

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI I

Deney Adı: Viskozite Ölçüm Yöntemleri

Deneyin Amacı: Belirlenen sıvıların viskozitelerinin ölçülmesi ve viskozitenin sıcaklıkla değişiminin incelenmesi.

Uyarı

- ! Viskozite ölçümünde sıvı yağ ve cam malzemeler kullanılacaktır. Cam kaplar, viskozimetreler ve diğer cam ekipmanlar hassas malzemeler olup, dikkatli kullanılmalıdır.
- ! Cam malzemeleri taşıırken veya yerleştirirken dikkatli olunmalıdır, düşme ve kırılmalara karşı önlem alınır.
- ! Sıvı yağın dökülme riski yüksektir. Yağ döküldüğünde kaygan bir yüzey oluşturabileceği için dikkatli olunmalı ve hemen temizlenmelidir.

Teori:

Bir akışkan bir boru veya iki düzgün levha gibi kapalı bir kanal içinde aktığında, bu akışkanın hızına bağlı olarak iki tip akış meydana gelebilir. Düşük hızlarda, akışkan dikey karışma olmaksızın akma eğilimi gösterir ve bitişik tabakalar birbiri üzerinden kayar. Akış yönüne dik, çapraz akım, edî ya da akışkan girdapları yoktur. Bu akış rejimine veya tipine lamîner akış denir. Yüksek hızlarda, dikey karışmaya yol açan edîler oluşur. Bu akış rejimi türbülent akış olarak adlandırılır.

Bir akışkan bir gerilime (birim alandaki kuvvet) veya uygulanan bir kuvvete maruz kaldığında şekil bozunması devam eder, gerilimin artmasıyla artan bir hızda akmaya devam eder. Akışkan bu gerilime karşı direnç gösterir. Viskozite, akışkan içindeki bitişik tabakaların göreceli hareketine direnç gösteren bir akışkan özelliğidir. SI birim sisteminde viskozitenin birimi Pa.s (pascal x saniye)dir. Bu birim kgm⁻¹s⁻¹ ile eşdeğerdîr. CGS birim sistemindeki viskozite birimi ise poise (g cm⁻¹ s⁻¹)'dir. 1 poise (puvaz) = 0.1 Pa.s veya 1Cp (santipuvaz) =1 mPas (mili Pa.s)'dir. Bu viskoz kuvvetler, akışkan içindeki moleküller arasında mevcut olan kuvvetlerden kaynaklanır ve karakter olarak katılardaki kayma kuvvetlerine benzer. Şekil 1.'de, akışkan iki sonsuz paralel levha arasında bulunmaktadır. Uygulanan F Newton kuvvetinden dolayı alt tabakanın üst tabakaya paralel bir şekilde ve üst levhaya göre daha hızlı sabit bir ΔVz m/s hızında hareket ettiğini varsayalım. Bu kuvvet, viskoz sürükleme diye adlandırılır ve akışkandaki viskoz kuvvetlerden kaynaklanır. Levhalar birbirinden Δy m uzaklıktadır. Her bir akışkan tabakası z yönünde hareket etmektedir. Alt levhanın bitişikindeki levha, bu levha hızında taşınırken, Bir üstündeki tabaka daha yavaş bir hıza sahiptir ve y yönünde yukarıya doğru gidildikçe her bir tabaka biraz daha yavaş bir hıza sahiptir ve y yönünde yukarı doğru gidildikçe her bir tabaka daha yavaş bir hızda hareket eder. Bu hız değişimi, Şekil 1.'de gösterildiği gibi y yönüyle doğrusal bir davranış göstermektedir.

Çoğu akışkanlar için Newton olarak F kuvvetinin, m/s olarak ΔVz hızı ve kullanılan levhanın m² olarak A alanı ile doğru, m olarak Δy mesafesi ile ters orantılı olduğu deneysel olarak bulunmuştur, Yani akış lamîner rejimde olduğunda Newton viskozite yasası aşağıda verildiği gibidir.

$$\frac{F}{A} = -\mu \frac{\Delta V_z}{\Delta y} \quad (1)$$

μ: Akışkanın viskozitesi olarak adlandırılan orantı sabitidir. (Pa.s veya kg/m.s)

Δy sıfıra yaklaştığında, türev tanımı kullanılarak aşağıdaki ifade yazılırsa,

$$\tau_{yz} = -\mu \frac{\Delta V_z}{\Delta y} \quad (2)$$

T_{yz} : F/A olup, kayma gerilimi veya birim alan başına kuvvettir. (N/m^2)

Eşitlik (1) - (2) eşitliklerine, yani Newton viskozite yasasına uyan akışkanlara Newtonian akışkanlar denir. Newtonian bir akışkan için, kayma gerilimi (T_{yz}), ve kayma hızı ($\frac{\Delta V_z}{\Delta y}$) arasındaki bağlantı doğrusaldır. Bu durum, viskozitenin sabit ve kayma hızından bağımsız olduğunu ifade eder. Newtonian olmayan akış (T_{yz}) ve ($\frac{\Delta V_z}{\Delta y}$) arasındaki bağlantı doğrusal değildir yani, viskozite sabit olmayıp kayma geriliminin bir fonksiyonudur. Yüksek polimer, emülsiyon, çamur ve pastalar bu akışkanlara örnek verilebilir.

Newtonian akışkanlar olan gazların viskozitesi sıcaklıkla artar. 100 kPa basınca kadar olan gazların viskozitesi basınçtan bağımsızdır. Daha yüksek basınçlarda, gazların viskozitesi basınç artışıyla artar. Örneğin, 298 K'de N_2 gazının viskozitesi, basıncın 100 kPa'dan yaklaşık $5 \cdot 10^4$ kPa'a yükseltilmesiyle iki kat olur.

Newtonian sıvılarda, sıcaklık arttıkça viskozite azalır. Basınç arttıkça viskozite genelde artar.

Akışkan tabakalarının birbiri üzerinden kaydığı düşük hızdaki akış tipi laminer akış diye adlandırılırken, akışkana çalkantılı bir özellik veren edilerin mevcut olduğu yüksek hızlardaki diğer akış tipine türbülent akış adı verilir. Laminer veya türbülent akışın belirlenmesi için Reynold deneyleri yapılır. Çalışmalar laminer akıştan türbülent akışa geçişin sadece hızın fonksiyonu değil, aynı zamanda akışkanın yoğunluk ve viskozitesi ile boru çapının da fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Bu değişkenler, boyutsuz olan Reynolds sayısını ifade eder (Geankoplis, 2011).

$$NRe = \frac{Dv\rho}{\mu}$$

NRe: Reynolds sayısı

D: Boru çapı (m)

ρ : Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)

μ : Akışkanın viskozitesi, (Pa.s)

v : akışkanın ortalama hızı (m/s)

Kinematik viskozite: Akışkan viskozitesinin yoğunluğa oranıdır.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \left[\frac{kg/ms}{kg/m^3} \right] = \frac{m^2}{s}$$

Viskozite Ölçüm Yöntemleri

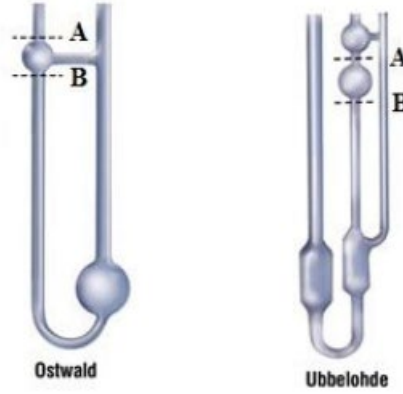
Viskozite veya kinematik viskozite, esas olarak moleküler mekanizmayla momentum aktarımını ifade eder. Ölçüm yönteminde rejimin laminer olması akıma karşı direncin sadece viskoziteden kaynaklanması önemlidir.

Momentumun sadece moleküler mekanizmayla iletildiği viskozite ölçümünde kullanılacak üç akım türü bulunur.

- Küresel cisimlerin Stokes rejiminde hareket etmesi: Düşen küre metodu/ düşen küreli viskozimetreler
- Couette akımı: Rotaviskozimetreler/ Döner silindir metodu
- Laminer rejimde borulardan akım (Poiseuille akımı): Kapiler viskozimetreler/ Kapiler akış metodu. (Peker & Helvacı, 2003)

Kapiler Akış metodu

Kapiler akış metodunda, viskozite ölçümleri dairesel kesitli bir boru içerisinde akma hızının ölçülmesi ile yapılır. Çözeltilerin viskozitelerinin belirlenmesinde yaygın olarak U-tüp biçimli Ostwald viskozimetresi veya onun değiştirilmiş biçimi olan Ubbelohde viskozimetresi kullanılır. Viskozimetreler Şekil 1. de gösterilmektedir.



Şekil 1. Ostwald ve Ubbelohde viskozimetreleri

Şekilde kapiler tüpler üzerine işaretlenmiş olan A ve B noktaları arasındaki ve belirli hacimdeki bir çözeltinin akış süresi belirlenerek, Poiseuille tarafından geliştirilmiş olan bağıntı ile sıvının viskozitesi hesaplanır.

Sıkıştırılmayan bir akışkanın; uçlarındaki basınçların P_1 ve P_2 , yarıçapının r ve uzunluğunun l olduğu bir boru içinden aktığını düşünelim. Borunun duvarındaki sıvı durgun haldedir; akış hızı borunun merkezinde maksimuma erişir. L uzunluklu ve R yarıçaplı bir silindirin yüzey alanı $2\pi r l$ 'dir ve Eşitlik 1'e göre böyle bir sıvı silindirine etkiyen sürtünme kuvveti;

$$F = -n \frac{dv}{dr} 2\pi r l \quad (1)$$

şeklinde verilir. Burada hız gradienti adı verilen dv/dr negatif bir niceliktir. F kuvveti, bu silindirdeki akışkanı iten kuvvet (basınç kuvveti) tarafından tamamen dengelenir. Bu kuvvet, silindirin kesit alanı olan πr^2 ile basınç farkının $(P_1 - P_2)$ çarpımıdır. Böylece,

$$-n \frac{dv}{dr} 2\pi r l = \pi r^2 (P_1 - P_2) \quad (2)$$

veya

$$dv = -\frac{r}{2nl} (P_1 - P_2) \quad (3)$$

İfadesi bulunur. Bu ifadenin belirsiz integrali alınır;

$$v = -\frac{(P_1 - P_2)}{4n l} r^2 + \text{sabit} \quad (4)$$

Eşitliği elde edilir. $r = R$ olduğu zaman $v = 0$ olduğundan, integral sabiti

$$\text{sabit} = -\frac{(P_1 - P_2)}{4n l} R^2 \quad (5)$$

Bulunan sabit değeri (4) numaralı denklemde yerine yazılırsa ifade,

$$v = -\frac{(P_1-P_2)}{4n_1}(R^2-r^2) \quad (6)$$

Şeklini alır. Birim zamanda borudan akan sıvının toplam hacmi (dV / dt), her bir kesit elementi üzerinde integrasyonla bulunur. Her bir element $2\pi r dr$ kadar bir yüzey alanına sahiptir böylece,

$$\frac{dV}{dt} = da \cdot v = \int_0^R 2\pi r v dr \quad (7)$$

$$= \frac{(P_1-P_2)\pi}{2n_1} \left\{ R^2 \int_0^R r dr - \int_0^R r^3 dr \right\}$$

$$= \frac{(P_1-P_2)\pi R^4}{8n_1} \quad (8)$$

$$= \frac{(P_1-P_2)\pi R^4}{8n_1} \quad (9)$$

Şeklindeki "Poiseuille Denklemi" elde edilir. Son eşitlikte t, 0_ t integral alınışa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$V = \frac{\Delta P \pi R^4}{8n_1 l} \quad \text{veya} \quad n = \frac{\Delta P \pi R^4}{8V l} \quad (10)$$

Burada t; uygulanan ΔP basıncında, r yarıçaplı ve l uzunluklu bir kapiler boru içerisinde sıvının V hacminin akması için gerekli zamanı göstermektedir.

Bir sıvının viskozitesi yukarıda türetilen Eşitlik 12 kullanılarak bulunabileceği gibi, düşey boru kullanılması halinde borunun çıkış ve giriş uçları arasındaki akışkan basınçlarının farkı (ΔP), sıvılarda hidrostatik basınca eşit alınabilir,

$$\Delta P = l \rho g \quad (11)$$

Burada ρ sıvının yoğunluğu, g ise yerçekimi ivmesidir. Eşitlik 10 ve 11'den

$$n = \frac{l \rho g \pi R^4 t}{8n_1 l} = \frac{\pi R^4 g}{8V} \rho t \quad (12)$$

Bu eşitlikteki ρ t çarpanının katsayısı olan çarpanlar aynı bir viskozimetre için sabittir.

$$k = \pi R^4 g / 8V \quad (13)$$

Bu sabit kullanılarak eşitlik yeniden yazılırsa,

$$\eta = k \rho t \quad (14)$$

Elde edilir. Eşitlik 14 aynı viskozimetrede iki ayrı sıvı için yazılıp taraf tarafa oranlanırsa,

Burada 2 indisiyile gösterilen büyüklükler viskozitesi tayin edilecek sıvıları, 1 indisiyile gösterilen büyüklükler viskozitesi bilinen sıvıyı (referans sıvıyla) ifade etmektedir. (Küçük, Eken, & Arslanhan, 2017)

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\rho_2 t_2}{\rho_1 t_1} \quad (15)$$

Oswald viskozimetresi veya Ubbelohde viskozimetresi (Şekil 3) kullanılarak viskozitesi bilinen ve bilinmeyen sıvıların belli hacimlerinin (V) akma zamanları bulunur ve bu bilgilerden (ρ_1 ve ρ_2 biliniyor) Eşitlik 15 yardımıyla viskozitesi bilinmeyen sıvının viskozitesi bulunur.

Denklem 16 viskozite katsayısının sıcaklığa bağlılığını göstermektedir. Bu denklemin logaritması alındığında,

$$\eta = A e^{-E_a/RT} \quad (16)$$

$$\text{Log} \eta = \text{log} A - \frac{E_a}{2,303R} \cdot \frac{1}{T} \quad (17)$$

Elde edilir (Değirmenci, 2021). Denklemdaki A bir katsayı, E_a : viskozluk enerjisini gösterir. Farklı sıcaklıklarda bir sıvının viskozite katsayıları tayin edilip log η -1/T grafiği oluşturulursa bir doğru elde edilir. Doğrunun eğiminden E_a hesaplanır.

$$E_a = \text{eğim} \times 2.303 \times R \quad (18)$$

Deneyin Yapılışı:

Deney için gerekli cihaz ve malzemeler:

- Sıcaklık ayarı yapılabilen termostat
- Viskozimetre (Ubbelohde / Oswald)
- Kronometre
- Saf su
- Viskozluğu ölçülecek bir sıvı.

Temiz Ubbelohde yada Oswald viskozimetresine belli hacimde saf su konup, çalışılacak sıcaklığa gelen termostata yerleştirilir. Sıcaklık dengesi kurulduktan sonra L ucuna takılan bir puar vasıtasıyla sıvının a çizgisinin üstüne çıkması sağlanır. Sonra serbest bırakılır. Sıvı a seviyesine geldiği anda kronometre çalıştırılır, b çizgisine geldiği an durdurulur. Çalışılan sıcaklıkta sıvının a noktasından b noktasına akma süresi kaydedilir. Termostatın sıcaklığı farklı sıcaklıklara getirilerek akma süreleri kaydedilir.

Viskozimetre yıkanıp kurutulduktan sonra, saf su için yapılan işlemlerin aynısı viskozluk enerjisi bulunacak sıvı için, farklı sıcaklıklarda da yapılarak akma süreleri kaydedilir. Tablo 1 doldurulur.

Tablo 1. Farklı sıcaklıklar için su ve yağın akış süreleri

T(C°)	Suyun akış süresi (sn)	Yağın akış süresi (sn)
35		
45		
55		

Hesaplamalar

1. Çizelge 1. Farklı sıcaklıklarda su ve yağın yoğunluk viskozite değerleri

T (°C)	Suyun Yoğunluğu (g/cm ³)	Yağın yoğunluğu (g/cm ³)	Suyun viskozitesi (cP)	Yağın viskozitesi (cP)
35				
45				
55				

Çizelge 3. Deneysel olarak hesaplanan değerler

T (C°)	1/T (K)	nsu (cP)	Log n su	n yağ	Log n yağ
35					
45					
55					

1/T (K) – log n su ve 1/T (K)- log n yağ grafikleri çizilerek viskozluk enerjisi hesaplanır.

Kaynaklar

Değirmenci, İ. (2021). *Kimya Mühendisliği Bölümü Fizkokimya Arhenius eşitliği*.

https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/isa.degirmenci/107482/AVYS_Hafta6_Arhenius_E%C5%9Fitli%C4%9Fi.pdf adresinden alındı

Geankoplis, C. J. (2011). *Taşınma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri*. İzmir: Güven Kitabevi.

Küçük, İ., Eken, Y. T., & Arslanhan, M. (2017). *Polimer Çözeltilerin Yoğunluk, Viskozite ve Yüzey Gerilimi Ölçümü Deneysel Föyü*.

[https://depo.btu.edu.tr/dosyalar/metalurji/Dosyalar/Yo%C4%9Funluk_Viskozite_Y%C3%BCzey%20Gerilim%20Deneyleri\(1\).pdf](https://depo.btu.edu.tr/dosyalar/metalurji/Dosyalar/Yo%C4%9Funluk_Viskozite_Y%C3%BCzey%20Gerilim%20Deneyleri(1).pdf) adresinden alındı

Peker, S., & Helvacı, Ş. Ş. (2003). *AKIŞKANLAR MEKANİĞİ, Kavramlar, Problemler, Uygulamalar*. İstanbul: Literatür.