

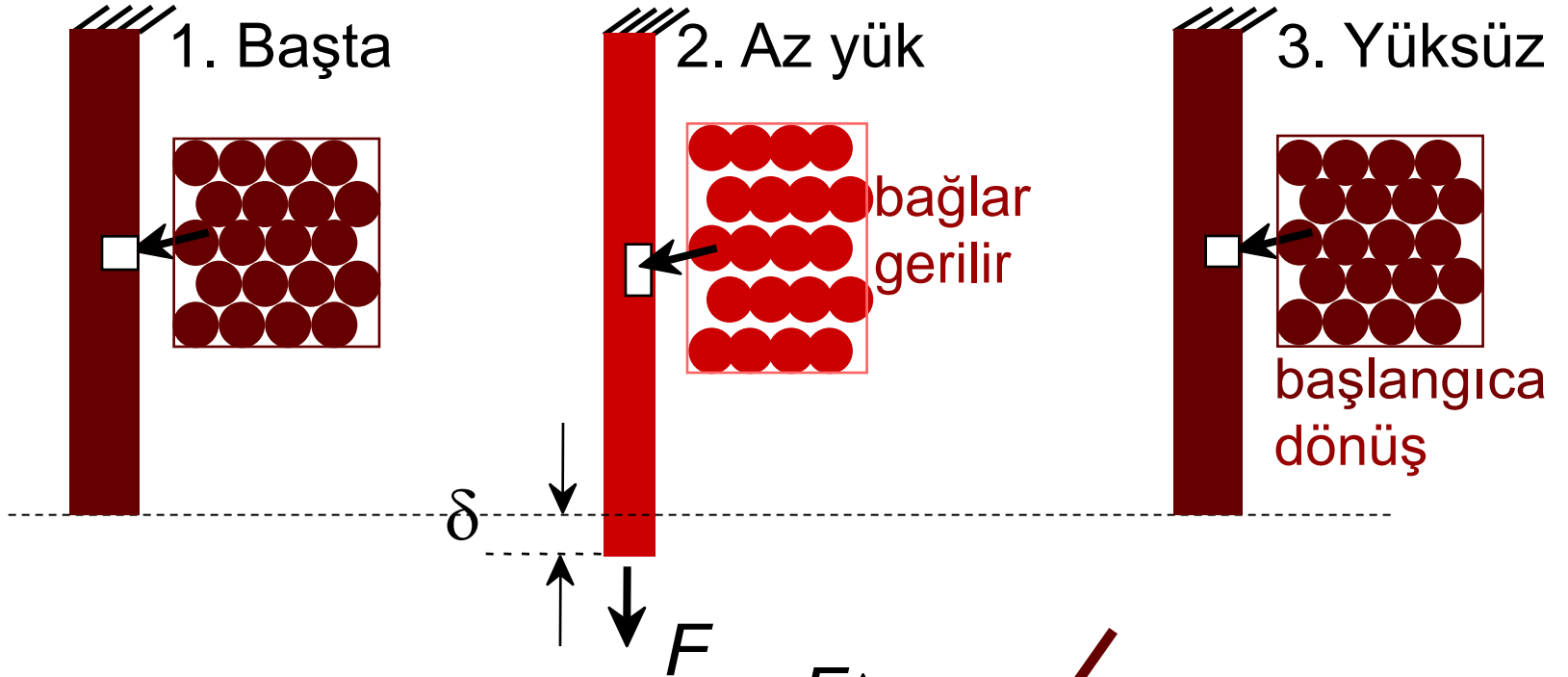
# Bölüm 6:

## Mekanik Özellikler

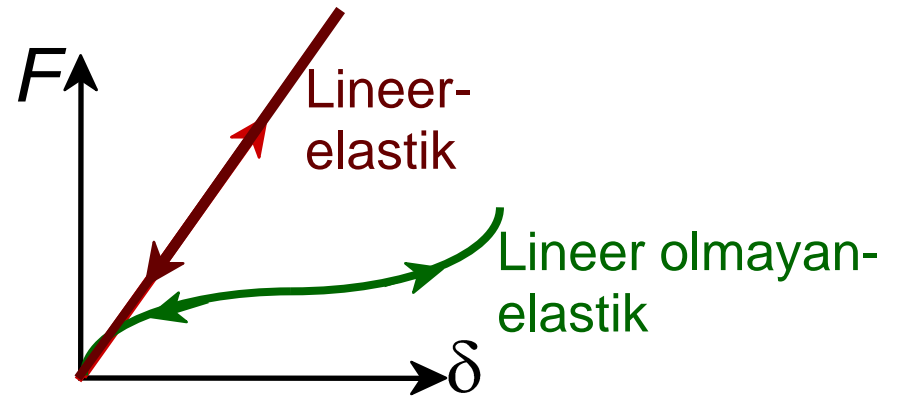
- Gerilme ve birim şekil değişimi: Nelerdir? Ve neden yük ve uzama terimleri kullanılmaz?
- Elastik davranış: Yükler az ise, ne kadar deformasyon yaratır? Hangi malzemeler en az deformasyona uğrar?
- Plastik davranış: Hangi noktada malzeme kalıcı bozulur? Hangi malzemeler en fazla kalıcı deformasyona dayanır?
- Süneklik ve tokluk: Nelerdir ve nasıl ölçülebilirler?



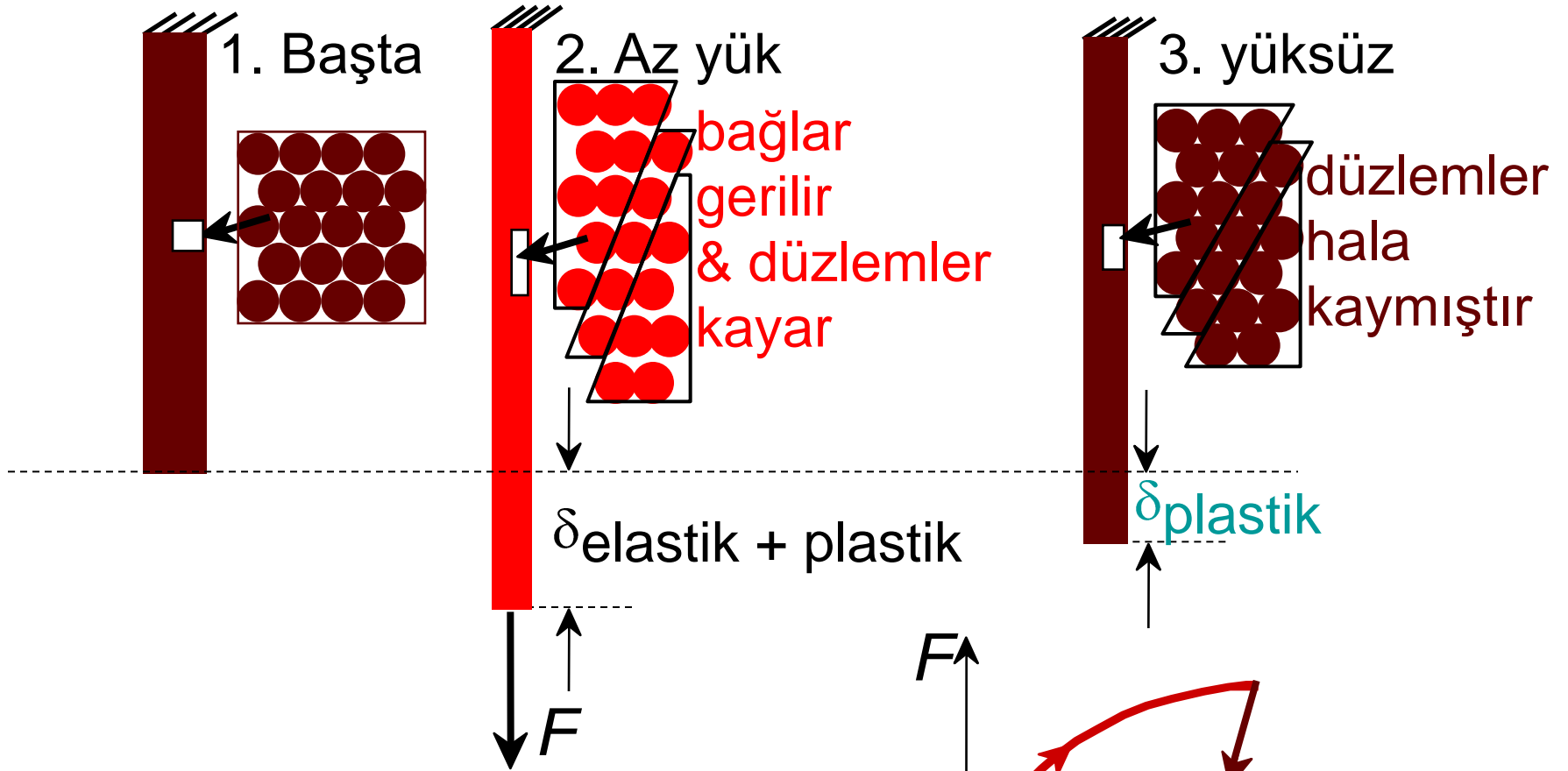
# Elastic Deformasyon



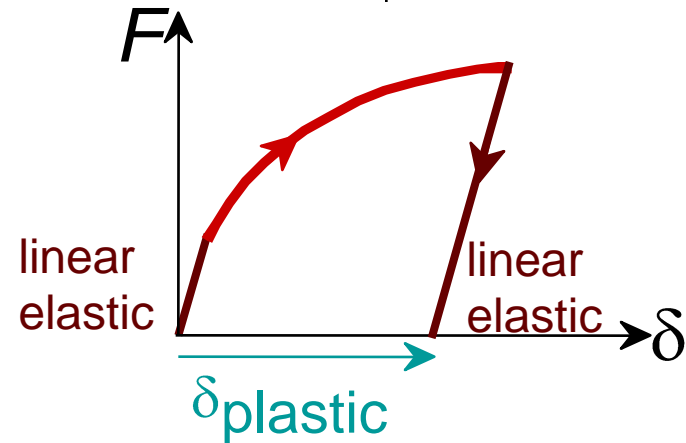
Elastik demek geridnřr!



# Plastik Deformasyon (Metaller)

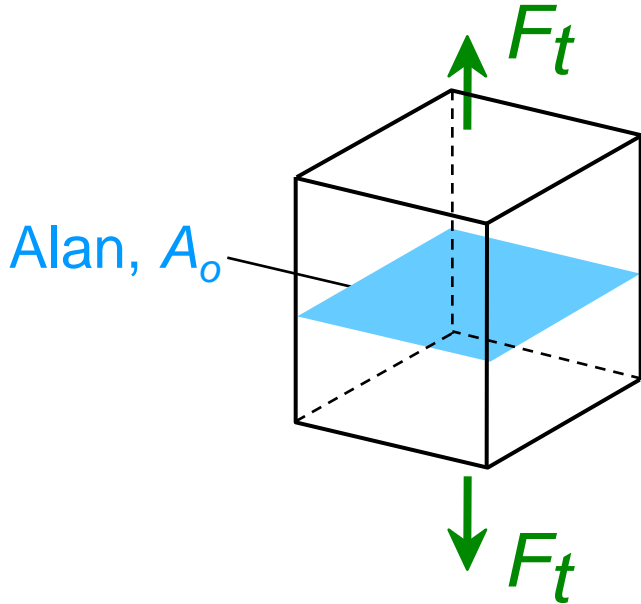


Plastik demek **kalıcı!**



# Mühendislik Gerilmesi

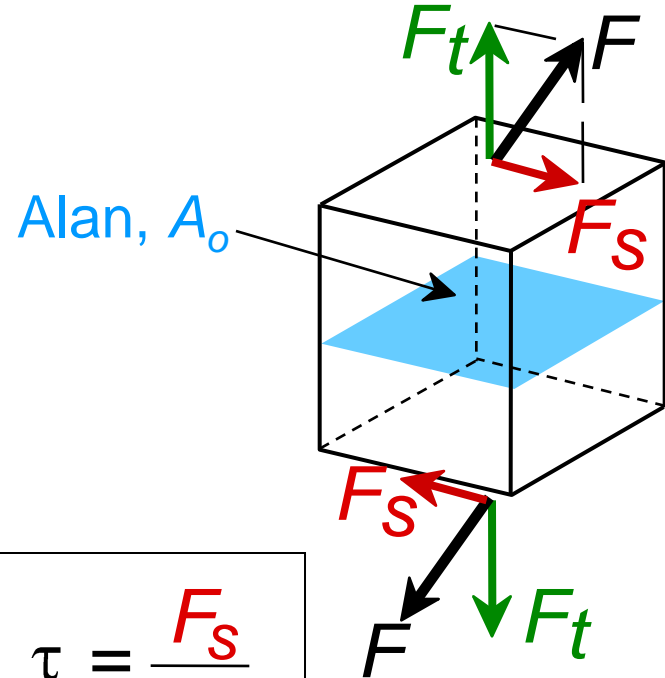
- Çekme gerilmesi,  $\sigma$ :



$$\sigma = \frac{F_t}{A_o} = \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \text{ or } \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

yükten önceki  
orjinal alan

- Kayma gerilmesi,  $\tau$ :



$$\tau = \frac{F_s}{A_o}$$

∴ Gerilimin birimi:  
N/m<sup>2</sup> yada lb<sub>f</sub>/in<sup>2</sup>



# Bazı Gerilim Türleri

- **Basit çekme: Kablo**



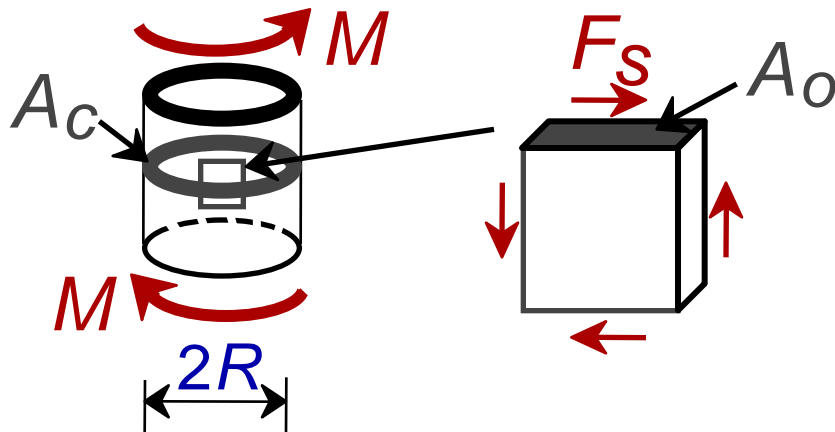
$A_0 =$  kesit alan  
(yükten önce)

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

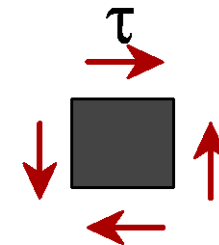


- **Burkma (kaymanın bir çeşiti): çevirme mili**

Kayak çekici (photo courtesy P.M. Anderson)



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

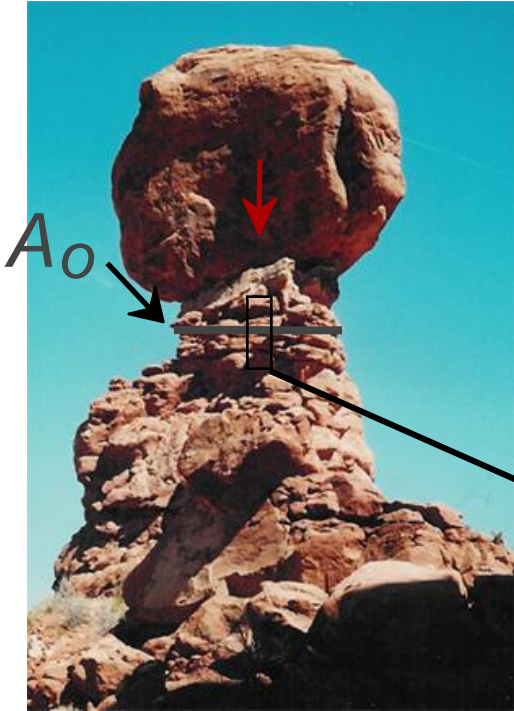


Not:  $\tau = M/A_c R$



# Diğer Gerilim Durumları(i)

- Basit basma:



Denge taşı, Arches  
National Park  
(photo courtesy P.M. Anderson)



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

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



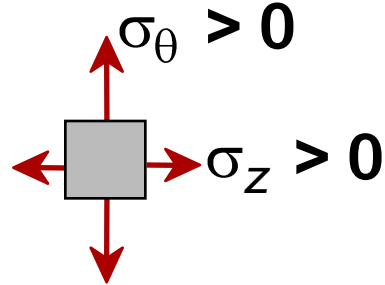
Not: basma yapı elemanı  
( $\sigma < 0$ ).

# Diğer Gerilim Durumları(ii)

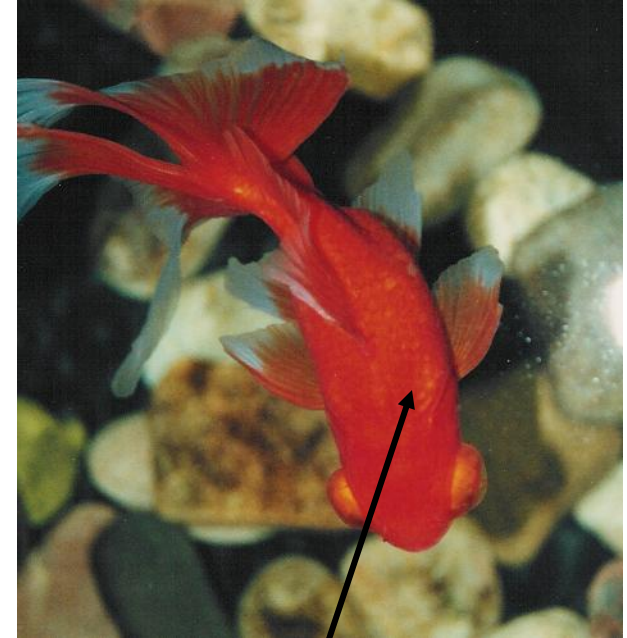
- İki eksenli (biaksiyal) çekme:



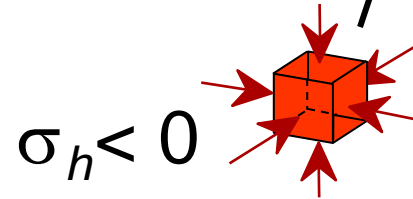
Basıçlı tank  
(photo courtesy  
P.M. Anderson)



- Hidrostatik basma:



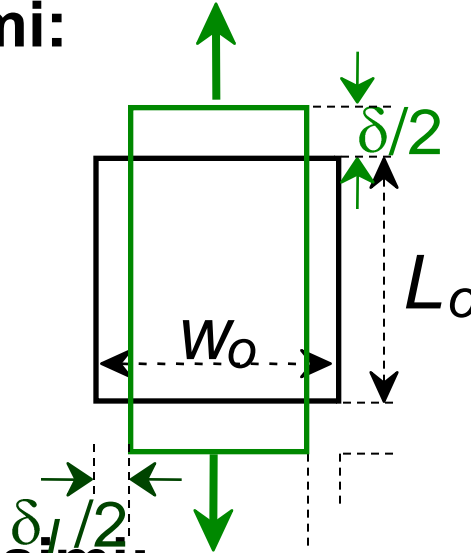
Suyun içindeki balık  
P.M. Anderson)



# Mühendislik Birim Şekil Değişimi

- Çekme şekil değişimi:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

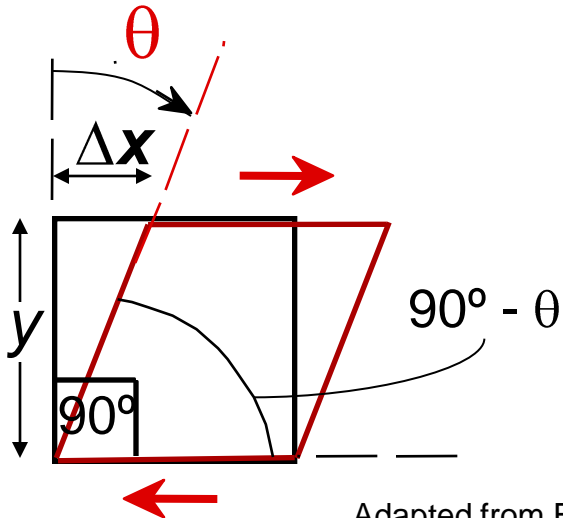


- Lateral (Yanal) şekil değişimi:

$$\varepsilon_L = \frac{-\delta_L}{W_0}$$

- Kayma şekil değişimi:

:



$$\gamma = \Delta x / y = \tan \theta$$

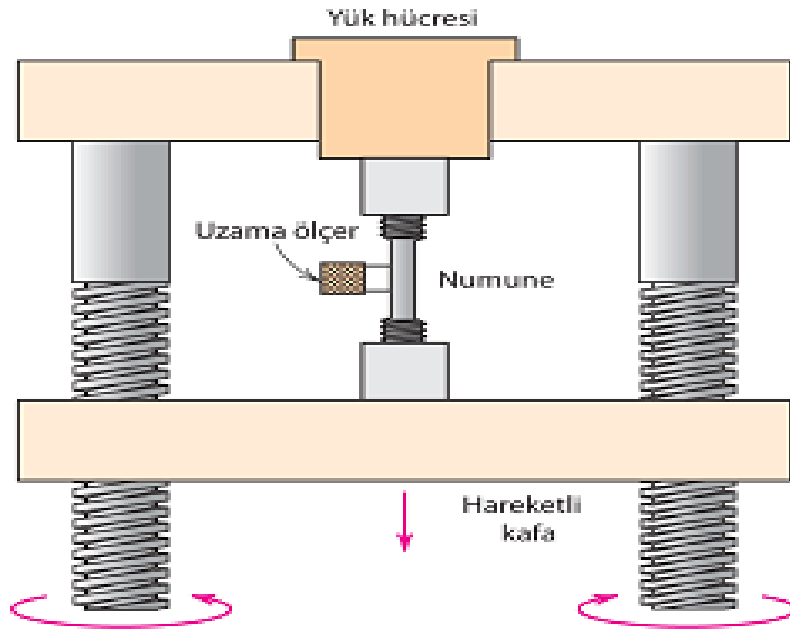
şekil değişimi her zaman birimsizdir



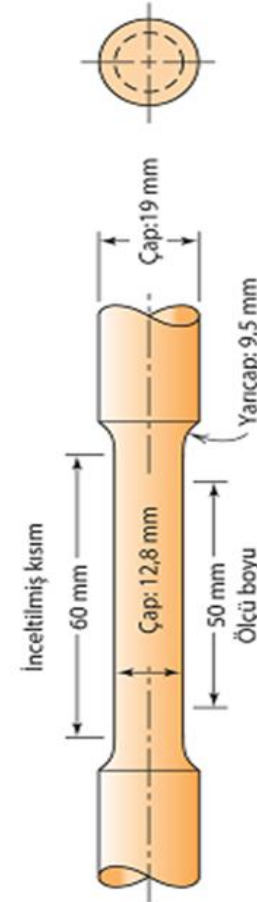


# Gerilme-Şekil Değişirme Testi

- Tipik çekme testi makinası



- Tipik çekme testi numunesi



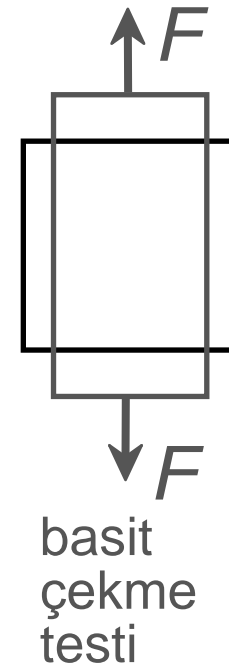
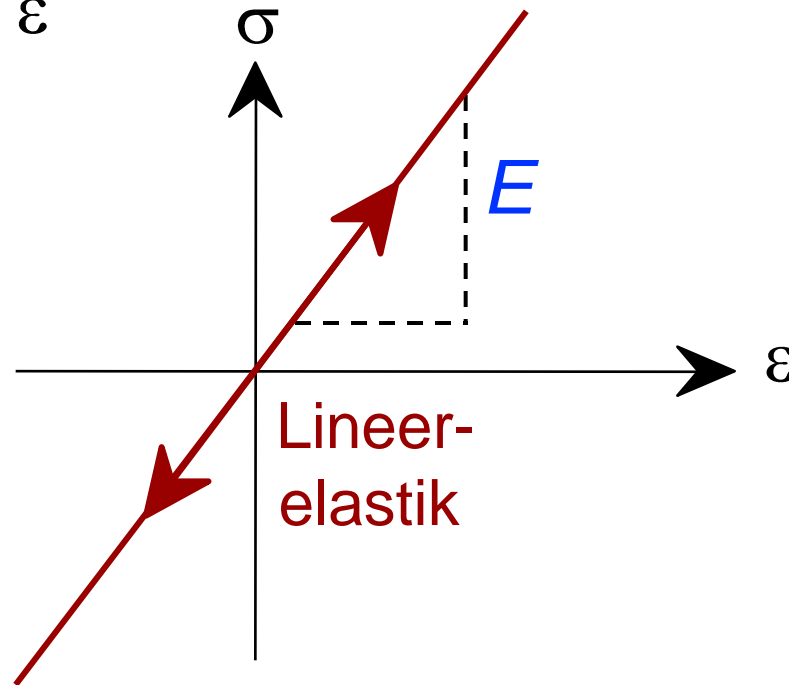
Adapted from Fig. 6.2, Callister & Rethwisch 8e.

Adapted from Fig. 6.3, Callister & Rethwisch 8e. (Fig. 6.3 is taken from H.W. Hayden, W.G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*, p. 2, John Wiley and Sons, New York, 1965.)

# Lineer Elastik Özellikler

- **Elastiklik Modülü,  $E$ :**  
(Young modülü olarakta bilinir)
- **Hooke Kanunu:**

$$\sigma = E \varepsilon$$



# Poisson oranı, $\nu$

- Poisson oranı,  $\nu$ :

$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

metaller:  $\nu \sim 0.33$

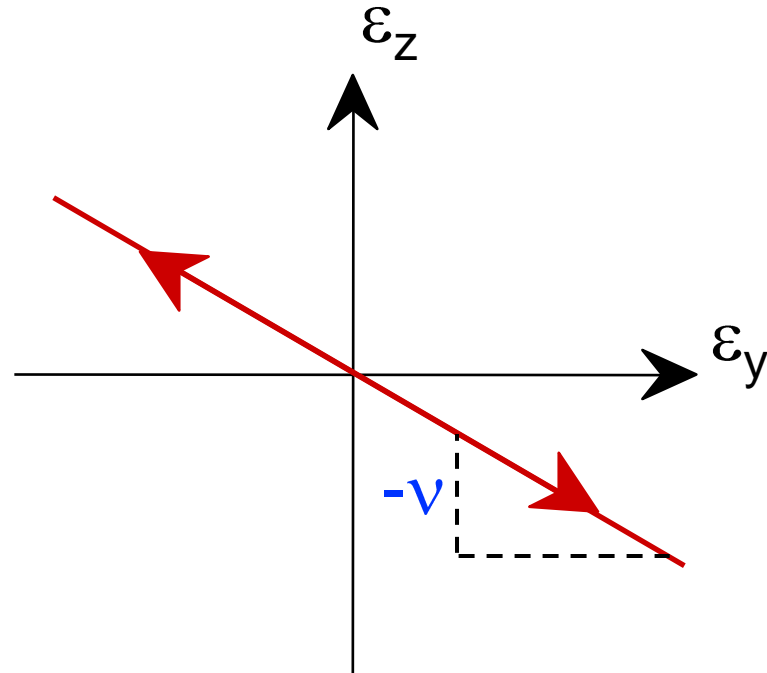
seramikler:  $\nu \sim 0.25$

polimerler:  $\nu \sim 0.40$

Birimleri:

$E$ : [GPa] veya [psi]

$\nu$ : boyutsuz

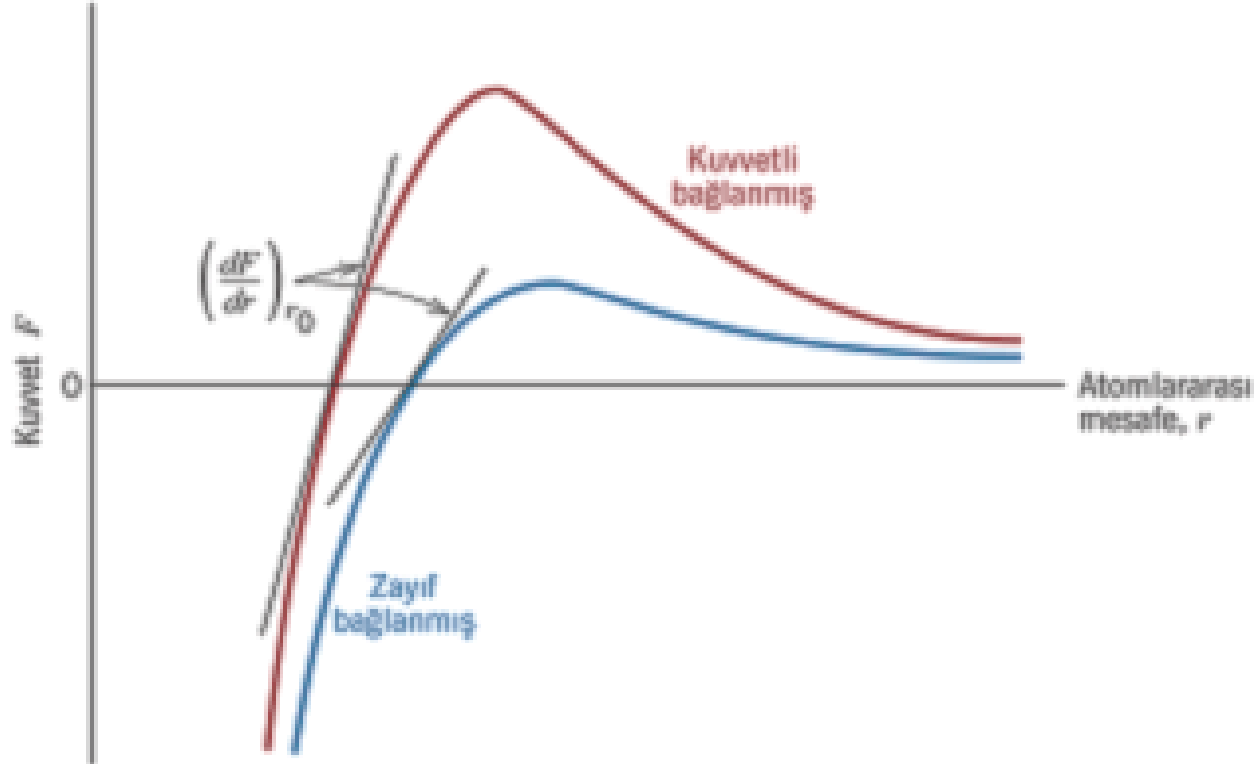


$\nu > 0.50$  yoğunluk artar

$\nu < 0.50$  yoğunluk azalır

# Mekanik Özellikler

- Metallerde elastik modülün büyüklüğü, atomlar arası uzaklığın  $r_0$  olduğu denge konumunda eğrinin eğimiyle orantılıdır.



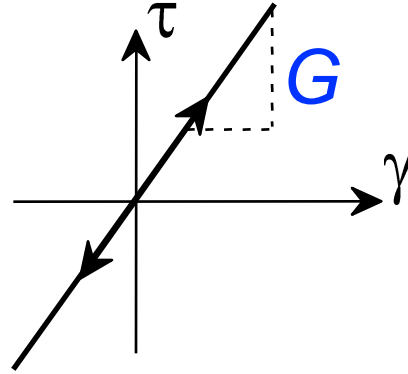
Adapted from Fig. 6.7,  
Callister & Rethwisch 8e.



# Diğer Elastik özellikler

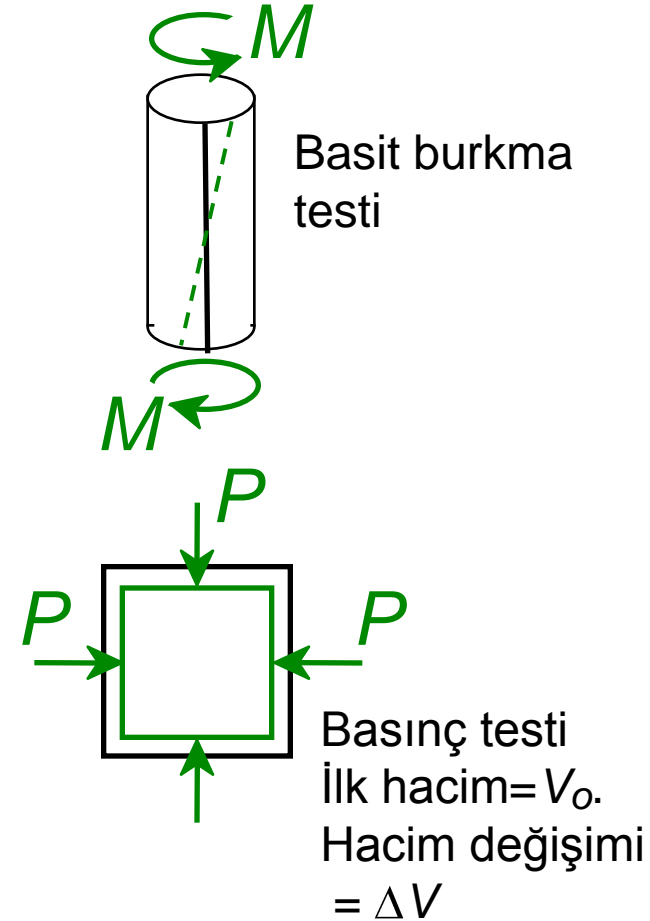
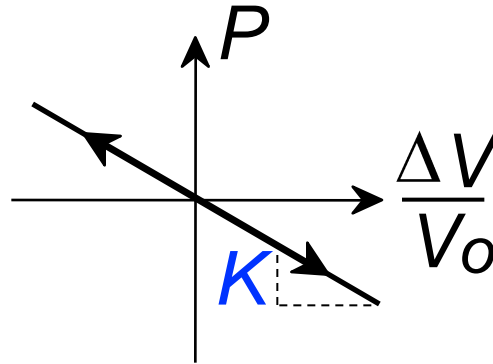
- Elastik Kayma modülü,  $G$ :

$$\tau = G \gamma$$



- Elastik Hacim modülü,  $K$ :

$$P = -K \frac{\Delta V}{V_0}$$



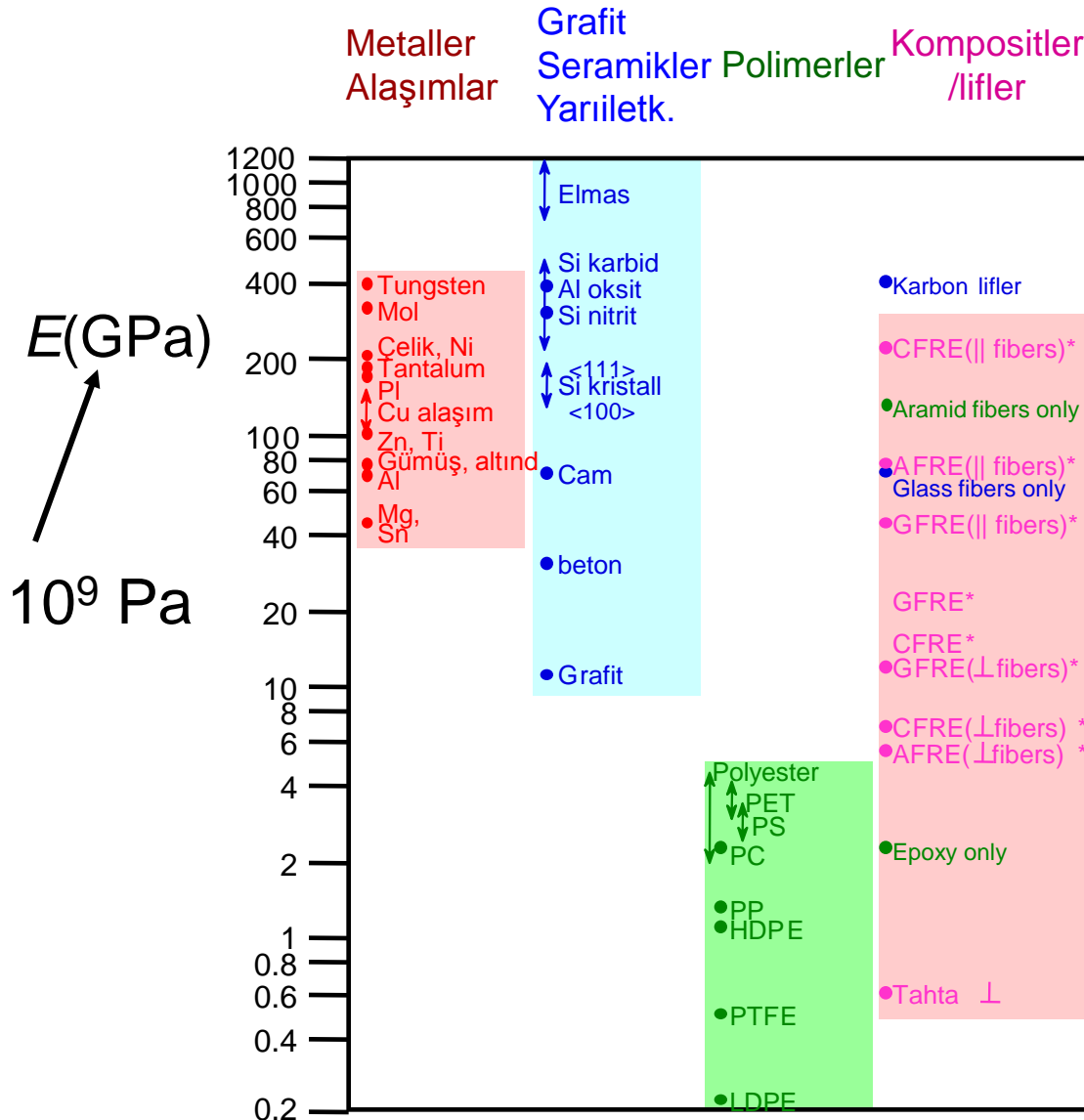
- İzotropik malzemedede :

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$$



# Young Modülü: Karşılaştırma



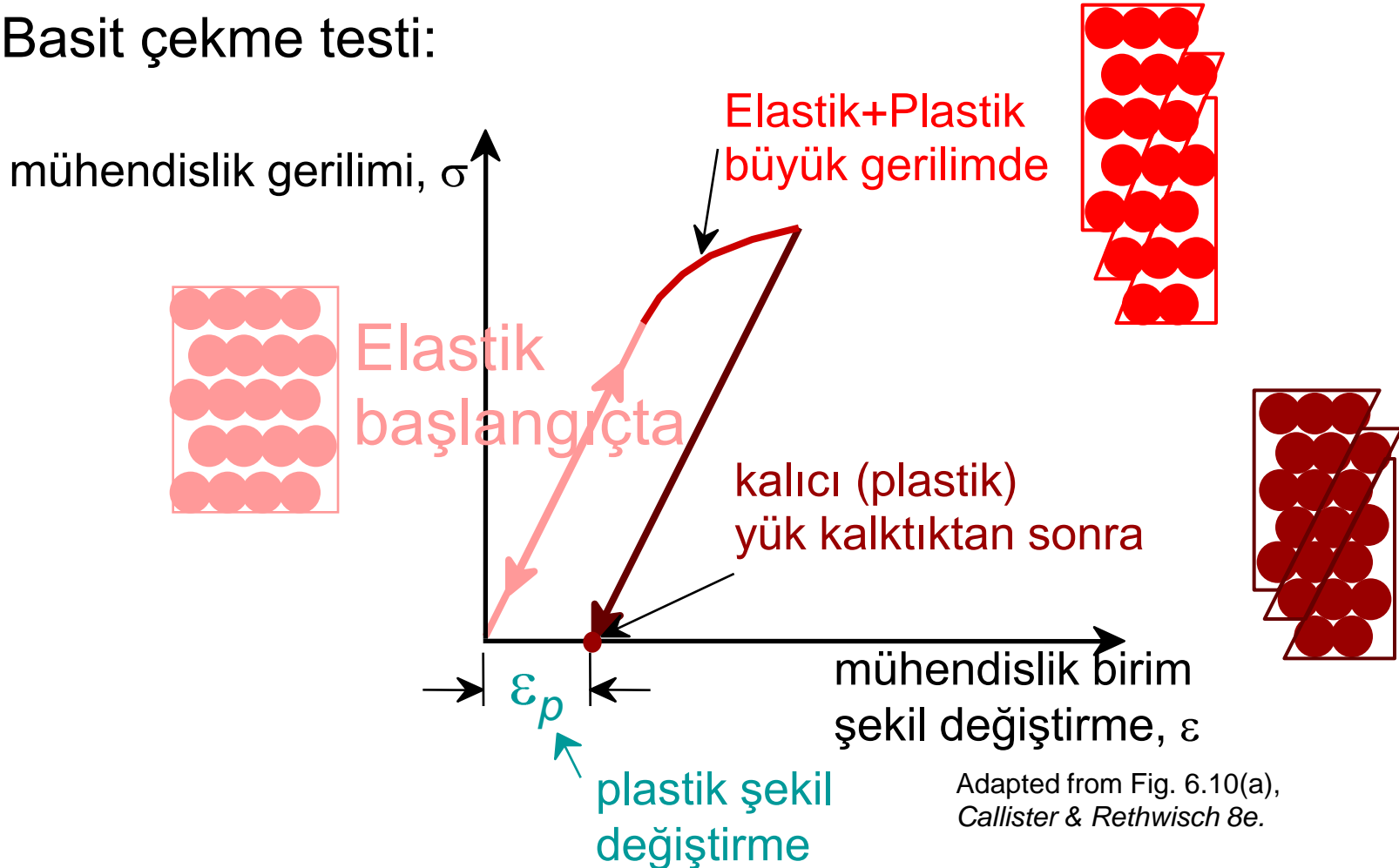
Based on data in Table B.2, *Callister & Rethwisch 8e*. Composite data based on reinforced epoxy with 60 vol% of aligned carbon (CFRE), aramid (AFRE), or glass (GFRE) fibers.



# Plastik (Kalıcı) Deformasyon

(düşük sıcaklıklarda, ör.  $T < T_{erime}/3$ )

- Basit çekme testi:



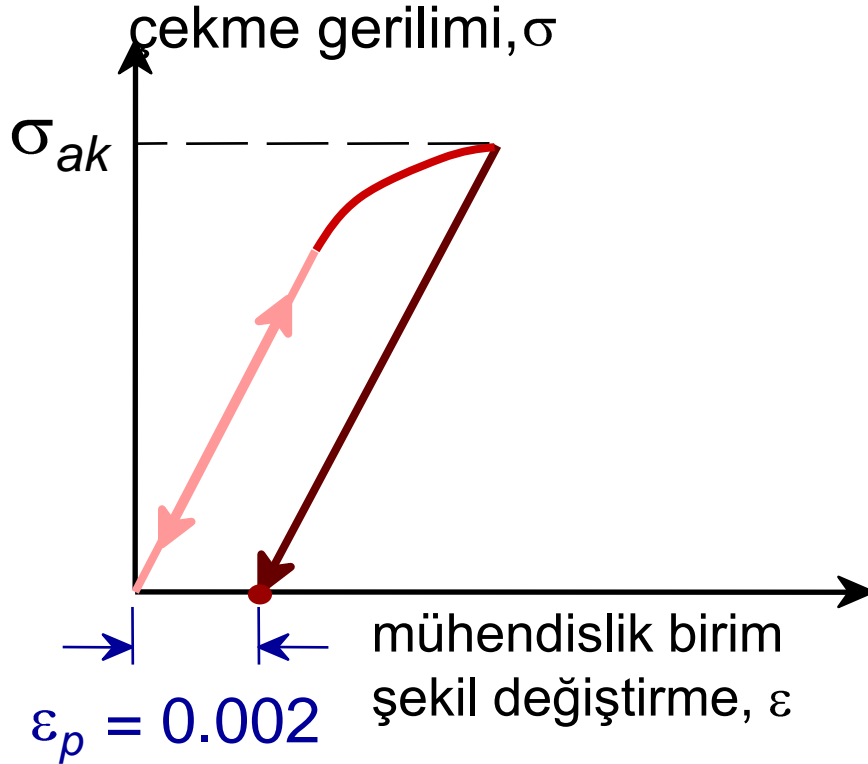
Adapted from Fig. 6.10(a),  
Callister & Rethwisch 8e.



# Akma Dayanımı, $\sigma_y$

- Plastik deformasyonun **belirgin** başladığı gerilim.

$$\varepsilon_p = 0.002$$



$$\sigma_{ak} = \text{akma dayanımı}$$

Not: 2 inçlik örnek için

$$\varepsilon = 0.002 = \Delta z / z$$

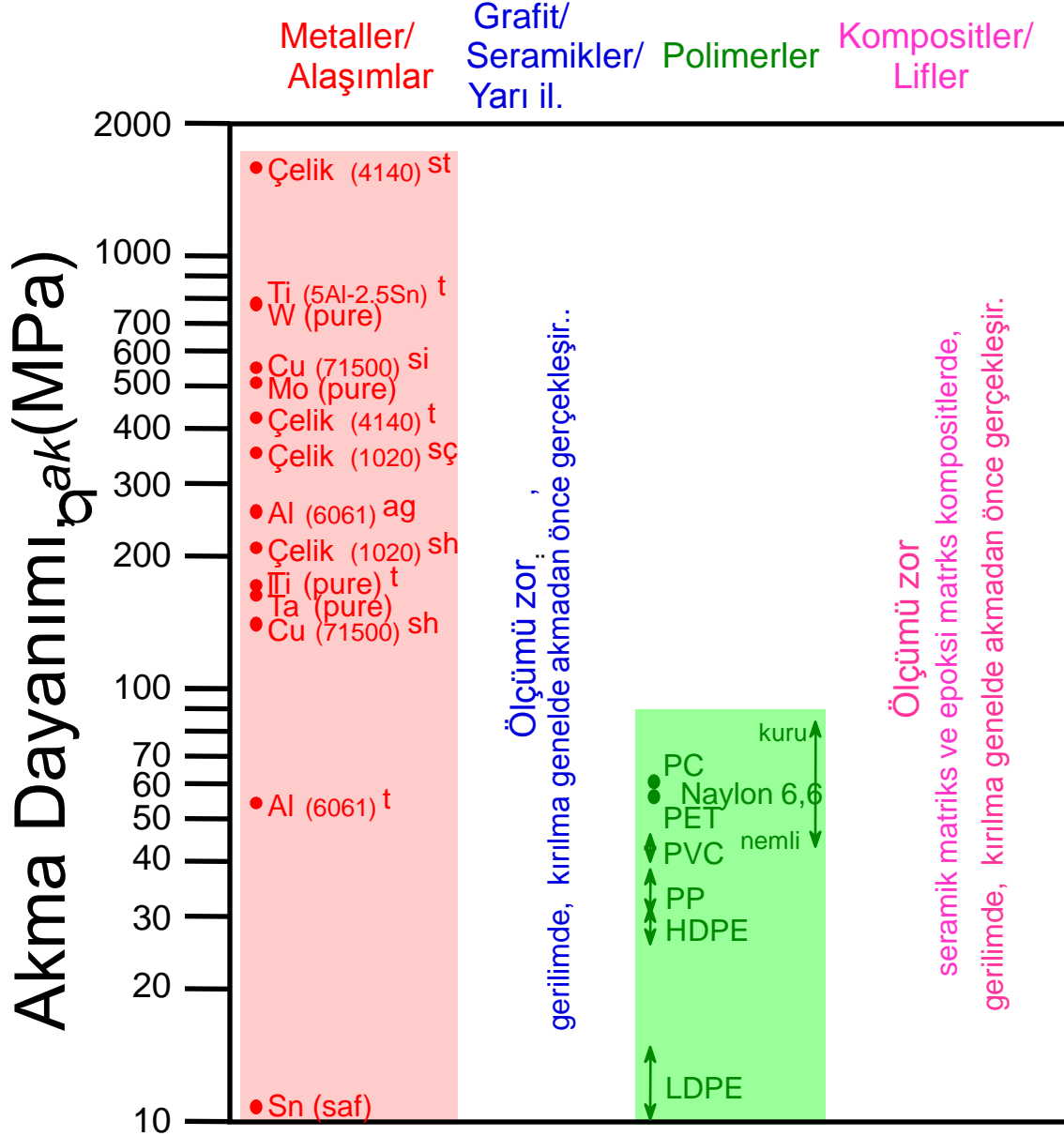
$$\therefore \Delta z = 0.004 \text{ in}$$

Adapted from Fig. 6.10(a),  
Callister & Rethwisch 8e.





# Akma Dayanımı: Karşılaştırma



Oda sıcaklığı değerleri

Based on data in Table B.4, Callister & Rethwisch 8e.

t = tavllanmış

sh = sıcak haddelenmiş

y = yaşlanmış

sç = soğuk çekilmiş

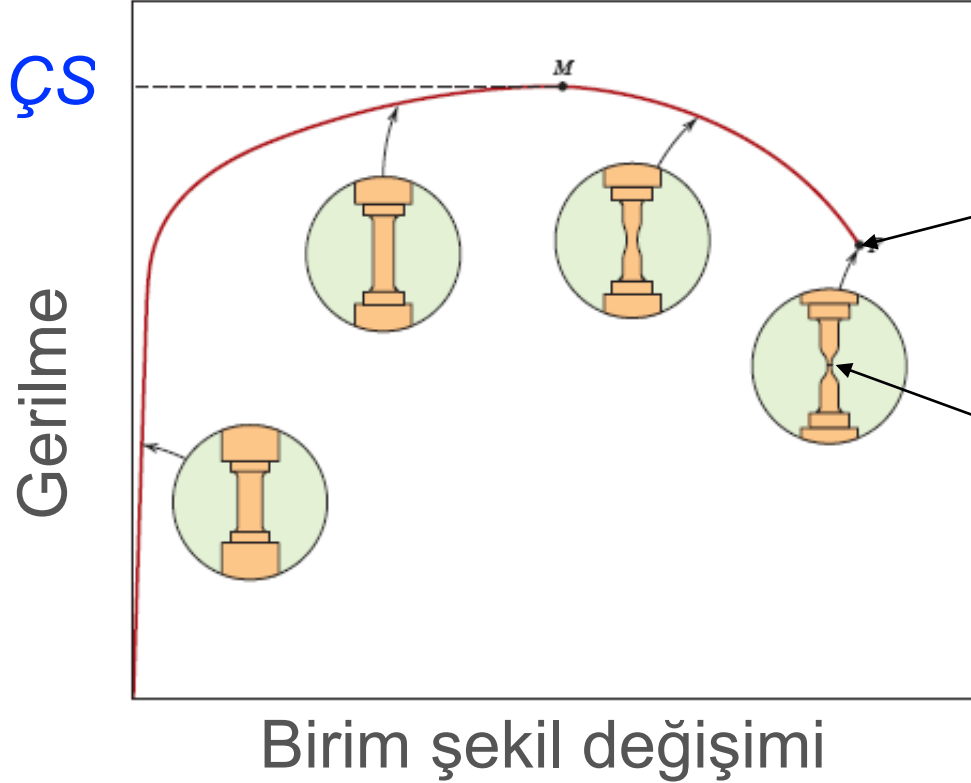
si = soğuk işlem

st = su verilmiş & temperlenmiş



# Çekme Dayanımı, ÇD

- Mühendislik gerilim ve şekil değiştirme eğrisinde maksimum nokta.



Adapted from Fig. 6.11,  
Callister & Rethwisch 8e.

$F$  = kopma veya  
son gerilim

Boyun – gerilim  
konsantrasyonu  
oluşur.

- **Metaller:** Farkedilir daralma (boyun) gözlenir.
- **Polymerler:** kırılacakları sıra daralma gözlenir.

# Çekme Gerilimi: Karşılaştırma

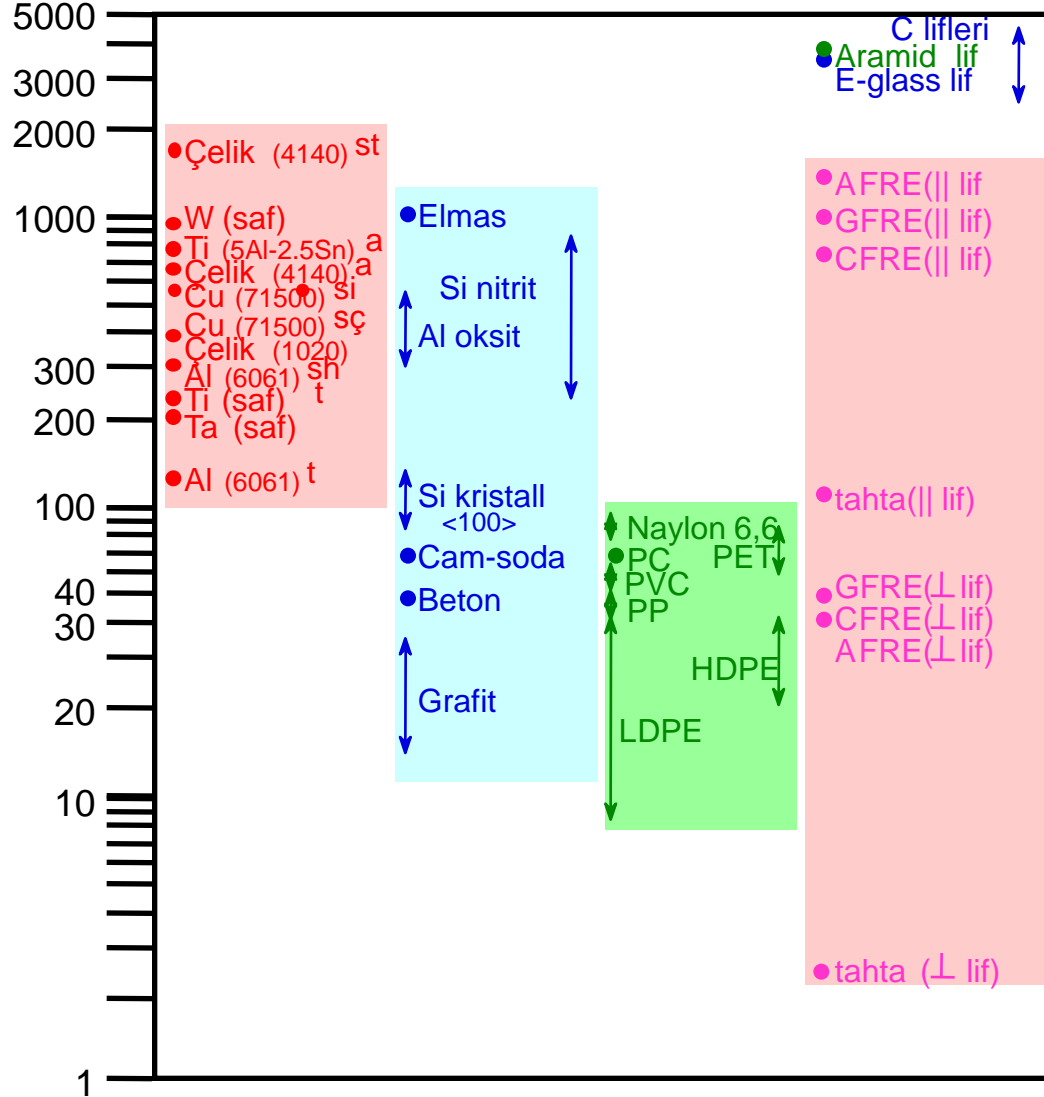
Metaller/  
Alaşımlar

Grafit/  
Seramikler/  
Yarı iletk.

Polimerler

Kompozitler/  
lifler

Tensile strength, ÇS (MPa)



## Oda sıcaklığı değerleri

Based on data in Table B.4,  
*Callister & Rethwisch 8e.*

t = tavllanmış

sh = sıcak haddelenmiş

y = yaşlanmış

sç = soğuk çekilmiş

si = soğuk işlem

st = su verilmiş & temperlenmiş

AFRE, GFRE, & CFRE =

aramid, cam, & karbon

lifler-takviyeli epoksi

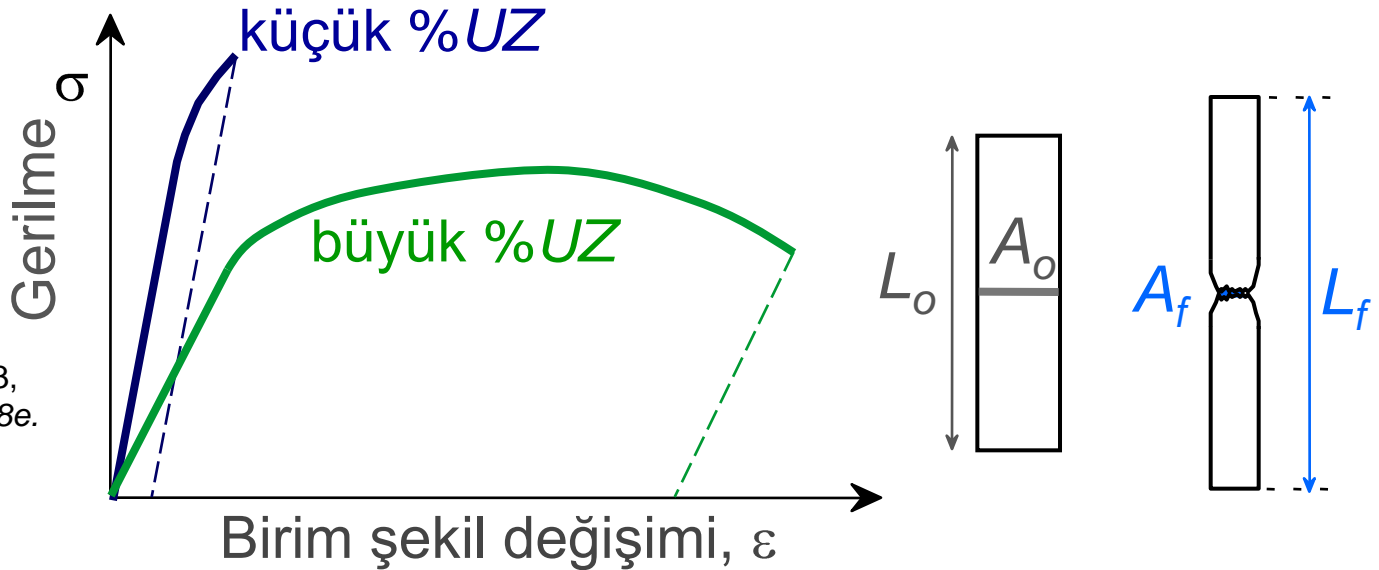
kompozitler, %60 (hacimce)

lifler.



# Süneklik

- Kopma anında plastik birim şekil değişimi: 
$$\%UZ = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100$$



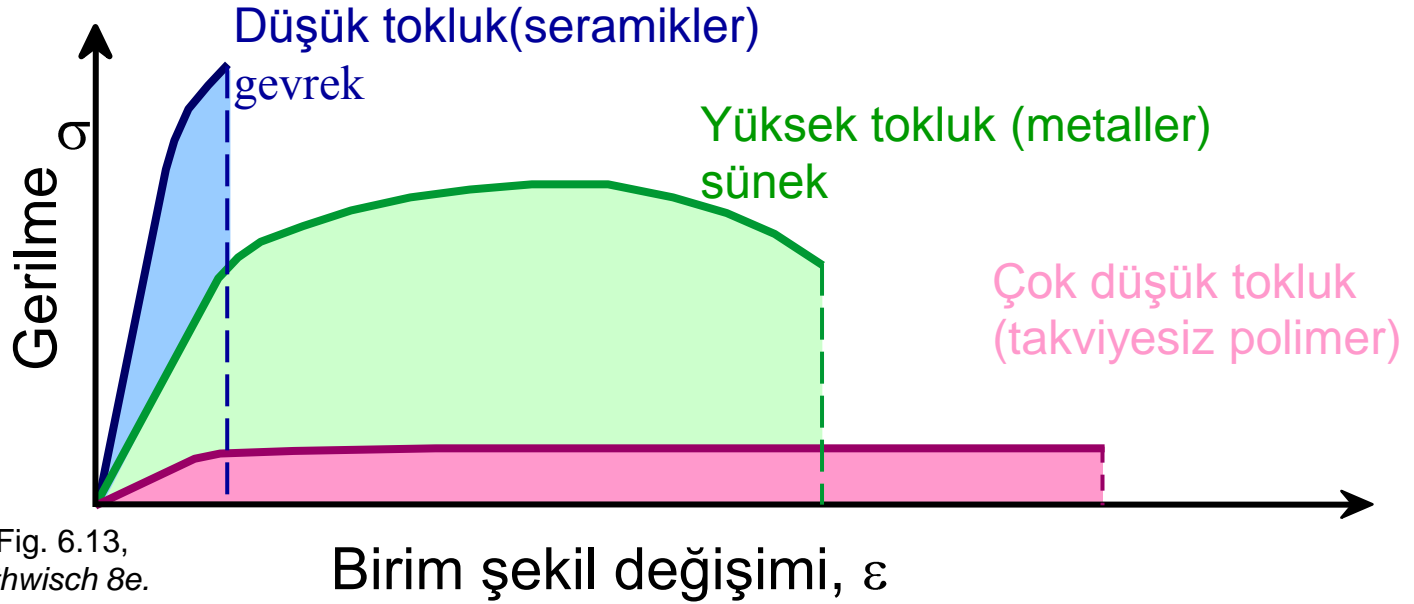
Adapted from Fig. 6.13,  
Callister & Rethwisch 8e.

- Başka bir süneklik ölçütü:

$$\%KD = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

# Tokluk

- Malzemenin kırılmadan enerji absorbe etme kabiliyeti.
- Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alan.

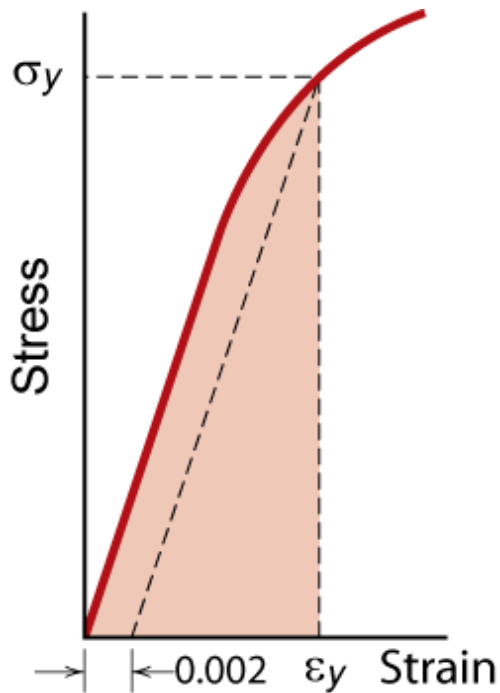


Adapted from Fig. 6.13,  
Callister & Rethwisch 8e.

Gevrek kırılma: elastik enerji  
Sünek kırılma: elastik + plastik enerji

# Rezilyans, $U_r$

- Elastik şekil değişimi sırasında enerji absorbe etme özelliği.
  - Enerji en iyi elastik bölgede toplanır.



$$U_r = \int_0^{\epsilon_y} \sigma d\epsilon$$

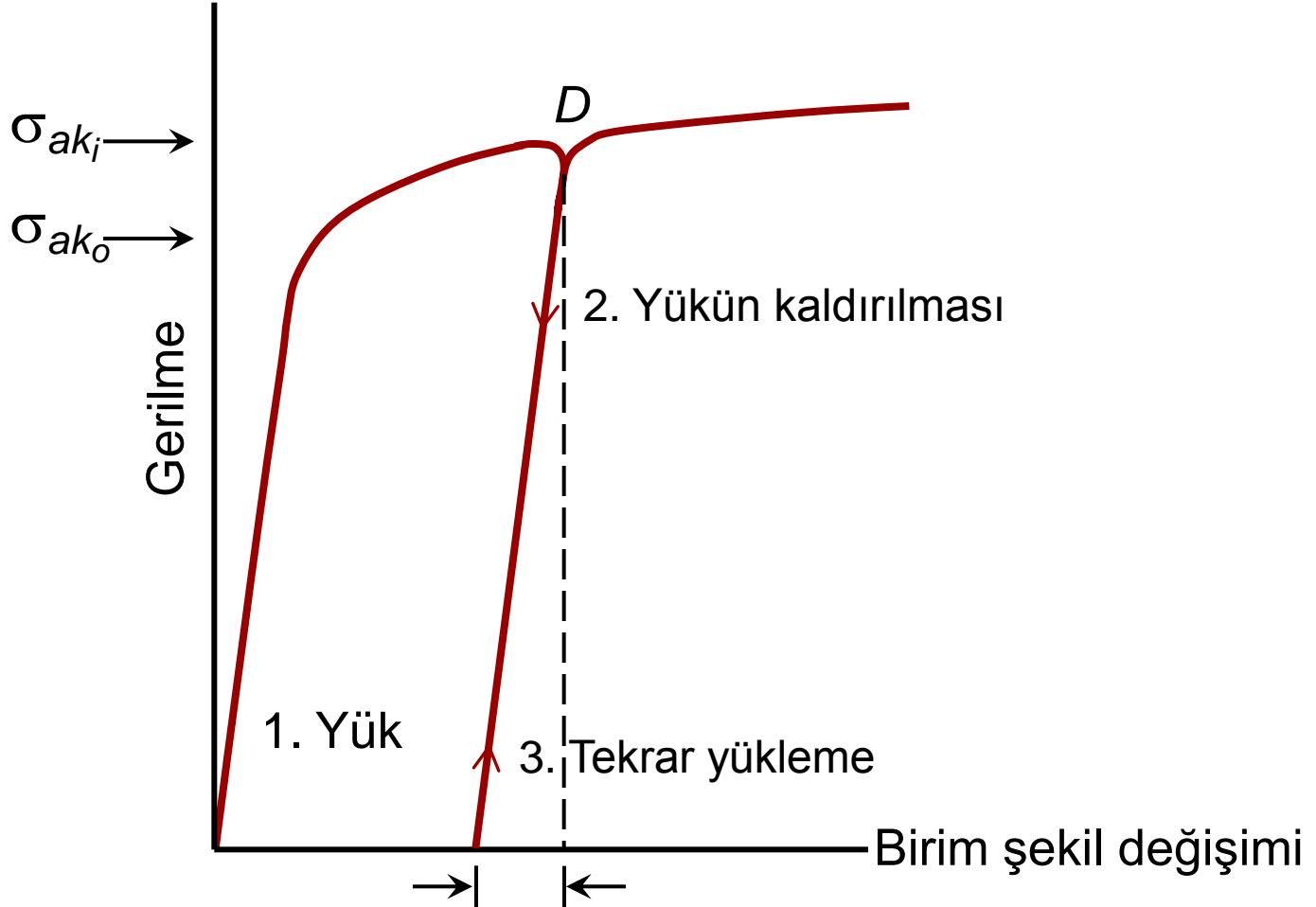
Lineer gerilim-şekil  
değişimi  
düşünüldüğünde;

$$U_r \approx \frac{1}{2} \sigma_y \epsilon_y$$

Adapted from Fig. 6.15,  
*Callister & Rethwisch 8e.*



# Elastik Geri Gelme



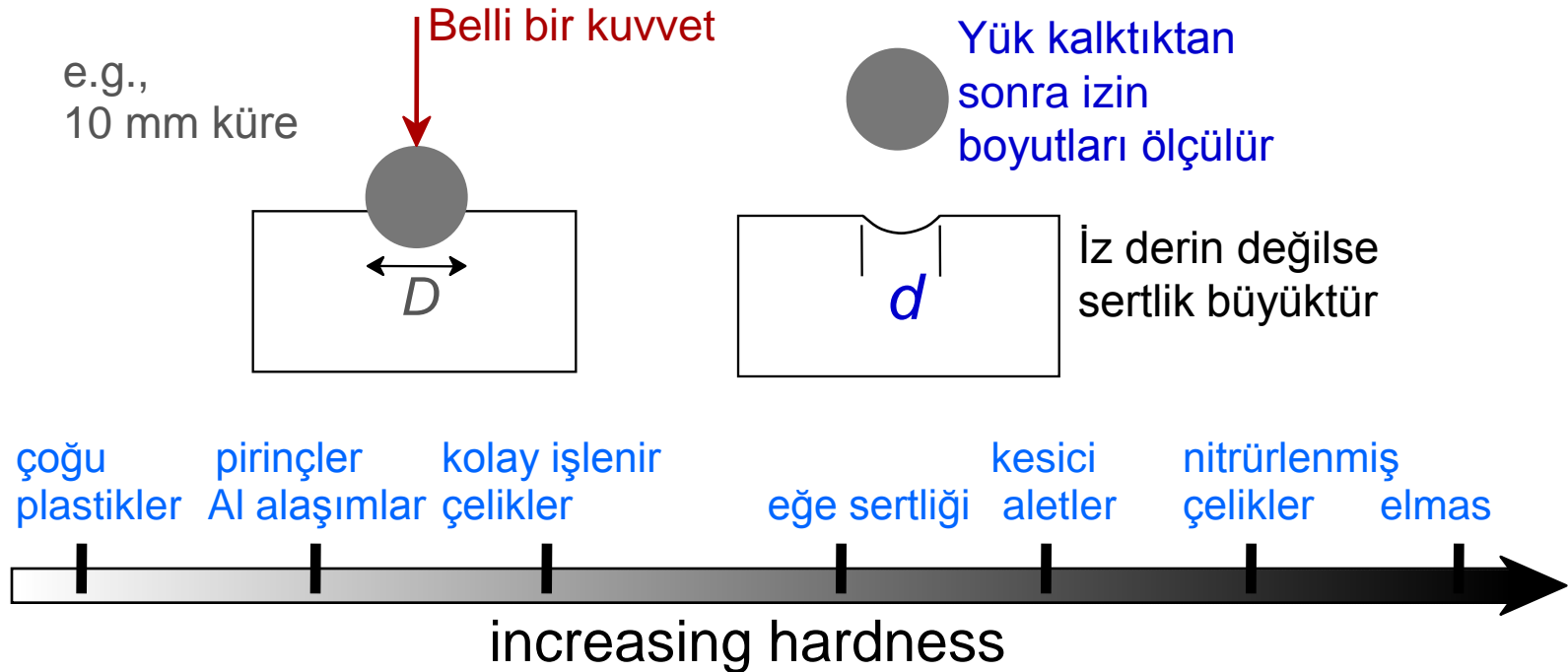
Elastik olarak geri gelen şekil değişimi

Adapted from Fig. 6.17,  
Callister & Rethwisch 8e.



# Sertlik

- Malzemenin yerel plastik deformasyona gösterdiği direncin ölçütü.
- Büyük sertlik:
  - plastik deformasyona veya baskıda kırılmaya olan dayanıklılık ve
  - aşınma özelliklerinin daha iyi olmasıdır.





# Sertlik: Ölçümü

- Rockwell Sertliği

- Baskıcı uçta kolay bozulma olmaz.
- Her skalada en yüksek değer 130 olsada okunan aralık 20-100 dür.
- Ön yük 10 kg
- Ana yük 60 (A), 100 (B) & 150 (C) kg
  - A = elmas, B = 1/16 inç bilya, C = elmas

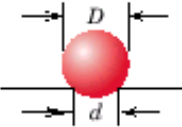

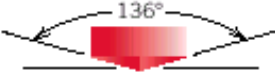

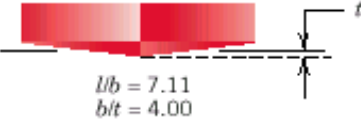

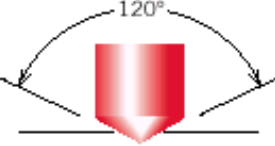



- HB = Brinell Sertliği

- $\zeta D$  (psia) = 500 x HB
- $\zeta D$  (MPa) = 3.45 x HB



# Sertlik: Ölçümü

Table 6.5 Hardness Testing Techniques

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number <sup>a</sup>
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			$P$	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			$P$	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			$P$	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diamond cone</li> <li><math>\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}</math> in. diameter steel spheres</li> </ul>	 	 	<ul style="list-style-type: none"> <li>60 kg</li> <li>100 kg</li> <li>150 kg</li> </ul> } Rockwell <ul style="list-style-type: none"> <li>15 kg</li> <li>30 kg</li> <li>45 kg</li> </ul> } Superficial Rockwell	

<sup>a</sup> For the hardness formulas given,  $P$  (the applied load) is in kg, while  $D$ ,  $d$ ,  $d_1$ , and  $l$  are all in mm.

**Source:** Adapted from H. W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*. Copyright © 1965 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.



# Gerçek Gerilme & Şekil Değişirme

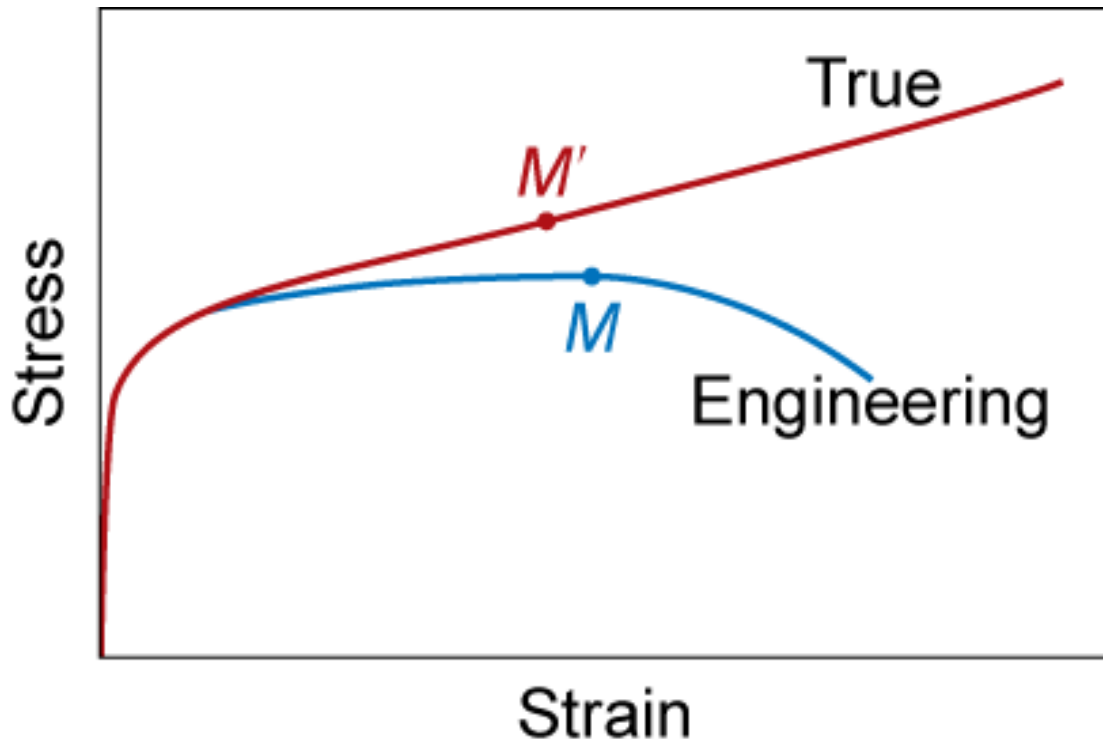
Not: K.A. örnek çekildikçe değişir.

• Gerçek gerilme  $\sigma_G = F/A_i$

$$\sigma_G = \sigma (1 + \epsilon)$$

• Gerçek şekil değ.  $\epsilon_G = \ln \left( \ell_i / \ell_o \right)$

$$\epsilon_G = \ln (1 + \epsilon)$$

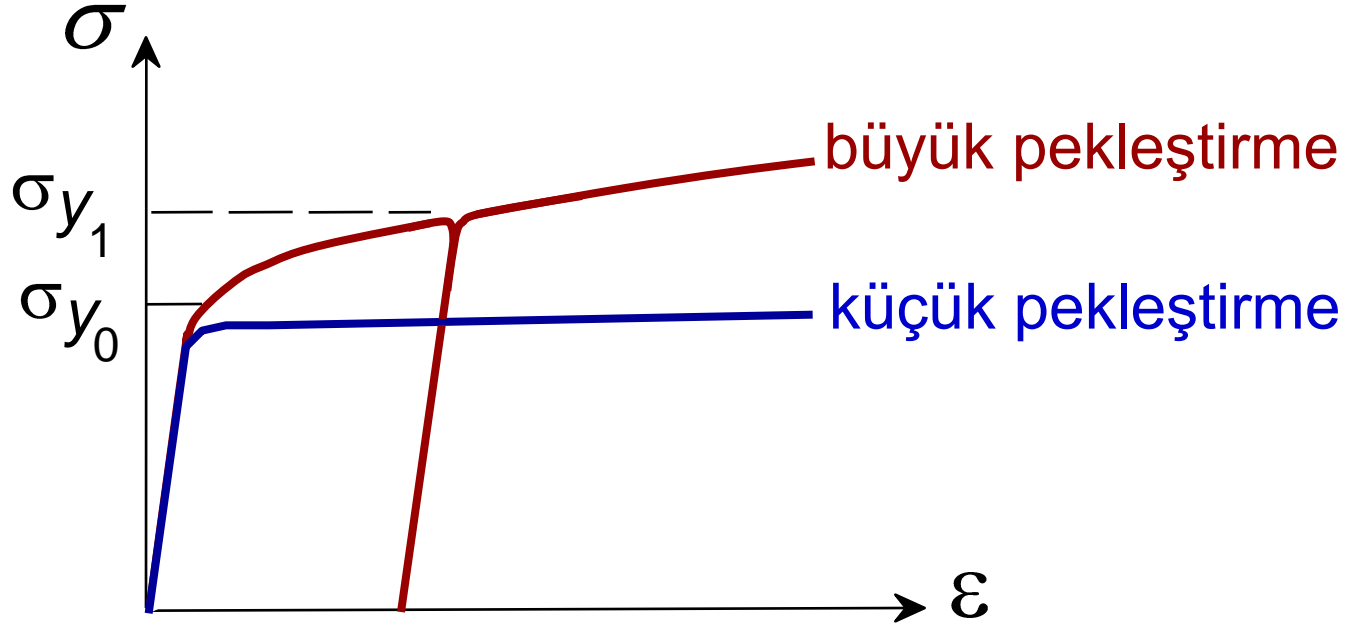


Adapted from Fig. 6.16,  
Callister & Rethwisch 8e.



# Pekleřtirme

- $\sigma_y$  nin plastik deformasyon sonucu artması.



- gerilme –şekil değiştirme eğrisinin boyun vermeye başladığı noktaya kadar ki değişim :

$$\sigma_T = K(\epsilon_T)^n$$

“gerçek” gerilme ( $F/A$ )

“gerçek” şekil değ.:  $\ln(L/L_0)$

Pekleřme üsteli:  
 $n = 0.15$  (bazı çelikler)  
to  $n = 0.5$  (bazı bakırlar)



# Malzeme Özelliklerinin Değişimi

- Elastik modülü malzemenin bir özelliğidir.
- Kritik özellikler malzemedeki var olan hatalardan (kusurlar, homojen olamama, v.b.). Örnekten örneğe değişim görülür.
- İstatistik:

– Ortalama

$$\bar{x} = \frac{\sum x_n}{n}$$

– Standart Sapma

$$s = \left[ \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

n ver noktası sayısıdır.



# Tasarım ve Emniyet Faktörleri

- Tasarım belirsizliği sınırları zorlamamaktır.
- Emniyet katsayısı,  $S$

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{Ak}}{S}$$

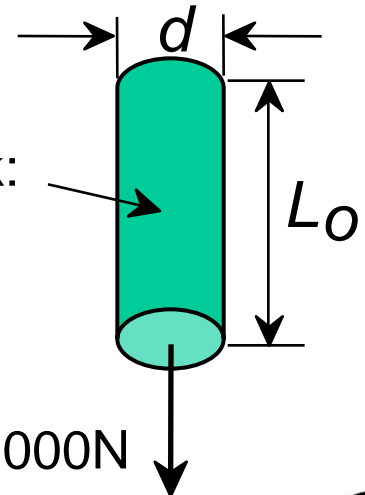
$S$  genelde  
1.2 ve 4  
arasındadır.

- Örnek: Aşağıda görülen 1045 karbon çeliği akma gerilimi oluşturmayacak uygun çapını hesaplayınız. Emniyet katsayısını 5 alınız.

$$\frac{220,000 N}{\pi(d^2 / 4)} = \frac{\sigma_{Ak}}{5}$$

$$d = 0.067 \text{ m} = 6.7 \text{ cm}$$

1045  
karbon çelik:  
 $\sigma_y = 310 \text{ MPa}$   
 $TS = 565 \text{ MPa}$



$$F = 220,000 N$$



# Özet

- **Gerilme ve birim şekil değiştirme:** Yükün ve yerdeğiştirmenin, boyuttan bağımsız ölçümleridir.
- **Elastik** davranış: Bu geri dönüşebilen davranış genel olarak gerilme ve birim şekil değiştirmede lineer ilişki gösterir. Deformasyonu minimuma indirmek için, büyük elastik modülü ( $E$  veya  $G$ ) olan malzeme seçilir.
- **Plastik** davranış: Bu kalıcı deformasyon çekme (veya basma) tek eksenli gerilimi  $\sigma_{Ak}$  ulaştığında gerçekleşir.
- **Tokluk:** Malzemenin kırılmadan enerji absorbe etme kabiliyeti
- **Süneklik:** Kopma anında plastik birim şekil değişimi.

