

## TRIBOLOJİ

Temasta olan ve birbirine göre izafi harekette bulunan iki cismin yüzeyleri arasında sürtünme ve buna bağlı olarak aşınma, sıcaklık yükselmesi ve enerji kaybı meydana gelir. Sürtünme aşınma, yapıtama konularına ve bunlara bağlı olan diğer bilim dalına dendir.

### Sürtünme

Genel anlamda sürtünme, temasta olan ve izafi hareket yapan iki cismin temas yüzeylerinin harekete karşı gösterdiği dirençtir. Kinematik bakımından yüzeyler arasında;

- Kayma (Üst üste iki katlı yüzey arasında sürtünme)

- Yuvarlanma (Yuvarlanma hareketine karşı temas yüzeylerinde oluşan <sup>sisans</sup>)

- Kayma - yuvarlanma sürtünmeleri olabilir. (ikişer birlikte)

Yüzeyler arasında yapışıcı madde olup olmamasına göre kinematik sürtünme olayı;

\* Kuru

\* Sınır

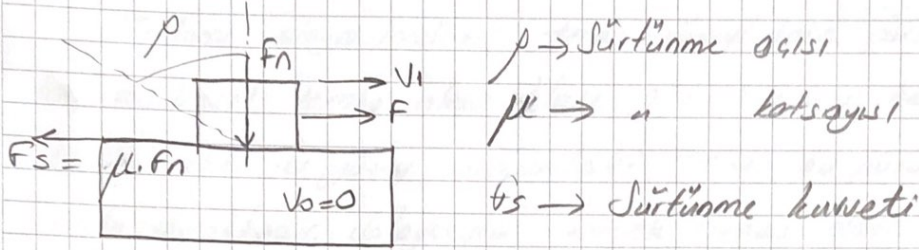
\* Sını olmaksızın üzere üç halde incelenir.

Kuru Sürtünme; birbirlerine göre izafi harekette olan ve doğrudan temasta bulunan iki yüzey arasında oluşan sürtünmedir.

Sınır Sürtünme: Eğer iki yüzey yapışıcı ile tamamen ayrılmamışsa sınır sürtünmesi mevcuttur.

Sıvı Sürtünmesi: Yüzeyler, yapışıcı madde ile tamamen ayrılmış ve aslında sürtünme, yapışıcı maddenin tabakası arasında oluyorsa sıvı sürtünmesi vardır.

## Kuru Sürtünme:



Normal ( $F_n$ ) kuvvetine etkisi altında bulunan iki cismin temas yüzeyleri arasında harekete karşı:

$$F_s = F_n \cdot \mu$$

şeklinde bir sürtünme kuvveti olur. Şekildeki gibi  $F$  kuvveti tabii edildiyinde eğer  $f_s > F$  ise yani sürtünme kuvveti daha büyükse,  $F$  kuvvetine rağmen hareket olmaz.

Ancak hareket olmamasına rağmen yüzeyler arasında bir sürtünme mevcuttur. Buna statik sürtünme denir. Kavrama fren gibi sürtünme esasına göre çalışan elemanlarda bu tip sürtünme mevcuttur.

Sürtünme kuvveti uygulanan kuvvetler küçük ise yani  $f_s < F$  ise yüzeyler birbirlerinin üzerinden kayarlar buna kinematik sürtünme adı verilir.

Fren kavrama sürtünmeli çarklar gibi makine elemanlarında sürtünme istenilen bir olaydır. Bunun dışında izafi hareketlerde istenmeyen bir olay olduğundan önaltılması isteriz.

Genellikle statik sürtünme katsayısı ( $\mu_0$ ), kinematik sürtünme ( $\mu$ ) katsayısından daha büyüktür.

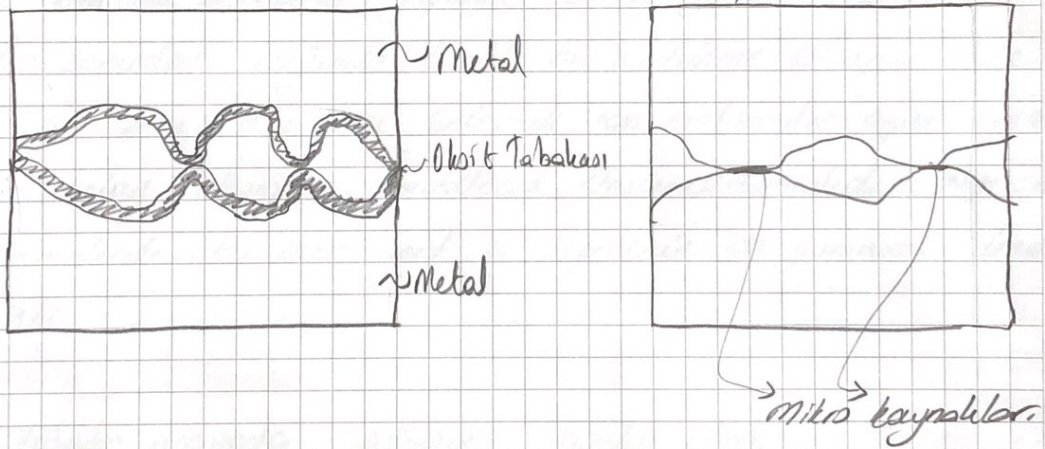
Sürtünme açısı  $\rho$   $\tan \rho = \mu$  olarak tanımlanır. Kilitlenmeli sistemlerde sarmal taşıyan bu açı, normal kuvvet ile normal ve sürtünme kuvvetinin bileşkesi olan  $F_r$  kuvveti' arasındaki açıdır.

$$\mu = \frac{F_s}{F_n} \quad (\text{Coulomb-Amponts Kanunu})$$

## Kaynak Bağları Teorisi

Sürtünme olayını inceleyen temas yüzeylerinin pürüzlü olduğu ve tam madensel temas olmadıkları gibi kuvvetleri hesaba katmak gerekir. Gerçekte iki yüzey arasındaki temas bu pürüzlülüğe noktalarda olmaktadır, dolayısıyla gerçek temas alanı ( $A_g$ ), normal yüzeyin temas alanından çok büyüktür.

Bununla birlikte yapılan deneyler gerçekte yüzeylerin üzerinde atmosferi tepkil eden gazların etkisiyle oksit, yağ, su buharı, prilik gibi tabakalar olduğunu göstermiştir. Adsorbsiyon yoluyla oluşan bu tabakalar madensel yüzeylere kuvvetlice bağlanır ve yüzeyde bir tabaka oluşturur.



Yüksüz durumda yüzeyler temasta iken bu tabii tabakalar arasında bağlar olur. Yük dağılımı edildikçe ise bu küçük olan temas noktalarında büyük kuvvetler olur ve temas noktalarındaki bu tabii tabakalar kopar ve madensel temas meydana gelir. Madensel temas halinde de bu temas noktalarında daha kuvvetli kaynak bağları olur. Temas eden yüzeylerin izafi hareketi ile bu kaynak bağları kopmaktadır. Sonuç olarak sürtünme, gerek madensel gerekse tabii tabaka bağlarının oluşturduğu dır. Sürtünme kuvveti bu bağların kopması için gereken kuvvettir.

Kaynak başları karşından şıkartılacak sonuç;

— Birbirleriyle kolayca 0larişin yapabilen demir, krom, nikel gibi sert malzemeler arasında kuvvetli kaynak başları oluş-  
caşından ez 0alınan parçaların benzemeyen ve birbirleriyle ilgili olmayan malzemelerden imal edilmesi ile daha hafif ve dizenli bir sũrtũnme ve yũzeyler arasında 0ok daha ince şizgiler oluşması saşlanabilir.

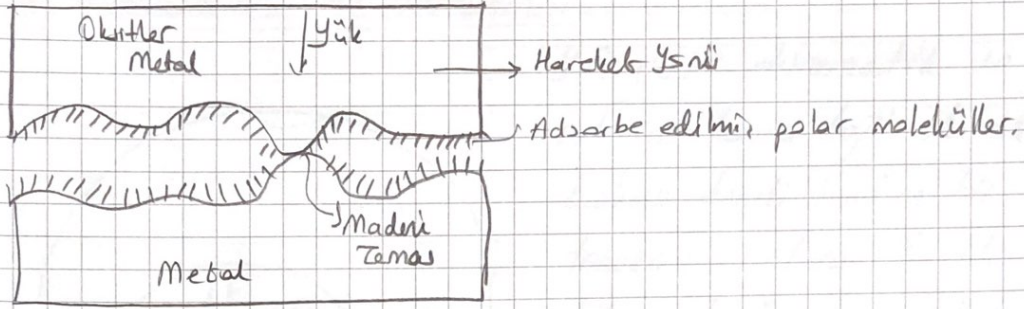
— Birbirleri uzerinden kayan malzemelerin biri sert, diğeri ise yumuşak (örneğin kalay, kurşun vs gibi) malzeme, diğerinin uzerini kendi parçacıklarından oluşan ince bir tabaka kayla kaplar. Buylaca kayma, iki yumuşak malzeme ararındaymış gibi gerçektir. yani yumuşak malzeme yapşlayıcı 0servi yapar.

Bu sonuşlar ışığında kũçuk bir sũrtũnme katsayısı elde etmek ve 0siri 0arınmaya 0enlemek için malzemeler aynı veya bir-  
birine kolay 0larişin oluşturabilecek 0isten olmamalıdır. Ayrıca malzemelerden birinin sert ve diğerinin de yumuşak olması isterir.

### Sınır Sũrtũnmesi

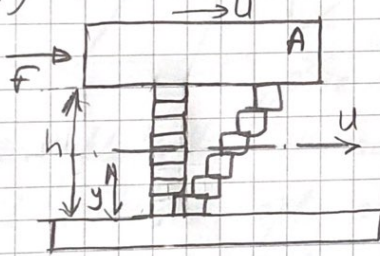
Yũzeyler arasında yapşlayıcı madde olmaına rağmen sıvı sũrtũnmesi oluşturulmadığı durumlarda sınır sũrtũnmesi hali ortaya 0ıkar. Pratikte 0ok rastlanılan bu olayda sũrtũnme katsayısı genellikle 0,02-0,1 arasında değerir.

Sınır sũrtũnmesinde yũzeyler arasında bulunan yapş, madensel tabaka-  
kaya yapşarak bir adsorpsiyon tabakası oluşturur. Yapşın bu 0zellik-  
lerine yapşlama kabiliyeti denilir. Oluşan bu tabaka, tabii bir tabaka  
gibi madensel yũzeylerin 0ırek temasını 0ıker.



### Sıvı Sürtünmesi

Sıvı sürtünmesi, madeni yüzeylerin bir yağ tabakası ile tamamen örtülmüş olduğu sürtünme halindedir. Yağ tabakaları, madensel yüzeylere tam olarak yapışır. Bu saygıyla sürtünme, birbirini üzerinde kayan yağ tabakaları arasında olmaktadır.



Viskoz akılarda meydana gelen kayma gerilmeleri Newton kanununa göre;

$$\tau = \eta \cdot \frac{du}{dy} \text{ şeklinde dir.}$$

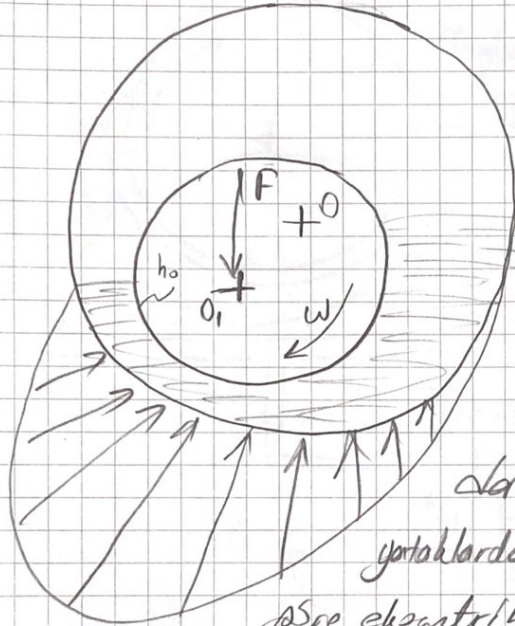
$\eta$  → yağın viskozitesi

$\frac{du}{dy}$  → y mesafesine göre hız değişimi.

Eğer akış yukarıdaki formüle göre oluyorsa Newtonian akış buna uygun değilse non newtonian akış denir.

Sıvı sürtünmesinin oluşmasında rol oynayan esas etken, yağ tabakasında meydana gelen basıncıdır. Basınç oluşumu Hidrostatik ve Hidrodinamik olmak üzere iki olaya bağlıdır.

## Hidrodynamic Sıvı Sürtünmesi



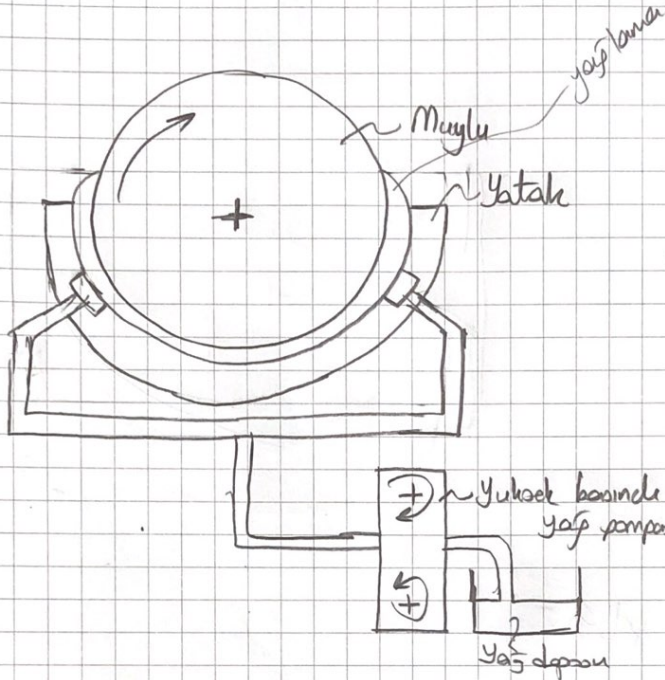
Yüzeylerin kinematik ve geometrik şartlarına bağlı olarak yağ tabakası kendi kendine bir havacık tabakası oluşturur. Burada kinematik şart, yüzeylerin birbirlerine göre belirli bir hızla hareket etmesi, geometrik şart ise yağ tabakasının dönme yönünde

daralmasıdır. Pratikte bu şartlar, eksenel yollarında şekilde görüldüğü gibi birbirlerine

göre eksantrik yerleştirilen silindirik yapıtlarda

gerçekleştirilir. Hidrodynamic sıvı sürtünmesi kinematik ve geometrik şartlarına bağlı olduğundan uygulama alanı sınırlıdır. Genellikle hız hareketin sürekli olduğu ve yağ tabakasının hareket yönünde daraldığı sistemlerde kullanılır. Bir başka maddede ise hareketin başlangıcında ve durma noktasında kuru ve sınır sürtünmesi halleri ve buna bağlı olarak aşınma meydana gelir.

## Hidrostatik Sivi Sürtünmesi



Dış kuvvetlerin dengelenmesi ve yüzeylerin ayrılması için gerekli basınç, yüksek basıncı bir pom. pa vasıtasıyla dışarıdan sağlanır. ve yağ, basınç ile yüzeyler arasında püskürtülür.

Bu nedenle yüzeylerin kinematik ve geometrik şartlarına bağlı olmaksızın sivi sürtünmesi sağlanır. Dolayısıyla hareketin başlangıcında ve

durma sırasında sivi sürtünmesi sağlanmaktadır. Yani hidrostatik sivi sürtünmesinde aşınma meydana gelmez.

Bu üstünlüklere rağmen devasanteyleri; tekerat (motor, pompa, süzgeç dirençler vs) bakımından oldukça karmaşık ve pahalı bir sistem olması. Ayrıca herhangi bir orrao nedeniyle yağlara yağ püskürtmemesi durumunda yüzeyler direkt temas geçeceği için siddetli kazılmalar olur. Birisi salınak için kurulacak sistemler maliyeti daha da artırır.

## Aşınma

Sürtünme halinde bulunan yüzeylerde malzemenin istenildiği gibi halde kalmaz. Bu durumda parçalar ile şekillerini kaybeder ve parçalar arasında boşluk büyür. Bu da malzemenin homojenliğini azaltır ve çürüme ve titreşimler artar.

Aşınma çeşitleri;

— Adazyon

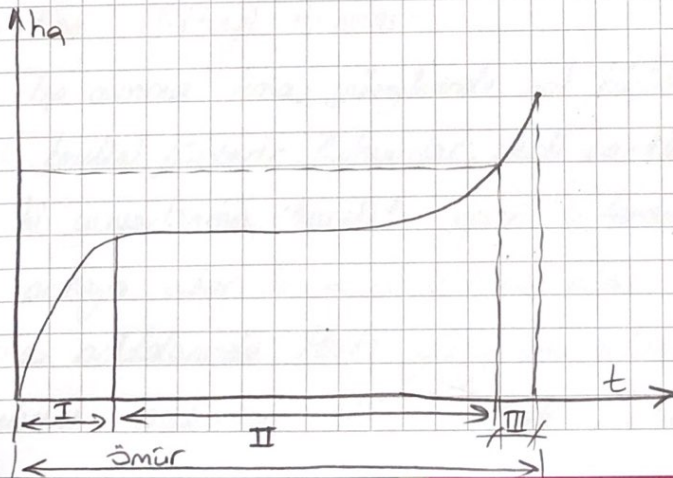
— Abrazyon

— Yorulma Aşınması (Pitting)

— Mekanik Korozyon aşınması olarak sınıflandırılabilir.

## Adezyon Aşınması

Adezyon aşınması en yaygın aşınma çeşitleridir ve genel olarak aşınma kavramı, bu tip aşınma için kullanılmaktadır. Bu aşınma türü, kaynak bağı teorisi ile açıklanabilir. Kaynak bağı teorisi, kaynakta birleştiği gibi gerçek tabakalar gerçek metale temas meydana gelen pürüzlülük noktalarında temas alanı çok küçük olduğundan yüzey bariyerleri meydana gelmekte idi. Bu bariyerler ile sadece gerçek tabakalar parçalanır sonra da mikro kaynak noktaları birer ve böylelikle malzeme kaybı meydana gelir.



Adezyon aşınmasının zamanla gelişmesi.



Şekilde I ile gösterilen bşpede yani parçaların ilk çalışması sırasında şiddetli bir aşınma meydana gelir. Buda denilen bu safha parçaların birbirine adaptirildiği safhadır. Bu safhada yüzeylerin pürüzlülükleri esittir. II, bşpede ise uzun süreli aşınmanın gerçekleştiği çalışma sırasında oluşan aşınma hızıdır. Zamanla aşınma artar ve III, Bşpede şiddetli aşınma meydana gelir. Bu aşınmada parçaların kırılması veya makinenin kullanılamaz hale gelmesi beklenir. Bu yüzden ömür 'ilk iki' aşınmaya göre belirlenir.

### Abrasyon Aşınması

Bu aşınma tipinde yüzeylerin kovalması, dışarıdan yüzeyler arasında süren toz, talaş veya yüzeylerde oksidasyon sonucu oluşan sert parçacıkların etkisi ile meydana gelir. Bu sert parçacıklar zımpara gibi yüzeyi kazıyarak malzeme kaybına neden olurlar. Abrasyon aşınmasında önemli olan yüzeylerin sertliğidir ve bu da ısı iletim veya yüzeylerin kaplanması ile sağlanabilir. Abrasyon aşınmasını önlemek için yüzeyler sertleştirilmelidir. Ayrıca dışarıdan sert parçacıkların girmemesi için de iyi bir sızdırmazlık sağlanmalı ve sistem talaş ve diğer pisliklerden temizlenmelidir.

### Yorulma (Pitting) Aşınması

Bu tip aşınma temas yüzeylerinde çok küçük çukurlukların oluşması şeklinde kendini gösterir. Kulmanlar, dişli çarklar ve kam mekanizmaları gibi yuvarlanma hareketi yapan sistemlerde malzeme yorulması sonucu ortaya çıkar. Bu sistemlerde temas alanı çok küçük olduğundan bu temas noktalarında Hertz yüzey basınçları oluşur, ve kayma gerilmelerinin maksimum olduğu yerlerde plastik deformasyonlar ve

Dislokasyonlar sonucu küçük boşluklar meydana gelir, zamanla bu boşluklar yüze doğru ilerleyerek büyük ve yüzeyle küçük çıkıntılar meydana gelir. Yapılan çalışmalar bu aşınma türününün selikler gibi doğal sertlikteki malzemelerde oluştuğunu ve yumuşak malzemelerde oluşmadığını göstermiştir. İzalma aşınmasını önlemek için temas yüzeylerinin sertleştirilmesi gerekmektedir.

### Mekanik Korozyon Aşınması

Yüzeylerin hava ile temasında tabii tabakalar gelişir ve oksit ve diğer tabakalar meydana gelmektedir. Bununla beraber özellikle kimyasal maddelerin bulunduğu ortamlarda salınan iyonik elementlerinin yüzeyleri bu maddeler ile reaksiyona girerek ince fakat sert tabakalar oluştururlar. Depo yükleri altında bu tabakalar kırılarak aşınma parçacıklarına oluştururlar. Bu süreç devam ettikçe malzeme kaybı sürekli artar.

### Yapıyıcı Maddeler

Sürtünmeyi azaltmak, aşınmayı kısımlı veya tamamen önlemek için kullanılır. Cıvahlı sürtünme halleri için yapıyıcıların etkileri farklıdır. Sıvı sürtünmesinde yapıyıcı madde, yüzeyleri tamamen kaplıyorsa burada önemli olan yapının viskozitesidir. Sıvı sürtünmesinde ise yapının kimyasal bileşimi önemlidir.

### Yapıyıcı Maddelerin Sınıflandırılması

Fiziksel hallerine göre katı, sıvı, yarı katı, ve gaz yapıyıcılar olarak sınıflandırılabilir:

## Katı Yapılayıcı Maddeler;

Katı yapılayıcılar ya katı yağlara veya sıvı yağların ya da petrolerin içine katkı maddesi olarak kullanılabilirler. En çok kullanılan katı yapılayıcılar grafit ve molibden di sulfittir. Katı yapılayıcılar, madensel yağların üzerinde kayma peritmesi' düşük ve topma mukavemeti yüksek bir tabaka oluşturarak yağlama özelliği sağlarlar. Yağlayıcı olarak kullanılan grafit ve molibden di sulfit'in çok temiz olmaları gerekir aksi takdirde yağları şiddetli bir şekilde oksidirirler.

## Sıvı Yapılayıcı Maddeler

- Organik (hayvansal ve bitkisel)
- Madensel (mineral)
- Sentetik yağlar.

Organik yağlar; iyi yağlama özelliklerine sahiptirler fakat ömürleri kısadır. Ayrıca gıda maddesi olarak kullanıldıkları için hijyenleri önemlidir.

Madensel (mineral) yağlar; sürtünme yağlarının arasına kolayca girip çıkabilirler, ısıya duvara dayanabilirler, kolayca depolenebilirler bu nedenle diğer yağlara göre çok daha sık kullanılmaktadırlar. Madensel yağlar petrolden alınarak elde edilirler.

Sentetik yağlar; genellikle kimyasal maddelerden imal edilen sıvı yağlardır. İmal edildikleri maddeye göre isim alırlar. (Di bazik asit esteri, fosfat esteri, silikon, silikat esteri gibi)

## Yarı Katı Yapılayıcı Maddeler (Gresler)

Gresler, içinde katılaştırıcı madde bulunan sıvı yağlardan oluşan yarı katı yapılayıcı maddelerdir. Katılaştırıcı madde olarak genellikle alüminyum, baryum, kalsiyum, lityum, sodyum gibi madensel sabunların yanında bentonit, mika gibi maddelerde kullanılabilir. Genellikle ağırlıkta çalışan ve uzun çalışma süreleri olan düşük veya orta hızda ve yükteki sistemlerde kullanılır.

## Sıvı Yağların ve Greslerin Özellikleri

Yapılayıcı maddelerin özelliklerini, çalışma kabiliyetine ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırabiliriz. Çalışma kabiliyetini tayin eden faktörler viskozite ve yapışma kabiliyeti dir. Fiziksel özellikleri ise katılma noktası, özgül ısı, oksidasyon, oksidasyon noktası, donma noktasıdır.

## Viskozite:

Viskozite, herhangi bir akışkanın harekete karşı gösterdiği direnç ya da akma sırasında iç sürtünmeyi ifade eden bir özelliktir. Daha önce bahsedildiği gibi Newtonian ve non Newtonian akışkanlar vardır. Non newtonian akışkanlarda genellikle kayma oranı vardır. Gresler non-newtonian akışkanlardır. Bu akışkanlar kayma gerilmeleri belirli bir  $\tau_0$  değeri aşıncaya dekaya basarlar.

İki tip viskozite vardır; Bunlar dinamik ve kinematik viskozitedir.

Dinamik viskozite Newton kanununda  $\eta$  ile gösterilen viskozitedir. Pas (pascal-saniye), poise (P) veya bunun %1 olan Centi Poise (1cP = 0,01P) ile ölçülür.

1 Pas = 1  $\frac{Ns}{m^2}$  = 10P =  $10^3$ cP şeklinde ifade edilebilir.

Kinematik viskozite ise

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \mu \cdot \frac{g}{\gamma} \text{ şeklinde ifade edilir.}$$

$\mu$  → dinamik viskozite

$\rho$  → yağın yoğunluğu

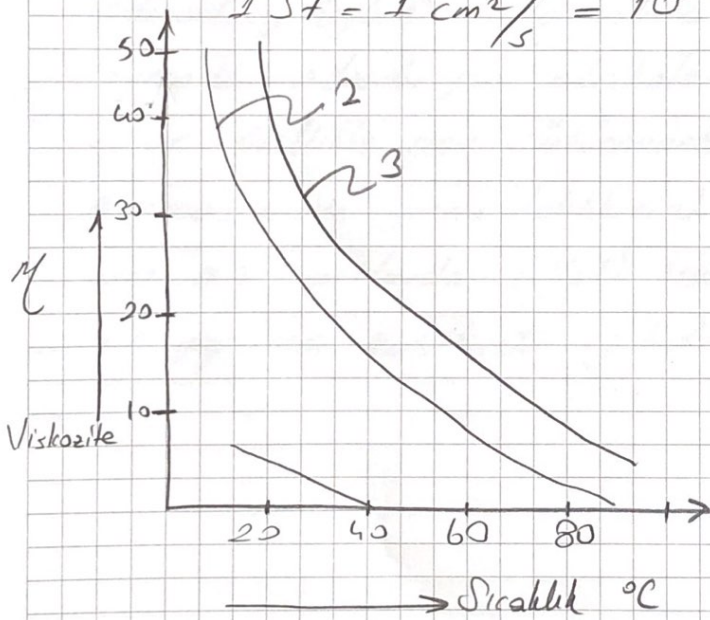
$g$  → yerçekimsel kuvvet

$\gamma$  → sıvı ağırlığı.

Kinematik viskozite, Stokes (St) veya Centistokes (cSt)

(1 cSt = 0,001 St) ile ölçülür.

1 St = 1  $\frac{cm^2}{s}$  =  $10^{-4} \frac{m^2}{s}$  şeklinde ifade edilir.



Viskozite Sıcaklık ilişkisi

Viskozite sıcaklığın ve oranda olsa barmın etkisi ile değişir. Genellikle sıvılarda viskozite sıcaklığın artması ile azalmaktadır. Gazlarda ise hafif bir yükselme göstermektedir. Burada önemli olan hava sıvı yağların viskozitelerinin 30°C ile 70°C arasında büyük bir değişim gösterdiğidir.

## Yapıma Kabiliyeti

yağların madensel yüzeylere temas etmeleri halinde ortaya çıkar. Yağ moleküllerinin, bu yüzeyler üzerinde düzenli bir şekilde yayılmaları ve yüzeylere yapışmaları madensel yüzey ve yapının karşılıklı etkilerine bağlı bir özelliktir. Bu özellik yapının ve madensel yüzeyin cismine bağlıdır. Sınır sürtünmesinde önemli rol oynayan yapıma kabiliyeti esas itibarı ile adsorbsiyon olayına bağlıdır.

İyi bir adsorbsiyon tabakası oluşturmak için, yapı oluşturan moleküllerin düzenli zincirli yapılara ve polar gruplara sahip olması gerekir. Bu moleküllerin aktif uçları (polar gruplar) madensel yüzeylere bağlanmakta ve bu yüzeylerin üzerinde dayanıklı adsorbsiyon tabakaları oluşturmaktadır. Bu tabakalar özellikle sınır sürtünmesinde yüzeylerin büyük ölçüde aşınmasını ve yeme tehlikesini önler. Madensel yağların içerisine az miktarda (%1) organik asitler ilave edilerek yapının yapıma kabiliyeti iyileştirilebilir.