

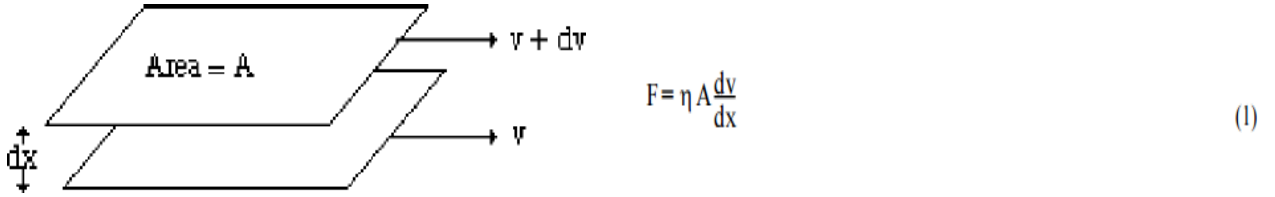
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI I

DENEY ADI: VİSKOZİTE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Amaç: Belirlenen sıvıların viskozitelerinin ölçülmesi ve viskozitenin sıcaklıkla değişiminin incelenmesi

3.1.Tanım

Viskozite: Bir akışkanın (sıvı veya gaz) viskozitesi, akışkan üzerine uygulanan kaydırma kuvvetinin karşılaştığı sürtünme direncinin bir ölçüsüdür. Bir akışkan bir yüzey üzerinden geçerek aktığı zaman, yüzeye hemen komşu olan akışkan tabakası durgun haldedir, yüzeyden itibaren birbirini izleyen tabakaların hızları giderek artar, yani yüzeye yakın tabakaların hızları düşük, yüzeyden uzak olan tabakaların hızları ise daha yüksektir. Şekil 1'de dv kadar akma hızı farkına sahip ve birbirlerinden dx kadar bir mesafe ile ayrılmış halde, bir akışkan içerisinde birbirine paralel iki tabaka görülmektedir. Newton'un viskoz akış (diğer adıyla laminer veya tabakalı akış) kanununa göre, sıvı içerisinde iki komşu tabakanın birbirine göre hareketine direnç gösteren F sürtünme kuvveti, A alanı ve dv/dx (hız gradienti) ile orantılıdır. Bu durum denklem 1'de matematiksel olarak ifade edilebilir.



Orantı katsayısı η , "viskozite katsayısı" veya basitçe "viskozite" olarak bilinir. Viskozitenin tersi olan akıcılık ($1 / \eta$) ise ϕ simgesiyle gösterilir. SI birim sisteminde viskozitenin birimi Pa.s (pascal x saniye)dir. Bu birim $\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ ile eşdeğerdir. CGS birim sistemindeki viskozite birimi ise poise ($\text{g cm}^{-1} \text{s}^{-1}$)'dir. 1 poise (puvaz) = 0.1 Pa.s veya 1Cp (santipuvaz) =1 mPas (mili Pa.s)'dir.

Eşitlik 1'in uygulandığı akış, laminer (tabakalı) veya Newtonian akış veya diğer adıyla viskoz akış adıyla bilinir. Bu akış şeklinde, moleküler hızların net bileşeni sıvının akış yönünde olup, akan sıvı tabakalarının birbirini kesmediği düşünülür. Sıvının akış hızının çok büyük olmadığı durumlarda ancak laminer akış şekli gözlenir. Hızlı akma durumlarında, tabakalı akış kaybolup türbülanslı akış (diğer adıyla girdaplı akış) şekli ortaya çıkar. Bu akışta, akan sıvı tabakaları birbirini keser ve bu durumda Eşitlik 1 artık uygulanmaz. Bu akış tipleri, 1883'de ilk defa Osborne Reynolds tarafından yapılan bir deneyle ortaya konmuştur. Reynolds'un deneyinde, cam bir boru içi su dolu bir depoya bağlanmış olup, boru içindeki suyun akma hızı arzu edilen değere ayarlanabilmektedir. Borunun giriş ucuna bir nozul (emzik) konularak, boru içerisine renklendirilmiş su verilebilmektedir. Reynolds, yapmış olduğu deneyler sonucunda, suyun akma hızı az olduğunda renkli suya ait akım iplikçığının bütün boru boyunca devam ettiğini görmüştür.

Reynolds, bu deneyi borunun değişik noktalarındaki kesitlere uygulamış ve bu kısımlarda renkli suya ait akım iplikçığının bozulmadığını ve akışkanın birbirine paralel ve düz doğrular boyunca aktığını görmüştür. Akışkanın akım hızı arttırıldığında, hızın belirli bir değerinden sonra renkli suya ait akım iplikçığının ortadan kalktığı ve bütün su kütesinin renklendiği görülmüştür. Diğer bir ifadeyle, yüksek akış hızlarında, suyu meydana getiren parçacıklar borunun uzun eksenini boyunca birbirine paralel hareket etmeyip, borunun kısa eksenini boyunca da hareket etmeye başlarlar ve böylece tam bir karışma (yani türbülans) meydana gelir. Akımın bu şekilde bir ipten diğerine değiştii andaki sıvı akım hızı "kritik hız" olarak adlandırılır. Reynolds, daha sonra yaptığı deneylerde bu iki tip akış şeklinin meydana geliş şartlarını incelemiş ve kritik hızın; boru çapına, akışkanın akış hızına, yoğunluğuna ve viskozitesine bağlı olduğunu bulmuş ve bu dört faktörün sadece bir şekilde gruplandırılabilceğini göstermiştir. Reynolds'un ileri sürdüğü ve Reynolds sayısı (Re) olarak bilinen ifade,

$$Re = \frac{dv\rho}{\eta} \quad (2)$$

şeklinde verilmektedir. Burada, d, borunun iç çapı; v, boru boyunca akışkanın ortalama akım hızı (bu hız, akışkanın hacimsel debisi borunun kesitine bölünerek bulunur); ρ, akışkanın yoğunluğu; η ise akışkanın viskozitesidir. Boyutsuz (birimsiz) bir grup olan Reynolds sayısı, hidrodinamik incelemelerde büyük bir önem taşır ve kimya mühendisliğinde yaygın şekilde kullanılır. Reynolds sayısının 2000'den büyük olduğu değerlere karşılık gelen akış hızlarında, türbülans ile karşılaşılır.

Bazı kolloidal süspansiyonlar ve polimer moleküllerinin çözeltileri için viskozite, kayma hızına bağlı olup bu durum Newtonian olmayan davranış olarak bilinir. Kayma gerilimi (veya kayma zoru) süspansen olmuş parçacıkları yönlendirir veya onların düzenlerini değiştirirse, kayma hızı arttıkça viskozite azalması görülebilir.

3.2. Viskozite Ölçüm metotları

3.2.1. Kapiler akış metotları

Viskozite ölçümleri genellikle akışkanın, dairesel kesitli bir boru içerisinde akıtılmış akma hızının ölçülmesi ile yapılır. Bu hız verisi elde edildikten sonra, borunun boyutları ve etkileyen basınçtan, Poiseuille tarafından geliştirilen teoriye dayanarak viskozite hesaplanır. Sıkıştırılmayan bir akışkanın; uçlarındaki basınçların P₁ ve P₂, 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 2πr l'dir ve Eşitlik 1'e göre böyle bir sıvı silindirine etkileyen sürtünme kuvveti;

$$F = - \eta \frac{dv}{dr} 2 \pi r l \quad (3)$$

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 πr² ile basınç farkının (P₁ - P₂) çarpımıdır. Böylece,

$$- \eta \frac{dv}{dr} 2 \pi r l = \pi r^2 (P_1 - P_2) \quad (4)$$

veya

$$dv = - \frac{r}{2\eta l} (P_1 - P_2) dr \quad (5)$$

ifadesi bulunur. Bu ifadenin belirsiz integrali alınırsa,

$$v = - \frac{(P_1 - P_2)}{4\eta l} r^2 + \text{sabit} \quad (6)$$

eşitliği elde edilir. $r = R$ olduğu zaman hız sıfır olduğundan; integral sabiti,

$$\text{sabit} = \frac{(P_1 - P_2) R^2}{4\eta l} \quad (7)$$

ve bu sebepten,

$$v = \frac{P_1 - P_2}{4\eta l} (R^2 - r^2) \quad (8)$$

değerini 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 ve bu sebepten,

$$\frac{dV}{dt} = da.v = \int_0^R 2\pi r v dr \quad (9)$$

$$= \frac{(P_1 - P_2) \pi}{2\eta l} \left\{ R^2 \int_0^R r dr - \int_0^R r^3 dr \right\} \quad (10)$$

$$= \frac{(P_1 - P_2) \pi R^4}{8\eta l} \quad (11)$$

şeklindeki "Poiseuille denklemi" elde edilir. Son eşitliği $t, 0 \rightarrow t$ integral alınırsa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$V = \frac{\Delta P \pi R^4}{8\eta l} t \quad \text{veya} \quad \eta = \frac{\Delta P \pi R^4 t}{8V l} \quad (12)$$

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,

$$\Delta P = l \rho g \quad (13)$$

Burada ρ sıvının yoğunluğu, g ise yerçekimi ivmesidir. Böylece Eşitlik 12 ve 13'ten;

$$\eta = \frac{l \rho g \pi R^4 t}{8\eta l} = \frac{\pi R^4 g}{8V} \rho t$$

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

$$k = \pi R^4 g / 8V \quad (14)$$

Bu sabiti kullanarak eşitliği yeniden yazarsak,

$$\eta = k \rho t \quad (15)$$

elde edilir. Eğer Eşitlik 15, aynı viskozimetrede iki ayrı sıvı için yazılıp taraf tarafa oranlanırsa;

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{\rho_2 t_2}{\rho_1 t_1} \quad (16)$$

Burada 2 indisiyle gösterilen büyüklükler viskozitesi tayin edilecek sıvıyla alakalı, 1 indisiyle gösterilen büyüklükler viskozitesi bilinen sıvıyla (referans sıvıyla) alakalıdır.

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 16 yardımıyla viskozitesi bilinmeyen sıvının viskozitesi bulunur.

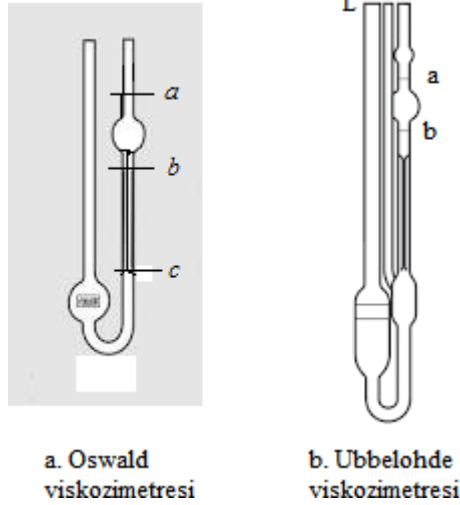
$$\eta = A e^{E_a / RT} \quad (17)$$

denklemin viskozite katsayısının sıcaklığa bağlılığını göstermektedir. Bu denklemin her iki tarafının logaritması alındığında;

$$\log \eta = \log A + \frac{E_a}{2,303 \cdot R} \cdot \frac{1}{T} \quad (18)$$

elde edilir. Denklemden A bir katsayı, E_a : viskozite enerjisini gösterir. Değişik sıcaklıklarda bir sıvının viskozite katsayıları tayin edilip $\log \eta - 1/T$ grafiği oluşturulursa bir doğru elde edilir. Doğrunun eğiminden E_a hesaplanır.

$$E_a = \text{eğim} \times 2.303 \times R \quad (19)$$



Şekil 3. Viskozite ölçümünde kullanılan iki ayrı viskozimetre

3.2.2. Düşen Küre Metodu

Stokes'e göre r yarıçaplı bir küre bir sıvı içerisinde sabit bir v hızı (dx/dt) ile düşerken karşılaştığı sürtünme kuvveti (Şekil 4);

$$F = 6 \pi \eta r v \quad (20)$$

ifadesiyle verilir. $6 \pi \eta r$ çarpanına "Stokes katsayısı" veya "sürtünme katsayısı" adı verilir. Sıvı içerisinde sabit v hızıyla düşen küre üzerine etkiyen sürtünme kuvveti, kürenin sıvı içerisindeki ağırlık kuvvetine eşittir. Böylece,

$$mg = 6 \pi \eta r v \quad (21)$$

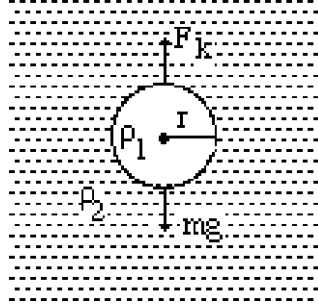
veya

$$\frac{3}{4} \pi r^3 (\rho_1 - \rho_2) g = 6 \pi \eta r v \quad (22)$$

ve buradan

$$\eta = \frac{2r^2 (\rho_1 - \rho_2) g}{9v} \quad (23)$$

bağıntısı elde edilir. Böylece, yarıçapı r ve yoğunluğu ρ_1 olan bir kürenin yoğunluğu ρ_2 olan bir sıvı içerisindeki düşme hızı (v) bulunup; Eşitlik 23'den viskozitesi hesaplanabilir. Bu metod özellikle, büyük moleküllü polimerlerin derişik çözeltilerinde olduğu gibi, yüksek viskoziteye sahip çözeltiler için uygundur.



Şekil 4. ρ_2 yoğunluğundaki bir sıvı içerisinde düşmekte olan ρ_1 yoğunluklu ve r yarıçaplı bir küre. Küreye yukarı doğru etkiyen sürtünme kuvveti ile kürenin sıvı içerisindeki ağırlık kuvvetinin birbirine eşit olduğu anda sabit v hızı, "limit hız" olarak adlandırılır.

3.2.3. Döner Silindir Metodu

Viskozite ölçümünde kullanılan diğer bir alet, döner silindir viskozimetresidir. Bu aletle, dış silindirde sıvının dönmesi sağlanır; bu içteki silindire bağlı olan tele bir tork (burkulma kuvveti) uygulanmasına yol açar. Alet, viskozitesi bilinen sıvılarla kalibre edilir ve böylece tork'tan viskozite hesaplanır.

3.3. Sıvıların Viskozitesi Üzerine Sıcaklık ve Basınç Etkisi

Çoğu sıvıların viskozitesi, artan sıcaklıkla azalır. Boşluk (hole) teorisine göre, bir sıvı içerisinde boşluklar bulunmaktadır ve moleküller sürekli boşluklara hareket ederler. Bu olay akışa izin verir, fakat bir molekölün bir boşluğa taşınması bir aktivasyon enerjisine ihtiyaç duyduğundan enerji gerektirir. Yüksek sıcaklıklarda, aktivasyon enerjisi daha kolay temin edilebildiğinden, sıcaklık yükseldikçe sıvı daha kolay akar. Viskozitenin sıcaklıkla değişimi, aşığıdaki ifadeye oldukça iyi uyar:

$$\eta = A \exp(E_a / RT) \quad (24)$$

Burada E_a viskoz akışa ait aktivasyon enerjisidir. Bir sıvının akıcılığı da kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi sıcaklıkla üstel bir şekilde değiştiğinden, viskozite ölçümlerinde sıcaklık kontrolüne önem verilmektedir.

Diğer yandan, artan basınçla bir sıvının viskozitesi azalır, çünkü basıncın artırılması sıvı içerisindeki boşluk sayısını azaltır ve bunun sonucu moleküllerin hareketi zorlaşır.

3.4. Gazların Viskozitesi

Bir akışkan içerisinde, farklı hızlarla hareket eden iki paralel plaka arasındaki sürtünme kuvvetinden dolayı, viskozitenin ortaya çıktığını gördük. Gazlara ait viskozite teorisi sıvılarınkinden çok farklıdır. Bu deneyde, bizim asıl konumuz sıvıların viskozitesi ile ilgili olduğundan, gazların viskozitesine çok kısa bir şekilde değineceğiz.

Gazlarda, iki paralel plaka arasındaki sürtünme kuvvetinin doğması, moleküllerin bir plakadan bir diğerine geçmesinin bir sonucudur. Gazların viskozite modelini anlayabilmek için faydalı bir benzetme olarak; Δv kadar farklı hızlarla paralel hatlar üzerinde aynı yönde hareket eden iki treni göz önüne alabiliriz. Yolcuların bu trenden diğerine atlayarak eğlenen garip kişiler olduklarını düşünelim. Hızlı giden trenden yavaş giden trene atlayan bir yolcu yavaş giden trene $m\Delta v$ kadar bir momentum aktarır ve bunun sonucu onun hızını artırıcı bir etki yapar. Bu olayın

aksi olursa, yani yavaş seyreden trenden hızlı seyreden trene bir yolcu atladığında $m\Delta v$ kadar bir momentumu hızlıdan alır ve onu hızını yavaşlatıcı bir etki yapar. Sonuç olarak, trenlerin hızları eşitlenmeye doğru gider ve net etki trenler arasında sanki bir sürtünme varmış gibi kendini gösterir. İşte aynı durum akmakta olan gaz katmanları (veya düzlemleri) arasında söz konusudur. Gazlara ait viskozite ifadesi aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\eta = \frac{(m k T)^{1/2}}{\pi^{3/2} d^2} \quad (25)$$

Teorik olarak türetilmiş olan bu ifade deneysel olarak da doğrulanmıştır. Bu ifadeye göre bir gazın viskozitesi molekül çapına (d), molar kütle (m) ve sıcaklığa (T) bağlıdır. Gazın yoğunluğu ve basıncı gazın viskozitesine etki etmez. Bu durum ilk bakışta şaşırtıcı gibi gözükmemekte ise de, açıklanması zor değildir. Daha yüksek yoğunluklarda, bir tabakadan komşu tabakaya daha çok sayıda molekül atlar, fakat ortalama serbest yol (λ) daha kısa olduğundan her bir atlama daha az momentum aktarımına yol açar. Böylece bu iki etki birbirini yok eder.

Ayrıca Eşitlik 25'den viskozitenin sıcaklığın kareköküyle arttığı görülür. Deneysel olarak da doğrulanmış olan bu tahmin, sıvılardaki durumun tam tersidir. Sıcaklıkla viskozitenin artışı basitçe şöyle açıklayabiliriz: Sıcaklık yükseldikçe bir tabakadan komşu tabakaya daha çok sayıda molekül geçer ve böylece tabakalar arası sürtünme ve de viskozite artar.

3.5. Çözeltilerin Viskozitesi

Temel prensiplere dayalı olarak çözeltilerin viskozitelerinin iyi bir şekilde irdelenmesi zor bir iştir. Bundan dolayı, çözeltilerin viskoziteleri daha ziyade deneysel olarak incelenmektedir. Özellikle, polimer moleküllerinin çözeltilerinin viskoziteleri incelenerek, polimer moleküllerinin büyüklüğü ve şekli hakkında bilgiler elde edilir. Su gibi bir sıvıya bir çözünen eklendiği zaman, genellikle viskozite artar.

3.6. Deneyin Amacı

Bir sıvının değişik sıcaklıklarda viskozite katsayılarını bularak viskozite enerjisini hesaplamak.

3.7. Deneyin Yapılışı

Deney için gerekli alet ve malzemeler; sıcaklık ayarı yapılabilen termostat, Ubbelohde viskozimetresi, kronometre, saf su ve viskozitesi tayin edilecek başka bir sıvı.

Yıkama suyu ile yıkanıp temizlenmiş Ubbelohde viskozimetresine belli hacimde saf su konup 20°C'deki 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'ye geldiği anda durdurulur. Kronometrede ölçülen zaman aralığı, o sıcaklıkta a ve b çizgileri arasında suyun akma süresidir. Termostatın sıcaklığı sırasıyla 25, 35 ve 45°C'ye yükseltilerek her sıcaklıkta a ve b çizgileri arasından akma süreleri ölçülür.

Viskozimetre yıkanıp iyice kurutulduktan sonra saf su için yapılan işlemlerin aynısı viskozite enerjisi bulunacak sıvı içinde yapılır. Daha sonra aşağıdaki tablo düzenlenir.

T(K)				
Suyun akış süresi (t, sn)				
Sıvının akış süresi (t, sn)				
Suyun yoğunluğu (d_0)				
Sıvının yoğunluğu				
Sıvının viskozitesi				
1 / T				
Sıvı için log η				

3.8. Hesaplamalar

-Suyun deney sıcaklıklarındaki yoğunluk ve viskozite değerleri literatürden bulunur.

-Su için bulunan değerler kullanılarak 16 numaralı eşitlik yardımıyla 2. sıvının her bir sıcaklık değeri için viskozitesi hesaplanır.

-Su ve 2. sıvının farklı sıcaklık değerleri için hesaplanan viskozite değerlerinin logaritmaları 18 numaralı eşitlikte gösterildiği gibi $1/T$ değerlerine karşı grafiğe geçirilir. Elde edilen grafiğin eğiminden E değeri, y eksenini kestiği noktadan ise A değeri hesaplanır.

-Yapılan hesaplamalar ve grafiklerden iki farklı sıvının viskoziteleri ve viskozite değerlerinin sıcaklıkla değişimleri yorumlanır.