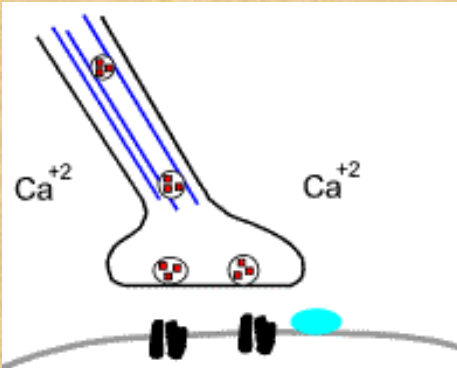
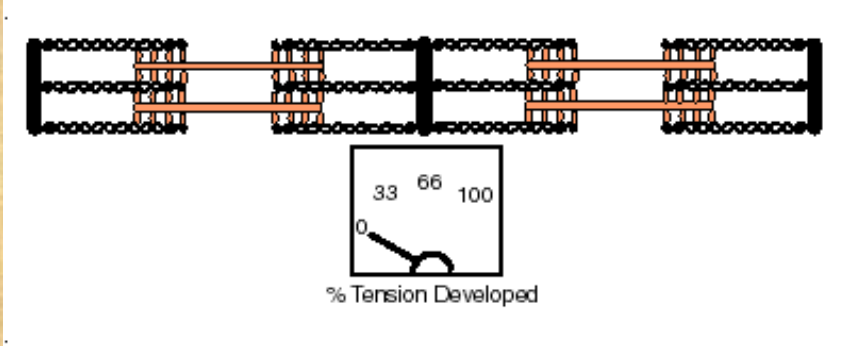


BİYOFİZİK METERYALLERİN GENEL FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ, KATILAR VE AKIŞKANLAR

Doç. Dr. Erkan Tuncay
Biyofizik Anabilim Dalı



İçerik

- Biyolojik materyaller
- Genel mekanik kavramlar
- Hooke yasası

Biyolojik Materyaller

```
graph TD; A([Biyolojik Materyaller]) --> B([Katılar  
(kemik, kas, tendon)]); A --> C([Sıvı kristaller  
(hücre zarı)]); A --> D([Akışkanlar  
(sıvılar, gazlar)]);
```

Katılar
(kemik, kas, tendon)

Sıvı kristaller
(hücre zarı)

Akışkanlar
(sıvılar, gazlar)

BİYOLOJİK MATERYALLER

Rijid yapılar: bir dış kuvvet karşısında biçim değiştiremeyen maddeler

Esnek yapılar: bir dış kuvvet karşısında biçim değişimine uğrayan fakat kuvvet kaldırılınca eski şeklini alabilen yapılar (katılar ve akışkanlar)

Plastik (inelastik) yapılar: bir dış kuvvet karşısında biçim değişimine uğrayan ve kuvvet kaldırılınca eski şekline hiç dönemeyen yapılar

Viskoelastik yapılar: kemik, kas, tendon, damar, sinir, vs. gibi dokular

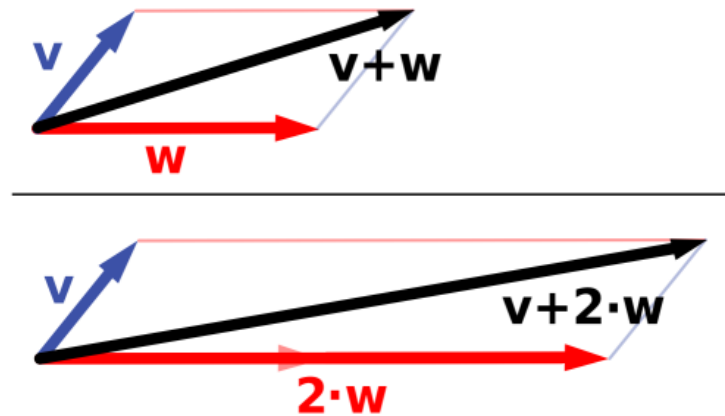
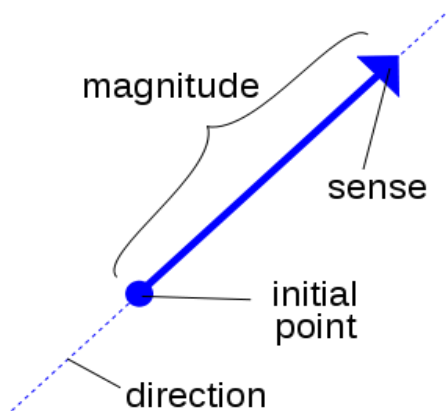
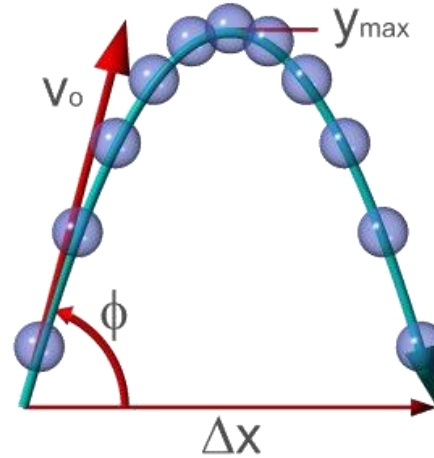
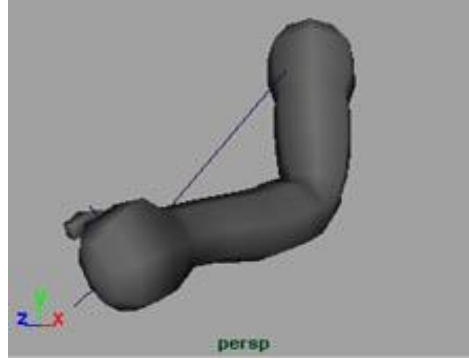
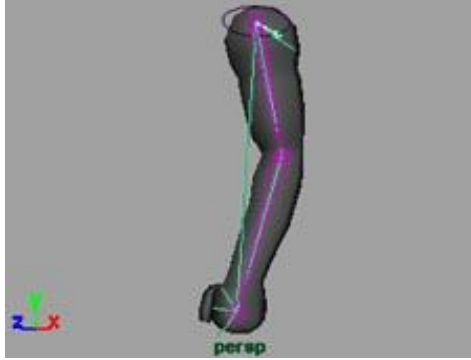
Elastomerler: kauçuk gibi yapılar (polimerlerin davranışı; örneğin boydaki değişme 10-15 kat olabilir)

Biyolojik materyallere uygulanan kuvvetler fizik prensiplerine uygun olarak incelenir.

TERMİNOLOJİ

Fiziksel prensipler ve etkileşmeler matematik kullanılarak ve deneysel olarak tekrarlanarak teorilere dönüştürülür

-Vektörel kavramlar



TERMİNOLOJİ

Newton'un Hareket Kanunları:

Newton'un I. hareket kanunu:

Bir cisme etki eden sıfır bileşke kuvvet ile ilgilidir. Bu cisme, etkiyen bir çok kuvvet olsa bile bunların vektörel toplamının sıfır olduğu anlamına gelir. Bir cisim, üzerine sıfır bileşke kuvvet etkidiğinde durgun halde kalır veya sabit hıza sahipse sabit hızla hareketine devam eder.

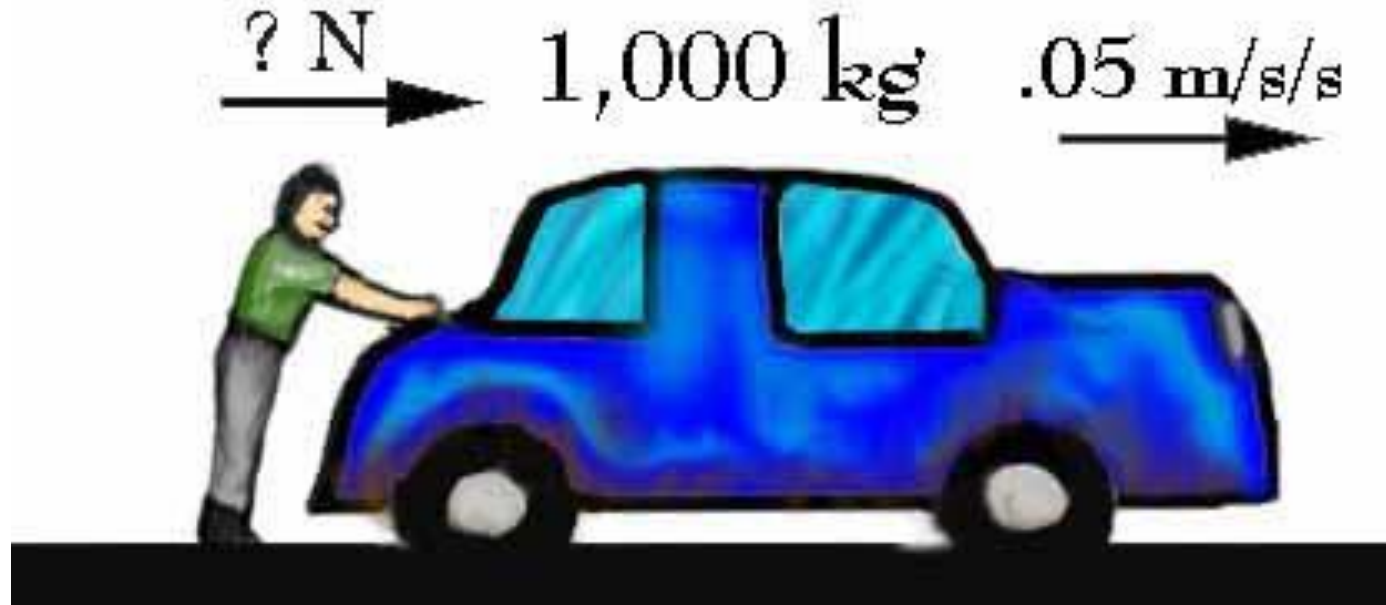


TERMİNOLOJİ

Newton'un II. hareket kanunu:

Bir cisme etki eden net kuvvetin meydana getirdiği ivmeye oranı sabittir. Bu sabit orana cismin kütlesi denir ve olarak verilen eşitlik Newton'un II. Hareket kanunu olarak bilinir. Kuvvetin birimi N (Newton)'dur.

$$F=m.a$$

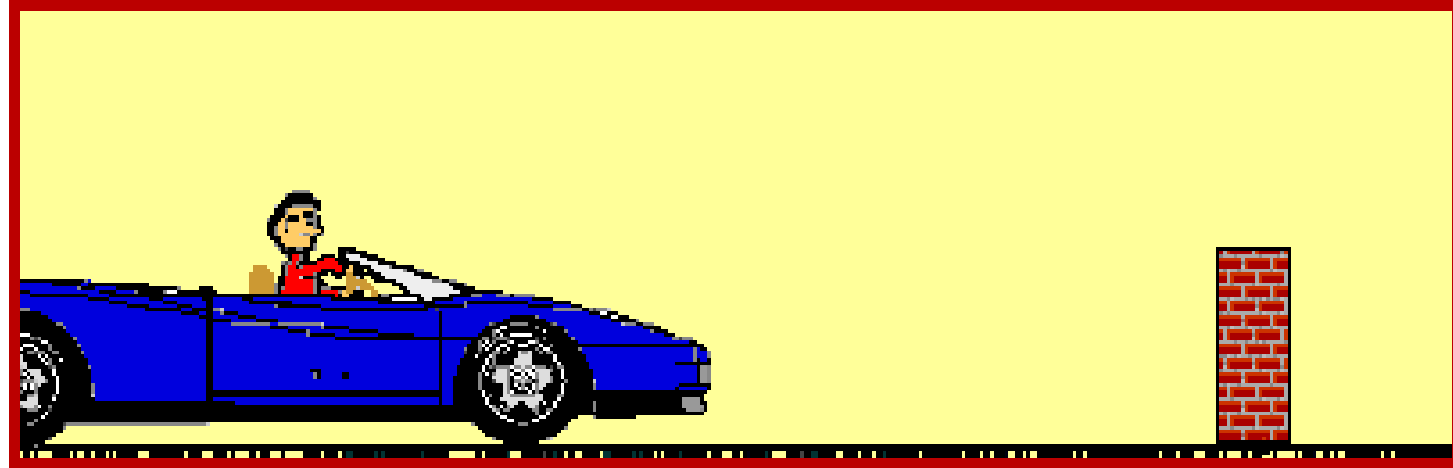


TERMİNOLOJİ

Newton'un III. hareket kanunu:

Eğer bir A cismi B cismine bir kuvveti uygularsa, B cismi de A cismine 'nin büyüklüğüne eşit fakat zıt yönlü bir kuvvet uygular. Üçüncü kanun, tepki kuvvetinin etki kuvvetine büyüklükçe eşit ve zıt yönde olacağını söyler.

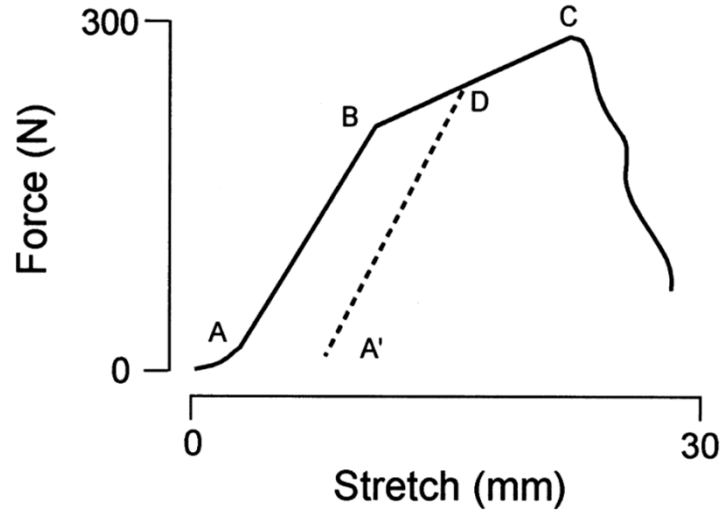
$$F = F_{AB} - F_{BA}$$



Yapısal & Materyal Özellikler

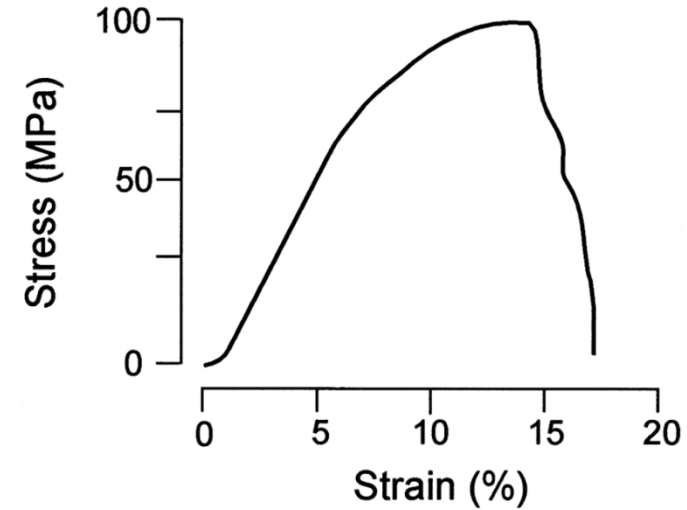
Yapısal özellikler

- Benzer dokuların yük-deformasyon ilişkileri



Materyal Özellikleri

- Farklı dokuların stres-strain ilişkileri



Terminoloji

- Yük – bir nesne veya sistem üzerine etki eden tüm kuvvet veya momentlerin toplamı
- Deformasyon – nesnedeki lokal şekil değişiklikleri

Yük-deformasyon ilişkisi

- Doku veya yapı çeşitli yüklere maruz kaldığında şekilde değişiklik (deformasyon) olur

Deformasyonun derecesi nelere bağlıdır?

- Boyut ve şekil (geometri)
- Materyal
 - Yapı
 - Çevresel faktörler (sıcaklık, nem)
 - Beslenme
- Yük uygulaması
 - Uygulanan yükün büyüklüğü, yönü ve süresi
 - Uygulama noktası (lokasyonu)
 - Uygulanan kuvvetin hızı
 - Uygulanan kuvvetin frekansı
 - Kuvvetin büyüklüğünün değişimi

Yük Tipleri

Tek yönlü Yük (uniaxial)

- Akzial
 - Basma (Compression)
 - Çekme (Tension)
- Kayma (shear)

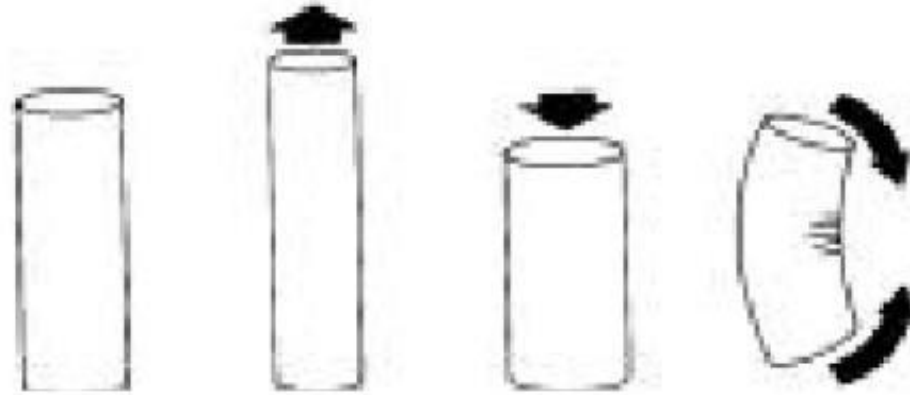
Çok yönlü (multiaxial) yük

- Biakzial yükleme
- Triakzial yükleme
- Bükme (Bending)
- Burma (Torsion)

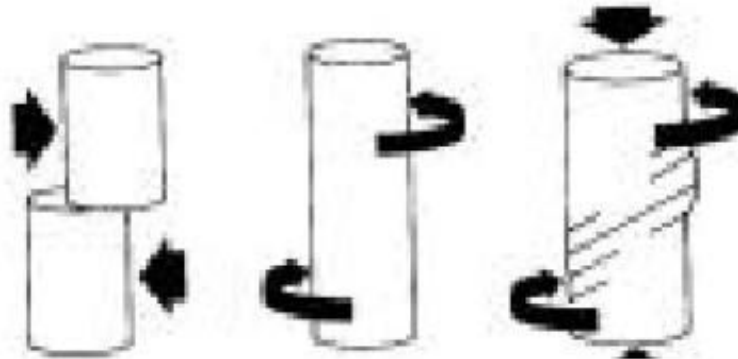
GENEL MEKANİK KAVRAMLAR

Bir materyalin mekaniksel özellikleri genellikle mekaniksel testler uygulanarak saptanır:

Çekme (tension), Sıkışma (compression), Burulma (torsion), Bükme (bending), Makaslama (shear), veya toplam yüklenme (combined loading)



Unloaded Tension Compression Bending



Shear

Torsion

Combined Loading

Akziyal yükler

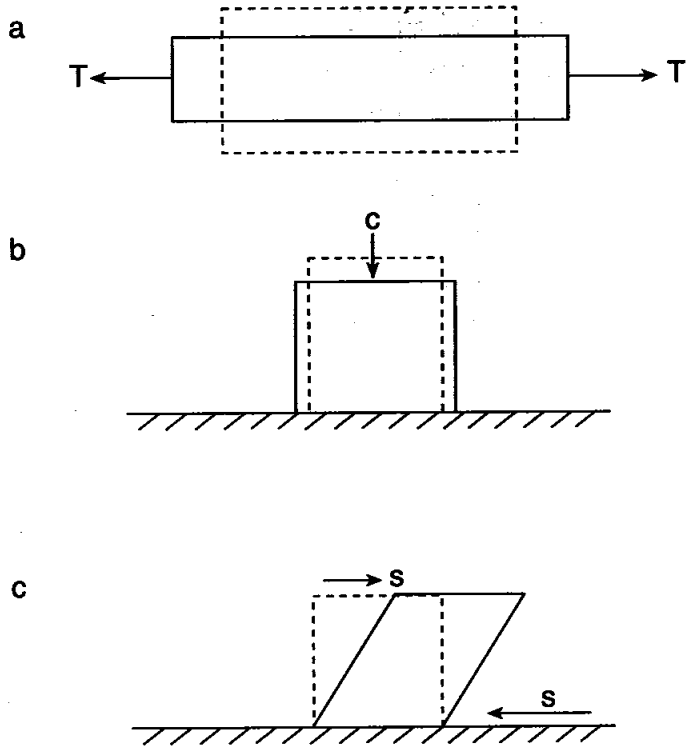


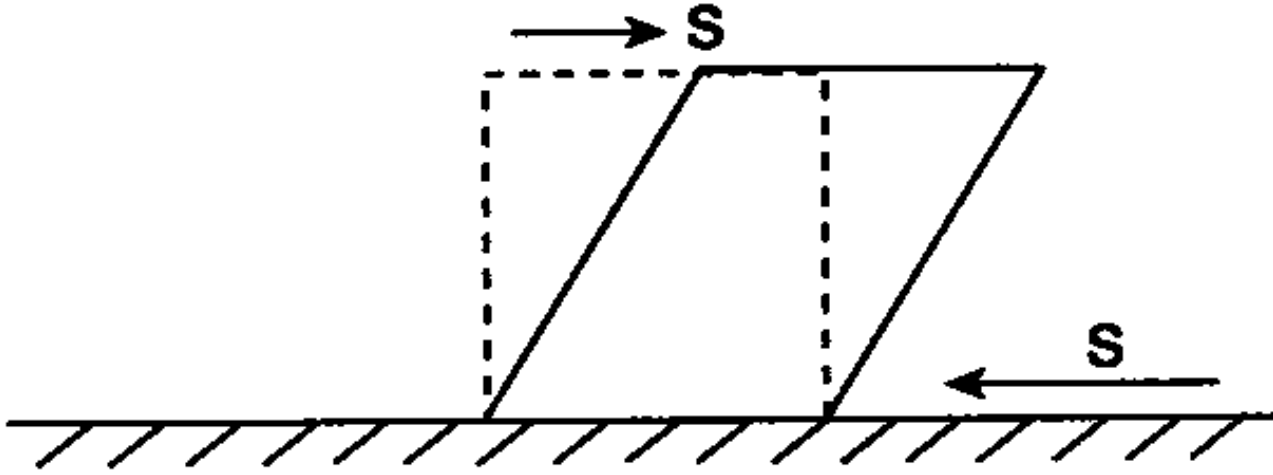
Figure 3.25 Mechanical strain. External loads change the shape of a material. This deformation, or strain, can manifest as (a) an elongation, or tensile strain, (b) a compression, or compressive strain, or (c) an angulation, or shear strain.

Whiting & Zernicke (1998)

Uygulanan yükün büyüklüğü, lokasyonu, yönü, süresi, frekansı, değişkenliği ve uygulama hızı dikkate alınmalıdır. Bunlar (materyalin özelliklerinin yanında) yanıtın şeklini belirler.

- Çekme (gerim) – uçları öteleme çabası
 - stres uygulanan kuvvet yönünde etki eder
 - materyal uzadıkça strain pozitiftir
 - Çekme çoğunlukla yumuşak dokularda olur (kemiklerde olmaz)
- Basma (Compression) – nesnenin uçlarını yaklaştırma çabası
 - stres (zor) yine uygulanan kuvvet yönünde etki eder
 - Uzunluk azaldığından strain (zorlanma) negatiftir
 - Kemik sıklıkla baskıya maruz kalır, buna karşılık yumuşak dokuların çoğu küçük bir kompresyon direncine sahiptir

Kayma, makaslama (shear) Yüğü



Kayma (shear) – bir tabakanın diđeri üzerinde yatay kayma etkisi

- Hesaplama da A kayma geriliminin (dik olduğu deđil) etki ettiđi alandır
- Strain (ν -) materyalin radyan cinsinden açıs al deformasyonudur (kayma açısı)

Figure 3.25 Mechanical strain. External loads change the shape of a material. This deformation, or strain, can manifest as (a) an elongation, or tensile strain, (b) a compression, or compressive strain, or (c) an angulation, or shear strain.

Esnek şekil değişikliğinin uzama, hacimce değişme, makaslama gibi üç temel değişimi vardır. Çubuk biçimli esnek bir cisme, çubuk doğrultusunda uygulanan kuvvet, meydana getirdiği boyca uzama ile doğru orantılıdır ve;

$$F \propto \Delta L$$

Şeklinde yazılabilir. Daha uygun bir şekilde, A kesit alanı olmak üzere,

$$F/A = Y \Delta L/L$$

HOOKE YASASI

$$F/A=Y\Delta L/L$$

Zor(stress, σ)=Young modülüXzorlanma(ϵ ,strain)

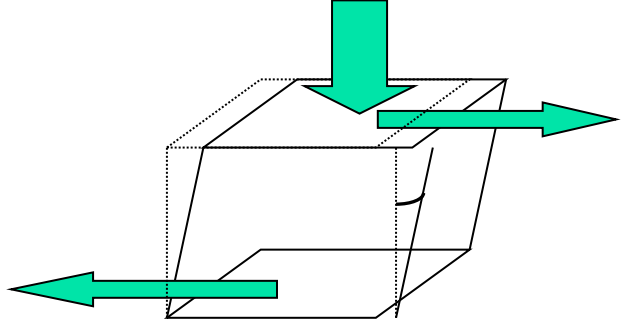
Boyca bağıl uzama, $\Delta L/L$

Birim kesite uygulanan kuvvet, F/A

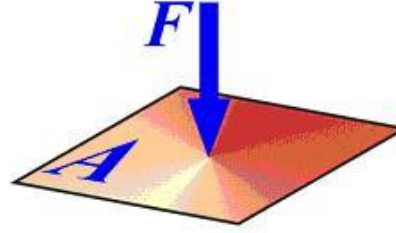
Maddenin cinsine bağı orantı katsayısına Young Modülü denir.

GENEL MEKANİK KAVRAMLAR

Kuvvet, Zor (Stress) ve Makaslama (Shear) Zoru



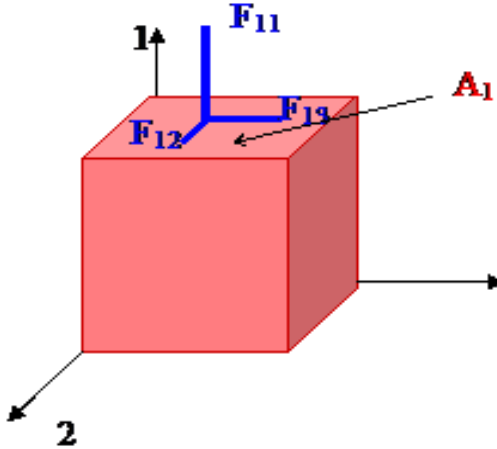
Bir cisim üzerine etki eden farklı kuvvetler



Stress (zor):

$$\sigma = \frac{\text{Force}}{\text{Area}}$$

Zor (stress); A alanına dik bir F kuvvetinin değeri (normal zor)



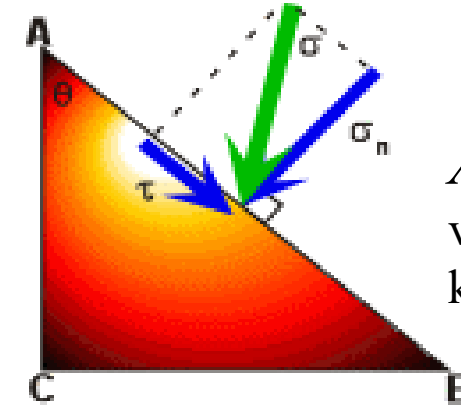
A alanına paralel bir F kuvvetinin değeri; makaslama zoru

$$\sigma_{xx} = \sigma_{11} = \frac{F_{11}}{A_1} \text{ (normal stress)}$$

$$\tau_{xy} = \sigma_{12} = \frac{F_{12}}{A_1} \text{ (shear stress)}$$

$$\tau_{xz} = \sigma_{13} = \frac{F_{13}}{A_1} \text{ (Shear stress)}$$

$$\tau = \frac{dF}{dA}$$



AB boyunca normal (σ_n) ve makaslama (shear) (τ) kuvvetleri

Stres (σ) ve Strain (ϵ) ilişkisi

- “Stres bir objeye uygulanan kuvveti veya stresi, strain ise objenin yanıtını ifade eder.
- Stres ve Strain birbirine orantılıdır.

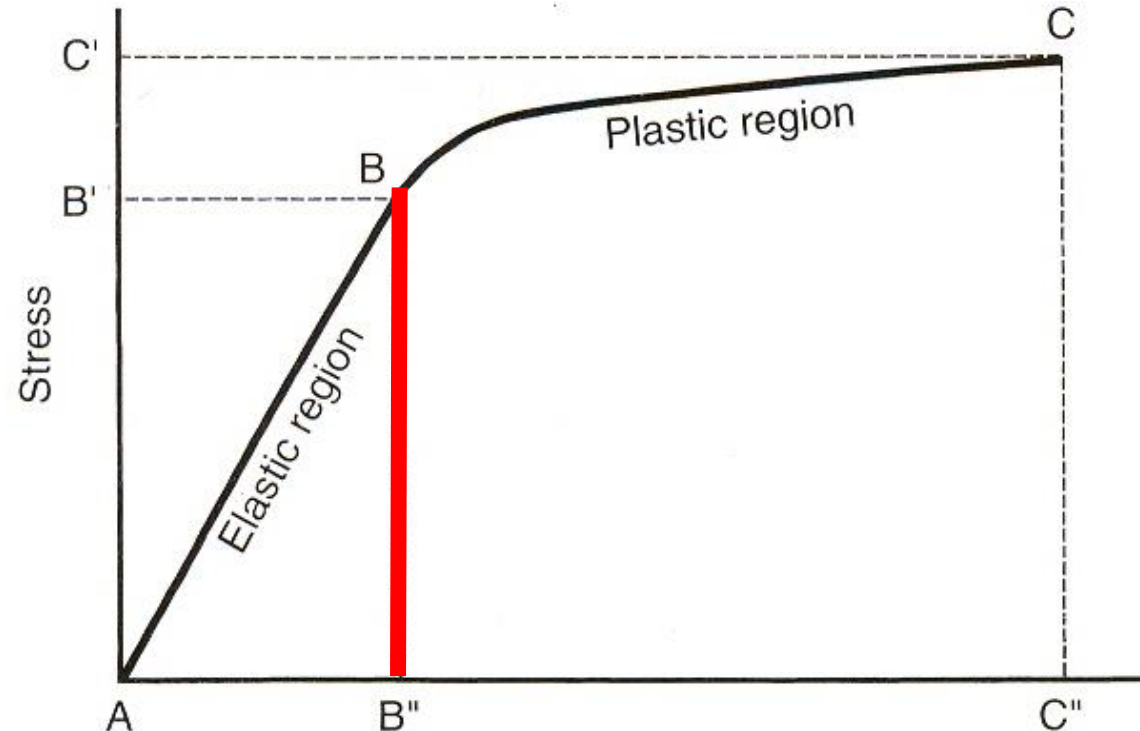
Elastiklik modülü = stres/strain (Zor/Zorlanma)

Elastiklik modülü belli bir madde için sabittir.

Elastik bölge & Plastik bölge

Elastik bölge – doku ideal bir yay gibi davranır; yanıt doğrusaldır, Hooke yasasına göre;
 $F=kx$

Plastik bölge – yanıt doğrusal değildir, eğrinin eğimi değişken; dokunun yapısı değişmiş;
dokuda kalıcı değişiklik.

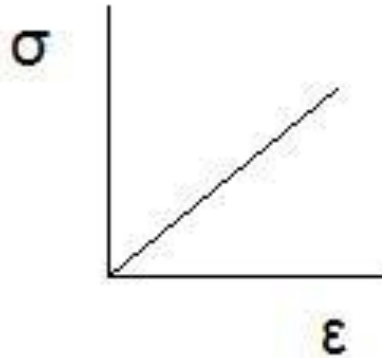


Homojen ve Heterojen Zorlanma (Strain)

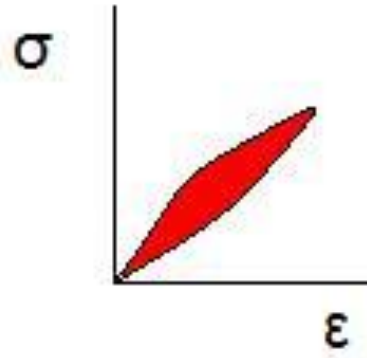
Matematiksel işlemlerde yaygın olarak homojen zorlanma veya distorsiyonların varlığı kabul edilir. Fakat biyolojik materyaller için tam doğru sonuçlara ulaşamaz?

1- Heterojen zorlanma düzgün olmayan (irregular, non-uniform manner) rijid-olmayan (non-rigid) cisimleri etkiler (kompleks bir distorsiyon).

2- Homojen zorlanma düzgün ve uniform bir şekilde rijid-olmayan katı cisimler (rock bodies). Deforme olan cisimde zorlanma sistematik ve uniform durumda.



(a)



(b)

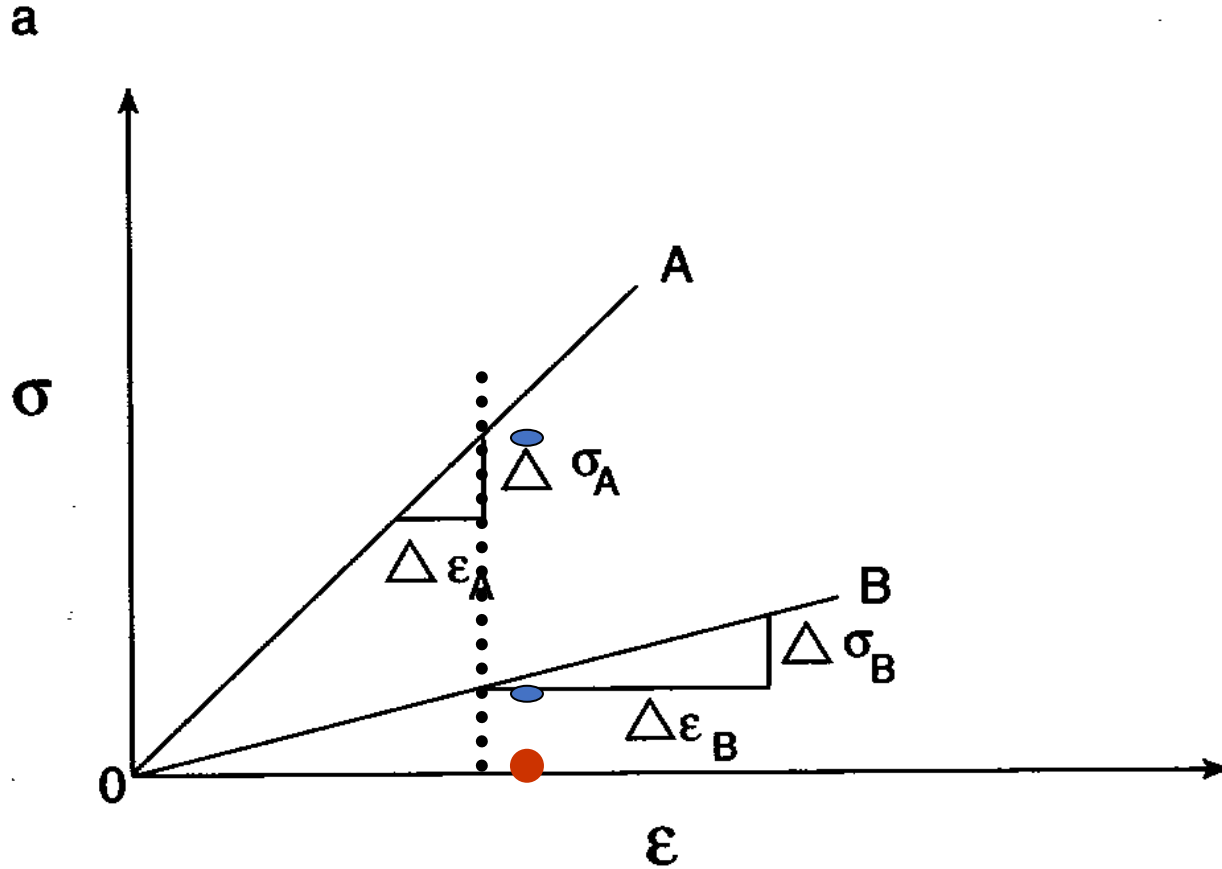
Stress-Strain Eğrileri

(a) ideal bir elastik materyal

(b) viskoelastik materyal

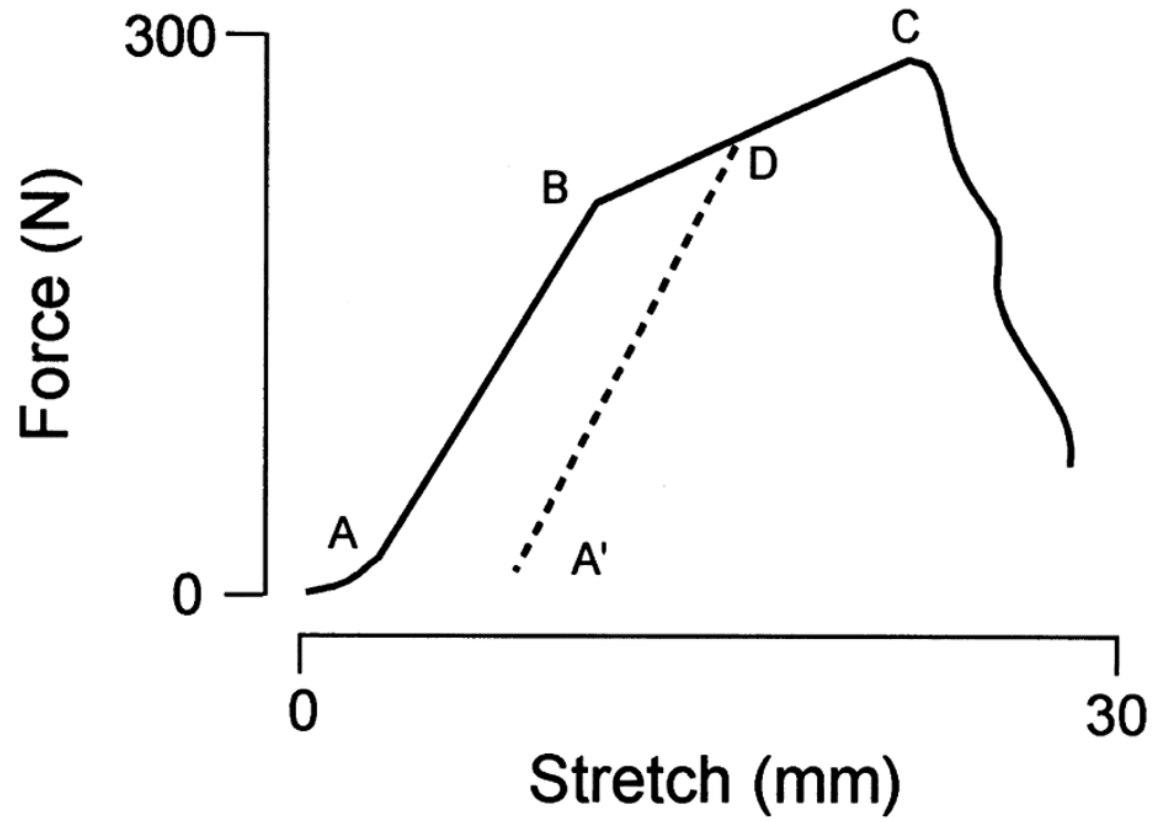
Kırmızı alana histerisis çevrimi adı verilir ve yükleme-kaldırma sırasında kaybolan enerjiyi gösterir (ısı olarak)

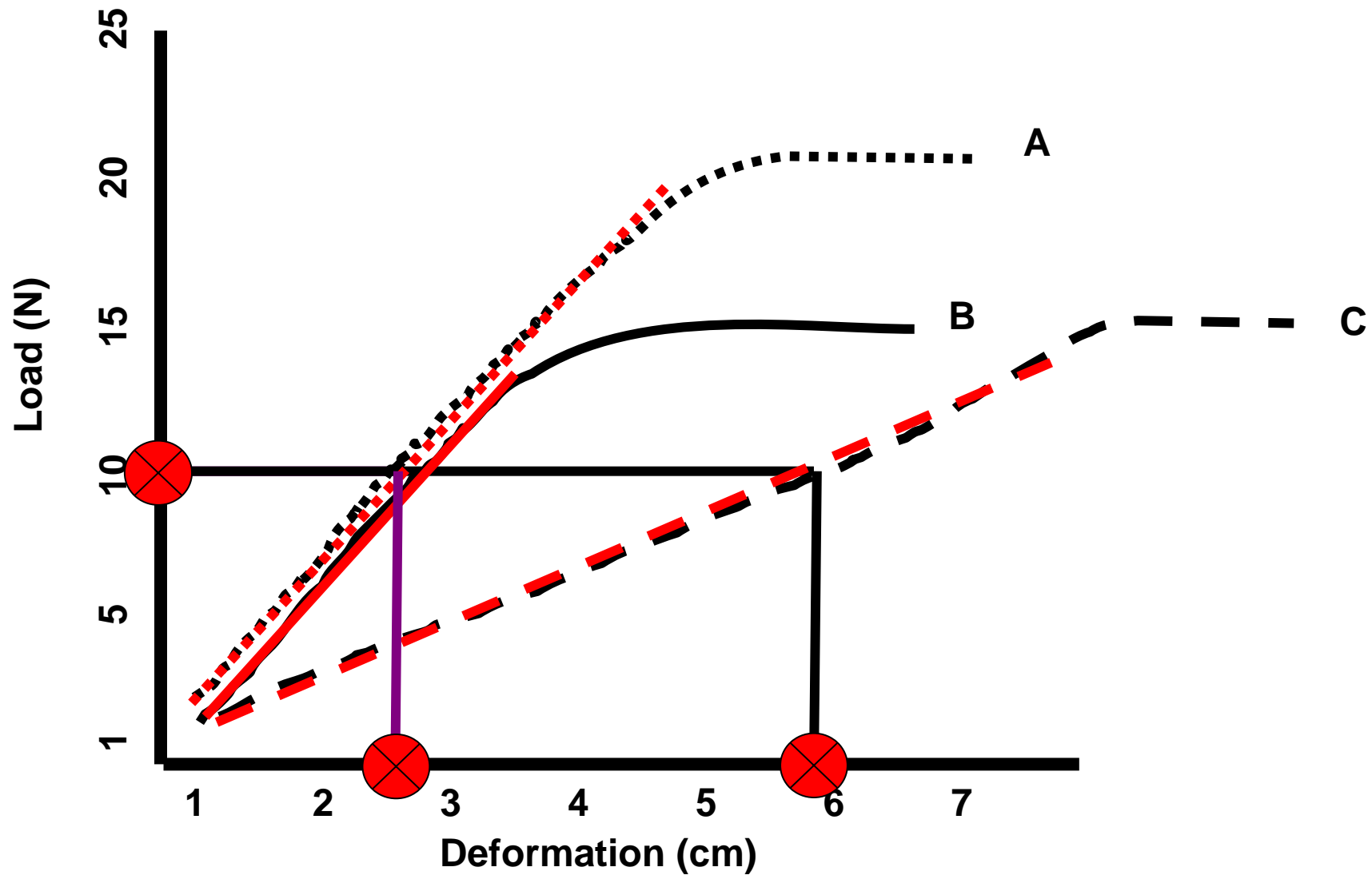
Stiffness (sertlik, direngenlik)



- materyalin deformatsyona direngenlik ölçüsüdür
- Stres-strain eğrisinin eğimi olarak ifade edilir

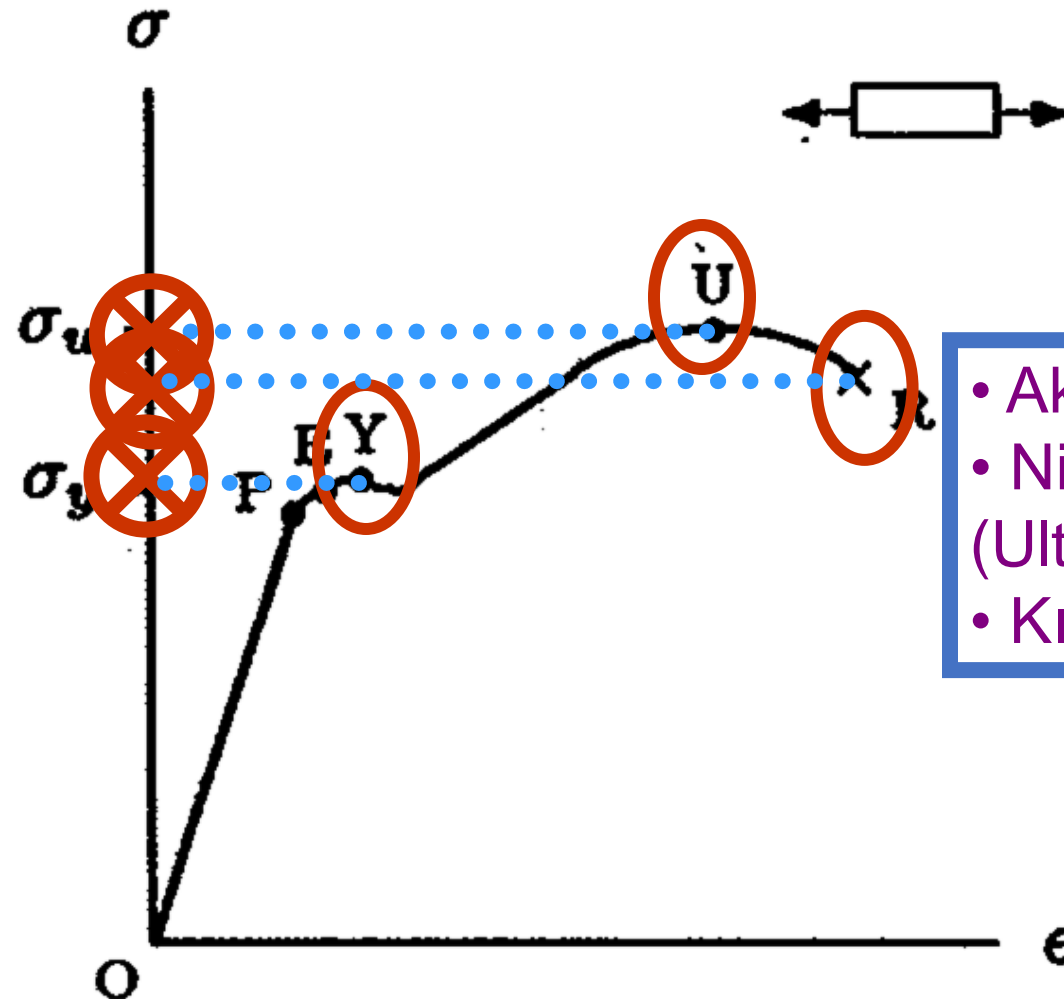
Stiffness (Elastiklik Modülü)





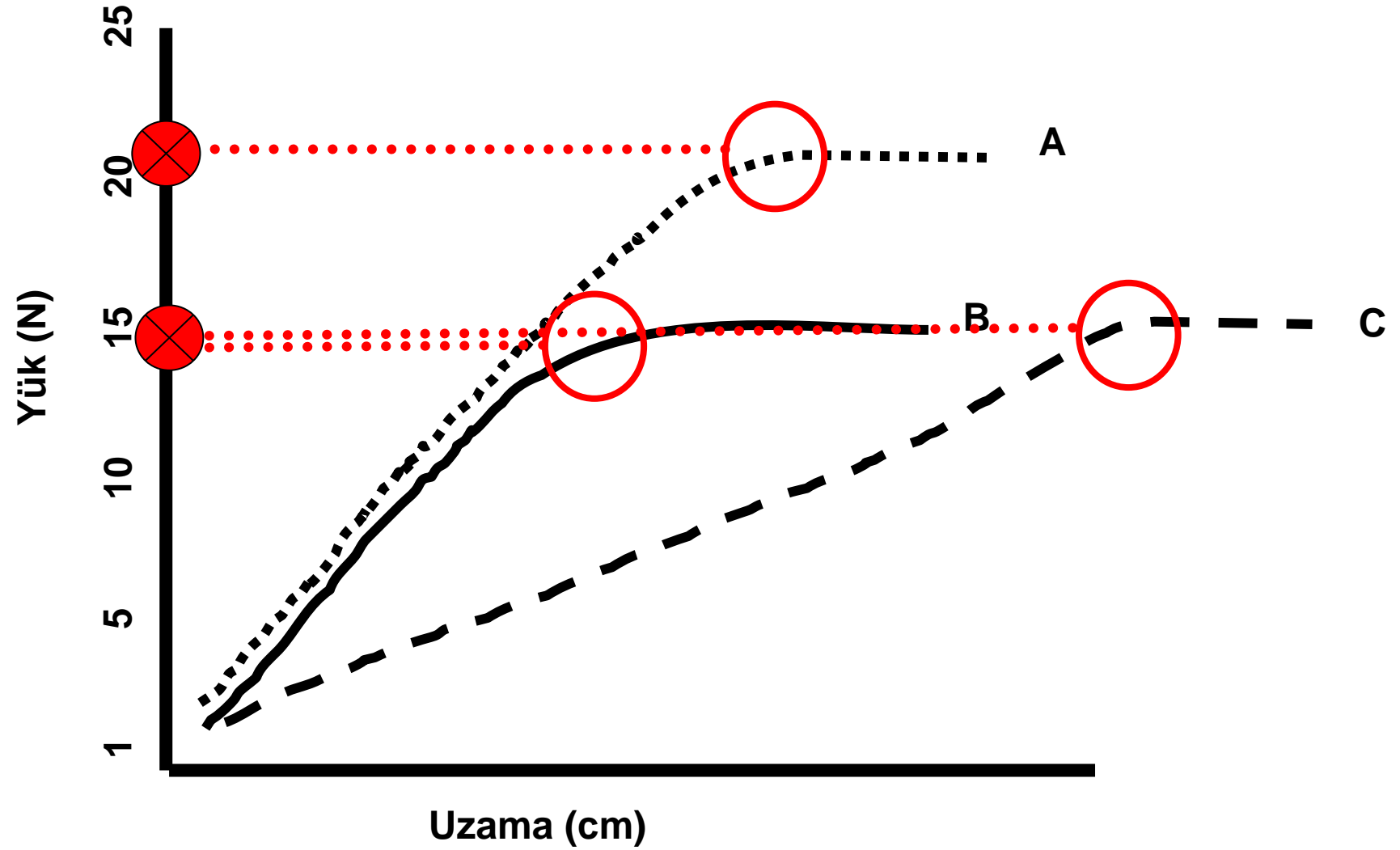
Dayanıklılık (Strength)

stiffness \neq strength

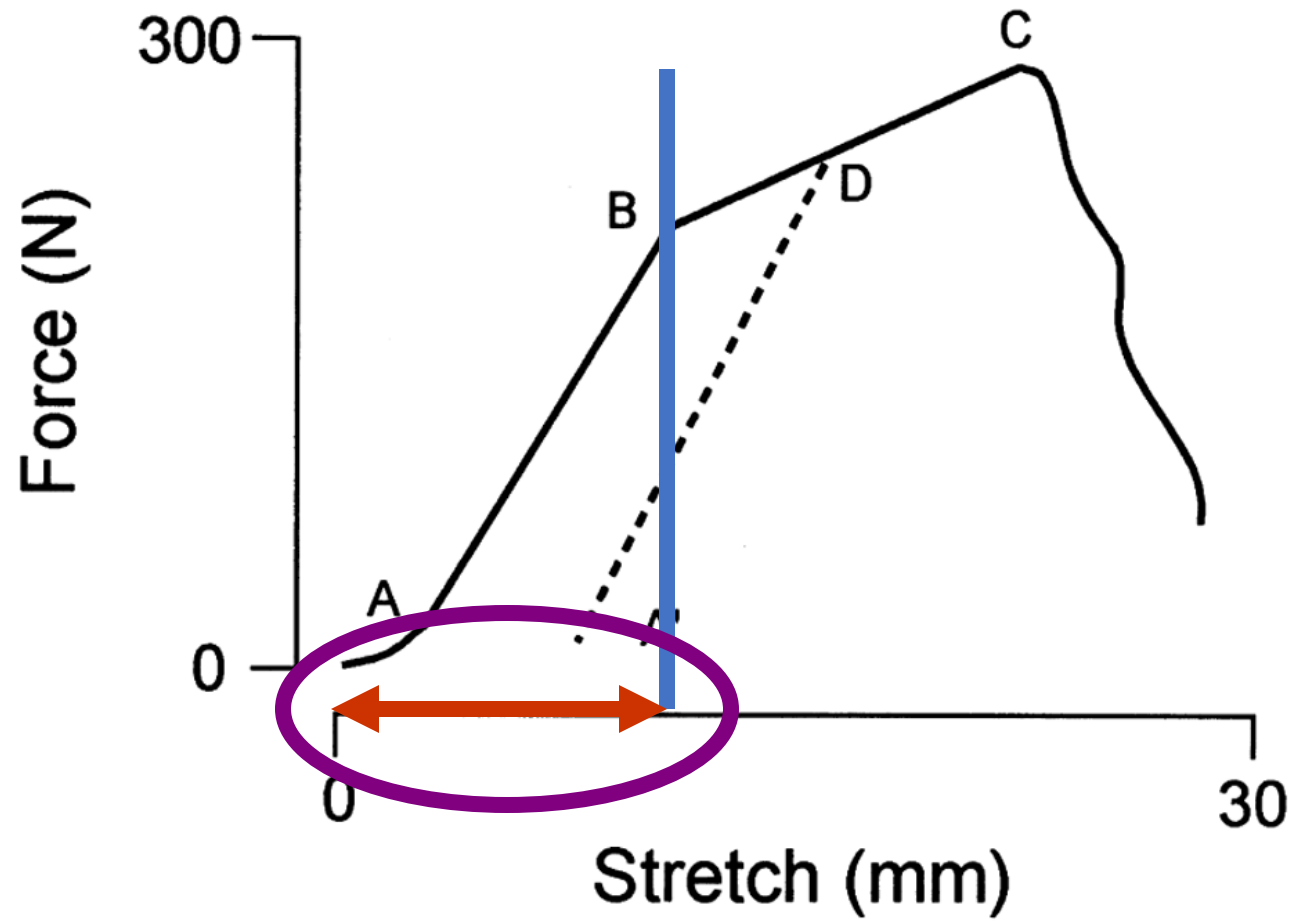


- Akma sınırı (Yield)
- Nihai dayanım (Ultimate Strength)
- Kırılma (Failure)

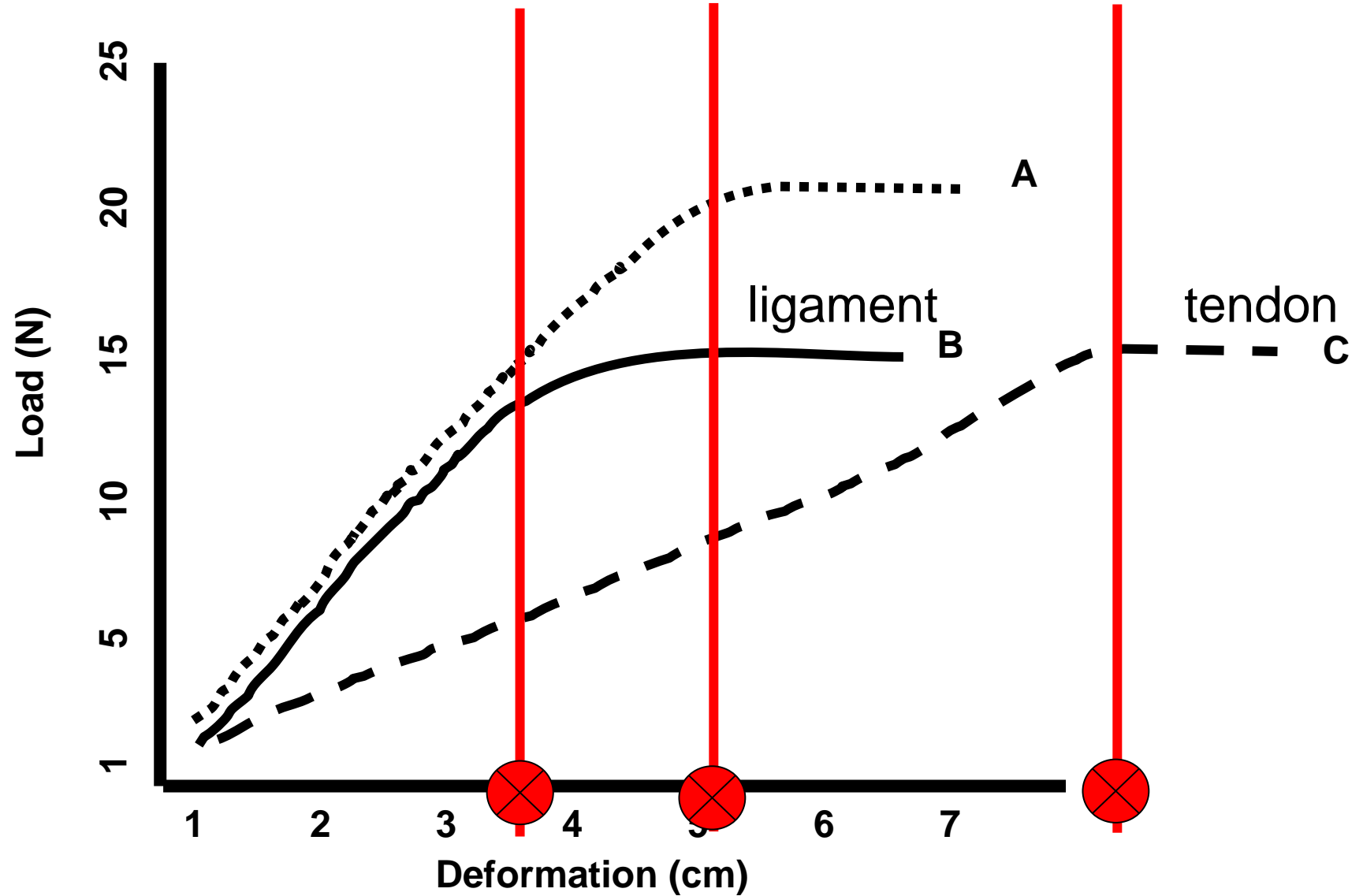
Doku özellikleri



Uzayabilirlik & Elastisite



Uzayabilirlik



Genel mekanik özellikler

- Sertlik
- Dayanıklılık
- Elastiklik
- Süneklik (ductility)
- Gevreklik (kırılganlık)
- Dövülgenlik (malleability)
- Dayanım (Toughness)
- Esneme (Resilience)
- Sağlamlık (Hardness)

Ductility (Süneklik)

- **Gerim yükü altında** kopmadan önce büyük plastik deformasyona uğrayan bir materyalin karakteristiğini ifade eder.
- % uzama ve alanın % azalması olarak ölçülür.
- Yüksek % uzama, daha sünek materyal

Brittleness (gevreklik, kırılmalık)

- Kırılma öncesinde plastik deformasyon yokluğunun ölçüsü
- Belirti olmadan aniden kırılır.
- Akma dayanımı (yield point) veya bükölme yok,
- Ultimate strength= rupture strength

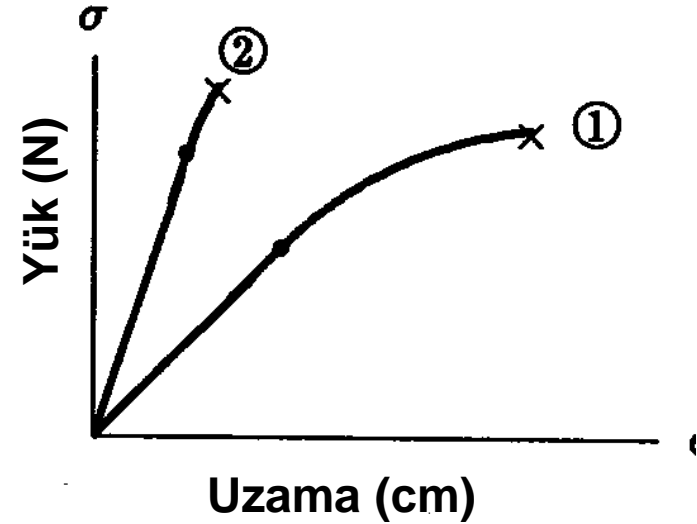


Figure 14.34 Material 1 is more ductile and less brittle than material 2.

Metaryal 1 daha sünek, daha çok uzayabilir, daha az kırılımandır ver daha az serttir

Metaryal 2 daha dayanıklıdır

Dövülgenlik (Malleability)

- **Bası (compressive) yükü altında** kopmadan önce büyük plastik deformasyona uğrayan bir materyalin karakteristiğini ifade eder.
- Sünek materyaller büyük oranda dövülgendir de.

Esneyebilirlik (Resilience)

- Elastik limiti aşmadan bir materyalin büyük yüklere dayanabilme özelliği
- Yük uygulaması sırasında emilen enerji depolanarak, yük kaldırıldığında salınır.
- Eğrinin elastik kısmının alanının hesaplanmasıyla ölçülür,
- Orijinal şekline hızla dönen cisimlere esnek (**resilient**) cisimler denir.

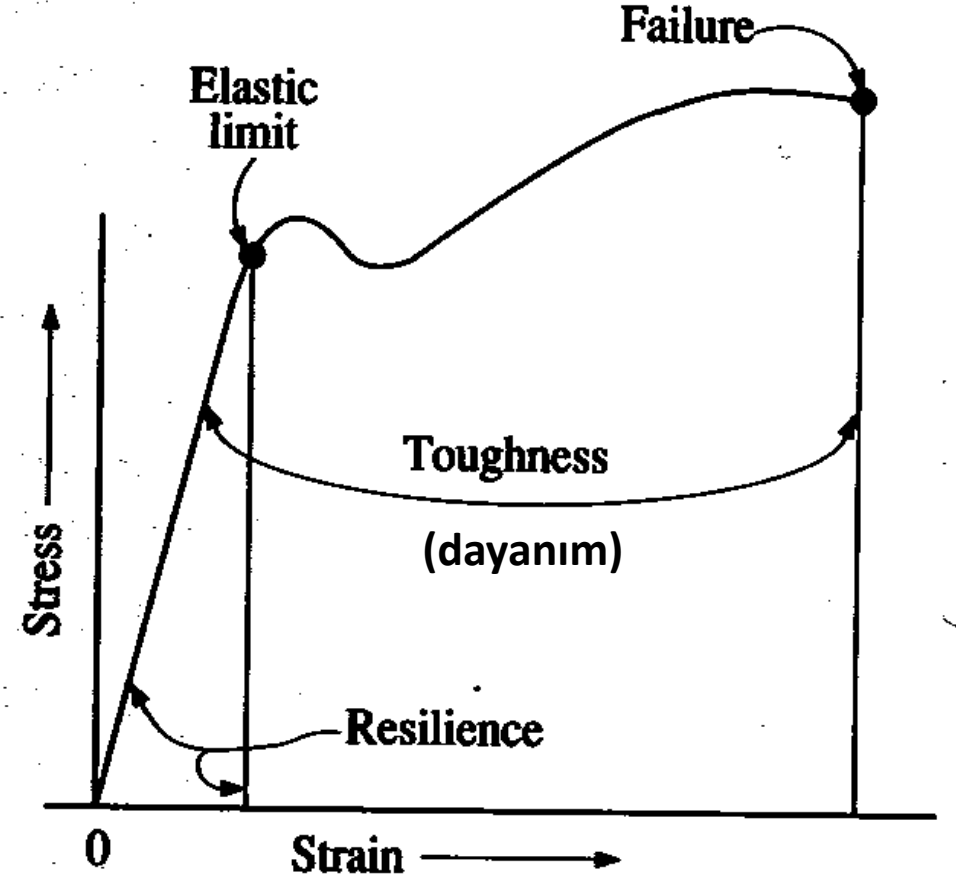


FIGURE 10-6 Resilience and toughness.

Dayanım (Toughness)

- **Dayanım** – bir materyalin büyük ve ani darbelere dayanmasını sağlayan özellik. Ya da bir materyalin daimi deformasyona dayanma kapasitesi
- Eğer materyal yüksek strese katlanabiliyor ve kırılmadan çok deforme oluyorsa, dayanımı iyidir.
- Eğrinin altındaki alan (1. ve 2. ??)
- Kırılgan materyallerin dayanımı küçüktür (kırılma öncesi plastik deformasyon az)

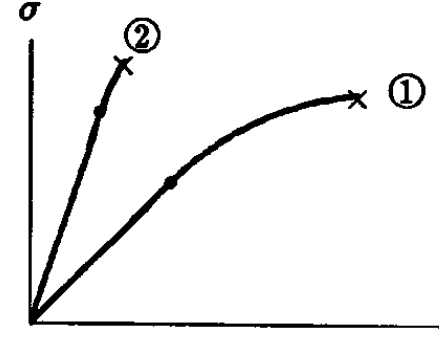


Figure 14.34 Material 1 is more ductile and less brittle than material 2.

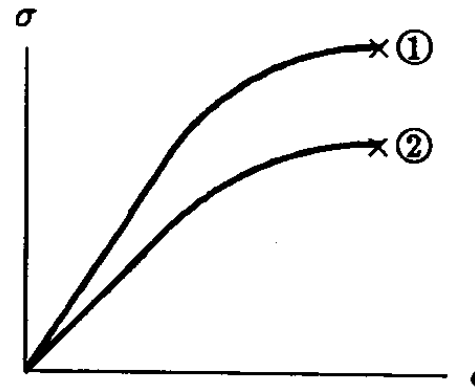
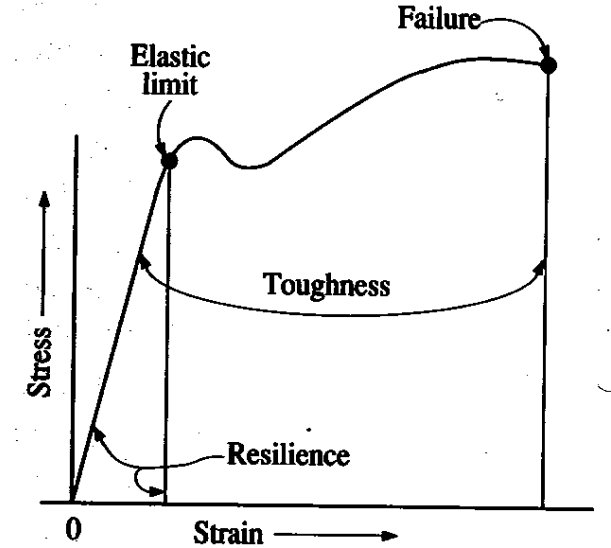


Figure 14.35 Material 1 is tougher than material 2.



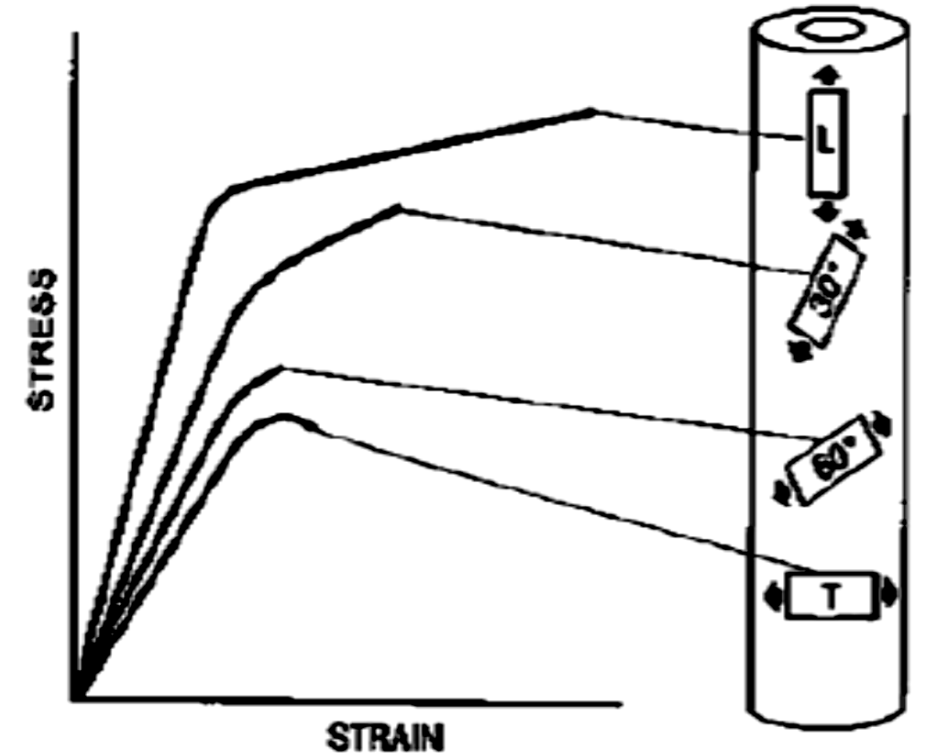
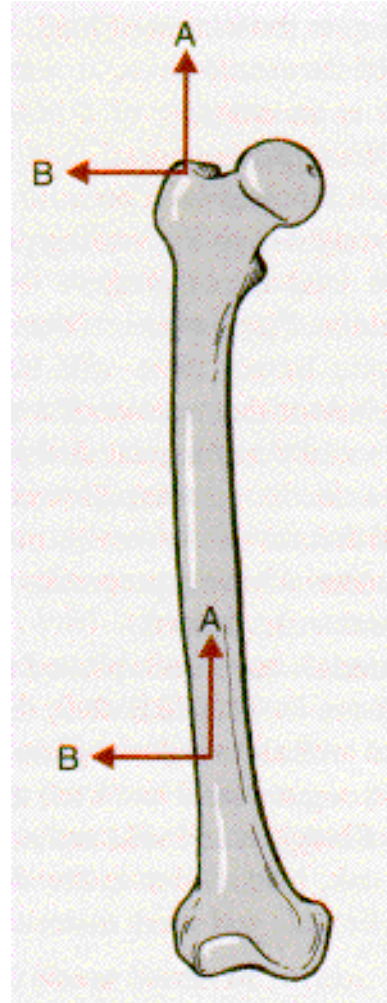
Sağlamlık (Hardness)

- Materyalin, sıyrıklara, aşınmalara ve batmalara karşı direncidir.
- Kompresyon testiyle ölçülür
- Biyolojik dokularda pek kullanılmaz

Biyolojik materyallerin özgül karakteristikleri

- Anizotropik

- Uygulanan yükün yönüne göre kemik farklı cevap verir. Yükün doğrultusuna göre stres-strain eğrisi değişir.
- Kemik hangi doğrultuda uygulanan yük karşısında daha kırılığandır
- Kemik hangi doğrultuda uygulanan yük karşısında daha dayanıklıdır?



Biyolojik materyallerin özgül karakteristikleri

- Anizotropik

- Uygulanan yükün yönüne göre kemik farklı cevap verir. Yükün doğrultusuna göre stres-strain eğrisi değişir.
- Kemik hangi doğrultuda uygulanan yük karşısında daha kırılıgandır
 - T
- Kemik hangi doğrultuda uygulanan yük karşısında daha dayanıklıdır?
 - L

