



Malzemeler dışarıdan uygulanan **yük** veya **kuvvete** nasıl tepki verir?

Bağ türü  
Kristal yapısı  
Safsızlıklar  
Proses

↓

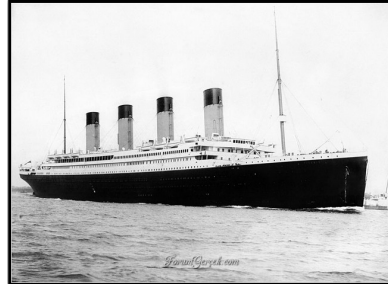
**MEKANİK ÖZELLİKLER**

Uygulanan kuvvete karşı koyabilecek mühendislik malzemeleri tasarlayabilmek için malzemenin mekanik özellikleri iyi tanınmalıdır.

2

BÖLÜM 4 Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

Titanik'in batmasında ya da Challenger uzay mekiği kazasında malzemeye bağlı bir takım faktörlerin önemli rolü vardır.



- Düşük sıcaklık pek çok metali ve plastiği kırılgan hale getirir.

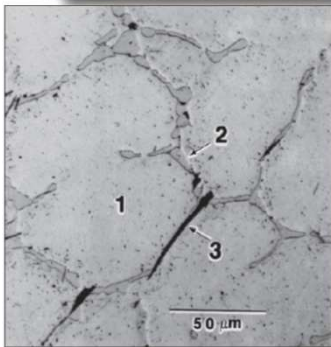
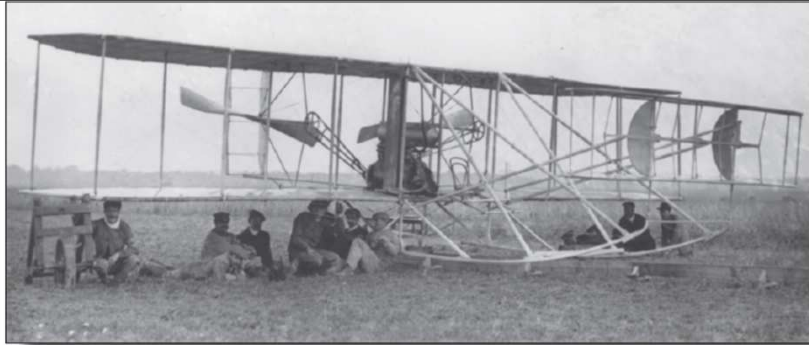
Roket hızlandırıcılarda kullanılan o-ring plastiğinin düşük sıcaklık ile kırılgan hale gelmesi Challenger uzay mekiği kazasının oluşmasında etkilidir.

Benzer şekilde Titanik'in yapımında kullanılan çeliğin düşük sıcaklık ile kırılganlığının artmasının geminin batmasında önemli rol oynadığı tespit edilmiştir

3

BÖLÜM 4

Y.Doc. Dr. N.B. Teşneli



17 Aralık 1903'de Wright kardeşlerin uçağı ilk kez uçtuğunda sadece 12 s havada kalabilmişti.

Wright kardeşlerin uçaklarının motorunda kullanılan alaşım ile ilgili henüz bilmedikleri bazı şeyler vardı!!!

The Science and Engineering Materials, 6th ed.D.R. Askeland

4

BÖLÜM 4

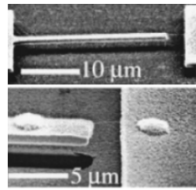
Y.Doc. Dr. N.B. Teşneli



Üzerindeki tonlarca yükü taşıyıp, rüzgara karşı duran köprüler ve gökdelenler



Uzay çalışmalarına uygun, farklı atmosfer şartlarına dayanabilen malzemeler



Mikroelektro-mekanik sistemler (MEMS) ve Nanoelektro-mekanik sistemler (NEMS) için malzeme tasarımı

5

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

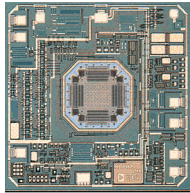
Günümüzde MEMS birçok uygulama ile hayatımıza yerleşmiş durumdadır. Örneğin;

#### Mürekkepli Yazıcılar

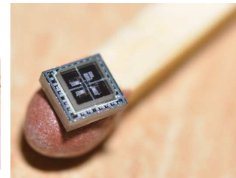
Bazı malzemelerin **piezoelektrik** özelliklerine dayanarak tasarlanan MEMS'ler mürekkepli yazıcıların mürekkep püskürtme işlemini kontrol etmek amacı ile kullanılmaktadır. Voltaj farkı uygulandığı zaman piezoelektrik malzemelerin boyutları değişmekte ve bu şekil değişimi ile mürekkebin akışı kontrol edilmektedir.

#### Hava yastıkları

Hava yastıkları arabanın yavaşlama hızına bağlı olarak çalışmaya başlarlar. Yavaşlama hızı, MEMS sensörler kullanan ivme ölçerler ile tayin edilir. Bu MEMS ivme ölçerleri, ani hareket değişimleri sırasında kapasitansta gerçekleşen değişimi algırlar ve sinyal oluşturarak hava yastığının çalışmasını sağlarlar.



High-performance  
3-axis accelerometer



#### Bio - Mikro elektromekanik sistemler (BioMEMs)

Bio-MEMS'ler, biyolojik maddelerin bilimsel amaçlarla analizi, ölçümü ve aktivitelerinin gözlenmesi için kullanılan mikroeletromekanik yapılardır.

6

BÖLÜM 4

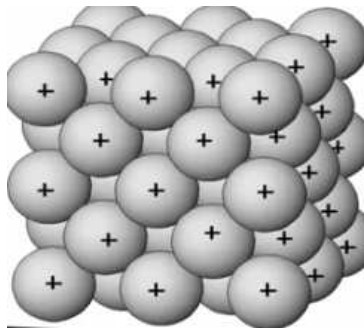
Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

- Malzemelerin uygulanan yük veya kuvvet etkisi ile verdikleri tepkiler ya da mekanik yükler etkisi altındaki davranışları “mekanik özellikler” olarak adlandırılır.
- Mukavemet, süneklik, esneklik, tokluk malzemenin önemli mekanik özelliklerinden bazılarıdır.
- Mekanik özellikler esas olarak atomlar arası bağ kuvvetlerinden kaynaklanır. Ancak malzemenin yapısının da önemli etkisi vardır. Yapısal değişiklikler yapılarak mekanik özellikler önemli ölçüde değiştirilebilir.

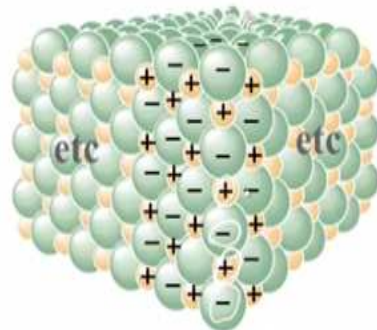
BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

Atomlar arası bağın malzeme özelliklerine etkisini anlayabilmek için metalik ve iyonik bağın yük etkisi altındaki davranışına bakalım.



Metalik bağ ile oluşmuş kristal yapısı



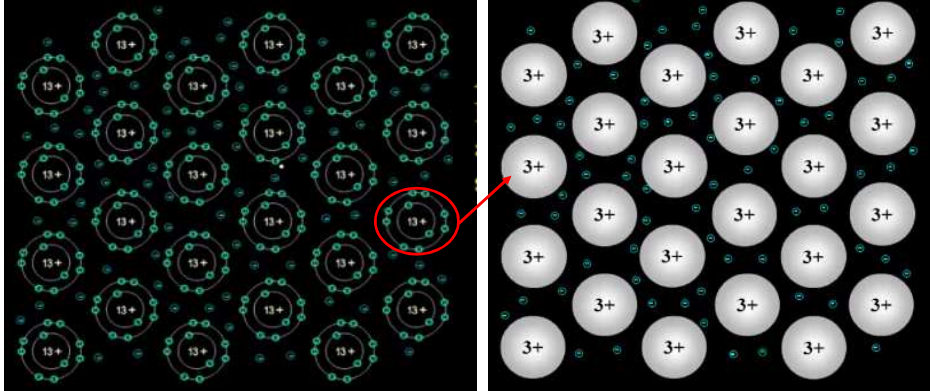
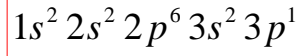
İyonik bağlı NaCl kristal yapısı

8

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

Metalik bağ yapısına sahip Alüminyumun 13 elektronu vardır.

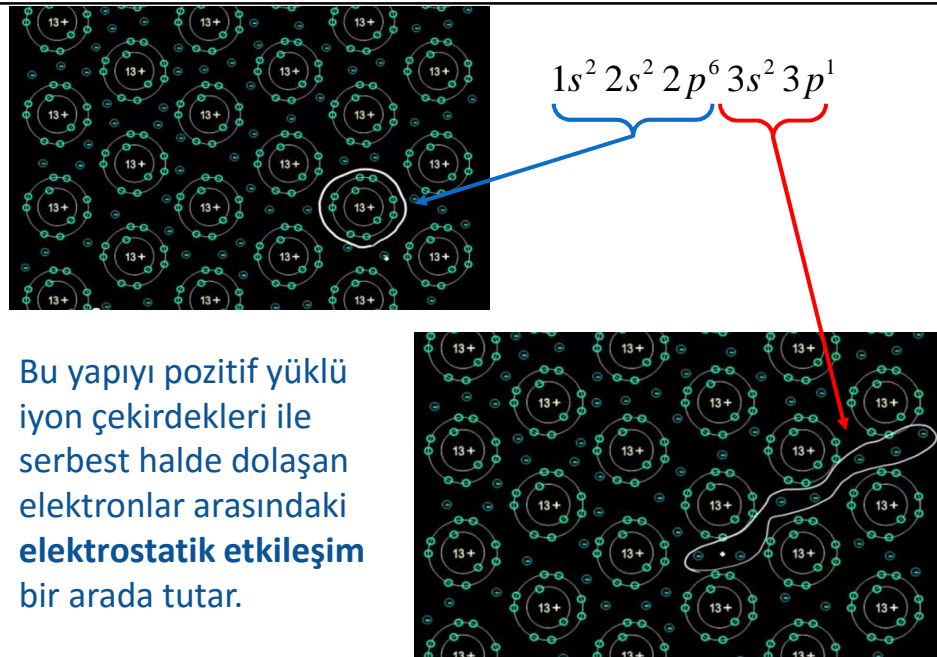


K ve L kabuklarındaki (n=1,2) 10 elektron ve atom çekirdeği metalik bağdaki +3 değerlikli iyon çekirdeklerini oluştururken dış kabuktaki 3 değerlik elektronu elektron denizi diye adlandırılan bölgede yer alırlar

9

BÖLÜM 4

Y.Doc.Dr. N.B. Teşneli

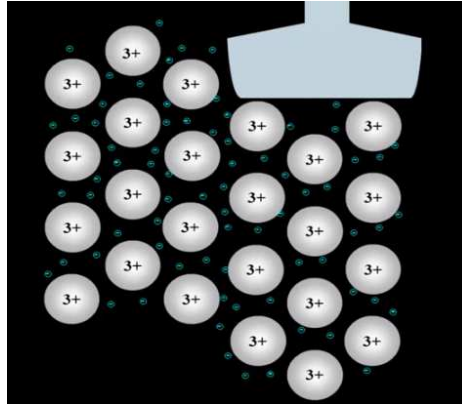


10

BÖLÜM 4

Y.Doc.Dr. N.B. Teşneli

Bir çekiç ile alüminyuma vurduğumuzu düşünelim;



Bu durumda atomların yerleri değişir. Ancak birbirinden ayrılıp kopmazlar.

Çünkü elektron denizi pozitif yüklü iyonlar arasında kalmaya devam ederken sadece yer değiştirmektedir. Bu da bağının kopmamasını sağlar

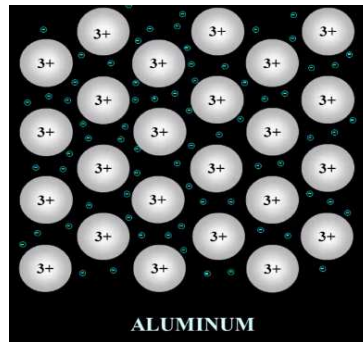
11

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

Metalik bağda yer alan elektron denizi pozitif yüklü atomlar arasında güçlü bir bağ kurarak metalin **sert yapıya** ve **yüksek ergime sıcaklığına** sahip olmasını sağlar.

Elektron bulutunu oluşturan **serbest elektronlar arttıkça**, titanyumda olduğu gibi, metaller **daha sert yapıya** ve **daha yüksek ergime sıcaklığına** sahip olurlar.



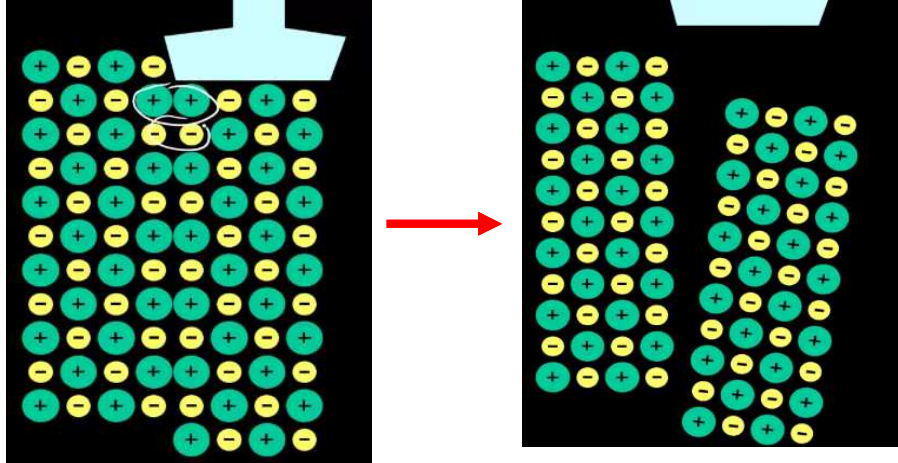
12

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli



Benzer bir durumu iyonik bağı bir katıda düşünelim;  
 Böyle bir yapıya bir kuvvet etki ettiğinde iyonların yerleri değişir ve pozitif iyonlar ile negatif iyonlar yan yana gelirler.  
 Bu da kristal yapının ayrılmasına sebep olur.



13

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

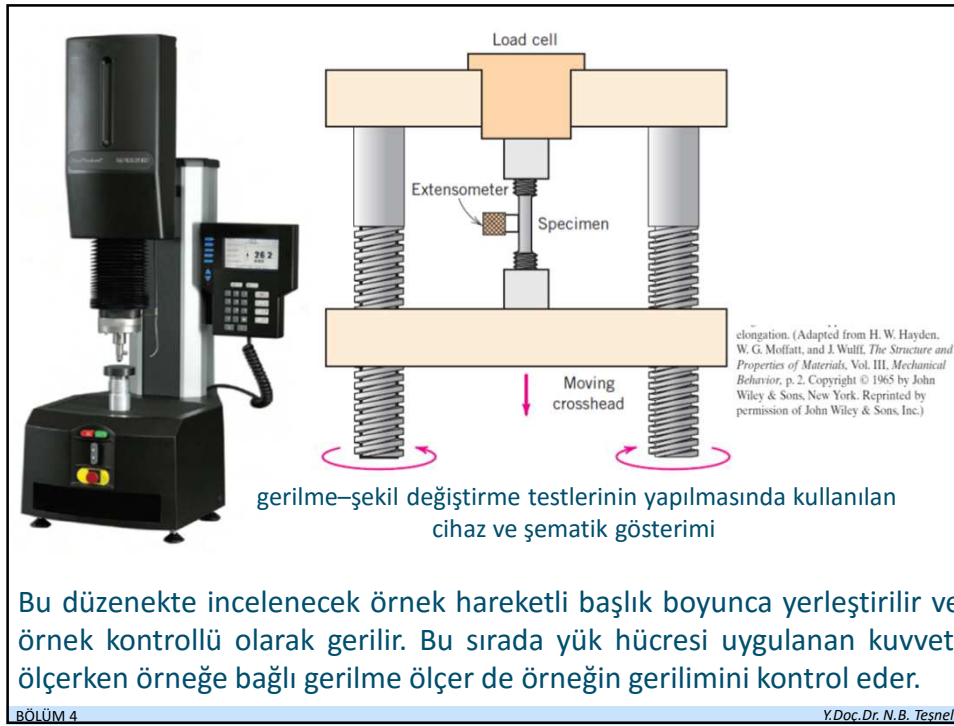
- Her malzeme için karakteristik bir **gerilme-şekil değiştirme (birim uzama)** ilişkisi vardır.

- Önemli karakteristik bilgiler içeren gerilme-şekil değiştirme eğrisi genellikle çekme deneyi ile saptanır.

gerilme (stress)  $\rightarrow \sigma$   
 şekil değiştirme (strain)  $\rightarrow \epsilon$   
 ile sembolize edilir.

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli



Bu düzende incelenecek örnek hareketli başlık boyunca yerleştirilir ve örnek kontrollü olarak gerilir. Bu sırada yük hücresi uygulanan kuvveti ölçerken örneğe bağlı gerilme ölçer de örneğin gerilimini kontrol eder.

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Tesneli

**Gerilme ( $\sigma$ )**, Birim alan başına uygulanan kuvvet olarak tanımlanır.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{\text{Kuvvet}}{\text{Alan}}$$

Burada F örnek kesit alanına dik olarak uygulanan kuvvet,  $A_0$  ise orijinal kesit alanıdır.

$\text{N/m}^2 = \text{Pa (Pascal)}$  boyutunda verilir ancak genel olarak  $\text{MPa} (10^6 \text{ Pa})$  ya da  $\text{N/mm}^2$  olarak ifade edilir.

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Tesneli



**Şekil değiştirme ( $\epsilon$ )**, malzemenin gerilme etkisi altında verdiği tepkidir. (Gerilme etkisi ile uzama gibi)

$$\epsilon = \frac{\ell_i - \ell_0}{\ell_0} = \frac{\Delta \ell}{\ell}$$

$\ell_0 \rightarrow$  ilk uzunluk

$\ell_i \rightarrow$  kuvvet etkisi altında uzunluk

$\Delta \ell \rightarrow$  uzama miktarı

Şekil değiştirme ya da birim uzama boyutsuzdur. Fakat genellikle m/m olarak ifade edilir. Şekil değiştirme değeri bazen de yüzde olarak verilir. Bu değer şekil değiştirme miktarının 100 ile çarpılması ile elde edilir.

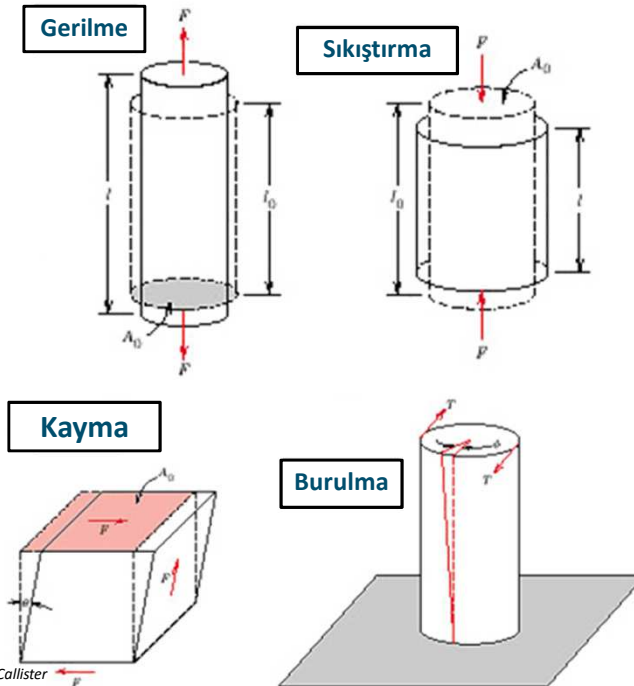
BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Tesneli

Bir kuvvetin uygulanmasında 3 temel yol vardır.

- Gerilme
- Sıkıştırma
- Kayma (kesme)

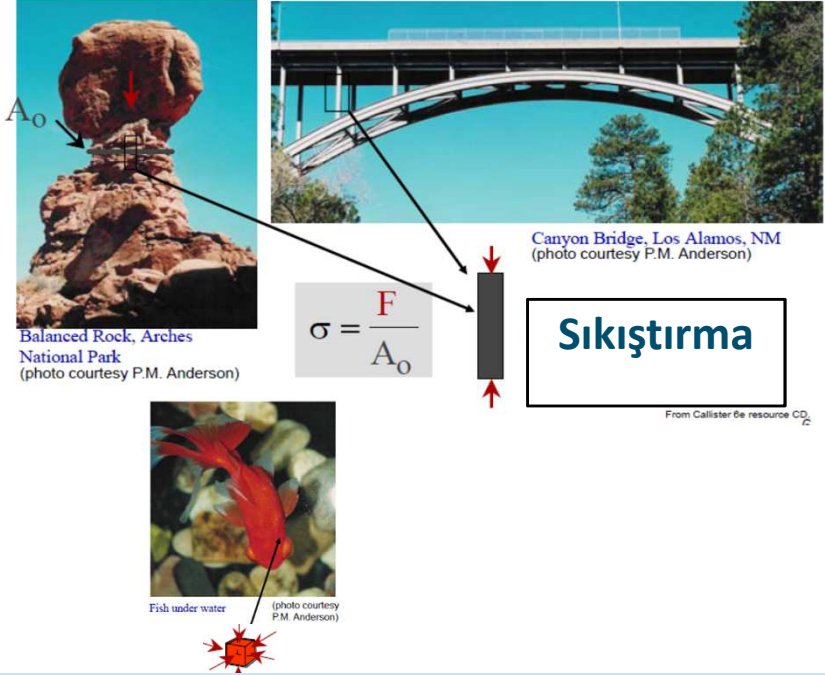
Ancak pek çok durumda kuvvet saf kayma yerine **burulma** şeklinde uygulanır.



From Material Science and Engineering, W.D.Collister

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Tesneli



Balanced Rock, Arches National Park (photo courtesy P.M. Anderson)

Canyon Bridge, Los Alamos, NM (photo courtesy P.M. Anderson)

$\sigma = \frac{F}{A_0}$

**Sıkıştırma**

Fish under water (photo courtesy P.M. Anderson)

From Callister 6e resource CD

BÖLÜM 4

19

Y.Doç.Dr. N.B. Tesneli

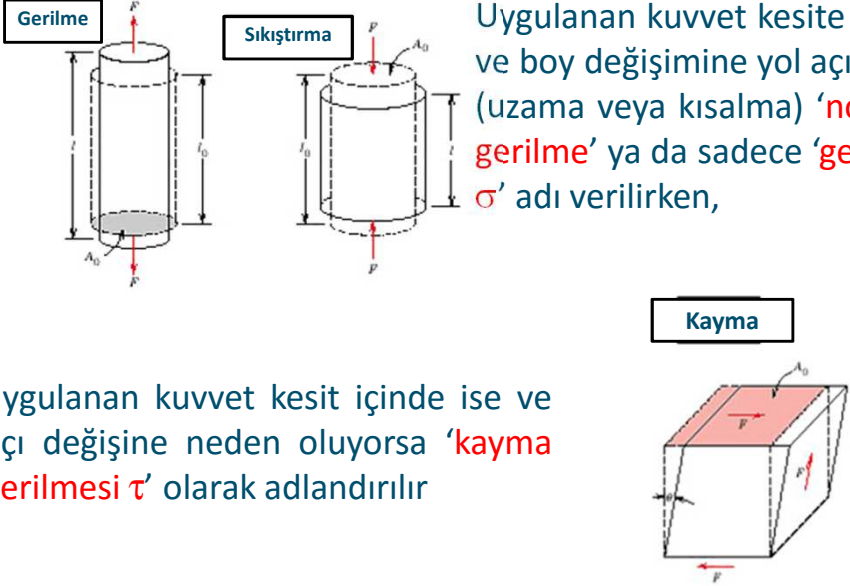
**Gerilme**

**Sıkıştırma**

Uygulanan kuvvet kesite dikse ve boy değişimine yol açıyorsa (uzama veya kısalma) 'normal gerilme' ya da sadece 'gerilme'  $\sigma$  adı verilirken,

uygulanan kuvvet kesit içinde ise ve açı değişimine neden oluyorsa 'kayma gerilmesi  $\tau$ ' olarak adlandırılır

**Kayma**

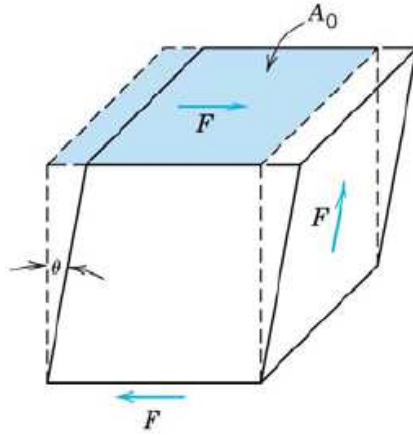


BÖLÜM 4

20

Y.Doç.Dr. N.B. Tesneli

Kayma kuvvetinin etkisi altında gerilme ve şekil değiştirme kavramları “**Kayma gerilmesi ( $\tau$ )**” ve “**Kayma şekil değiştirmesi ( $\gamma$ )**” adını alır ve aşağıdaki gibi ifade edilir.



**Kayma gerilmesi**

$$\tau = \frac{F}{A_0}$$

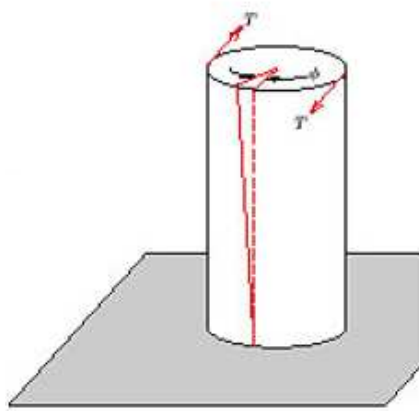
**Kayma şekil değiştirmesi**

$$\gamma = \tan \theta$$

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

Burulma saf kaymanın bir çeşididir. Uygulanan kuvvet burulma şeklinde ise kuvvet **torka (T)**, şekil değiştirme ise **burulma açısına ( $\Phi$ )** bağlı olarak ifade edilir.



**Burulma gerilmesi**

$$\tau = \frac{T}{A_0}$$

**Burulma şekil değiştirmesi**

$$\gamma = \tan \Phi$$

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

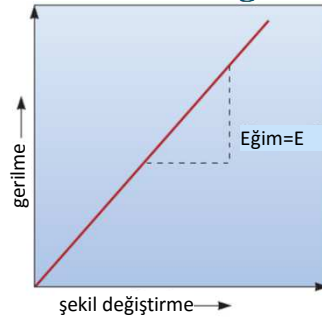
## Elastik Deformasyon / Elastik şekil değiştirme

- Geri dönüşümlü, kalıcı olmayan bozulmalar

Uygulanan kuvvet kaldırıldığında malzemede oluşan deformasyon da ortadan kalkıyor ve malzeme orijinal haline geri dönüyorsa oluşan deformasyon “elastik deformasyon” olarak adlandırılır.

Bu tür deformasyonlarda uygulanan kuvvet genellikle küçüktür.

Deformasyonun elastik olduğu malzemelerde gerilme-şekil değiştirme ilişkisi doğrusaldır.



From "The Science and Engineering of Materials", D.R. Askeland

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

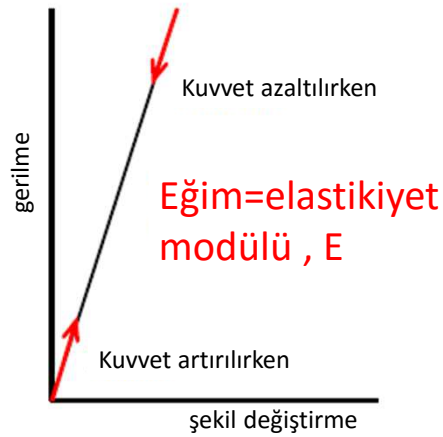
gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ➡ **Hooke Yasası**

$$\sigma = E \epsilon$$

gerilme  $\sigma$   $E$   $\epsilon$  şekil değiştirme

**Elastikiyet Modülü  
(Young Modülü)**

- Malzemenin elastik deformasyona karşı direncinin ölçüsüdür. Gerilme ile aynı boyuttadır. (N/m<sup>2</sup> ya da Pa)
- Malzemenin karakteristik bir özelliğidir (malzemeden malzemeye değişir)

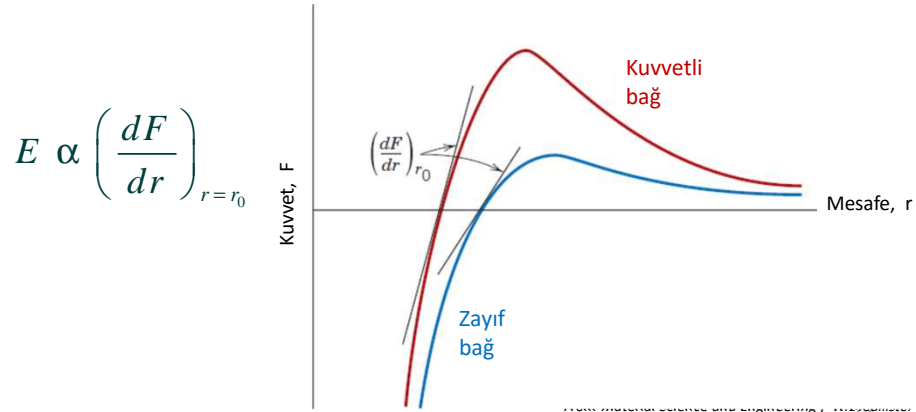


BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

Elastik şekil değiştirme atomik seviyede atomlar arası mesafede küçük değişiklikler ve bağlarda gerilmeler olarak ortaya çıkar. Sonuç olarak elastik modülünün büyüklüğü komşu atomlar/iyonlar/moleküllerin birbirinden ayrılmaya gösterdikleri direncin ölçüsüdür.

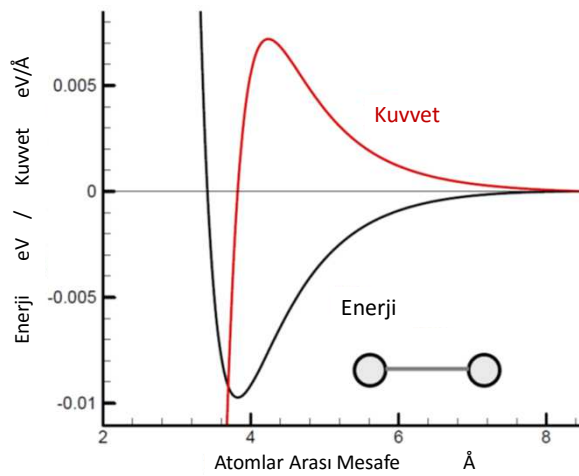
Elastiklik modülü atomlar arası kuvvet ve atomlar arası mesafe eğrisinin denge mesafesi için çizilen teğetinin eğimi ile de orantılıdır.



BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

Buna benzer şekilde Enerji ve atomlar arası mesafe eğrisinin şekli de Elastiklik modülü ile ilgili bilgi verir. Denge mesafesi civarında eğimin artması daha büyük elastik modülüne işaret eder.



26

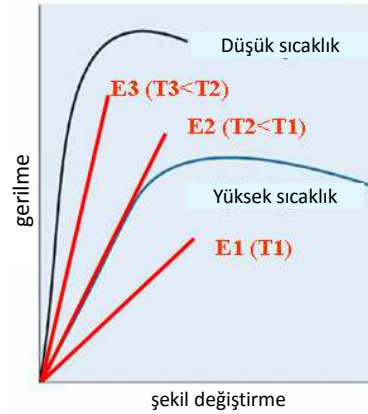
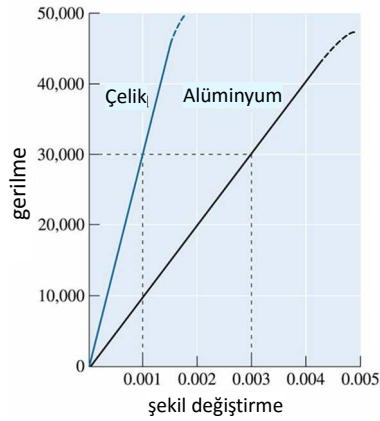
BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

Elastikiyet Modülüne etki eden parametreler:

- Kimyasal bileşim (Al ve çelikte farklı)
- Ortam sıcaklığından etkilenir. (Sıcaklık arttıkça azalır.)

Ancak ısıtılma işleminden etkilenmez. (Aynı çeliğin yumuşak hali ile sertleştirilmiş hali aynı E'ye sahiptir).



27

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

Uygulanan kuvvet gerilme ya da sıkıştırma yerine kayma şeklinde ise Kayma gerilmesi ve kayma şekil değiştirmesi arasındaki bağıntı;

$$\tau = G\gamma$$

Kayma gerilmesi      Kayma Modülü      kayma şekil değiştirmesi

biçiminde ifade edilir.

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

## Hooke Yasası

gerilme      sıkıştırma

bükülme      kayma

**Normal gerilme**

(a) Unloaded      (b) Loaded

$\sigma = E\varepsilon$

$\sigma$  = Normal gerilme  
 $\varepsilon$  = Birim şekil değişimi  
 $E$  = Elastiklik modülü

**Kayma gerilmesi**

(a) Unloaded      (b) Loaded

$\tau = G\gamma$

$\tau$  = Kayma gerilmesi  
 $\gamma$  = Kayma birim şekil değişimi  
 $G$  = kayma modülü

BÖLÜM 4
Y.Doç.Dr. N.B. Teşnel

## Poisson Oranı ( $\nu$ )

Gerilmeye maruz kalan malzemeler yanıl olarak da daralır. Sıkıştırılan malzemeler ise genişler. Eğer uygulanan kuvvet tek yönlü (z-ekseni) ve örnek izotropik ise yanıl şekil değıştirmeler birbirine eşittir ( $\varepsilon_x = \varepsilon_y$ )

Bu durum “**Poisson Oranı,  $\nu$** ” adı verilen ve yanıl şekil değıştirmenin aksenel şekil değıştirmeye oranı olarak ifade edilen bir parametre ile tanımlanır.

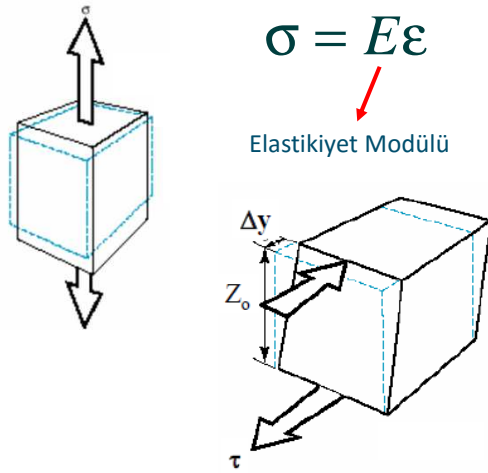
uzama

daralma

$\varepsilon_z = \frac{\Delta l}{l_o}$	$\varepsilon_x = \frac{\Delta d}{d_o}$	$\nu = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}$
--	--	---

BÖLÜM 4
Y.Doç.Dr. N.B. Teşnel





$\sigma = E\epsilon$   
Elastikiyet Modülü

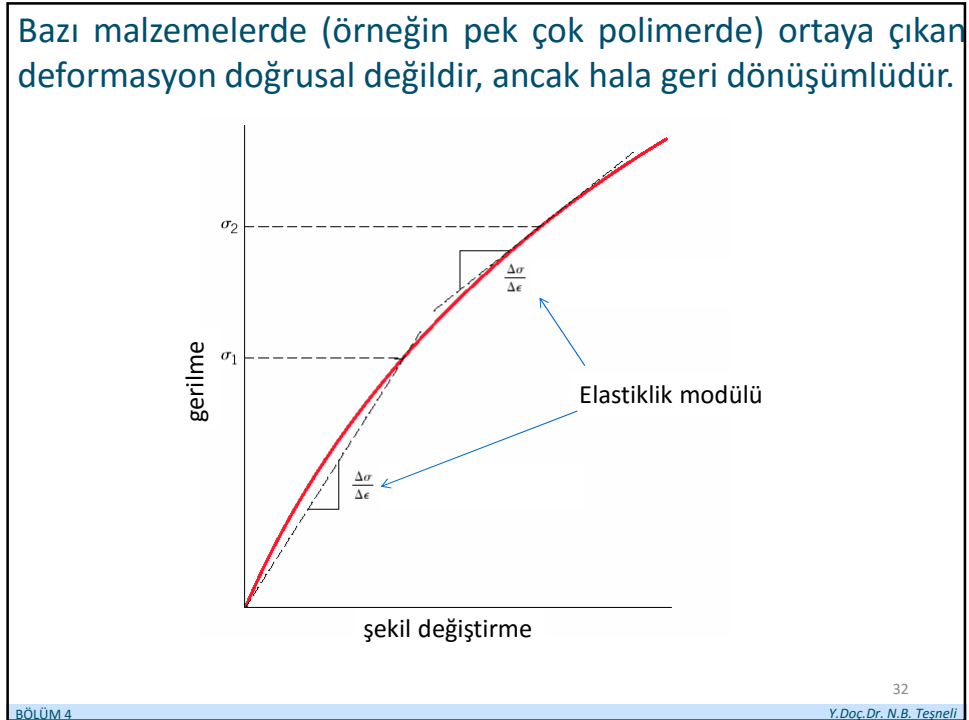
$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z}$   
Poisson oranı

$\tau = G\gamma$   
Kayma Modülü

Yukarıda tanımladığımız 3 elastik malzeme parametresi (E,G,  $\nu$ ) arasında bir ilişki vardır. Bunlardan ikisi biliniyorsa diğeri hesaplanabilir.

**$E=2G(1+\nu)$**

BÖLÜM 4 Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli



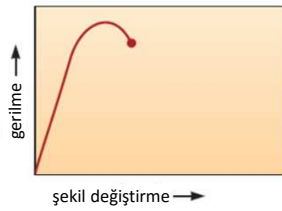
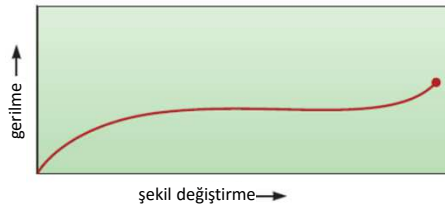
## Anelastiklik

- Elastik deformasyonun zamandan bağımsız olduğunu kabul ettik. (Yani uygulanan gerilme anlık elastik şekil değiştirme ürettiymiş gibi düşündük)
- Ancak gerçekte elastik deformasyon zaman alır (atomlar arası bağlardaki değişim süreci kuvvetin uygulanmasından sonra ve kuvvetin kaldırılmasından sonra devam eder.
- Böyle zamana bağlı elastik davranış “Anelastiklik” olarak adlandırılır.

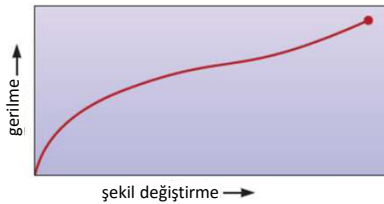
BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Tesneli

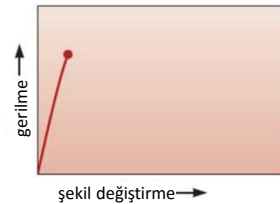
(a) Metal

(b)  $T_g$  sıcaklığının üstünde termoplastik malzeme

(c) Elastomer



(d) Seramik, Cam ve Çimento



Yukarıda farklı malzemeler için gerilme-şekil değiştirme grafikleri verilmiştir. Görüldüğü gibi bu değişim her zaman doğrusal değildir.

From The Science and Engineering of Materials, D.R. Askeland

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Tesneli

## Plastik Deformasyon

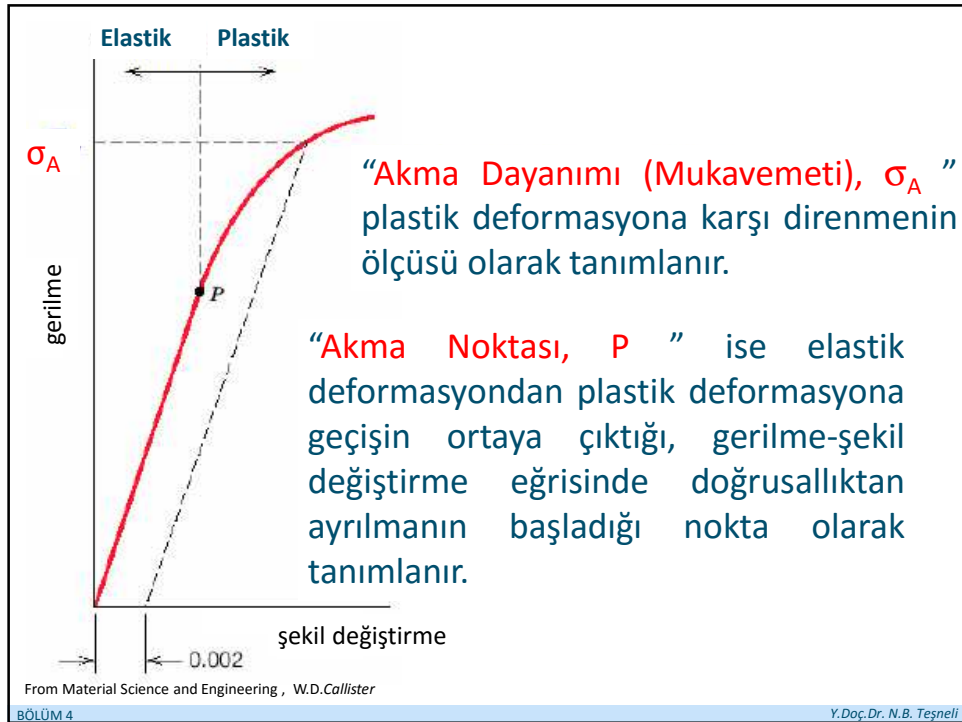
- Geri dönüşümsüz, kalıcı bozulmalar

Uygulanan kuvvet kaldırıldığında malzemede oluşan deformasyon sürüyorsa oluşan bozulma “plastik deformasyon” olarak adlandırılır.

- gerilme ve şekil değiştirme doğru orantılı değildir.
- Deformasyon atomlar arası bağların kırılması ve yeniden düzenlenmesi ile oluşur.

BÖLÜM 4

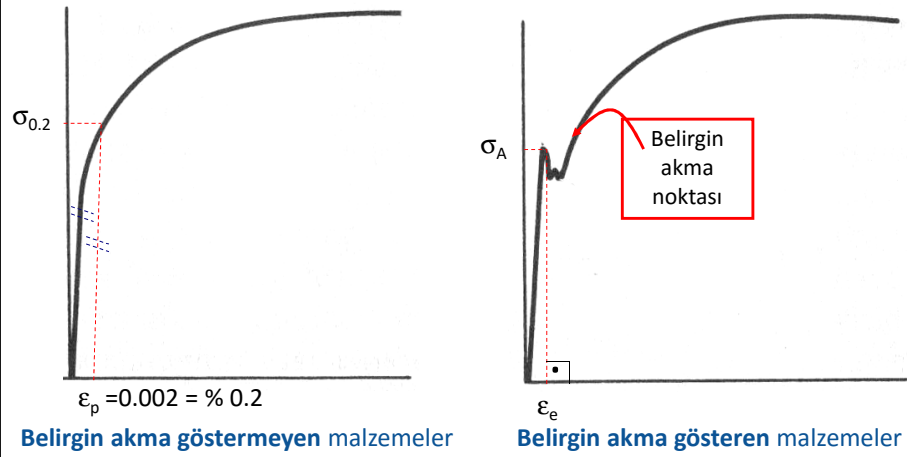
Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli



BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

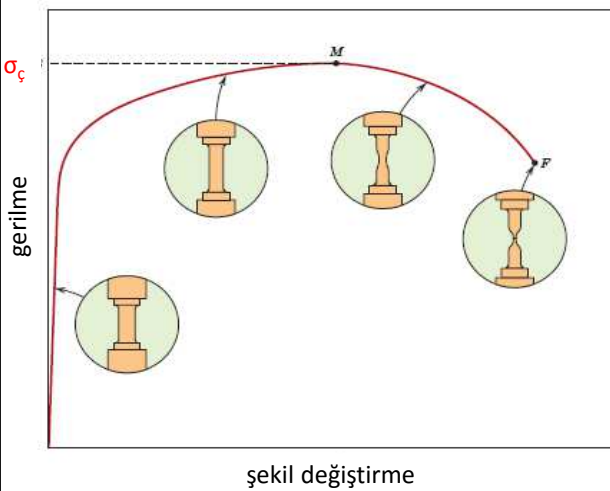
Akma noktası çoğu zaman kesin olarak belirlenemez. Bu durumda genel olarak 0.002 birim uzama değerinden elastik deformasyon bölgesine çizilen paralel çizginin eğriyi kestiği nokta akma noktası olarak kabul edilir. Buna deneme (proof veya offset) akma noktası denir.



BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

- Akma noktasından sonra kuvvet uygulanmaya devam edilirse plastik deformasyon, gerilmenin maksimum değerine ulaştığı **M** noktasına kadar artar.



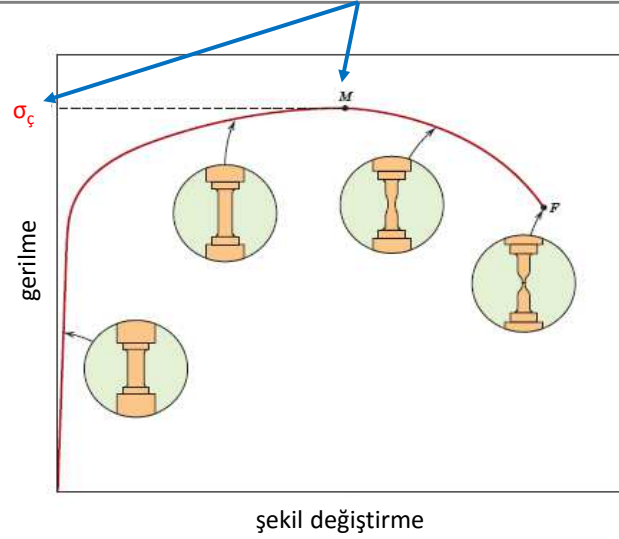
- Bu noktadan sonra kuvvetin artmaya devam etmesi ile kırılmanın gerçekleştiği **F** noktasına doğru azalır.

From Material Science and Engineering , W.D.Callister

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

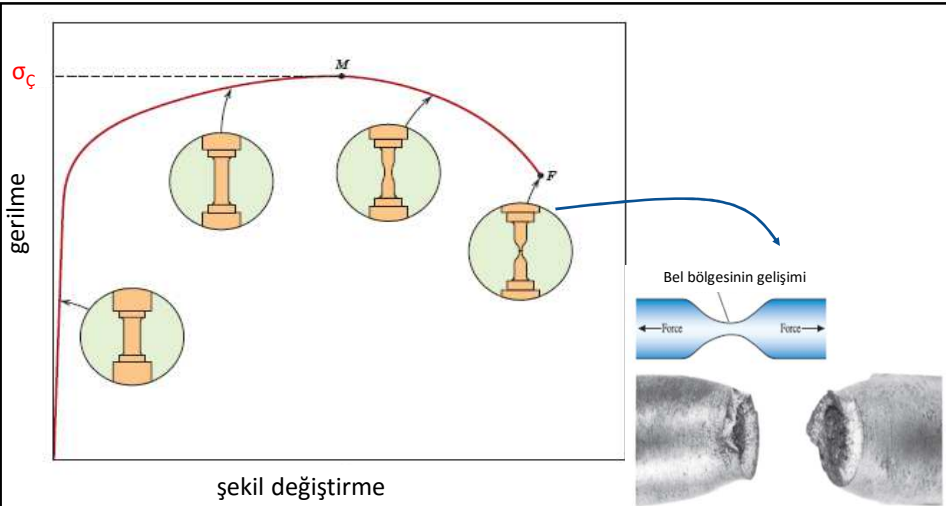
“Çekme Dayanımı,  $\sigma_c$ ” gerilme-şekil değiştirme eğrisinin maksimum gerilme değeridir.



From Material Science and Engineering , W.D.Callister

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

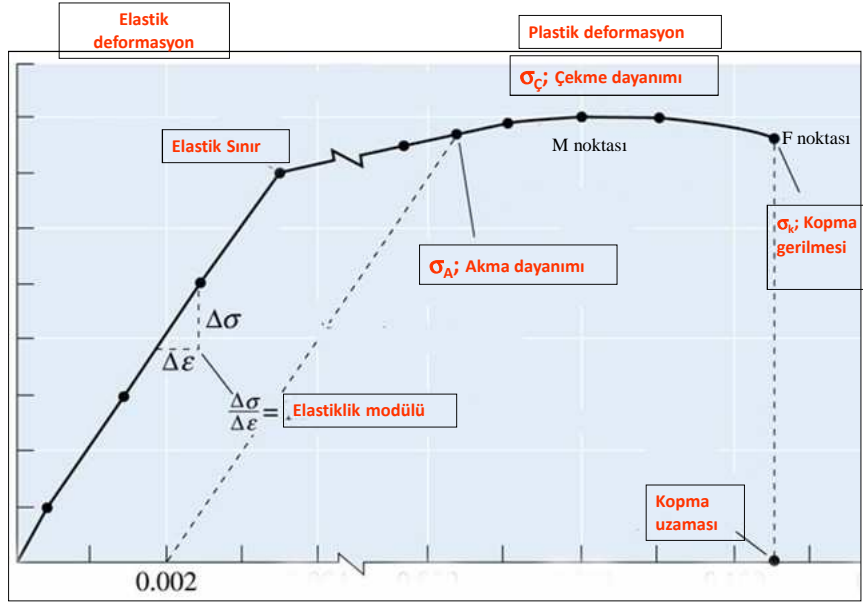


- Maksimum gerilme değerine ulaşıldıktan sonra örnekte bir büzülme oluşur . Bu durum “**boyun verme** ya da **bel verme**” olarak adlandırılır. Bundan sonra oluşan bütün deformasyon bu belde hapsolür ve kırılma bu noktadan gerçekleşir.

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

gerilme-şekil değiştirme grafiklerinden ne tür bilgiler alınabilir?



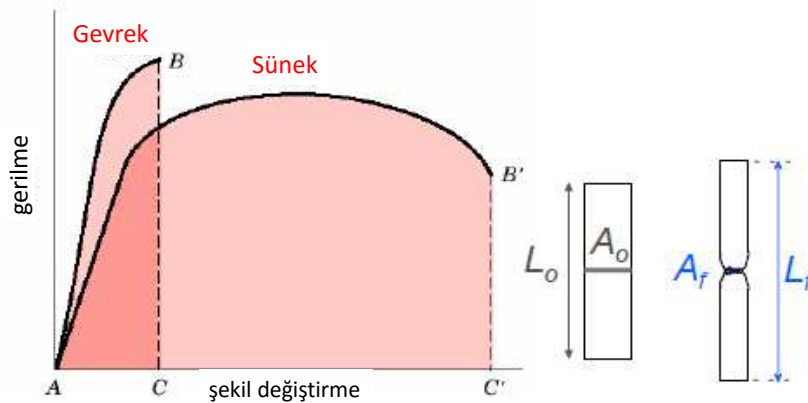
BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşnel

## Süneklik - Gevreklik

“Süneklik” kırılma noktasına kadar malzemede oluşabilecek plastik deformasyon miktarıdır.

Plastik şekil değiştirme kabiliyetini ifade eder. Bu değerın büyümesi, malzeme kopana kadar daha büyük plastik şekil değiştirme göstermesi anlamına gelir.



BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşnel

Süneklik nitel olarak 2 şekilde tanımlanabilir.

**Kopma uzaması** ve **alan daralması**

- Kopma uzaması

$$\delta = \frac{l_k - l_o}{l_o}$$

$l_k$  = Kopma anında boyu  
 $l_o$  = ilk boyu

- Alan daralması

$$\psi = \frac{A_o - A_k}{A_o}$$

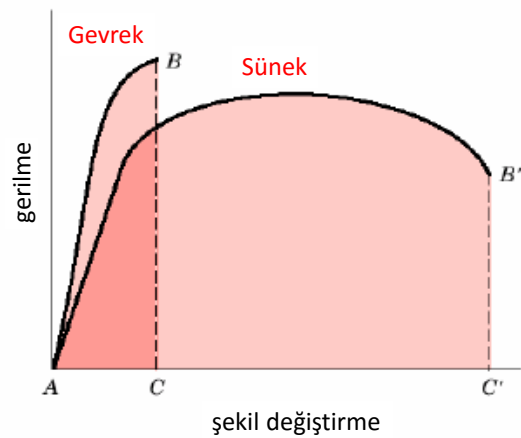
$A_o$  = İlk kesit alanı  
 $A_k$  = Kopmadan sonra ölçülen kesit alanı

Bu parametreler % olarak da ifade edilebilir

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

**Gevreklik** ise Plastik şekil değiştirme kabiliyetinin olmaması durumunu ifade eder. Eğri bazen elastik sınırdan bazen de elastik sınıra çok yakın bir noktada son bulur.



44

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli



## Sünek ve Gevrek Kırılma

- Sınıflandırma:
 

Kırılma Davranışı:	Çok Sünek	Orta Derecede Sünek	Gevrek
			
% kesit büzülmesi veya % uzama:	Büyük	Orta	Yok
- Sünek kırılma istenir!
 

**Sünek:**

NEDENİ → Kırılmadan önce uyarı var !

**Gevrek :**

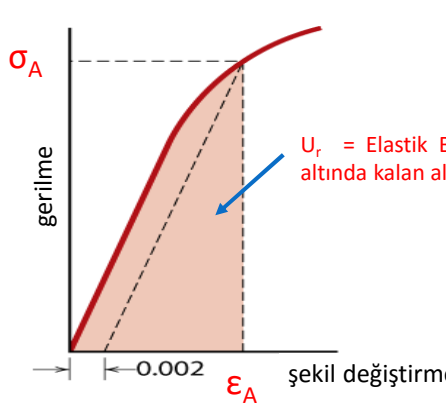
Uyarı yok !

45

Y.Doç.Dr. N.B. Tesneli

## Rezilyans

“Rezilyans,  $U_r$ ” malzemenin elastik olarak deforme olduğunda enerji soğurma kapasitesidir.  $\sigma - \epsilon$  eğrisinde elastik bölgenin altında kalan alana eşittir.



şekil değiştirme

Rezilyans :

$$U_r = \int_0^{\epsilon_A} \sigma \cdot d\epsilon = \frac{\sigma_A \cdot \epsilon_A}{2}$$

Eğer elastik bölge mükemmel doğrusal ise

$$U_r = \frac{\sigma_A^2}{2E}$$

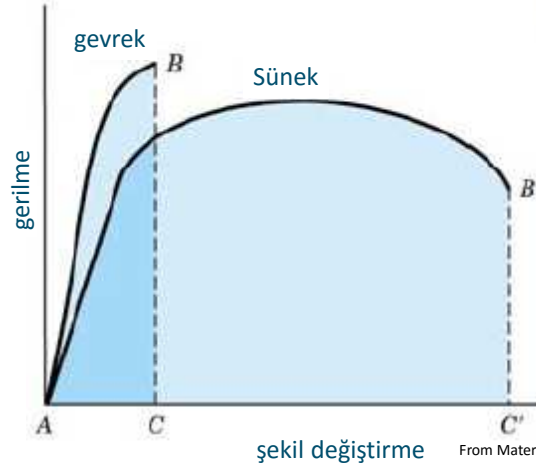
Bu tür malzemeler büyük akma mukavemetine ( $\sigma_A$ ) ve küçük elastik modülüne (E) sahiptirler

From Material Science and Engineering , W.D.Callister

Y.Doç.Dr. N.B. Tesneli

## Tokluk

“Tokluk” Plastik deformasyonun bir ölçüsüdür. Birim hacimdeki cismi kırmak için gerekli enerji olarak tanımlanır. Yaklaşık olarak gerilme-şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alana eşittir.



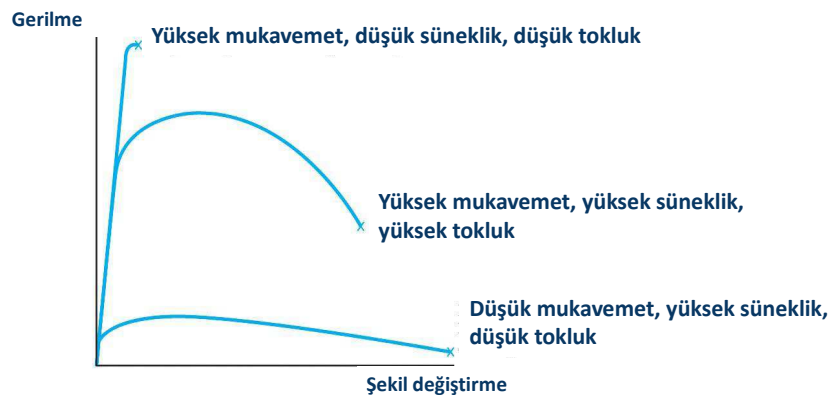
$$Tokluk = \int \sigma \cdot d\epsilon$$

From Material Science and Engineering , W.D.Callister

BÖLÜM 4

Y.Doc.Dr. N.B. Tesneli

Tokluk malzemenin kırılana kadar ne kadar enerji yutacağını göstergesidir.



From Material Science and Engineering , W.D.Callister

48

BÖLÜM 4

Y.Doc.Dr. N.B. Tesneli

### Gerçek Gerilme - Gerçek birim şekil değiştirme

Gerilme ve şekil değiştirme kavramları için şu ana kadar başlangıçtaki geometrik veriler göz önünde bulunduruldu. Bu şekilde hesaplanan veriler “Mühendislik” değerlerdir.

Ancak gerçekte plastik şekil değiştirme ile birlikte kesit alanı (hacmin sabit kalması ile) sürekli azalır. Bu şekilde elde edilen verilere ise “Gerçek” değer denir.

Özellikle metal şekillendirme uygulamalarında gerçek değerler kullanılır.

49

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

#### Mühendislik birim uzaması

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_o} = \frac{l - l_o}{l_o} = \frac{l}{l_o} - 1$$

$$\frac{l}{l_o} = \varepsilon + 1$$

#### Gerçek birim uzama

$$d\varepsilon_g = \frac{dl}{l}$$

$$\varepsilon_g = \int_{l_o}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_o}$$

$$\varepsilon_g = \ln(\varepsilon + 1)$$

#### Mühendislik Gerilmesi

$$\sigma = \frac{F}{A_o}$$

#### Gerçek gerilme

$$\sigma_g = \frac{F}{A} = \frac{F \cdot l}{A_o \cdot l_o} = \sigma \cdot (1 + \varepsilon)$$

50

BÖLÜM 4

Y.Doç.Dr. N.B. Teşneli

