

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

DENEY NO: 5
SIVILARIN VİSKOZİTESİNİN ÖLÇÜMÜ

DENEYİN YAPILDIĞI TARİH :
RAPORUN VERİLDİĞİ TARİH :

RAPORU SUNAN :
DENEY GRUBU :
DENEY SORUMLUSU :
RAPORU KABUL EDEN :

NOT :

AMM

Bu deneyin amacı, bir akışkanın viskozitesinin "keskin akışta ed-
resli yük kaybı" yöntemi ile belirlenmesidir.

GİRİŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Amaç	1
Giriş	1
Teori	1
Deney Tesisatı	9
Deneyin Yapılışı	10
Ölçüm Değerleri	10
Hesaplama ve Sonuçlar	11
Hata Analizi ve Bulguların Değerlendirilmesi	12
Sonuç	16
Tavsiyeler	16
Kaynaklar	18

Viskozite Kavramı : Akışkanların viskozitelerinin fiziksel olarak tanımlan-
ması için şekil 1,deki akış akışını ele alalım. Durgun bir sıvıya yerleştiril-



Şekil 1.1 Sabit kayma kuvveti uygulamasından doğan dolaşım

yüzeyine bir plaka yerleştirilmiştir. Plakaya sağa doğru bir hareket yapma-
dığımız takdirde bir F kuvveti uygulamanız gerektiği anlaşılır. Bu F kuvveti
ile plaka V_0 sabit hızını koruyarak çok sayıda sıvı ile yapılan deneyler
sonuç göstermiştir ki sıvılar tam bir viskozite katmanında hareket eder.

AMAÇ :

Bu deneyin amacı, bir akışkanın viskozitesinin "Leminer akışta sürekli yük kaybı" metodu ile ölçülmesidir.

GİRİŞ :

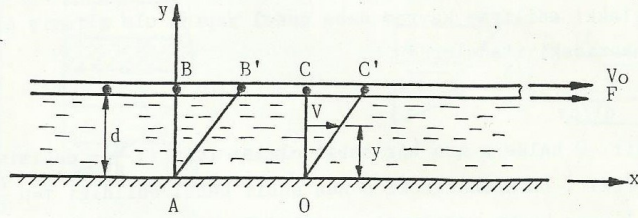
Akışkanların en önemli fiziksel özelliklerinden birisi de viskozite-
tedir. Viskozite yoğunluk ile birlikte hemen hemen her tür akış problemi-
nin çözümü için bilinmesi veya bulunması gerekli ve kütleyle bağlı olmayan
bir büyüklüktür.

Viskozite bir sıvının akışa karşı direncidir. Yani "(1/viskozite)
eşittir akışkanlık" denebilir. Bu haliyle viskozite akışkanın tabakaları
arasında, bu tabakaların hareketine ters yönde bir kuvvet uygular. Bu
durumun sebep olduğu enerji kaybı ölçülebilir büyüklüklerle bir basınç
kayıbı şeklinde kendini gösterir.

Böylesine önemli ve direkt etkileri sebebiyle viskozite akışkanın
mutlaka bilinmesi gerekli bir özelliğidir. Viskozitenin akışın karakterine
ve sıcaklığa göre değişimi ise bu parametreyi önemli hale getiren diğer
sebeplerdir.

TEORİ :

Viskozite Kavramı : Akışkanların viskozitelerini fiziksel olarak tanımla-
mak için Şekil 1. deki akış olayını ele alalım. Durgun bir sıvının serbest



Şekil 1.: Sabit kayma kuvveti uygulanmasından doğan deformasyon.

yüzeyine bir plâka yerleştirelim. Plâkaya sağa doğru bir hareket vermek
istersek belli bir F kuvveti uygulamamız gerektiği anlaşılır. Bu F kuvveti
ile plâka V_0 sabit hızını kazansın. Çok sayıda sıvı ile yapılan deneyler
şunu göstermiştir ki sıvılar temas ettikleri katı yüzeyde o yüzeyin hızı

./..

ile hareket ederler. Dolayısıyla üste plâka yüzeyindeki akışkan zerrelere (veya akışkan) V_0 hızı ile hareket ederken altta sabit zeminde akışkan hareketsizdir; $V=0$. Tabii olarak d derinliği boyunca değişik seviyelerde akışkan değişik hızlara sahip olacaktır.

Araştırmalar uygulanan F kuvvetinin plâka yüzey alanı ile doğru d yüksekliği ile ters orantılı olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla

$$F \sim \frac{AV_0}{d}$$

yazılabilir. $\frac{F}{A}$ yüzey gerilme olarak alınabildiğinden bu ifade

$$\tau \sim \frac{V_0}{d}$$

ile değiştirilebilir. $\frac{V_0}{d} = \frac{1}{s}$ birimindedir, yani açısal hız ifade eder. Meselâ Pa cinsinden bir gerilme elde edebilmek için Pa.s biriminde bir değer ile çarpılmalıdır. Biz μ ile ifade edilebilecek böyle bir sayı ile ifadenin eşitliğe dönüştürülebileceğini düşünelim.

$$\tau = \mu \frac{V_0}{d}$$

Sonsuz küçük dy değerleri için gerilme $\tau = \mu \frac{dV}{dy}$ şeklinde de yazılabilir. Ancak $\frac{dV}{dy}$ nın sabit olması gerekmez. Yani açısal hız y' ye göre değişebilir. O zaman τ bütün akışı değil sadece belli bir y seviyesindeki kayma gerilmesini ifade eder. Dolayısıyla $\frac{dV}{dy}$ salt bir açısal hız yerine tabakaların birbirlerine göre izafi hareketini ifade eden "açısal deformasyon hızı" olarak telakki edilirse kavram daha genel yapıda ele alınmış olur.

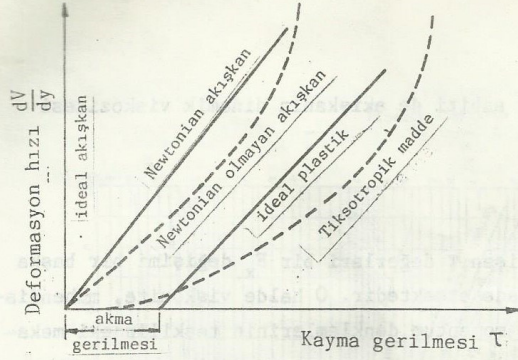
Yukarıdaki ifadelerden

$$\mu = \frac{\tau}{dV/dy}$$

yazılabilir. O halde μ nun bir sabit olması için $\tau = \frac{dV}{dy}$ değişiminin lineer olması gerekir. Bu demektir ki μ 'nun sabit kabul edildiği $\tau = \mu \frac{dV}{dy}$ ifadesi ancak bu lineer kayma gerilmesi-açısal deformasyon hızı bağıntısında geçerlidir. Böyle bir şartı sağlayan akışkanlara Newtonian akışkan denir. Şekil 2. de Newtonian ve Newtonian olmayan akışkanlar için $\tau - \frac{dV}{dy}$ eğrileri verilmiştir.

Akış sırasında farklı hız tabakaları akışkanın viskozitesinden dolayı birbirlerine farklı kayma gerilmesi uygularlar. Şekil 3. de böyle bazı tabakalar şematik olarak gösterilmiş ve birbirlerine uyguladıkları kayma gerilmesi değerleri belirtilmiştir.

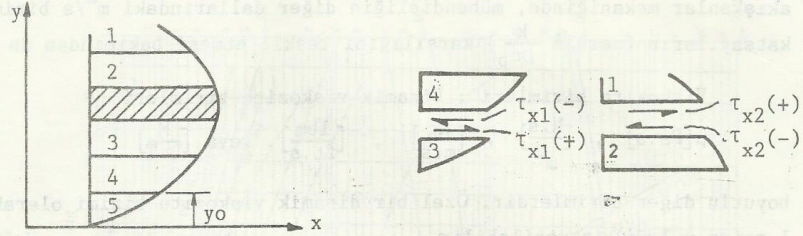
./..



Şekil 2.: Akışkanların reolojik diyagramı

Görüldüğü gibi iki tabakanın temas yüzeyinde birbirlerine uyguladıkları ters yönlü kayma gerilmeleri sözkonusudur. Çünkü şekle göre alttaki hızı az tabaka (5) ortak yüzeyde hızı daha yüksek (4) tabakasının hareketini durdurmak ister. Dolayısıyla (4) tabakasına etki eden kayma kuvveti -x yönündedir. (5) tabakasına ise aynı şiddette fakat +x yönünde bir kayma gerilmesi etki eder. Bu durumda herhangi bir $y=y_0$ seviyesinde genel bir kayma gerilmesi ifadesi kullanılırken,

$$\tau \Big|_{y_0} = \mu \left. \frac{dV}{dy} \right|_{y_0} \quad (1)$$



Şekil 3.: Kayma yüzeyleri ve kayma gerilmesi yönleri.

yazarız. Böylece $\frac{dV}{dy}$ nin (+) olduğu bu noktada (5) yüzeyindeki $+\tau_{x1}$ değerini elde etmek için (+), (4) yüzeyindeki $-\tau_{x1}$ değerini elde etmek için (-) işareti seçeriz. (1) ve (2) elemanları arasında ise $\frac{dV}{dy}$ (-) işaretlidir. (1) elemanı yüzeyinde $+\tau_{x2}$ elde etmek için (+) değeri seçeriz. Yukarıdaki (1) eşitliği Newton'un Viskozite Kanunu olarak bilinir ve işaret uyumu için çoğu defa sadece ifadenin başındaki (-) işareti kullanılır.

./..

Bu ifadeye yer alan μ sabiti de akışkanın dinamik viskozitesi olarak bilinir.

$$F_x = \tau \cdot A = \frac{d(mV_x)}{dt}$$

olduğuna göre, y yönünde değişen τ değerleri bir F_x değişimi bir başka deyişle momentum değişimi ifade etmektedir. O halde viskozite, mühendislik problemlerinde esas olan momentum denklemlerinin teşkilindeki mekanizmaya temel teşkil eder.

Viskozitenin Sıcaklığa Bağlılığı : Akışkanların viskoziteleri sıcaklığa son derece bağlıdır. Sıvıların viskoziteleri sıcaklıkla orantılı olarak azalır, gazlarınki ise artar. Bu, sıvıların sıcaklığı arttıkça daha akışkan olmaları demektir, Şekil 4. O halde deney esnasında akışkanın sıcaklığının sabit kalması, deneyin gerçekçiliği açısından son derece önemlidir.

Kinematik Viskozite : Mühendislik problemlerinde, özellikle akışkanlar mekaniğinde bir çok defa karşımıza anlamlı bir sayı olarak çıkan kinematik viskozitedir. Kinematik viskozite

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

(2)

ifadesi ile verilir; burada ρ akışkanın yoğunluğudur. Kinematik viskozite akışkanlar mekaniğinde, mühendisliğin diğer dallarındaki m^2/s birimli katsayıların (meselâ $\frac{k}{\rho c_p}$) karşılığını teşkil etmesi bakımından da önemlidir.

Viskozite birimleri : Dinamik viskozite birimleri

$$\mu [\text{Pa}\cdot\text{s}], \left[\frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}\right], \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}\right], \left[\frac{\text{lbm}}{\text{ft}\cdot\text{s}}\right], \text{veya } \left[\frac{\text{M}}{\text{L}\cdot\text{T}}\right]$$

boyutlu diğer birimlerdir. Özel bir dinamik viskozite birimi olarak

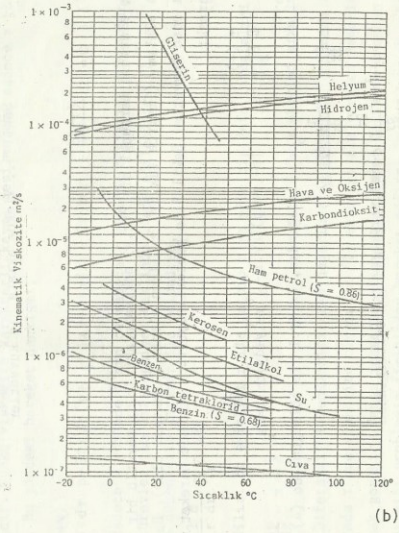
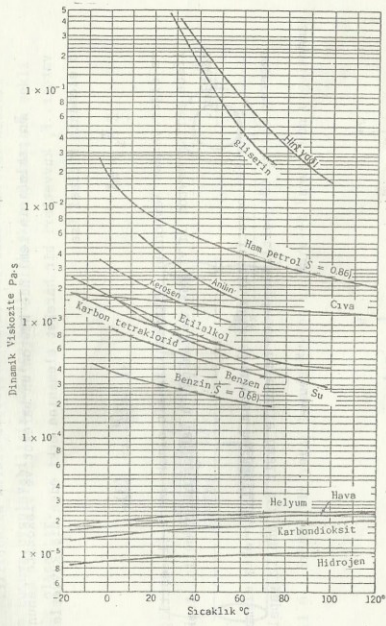
$$1 \text{ poise} = 1 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2} \cdot \text{s} \text{ verilebilir.}$$

Kinematik viskozite için

$$\nu \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right] \text{ veya diğer } \left[\frac{\text{L}^2}{\text{T}}\right] \text{ boyutlu birimlerdir.}$$

$$\text{Özel olarak } 1 \text{ Stokes (St)} = \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}}\right] \quad 1 \text{ centistokes [cSt]} = 10^{-2} \text{St} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}.$$

Leminer Akışta Sürekli Basınç Kaybı : Mademki viskozite akışın fiziksel karakteri üzerinde çok müessir bir faktördür, o halde böyle fiziksel tanımı ve sınırları belli bir akış olayından hareketle ve bazı ölçümler ile viskozite bulunabilir. Sözgelimi giriş kısmında bahsedilen sürtünmeler-



Şekil 4. (a) Dinamik , (b) Kinematik viskozitenin sıcaklıkla değişimi.

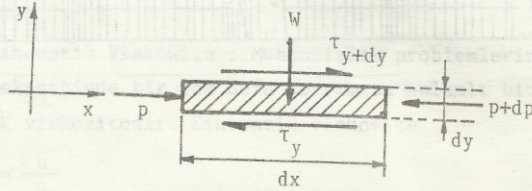
den dolayı olan basınç kaybı hareket noktası olarak alınabilir.

Bu yaklaşımın temlinde Newton'un hareket ve viskozite kanunları vardır. F_i kuvvetleri bir hareket elemanına etki eden dış kuvvetler, m o elemanın kütlesi ise

$$\sum \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (3)$$

ve diğer yandan Newtonian akışkanlara ait olmak üzere (1) eşitliği ile ifade edilen Newton'un viskozite kanunu bu yaklaşımın temelini teşkil ederler.

Şimde iki boyutlu bir akış alanından herhangi bir akış elemanı seçerek (1) ve (3) eşitliklerinden hareketle basit bir analiz yapalım.



Şekil 5.: Viskoz akışta dış kuvvetler

Akış alanında herhangi bir $P(x,y)$ noktasındaki dx,dy boyutlu bir akış elemanı alalım. (limitte $(dx,dy) \rightarrow 0$ iken eleman P noktası olur). Bu elemana etki eden kuvvetler Şekil 5.de gösterilmiştir. x yönünde hareket denklemini yazarsak;

$$\rightarrow (+) \quad \sum F_x = m a_x \quad |p-(p+dp)|dy \cdot 1 - |\tau_y - \tau_{y+dy}|dx \cdot 1 = m a_x \quad (4)$$

Daimi akış halinde $a_x = 0$ olduğundan, $dx \cdot dy \cdot 1$ ile böldüğümüzde (4) eşitliği

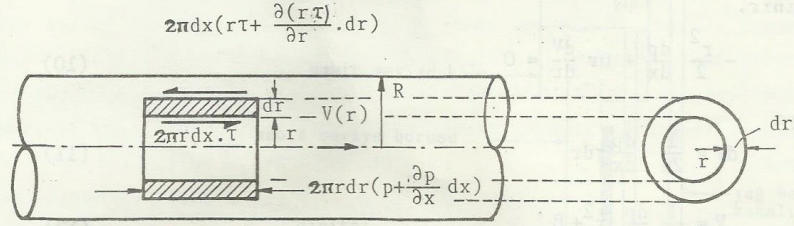
$$-\frac{dp}{dx} - \frac{\tau_y - \tau_{y+dy}}{dy} = 0 \quad (5)$$

$$\tau_{y+dy} = \tau_y + \frac{\partial \tau}{\partial y} dy = \text{olduğundan (5) eşitliğinden}$$

$$-\frac{dp}{dx} + \frac{d\tau}{dy} = 0 \quad (6)$$

./..

Analiz şeklini ortaya koyduktan sonra, bunu dairesel kesitli yatay boruya uygulayabiliriz. Sadece seçilen akışkan elemanın şekli farklı olacaktır.



Şekil 6.: Silindirik yatay boruda Newton'un Hareket Kanunu'nun uygulanması.

Şekil 6. da verilen dairesel bir akışkan elemanına etki eden bütün yatay kuvvetler gösterilmiştir. Sadece bu kuvvetlerin analizi bizim için yeterlidir. Çünkü viskozite karakterli kayma gerilmeleri sadece x yönünde vardır. Bu yöndeki hareket denklemi,

$$\begin{aligned} & (+x) \\ & 2\pi r dr p - 2\pi r dr \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx\right) + 2\pi r dx \tau - 2\pi dx \left(r\tau + \frac{\partial(r\tau)}{\partial r} dr\right) = 0 \quad (7) \end{aligned}$$

p 'nin sadece x yönünde τ 'nin de sadece y yönünde değiştiği düşünülürse kısmi türevler tam diferansiyel şeklinde ifade edilebilir. (7) eşitliği yeniden düzenlenip $2\pi r dx dr$ ile bölünürse,

$$-\frac{dp}{dx} - \frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r\tau) = 0 \quad (8)$$

elde edilir. Bu eşitliği r ile çarpıp r 'ye göre bir defa integralini alırsak,

$$-\frac{r^2}{2} \frac{dp}{dx} - r\tau = A \quad (9)$$

Diferansiyel denklemimiz $r=0$ değerinde de geçerli olduğundan $A=0$ dır. Bu noktada τ 'nin viskozite cinsinden (1) eşitliği ile verilen değerini yerine koymak gerekir. Hangi işaretin alınacağına karar verirken önceden işaret edildiği gibi problemin fiziğinden hareket edilir. $2\pi r dx \tau$ kuvvet vektörü $+x$ yönündedir. O halde τ (+) işaretlidir. Halbuki borularda hız merkezden

./..

duvara doğru azalır. Yani $\frac{dV}{dr}$ (-) işaretlidir. Negatif hız gradyanından pozitif τ elde etmek için (1) eşitliğinde (-) işaret seçilir, yani :

$$\tau = -\mu \frac{dV}{dr}$$

alınır.

$$-\frac{r^2}{2} \frac{dp}{dx} + \mu r \frac{dV}{dr} = 0 \quad (10)$$

veya

$$dV = \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} r dr \quad (11)$$

$$V = \frac{1}{4\mu} \frac{dp}{dx} r^2 + B \quad (12)$$

$r = R$ de $V = 0$ olacağından

$$V = -\frac{R^2 - r^2}{4\mu} \frac{dp}{dx} \quad (13)$$

elde edilir. $r=0$ da $V = V_{\max}$

$$V_{\max} = -\frac{R^2}{4\mu} \frac{dp}{dx} \quad (14)$$

Diğer yandan parabolik hız profilleri için avaraj hız $V_{av} = \frac{1}{2} V_{\max}$ olduğundan, Q debisi

$$Q = \pi R^2 \cdot \frac{1}{2} \left(-\frac{R^2}{4\mu} \frac{dp}{dx} \right) = \int_0^R 2\pi r V dr \quad (15)$$

şeklinde yazılabilir. Basınç düşüşü x doğrultusundaki L mesafesinde olduğundan $\frac{dp}{dx} = \frac{\Delta p}{L}$ olarak alınınca

$$Q = \frac{\Delta p \cdot \pi R^4}{8\mu L}$$

veya $D = 2R$ alınarak

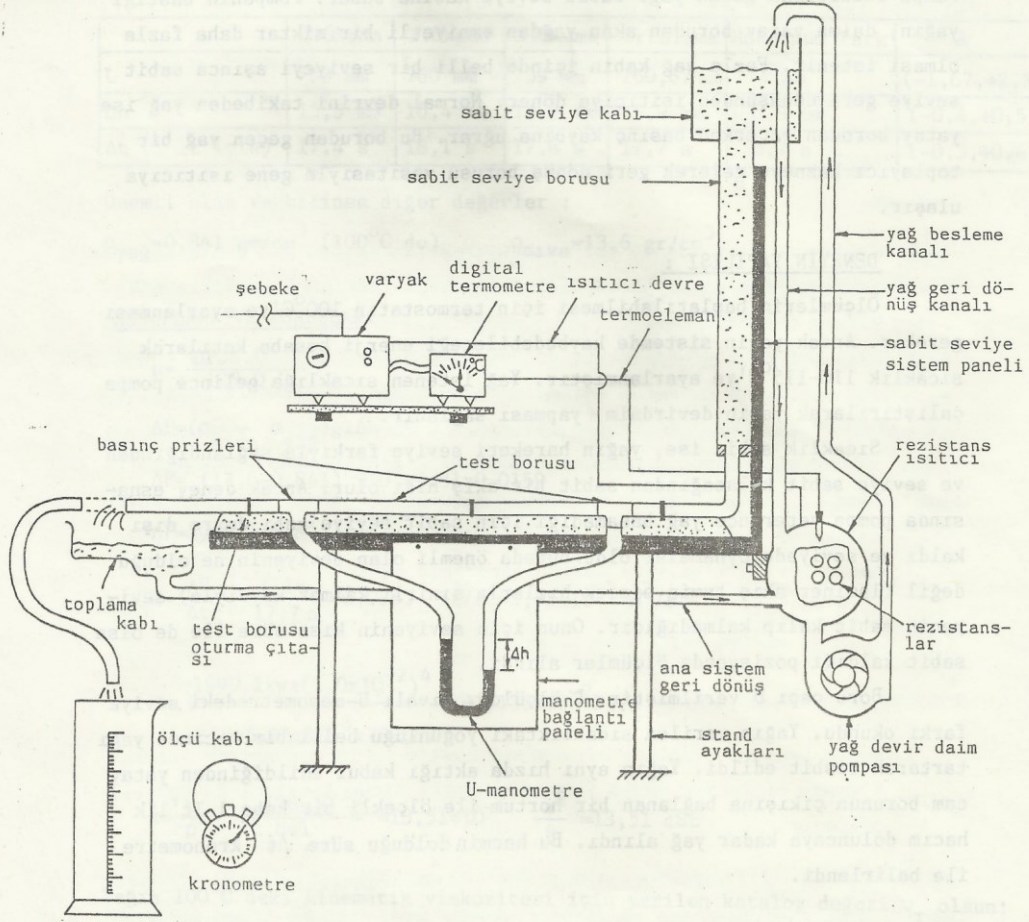
$$\mu = \frac{\Delta p \pi D^4}{128QL} \quad (16)$$

eşitliği elde edilir. Böylece ölçülebilecek P, D, Q ve L büyüklükleri cinsinden viskozite bulunabilir. Baştan itibaren, bu teoremin geçerli olması için gerekli şartları yeniden hatırlatalım :

- i. akışkan Newtonian akışkan olmalı.
- ii. akış laminar ve daimi olmalı.
- iii. akış paralel (yatay) olmalı.
- IV. akışkanın sıcaklığı sabit kalmalıdır.

./..

DENEY TESİSATI



Şekil 7 : DeneY tesisatının komple şematik görünümü.

Sistemin çalışması : Şebeke ceryanı ile çalışan rezistanslar ısıtıcı tankın içindeki yağı ısıtır. İstenen sıcaklığa ayarlanan (deneyde 100°C) termik şalter o sıcaklığa gelindiğinde devreyi kapar ve enerji kesilir. Pompa ısıtıcıdan gelen yağı sabit seviye kabına basar. Pompanın bastığı yağın, daima yatay borudan akan yağdan emniyetli bir miktar daha fazla olması istenir. Fazla yağ kabın içinde belli bir seviyeyi aşınca sabit seviye geri dönüşünden ısıtıcıya döner. Normal devrini takibeden yağ ise yatay borudan geçerken basınç kaybına uğrar. Bu borudan geçen yağ bir toplayıcı hazneye gelerek geri dönüş borusu vasıtasıyla gene ısıtıcıya ulaşır.

DENEYİN YAPILIŞI :

Ölçümlerin başlatılabilmesi için termostatın 100°C'ye ayarlanması gerekir. Ancak yağın sistemde kaybedebileceği enerji hesaba katılarak sıcaklık 110-115°C'ye ayarlanmıştır. Yağ istenen sıcaklığa gelince pompa çalıştırılarak yağın devirdaim yapması sağlanır.

Sıcaklık sabit ise, yağın hareketi seviye farkıyla sağlandığından ve seviye sabit kalacağından sabit bir akış hızı olur. Ancak deney esnasında pompa yeterince yağ basmadığı için sabit seviye kabı devre dışı kaldı ve seviyede oynamalar oldu. Burada önemli olan seviyenin ne olduğu değil (laminer akış temin edecek hızlarla sınırlı kalmak kaydıyla) seviyenin sabit kalıp kalmadığıdır. Onun için seviyenin kısa süre ile de olsa sabit kaldığı pozisyonda ölçümler alındı.

Boru çapı D verilmiştir. L ölçüldü. Cıvalı U-manometredeki seviye farkı okundu. Yağın verilen sıcaklıktaki yoğunluğu belli bir hacimde yağı tartarak tesbit edildi. Yağın aynı hızda aktığı kabul edildiğinden yatay cam borunun çıkışına bağlanan bir hortum ile ölçekli bir kaba 1 lt'lik hacim doluncaya kadar yağ alındı. Bu hacmin dolduğu süre Δt kronometre ile belirlendi.

ÖLÇÜM DEĞERLERİ :

Ölçüm ve hesaplamalarda;

L : Basınç prizleri arasındaki mesafe,

D : yatay cam borunun çapı,

T : yağın sıcaklığı (100°C)

ifade edeceklerdir. Deneylerde Shell Tellus 68 yağı kullanılmıştır.

Deney esnasında D=10 mm olarak verilmiş, L mesafesi ile Δh yüksekliği ve belli bir hacmin yağ ile doldurulduğu zaman dilimi Δt üçer defa

./..

okunmuştur. Okunan değerler, ortalamalar ve sapmalar Tablo 1'de verilmiştir.

TABLO 1: Deneyde ölçülen değerler.

	1.Okuma	2.Okuma	3.Okuma	Ortalama	Maksimum fark	Δ
L	763 mm	760 mm	759 mm	760,67 mm	4 mm	(-1,67,+2,33)
Δh	15,5 mm	16,4 mm	15,8 mm	15,9 mm	0,9 mm	(-0,4,+0,5)
Δt (1 lt için)	17,4 s	18,1 s	17,6 s	17,7 s	0,7 s	(-0,3,+0,4)

Önemli olan ve bilinen diğer değerler :

$$\rho_{\text{yağ}} = 0,841 \text{ gr/cm}^3 \text{ (100}^\circ\text{C de)} \quad \rho_{\text{cıva}} = 13,6 \text{ gr/cm}^3$$

HESAPLAMA VE SONUÇLAR:

$$\mu = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot D^4}{128 \cdot Q \cdot L}$$

$$\Delta P = (\rho_{\text{cıva}} - \rho_{\text{yağ}}) g \cdot \Delta h$$

$$\Delta P = (13,6 - 0,841) \times 10^3 \times 9,81 \times 0,0159$$

$$\Delta P = 1990,1 \text{ N/m}^2$$

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{1 \text{ lt}}{17,7 \text{ s}} = 0,0565 \text{ lt/s} = 5,65 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\mu = \frac{1990,1 \times \pi \times (1,0 \times 10^{-2})^4}{128 \times 5,65 \times 10^{-5} \times 760,67} = 1,136 \times 10^{-2} \text{ Pa.s}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1,136 \times 10^{-2}}{841} = 13,51 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 13,51 \text{ cSt}$$

Yağın 100°C deki kinematik viskozitesi için verilen katalog değeri ν_T olsun;

$$\nu_T = 8,8 \text{ cSt}$$

$$\% \text{ Hata} = \frac{\nu_T - \nu}{\nu_T} \times 100 = \frac{8,8 - 13,51}{8,8} = \% 53,5$$

(Not : Hatanın tanımında $|\frac{\Delta x}{x}| \times 100$ genel ifadesinde paydadaki x'in hangi x değeri olarak alınacağı kesin değildir. Genellikle -ister teorik ister deneysel olanı olsun- büyük x değeri alınır. Araştırmacı problemin özelliği ve önemine göre küçük olanını da seçebilir. Burada doğru olduğu kabul

./..

edilen v_T değerine kıyasla hatanın ne olacağı önemli addedildiğinden paydada küçük olan değer alınmıştır.)

HATANIN ANALİZİ VE BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ :

Deneyin yapılması esnasında göze batan aksaklıkların birer hata kaynağı olması tabiidir. Ayrıca yapılan her ölçümden bir hata payı da gelecektir. Dolayısıyla öncelikle bu kaynakların belirtilmesi uygun olacaktır. Deney sırasında başlıca şu aksaklıklar ve hata sebepleri not edilmiştir:

1. Yağın sıcaklığı sabit kalmamakta, yağ ısıtıcıdan 100°C nin üstünde ayrılrsa bile ölçüme esas olan akış bölgesinde bu sıcaklığın çok altına düşmektedir.
2. Akış daimi kabul edilmekte dolayısıyla kab-kronometre klasik metodu ile sabit olduğu kabul edilen debi bulunmaktadır. Ancak debi sabit olmasa bile biz bunu böyle bir ölçümle farkedemeyiz, çünkü toplam zamana bölünmekte fakat anlık değişim kaydedilmemektedir. Halbuki eğer böyle bir değişim var ise U-manometrede okuma yaptığımız esnadaki Δh değeri geçici olabilir; dolayısıyla sonucu etkiler. O halde seviye kabı veya seviye borusunda seviyenin sabit kalmaması hata kaynağı olmaktadır. Çünkü daimilik teoremin şartıdır ve bunun için de seviye sabit olmalıdır.

Deneyin gerçekleşmesindeki bu aksaklıkların yanısıra ;

3. Debi, basıncı prizleri arasındaki mesafe ve Δh manometrik yüksekliğinin ölçümünde insan faktörüne bağlı ölçüm hataları da gelebilmektedir.

$\rho_{\text{yağ}} / \rho_{\text{cıva}}$ yoğunluk oranı çok düşük olduğundan yağ yoğunluğunun tesbit edilmesinde yapılabilecek bir hata dikkate alınmayacaktır. Keza kullanılan 10 mm lik cam boru sanai tipi cam olup mükemmel yakın imal edildiği kabul edilmiştir. Cam borunun tam yatay olmama ihtimalinden doğacak yağ yüksekliği farkı Δh ölçümündeki hatanın içinde mütalâ edilecektir.

Böylelikle teori kısmının sonunda belirtilen şartlardan sadece laminer akış olma şartının kontrolü kalmaktadır. Hata analizine geçmeden önce akışın laminer olması konusunda basit bir kontrol yapmak doğru olacaktır.

./..

Borularda $Re < 2000$ ise akış laminerdir. Re sayısının bilinmesi için viskozitenin bilinmesi gerekir. Halbuki bu deneyin amacı odur. Onun için yapılacak şey katalog değerini esas alarak Re sayısının seviyesi hakkında bir bilgi sahibi olmaktır.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu_{\tau}} = \frac{(Q/\pi D^2/4) \cdot D}{\nu_{\tau}} = \frac{4Q}{\pi D \nu_{\tau}}$$

$$Re = \frac{4 \times 0.0565 \cdot 10^{-3}}{\pi \times 10^{-2} \times 8.8 \times 10^{-6}} = 817.53$$

Re değerinin 2000 olması için (yaklaşık 2,5 kat daha fazla) viskozite değerinin çok daha küçük olması lazım gelir. Deney esnasında viskozitede hataya sebep olacak en önemli faktör sıcaklık farkıdır. Çünkü viskozite sıcaklığa şiddetle bağlıdır. Ancak deneyde sıcaklık hedefin altına düşmekte, dolayısıyla viskozite değeri yükselmektedir. O halde gerçekte Re sayısının 817.53 dan daha büyük olması mümkün değildir (eğer ki katalog değerinde % 250'lik (!) bir hata yoksa). O halde akışımızın laminar olduğundan emin olarak hata analizine geçebiliriz.

% 53.5'lik hata üzerinde en büyük etkisi olabilecek sıcaklık değişimine değinmeden diğer ikinci derece faktörlerin ne derece etkili olabileceğine bakalım. Hata analizi teorisinde

$\mu = \mu(\Delta P, D, L, Q)$ ise, $\Delta P, D, L, Q$ bağımsız değişkenlerinin sebep olabileceği maksimum hata ;

$$(\Delta \mu)_{\max} = \left| \frac{\partial \mu}{\partial (\Delta P)} \Delta (\Delta P) \right| + \left| \frac{\partial \mu}{\partial D} \Delta D \right| + \left| \frac{\partial \mu}{\partial L} \Delta L \right| + \left| \frac{\partial \mu}{\partial Q} \Delta Q \right|$$

şeklinde verilir. D değerini mükemmel yakın kabul ettiğimizden ΔD ihmal edilecek kadar küçük alınıp ikinci terim düşürülebilir. Diğer terimler şöyle hesaplanabilir ;

$$\mu = \frac{(0.01 \text{ cıva} - 0.0008 \text{ yağ}) \cdot g \cdot \Delta h \cdot \pi \cdot D^4}{128 \cdot \left(\frac{\Delta W}{\Delta t} \right) \cdot L}$$

ifadesinde Δh , L ve Q haricindeki çarpanların hataya sebep olmadıkları kabul edildiğinden, bu çarpanlar ortak bir çarpan olarak alınabilirler.

Böylece ;

$$\mu = C \cdot \frac{\Delta h \cdot \Delta t}{L}$$

yazabiliriz. (Q'deki hatanın sadece Δt den kaynaklandığı düşünülmemektedir.)

$$C = \frac{(\rho_{c1va} - \rho_{yağ}) \cdot g \cdot \pi D^4}{128 \cdot \Delta V} = \frac{(13,6 - 0,841) \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot \pi \cdot (1,0 \cdot 10^{-2})^4}{128 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}$$

$$C = 3,072028 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}^2$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial (\Delta h)} = C \cdot \frac{\Delta t}{L} = \frac{3,072028 \cdot 10^{-2} \cdot 17,7}{760,67 \cdot 10^{-3}} = 0,7149$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial L} = -C \cdot \frac{\Delta h \cdot \Delta t}{L^2} = -\frac{3,072028 \cdot 10^{-2} \cdot 17,7}{(760,67 \cdot 10^{-3})^2} = -0,01494$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial (\Delta t)} = C \cdot \frac{\Delta h \cdot 1}{L} = \frac{3,072028 \cdot 10^{-2} \cdot 0,0159}{760,67 \cdot 10^{-3}} = +0,00064$$

Bu değerler bağımsız değişkenlerin Δ değerleri ile çarpılırken (-) ve (+) değerlerden hangisinin seçileceği bilinmelidir. Eğer (-) ve (+) yöndeki sapmalar aynı mutlak değerde olsa ($L = \pm 2,33 \text{ mm}$ gibi) o zaman çarpımların mutlak değerlerini alıp toplamak kafi gelirdi. Halbuki burada mutlak değerler farklı olduğundan ($\Delta L = -1,67, +2,33$) üç çift sayı içerisinde öylelerini seçmek lazım ki yukarıdaki türev değerleri ile çarpılıp toplandıklarında, toplam maksimum olsun (türevlerin işaretlerine de dikkat etmek gerekir).

$$\Delta \mu = (0,7149) \cdot \left(\begin{matrix} -1,67 \cdot 10^{-3} \\ \text{veya} \\ 2,33 \cdot 10^{-3} \end{matrix} \right) + (-0,01494) \cdot \left(\begin{matrix} -0,4 \cdot 10^{-3} \\ \text{veya} \\ 0,5 \cdot 10^{-3} \end{matrix} \right) + (0,00064) \cdot \left(\begin{matrix} -0,3 \\ \text{veya} \\ 0,4 \end{matrix} \right)$$

$$\Delta \mu = \left(\begin{matrix} -1,1939 \cdot 10^{-3} \\ +1,6657 \cdot 10^{-3} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} +0,005980 \cdot 10^{-3} \\ -0,00747 \cdot 10^{-3} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} -0,192 \cdot 10^{-3} \\ +0,256 \cdot 10^{-3} \end{matrix} \right)$$

$\rho = 841 \text{ kg/m}^3$ ile bölünüp cSt cinsinden ifade edilecek olursa kinematik viskozite için

$$\Delta \nu = \left(\begin{matrix} -1,4200 \\ +1,9806 \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} +0,00711 \\ -0,00888 \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} -0,2283 \\ +0,3040 \end{matrix} \right)$$

./..

Buradan anlaşılacağı gibi ölçüm esnasındaki hatalar içerisinde en büyük pay Δh manometrik yüksekliğine düşmektedir. Sadece buradaki bir ölçüm hatası

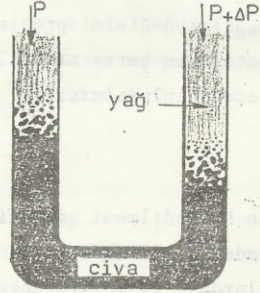
$$(\% \text{ Hata})_{\Delta h} = \frac{(\Delta v)_{\Delta h}}{v_T} \times 100 = \frac{1,9806}{8,8} \times 100 = \% 22,5$$

civarında olabilmektedir. Maksimum hata ise (+) ve (-) terimlerin toplanması ile ilgili toplam sekiz alternatiften en büyük mutlak değer

$$(\Delta v)_{\text{max}} = +1,9806 + 0,00711 + 0,3040 = 2,2917 \text{ cSt.}$$

olarak hesaplanır. Bulunan bu değer % 53,5'lik hatanın $\frac{2,2917}{8,8} \times 100 = \% 26$ 'lık bir kısmının okuma hatalarından gelebileceğini gösterir.

Δh yüksekliğinin okunmasından meydana gelen hata deney sırasında yağ fazı - civa fazı arasındaki ayrımın net olmamasının çok önemli olduğunu gösterir. Şekil 8. de belirtilmeye çalışıldığı gibi yağ-civa ayrım yüzeyi net olmayıp civada civa tarafından itibaren büyüktür



Şekil 8: Fazların temas noktasındaki bozulma.

küçüğe bir küreleşme (topaklaşma) olmaktadır. Dolayısıyla seviye farkı tam net okunamamaktadır. Bu topaklaşmanın fiziki karakteri bilinmediğinden tam seviye hakkında bir tahmin yapmak da zordur. Esasen civa sıcaklıkla orantılı olarak genleşme özelliğine sahip olduğundan (civalı termometreleri hatırlayınız) sıcaklığı 60-100°C mertebelerinde olan bir sıvı ile temas ettiğinden böyle bir fiziki bozulma tabiidir. Ancak telafisi zor olduğundan bu tip bir faz temasından kaçınmak gerekir. (bkz.Tavsiyeler)

Şimdi esas hata kaynağı sıcaklık farkına dönelim. Bunun için yağın viskozitesinin sıcaklığa bağlılığı bilinmelidir. Deneyin amacı zaten viskoziteyi bulmak olduğundan, bu değerlendirmeye literatürde makina yağına en yakın sıvıyı alarak başlayacağız. Şekil 4. de verilen eğrilerden kullandığımız Shell Tellus 68 en yakın olabilecek olan ham petrol (crude oil) olabilir.

Alacağımız sıcaklık değerleri 100°C ile yağın ölçüm bölgesi civarındaki (basınç prizleri arasındaki) sıcaklık değerleridir. Bu değerleri

./..

bilemiyoruz. Ancak yağın boru çıkışında 60-65°C civarına olduğu görüldü. Dolayısıyla 65-70°C civarında bir değer alabiliriz. Bu iki sıcaklık değeri civarında ham petrolün dinamik viskozite değerleri Şekil 4 ten $2,5 \times 10^{-2}$ ve $3,6 \times 10^{-2}$ Pa.s, kinematik viskozite değerleri ise $3,3 \times 10^{-5}$ ve $4,35 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$ olarak okunur. Değişme oranı dinamik viskozitede % 44 kinematik viskozitede ise % 30,3 dür. Görüldüğü gibi sıcaklık değişimine karşılık gelen değişim fevkaleda önemlidir. Okuma hatalarından gelebilecek maksimum hata ile birlikte toplam % 56,3 lük bir hatanın mümkün olabileceği anlaşılmaktadır. Fakat okuma hatasının maksimum değerinde gerçekleşme ihtimalinin düşük olacağı düşünülürse bulunan %53,5 lik deneysel hata gene de küçük bir hata sayılamaz. Yalnız teorik değeri aldığımız yağ katalogunda da belli bir sıcaklık değerine karşılık verilen viskozitenin önemli bir değer bandında değiştiği görülmektedir. Meselâ 40°C de kullandığımız yağın kinematik viskozitesi 61,2 - 74,8 cSt aralığında verilmiştir.

SONUÇ :

Netice olarak bu sistemle özellikle sıcaklık değişimi probleminin giderilmesi ve ölçümlerdeki giderilebilecek hataların bertaraf edilmesiyile sıhhatli bir viskozite ölçümünün yapılabileceği anlaşılmıştır.

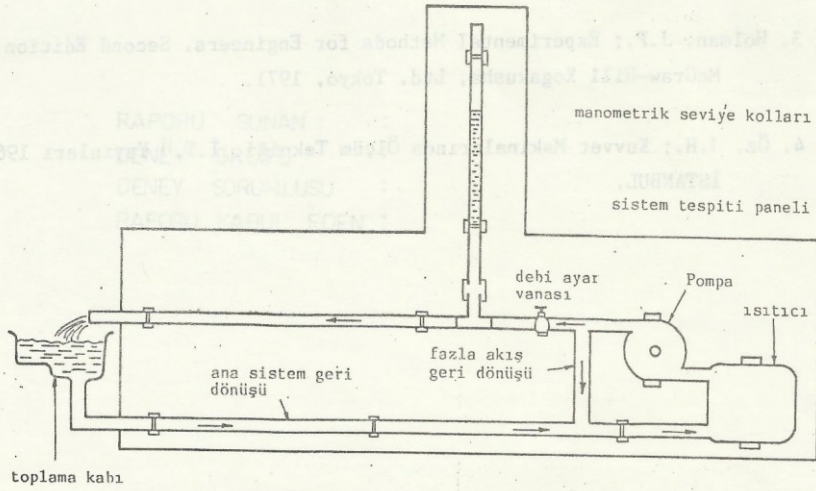
TAVSİYELER :

1. Sıcaklık değişimi probleminin öncelikle halledilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Eğer yağın 100°C ye kadar ısıtılması kullanılan yağın sıcaklığının atmosferik sıcaklıklardaki viskozite değerinin bilinmemesinden ise bu sıcaklıklardaki viskozitesi bilinen başka bir akışkan seçilebilir. Kaldı ki aynı katalogda kullanılan yağın 40°C deki viskozite değeri de verilmiştir. O zaman neden daha az ısı ve dolayısıyla sıcaklık düşüşü verebilecek olan 40°C şartlarında çalışılmadığı sorulabilir.
2. Eğer 100°C de çalışmak mutlaka gerekli ise o zaman basınç pirizlerine kadar olan yağ hareket yolunun mümkün merteye kısa olması arzu edilir. Böylece ısı kaybı önlenir. Yağın sabit seviye sisteminden ve kendi cazibesi ile akıtılması pompa debisinin yüksek veya değişken olmasından ise, öncelikle bu özür bertaraf edilerek pek fazla ısı kaybına sebep olan sabit seviye sistemi borularından kurtulunur.

- a) Pompa devri sabit ise debinin değişmesi yağın pompaya farklı sıcaklıklarda gelmesinden olabilir. O halde yağ belli bir sıcaklıkta rejime geldikten sonra pompa çalıştırılmalıdır.
- b) Pompa devri ve sıcaklık sabit olduğu halde debi çok yüksek ise pompa çıkışında bir valf ve bir geri dönüş borusu kullanılarak debi istenen değere ayarlanabilir.
- c) Pompa devri sabit değilse bu ancak şebekedeki voltaj farklılıklarından olabilir. O zaman bir varyak kullanılmak suretiyle bu problem halledilir.

Her halikarda sabit seviye ile ilgili kısmı donanımdan söküp pompayı yakın bir mesafeden direkt cam boruya bağlamak ve debiyi istenen değere ayarlamak hatanın çok önemli bir yüzdesini ortadan kaldıracaktır.

3. Civalı U-manometre tamamen devre dışı bırakılabilir. Şöyleki ; basınç prizlerinden alınan çıkışlar silikon hortumlarla düşey doğrultuda yukarıya uzatılır ve uçlarına, diğer uçları atmosfere açık cam borular geçirilir. Böylece manometre olarak atmosfere açık ve sıvısı deney sıvısından ibaret (yağ) olan bir düzen kullanılır.



Şekil 9: Tavsiye edilen deney düzeneđi.

Bu şekilde cıvanın fiziki yapısında meydana gelen topaklaşmadan doğan hata bertaraf edilebileceği gibi, yağın yoğunluğunun daha az olması sebebiyle de seviye farkı daha çok ve dolayısıyla okuma daha hassas olacaktır. Böylece daha önce de tavsiye edilen sabit debi, donanımı (valf, geri dönüş) ile birlikte Şekil 9. daki gibi bir deney düzeni tavsiye edilir nitelikte görülmektedir.

4. ΔQ debi okuma hatasının minimuma indirilmesi için zaman uzun ve dolayısıyla akıtılan yağ miktarı mümkün mertebe fazla olmalıdır. Yağ istenen seviyeye geldiğinde de akışın bir düğme ile kontrol edilen yaylı bir tapa ile çok ani kesilmeside zor da olsa, tavsiyeye değerdir.

KAYNAKLAR :

1. Streeter, V.L. ve Wylie, E.B.; Fluid Mechanics. First SI Metric Edition, McGraw Hill International Book Company, 1983.
2. Massey, B.S.; Mechanics of Fluids. 3 rd Edition, Van Nostrand Reinhold Company, London, 1975.
3. Holman, J.P.; Experimental Methods for Engineers. Second Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo, 1971.
4. Öz, I.H.; Kuvvet Makinalarında Ölçüm Tekniği. İ.T.Ü Yayınları 1965, İSTANBUL.

