

**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ DENEYİ**  
**DENEY FÖYÜ**

**HAZIRLAYAN**  
**Arş. Gör. Suna Avcıoğlu**

**2017-SAMSUN**

## YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ VE POROZİTE HESABI

### Amaç:

Malzemelerin su emme, yığınsal (bulk) ve görünen yoğunluklarının ve açık porozite miktarlarının arşimed yöntem kullanılarak hesaplanması.

### Teorik bilgi:

Hemen hemen tüm malzeme sistemlerde özellikle yüksek mukavemet ya da yüksek sıcaklık uygulamalarında malzemelerin yoğunluğu büyük öneme sahiptir. Porozite, bir malzemenin mekanik özelliklerini, termal özelliklerini (özellikle ısı transferini) (özellikle refrakter malzemeler için) ve ortam içinde bulunan malzemelerden dolayı korozyon ve mekanik aşınma davranışlarını etkiler. Seramik malzemelerde porozite kullanıldığı alana (yer ve duvar karoları, seramik filtreler) göre de önem taşımaktadır. Kapalı gözeneklerin tespiti zor olduğundan, çoğu durumda seramiklerin yalnızca açık gözeneklerin oranının belirlenmesi, pratikte önemli ve yararlı olmaktadır. Prensip, bir numunedeki porların hacmi, onları doldurmak için gerekli sıvının (bu deneyde su kullanılacak) ağırlığından hesaplanır. Bu yöntem Arşimed (Archimedes) Prensibine dayandığı için Arşimed Yöntemi olarak da adlandırılmaktadır.

### Hacim Kavramları:

- **Bulk ( yığın) hacim:** Malzemenin tümünün hacmi olup, cismin katı kısmı ile içerdiği açık ve kapalı porozitenin hacim toplamına eşittir.
- **Görünür Katı Hacim:** Malzemenin katı kısmının hacmi ile kapalı porozite hacmini tanımlar.
- **Gerçek Hacim:** Malzemenin yalnız katı kısmının hacmidir.

### Yoğunluk Kavramları:

- **Bulk (yığınsal) Yoğunluk:** Numune ağırlığının bulk hacme oranı olarak hesaplanır. Bulk hacim toz hacmi, partiküller arası boşluk hacmi ve kapalı ve açık gözenek hacmini içerir. Başka bir deyişle; tanelerden oluşan yığının, taneleri ve taneleri arasındaki boşlukları da dahil olmak üzere, birim hacminin kütlesidir.



- **Görünür Katı Yoğunluk:** Numune ağırlığının görünür katı hacme oranı olarak hesaplanır. Görünür hacim toz hacmi ve kapalı gözeneklerin hacmini içerir.

- **Gerçek (Teorik) Yoğunluk:** Numune ağırlığının gerçek hacme oranı olarak hesaplanır. Gerçek hacim toz partiküllerin hacmini içerir.
- **Göreceli (Relative) Yoğunluk:** Bir maddenin yoğunluğunun, referans madde yoğunluğuna oranıdır. Birimsizdir.

### Yoğunluk birimi

SI birimine göre yoğunluk birimi  $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{g/cm}^3$  cinsinden verilir.

$$1 \text{ kg/m}^3 = 0.001 \text{ g/cm}^3$$

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Su emme (\%)} = (W_D - W_K) / W_K \times 100$$

$$\text{Yığınsal (bulk) yoğunluk: numune kütlesi/yığınsal hacim} = [W_K / (W_D - W_A)] \times \rho_{\text{sıvı}}$$

$$\text{Görünür katı yoğunluğu: numune kütlesi/görünen katı hacmi} = [W_K / (W_K - W_A)] \times \rho_{\text{sıvı}}$$

**Görünür katı hacmi:** katı hacmi + kapalı porların hacmi

$$\text{\% Görünür porozite: (açık porların hacmi/bulk hacmi) \times 100} = [(W_D - W_K) / (W_D - W_A)] \times 100$$

Burada;

$W_K$  = Kuru numunenin havadaki ağırlığı (g)

$W_A$  = Su ya da sıvı emdirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı (g)

$W_D$  = Su ya da sıvı emdirilmiş (doymuş) numunenin havadaki ağırlığı (g)

$\rho_{\text{sıvı}}$  = Kullanılan sıvının (genellikle su) yoğunluğu

Toplam porozite değerini hesaplamak için katının teorik yoğunluğundan faydalanılır. Burada:

**\% Toplam porozite:**  $(1 - \rho_{\text{bulk}} / \rho_{\text{teorik}}) \times 100$  olarak hesaplanır ve buradan kapalı porozite miktarı da tayin edilebilir.

### Kullanılan cihazlar ve malzemeler:

Hassas Terazî ( $\pm 0.001\text{g}$ ), Arşimet yoğunluk kiti, Beher, Saf su, ısıtıcı tabla, maşa, çeşitli numuneler.

### Deneyin yapılışı:

Numuneleri ağırlığı sabit kalıncaya kadar etüvde kurutun ve hassas terazide numuneleri tartın ( $W_K$ ). Numuneler  $110^\circ\text{C}$  sıcaklığa çıkarılır ve kaynayan su içerisine atılır, 4 saat süresince kaynatma işlemi devam ettirilir, daha sonra oda sıcaklığına indirilir. Numuneler deney için özel hazırlanmış düzenekte su içerisinde asılı ağırlıkları tartılır ( $W_A$ ). Daha sonra numune sudan çıkarılır, yüzeyindeki su kâğıt havlu yardımıyla silinir ve hızlı bir şekilde terazide tartılır ( $W_D$ ).



**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**METALOGRAFİ DENEYİ**  
**DENEY FÖYÜ**

**HAZIRLAYAN**

**Arş. Gör. Mehmet YAZICI**

**Arş. Gör. Kübra DEMİRBAŞ**

**2017-SAMSUN**

## 1. DENEYİN AMACI

Mikroskop altında numunenin iç yapısının görüntülenebilmesi için numunenin hazırlanması işlemidir. Bu işlem basamaklarını oluşturan; kesme, monte(nadiren gerek duyulmayabilir), zımparalama- parlatma ve dağlama tekniğinin öğretilmesi bu deneyin çıktılarını oluşturmaktadır.

## 2. TEORİK BİLGİ

Bir metalik numuneden iç yapı görüntüsü alınabilmesi için gerekli işlem basamakları;

\*Kesme ile numune alınması,

\*Monte

\*Zımparalama-parlatma ve dağlama ile numune yüzeyinin hazırlanması,

\*Optik mikroskop ile numune yüzeyinin incelenmesi şeklinde sıralanabilir.

### 2.1. Kesme ile numune alınması

\*Alınacak numune ana malzemeyi temsil edebilecek bir numune olmalıdır.

\*Daha fazla detay görebilmek için mümkün olduğunca küçük boyutta numune alınmalıdır.

\*Numune alınırken malzemenin mikroyapısı bozulmamalıdır (aşırı plastik deformasyon ve aşırı ısı (oksiasetlen kaynağı gibi)'ya maruz kalmamalıdır).

\*Hasar tespit amacıyla numune alınıyorsa; numune mümkün oldukça hasar görmüş kısma yakın bir yerden alınmalıdır.

\*Gerektiğinde farklı yönlerden ve yerlerden numune alınmalıdır (dövülmüş, kaplama).

Kesme işleminde ne kadar hassas davranılsa da işlem türüne göre numune yüzeyinde hasar meydana gelir.

Örnek:            *Oksiasetlen – Isınma*  
                      *Testere – Plastik deformasyon*

Bu yüzden numune kalıba alındıktan sonra kaba zımparalama ile bu deforme olmuş yüzey giderilir.

### 2.2. Monte

Metalografi incelemeleri sırasında elle tutulamayan numunelerin daha kolay tutulmasını sağlamak için uygulanır.

**Sıcak Monte:** Isı ve basınç uygulaması gerektiren monte işlemidir. Sıcak montede, ısıtma işlemi sırasında numune, 140-160 °C arasında ısındığından bu sıcaklıktan etkilenecek malzemelerde kesinlikle soğuk monte işlemi uygulanmalıdır. Bu işlemde plastik, ısı ve basınç altında numunenin çevresinde katılaştırılır. Kullanılan plastik malzeme toz ya da granül biçimindedir. Basınç ile çalışan gömme reçinelerde iki ayrı plastik türü kullanılır: Termoplastik

reçineler, ısıtıldıklarında ergirler ve soğutma sonucu sertleşirler; sıcaklık 70-80°C 'ye düşmeden termopresden çıkarılmamalıdır. Termoset reçineler ise yüksek basınç ve ısı altında ergirler. 140-160°C 'da basınç altında belirli bir süre tutulurlarsa katı bir kütleye dönüşürler. Bu tür plastikler için soğutma şart değildir. Sürtünme ısı ile yumuşamaları söz konusu değildir; hem daha ucuz hem de daha kullanışlıdır.

Monte Yapımında Dikkat Edilecek Noktalar:

- 1) Numune temiz olmalıdır ve monte edilecek kaba göre en az 10-15 mm daha küçük olmalıdır. Keskin kenarlardan kaçınılmalıdır.
- 2) Birçok malzeme aynı anda monte edilecekse bu numuneler birbirleriyle temas etmemelidir ve basınç uygulaması sırasında tahribat olabilir.
- 3) Plastiğe uygulanan basınç 1-1,5 tondan daha küçük olmamalıdır. Ancak bu büyüklük kriter değildir.

**Soğuk Monte:** Oda koşullarında uygulanan monte yöntemidir. Monte malzemesi olan sıvı haldeki plastiğe (polyester, epoksi, akrilik) bir miktar sertleştirici ve reaksiyonu hızlandırıcı (katalizör) iki kimyasal madde ilave edilerek, numunenin bulunduğu kalıp içine dökülür. Plastik katılaştıktan sonra kalıp içinden çıkarılır. Ergime sıcaklığı düşük malzemeler için bu monte türü tercih edilir. Bunun için baz alınacak kriter ergime sıcaklığının 0,4 katının oda sıcaklığından yüksek olup olmamasıdır. Örneğin;

Oda sıcaklığı: 25°C = 298 K

Kalayın ergime sıcaklığı: 232°C = 505 K ve  $505 * 0,4 = 202$  K

202 < 298 olduğuna göre kalay soğuk monte ile kalıba alınmalıdır.

Aksi halde kalayın iç yapısının bozulması söz konusu olacağından elde edilecek görüntü numunenin esas iç yapısını temsil niteliğinde olmayacaktır.

## 2.3. Zımparalama-parlatma ve dağlama ile numune yüzeyinin hazırlanması

### 2.3.1. Zımparalama

\*Numuneler kesilip, kalıba alınıp ve kodlandıktan sonra zımparalama yapılır.

\*Çeşitli kademelerden oluşur ve her kademedeki bir evvelki kademedeki kullanılandan daha ince aşındırıcı (zımpara) kullanılır.

\*Zımparalar genelde zımpara numarası ile ifade edilir.

- Zımparalama için genellikle mohs sertliği 9,5 olan SiC taneleri kullanılır. SiC taneleri hem toz hem de kâğıt veya kumaş üzerine bir bağlayıcı ile tutturulmuş olur.

Kaba zımparalama 80 ve 200

## İnce zımparalama 240 – 600

\*Zımparalama fazla bastırmadan yapılır.

\*Bir sonraki zımparaya geçildiğinde el ve numune iyice yıkanmalıdır.

\*Gerekirse ultrasonik temizleme yapılmalıdır

\*Genellikle yaş yapılır. Bunun nedenleri;

-Hem ısınmayı önler.

-Numune yüzeyi ile zımpara arasında daha homojen bir temas sağlanır.

-Abrasivleri bir arada tutar.

### **2.3.2. Parlatma**

Parlatma işleminde öncelikli olarak dikkat edilecek olan zımparalamadan oluşan yüzeye uygun kademedен başlamaktır. Sert malzemeler için daha az tüylü sert keçeler kullanılırken yumuşak malzemeler için tüylü yumuşak keçeler daha uygundur. Parlatma işlemi için elmas içeren pastalar ve solüsyonlar, alüminalar ve asidik yapıdaki silika süspansiyonlardır. Her numune için uygun parlatma keçeleri seçilmelidir. Yanlış seçilen parlatma keçeleri yüzeyde çizikler kalmasına, kenarların yuvarlanmasına ve numune yüzeyinde batıklar olmasına neden olmaktadır.

Kullanılan farklı tane boyutundaki keçeler kesinlikle birbirlerine dokundurulmamalıdır. Zamanla kirlenen keçelerin temizliğine dikkat edilmelidir bu sayede parlatmanın kalitesi ve keçenin ömrü artacaktır. Düzgün bir parlatma işlemi yapılmazsa yüzey mat görümlü kalacaktır ve bu mikroskopta inceleme yapılmasını zorlaştıracaktır.

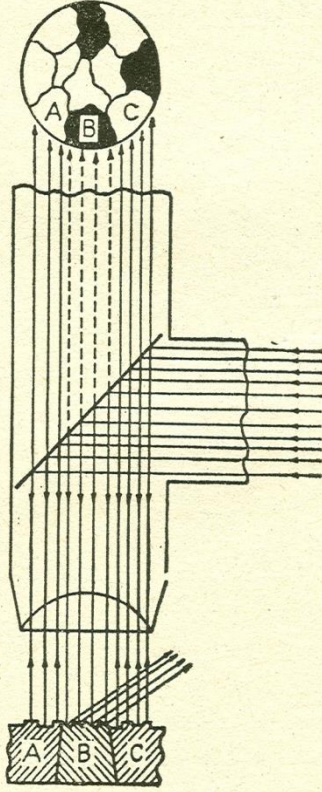
Parlatma işlemi kaba ve ince parlatma olarak ikiye ayrılmaktadır. Her iki parlatma işlemi sırasında da numuneler üzerinde parlatma keçeleri bulunan ve bu keçelerin üstüne parlatma solüsyonu dökülen parlatma diskinе tutulur ve numune yüzeyi ayna gibi olana kadar parlatma işlemine devam edilir. Kaba parlatmadan ince parlatmaya geçerken el ve numune iyice yıkanmalıdır.

### **2.3.3. Dağlama ve Optik mikroskop ile numune yüzünün incelenmesi**

Parlatılmış numunenin yüzeyi ışığı eşit şekilde dağıttığından yapıdaki ayrıntılar ayırt edilemez. Bu nedenle yapıda kontrast oluşturmak gereklidir.

Bunun için uygulanan yöntem “dağlama (etching)” denmektedir. Bu işlem parlatılmış yüzeye uygun kimyasalın sürülmesi ile yapılır.





### Kimyasal Dağlama Mekanizması

Dağlama reaktifi, mikroyapı detaylarını, numunenin yüzeyinden içeriye doğru selektif olarak çözünmesi sonucu ortaya çıkarır.

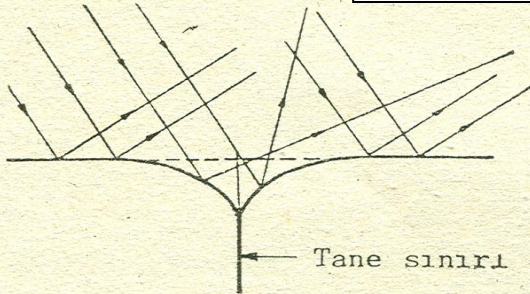
Çok fazlı alaşımların dağlama mekanizması elektrokimyasal niteliktedir. Numune reaktif ile temas ettiğinde , fazlar arasında potansiyel farkı doğar. Daha yüksek potansiyelli faz, diğerine kıyasla anodik veya elektropozitifdir. Bu nedenle dağlama esnasında yüksek potansiyelli faz çözülmeye başlar. Katodik veya elektronegatif olan diğer faz, daha düşük potansiyelle sahip olduğundan, dağlama esnasında herhangi bir değişikliğe uğramaz.

Anodik ve katodik bileşenler arasındaki potansiyel farkı, elektropozitif fazın genellikle kullanılan dağlayıcı reaktifler içinde uygun hız ve oranda çözünmesi için yeterli büyüklüktedir.

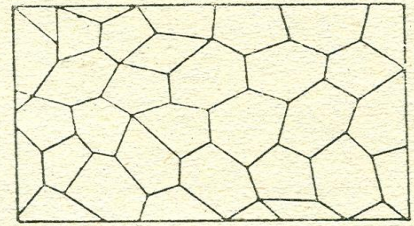
Dağlama sırasında anodik davranan faz öncelikle çözüneceğinden dolayı bir dereceye kadar anodik faz da çukurlaşma meydana gelir.

Mikroskopta incelendiğinde bu faz karanlık görünür. Diğer faz ise ışığı ayna gibi yansıtır ve parlak görünür.

Saf metallerde ve tek fazlı yapılarda söz konusu potansiyel farkının olmayışı nedeniyle bu malzemeler, çok fazlı malzemelere kıyasla daha zor dağlanırlar.



(a)



(b)

Şekil 2-22 — Tane sınırlarında, a) dağlama sonucu vadi teşekkülü ve b) mikroskopta görünümü

Işık Metal Mikroskobunda, biyolojik mikroskobun tersine, yansımış ışık kullanılır. Numune yüzeyinin çeşitli ayrıntılarının konumlarına göre, değişik açılarda yansıtılan gelen ışık, yansımaya açısına bağlı olarak mikroskobun merceklerinden geçerek görüntüyü göze iletir.

**1. Görme Gücü:** Bir cisme baktığımız zaman cismin kuvvetli ışık yayan kısmı parlak, zayıf ışık yayan kısmı karanlık görünür. Bu aydınlık farkına kontrast denir. Eğer ışık bir cismi aydınlatıyorsa, cismin yüzeyinin geometrik yapısına bağlı olarak farklı derecelerde absorbe edilebilir veya yansiyabilir. Sonuç olarak cismin farklı kısımları farklı parlaklıkta olur. Bundan faydalanılarak cismin mikroyapısını görebiliriz. Optik mikroskopta kontrast, esas olarak ışığın farklı absorblanmasından ve yansıtma katsayılarının farklı oluşundan dolayı meydana gelir.

**2. Ayırma Gücü:** Ayırma gücü en yakın iki noktanın birbirinden net olarak ayırt edilebilmesini belirler.  $d = 0,61 \lambda / n \sin \alpha$   $d =$  Ayırma gücü,  $n =$  Kırılma indisi (numune ile objektif arasındaki ortamın kırılma indisi)  $\lambda =$  kullanılan ışığın dalga boyu  $N.A. =$  Nümerik açıklık  $= n \cdot \sin \alpha$  En ideal şartlarda ışık metal mikroskopunun ayırma gücü  $1000 \text{ A}^\circ$  ( $1 \text{ A}^\circ = 10^{-10} \text{ m}$ ) ve faydalı büyütmesi 2000X dir.

**3. Alan Derinliği:** Odaklama yitirildiğinden, numunenin yüzeyi üzerindeki değişik yükseklikteki noktaların birlikte net görülebilme özelliğidir. Alan derinliği en yüksek ve en alçak noktalar arasındaki dikey uzaklıktır.

### **3. DENEYDE KULLANILACAKLAR**

Kesme cihazı

Monte cihazı

Parlatma cihazı

Optik mikroskop (OM)

Çeşitli metalik numuneler

%2 lik nital dağlayıcı (% 2 Nitrik asit + % 98 Metanol)

### **4. DENEYİN YAPILIŞI**

Deneyde çeşitli metal parçalardan öncelikle kesme ile numune alımı yapılacak. Ardından bu numuneler yukarıda anlatılan işlem basamakları sırasıyla uygulanarak optik mikroskop altında görüntülenecek. Son olarak elde edilen içyapı görüntüleri üzerinde tartışılacak.

### **5. KAYNAKLAR**

\*GTÜ Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Mikroyapı Dersi Notları\_ Doç. Dr. Yücel GENÇER

\*Metal Dünyası, Sayı 217, Sayfa 3, Metalografik Numune Zımparalama & Parlatma İşlemi, Berat BÜLBÜL

**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

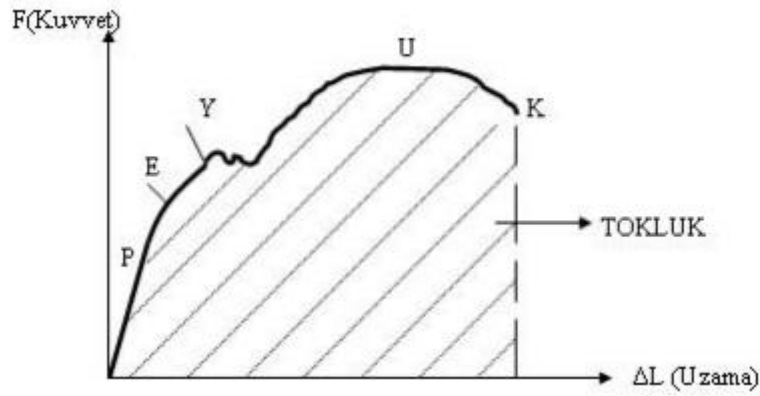
**ÇEKME DENEYİ**  
**DENEY FÖYÜ**

**HAZIRLAYAN**  
**Arş. Gör. Mehmet KURU**

**2017-SAMSUN**

## 1. DENEYİN AMACI

Mühendislik malzemeleri rijit olmadığından kuvvet altında deforme olup, şekil ve boyut değişiklikleri gösterirler. Malzeme özelliklerini anlamak üzere mekanik testler yapılır. Bunlardan en önemlisi “çekme deneyi”dir. Çekme deneyinin amacı; malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bunun için boyutları standartlara uygun daire veya dikdörtgen kesitli deney parçası; çekme cihazına bağlanarak, aksel ve değişken kuvvetler uygulanır. Çekme cihazı esas olarak; birbirine göre aşağı ve yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara hareket veya kuvvet veren, bu iki büyüklüğü ölçen ünitelerden oluşur. Çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir.



Küçük kuvvet seviyelerinde uzama miktarı kuvvet ile doğru orantılıdır. Malzeme elastik davranış içindedir; yani kuvvet kaldırılınca uzama sıfırlanır. Bu karakter **P** noktasına kadar devam eder. Orantı limiti **P** den sonra lineer fonksiyon eğimini değiştirir. Ancak elastik davranış devam eder. Elastik davranış **E** “Elastik Limiti” noktasında sona erer. **E** den sonra kalıcı; yani plastik deformasyonlar başlar. Kuvvet azaltıldığında lineer fonksiyona paralel bir yol izler. Ancak kuvvetin sıfır olduğu yerde deformasyon artık sıfır olmaz, belirli bir plastik deformasyon kalır. Malzeme yüklenmeye devam edilirse **Y** noktasında akar. Akma noktasında kuvvet aynı iken büyük miktarda plastik deformasyon oluşur. Akan malzeme “çalışma sertleşmesi”ne uğrar ve daha mukavim hale gelerek daha fazla kuvvet alabilir hale gelir. Bu malzeme üzerindeki kuvvet daha da arttırılarak **U** noktasına ulaşılır. **U** noktası “maksimum gerilme” noktası olup, burada malzeme kesitinde lokal daralmalar başlar. Buna malzemenin “boyun vermesi” denir. Boyun verme de malzemenin çalışma sertleşmesine uğramasına sebep olur ve malzeme daha fazla gerilimler alabilir; ancak boyun bölgesinde kesit alanı daraldığından taşıdığı net kuvvet azalır. Numune genellikle kontrolsüz bir şekilde **K** noktasına ilerler ve orada kopar. Kuvvet-uzama eğrisinin altında kalan alan o numuneyi bozunuma uğratmak için gereken enerjiyi eşit olup; tokluk adı verilir.

Kuvvet-uzama eğrisi daha sonra yeniden ölçeklendirilir. Uzamalar malzemenin ilk uzunluğuna bölünerek "birim-uzama" 'ya çevrilir. Aynı şekilde kuvvet numunenin ilk kesit alanına bölünerek "gerilim" hesaplanır ve dikey eksen tekrar ölçeklendirilir. Malzeme kopana kadar önemli miktarda deformasyona uğradıysa "sünek" , az deforme olmuşsa "gevrek" yapıya sahiptir.

## 2. TEORİK BİLGİ

Deney sonucunda elde edilen sayısal veriler yük(F) ve uzama(mm) verileridir. Bu veriler kullanılarak gerilme ve gerinme elde edilir.

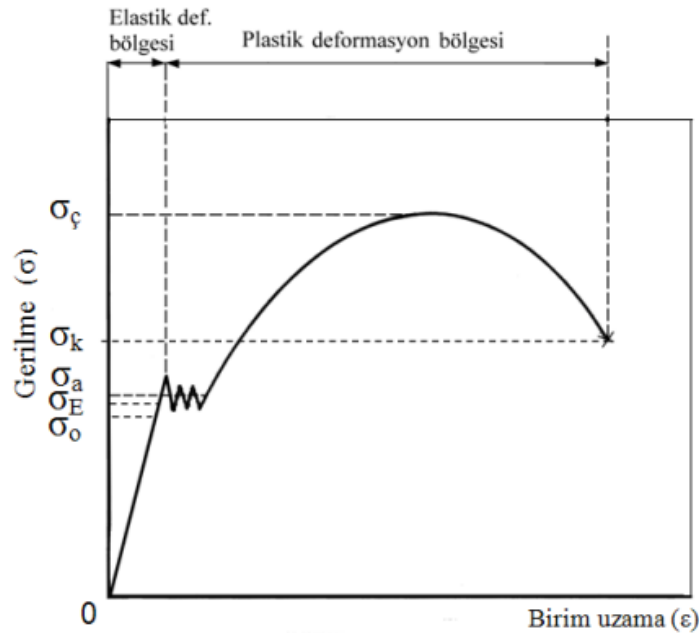
**Gerilme ( $\sigma$ ):** Birim alana etkiyen yük anlamına gelir ve kuvvetin alana bölünmesiyle hesaplanır.

$$\sigma = (F / A)$$

**Gerinme (Birim Şekil Değişirme ( $\epsilon$ )):** Malzemeye kuvvet uygulandığında oluşan boy değişiminin kuvvet uygulanmadan önceki ilk boy oranıdır.

$$\epsilon = (\Delta l / l_0)$$

Aşağıda düşük karbonlu bir çeliğe ait gerilim-gerinim diyagramı gösterilmektedir.

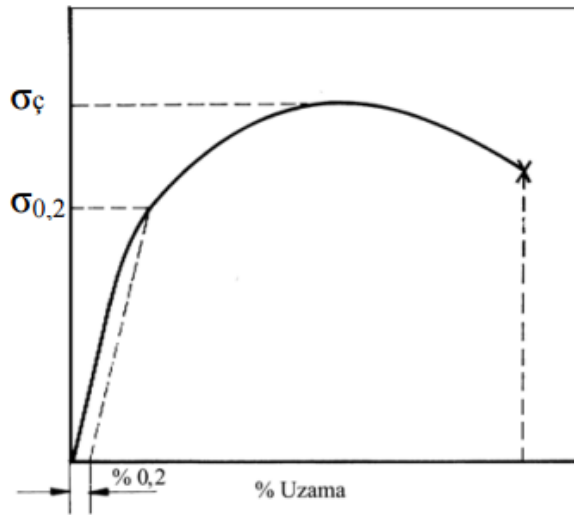


**Şekil 1.** Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı.

Çekme deneyi sonucunda malzemenin orantı sınırı, elastiklik sınırı, akma sınırı ve çekme dayanımı gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması, kopma büzülmesi ve tokluk ve süneklik değerleri belirlenir.

Malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine ve metalografik yapısına bağlı olan bu özellikler aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır.

**a) Akma dayanımı ( $\sigma_a$ ):** Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir (Şekil 1). Bu değer akma kuvvetinin ( $F_a$ ) numunenin ilk kesit alanına bölünmesiyle ( $\sigma_a = F_a/A_0$ ) bulunur. Düşük karbonlu yumuşak çelik gibi bazı malzemeler, deney koşullarına bağlı olarak belirgin akma sınırı gösterebilirler. Malzemelerin belirgin akma göstermemesi durumunda, genelde %0,2'lik plastik uzamaya ( $\epsilon_{plastik} = 0,002$ ) karşı gelen çekme gerilmesi akma sınırı veya akma dayanımı olarak alınır (Off-set kuralı). Şekil 2'de belirgin akma göstermeyen bir malzemenin çekme diyagramı ile bu malzemenin akma dayanımının nasıl belirlendiği görülmektedir.



**Şekil 2.** Belirgin akma göstermeyen bir malzemenin akma dayanımının belirlenmesini gösteren diyagram.

**b) Elastiklik sınırı ( $\sigma_E$ ):** Malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığı zaman plastik uzamanın görülmediği veya yalnız elastik şekil değiştirmenin meydana geldiği en yüksek gerilme değeridir. Gerilme-birim uzama diyagramında Hooke yasasının, yani  $\sigma = E \cdot \epsilon$  bağıntısının geçerli olduğu doğrusal kısmı sınırlayan gerilme değeridir. Bir malzemenin elastiklik modülü ne kadar büyükse, o malzemenin elastik şekil değiştirmeye karşı direnci de o ölçüde büyük olur.

**c) Çekme dayanımı ( $\sigma_c$ ):** Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup,  $\sigma_c = F_{maks}/A_0$  formülü ile bulunur. Burada  $F_{maks}$  malzemeye uygulanan en yüksek kuvveti,  $A_0$  ise malzemenin ilk kesit alanını gösterir.

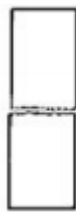
**d) Kopma dayanımı ( $\sigma_k$ ):** Çekme deneyi esnasında, numune kesiti çekme kuvvetini artık karşılayamadığı anda kopma meydana gelir. Çekme diyagramı çiziminde kaydedilen bu son gerilme değerine, malzemenin kopma dayanımı adı verilir.

**e) Kopma uzaması (KU):** Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boyda meydana gelen uzama  $\Delta L = L_k - L_0$  bağıntısı ile bulunur. Burada  $L_0$  numunenin ilk ölçü uzunluğunu,  $L_k$  ise numunenin kırılma anındaki boyunu gösterir. Kopma uzaması ise;  $KU (\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$  bağıntısı yardımıyla belirlenir. Bu değer malzemenin sünekliğini gösterir.

**f) Kopma büzülmesi (KB):** Çekme numunesinin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme oranı olup,  $KB (\%) = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100$  bağıntısı ile hesaplanır. Burada  $A_0$  deney numunesinin ilk kesit alanını,  $A_k$  ise kırılma anındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını gösterir. Kopma büzülmesi, kopma uzaması gibi sünekliğin bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme veya boyun verme meydana gelirken, gevrek malzemeler büzülme göstermezler. Şekil 3'de gevrek ve sünek malzemelerin kırılma davranışları şematik olarak gösterilmiştir.

**g) Rezilyans:** Malzemenin birim hacmi için harcanan şekil değiştirme işi veya enerjisi, çekme eğrisinin altında kalan alan yardımıyla hesaplanabilir ( $MPa \times m/m = N \times m/m^3 = J/m^3$ ). Elastik sınıra kadar harcanan iş, bir malzeme içinde kalıcı şekil değişimi (akma) başlamadan depolanabilecek maksimum elastik şekil değiştirme enerjisini verir ve "Rezilyans" olarak adlandırılır. Örneğin yay malzemelerinde rezilyansın yüksek olması istenir.

**h) Tokluk:** Malzemenin birim hacmi başına düşen plastik şekil değiştirme enerjisi olarak tanımlanır ve malzemenin kırılıncaya kadar enerji depolama veya soğurma yeteneğini gösterir. Tokluk, genellikle  $\sigma - \epsilon$  eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur.



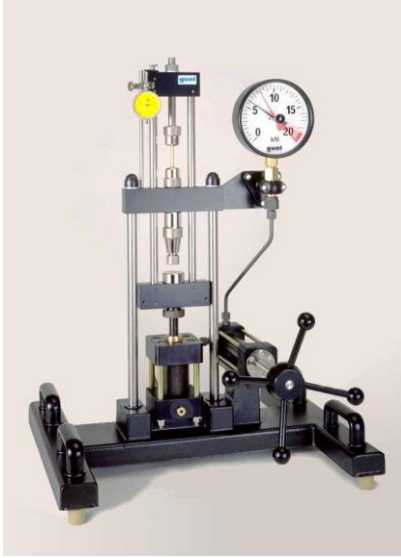
**Şekil 3. (a)** gevrek malzemenin kırılma şekli

**(b)** sünek malzemenin kırılma şekli

### 3. DENEYDE KULLANILACAKLAR

Alüminyum, çelik, bakır çekme numuneleri (DIN 50125)

GUNT WP300 Universal Material Tester



### 4. DENEYİN YAPILIŞI

- 1) Çekme deney numunesi iki ucundan tutucu çenelere yerleştirilir.
- 2) Numunenin ilk ölçü boyu (gauge length) ve çapı ölçülür.
- 3) Çekme başlamadan önce okunan kuvvet ve uzama değerleri sıfırlanır.
- 4) Deney başlatılır ve numune kopuncaya kadar kuvvet-uzama değerleri kaydedilir.
- 5) Çekme diyagramı çizilir ve deney yorumlanır.

Ölçümler	
Numune çapı ( $d_0$ ) =	
Ölçü uzunluğu ( $l_0$ ) =	
Akma kuvveti ( $F_a$ ) =	
En yüksek çekme kuvveti ( $F_{maks}$ ) =	
Son boy ( $l_k$ ) =	
Son çap ( $d_k$ ) =	
İlk kesit alanı ( $A_0$ ) =	
Son kesit alanı ( $A_k$ ) =	



## 5. SONUÇLAR

Gerilim-Gerinim Diyagramı

Diyagram üzerinde önemli noktaları gösteriniz (Akma, Çekme, Kopma uzaması, Tokluk, Süneklik, Rezilyans)

Farklı metallere ait çekme eğrilerini yorumlayınız.

## 6. KAYNAKLAR

\*Yrd. Doç. Dr. Kemal YILDIZLI, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çekme/Eğme Deney Föyü.

\*Doç. Dr. Ramazan KAYIKÇI, Araş. Gör. Gülşah AKTAŞ, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Çekme Deneyi Föyü

\*Dieter, G. E., "Mechanical Metallurgy SI Metric Editions", McGraw-Hill Book Company, 1988

\*Temel Savaşkan, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Akademi Yayınları

\*[http://web.itu.edu.tr/~dikicioglu/WEBMAL201/Mal201MekanikOzelliklerSurunme\(4\).pdf](http://web.itu.edu.tr/~dikicioglu/WEBMAL201/Mal201MekanikOzelliklerSurunme(4).pdf)

\*Harran Üniversitesi mekanik deney föyü

**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ  
BOYUT KÜÇÜLTME VE ELEK ANALİZİ DENEYİ  
DENEY FÖYÜ**

**HAZIRLAYAN  
Arş.Gör. Tuğba MUTUK**

## **DENEYİN AMACI**

Kırma ve öğütme işlemine tabi tutulan malzemenin eleme işlemi ile tane boyut dağılımının saptanması.

## **KURAMSAL TEMELLER**

Hammaddeler, çeşitli işlemlerden elde edilen ürün veya ara ürünler; temel kimyasal ve metalurjik işlemlere girmeden önce, yüzey büyütme (boyut küçültme), yüzey küçültme (boyut büyütme), malzeme ayırma ve malzeme karıştırma gibi ön ve ara işlemlerden geçirilmektedir.

### **1. Yüzey büyütme:**

Yüzey büyütme işlemleri sıklıkla katı fazdaki malzemeler için uygulanır. Katı fazdaki malzemelerin mevcut yüzeylerinin büyütülmesi tane boyutlarının küçültülmesiyle gerçekleşir. Teknolojide bu küçültme işlemleri “kırma” ve “öğütme” isimleriyle ifade edilir.

#### **1.1. Kırma:**

Kırma, katı bir maddenin mekanik kuvvetler vasıtasıyla daha küçük parçalara bölünmesi işlemidir. Kırma işleminin amacı belli bir parçacık boyutunun altına inmek fakat pek çok durumda belli bir alt sınırı da aşmamaktır.

Kırma işlemi “kaba kırma” ve “ince kırma” olarak ikiye ayrılır. Kaba kırma işlemi sonucunda 50 mm üzerinde boyutlarda parçacıklar üretilir. İnce kırma işlemi sonucunda ise en küçük parçacık boyutunun 5 mm civarında bulunduğu ürünler elde edilir. Uygulamalarda en çok kullanılan kırıcılar çeneli ve konik kırıcılardır. Bu iki tip kırıcı sert ve orta sertlikteki maddelerin hem kaba hem de ince kırma işlemlerinde başarı ile uygulanırken, yumuşak maddelerin kaba kırmasında çekici kırıcılara daha fazla rastlanmaktadır. Çeneli kırıcılarda kırma işlemi, cihazın çene tabir edilen parçaları arasında yapılmaktadır. Bu çenelerden genellikle birisi sabit olmakta, diğer çenenin hareketi ile kırma gerçekleşmektedir.

#### **1.2. Öğütme:**

Üretilen parçacıkların en büyük boyutunun yaklaşık 5 mm’den daha az olduğu hallerdeki yüzey büyütme işlemlerine öğütme adı verilir. Öğütme işlemlerinde genellikle ekseni etrafında dönen bir gövde ve içersine konan öğütücü ortam parçalarından (bilya, çubuk, çakıl) oluşan değirmenler kullanılır.

## **2. Eleme:**

Eleme katı bir malzeme karışımını elekler kullanarak farklı boyutlardaki bileşenlerine ayırma işlemidir. Eleme işleminde kullanılan elekler büyüklüklerine göre sınıflandırılırken “mesh numarası” kavramı kullanılır. Mesh numarası bir elekte birim alan (inç<sup>2</sup> veya mm<sup>2</sup>) başına düşen delik sayısını göstermektedir.

Eleme ile elek altı ve elek üstü olmak üzere iki ürün elde edilir. Endüstriyel elekler eleminin yapıldığı yüzeyin sabit veya hareketli olmasına göre “sabit elekler” ve “hareketli elekler” olmak üzere iki ana bölüme ayrılır.

Sabit eleklerin en basit şekli ızgaralardır. ızgaralar büyük boyutlu malzemelere en uygun olan tiptir. Genellikle eğik olarak yapılırlar ve üzerlerindeki malzemenin aşağı doğru inerken ızgara aralıklarından düşen parçaların ızgara üstünde kalandan ayrılmasını sağlarlar. Hareketli eleklerde tıkanmayı azaltmak amacıyla ızgaralara çeşitli hareketler verilmektedir. Bu hareketler ile malzeme hem bir yöne doğru itilir hem de eleme kolaylaştırılmış olur.

## **DENEY DÜZENEGİ VE YÖNTEMİ**

### **Teorik Bilgi:**

Metalurjik proseslerde kullanılan birçok malzeme kullanım aşamasına gelmeden önce kırma, öğütme gibi bir takım ön işlemlere tabi tutulur. Bu işlemler sonucu farklı tane boyutuna sahip malzemeler oluşur. Farklı boyuttaki bu tanelerin boyutlarına göre sınıflandırılması amacıyla eleme işlemi yapılır. Eleme farklı boyuttaki tanelerin belirli büyüklükteki delik ve açıklıklardan geçme özelliğine dayanarak yapılan boyut ayırma işlemidir. Bu amaçla standartlarda tanımlanmış elekler kullanılmaktadır. Bu standartlar Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de de görüldüğü gibi eleme işlemi için elek açıklığı 670 mm’ den 20 µm’ e kadar değişen elekler kullanılmaktadır.

Tablo 1'de verildiği gibi elekleri tanımlayan 6 farklı standart bulunmaktadır. Bunlar:

- ISO 565
- USA-TYLER
- Alman DIN-4188
- GB B.S 410
- USA ASTM-E 11-70
- Fransa AFNOR X11-501

Genellikle ISO, DIN ve AFNOR standartlarında elek numaraları doğrudan mm veya  $\mu\text{m}$  olarak elek üzerinde yazmaktadır. Ancak Amerikan ve İngiliz standartlarında elek açıklığı anlamına gelen mesh {1 inç (25,4 mm) uzunlukta bulunan delik sayısı} kelimesi ile elek numaraları açıklanmaktadır.

Elek analizleri için elek açıklıklarının seçiminde kullanılan sabit oran  $\sqrt{2}=1.4142$  veya  $4\sqrt{2}=1.189$ 'dur. Amerikan TYLER elek serisi  $4\sqrt{2}$  oranı ile, ASTM elek serisi ise  $\sqrt{2}$  oranı kullanılarak belirlenmiştir. Her iki sistemde de 200 mesh = 0.074 mm' lik (74  $\mu\text{m}$ ) elek başlangıç noktası kabul edilip, ASTM ve TYLER için yukarıda verilen katsayılara bölmek suretiyle bir alt seride yer alan eleğin elek numarası bulunur.

Bir üst seride bulunan eleklerin numaraları ise verilen bu katsayılara 74  $\mu\text{m}$ 'yi çarparak belirlenir. Toz malzemelerin tane boyutunu ve tane boyut dağılımını saptamak amacıyla en az beş elek kullanılır. Ancak daha fazla boyut sınıflandırılması durumunda bu sayı artırılır.

**Tablo 1: Farklı standartlarda verilen elek numaraları**

ISO-565	Germany DIN 4188 Açıklık (mm)	USA ASTM E 11 - 70			USA TYLER		Great Britain B.S. 410	
		Açıklık(µm)	inch	Mesh No	Açıklık (inch)	Mesh No	Açıklık (µm)	Mesh No
20 µm	0.020	-	-	-	-	-	-	-
25 µm	0.025	-	-	-	-	-	-	-
28 µm	0.028	-	-	-	-	-	-	-
32 µm	0.032	-	-	-	-	-	-	-
36 µm	0.036	-	-	-	-	-	-	-
38 µm	-	38	0.0015	400	0.0015	400	38	400
40 µm	0.040	-	-	-	-	-	-	-
45 µm	0.045	45	0.0017	325	0.0017	325	45	350
50 µm	0.050	-	-	-	-	-	-	-
53 µm	-	53	0.0021	270	0.0021	270	53	300
56 µm	0.056	-	-	-	-	-	-	-
63 µm	0.063	63	0.0025	230	0.0024	250	63	240
71 µm	0.071	-	-	-	-	-	-	-
75 µm	-	75	0.0029	200	0.0029	200	75	200
80 µm	0.080	-	-	-	-	-	-	-
90 µm	0.090	90	0.0035	170	0.0035	170	90	170
100 µm	0.100	-	-	-	-	-	-	-
106 µm	-	106	0.0041	140	0.0041	150	106	150
112 µm	0.112	-	-	-	-	-	-	-
125 µm	0.125	125	0.0049	120	0.0049	115	125	120
140 µm	0.140	-	-	-	-	-	-	-
150 µm	-	150	0.0059	100	0.0058	100	150	100
160 µm	0.160	-	-	-	-	-	-	-
180 µm	0.180	180	0.0070	80	0.0069	80	180	85
200 µm	0.200	-	-	-	-	-	-	-
212 µm	-	212	0.0083	70	0.0082	65	212	72
224 µm	0.224	-	-	-	-	-	-	-
250 µm	0.250	250	0.0098	60	0.0097	60	250	60
280 µm	0.280	-	-	-	-	-	-	-
300 µm	-	300	0.0117	50	0.0116	48	300	52
315 µm	0.315	-	-	-	-	-	-	-
355 µm	0.355	355	0.0139	45	0.0138	42	355	44
400 µm	0.400	-	-	-	-	-	-	-
425 µm	-	425	0.0165	40	0.0164	35	425	36
450 µm	0.450	-	-	-	-	-	-	-
500 µm	0.500	500	0.0197	35	0.0195	32	500	30
560 µm	0.560	-	-	-	-	-	-	-
600 µm	-	600	0.0234	30	0.0232	28	600	25
630 µm	0.630	-	-	-	-	-	-	-
710 µm	0.710	710	0.0278	25	0.0276	24	710	22
800 µm	0.800	-	-	-	-	-	-	-
850 µm	-	850	0.0331	20	0.0328	20	850	18
900 µm	0.900	-	-	-	-	-	-	-
100 mm	1.000	1000	0.0394	18	0.0390	16	1000	16
112 mm	1.120	-	-	-	-	-	-	-
118 mm	-	1180	0.0469	16	0.0460	14	1180	14
125 mm	1.250	-	-	-	-	-	-	-
140 mm	1.400	1400	0.0555	14	0.0550	12	1400	12
160 mm	1.600	-	-	-	-	-	-	-
170 mm	-	1700	0.0661	12	0.0650	10	1700	10
180 mm	1.800	-	-	-	-	-	-	-
200 mm	2.000	2000	0.0787	10	0.0780	9	2000	8
224 mm	2.240	-	-	-	-	-	-	-
236 mm	-	2360	0.0937	8	0.0930	8	2360	7
250 mm	2.500	-	-	-	-	-	-	-
280 mm	2.800	2800	0.110	7	0.1100	7	2800	6
315 mm	3.150	-	-	-	-	-	-	-
335 mm	-	3350	0.1320	6	0.1310	6	3350	5
355 mm	3.550	-	-	-	-	-	-	-
400 mm	4.000	4000	0.1570	5	0.1560	5	4000	4
450 mm	4.500	-	-	-	-	-	-	-
475 mm	-	4750	0.1870	4	0.1850	4	4750	-
500 mm	5.000	-	-	-	-	-	-	-
560 mm	5.600	5600	0.2230	3 <sup>1/2</sup>	0.2210	3 <sup>1/2</sup>	5600	-
630 mm	6.300	6300	0.2500	3	-	-	-	-
670 mm	-	6700	0.2650	-	0.2630	3	6700	-

## DENEYİN YAPILIŞI

Elek setinin en üstüne en büyük elek açıklığına sahip elek yerleştirilir. Diğer elekler ise aşağıya inildikçe elek açıklıkları küçülecek şekilde yerleştirilir. Daha sonra en üstteki eleğin üzerine kapak, en alttakine ise tava konulur. Elek analizi yapılacak numune tartılıp en üstte yerleştirilen eleğe konulup, üst kapak örtülerek 10 dakika süre ile eleme işlemine tabi tutulur. Bu işlem kuru olarak gerçekleştirilirse yapılan eleme işlemi “kuru eleme” olarak adlandırılır. Eğer bu işlem sırasında elek setinden su geçirilirse yapılan bu eleme işlemine “*sulu eleme*” işlemi adı verilir. Eleme işlemi sonunda her eleğin üzerinde toplanan malzeme, ön tartımı alınmış kaplara konulur.

Elek yüzeyindeki delikler arasında kalan taneler yumuşak bir fırça yardımı ile elek üstü miktarına ilave edilir. İdeal olarak eleklerden tartılan toplam madde miktarı başlangıçtakine eşit olmalıdır. Ancak bir miktar kayıp söz konusu olabilir. Bu miktar başlangıçtaki hammadde miktarına göre az olacağından ihmal edilebilir.

### **Kullanılan Cihazlar ve Malzemeler:**

Laboratuvar tipi elek analizi cihazı

Değişik elek açıklıklarına sahip elekler

Kırma ve öğütme işlemlerine tabi tutulmuş malzeme

Elektronik terazi



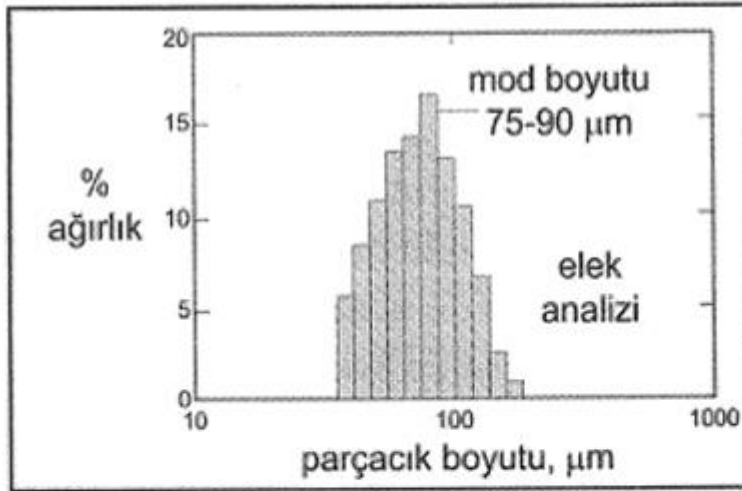
## Parçacık Boyut Verileri

Parçacık boyut verileri toplandıktan sonra dağılım analiz edilir. Parçacık boyut dağılımı, her bir boyut artışıdaki parçacıkların miktarını gösteren bir histogram veya frekans grafiği olarak verilir. Örnek bir eleme işleminden sonra her bir elekte kalan toz ağırlığını gösteren sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Analizdeki ilk iş, her bir kademedeki ağırlığı toplam numune ağırlığına bölerek verileri kademeli yüzdelere çevirmektir. Bu veriler için histogram, elek açıklık boyutuna karşı kademeli yüzdelere çizilerek oluşturulur. Böyle bir çizim Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Örnek parçacık boyut dağılım verileri

elek boyutu	açıklık $\mu\text{m}$	kalan ağırlık, g	aralık yüzdesi	birikimli yüzde
70	212	0,0	0,0	0,0
80	180	1,1	0,9	0,9
100	150	3,0	2,5	3,3
120	125	8,7	7,1	10,4
140	106	13,2	10,8	21,2
170	90	16,5	13,5	34,7
200	75	20,8	17,0	51,7
230	63	18,0	14,7	66,4
270	53	16,9	13,8	80,2
325	45	13,6	11,1	91,3
400	38	10,8	8,8	100,0
500	25	0,0	0,0	100,0

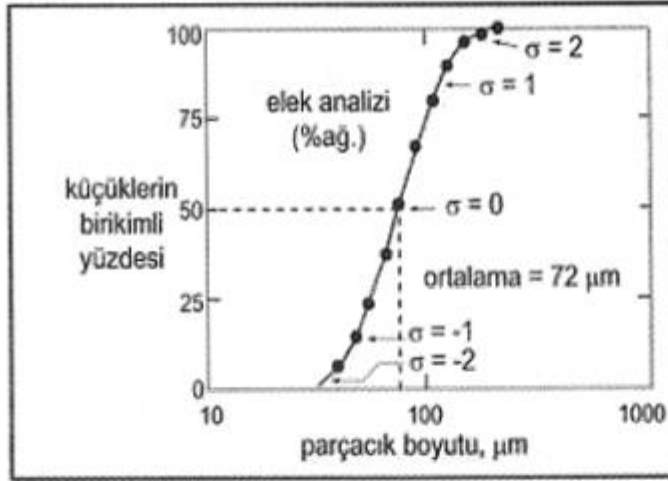
toplam ağırlık = 122,6 g



Şekil 1 Tablo 1'deki verilere göre çizilen logaritmik esaslı histogram.

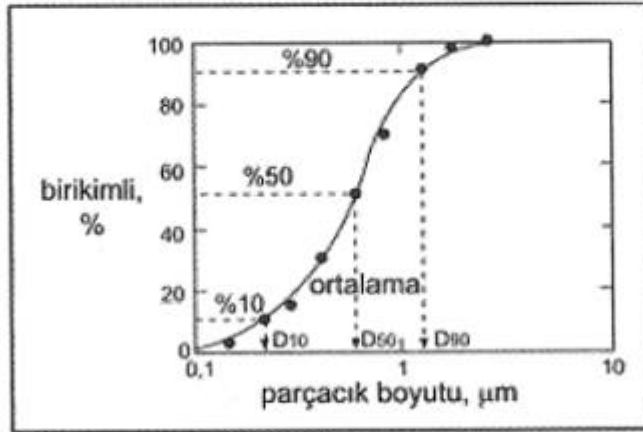
Kümülatif parçacık boyut dağılımı, aralıktaki yüzdeleri toplayarak oluşturulur. Düzgün bir kümülatif parçacık boyut dağılımında, ortalama toz boyutu % 50 değerine karşılık gelir. Histogram grafiğinde en yüksek tepe nokta olan parçacık boyutu modu, en çok tekrar eden boyuta denk gelir. Şekil 2'de Tablo 1'deki veriler kullanılarak çizilen kümülatif parçacık boyut dağılımı grafiği verilmiştir.





Şekil 2 Tablo 1'deki verilere göre çizilen kümülatif parçacık boyut dağılımı.

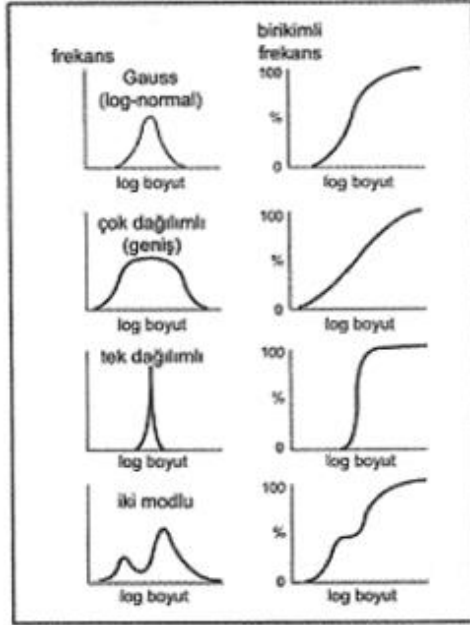
Kümülatif parçacık boyut dağılımı grafiğinde üç farklı boyutu belirtmek yaygın şekilde uygulanan bir işlemdir. Bunlar %10, %50 ve %90 kümülatif yüzdeye karşılık gelen boyutlardır ve  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ , ve  $D_{90}$  olarak belirtilirler. Bu üç nokta Şekil 3 'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Kümülatif boyut dağılımı eğrisinde %10, %50 ve %90'daki parçacık boyutlarına karşılık gelen  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ , ve  $D_{90}$  parçacık boyutları.

#### Yaygın Dağılımlar

Parçacık boyut dağılımları, Şekil 4'te verilenin aksine, çok farklı şekillerde oluşabilir. Bununla ilgili bazı örnekler Şekil 6'da verilmiştir. Burada, normal dağılım yanında geniş aralıklı (çok dağılımlı), dar (tek boyutlu) dağılımlı ve iki tepe noktasına sahip iki modlu dağılımlar gösterilmiştir.



Şekil 4 Farklı şekillerde oluşan parçacık boyut dağılımının kümülatif ve frekans grafikleri.

### İncelik modülü

Kullanılacak tozun v.b. İncelik veya kalınlığını ifade eden sıradan bir terim olup, delik açıklığı birbirinin iki misli artan elekler üzerinde kalan malzemenin kümülatif yüzdeler toplamının yüze bölünmesiyle elde edilen rakamdır.

Taneler inceledikçe ve boyutları küçük olan tanelerin miktarı arttıkça bu karakteristik küçük değerler almaktadır. Malzemede iri tanelerin miktarının artması ise incelik modülünün büyük değerler almasına neden olur. Karışım oranlarını deneme sına yolu ile ararken incelik modülü değerlerinden yararlanılabilir. İncelik modülü, aynı kaynaktan sağlanan agregadaki küçük değişkenlikleri tespit için kullanılabilir.

### Hesaplamalar

İncelik modülü hesaplanırken tablodaki değerler bulunur ve kümülatif % değeri 100'e bölünür elde edilen değer elek skalasında hangi aralıkta ise ona göre toz karışımımızın ortalama boyutu hesaplanmış olur.

Elek Boyutu (mm)	Elek üstü ağırlık (g)	Ağırlık yüzdesi (%)	Kümülatif Yüzde (%)

### Kaynaklar

1. German, R. M. "Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri", Türk Toz Metalurjisi Derneği, Temmuz, Ankara, 2007
2. German, R.M., Powder Metallurgy Science, 2<sup>nd</sup> edition, Metal Powder Industries Federation, USA, 1984.
3. Metals Handbook, 9<sup>th</sup> ed., Vol.7, Ohio, 1984, 14 – 20.

**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**SOL JEL DENEYİ**  
**DENEY FÖYÜ**

**HAZIRLAYAN**  
**Arş. Gör. Ayşe ERCİYES**

**2017-SAMSUN**

## 1. Giriş

Moleküler ön başlatıcıların (**prekürsör**) hidroliz ve kondenzasyonuna dayanan sol- jel sentezi, inorganik malzemeler hazırlamak için geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Sol- jel tekniği hem inorganik hem de organik-inorganik hibrit polimerlerin elde edilmesinde çok kullanışlı bir yöntemdir. Katı hal proseslerinin aksine sol- jel prosesi, son ürüne prekürsör türlerinin dönüşümü sırasında reaksiyon yolunda moleküler seviyede kontrol imkânı sunmaktadır. Böylece sol- jel prosesi, çok yüksek saflık ve homojenlikte, uniform kristal morfolojisinde ve iyi tanımlanmış nanopartiküllerin sentezine olanak sağlar. Bu proses sayesinde, istenilen özelliklere (sertlik, optik transparanlık, kimyasal dayanıklılık, gözeneklilik ve kimyasal direnç vb.) sahip homojen inorganik oksit malzemeler, inorganik camlara dönüşüm için gerekli olan yüksek erime sıcaklığına ihtiyaç duyulmadan, oda sıcaklığında elde edilebilmektedirler.

Sol- jel prosesinin olağanüstü ılımlı koşullarda (sıklıkla oda sıcaklığında) gerçekleşebilmesi ve çeşitli şekil, boyut ve formatlarda ürünlerin elde edilebilmesi, bu teknolojinin çeşitli bilimsel ve mühendislik alanlarında giderek artan uygulamalarda yer almasını sağlamıştır. Sol- jel terimi sollar ya da koloidal süspansiyonlardan üretilen jellerin proseslerinin geniş bir sınıfını tanımlar. “Sol- jel” isminin içeriğinden de anlaşılacağı gibi bu proses koloidal süspansiyonun oluşumu yoluyla inorganik matrislerin üretimi ve bir grup jeli oluşturmak için solün jelleşmesi ve kurutma sonrası bu jelin xerogel (kuru jel) şekline dönüşmesini içerir. Genel anlamda, sol- jel işlemi etanol gibi uygun bir çözücü içerisinde, katalizörlü ya da katalizörsüz ortamda, tetra n- butil titanat gibi bir metal-organik prekürsörün hidroliz ve kondenzasyonunu içerir.

Sol- jel yöntemiyle katı materyallerin sentezlenmesi çoğunlukla yaş kimya reaksiyonlarını içermektedir. Fakat genel olarak sol- jel kimyası, hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonlarıyla oksit ağıdaki moleküler prekürsörlerin transformasyonuna dayanmaktadır. Alkol- su çözeltisindeki alkoksit grupları, asidik ya da bazik katalizör varlığında hidroliz ile aşamalı olarak uzaklaştırılır ve -M-O-M- bağlarını oluşturacak olan hidroksil grupları ile yer değiştirir.

**Jelleşme**, tüm çözelti hacmini kapsayan bir ağ oluşturmak için büyüyen polimer ağlarının bir araya gelmesiyle meydana gelir. Bu jelleşme noktasında hem viskozite hem de elastik modülü giderek artar. Sonrasında jel, **xerogeli** oluşturmak için buharlaştırmayla, ya da **aerogeli** elde etmek için süper kritik akışkan ekstraksiyonuyla kurutulabilir.

Bunun yanında sol- jel kimyası, bir yandan suyun ligand oluşturma ve çözücü olarak çift rolü ve metal oksit prekürsörlerin suya karşı reaktivitesinden dolayı ve diğer yandan sentez protokolünün iyi tekrarlanabilirliğini sağlamak için sıkı bir şekilde kontrol edilmesi gereken reaksiyon parametrelerinin çok sayısında olması (metal alkoksit prekürsörlerinin hidroliz ve kondenzasyon hızı, pH, sıcaklık, karıştırma yöntemi, oksidasyon hızı, vb.) nedeniyle oldukça karmaşık bir prosestir.

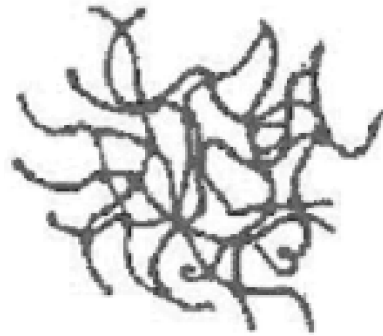
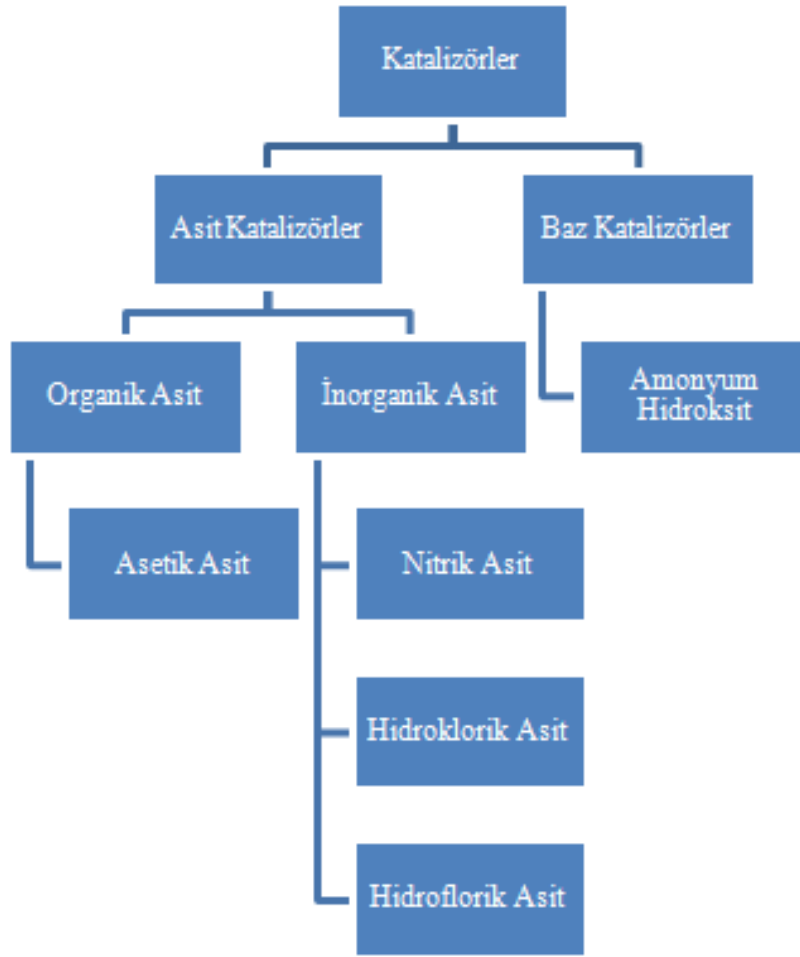
Sol-jel yöntemi laboratuvar koşullarında iyi uygulanabilen bir metottur ve bu metodun büyük ölçekli üretimler için de kullanımı giderek artmaktadır

**\*Sol- jel yöntemi genel olarak řu temel basamaklardan oluşur:**

- 1- Prekürsörün hidrolizi
- 2- Sol- jel aktif türlerinin alkol ya da su kondenzasyonu
- 3- Jelleşme
- 4- Yařlanma
- 5- Kurutma
- 6- Yüksek sıcaklık işlemi

## **2. Sol- Jel Yönteminde Kullanılan Bileşenler**

1. Prekürsörler: (metal tuzları (örn;  $AlCl_3$ ),  $MgCl_2$  .... ve metal alkoksitler (örn;  $Al(OC_2H_5)_3$  alüminyum etoksit...))
- 2.Çözücüler:  $CH_3OH$  (metanol),  $C_2H_5OH$  (etanol),  $C_3H_7OH$  (propanol),  $C_4H_9OH$  (bütanol) gibi alkoller sol- jel yönteminde başlangıç malzemesi olarak kullanılırlar ve metal oksitlerle reaksiyona girerler. Su ( $H_2O$ ), sol- jel prosesinde önemli bir etkiye sahip olduğundan alkollerden ayrı bir şekilde değerlendirilir.
- 3.Katalizörler: asit ve baz olmak üzere ikiye ayrılır.



a- Asit katalizli mekanizma ile oluşmuş yapı



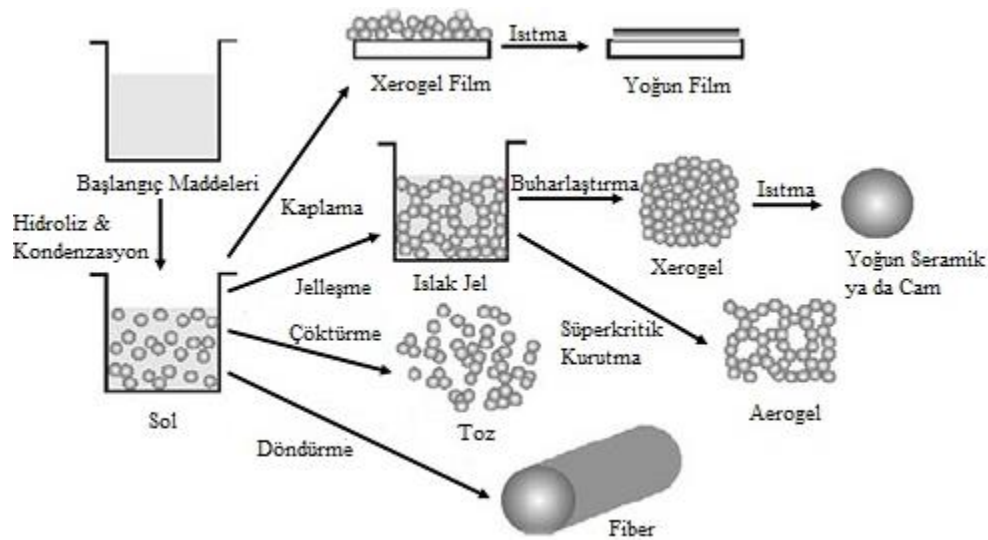
b- Baz katalizli mekanizma ile oluşmuş yapı

### 3. Sol- Jel Yönteminde Oluşan Yapılar

Sol- jel prosesinde ilk aşama **solün** oluşumudur. Sol, sıvı içerisinde katı partiküllerin koloidal bir süspansiyonudur. Hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonları sırasında gerçekleşen peptizasyon, çökeltilerin bir çözücü yardımı ile dağılması olarak tanımlanabilen bir dekoagülasyon olayıdır. Koagülasyon ise koloidal tanelerin elektrik yükünün sıfır olması sonucu büyüyerek çökelmeleridir.

Sol yapı peptizasyon sonucu oluşur. Hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonları solün viskozitesini jel yapı oluşana kadar düşürür. Daha sonra sol üzerinde yoğunlaşma reaksiyonları oluşur ve jelleşme işlemi parçalı kümelerde polimer ya da partiküllerin topaklaşmasıyla başlar, sonrasında kümeler bir yere kadar birbirlerinin içine geçerler. Sonuçta son ağ yapısını oluşturmak üzere birbirlerine bağlanırlar. Polimerizasyon boyutu ve polimerik moleküllerin çapraz bağlantıları uzayınca tüm çözelti katılaştır ve çapraz yapı oluşur. Jel sıvı tabakası, katı gibi görünmesine rağmen ıslak bir çözüldür.

**Jel**, sıvı içindeki gözenekli bir ağ yapı olarak hayal edilebilir. Islak jelde alkol, su gibi maddeler de mevcuttur. Jel ısıtılarak su, organik çözücüler gibi maddelerden uzaklaştırılabilir. Bu prosesin en önemli adımı, bu jelin çatlak oluşumuna imkân vermeden kurutulmasıdır. Kurutma işleminde çözücü fazlalığının (alkol, su) giderilmesiyle jel büzülür ve yüksek gözeneklilik içeren **xerogel** olarak adlandırılan katı oluşur. Bu ısıl işlemler sayesinde tasarlanan malzemeye ulaşılır. Bu aşamada jel miktarında oldukça büyük bir azalma meydana gelir.



#### 4. Sol- Jel Yönteminde Gerçekleşen Reaksiyonlar

Sol- jel prosesinde gerçekleşen reaksiyonlarla homojen çözüldedeki moleküler prekürsör (prekürsör) birbirini izleyen dönüşümler geçirir;

- Moleküler prekürsörün hidrolizi
- İyonların birbirini izleyen bimoleküler eklenmelerle polimerleşmesi, oluşan okso-, hidroksil ya da aqua- köprüleri
- Dehidrasyon yoluyla kondenzasyon



- Çekirdeklenme
- Büyüme

### ***Hidroliz ve Kondenzasyon Reaksiyonları***

Sol-jel prosesinde ilk olarak, çok saf olan başlangıç maddelerinin homojen çözeltileri hazırlanır. Sonrasında alkoksit su eklenmesi ve karıştırılmasıyla **hidroliz** işlemi gerçekleşir. Eğer çözelti pH' 1 7' den farklı ise hidroliz reaksiyonu önemli ölçüde hızlandırılmış olarak ilerler. Bu yüzden ortama asit ya da baz eklenmesi bu prosesi hızlandırır. Reaksiyon, asidik ya da bazik koşullar altında alkoksit prekürsörlerinin hidrolizi ve gözenekli bir jel oluşturmak için hidroksillenmiş monomerlerin poli-**kondenzasyonu** ile ilerler. Hidrolizden sonra solün asiditesi yaklaşık pH 7' ye doğru çekilir ve bu durum jelleşmeyi teşvik eder. Bu aşamada mekanik olarak kararlı olmayan ıslak jel oluşur. Islak jelin kurutulmasıyla da xerogels "dry gels" meydana gelir. Xerogel stabil, şeffaf ve birçok organik çözücüde ve suda çözünmez özelliktedir. Asit ya da baz katalizör bulunmadığında, metal alkoksitler ilk olarak su moleküllerinin nükleofilik (elektronca zengin) eklenmesiyle gerçekleşen hidroliz reaksiyonunu verirler.

**Bilgi:** kondenzasyon polimerizasyonu iki büyük molekülün birleşerek aradan küçük bir molekülün ayrılması ve katılma polimerizasyonu (çok sayıda monomerin yan yana gelmesiyle oluşur ) olarak tanımlanabilir.

### **Sol-Jel Yönteminin**

#### **Avantajları**

- ✓ Yoğunlaşma dışındaki tüm basamaklarda ihtiyaç duyulan sıcaklıklar düşüktür, çoğunlukla oda sıcaklığına yakındır. Böylece malzemenin termal bozunma riski minimize edilmiş olur ve yüksek saflık ve stokiometri elde edilebilir.
- ✓ Metal alkoksitler ve karışım alkil/alkoksitler gibi ön başlangıç maddeleri çoğunlukla uçucudur ve mikroelektronik endüstrisi için geliştirilen teknikler kullanılarak kolayca çok yüksek seviyelerde saflaştırılabilirler (örneğin: destilasyon ya da süblimleşme). Bu da yüksek saflıkta ürün elde edilmesini sağlar.
- ✓ Farklı metaller içeren organometalik ön başlangıç malzemeleri çoğunlukla karıştırılabildiğinden, homojen bir şekilde kontrollü katkılandırma kolayca yapılır. Prosesin kimyasal şartları ılımlıdır. Hidroliz ve yoğunlaşma asit ve bazlar ile kataliz edilir. Belirli yöntemlerle pH hassasiyeti olan organik yapılar ve hatta enzim içeren biyolojik türler ve bütün hücreler tutulabilir ve hala fonksiyonlarını sürdürebiliyor durumda olurlar.
- ✓ Bu prosesle yüksek poroziteli materyaller ve nanokristalin materyaller hazırlanabilir.

- ✓ Ön başlangıç maddesinin uygun kimyasal modifikasyonu ile hidroliz ve yoğunlaşmanın hızı, koloidal partikül boyutu ve gözenek boyutu ve son ürünün gözeneklilik ve gözenek yüzey kimyası kontrol edilebilir
- ✓ Fonksiyonel ön başlangıç malzemeleri kullanılırken, gözenekli silikat cam yapılara organik ve biyolojik türlerin kovalent bağlanması mümkün olabilir.
- ✓ Yaşlandırma ve kurutma koşulları kontrol edilerek, ayrıca gözenek boyutu ve mekanik mukavemet kontrol edilebilir. Polimerize organik ligandlar ihtiva eden organometalik ön başlangıç maddeleri kullanarak, hem inorganik hem de organik polimer ağları içeren malzemeler üretilebilir.
- ✓ Tutulmuş organik türler, kontrollü boyut ve şekle sahip gözenekleri oluşturmak için kalıp olarak iş görebilirler. Daha sonra bu türlerin uzaklaştırılması (örneğin; ısı ya da kuvvetli asit işlemiyle), katalizör bölge olarak potansiyele sahip “moleküler ayak izleri” bırakır.
- ✓ Sıvı ön başlangıç maddeleri kullanıldığından beri, işleme veya eritmeye ihtiyaç olmaksızın, seramik malzemeleri çeşitli kompleks şekillerde dökmek ve fiberler ya da ince filmler üretmek mümkündür.
- ✓ Materyallerin optik kalitesi optik parça uygulamalarında öncülük edecek kadar iyidir,
- ✓ Sol-jel prosesinin düşük sıcaklığı, çoğunlukla oksit materyallerin kristalizasyon sıcaklığının altındadır ve bu ürünün nadir amorf malzeme üretimine izin verir.

### **Dezavantajları**

- Ön başlangıç maddeleri genellikle pahalı ve neme duyarlıdır.
- Optik kaplamalar gibi özel uygulamalar için büyük ölçeklerdeki üretimi sınırlar.
- Proses de zaman alıcı ve çok aşamalıdır ve yaşlandırma ve kurutma işlemlerinin dikkatli yapılmasını gerektirir

### **Uygulama Alanları**

Fiberler, filmler, monolitler ve partiküller gibi çeşitli boyut, şekil ve biçimlerde ürün elde etmek için kullanılabilir.

Sol-jel teknolojisi, katalizörler, kimyasal sensörler, membranlar, fiberler, optik sensörler, fotokromik uygulamalar ve katı hal elektrokimyasal cihazlar için yeni materyallerin geliştirilmesinde ve seramik endüstrisi, nükleer endüstrisi ve elektronik endüstrisi gibi bilimsel ve mühendislik alanlarının çeşitli yerlerinde uygulama alanları bulmuştur.

**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**POLİMER AŞINMA VE SERTLİK DENEYİ**  
**DENEY FÖYÜ**

**HAZIRLAYAN**  
**Arş. Gör. Merve YİĞİTER**

**2017-SAMSUN**

## TEORİK BİLGİ

### Aşınma ve Aşınma Türleri

Aşınma kimyasal ve/veya mekanik etkilerle istenmeyen malzeme kaybı olarak tanımlanır. Bir aşınma sisteminde;

- 1) Ana malzeme (aşınan)
- 2) Karşı malzeme (aşındıran)
- 3) Ara malzeme
- 4) Yük
- 5) Hareket, aşınmanın temel unsurlarıdır.

Bu unsurların oluşturduğu sistem teknikte “Tribolojik Sistem olarak” adlandırılır. Aşınma genellikle önceden bilinen bir hasar tespittir. Birbirleri ile temasta olan malzeme yüzeyleri oksit filmleri veya yağlayıcılar ile korunsalar bile, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiri ile doğrudan temasına sebep olabilir. Bu temas sonucu oluşan sürtünme malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya sebep olur. Bu hasar uygun yağlama, filtreleme, uygun malzeme seçimi ve uygun tasarım gibi faktörlerle en aza indirilebilir, fakat kesinlikle önlenemez.

Aşınmayı etkileyen faktörleri dört ana grup halinde toparlayabiliriz.

- 1) Ana Malzemeye Bağlı Faktörler
  - Malzemenin kristal yapısı
  - Malzemenin sertliği
  - Young modülü
  - Deformasyon davranışı
  - Yüzey pürüzlülüğü
  - Malzemenin boyutu

## II- Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi

### III- Ortam Şartları

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

### IV-Servis Şartları

- Basınç
- Hız
- Kayma yolu

## Aşınma Mekanizmaları

Pek çok aşınma mekanizması vardır. Bunları aşağıdaki ana başlıklar altında açıklamak mümkündür.

### 1) Oluş Mekanizmaları Açısından Sınıflandırma

#### 1.1. Adhesiv Aşınma

Özellikle birbiriyle kayma sürtünmesi yapan, metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiri üzerinde kayan yüzeylerdeki gerilmeler küçük yüklemelerle dahi akma gerilmesi sınırına, erişirler veya geçerler. Böylece temas eden metaller arasında yapışma kuvvetleri kendini gösterir. Bu nedenle bir parçadan diğerine malzeme geçişi, soğuk kaynaklaşma ve küçük parçaların kopması olayları meydana gelir. Adhesiv aşınma, en sık rastlanan aşınma türü olmasına rağmen genellikle hasarı hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhesiv aşınma bir metal yüzeyinin başka bir metal yüzeyindeki bağlı hareketi sırasında birbirlerine kaynamış veya yapışmış yüzeydeki pürüzlerin kırılması sonucu ortaya çıkar.

Eğer iki metal aynı sertlikte ise aşınma her iki yüzeyde de oluşur. Metaller arasındaki yağlamanın mükemmel olması, yüzeye etki eden yükün azaltılması ve malzemenin sertliğinin arttırılması adhesiv aşınmayı azaltır. Sonuç olarak adhesiv aşınma; yüzeye etkiyen normal yükü, kayma yolu ile ve aşınan malzemenin yüzey sertliği ile orantılıdır.

#### 1.2. Abrasif Aşınma

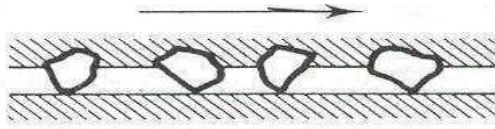
Yırılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrasif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasif aşınma; biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbiriyle temas halindeyken kayma sırasında meydana gelir.

Sert parçacıkların yumuşak metale batması abrasif aşınmaya sebep olabilmektedir. Bu mekanizmaya örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma tarzı verilebilir.

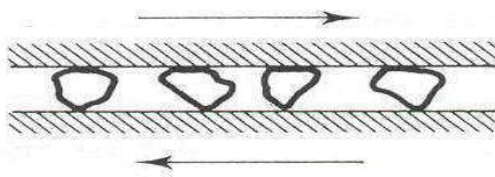
Abrasif aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması sırasında daha az iz bırakması sağlanır.

Malzeme açısından abrasif aşınmayı azaltmak için;

- Daha sert alaşım kullanmak,
- Sertlik arttırmak amacıyla ısıl işlem uygulamak,
- Malzeme yüzeyini sert bir tabaka ile kaplamak, tavsiye edilir. Bu önlemlerle abrasif aşınma hızını azaltmak mümkündür. Abrasif aşınma endüstriyel cihazlarda malzeme kayıplarının başlıca sebebidir. Aşındıran malzeme serbest halde iki metal arasında bulunuyorsa veya yalnız bir metali aşındıran sabit veya serbest taneler mevcut ise bu durumda;
- İki elemanlı abrasif aşınma,
- Üç elemanlı abrasif aşınma, şeklinde gruplandırma mümkündür



(a) İki elemanlı abrasif aşınma



(b) Üç elemanlı abrasif aşınma

Şekil iki elemanlı ve üç elemanlı abrasif aşınma oluşum şekilleri.

Metal-metal sürtünmelerinde aşınma iki elemanlı abrasif veya adhesiv olarak başlayıp üç elemanlı abrasif olarak devam eder. Bu durumda araya giren toz, mineral taneleri, çizilme sonucu serbest hale geçen mikro talaslar ve parçalanmış oksit parçacıkları üçüncü elemanı (ara malzemeyi) oluşturabilir.

Serbest hale geçen mikro talas parçacıkları genellikle ana malzemeden daha sert olduklarından (üç elemanlı) abrasif aşınma, aşınmayı hızlandırmaktadır.

### 1.3. Tabaka Aşınması

Abrasif aşınma yüzeyine yakın yerlerinin (sınır yüzeyinin) özelliğinin pek önemi yok iken, tabaka aşınmasının önemi büyüktür. Çevredeki gazların ve ara malzemenin etkisiyle meydana gelen aşınma yüzeyi sınır tabakası, çizilmeyle sıyrıldığından daima yeniden meydana gelir.

### 1.4. Titreşim Aşınması

Titreşim (yorulma) aşınması, titreşim zorlamalarında yorulma kırılması hasarı olarak ortaya çıkar. Bu aşınmada, içyapı tahribatı, çatlamlar, lokal ayrılmalar meydana gelir. Genellikle periyodik yüklemeler dolayısıyla, yüzeyden veya yüzeye yakın yerlerde içyapının parçalanarak yırtılmalar oluşturması sebebiyle yüzeyden kısmi çözümlerin olmasıyla meydana gelir.

## 2) Hasarın Fiziksel Görünüşüne Göre Sınıflandırma

### 2.1. Kayma Aşınması

### 2.2. Korozyon aşınma

### 2.3. Erozyon Aşınması

### 2.4. Yuvarlanma Aşınması

## 3) Aşınmanın Aldığı Özel Adlar Vasıtasıyla Sınıflandırma

### 3.1. Öğütme aşınma

### 3.2. Oymalı aşınma

### 3.3. Kazımalı aşınma

## 4) Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

### 4.1. Ağırlık farkı metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Aşınma kaybının ölçülmesi  $10^{-3}$  veya  $10^{-4}$  gr. Hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazide yapılır. Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tespit edilen sürtünme yoluna göre, b,r,m sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı, (gr/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı, birim alan için hesap edilecekse, (gr/cm<sup>2</sup>) gibi bir birim kullanılabilir. Ağırlık kaybı, hacimsel aşınma miktarı olarak belirtmek istendiğinde, yine ağırlık kaybından hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından gidilerek de bulunabilir.

Bu tanımlamalardan hareketle malzemenin özgül aşınması aşağıda verilen bağıntıyla hesaplanabilir.

$$\dot{W}_s = \frac{\Delta V}{F_n L} = \frac{\Delta m}{\rho F_n L}$$

Burada;  $\dot{W}_s$ : Özgül aşınma miktarı,  $\Delta V$ : Hacimsel malzeme kaybı,  $\Delta m$ : Ağırlık kaybı,  $\rho$ : Yoğunluk,  $F_n$ : Uygulanan normal kuvvet,  $L$ : Kat edilen toplam yol uzunluğu' dur.

#### 4.2. Kalınlık Farkı Metodu

Aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırılması suretiyle elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık, hassas ölçme aletleri yardımıyla  $\pm 1 \mu\text{m}$  duyarlılıkta ölçülmelidir.

#### 4.3. İz Değişim Metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun (çapının) değişimi ölçülür. Uygulamada iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet Vickers veya Brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas piramit veya bilyanın bıraktığı iz boyutlarındaki değişme mikroskop vasıtasıyla ölçülerek belirlenir.

### DENEYİN YAPILIŞI

- 1- Deneye başlamadan önce, deney numunesinin ağırlığı hassas terazi ile ölçülür,
- 2- Aşındırıcı zımpara plaka üzerine yapıştırılır,
- 3- Deney sırasında numunenin alacağı yol, aşındırıcı zımparanın hızı ve uygulanacak olan yük değerleri belirlenir,
- 4- deney numunesinin sabit hızda hareket eden zımpara üzerine önceden belirlenerek uygulanan yük altında aşınma gerçekleştirilir,
- 5- Deney sonunda numunede meydana gelen ağırlık kaybı ölçülür.



**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ISIL İLETKENLİK DENEYİ**

**DENEY FÖYÜ**

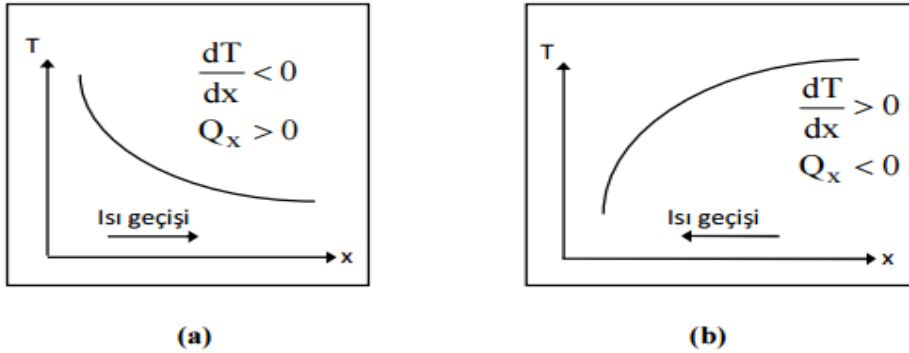
**HAZIRLAYAN**  
**Arş. Gör. Tuğba MUTUK**

## 1. GENEL BİLGİLER

Isı iletimi; bir katı malzeme veya durgun akışkan içerisindeki sıcak bir bölgeden daha soğuk bir bölgeye doğru ısının geçmesidir. Bir katı cisim içinde sıcaklık farkları varsa yüksek sıcaklık bölgesinden düşük sıcaklık bölgesine ısı, iletim yolu ile geçer. İletimle ısı geçişi deneysel gözlemlere dayanan Fourier kanunu ile belirlenir. Fourier kanununa göre herhangi bir yönde (örneğin x yönünde) geçen ısı miktarı, x yönündeki sıcaklık gradyanı (sıcaklık değişim miktarı)  $dT/dx$  ve ısı geçiş yönüne dik alan  $A$  ile orantılıdır. Fourier kanununun matematiksel ifadesi;

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad [W]$$

şeklindedir. Burada;  $Q_x$ , x yönünde ve bu x yönüne dik  $A$  alanı üzerinden geçen ısı miktarıdır. Orantı sabiti  $k$ , ısı iletim katsayısı olarak adlandırılır ve maddenin bir özeliğidir. Eşitlik (1)'deki (-) işareti ısı geçiş yönünü belirler. Şekil 1a' da görüldüğü gibi eğer sıcaklık x yönünde azalıyorsa  $dT/dx$  negatiftir ve ısı geçişi pozitif x yönünde olmalıdır. Şekil 1b' de görüldüğü gibi eğer  $dT/dx$  pozitifse  $Q_x$  negatif olur ve bu durumda da ısı akışı negatif x yönündedir.



Şekil 1. Sıcaklık değişim hızına bağlı olarak ısı geçiş yönleri.

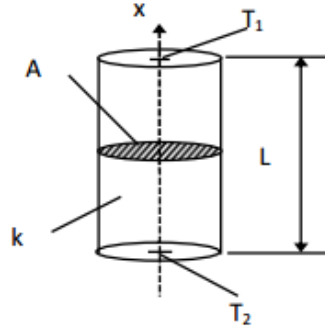
x yönündeki sıcaklık değişimi ise;

$$\frac{dT}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır. Örneğin Şekil 2’deki homojen ve izotropik silindir için;  $T_1 > T_2$  olması durumunda x yönünde A alanından geçen ısı Fourier ısı iletim kanununa göre;

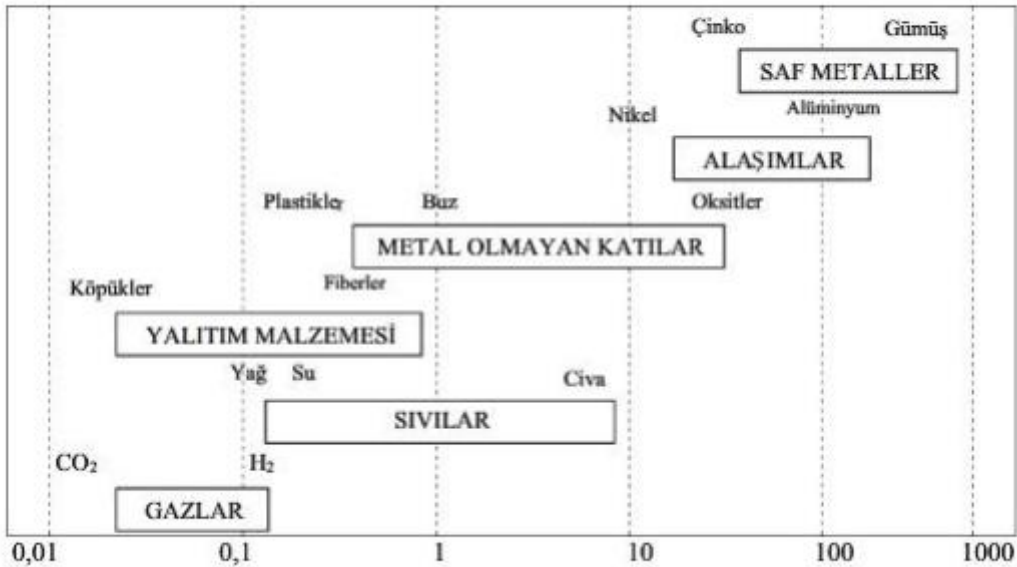
$$\dot{Q}_x = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad [W]$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada; k, malzemenin ısı iletim katsayısı olup SI birim sistemindeki birimi W/mK’dir.



Şekil 2. Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip silindirdeki ısı geçişi.

Tablo 1. Çeşitli maddelerin ısı iletim katsayısı değerleri



Tablo 1’ de bazı katıların ve akışkanların ısı iletim katsayıları görülmektedir. Genellikle katılar ısıyı akışkanlardan daha iyi iletirler. Ayrıca elektriği iyi ileten maddeler, örneğin metaller, aynı zamanda ısıyı da iyi iletirler.

## 2.FOURIER ISI İLETİM KANUNU

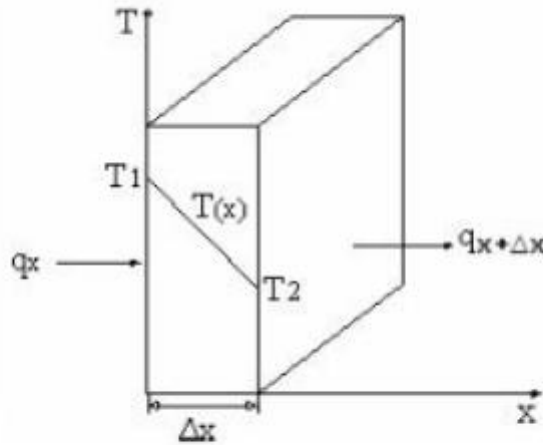
x doğrultusundaki ısı akısı ;

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (\text{W/m}^2) \quad (3.1)$$

Sınırları belli olan düzlem bir levhanın iki yüzeyi arasındaki ısı transferi ise,

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{W}) \quad (3.2)$$

eşitliği ile belirlenebilir. Denklemden, “ $Q_x$ ”, “ $x$ ” doğrultusunda birim zamanda transfer edilen ısı miktarını (W), “ $A$ ”, “ $x$ ” doğrultusunda dik kesit alanı olup, ısı transfer yüzey alanı olarak ifade edilir



Şekil Isı akış yönü ve sıcaklık basamağı arasındaki ilişki

Termodinamiğin I. Kanununa göre; enerjinin korunumu kanunundan, tabakaya giren ısı çıkan ısıya eşittir. Buna göre Şekil 3.2'deki levha için levhaya giren ısı, levhadan çıkan ısıya eşit olacağından,

$$q_x - (q_{x+\Delta x}) = 0 \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Tabakadan çıkan ısı,

$$q_{x+\Delta x} = q_x + \frac{dq_x}{dx} \Delta x \quad (3.4)$$

ifadesine eşit olup, (3.3) eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$q_x - (q_x + \frac{dq_x}{dx}) = 0$$

$$q_x - (q_x + \frac{dq_x}{dx}) = 0$$

$$\frac{dq_x}{dx} = 0 \quad (3.5)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte "q", "x" 'e bağlı olmayıp sabittir.

$$q_x = \text{sabit} \quad (3.6)$$

Şekilde görülen levha için 3.2 denkleminin integrali alınırsa;

$$q_x = \frac{k(T_1 - T_2)}{L} \quad (3.7)$$

İfadesi, ısı transferi için ise,

$$Q_x = Aq_x = \frac{kA(T_1 - T_2)}{L} \quad (3.8)$$

elde edilir. Burada “ $q_x$ ” ısı akısını ( $W/m^2$ ), “ $Q_x$ ”, “ $x$ ” doğrultusunda birim zamanda transfer edilen ısı miktarını ( $W$ ), “ $k$ ” ısı iletim katsayısını ( $W/mK$ ), “ $A$ ”, “ $x$ ” doğrultusu yönünde dik kesit alanını, “ $T_1$ ”ve “ $T_2$ ” iç ve dış sıcaklıkları ve “ $L$ ” tabaka kalınlığını göstermektedir

Akışkanlar katılardan farklı olarak kayma gerilmesi taşırlar ve akışkanlarda ısı geçişi daha çok taşınım yolu ile gerçekleşir. Akışkanların ısı iletim katsayılarının belirlenebilmesi için ise doğal taşınım etkileri ihmal edilebilecek düzeyde olmalıdır. Durgun bir akışkanda ısı geçişi sadece iletim yolu ile gerçekleşir. Katı malzemelerden farklı olarak, ısı iletim katsayısı belirlenecek olan akışkanın içerisinde doğal taşınım etkileri görülmeyecek kadar küçük bir hazne içinde yer alması gerekmektedir. Bu şekilde akışkan katı gibi davranacağından akışkanın ısı iletim katsayısının belirlenmesi Fourier Kanunu’ nun uygulanması ile belirlenir.

**Tablo2.**Ölçülen Değerler Tablosu

	Süre	Q (kWh)	T1 (K)	T2(K)
<b>Deney1</b>				
<b>Deney2</b>				
<b>Deney3</b>				
<b>Deney4</b>				
<b>Deney5</b>				

**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**KOROZYON DENEYİ**  
**DENEY FÖYÜ**

**HAZIRLAYAN**

**Arş. Gör. Kübra DEMİRBAŞ**

**Arş. Gör. Ayşe ERCİYES**

**2017-SAMSUN**

## 1.DENEYİN AMACI

Korozyon prosesinin işleyişini anlamak ve korozyona uğrayan metal levhaların kayb ettikleri kütle miktarını ve korozyon hızını ölçmektir.

## 2.TEORİK BİLGİ

Korozyon, malzemelerin çevre etkisiyle bozularak kullanılmaz hâle gelmesidir. Ancak bu terim daha çok metallerin çevresiyle tepkimeye girerek metalik özelliklerini kaybetmesi durumunu ifade etmek için kullanılmaktadır. Korozyonun en fazla görüldüğü malzeme türü, elektrokimyasal reaksiyonlara eğilimlerinin yüksek olmasından dolayı metallerdir. Metallerin korozyonunda oksijenin yanı sıra birçok yan etken de mevcuttur.

Bütün metaller, tabiatta buldukları mineral hâline dönüşme eğilimindedir. Tabiatta bulunan mineraller, söz konusu metalin en düşük enerji taşıyan bileşiği, yani en kararlı hâlidir. Bu mineraller, özel metalürjik metotlarla ve enerji harcanarak metal hâline getirilir. Ancak metallerin çoğu element hâlinde kararlı değildir. Uygun bir ortam bulması hâlinde üzerinde taşıdığı enerjiyi geri vererek kendiliğinden doğada bulunduğu eski bileşik hâline dönmeye çalışır. Böylece korozyon reaksiyonlarında daima bir serbest enerji azalması söz konusu olur. Metallerin korozyona yatkınlığı doğrudan bu serbest enerji değişimine bağlıdır.

Korozyon reaksiyonları; Korozyon sırasında anodik (elektron veren-yükseltgenme) reaksiyonlar ile katodik(elektron alan-indirgenme) reaksiyonları birlikte oluşur. Demir metalinin bulunduğu ortamdaki anodik ve katodik reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:

1)Anodik reaksiyon: Metalik iletken den iyonik iletkene olan pozitif yük transferini gerçekleştiren elektron reaksiyonudur. Anodik reaksiyon daima bir oksitlenme reaksiyonudur.

Örneğin,  $Me \rightarrow Me^{+} + e^{-}$

2)Katodik reaksiyon: Metalden elektrolite negatif yükün transfer olduğu elektrot reaksiyonudur. Katodik reaksiyon daima indirgenme reaksiyonudur.

Örneğin,  $Me^{+} + e^{-} \rightarrow, Me$

3)Elektrot reaksiyonu: Elektrolit ve metal ara yüzeyinde yük transferine neden olan kimyasal reaksiyondur.

Anodik reaksiyon:  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$  (iyonlaşma)

Katodik reaksiyon:  $\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^{-} \rightarrow 2(OH)^{-}$

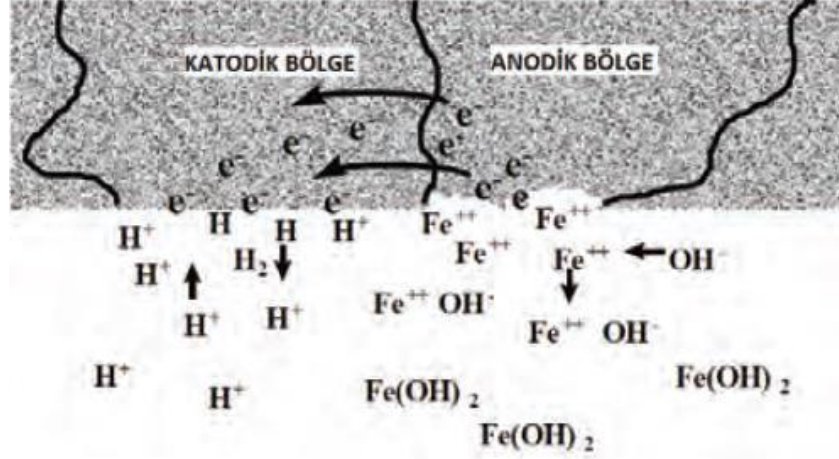
$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$  (asitli ortamda)

Toplam reaksiyon:  $Fe + \frac{1}{2} O_2 + H_2O \rightarrow Fe(OH)_2$  (Pas)



## 2.1.Korozyona Etki Eden Faktörler

Metallerin korozyona uğramasında ortamın etkisi, sıcaklığın etkisi, malzeme seçiminin etkisi,taneler arası özelliklerin etkisi , sistem dizayn şeklinin, sistemin bulunduğu ortamın oksijen konsantrasyonun, zemin elektriksel özgül direncin etkisi bulunmaktadır.



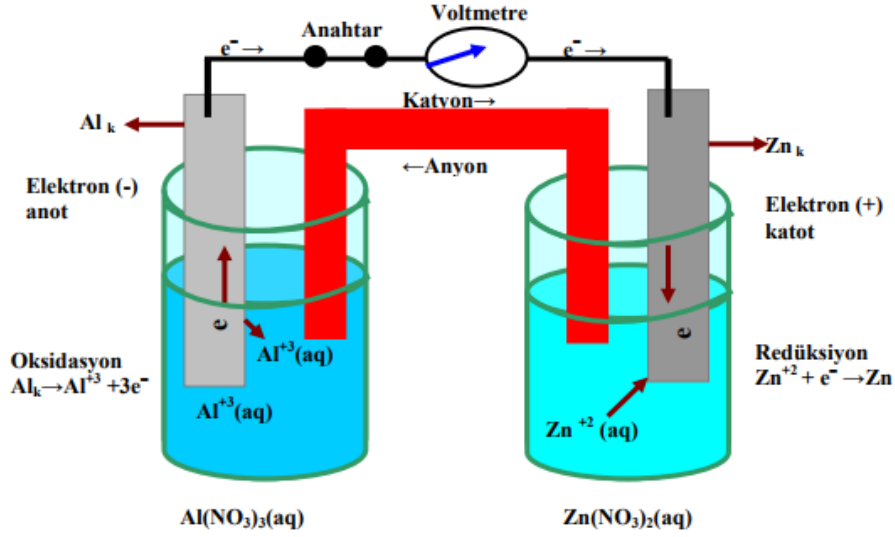
Şekil 1. Korozyon oluşumu

## 2.2. Korozyondan Korunma Teknikleri

Korozif elemanların ortamdaki uzaklaştırılması, ortama frenleyici ilavesi, anodik frenleyiciler, katodik frenleyiciler, çift etkili frenleyiciler, konsantrasyonun değiştirilmesi, sıcaklığın değiştirilmesi, korozif ortamın hızının değiştirilmesi, uygun malzeme seçimi, alaşım elementi ilavesi (pasifleştirme – nötrale etme), kaplama (metalik kaplama-püskürtme, elektrolitik kaplama, daldırma, difüzyonla kaplama, organik ve inorganik kaplamalar),işletmede alınan tedbirler gibi önlemlerle korozyonun oluşumu engellenebilir yada azaltılabilir.

## 2.3. Elektrolitik Korozyon

İyon içeren sulu çözeltilere elektrolit denir. Elektrolit içine daldırılmış bir metalin korozyonu, elektrolit ara yüzeyinde elektron transferi ile birlikte yürür. Çeşitli nedenlerle metal yüzeyinde değişik potansiyellere sahip alanlar meydana gelir. Bunun sonucunda makro ve mikro büyüklükte korozyon hücreleri oluşur. Elektrotlar metal bünyesi içinden potansiyelin daha negatif olduğu bölgelere doğru akar. Pozitif potansiyele sahip bölgeler anot, negatif potansiyele sahip bölgeler katot olarak rol oynar. Böylece katot bölgesinde biriken elektronlar, katotta meydana gelen redüksiyon (indirgenme: elektron alış verişinde kazanan taraf) reaksiyonu ile harcanır. Anota ise oksidasyon (yükseltgenme: elektron alış- verişinde kaybeden taraf oksidasyona uğramış olur veya maddelerin oksijen ile kimyasal olarak birleşmeleri) reaksiyonu sonucu elektron açığa çıkar. Anot ve katotta bu iki reaksiyon bir arada yürür.



Şekil 2. Alüminyum ve çinko metallerinin elektrolitik korozyonu

Bir korozyon hücresinin oluşması için aşağıdaki üç unsurun bir arada bulunması gerekir:

İyon içeren bir sulu çözelti (elektrolit): Elektrolit direnci ne kadar düşük ise korozyon hücresinden geçen akım şiddeti de o kadar fazla olur. Çözeltinin elektriksel iletkenliği çözülmüş hâlde bulunan tuzların konsantrasyonu ve cinsine bağlıdır.

Yeteri kadar negatif potansiyelli bir anot: Anot metali elektronlarını vererek pozitif yüklü iyon hâline geçer.

Anottan daha pozitif potansiyelli bir katot: Çözelti içinde bulunan iyonlara elektron vererek indirgenme reaksiyonunu oluşturur.

**Korozyon hızı:**  $\Delta W / A \times T$

$\Delta W$ = Kütle Kaybı (mg)

$A$ = Yüzey Alanı (cm<sup>2</sup>)

$T$ = Zaman(saat)

### 3.DENEYDE KULLANILACAKLAR

Beher

Alüminyum ve çinko levha

Hassas terazi

Cetvel

İnce zımpara, eğe, balon joje

Voltmetre

Tuz köprüsü

Pamuk

Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> çözeltisi

ZnSO<sub>4</sub> çözeltisi

#### 4.DENEYİN YAPILIŞI

- 1- Öncelikle 1 M'lık 250 ml  $Al_2(SO_4)_3$  ve 1 M'lık 250 ml  $ZnSO_4$  çözeltisi çözeltisi hazırlanır.
- 2- Al ve Zn levhalar kesilerek deney için uygun boyutlara getirilir ve levhaların üzerindeki oksitlenmeleri kaldırmak için zımpara işlemi uygulanır.
- 3- Zımparalanan levhalar bezle iyice temizlenir. Levhaların kütleleri hassas terazide tartılır ve not edilir.
- 4- Hazırladığımız  $Al_2(SO_4)_3$  ve  $ZnSO_4$  çözeltilerini iki farklı behere boşaltılır ve sonra tuz köprüsü için KCl çözeltisi hazırlanır.
- 5- Tuz köprüsünün içi KCl çözeltisi ile doldurulur ve uçları pamukla tıkanır. Tuz köprüsü hazırlanan iki çözeltiye birleştirilir.
- 6- Metal levhalar kendi çözeltilerine dik durcak şekilde yerleştirilir. İki levha arasına voltmetre bağlanır ve iletkenler arası gerilim farkı ölçülüp not edilir.
- 7- 60 dk boyunca levhalar çözeltilerde bırakılır bu sürede çözeltide değişim olup olmadığı kontrol edilir.
- 8- Süre sonunda levhalar beherlerden alınır ve yıkanıp etüvde kurutulur.
- 9- Levhalar oda sıcaklığına inince hassa terazide kütleleri ölçülür ve ilk kütleleri ile son kütleleri karşılaştırılır.

#### 5.KAYNAKLAR

Milli Eğitim Bakanlığı,Korozyon ve Katodik Koruma 2011

**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÖĞÜTME DENEYİ**  
**DENEY FÖYÜ**

**HAZIRLAYAN**  
**Arş. Gör. Suna Avciođlu**

**2017-SAMSUN**

# ÖĞÜTME DENEYİ

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Öğütme

Öğütme, boyut küçültme işlemlerinin son aşaması olup yüzey büyütme ve istenilen tane boyutuna (serbestleşme için gerekli olan boyut) ulaşmak amacıyla 25 mm'den küçük tanelere uygulanır. Kuru ve yaş olmak üzere iki şekilde yapılır. Laboratuvar uygulamaları dışında öğütme sürekli bir işlemdir; malzeme bir uçtan kontrollü bir şekilde beslenir, belli bir süre değirmen içinde kaldıktan sonra diğer uçtan taşarak değirmeni terkeder. Değirmenden alınan ürünün tane iriliği;

- Kullanılan öğütücü ortamın cinsine, boyutuna, miktarına ve
- hareket çeşidine,
- Besleme malının cinsine ve miktarına,
- Değirmen boyutlarına,
- Öğütme süresine,
- Değirmen dönüş hızına

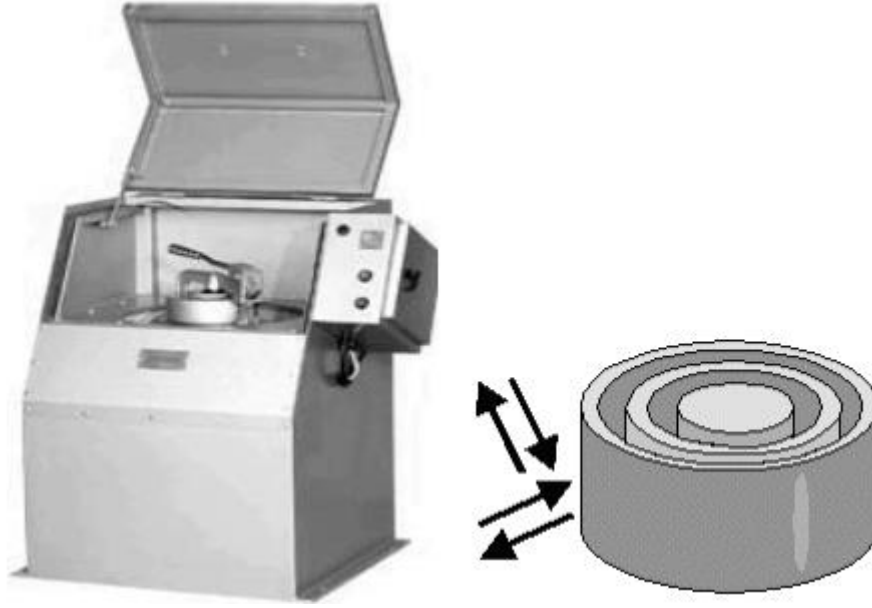
bağlı olarak değişir. Öğütücü ortam; bilya, çubuk, çakıl, öğütülecek cevherin iri parçaları veya başka bir cevher olabilir.

### 1.2. Halkalı Değirmen

Halkalı değirmen, laboratuvar ölçeğinde kullanılan bir değirmen tipidir. Bu tip değirmenlerde öğütme, iç içe olan halkaların arasına yerleştirilen malzemenin titreşim etkisiyle halkaların arasında sıkışmasıyla gerçekleşmektedir. Halkalı değirmen özellikle hızlı, kayıpsız, çok ince boyutlar için kullanılan bir değirmendir. Kuru-orta sert, sert, kırılabilir ve lifli malzemelerin bu tip değirmenle öğütülmesi mümkündür. Dayanıklı yapısı sayesinde yapı malzemeleri sektöründe (çimento), jeolojide, mineralojide, metalurjide ve enerji tesislerinde kullanılabilir. Özellikle aşağıdaki malzemelerin öğütülmesi için uygundur:

- Çimento Klinkeri
- Seramik
- Kömür
- Kok
- Cam
- Metal Oksitler
- Mineraller
- Cevherler
- Silikatlar
- Cüruf
- Toprak

Bu değirmende 40 µm kadar öğütme yapmak mümkün olmaktadır.



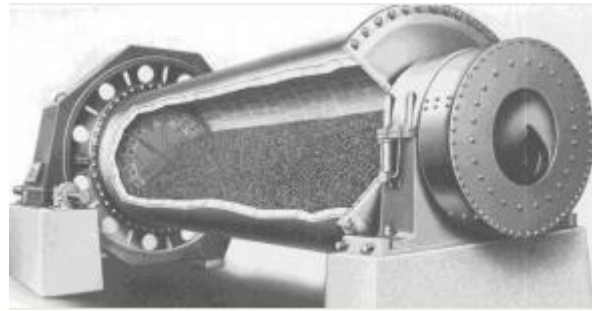
Şekil 1. Halkalı değirmen.

### 1.3 Bilyalı Değirmen

Öğütme ortamı çelik ya da seramik bilyalardan oluşan değirmenlere “bilyalı değirmen” denir. Bilyalı değirmenlerde öğütme, bilyaların toz taneleri ile noktasal teması sonucunda gerçekleşmektedir. Yeterli süre verilmesi durumunda bu değirmenler ile istenilen incelikte ürün alınabilmektedir. Bu yüzden bilyalı değirmenler ile 20 mikrona kadar öğütme yapmak mümkündür.

Öğütme ortamının seçiminde birçok faktör göz önüne alınmalıdır. Bunlar :

- Cevher/toz sertliği
- besleme miktarı
- değirmen çapı ve boyu
- değirmen dönüş hızı.



Şekil 2. Bilyalı Değirmen

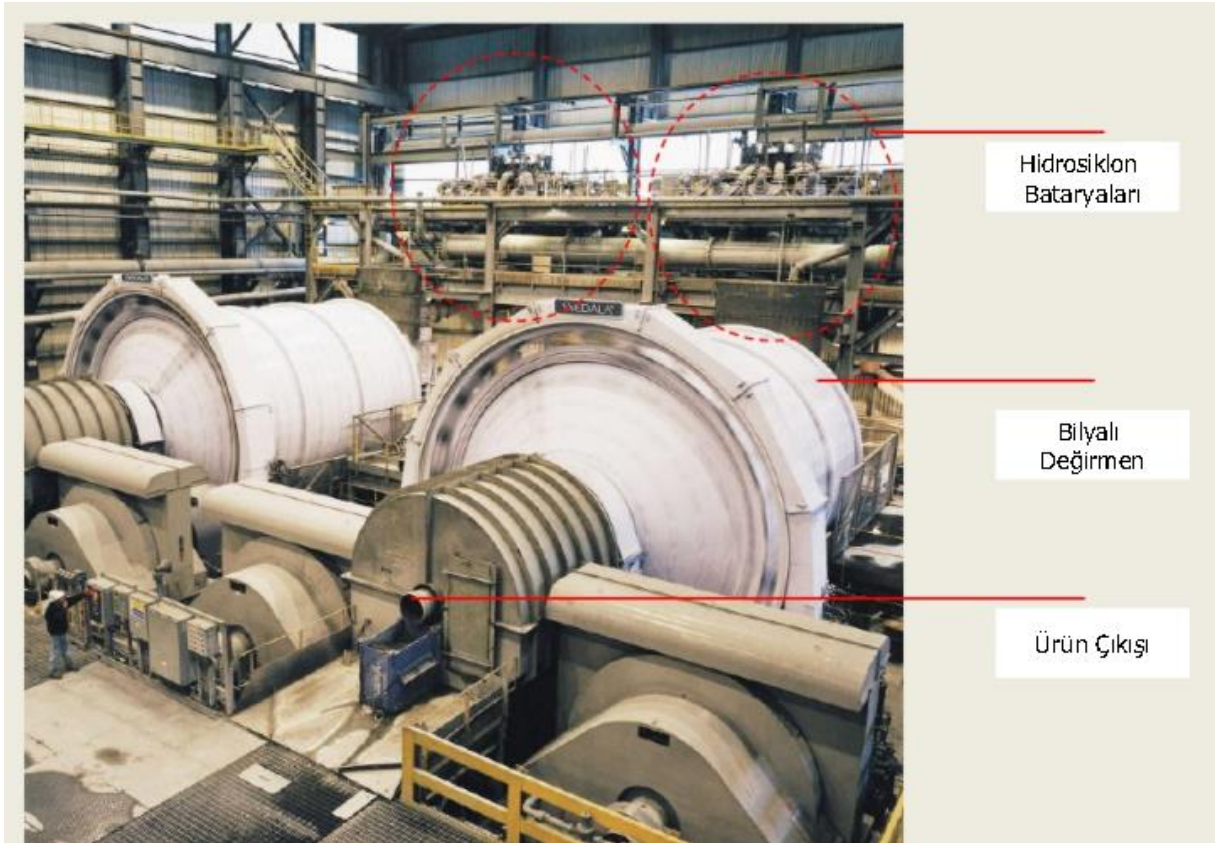
Değirmende öğütücü olarak kullanılan bilyalar küresel, silindir veya konik şekilde olabilirler. Seramik endüstrisinde genellikle öğütücü ortam olarak, alümina bilya , agat, cam boncuk, YSZ (yttria ile güçlendirilmiş zirkon) malzeme kullanılmaktadır.

Çünkü öğütücü ortam aşındıkça öğütülmüş ürüne karışacaktır ve kaliteyi düşürecektir. Seramik ve cam sanayisinde demir içeriği %0.1'in altında olmalıdır, aksi takdirde üründe istenen renk elde edilememektedir.

Genel olarak yaş ve kuru öğütmede bilya şarj oranı değirmen iç hacminin %40' kadardır. Ancak kuru öğütmelerde bilya şarj oranları biraz daha arttırılabilir.



Şekil 3. Değirmen hızına göre bilya hareketinin şematik gösterimi.



Şekil 4. Endüstriyel Bilyalı Değirmen

## 2. Deneyin yapılışı

Halkalı ve bilyalı değirmenler kullanılarak öğütme işlemi gerçekleştirilecektir.

Halkalı değirmende öğütme işlemi için değirmen haznesi ve halkalar tek tek alkol ile temizlenir ve halkalar uygun şekilde iç içe yerleştirilir. Öğütülmesi istenilen toz en dış halka ile değirmen haznesi arasında kalan boşluğa yerleştirilir ve değirmen kapağı kapatılır. Kapak ile hazne arasında hiç toz ve boşluk kalmadığına emin olunduktan sonra değirmen cihaza yerleştirilir. Cihazda öğütme süresi ve gücü tozun sertliğine, inilmesi istenilen tane boyutuna göre ayarlanır. Öğütme işleminden sonra tane boyutu inceltmiş toz temiz bir fırça yardımı ile değirmen haznesinden ve halkalardan alınır. Ardından değirmen ve halkalar alkol ile temizlenir.

Bilyalı değirmen ile yaş öğütme işlemi için içi zirkonya kaplı değirmen ve zirkonya bilyalar temizlenir. Değirmen hacminin 1/3'ü kadar bilya, 1/3'ü kadar su ve öğütülmesi istenilen toz değirmene yerleştirilir. Değirmen kapağı kapatılır ve su ya da tozun sızmadığına emin olunduktan sonra cihaza yerleştirilir. Öğütme işlemi tamamlandıktan sonra bilyalar elek yardımı ile süzülerek seramik çamurdan ayrılır. Ardından bilyalar ve değirmen haznesi temizlenir.



**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**SERTLİK DENEYİ**  
**DENEY FÖYÜ**

**HAZIRLAYAN**  
**Arş. Gör. Mehmet KURU**

**2017-SAMSUN**

## 1. Sertlik Deneylerinin Amacı

Malzemeler üzerinde yapılan en genel deney, sertliğinin ölçülmesidir. Bunun başlıca sebebi, deneyin basit oluşu ve diğerlerine oranla numuneyi daha az tahrip etmesidir. Diğer avantajı ise, bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişkinin bulunmasıdır. Örneğin çeliklerde, çekme mukavemeti sertlik ile doğru orantılıdır; dolayısıyla, yapılan basit sertlik ölçmesi neticesinde malzemenin mukavemeti hakkında bir fikir edinmek mümkündür.

Sertlik izafi bir ölçü olup malzemelerin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence denir. Laboratuvarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçmelerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona karşı göstermiş olduğu dirençtir.

Sertlik deneyinde, malzemenin kendisinden daha sert ve malzemenin yüzeyinden bastırılan cisme karşılık gösterdiği deformasyon direnci ölçülür ve bir malzemenin dislokasyon hareketine veya plastik deformasyona gösterdiği direnç sertlik olarak adlandırılır. Temel olarak dört farklı sertlik test tipi bulunmaktadır. Bunlar;

1. Parça yüzeyini çizme (Mohs sertliği),

2. Parçaya bir cismi darbeli batırma (Wilk metodu, Graven-Werner metodu, Baumann Steinrück metodu, Poldi çekici, Combi çekici, Schmit çekici),

3. Parçaya bir cismi belirli yükseklikten düşürülme (Shore sertliği)

4. Parçaya sert bir cismi statik bir yükü bastırma (Brinell yöntemi, Vickers yöntemi, Rocwell yöntemi) sertliğidir.

Sertlik ölçme standart bir baticı ucun malzemeye batırılmasına karşı malzemenin gösterdiği direnci ölçmekten ibarettir. Baticı uçlar bilye, koni veya piramit uçlu olup sertliği numunenin sertliğinden çok daha yüksektir. Seçilen uç belli bir yük altında malzemeye batırıldığında numune üzerinde bir iz bırakır. Bu izin büyüklüğü ile sertlik ters orantılıdır. Sertlik ölçümünde dikkat edilecek bazı noktalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- a) Sertlik numunesinin ölçüm yapılan yüzeyi ile oturma yüzeyinin birbirine paralel ve düzgün olması gerekir.
- b) Sertlik numunesinin kalınlığı, iz derinliğinin en az 10 katı olmalıdır.

## 2.Sertlik Deneyleeri

a) **Rockwell Sertlik Testi:** Sabit yük altında, malzeme üzerinde oluşturulan iz derinliğinin ölçülmesi esasına dayanır. Ölçümü yapılacak malzemenin cinsine göre, iz bırakıcı olarak ucu çok az yuvarlatılmış 120° 'lik konik elmas uç veya 1/16" ve 1/8" çapında çelik bilyeler kullanılır. Yük ise 60, 100 veya 150 kg olarak uygulanır. Her yük-iz bırakıcı kombinasyonu farklı bir Rockwell skalasını oluşturur ve her skala farklı malzemelerin sertliğini ölçmek için kullanılır. Bu skalalardan en çok kullanılanlar Rockwell B ve Rockwell C skalasıdır. Rocwell A skalası 60 kg yük ve 1200 'lik konik elmas uç kullanılarak uygulanır. Rockwell B skalası yumuşak ve sünek malzemelerde 100 kg yük ve 1/16" çapında çelik bilya kullanılarak uygulanır. Sertliği 35-100 HRB arasında olan malzemelerin sertliğinin ölçümü için uygun sonuçlar verir. Rockwell C skalası serleştirilmiş çeliklere 150 kg yük ve 1200 'lik konik elmas uç kullanılarak uygulanır. Sertliği 20-70 HRC arasında olan malzemelerin sertliğinin ölçümü için uygun sonuçlar verir. Batıcı uç, konik uçlu veya bilye şeklindedir (Şekil 1). Rockwell sertlik ölçüm cihazı Şekil 2'de görülmektedir.



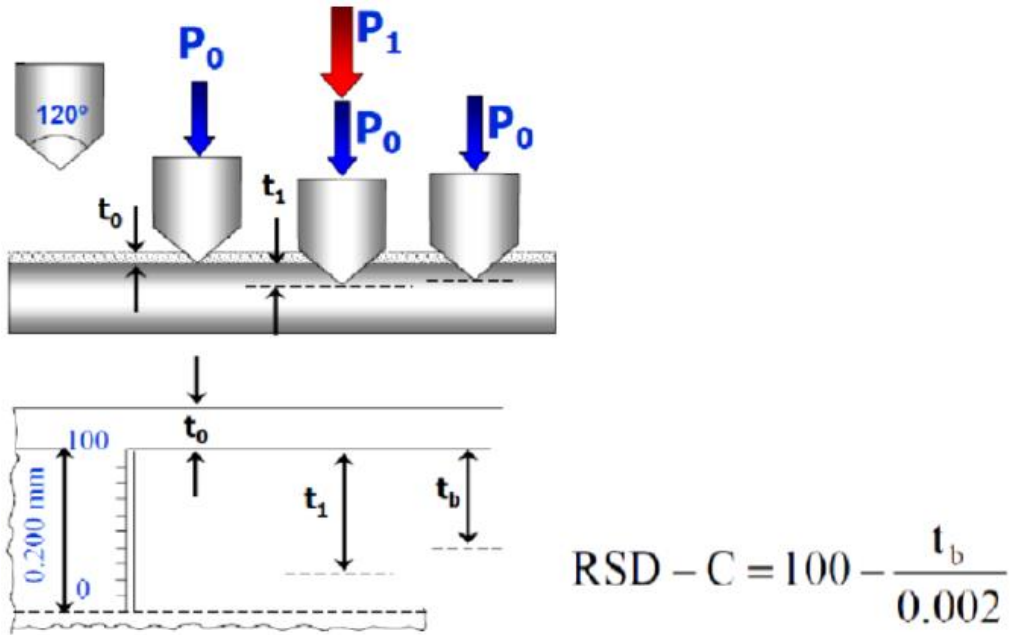
Şekil 1. Konik ve Bilye batıcı uç



Şekil 2. Sertlik ölçüm cihazı

Bu yöntemde batma derinliği ölçüleceği için yüzey pürüzlülüğü sonuçları etkileyebilir. Bu sakıncayı gidermek için önce batıcı uç küçük bir yük (P<sub>0</sub>=ön yük) malzemeye daldırılarak alet sıfır düzeyine ayarlanır. Daha sonra toplam yüke tamamlanacak şekilde ana yük (P<sub>1</sub>) uygulanır. Son olarak ana yük

(P<sub>1</sub>) kaldırılır (Şekil 3). Meydana gelen kalıcı izdeki derinlik artışı bulunarak mevcut göstergeden Rockwell sertlik değeri okunur.



Şekil 3. Rockwell sertlik ölçümünün şematik gösterimi

Sembolü	Batıcı Uç	Büyük Yük Kgf.	Tipik Kullanma Yerleri
B	1.6 mm (1/16 inç) bilya	100	Bakır alaşımları, yumuşak çelikler, alüminyum alaşımları, temper döküm vs.
C	Elmas konik uç	150	Çelik, sert dökme demirler, perlitik temper döküm, titan, derin olarak yüzeyi sertleştirilmiş çelik ve Rockwell B değeri 100'den daha fazla olan diğer malzeme
A	Elmas konik uç	60	Sert metaller, ince çelik ve yüzeyi ince tabaka halinde sertleştirilmiş çelik
D	Elmas konik uç	100	İnce çelik ve orta kalınlıkta yüzeyi sertleştirilmiş çelik ve temper döküm
E	3.2 mm (1/8 inç) bilya	100	Dökme demir, alüminyum ve magnezyum alaşımları, yumuşak ince sac metaller
F	1.6 mm (1/16 inç) bilya	60	Tavlanmış bakır alaşımları, yumuşak ince sac metaller
G	1.6 mm (1/16 inç) bilya	150	Fosforlu bronz berilliyumlu bakır temper dökümler

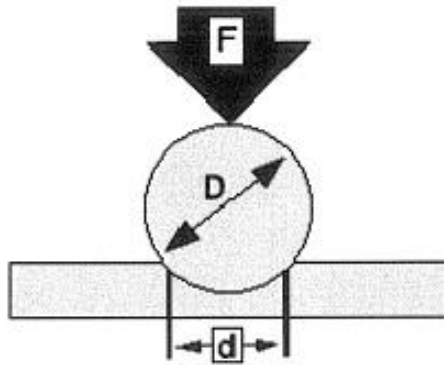
Tablo 1. Rockwell sertlik skalaları ve kullanım yerleri

Rockwell sertlik skalasının bulunmasında kullanılan formüller ise aşağıdaki gibidir.

$$\left. \begin{array}{l} RSD - A = \\ RSD - C = \\ RSD - D = \end{array} \right\} 100 - 500t \quad \text{ve} \quad \left. \begin{array}{l} RSD - B = \\ RSD - F = \\ RSD - G = \\ RSD - E = \end{array} \right\} 130 - 500t \quad \text{şeklindedir.}$$

Burada t batıcı ucun batma mm cinsinden batma derinliğidir.

**b) Brinell Sertlik Testi:** Brinell sertlik deneyi malzeme yüzeyine belirli bir yükün (F') belirli bir çaptaki (D) sert malzemedan yapılmış bir bilye yardımıyla belirli bir süre uygulanması sonucu yüzeyde kalıcı bir iz (d) meydana getirme esasına dayanır. Daha sonra bu kuvvetin oluşan izin küresel yüzey alanına bölünmesiyle Brinell sertlik değeri elde edilir (Şekil 4). Aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır. Bu bağıntıda yer alan F uygulanan yükü (kg), D bilye çapını (mm) ve d ise iz çapını (mm) gösterir. Standart deney koşullarında çapı 10 mm olan bilye kullanılır. Yük, malzemenin cinsine göre seçilir ve uygulama süresi 10-15 saniye arasında değişir. Ancak bazı durumlarda çapları 10 mm'den daha küçük olan (örneğin 1,25, 2,5 ve 5,0 mm) bilye biçimindeki uçlarda kullanılır.



Brinell sertlik değeri;

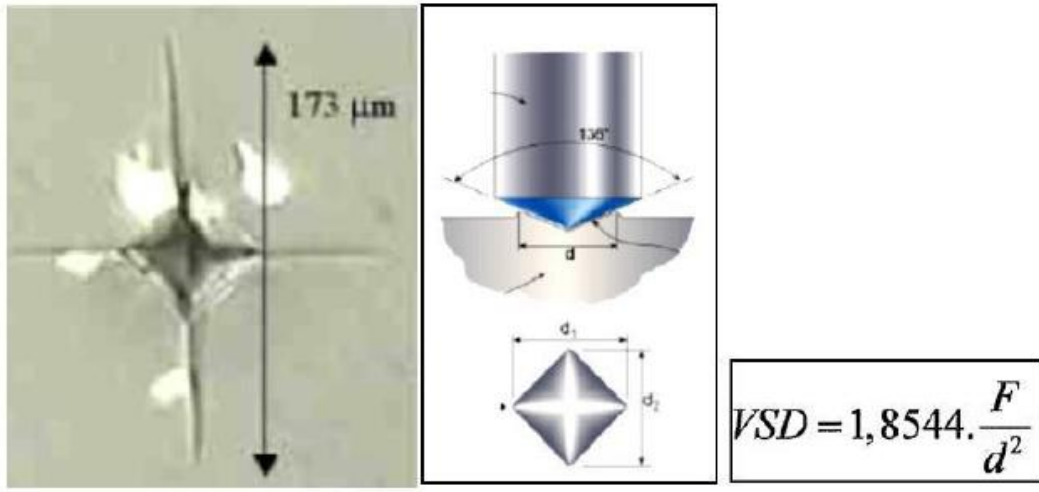
$$BSD = \frac{F}{y} = \frac{2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Şekil 4. Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi

Malzemenin üzerine uygulanacak yük değeri sertliği ölçülecek malzemenin cinsine ve bilye çapına göre seçilmektedir.  $d/D = 0,20 - 0,70$  oranı sağlandığı durumlarda uygulanan yükdeğeri doğru kabul edilir. Deney yükünün saptanmasında  $F=CD^2$  bağıntısı kullanılır. Burada F deney yükü, C malzeme cinsine göre değişen yükleme derecesidir.

- Demir esaslı malzeme (Çelik, DD) (C=30)
- Cu ve Al alaşımlı malzeme (C=10)
- Yumuşak malzeme (C=5)

**c) Vickers Sertlik Deneyi:** Bu deney yönteminde baskı elemanı olarak tepe açısı 136° olan elmas kare piramit kullanılır (Şekil 5). F yükü ile malzemeye bastırılan piramit ucun bıraktığı dörtgen izin köşegenleri ölçülerek hesaplanan ortalama köşegen uzunluğu formülde yerine konarak sertlik değerleri bulunur. Vickers sertliği yüke bağlı değildir. Ölçme hatalarını azaltmak ve heterojen yapılarda ortalama değer elde edebilmek için yükü ve dolayısıyla izi büyütmek faydalıdır. Ancak köşegen uzunluğu sertliği ölçülen parça veya tabaka kalınlığının en çok üçte ikisi kadar olmalıdır. Yük 1-120 kgf arasında değişebilir. Normal yük olarak 30 kgf seçilebilir. Vickers yönteminde büyük piramit açısından dolayı az derinliklere rağmen geniş diyagoneller elde edilir. Yüklü numune üzerinde kalma süresi yaklaşık 20 saniyedir. Bu süre sonunda baskı ucu numune üzerinden kaldırılır ve deney bitirilir.



**Şekil 5. Vickers sertlik deneyinin şematik gösterimi**

Burada F uygulanan yükü (kg), d iz köşegenlerinin ortalaması (mm) olup  $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$  formülü ile hesaplanır.  $d_1$  ve  $d_2$  sırasıyla ölçülen köşegen uzunluklarıdır. Vickers sertlik deneyi çok yumuşak ve çok sert tabakalar için de uygundur. Deneyde yük düşük olduğu için genellikle ince parçalarda ve sadece yüzeyi sert olan özel işlem görmüş malzemelerde tercih edilir. Vickers sertliğinin avantajı, oldukça doğru okumalar yapması ve tüm metal ve işlem görmüş yüzeyler için sadece bir tip batıcı ucun kullanılmasıdır. Vickers sertliği metallerin yanında seramik malzemelerin sertliğinin ölçümünde de güvenilir bir sertlik ölçüm metodudur.

#### **KAYNAKLAR**

\*Erciyes Üniversitesi Mekanik Deney Föyü

\*Savaşkan, T., "Malzeme Bilgisi ve Muaynesi" 2007.