

1. AKIŞKANLARIN TEMEL ÖZELLİKLERİ

1.1. Giriş

Akışkanlar mekaniği durgun ve hareket halindeki gazların ve sıvıların davranışlarını inceleyen, uygulamalı bilim dalıdır. Vücudumuzdaki kan damarlarından petrol boru hatlarına kadar geniş bir alanı kapsar. Akışkanın bulunduğu her yerde akışkanlar mekaniği vardır. Akışkanlar bilindiği gibi gaz ve sıvılardan oluşmaktadır. Akışkan, kuvvet (kayma gerilmesi) uygulandığında sürekli deformasyona uğrayan bir maddedir. Akışkanlar mekaniği genel olarak; *a) Akışkan statikliği*, *b) Akışkan dinamiği*, *c) Akışkan kinematiği* bölümlerinden oluşur. Akışkan statikliği, akışkanların hareketsiz durumdaki mekaniğiyle ilgilenir. Denge koşullarını ve denge halindeki hareketsiz akışkanlara etki eden kuvvetleri ele alır. Akışkanların hızları ve akım çizgileriyle ilgilenen bölüm ise akışkan kinematiğidir. Akışkan dinamiğinde akışkanların hızları ve ivmeleri arasındaki ilişkiler ve hareket halindeki akışkanların üzerine gelen kuvvetler incelenir. Akışkanlar mekaniğinin sıvılarla ilgilenen bölümü teorik ve deneysel olmak üzere iki kısımda incelenir. Akışkanlar mekaniğinin sıvılarla ilgilenen deneysel kısmına hidrolik adı verilir. Hidrolik, akışkanlar mekaniğinin sıkıştırılmayan akışkanlara (sıvılar) ait deneysel esaslara dayalı teknikteki uygulaması ya da durgun ve hareket halinde bulunan sıvıların hareketlerini ve bunların ilgili tesislerle olan karşılıklı ilişkilerini inceleyen bilim dalıdır.

1.2. Boyutlar ve Birimler

Boyut fiziksel bir değişkeni miktar olarak ifade eden bir ölçüdür. Yani boyut sayısal değer olmaksızın fiziksel miktarın ölçüsüdür Birim ise boyut miktarına bir sayı iliştiirmenin özel bir yoludur ya da boyutu sayı ile ifade etme yoludur. Örneğin kütle bir boyut iken kg birimdir. Boyut "Boyut Analizi" gibi tekniğe büyük katkıları olan bir yaklaşım yönteminin geliştirilmesini sağlayan kavramdır. Birimler ise büyüklüklere ya da boyutlara anlam kazandırırılar. Yedi temel boyut vardır. Bunlar kütle, uzunluk, zaman, sıcaklık, elektrik akımı, ışık miktarı ve madde miktarıdır. Akışkanlar mekaniğinde ise tüm boyutlar 4 asal boyuttan türetilmiştir. Bunlar; kütle (M), uzunluk (L), zaman (T) ve sıcaklık (θ)'dır. Sıcaklığı sabit alırsak asal boyutlar üçe iner. Elektromanyetik etkilerin önemli olduğu bazı akışkanlar mekaniği problemlerinde asal boyut sayısını elektrik akımı olan I'yı da ilave ederek beşe çıkarmak olanaklıdır. Ancak akışkanlar mekaniği dersinde sıcaklık sabit kabul edilerek, üç asal boyut kullanılacaktır.

MLT ve FLT olmak üzere iki boyut sistemi vardır (Edis 1972, Bar-Meir 2011). MLT sisteminde temel boyut kütle (M), FLT sisteminde temel boyut kuvvet (F) alınmış olup diğer iki boyut (uzunluk ve zaman) aynıdır. Newton'un ikinci yasasına göre kütle ile ivmenin çarpımı kuvveti vermektedir. Bu nedenle FLT sisteminde kütle boyutu; $M = FL^{-1}T^2$; MLT sistemindeki kuvvetin boyutu ise; $F = MLT^{-2}$ ile gösterilir. Tüm büyüklüklerin boyutları o büyüklüğün tanımından elde edilebilir. Hangi sistemin kullanıldığı önemli değildir. Çizelge 1.1'de FLT ve MLT sistemindeki büyüklük ve boyutlar

verilmiştir. Bugün uygulamada yaygın olarak CGS, SI ve Teknik Ölçü olmak üzere 3 birim sistemi kullanılır.

CGS birim sisteminde kuvvet veya ağırlık türetilmiş birim olup “g cm s⁻²” veya kısaca “dyn” ile ifade edilir. Kütle birimi gram (g)’dir. SI birim sisteminde kütle birimi kg olup kuvvet ve ağırlık birimleri türetilmiştir. Kuvvet ve ağırlığın birimi kg m s⁻² ya da Newton (N)’dur. Teknik ölçü birim sistemi ise FLT boyut sistemine dayalı birim sistemidir. Kütle yerine asal birim olarak ağırlık ya da kuvvet alınmış olup kilopond (kp) ile gösterilir. Kütle birimi türetilmiş olup birimi kp m⁻¹ s²’dir. SI ve teknik ölçü birimi sistemlerinde kütle ve kuvvetin geçmediği birimler aynı olup, kütle ve kuvvetin geçtiği birimlerde ise yerçekimi ivmesi (g= 9,81 m/s²) kadar bir farklılık bulunmaktadır. 1 kp= 9,81 kgm.s⁻² = 9,81 N alındığında birimler arasında kolayca uyum sağlanmış olur. Çizelge 1.2’de bazı büyüklüklerin birimleri ve Çizelge 1.3’de ise birimler arasındaki dönüşümler verilmiştir.

1.3. Kütle ve Ağırlık İlişkileri

Kütle: Bir cismin ağırlığının yerçekimi ivmesine bölümüne eşittir. Skaler bir büyüklüktür. Bir cismin madde miktarıyla ilgili bir özelliğidir. Birimi SI birim sisteminde kg’dır.

$$m = \frac{W}{g} (kg)$$

Ağırlık: Bir cisme yerin uyguladığı çekim kuvvetidir.

$$W = m \cdot g (N)$$

Özgül (Öz) Kütle: Birim hacimdeki madde miktarıdır ve ρ (rho) ile gösterilir. Cisimler için ayırt edici özelliklerden birisidir. Kütle sabit kalmak koşuluyla özgül kütle hacimle ters orantılıdır. Hacim arttığında özgül kütle azalır.

$$\rho = \frac{m}{V} (kg/m^3)$$

Özgül hacim: Birim madde miktarının hacmi olup özgül kütleyle bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$u = \frac{1}{\rho} (m^3/kg)$$

Özgül Ağırlık: Birim hacimdeki cismin ağırlığına özgül ağırlık denir ve γ (gamma) ile gösterilir. Birimi N/m³’dir. Özgül ağırlık ile özgül kütle arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$\gamma = \rho \cdot g = \frac{W}{V}$$

Yoğunluk: Cismin özgül kütleinin +4 C’deki damıtık suyun özgül kütleine oranına ya da bir cismin birim hacim ağırlığının aynı hacimdeki ve

+4 C'deki suyun ağırlığına oranına denir. Özgül kütle veya özgül ağırlığın oranı olması nedeniyle yoğunluk birimsiz olup SG ile gösterilmektedir

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{su}}$$

Yukarıdaki eşitliklerde; m: kütle (kg), W: ağırlık (N), \forall : hacim (m^3), g: 9,81 (m/s^2), u: özgül hacim (m^3/kg), SG: Yoğunluk (-), ρ : Akışkanın özgül kütlesi (kg/m^3), ρ_{su} : Suyun özgül kütlesi (kg/m^3) dir (Hewakandamby 2012).

1.4. İdeal Gaz Kanunu

Gaz akışkanlar, sıvı akışkanlarla karşılaştırıldıklarında yüksek oranda sıkıştırılabilirler. Gaz akışkanlar sıkıştırıldıklarında özgül kütlelerinde, basınçlarında ve sıcaklıklarında değişimler meydana gelir. Bu değişimler;

$$P = \rho RT \text{ ya da } P\forall = mRT$$

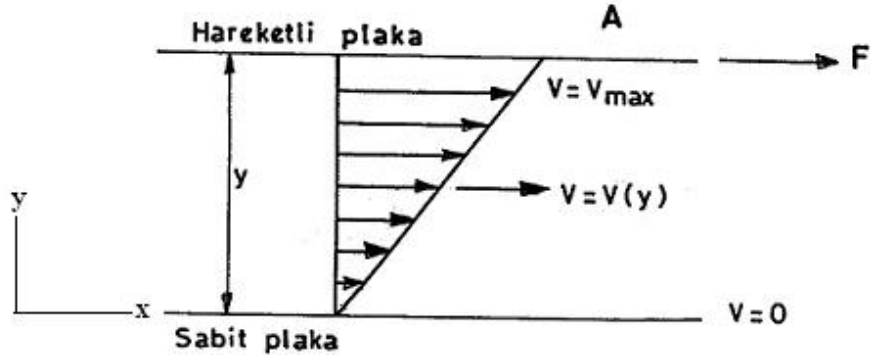
bağıntısıyla ifade edilir (Douglas 1986b). Bu eşitliğe "ideal" ya da "mükemmel" gaz kanunu ya da ideal gazın "durum" eşitliği denir. Gazların tümü yüksek sıcaklıklarda ve düşük basınçlarda ideal gaz denkleminde uygun davranırlar. Yukarıdaki eşitlikte;

P :Mutlak basınç (Pa)
 ρ :Özgül kütle (kg/m^3)
T :Mutlak sıcaklık (K)
R :Gaz sabiti (J/kg.K)
 \forall :Hacim (m^3)
m :Kütle (kg)'dır.

1.5. Viskozite

Özgül kütle ve özgül ağırlık akışkanların ayırt edici özelliklerindedir. Ancak akışkanların akış karakteristiklerini bu iki özellikle belirlemek her zaman olanaklı değildir. Özgül kütlesi birbirine çok yakın olup da tamamen farklı akış karakteristiklerine sahip olan akışkanlar da bulunmaktadır. Örneğin su ($1000 kg/m^3$) ve yağ ($912 kg/m^3$). Bu nedenle akışkanların birbiriyle olan farklılıklarını ortaya koyabilmek için ilave özelliklere gereksinim vardır. Bu özelliklerden birisi de viskozitedir.

Viskozite, akışkanların akıcılığa (deformasyona) karşı gösterdikleri dirençtir.



Şekil 1.1. İki paralel plaka arasındaki akışkan hareketi (Giles 1980)

Kayma gerilmesi şu şekilde yazılabilir (Giles 1980, McDonough 2009, Hewakandamby 2012).

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

τ : Kayma (kesme) gerilmesi (N/m²),
 μ : Dinamik (mutlak) viskozite (N.s/m²),

$\frac{dv}{dy}$: Hız eğimi ya da kayma hızı (s⁻¹)'dir.

İki plaka arasındaki akışkanın hızı sabit plakada sıfır olmakta hareketli plakaya yaklaştıkça artmaktadır. Hareketli plakada maksimuma ulaşmaktadır. Bu hız dağılımı Şekil 1.1'de görülmektedir. İki plaka arasındaki hız eğiminin bulunabilmesi için plaka arasındaki uzaklıklara bağlı hız profil denkleminin bulunması gerekmektedir. Ancak çoğu zaman plakalar arasında uzaklık çok küçük (mm düzeyinde) olduğundan hız dağılımı homojen kabul edilmekte ve viskozite ile kayma gerilmesi arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olmaktadır (Giles 1980).

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

Viskozite, sıvılarda moleküller arasındaki çekim kuvvetleri, gazlarda ise moleküllerin çarpışması nedeniyle ortaya çıkar ve sıcaklıkla değişir. Basına bağımlılık azdır. Sıcaklık arttıkça viskozite, gazlarda artmakta sıvılarda azalmaktadır. Viskozitenin sıcaklıkla gazlarda artarken sıvılarda azalması molekül yapılarıyla ilgilidir. Sıcaklık artarken sıvılardaki kohezif (iç) kuvvetlerin harekete karşı gösterdikleri direnç azalır ve moleküller yüksek sıcaklıkta daha rahat hareket eder ve viskozite azalır. Gazlarda moleküller arasındaki aralıklar daha geniştir ve iç molekül kuvvetleri ihmal edilebilir. Bu durumda birbirine bitişik moleküller arasındaki gaz moleküllerinin momentumunun değişimiyle bağlı harekete karşı direnç meydana gelir. Gazların sıcaklığı artarken, artan molekül hareketi ve çarpışma viskozitede artışa neden olur. Sıcaklığın viskozite üzerindeki

etkisi; gaz akışkanlar için Sutherland eşitliği ve Üs kanunu, sıvılar için Andrade eşitliği kullanılarak incelenebilir (Soğukoğlu 1995, White 2012).

Üs kanunu: $\mu = \mu_0 \cdot (T/T_0)^n$

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

Burada;

μ : İstenen sıcaklıktaki viskozite (Pas)
 μ_0 : T_0 (273 K) mutlak sıcaklığındaki bilinen viskozite değeri (Pas)
 T : Viskozitesi bulunmak istenen sıcaklık (K)
 n ve S : Sabitler olup hava için $n = 0.67$ ve $S = 110$ K alınabilir.

Andrade eşitliği: $\mu = D \cdot e^{B/T}$

μ : İstenen sıcaklıktaki viskozite değeri (Pas)
 D ve B : Sabit
 T : Viskozitesi bulunmak istenen mutlak sıcaklıktır (K).

Sıvılar ve özellikle de su için sıcaklıkla viskozite arasındaki ilişki aşağıdaki iki bağıntıyla verilebilir (Soğukoğlu 1995, White 2012).

$$\ln \frac{\mu}{\mu_0} = a + b \left(\frac{T_0}{T} \right) + c \left(\frac{T_0}{T} \right)^2$$

μ : İstenen sıcaklıktaki viskozite (Pas)
 μ_0 : T_0 (273 K) mutlak sıcaklığındaki bilinen viskozite değeri (Pas) olup su için 0,001792 Pas alınabilir.
 a , b , c sabit olup su için $a = -1,94$, $b = -4,80$ ve $c = 6,74$ alınabilir.

Sıvılar için verilen ve Poiseuille adı verilen eşitlik ise;

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + a \cdot t + b \cdot t^2} \text{ ile tanımlanabilir (Douglas 1986, Soğukoğlu 1995).}$$

μ : İstenen sıcaklıktaki viskozite değeri (Pas),
 μ_0 = Sıcaklık 0 iken viskozite katsayısı
 t : Sıcaklık olup birimi °C'dir
Su için $\mu_0 = 0.0179$ Poise(p) = 0,00179 kg / m s (Pas), $a = 0.033368$
ve $b = 0.000221$ alınabilir.

Mutlak (dinamik) viskozitenin içerisindeki kütle birimi yok edilerek aşağıdaki gibi elde edilen viskoziteye *kinematik viskozite* denir (Bar-Meir 2011).

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

Burada;

- ϑ : Kinematik viskozite (m^2/s)
 μ : Mutlak (dinamik) viskozite (Pas)
 ρ : Özgül kütle (kg/m^3)

Çizelge 1.6'da bazı akışkanların sıcaklığa bağlı yoğunluk ve kinematik viskoziteleri verilmiştir. Sıvıların viskozitelerinin ölçülmesinde;

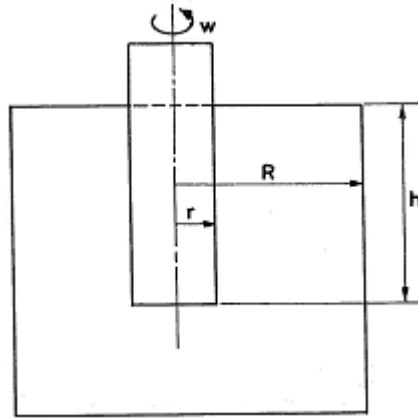
- a) Döner viskozimetre,
b) Kılcal viskozimetre,
c) Akma yönteminden yararlanılmaktadır.

Döner viskozimetrelerde Şekil 1.3'de görüldüğü gibi döner bir küçük silindir, daha büyük silindire içerisindeki sıvıya daldırılır. Döner silindire uygulanan moment sıvı tarafından dengelenir. Sıvının dinamik viskozitesi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\mu = \frac{M.(R - r)}{2.\pi.r^3.h.w}$$

Burada;

- μ : Dinamik viskozite (Pas),
M : Küçük silindire uygulanan moment (Nm),
h : Küçük silindirin büyük silindire girme uzunluğu (m),
w : Küçük silindirin açısal hızı (rad/s),
r : Küçük silindirin yarıçapı (m),
R : Büyük silindirin yarıçapı (m)



Şekil 1.3. Döner viskozimetre (Sitkei 1986)

Kılcal viskozimetrelerde kılcal boruya konan sıvının içinde madeni kürenin inmesi esası kullanılarak sıvının viskozitesi hesaplanmaktadır. Bu yöntemde sıvı ortam içerisinde limit hızı ile düşen küreye etki eden direnç kuvvetinden yararlanılmaktadır (Topkaya 1983).

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

Burada;

$$\mu: \text{Dinamik viskozite} \left(\frac{g}{cm \cdot s} = \frac{dyn \cdot s}{cm^2} = \text{poise} \right) \text{ (Pas)}$$

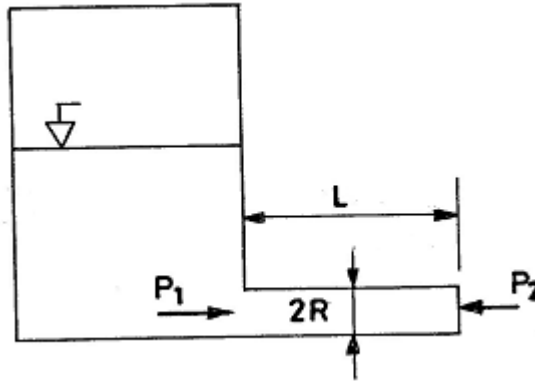
- g : 981 (cm/s²) (9.81 m/s²),
V : Kürenin limit hızı (cm/s) (m/s),
R : Kürenin yarıçapı (cm) (m),
ρ_{cis} : Kürenin özgül kütlesi (g/cm³) (kg/m³),
ρ_{sivi} : Sıvının özgül kütlesi (g/cm³) (kg/m³) dir.

Dinamik viskozitenin bulunmasında kullanılan 3. yöntem olan akma yönteminde belirli bir çaptan akan sıvının akma süresi yardımıyla viskozite hesaplanmaktadır. Şekil 1.4'deki sistemde borudan akan sıvının viskozitesi aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

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

Burada;

- μ : Dinamik viskozite (Pas),
R : İnce borunun yarıçapı (m),
L : İnce borunun uzunluğu (m),
Q : İnce borudan akan sıvının verdisi (m³/s),
P₁ : İnce boruya girişteki sıvı basıncı (Pa),
P₂ : İnce boruda sıvının çıktığı noktadaki basınç (Pa).



Şekil 1.4. Akma yöntemi

Akma yönteminde viskozitenin saptanmasında yararlanılan kılcal viskozimetrelerde yukarıdaki formül kullanılabilir gibi Newtoniyen akışkanlar için Laminer akımda aşağıdaki formül de kullanılabilir (Toledo 1991).

$$\mu = \frac{\Delta P R^2}{8LV}$$

Burada $\Delta P = P_1 - P_2 = \rho gh$ alınabilir. Kılcal viskozimetredeki akışkan yüksekliği h 'dir. Viskozimetredeki, akışkanın h yüksekliğini akma zamanı (t), kılcal boru uzunluğunu (L) ve akışkanın ortalama hızı (V) gösterirsek aşağıdakiler yazılabilir (Toledo 1991).

$$V = \frac{L}{t}$$

$$\mu = \frac{\Delta P R^2}{8LV} = \frac{\rho gh R^2}{8L^2} t$$

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{gh R^2}{8L^2} t = k_v t$$

Buradaki $\frac{gh R^2}{8L^2} = k_v$ faktörüne viskozimetre sabiti denir.

1.6. Reoloji

Çelik ve diğer metallere belirli bir kuvvet uygulandığında biraz deforme olabilmekteler. Ancak bu deformasyon sürekli olmamaktadır. Su, yağ ve hava gibi akışkanlar kuvvet altında sürekli deformasyona uğramaktadırlar. Diş macunu, dondurma, reçel, katran gibi bazı akışkanlar küçük kuvvet altında katı gibi davranırken kuvvet artırıldığında akışkan gibi davranabilmektedirler. İşte doğadaki tüm materyallerin (katı-sıvı-gaz) davranışları reoloji bilimi altında incelenmektedir. Reoloji cisimlerin kuvvet-zaman-deformasyon ilişkilerini inceleyen bilim dalıdır.

Kayma gerilmesi ile hız eğimi arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu akışkanlara Newtoniyen akışkanlar, kayma gerilmesi ile hız eğimi arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı akışkanlara Non-Newtoniyen akışkanlar denildiğini biliyoruz (Edis 1972). Kayma (kesme) gerilmesinin hız eğimine oranına *görünür viskozite* (μ_{ap}) denir. Görünür viskozite Newtoniyen akışkanlarda dinamik viskoziteye eşittir. Newtoniyen olmayan

akışkanlarda ise sabit kalmamakta ve kayma gerilmesinin bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

Kayma gerilmesi ile hız eğimi arasındaki eğrinin kayma gerilmesi eksenine göre konveks olduğu *pseudoplastik* akışkanlarda görünür viskozite kayma gerilmesinin artmasıyla azalmaktadır. Örneğin kauçuğun hammaddesinden yapılan boyalar fırçadan damlamazlar. Çünkü kayma hızları küçüktür ve görünür viskoziteleri büyüktür. Bununla birlikte duvarda düzgün bir şekilde yayılırlar çünkü duvar ve fırça arasındaki ince boya tabakası; büyük kayma hızına (dv/dy büyük olduğu için) ve çok küçük görünür viskoziteye sahiptir.

Kayma gerilmesi ile hız eğimi arasındaki eğrinin kayma gerilmesi eksenine göre konkav olduğu *dilatant* akışkanlarda görünür viskozite kayma gerilmesinin artmasıyla artar. Buna örnek olarak su-mısır nişastası karışımı ve su-kum karışımı verilebilir. Su-kum karışımından bir cismi çekip çıkarmak için gerekli olan kuvvet çekme hızı arttıkça artar

Hookian davranışta gerilme (σ) ile şekil değiştirme (ϵ) doğru orantılıdır. Akma sınırına kadar cisim üzerindeki yük kaldırıldığında uzama ortadan kalkmakta ve materyal kuvvet uygulanmadan önceki konumuna gelmektedir(örneğin çelik). Tarım ürünlerinde bu davranışı görmek olanaksızdır.

Non – Hookian ürünlerde, deformasyon; gerilmeyle uzama arasında doğrusal olmayan bir ilişkiyle meydana gelmektedir. Kuvvet kaldırıldığında eski konumuna bir eğri izleyerek dönmektedir.Kauçukta bu davranış görülür.

Viskoelastik ürünlerde birim uzama (ϵ) zamanın bir fonksiyonudur. Gerilme-uzama ilişkileri zamana bağlıdır. Gerilmenin neden olduğu uzama yük kaldırılrsa bile ortadan kalkmamaktadır. Denemeler tarımsal ürünlerin visko-elastik yapıya sahip olduğunu göstermiştir.

Viskoplastik davranışta viskoelastikliğe göre biraz daha doğrusallık vardır. Eğri düzgün artmakta ve belli bir noktadan sonra eğride eğilme ya da kırılma olmamaktadır.

Newtoniyen sıvılarda kayma gerilmesiyle hız gradyenti arasındaki ilişki doğrusaldır. Eğri düz bir doğru olup orijinden geçmektedir. Eğrinin eğimi viskoziteyi vermektedir.

Non-Newtoniyen sıvılarda kayma gerilmesiyle hız gradyenti arasındaki ilişki doğrusal değildir. Bu tip sıvılarda pseudoplastik ve dilatant olmak üzere iki tip eğri vardır. Yarı viskoz akış olarak adlandırılmaktadır. Eğriler orijinden geçer ancak kayma gerilmesiyle hız gradyenti arasındaki ilişki doğrusal değildir. Örnek: Kan ve sıvı haldeki plastikler.

1.7. Elastiklik Modülü (Sıkıştırılabilirlik Katsayısı)

Akışkanların sıkıştırılabilirliğinin bir ölçüsü olan elastiklik modülü akışkanların basınç değişimiyle hacminin ya da özgül kütlelerinin nasıl değiştiğini gösterir. Sabit sıcaklıkta sıvılardaki elastiklik modülü

$$E_v = -\nabla_0 \cdot \frac{dP}{d\nabla} = -\nabla_0 \cdot \frac{(P - P_0)}{(\nabla - \nabla_0)}$$

ile hesaplanabilir (Sümer vd. 1995). Eşitlikteki eksi (-) işareti basıncın artmasıyla hacmin azaldığını gösterir. Hacimdeki azalış özgül kütlede artışa neden olur. Buna göre sabit sıcaklıkta elastiklik modülü aşağıdaki biçimde tekrar düzenlenebilir.

$$E_v = \rho \cdot \frac{dP}{d\rho} = \frac{\rho_0(P - P_0)}{(\rho - \rho_0)}$$

E_v : Elastiklik modülü (Pa),

∇_0 : Başlangıçtaki toplam hacim (m^3),

∇ : Akışkanın sıkıştırıldıktan sonraki hacmi (m^3),

dP : $d\nabla$ hacmi kadar değişimi meydana getiren basınçtaki diferansiyel değişim (Pa),

$d\nabla$: Hacimdeki diferansiyel değişim (m^3),

ρ : Akışkanın son özgül kütle (kg/m^3),

ρ_0 : Akışkanın başlangıçtaki özgül kütle (kg/m^3),

$d\rho$: Özgül kütledeki değişim (kg/m^3),

P : Sıkıştırıldıktan sonraki basınç (Pa),

P_0 : Başlangıçtaki basınç (Pa)'tır.

Gaz akışkanlarda sıkışma ya da genleşme sırasında basınç ve özgül kütle arasındaki ilişki işlemin türüne bağlıdır. Eğer sıkışma ya da genleşme sabit sıcaklıkta (izotermal koşul) meydana gelirse $P = \rho \cdot R \cdot T$ bağıntısından

$$\frac{P}{\rho} = \text{sabit}$$

elde edilir. Eğer sıkışma ya da genleşme sürtünmesiz ortamda gerçekleşiyor ve çevreyle ısı alışverişi olmuyorsa (izoentropik koşul) aşağıdaki formüller yazılabilir (Giles 1980).

$$\frac{P}{\rho^k} = \text{sabit} \quad \text{ve} \quad \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}} = \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^k = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

k : Sabit basınçtaki özgül ısının (c_p) sabit hacimdeki özgül ısıya (c_v) oranıdır (adyabatik üs) ve ideal gazlar için boyutsuz önemli bir parametredir.

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

Bu iki özgül ısı gaz sabiti ile ilgilidir. İki özgül ısı arasındaki fark sabittir ve ideal koşullarda R'ye eşittir (White 2012).

$$R = c_p - c_v \quad c_p = \frac{Rk}{k-1} \quad c_v = \frac{R}{k-1}$$

Sabit basınçtaki özgül ısı (c_p), sabit basınçtaki gazın sıcaklığını 1 °C artırmak için birim gaz kütlesine verilen ısı miktarıdır. Sabit hacimdeki özgül ısı (c_v) ise sabit hacimdeki gazın sıcaklığını 1 °C artırmak için birim gaz kütlesine verilen ısı miktarıdır.

Gaz akışkanlarda elastiklik modülünün bulunabilmesinde sıvılar için verilen elastiklik modülü bağıntısında yukarıdaki ilişkiler yerine konursa izotermal koşul için elastiklik modülü

$$E_v = P \text{ elde edilir.}$$

İzoentropik koşulda $P \cdot \nabla^k$ sabit olup bu ifadenin diferansiyeli alınırsa elastiklik modülü $E_v = kP$ bulunur (Streeter ve Wylie 1983). Gaz akışkanlar için yukarıdaki bağıntılarda mutlak basınç değeri kullanılmalıdır. Yukarıdaki bağıntılarda P, Pa; ρ , kg/m³; c_p ve c_v , j/kgK ve R, j/kgK alınacaktır.