanın şekil değiştirme hızı (deformasyon hızı) kayma gerilmesi ile doğru orantılıdır ve orantı sabiti viskozitedir. Couette akışında, du/dy ile verilen hız değişimi doğrusaldır. Dinamik viskozitenin yoğunluğa oranı **kinematik viskozite** [ν (m²/s)] olarak isimlendirilir [$\nu = \mu/\rho$].

Yoğunluk ve viskozite, akışkanların en temel özelliklerinden ikisidir.

Önemli Konular:

- Hidrodinamik sınır tabaka kavramı, Newton tipi akışkan ve viskozite
- Dinamik viskozite birimleri: [$\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}) \equiv \text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2 \equiv \text{Pa}\cdot\text{s}$], Kinematik viskozite birimi: [m^2/s]

Çalışma Soruları:

- 1.Viskozite ve Newton tipi akışkan ne demektir? Açıklayınız.
- 2.Bir duvarın üzerinde akan 20°C sıcaklıktaki suyun hız dağılımı $u = a(y/b)^{1/6}$ olarak verilmiştir. ($a = 10$ m/s ve $b = 2$ mm alınabilir). y , duvardan olan uzaklığı göstermektedir. Suyun $y = 1$ mm uzaklığındaki kayma gerilmesini [Pa] olarak hesaplayınız.

Kaynaklar:

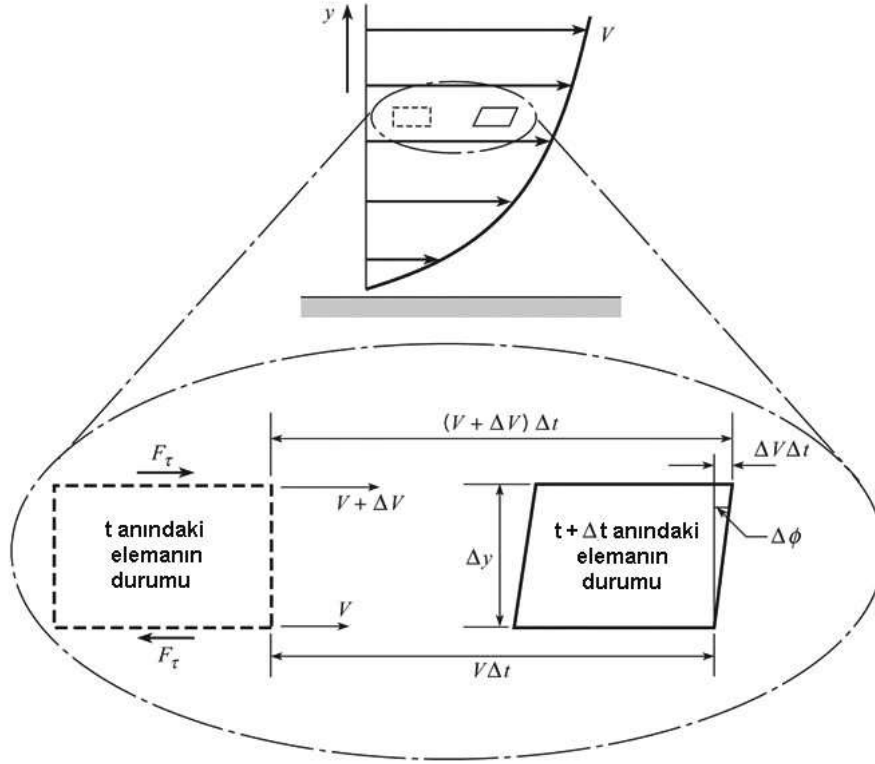
- 1.Cengel YA, Cimbala JM, "Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications", Second Edition (SI), McGraw-Hill, 2010.
- 2.Fox RW, Pritchard PJ, McDonald AT, "Introduction to Fluid Mechanics", 7th Edition (SI), Wiley, 2010.
- 3.Peker S, Helvacı ŞŞ, "Akışkanlar Mekaniği", Literatür, 2003, İstanbul.

BİLGİ: VİSKOZİTE

Viskozite, Kayma Gerilmesi ve Kayma Kuvveti

Temas halindeki iki katı cisim birbirlerine göre bağıl hareket yaptıklarında temas yüzeyinde harekete ters yönde bir sürtünme kuvveti meydana gelir. Benzer durum, bir akışkanın bir katıya veya iki akışkanın birbirine göre hareketlerinde de söz konusudur. Yani, bir akışkanın akmaya karşı iç direncini gösteren özelliğe **viskozite** denir. Akan bir akışkanın bir cisme akma yönünde uyguladığı kuvvet, direnç kuvveti olarak bilinir ve bu kuvvetin büyüklüğü kısmen viskoziteye bağlıdır.

Viskozite için, bir katı yüzey üzerinde belli bir hız dağılımı ile ilerleyen akışkan içindeki değişim dikkate alınarak bir eşitlik elde edilebilir. Eşitlik için aşağıda verilen şekil dikkate alınabilir.



t anındaki akışkan elemanı içindeki hız dağılımı, alt ve üst yüzeyleri dikkate alındığında V ve V+ΔV olacaktır. Şekil ile verildiği gibi elemanın altında ve üstünde ters yönde F_τ kayma kuvvetleri oluşacaktır. t + Δt anında ise eleman Δφ kadar şekil değiştirecektir. Δφ için aşağıda verilen eşitlikler yazılabilir:

$$\Delta\phi \approx \tan\phi = \frac{\Delta V \Delta t}{\Delta y} \rightarrow \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \approx \frac{\Delta V}{\Delta y} \rightarrow \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \approx \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta y} \rightarrow \dot{\phi} = \frac{dV}{dy}$$

Kayma şekil değiştirmesi $\dot{\phi}$, kayma gerilmesi ile orantılıdır. Yani kayma gerilmesi, dV / dy ile orantılıdır. Kayma şekil değiştirmesinin kayma gerilmesi ile orantılı olduğu akışkanlara **Newton tipi akışkan** denir. Su, hava ve yağlar gibi akışkanlar Newton tipi akışkanlardır. Bir boyutlu Newton tipi kayma akışında kayma gerilmesi aşağıda verildiği gibi yazılır:

$$\tau = \frac{F_\tau}{A} \rightarrow \tau \propto \frac{dV}{dy} \rightarrow \tau = \mu \frac{dV}{dy} \text{ (Pa)}$$

Eşitlik içinde yer alan μ , akışkanın viskozite katsayısı (dinamik viskozitesi) olarak bilinir. Dinamik viskozitenin birimi, $\text{kg}/(\text{ms})$, Ns/m^2 , Pas veya **poise** olarak yazılabilir. (1 Pas = 10 poise). Newton tipi akışkanda kayma gerilmesinin kayma şekil değiştirmesiyle değişimi, eğimi akışkanın viskozitesine eşit olan bir doğrudur. Newton tipi olmayan akışkanlarda bu durum geçerli değildir. Newton tipi akışkan tabakasına etki eden kayma kuvveti, A temas alanı olmak üzere aşağıda verildiği gibi yazılır.

$$F_\tau = \tau A = \mu A \frac{dV}{dy} \text{ (N)}$$

Dinamik viskozitenin yoğunluğa oranına kinematik viskozite (ϑ) denir. Kinematik viskozitenin birimi m^2/s ve **stoke** olarak gösterilir (1 stoke = 0.0001 m^2/s). Bir akışkanın viskozitesi genel olarak hem sıcaklığa hem de basınca bağlıdır ama genelde sıvılarda dinamik ve kinematik viskozite basınçtan bağımsızdır. Bu durum dinamik viskozite söz konusu olduğunda gazlar için de aynıdır (düşükten orta seviyeli basınçlara kadar).

Viskozite, sıvılarda moleküller arasındaki çekim kuvvetleri, gazlarda ise moleküllerin çarpışması nedeniyle ortaya çıkar ve sıcaklıkla önemli ölçüde değişir. Sıvıların viskoziteleri sıcaklıkla azalır, gazların ise artar. Bir sıvı için bunun nedeni, sıvı moleküllerinin yüksek sıcaklıkta daha fazla enerjiye sahip olmaları ve moleküller arasındaki büyük çekim kuvvetlerine karşı daha güçlü biçimde karşı koyabilmeleridir. Yani, enerji ile yüklenmiş sıvı molekülleri daha serbest hareket edebilmektedir. Diğer yandan bir gazda moleküller arası kuvvetler göz önüne alınmayacak düzey küçüktür. Gaz molekülleri yüksek sıcaklıklarda daha yüksek hızlarda ve geliş-güzel şekilde hareket ederler. Bu durum, birim zamanda birim hacim içerisinde daha fazla moleküler çarpışmanın meydana gelmesine neden olur ve dolayısıyla akışa karşı daha büyük direnç oluşur. Bir sıvının viskozitesi, sıvıyı bir boru içerisinde nakletmek için gerekli olan pompa gücü ile doğrudan ilişkilidir.

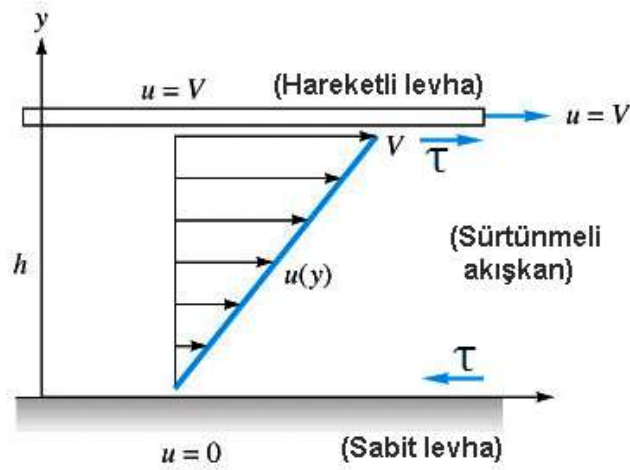
T mutlak sıcaklık, a ve b deneyler ile belirlenmiş katsayılar olmak üzere **gazların** viskozitesini hesaplamak için **Sutherland eşitliği** kullanılır: $\mu = (aT^{1/2}) / (1 + b/T)$ [Atmosferik koşullardaki hava için a = $1.458 \cdot 10^{-6} \text{ kg}/(\text{msK}^{1/2})$ ve b = 110.4 K olarak alınabilir].

T mutlak sıcaklık, a, b ve c deneyler ile belirlenmiş katsayılar olmak üzere **sıvıların** viskozitesini hesaplamak için $\mu = a10^{b/(T-c)}$ eşitliği kullanılır. [Su için a = $2.414 \cdot 10^{-5} \text{ Ns}/\text{m}^2$, b = 247.8 K ve c = 140 K olarak alınabilir].

BİLGİ: COUETTE AKIŞI

İki Paralel Levha Arasındaki Bağıl Hareketin Oluşturduğu Sürtünmeli Akış (Couette Akışı)

Akışkanlar mekaniğinin klasik bir problemi, şekil ile verildiği gibi sabit (hareketsiz) bir düzlem levha ile V hızında sürekli olarak hareket eden bir üst düzlem levha arasında oluşan akıştır. Levhalar arasındaki uzaklık h kadardır ve sıkıştırılamaz akışkan newton tipidir. Akışkan her iki levha üzerinde kaymamaktadır yani kaymama koşulu geçerlidir. Levhalar yeteri kadar büyüktür, x ve z yönündeki akışkan hızları sıfırdır ve sadece $u(y)$ şeklinde bir hız dağılımı göz önüne alınacaktır. Akışkan ivmesi her yerde sıfırdır ve yerçekimi etkileri göz ardı edilmiştir.



Sıfır ivme ve akış yönünde herhangi bir basınç değişiminin olmaması kabulü ile küçük bir akışkan elemanı için ifade edilen kuvvet dengesinin, kayma gerilmesinin akışkan içinde her noktada sabit olması sonucuna yol açtığı aşağıda verildiği gibi gösterilebilir.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \rightarrow \frac{du}{dy} = \frac{\tau}{\mu} = \text{sabit} \rightarrow du = (\text{sabit})dy$$

Kayma gerilmesi eşitliği, hız dağılımı olarak yukarıda verildiği gibi yazılır. Hız dağılımı düzenlenip integrali alınırsa, a integral sabiti ve b sabit olmak üzere aşağıda verilen ifade elde edilir.

$$u = a + by \quad (\text{Genel çözüm})$$

Yani şekil ile verildiği gibi hız dağılımı doğrusaldır. a ve b sabitleri, akışkanın yer aldığı alt ve üst levhanın iç yüzey alanlarında kaymama koşulundan hesaplanır.

$$y = 0 \text{ için } u = 0 \rightarrow 0 = a + b(0) \rightarrow a = 0 \text{ m/s}$$

$$y = h \text{ için } u = V \rightarrow V = a + b(h) \rightarrow b = V/h \text{ (1/s)}$$

$$u = \frac{V}{h} y \quad (\text{Özel çözüm})$$

Yukarıdaki eşitlik sadece tam gelişmiş laminar akışta geçerlidir. Türbülanslı akışta farklı bir hız dağılımı oluşacaktır. Viskozitenin akışkan hareketi üzerinde önemli bir etkisi olmasına rağmen, gerçek viskoz gerilmeler oldukça küçüktür.

Yukarıda verilen Couette akışı u , v ve w hız bileşenleri olmak üzere, sabit özellikli sıkıştırılmaz akış için süreklilik denklemi kullanılarak da aşağıda verildiği gibi çözülebilir.

$$\text{Süreklilik denklemi: } \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \rightarrow \frac{\partial u}{\partial x} + 0 + 0 = 0 \rightarrow \frac{du}{dx} = 0 \rightarrow u = u(y)$$

İki boyutlu (x,y) akış için $u = u(y)$ eşitliği ρ yoğunluk, P basınç, g yerçekimi ivmesi ve μ dinamik viskozite olmak üzere Navier-Stokes momentum denkleminin x bileşenine yerleştirildiğinde aşağıda verilen eşitlik elde edilir.

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \rightarrow \rho(0+0) = 0+0 + \mu \left(0 + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \rightarrow \frac{d^2 u}{dy^2} = 0$$

Yukarıda verilen denklem çözüldüğünde aynı genel denkleme ulaşılır: $u = a + by$

Yorum: Akışkanlar mekaniğinin en önemli denklemlerinden olan Navier-Stokes Denklemleri, toplam kütle, enerji ve momentumun üç yönde kitlesel ve moleküler mekanizmayla iletimini, iç üretimini ve birikimini tanımlayan diferansiyel denklemlerdir. Navier-Stokes Denklemlerini gözden geçiriniz. Önemini kavrayınız.

Couette Akımı: Akımı oluşturabilmek için kuvvet, akışkanı sınırlayan duvarlardan birine veya tümüne uygulanabilir. Değişik duvarların tümüne kuvvet uygulandığında, uygulanan kuvvet vektörlerinin ya büyüklüklerinin ya da yönlerinin farklı olması gerekir; aksi halde, akışkan içinde bağıl hareket oluşturulmamış olacağından, hiçbir kuvvetin uygulanmamasıyla aynı etki sağlanır, akışkan bütünüyle sürüklenir ve akım gerçekleşmez. Couette akımına örnek olarak yüzeylerin fırçayla boyanması, bakır elektrik tellerinin plastikte kaplanması ve piston veya milin makina yağı içinde hareket etmesi verilebilir. Kartezyen koordinatlarda Couette akımının iki önemli özelliği, hızın en fazla değerinden en az değerine doğrusal olarak azalması ve kayma geriliminin sabit kalmasıdır.

Kaynaklar:

- 1.White FM, "Fluid Mechanics", Sixth Edition, McGraw-Hill, 2008.
 - 2.Peker S, Helvacı ŞŞ, "Akışkanlar Mekaniği", Literatür, 2003, İstanbul.
-