



Dokuz Eylül Üniversitesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü



**İNŞ2023 YAPI MALZEMESİ I**

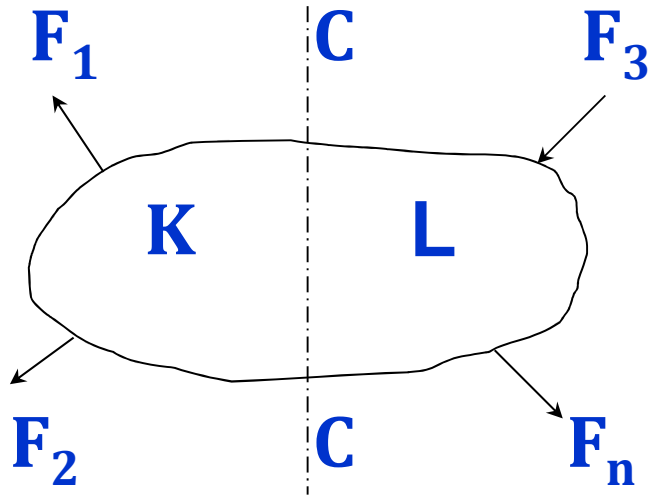
# **MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

*Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA*  
[www.caglaryalcinkaya.com](http://www.caglaryalcinkaya.com)

# MEKANİK ÖZELLİKLER



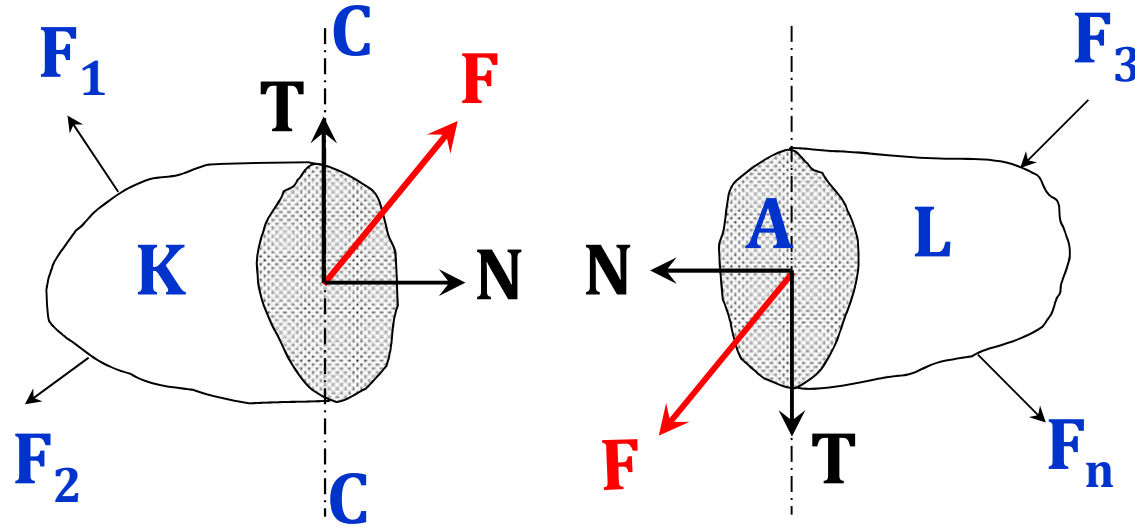
- ✓ Dış kuvvetlerin etkisi altında değişik zorlamalar karşısında, malzemede oluşan şekil değişiklikleri ve bu etkiler altında malzemenin gösterdiği dayanma gücü özelliklerine **mekanik özellikler** adı verilir.



- ✓ Dış kuvvetler altında dengede olan katı bir cisim düşünelim.
- ✓ Dış kuvvetler cisim içinde her atoma etkiyen yayılı iç kuvvetler oluştururlar.

- ✓ Bu cisim hayali bir CC kesiti ile K ve L parçalarına ayrılсын ve kesilen iki parça dengede kalsın.

# MEKANİK ÖZELLİKLER

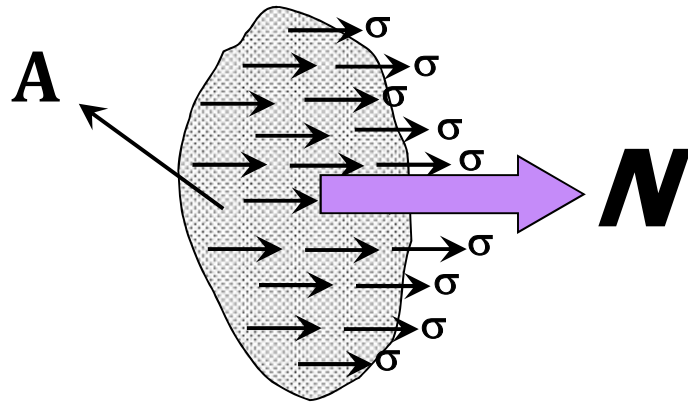


- ✓ **F** kuvveti kesite dik normal **N** ve kesit yüzeyine teğet **T** bileşenlerine ayrılabilir.
- ✓ Gerçekte **N** ara kesit düzleminde her atoma etkiyen normal yayılı kuvvetlerin toplamına, **T** ise yayılı teğetsel (kesme) kuvvetlerinin toplamına eşittir.

# MEKANİK ÖZELLİKLER



- ✓ Kuvvetler yerine parça boyutundan bağımsız zorlama şiddetini belirten **GERİLME** tanımı kullanılır.
- ✓ Gerilme en basit şekliyle birim alana gelen kuvvet olarak tanımlanabilir.



- ✓ Bu durumda cismin parçasının kesit alanı  $A$  ise,

**NORMAL GERİLME**

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

# MEKANİK ÖZELLİKLER

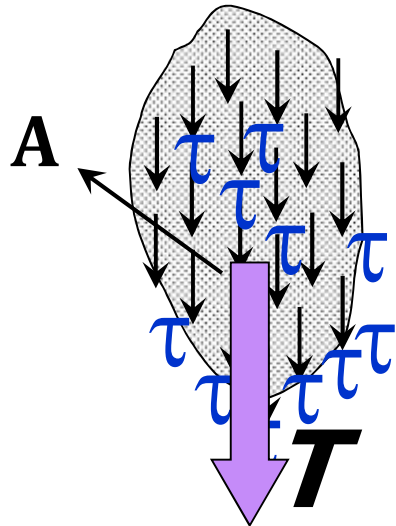


**NORMAL GERİLME:**

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

**TEĞETSEL GERİLME**

**(kesme, kayma, makaslama) ise,**

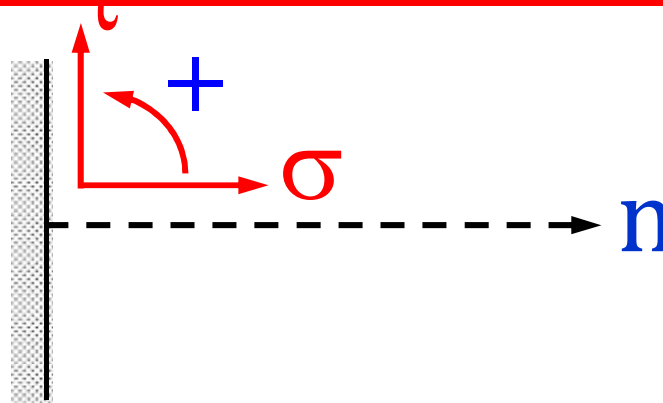


$$\tau = \frac{T}{A}$$

# MEKANİK ÖZELLİKLER



## POZİTİF KAYMA VE NORMAL GERİLMELERİ



✓ Kesitten uzaklaşan gerilmeler **çekme** gerilmesi adını alır ve işareti **artıdır**.

( + )



**çekme**

✓ Kesite doğru gelen gerilmeler ise **basınç** gerilmesi adını alır, işareti **eksi**dir.

( - )

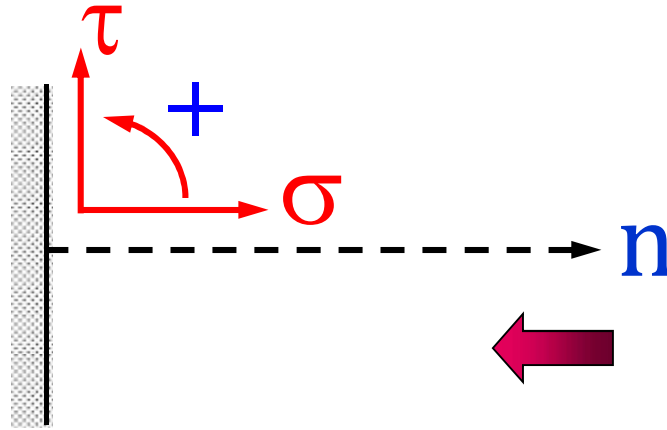


**basınç**

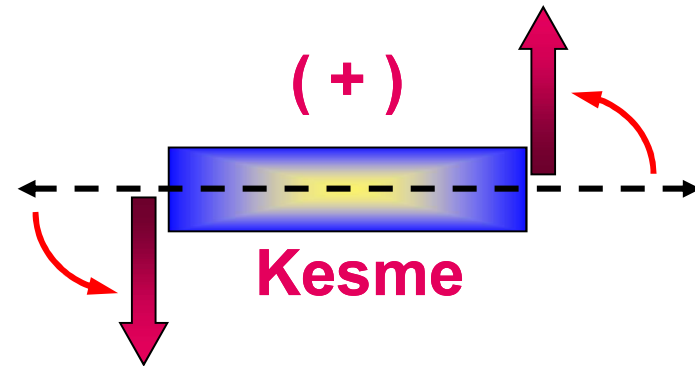
# MEKANİK ÖZELLİKLER



## POZİTİF KAYMA VE NORMAL GERİLMELERİ



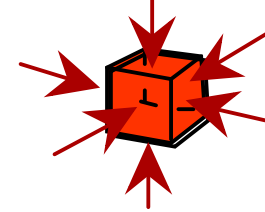
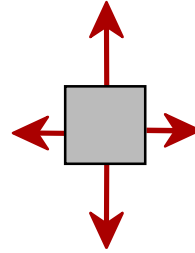
- ✓ Kesme gerilmeleri için ise pozitif işaret kuralı; normal doğrultudan saat ibrelerinin ters yönünde okun ucunun yukarıda olması ile belirlenir.



# MEKANİK ÖZELLİKLER



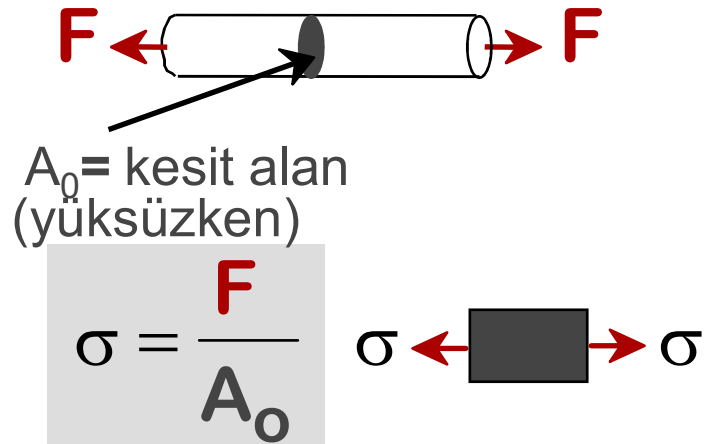
- ✓ Gerilme bir, iki ve üç eksenli olmak üzere çeşitli şekillerde cismi etkileyebilir



# MEKANİK ÖZELLİKLER



## ✓ Basit çekme hali (kablo)

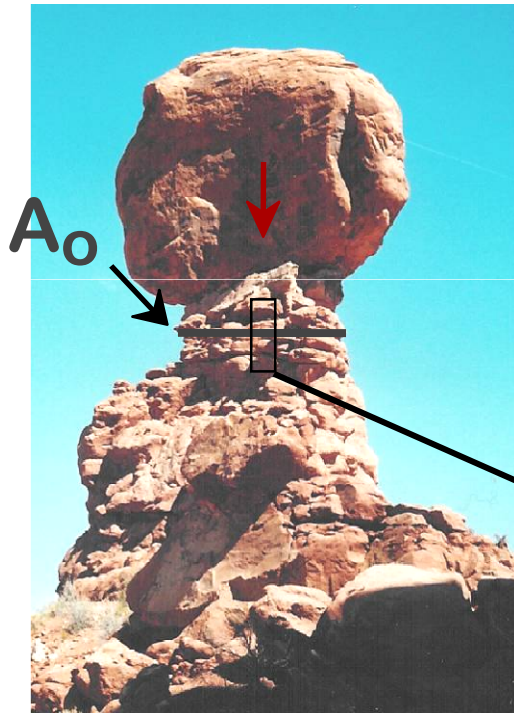


Teleferik Asansörü

# MEKANİK ÖZELLİKLER



## ✓ Basit basınç



Canyon köprüsü, Los Alamos, NM

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



Note: compressive structure member ( $\sigma < 0$  here).

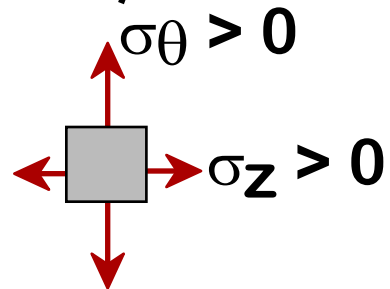
# MEKANİK ÖZELLİKLER



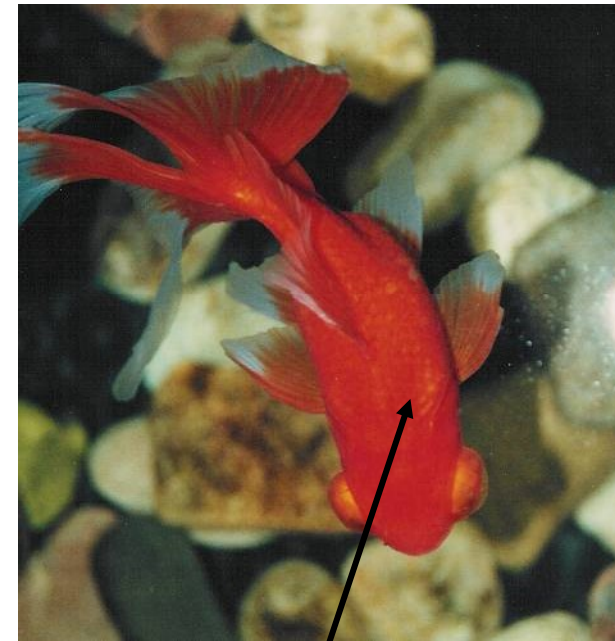
✓ İki eksenli gerilme



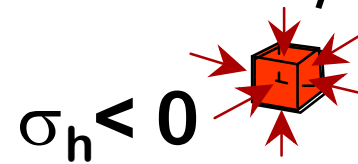
Basıncı tank



✓ Hidrostatik gerilme



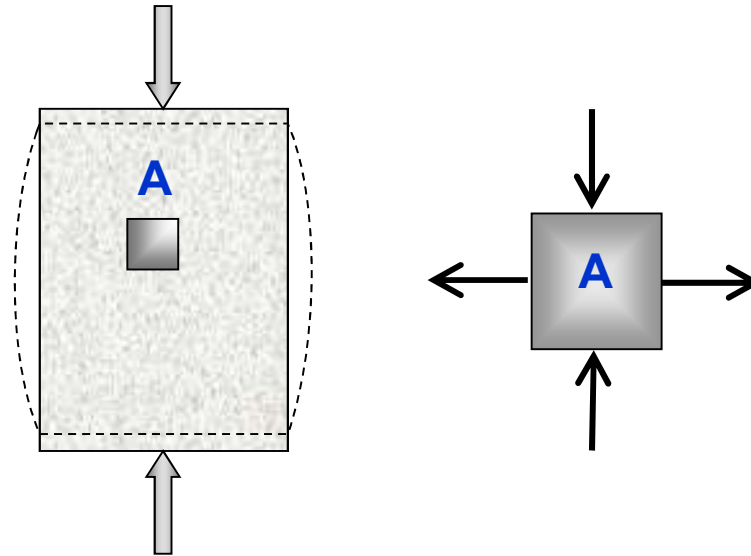
Su altında balık



# MEKANİK ÖZELLİKLER



- ✓ Uygulamada yapı elemanları daha çok iki veya üç eksenli gerilmeler altındadır.
- ✓ Ancak özellikle üç eksenli gerilme durumu, gerilme tansörleri ile ifade edilir ve ileri düzeyde mukavemet bilgisi gerektirir.



# MEKANİK ÖZELLİKLER



- ✓ Ayrıca iki ve özellikle üç eksenli gerilme durumunu deneylerle gerçekleştirmek çok zordur.
- ✓ Bu nedenle genellikle, tek eksenli gerilme durumundan, uygun kırılma hipotezleri kullanılarak üç eksenli gerilme durumuna geçilir.

# MEKANİK ÖZELLİKLER

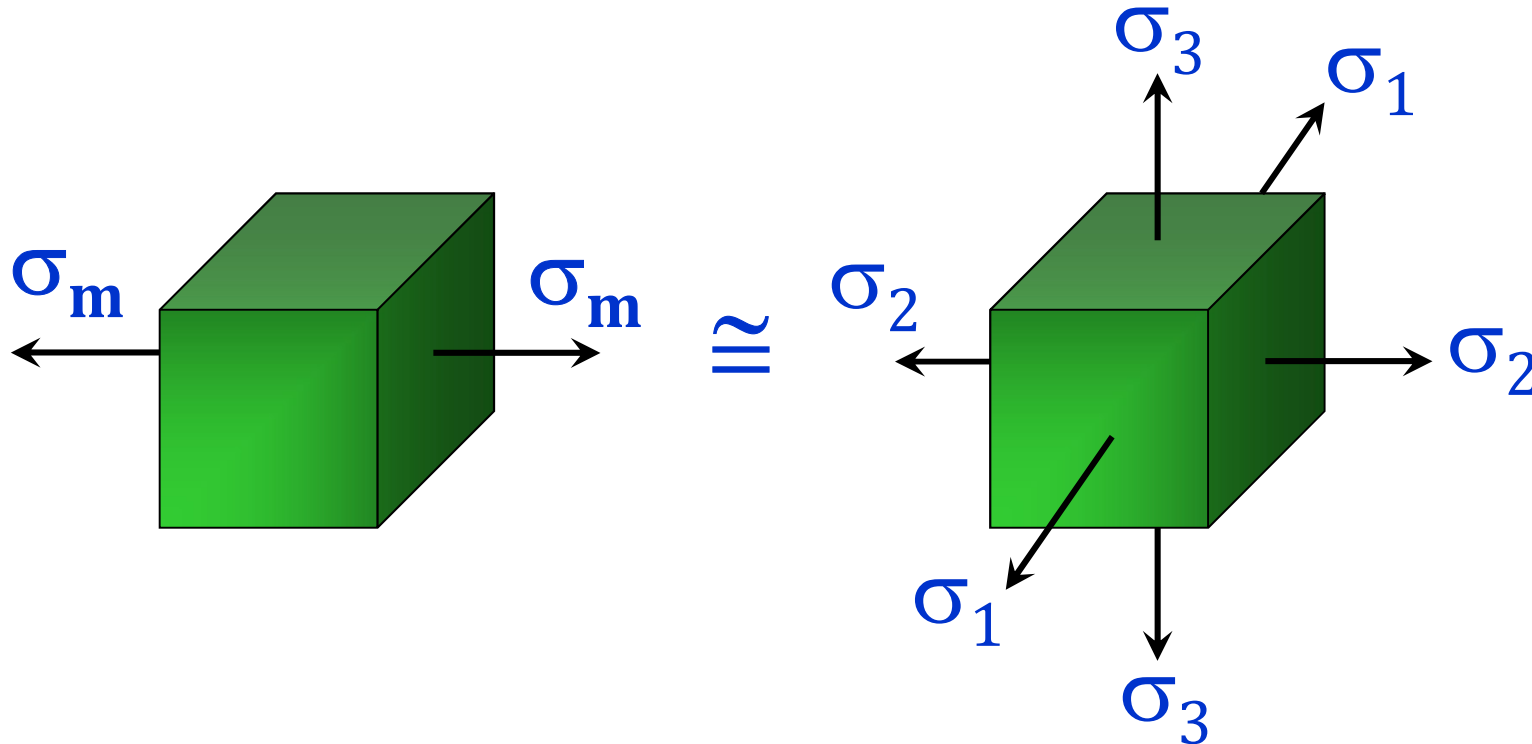


- ✓ Bir malzemenin cisimlerin dayanımı yönünden, hangi yük sınırında plastik hale geçeceği veya hangi gerilme değerinde kırılacağını bulmak önemli bir sorundur.
  - ✓ Yapı için tehlikeli sayılacak bu sınırları deneylerle saptamak gerekir.
  - ✓ Ancak malzeme deneyleri çok defa tek eksenli gerilme altında yapıp, tehlikeli sınırlar bu gerilme durumu için saptanır.
- 
- ✓ Üç eksenli gerilme halinin geçidi sonsuz olup, bütün haller için ayrı ayrı deney yapmak olanaksızdır. Ayrıca üç eksenli deney tekniği çok zordur.
  - ✓ Ancak gelişmiş laboratuvarlarda bu deneyleri gerçekleştirmek mümkündür.

# MEKANİK ÖZELLİKLER



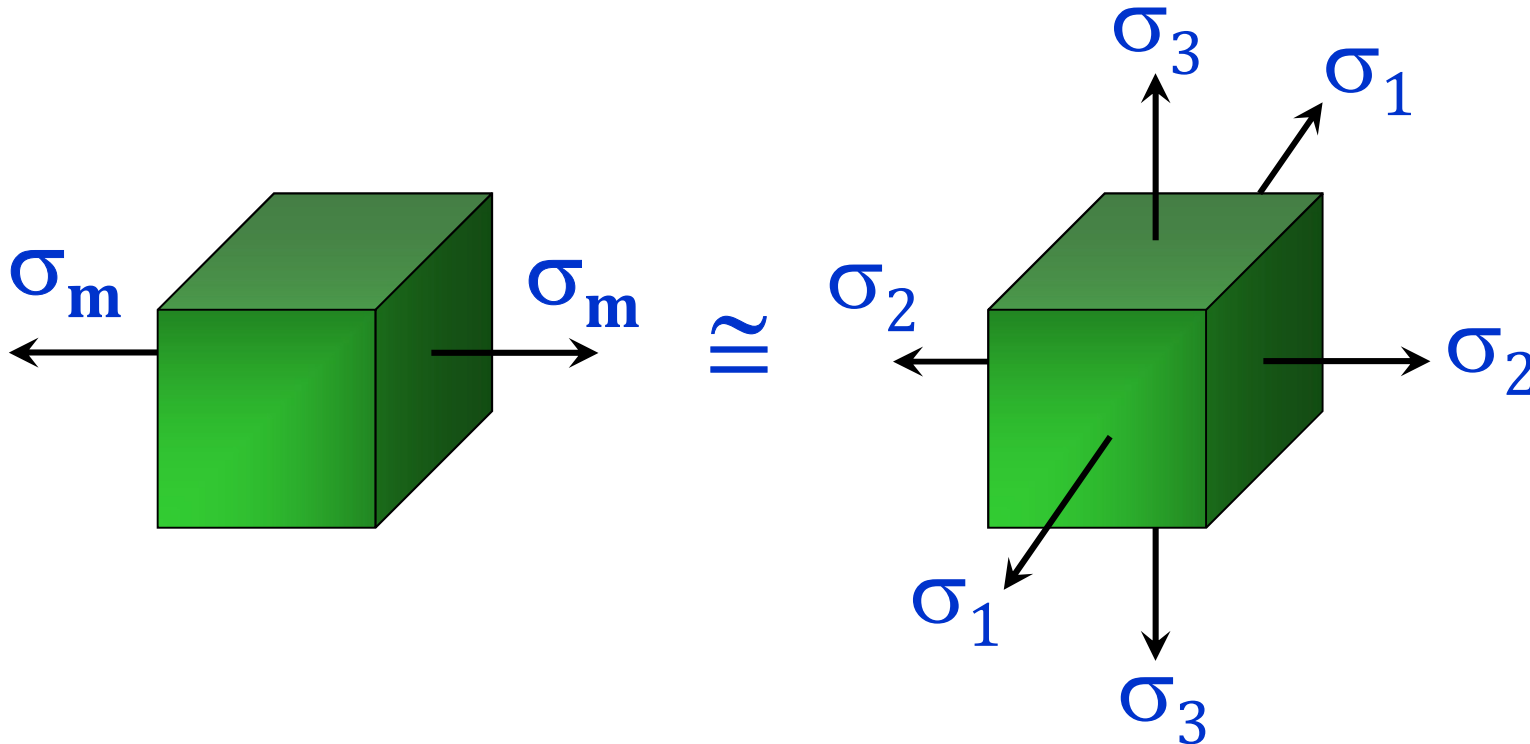
- ✓ Tek eksenli gerilme haliyle üç eksenli gerilme halini, tehlike sınırı yönünden kıyaslayan kriterleri gözden geçirelim.
- ✓ Tehlikeli durum sözünden cisimlerin göçmesi (kırılma, kopma, ezilme) ve akması anlaşılır.



# MEKANİK ÖZELLİKLER



- ✓ Şekilde bir cismin iki tip zorlanması gösterilmiştir. Bunların ilkinde cisim, tek eksenli gerilme,  $\sigma_m$  ile sınır durumuna gelmiştir. İkinci şekilde cisim, üç eksenli gerilme altında yine sınır durumundadır.



# MEKANİK ÖZELLİKLER



✓ Fizik yönden eşit olan iki halin gerilmeleri arasında,

$$\sigma_m = F(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$$

gibi bir bağıntı kurulabilir. Burada  $F$  üç asal gerilmeye bağlı bir fonksiyonu gösterir. Üç eksenli gerilme altında cisim henüz kırılmamış veya plastik hale geçmemişse bağıntı:

$$\sigma_m > F(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$$

gibi bir eşitsizlik olacaktır.

# MEKANİK ÖZELLİKLER



- ✓ Uygulamada önemi büyük olan böyle kriterleri koyabilmenin kuramsal yönden olanağı yoktur.
- ✓ İç bünyede geçen karmaşık olayların fizik yasalarını bulmak yerine; mühendis olarak kırılma veya plastik hale geçme olayının dış ve ortalama faktörlerini bulmakla yetinmek zorundayız.
- ✓ Tarih boyunca bir çok varsayım, geçerliliği deneylerle kanıtlanamadığından terkedilmiştir.

# MEKANİK ÖZELLİKLER



✓ Statik yükleme hali için cisimlerin kırılma veya plastik hale geçişinde, başka başka faktörleri sorumlu tutan çeşitli varsayımlar üç ana grupta toplanabilir.

- a) Gerilme varsayımları
- b) Şekil değiştirme varsayımları,
- c) Enerji varsayımları.

✓ Söz konusu varsayımların ayrı ayrı incelenmesi ileri mukavemet konularından olup, bu dersin kapsamı dışındadır.



Dokuz Eylül Üniversitesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü



**İNŞ2023 YAPI MALZEMESİ I**

# **ŞEKİL DEĞİŞTİRME ve DAYANIM**

*Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA*  
[www.caglaryalcinkaya.com](http://www.caglaryalcinkaya.com)

# MALZEMELERİN ŞEKİL DEĞİŞTİRME ÖZELLİKLERİ



- ✓ Bir malzemeye gerilme uygulandığında şekli değişir.
- ✓ Gerilme kalkınca malzeme eski durumuna geliyor ise elastik şekil değiştirmeye, gelmiyor ise plastik şekil değiştirmeye uğramış denilir.



- Dış kuvvetlerin tesiri altında bulunan herhangi bir cismin şeklinde bazı değişiklikler olur. Çok küçük büyüklüklerde olan bu değişiklikler cismin boyut ve açılarında meydana gelir. Bu değerler ancak özel aletlerle ölçülebilir. Ölçüm teknikleri ve şekil değişimi-gerilme ilişkilerinin deneysel olarak incelenmesi ayrı bir bilim dalı (deneysel gerilme analizi) olarak gelişmiştir.

# ŞEKİL DEĞİŞTİRME



- ✓ Dış kuvvetlerin tesiri altında bulunan herhangi bir cismin şeklinde bazı değişiklikler olur.
- ✓ Malzemelerdeki şekil değiştirme yalnızca dış kuvvetlerin etkisi ile oluşmaz. Bir takım fiziksel ve kimyasal tesirler de cisimlerin şekil değişimine neden olabilir.
- ✓ Örneğin, ısıнын cisimlerde bir genleşme oluşturduğu bilinen bir gerçektir. Bu arada, çimento kullanılarak yapılan yapı malzemelerinde su miktarında olabilecek bir azalma malzemede büzülme "rötre" adı verilen bir olaya yol açar.
- ✓ Ayrıca çevre etkisiyle yapı malzemesi bünyesinde kimyasal reaksiyonlar sonucunda bazı değişimler olabilir.

# ŞEKİL DEĞİŞTİRME

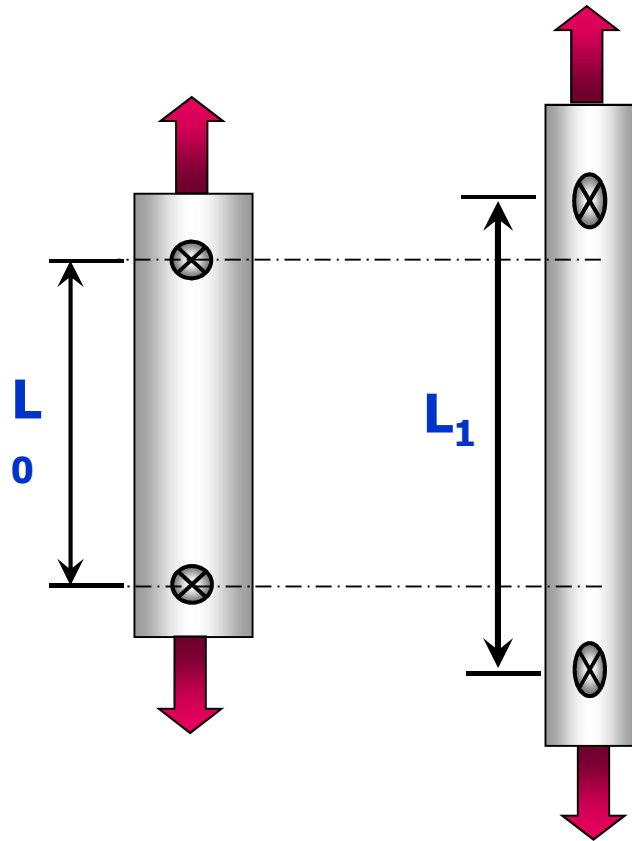


- ✓ Şekil değiştirme yapı mühendisliği bakımından çok önemli bir kavramdır. Büyüklüğünün bilinmesi özellikle hiperstatik (fazla bağlı) sistemlerin çözümü için çok gereklidir.
- ✓ Ayrıca betonarme gibi beton ve çeliğin ortaklaşa çalıştığı malzemelerde her iki cismin aynı miktarda şekil değişimi yapması gerekmektedir. Böyle bir durumun sağlanabilmesi ancak her iki malzemenin şekil değiştirmelerini ayrı ayrı incelemekle sağlanabilir.
- ✓ Şekil değişimlerinin bilinmesi özellikle "taşıma gücü" kavramına göre yapılan kesin hesaplar için gereklidir.

# ŞEKİL DEĞİŞTİRME



## BOY DEĞİŞİMİ



✓ Uzama miktarı:

$$\Delta L = L_1 - L_0$$

✓ Birim şekil değiştirme:

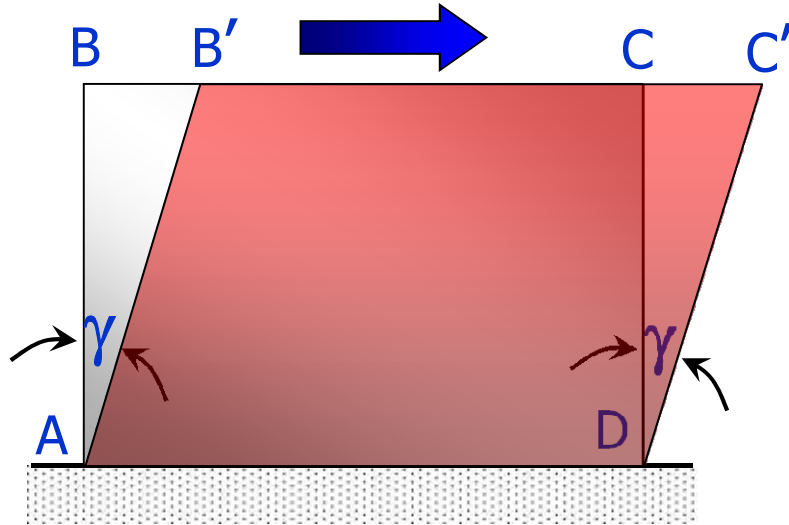
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{(L_1 - L_0)}{L_0}$$

# ŞEKİL DEĞİŞTİRME



## AÇI DEĞİŞİMİ



✓ Dik açı olan ADC açısı, kuvvet uygulaması sonucunda 90°'den  $\gamma$  açısı kadar fark eder.

✓ Bu değişme miktarına "**kayma açısı**" denir.

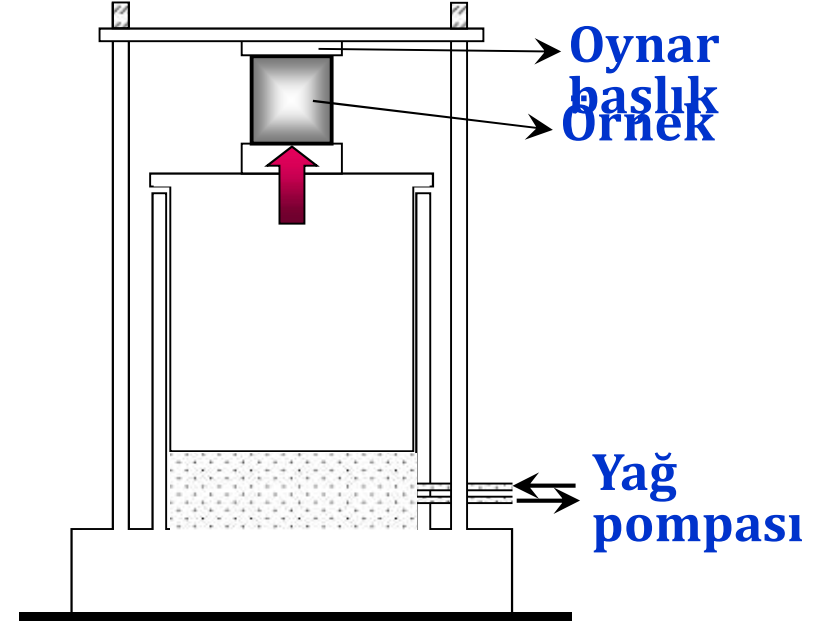
✓ Bu açı genel olarak küçüktür ve radyan cinsinden

$$\gamma = \tan (\gamma) = \frac{|CC'|}{|CD|}$$

# **BASINÇ DENEYİ ve BASINÇ DAYANIMI**



# BASINÇ DENEYİ ve BASINÇ DAYANIMI



- ✓ Yükleme çerçevesine -yüksekliği ayarlanabilir bir üst tabla ile oynar ve hareketli alt tabla arasına- deney örneği yerleştirilir.
- ✓ Alt tablanın altındaki pistonun silindrine bir pompa yardımıyla yağ basılır.

# BASINÇ DENEYİ ve BASINÇ DAYANIMI



✓ Yağın basıncı alt tablayı yukarı yönde iterek örneğin kırılmasına yol açar.

✓ Bu arada haznedeki basınç kuvveti bir dinanometre ile ölçülür.



✓ Örneğe uygulanan gerilmenin üniform dağılmasının sağlanması için, örnek yüzeylerinin pürüzlü olmaması gerekir.

✓ Bu amaçla deney örneklerinin alt ve üst tablaya temas eden yüzeylerine eş dağılımlı gerilmeyi sağlamak amacıyla özel bir karışımdan başlık dökülür.

# BASINÇ DENEYİ ve BASINÇ DAYANIMI



**Mekanik  
komperatör**

- ✓ Malzemenin yük-şekil  
değişirme ilişkisi tespit  
edilmek istendiğinde yükleme  
sırasında mekanik komperatör  
veya dijital deformasyon  
ölçerler kullanılır.



**Strain gauge**



# BASINÇ DENEYİ ve BASINÇ DAYANIMI



$$\sigma = \frac{P}{A}$$

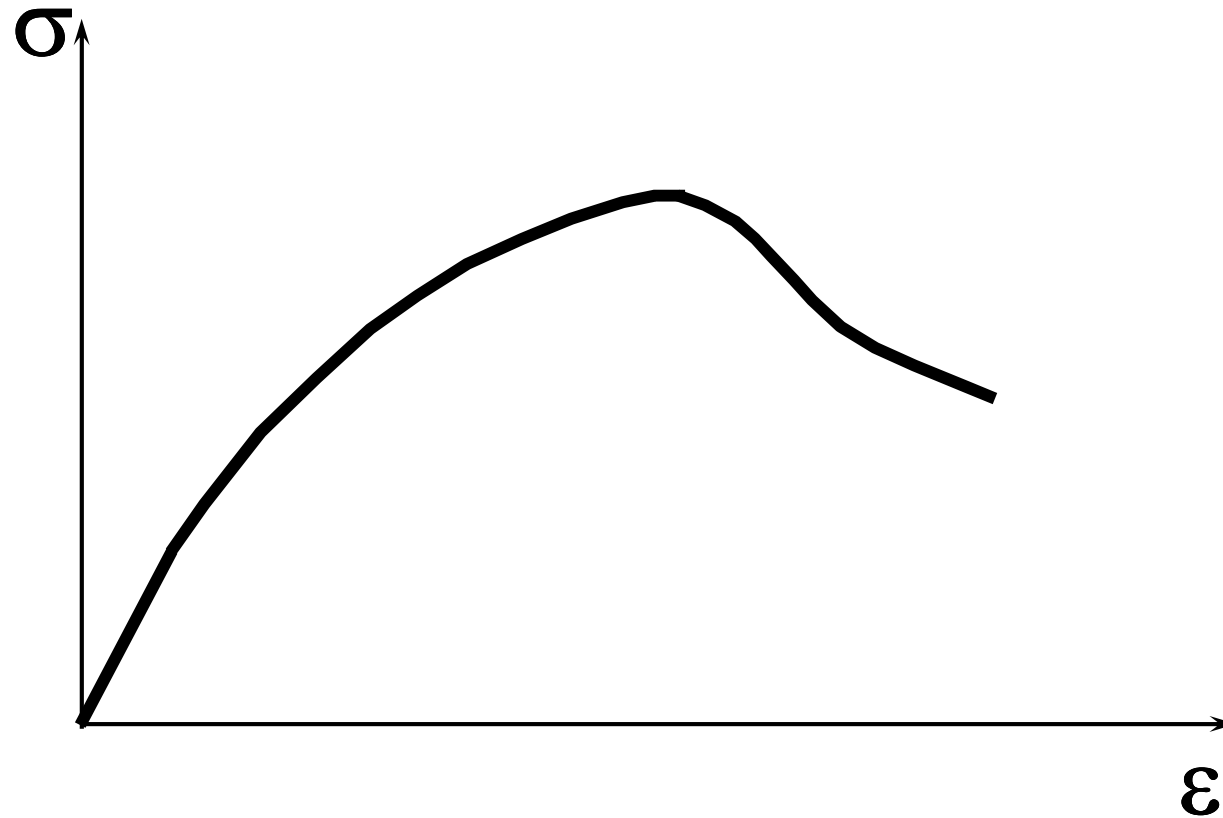


$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

# BASINÇ DENEYİ ve BASINÇ DAYANIMI



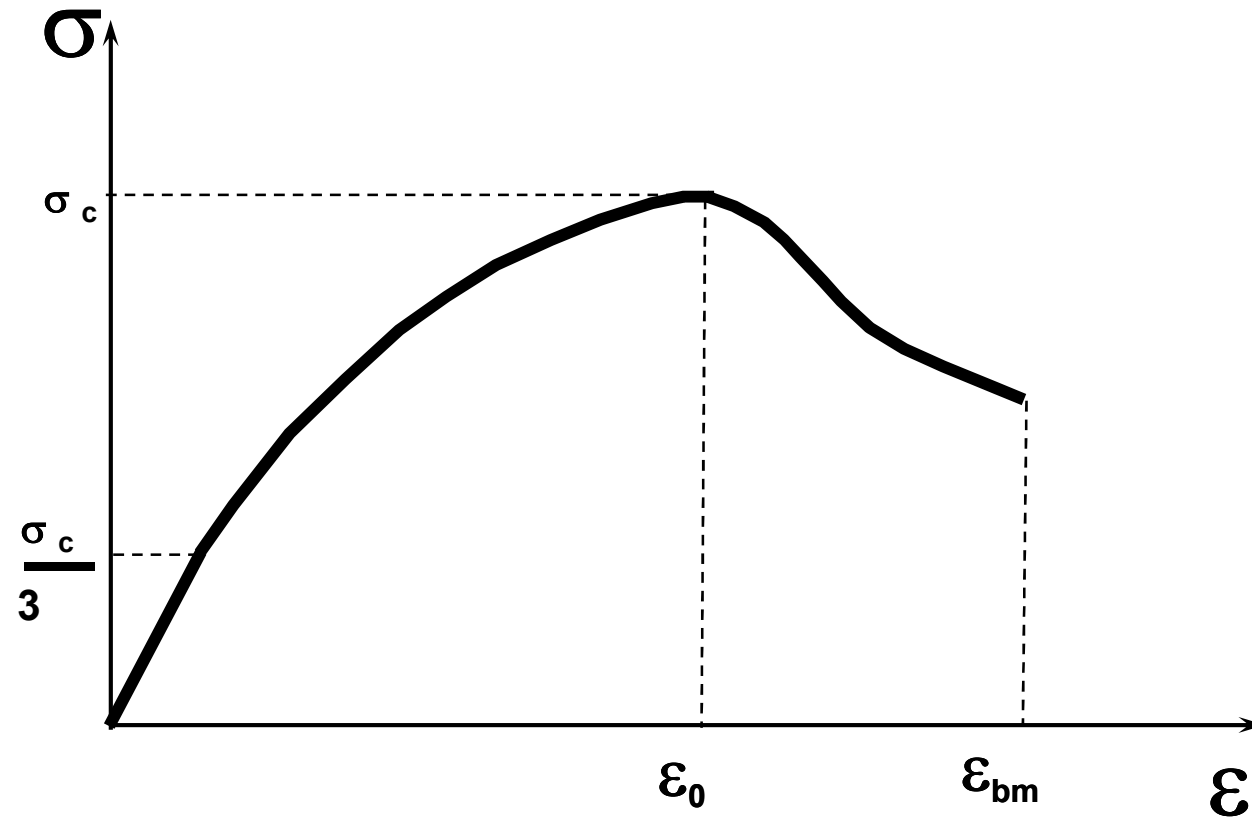
- **BETONUN  $\sigma$ - $\epsilon$  DAVRANIŞI**



# BASINÇ DENEYİ ve BASINÇ DAYANIMI



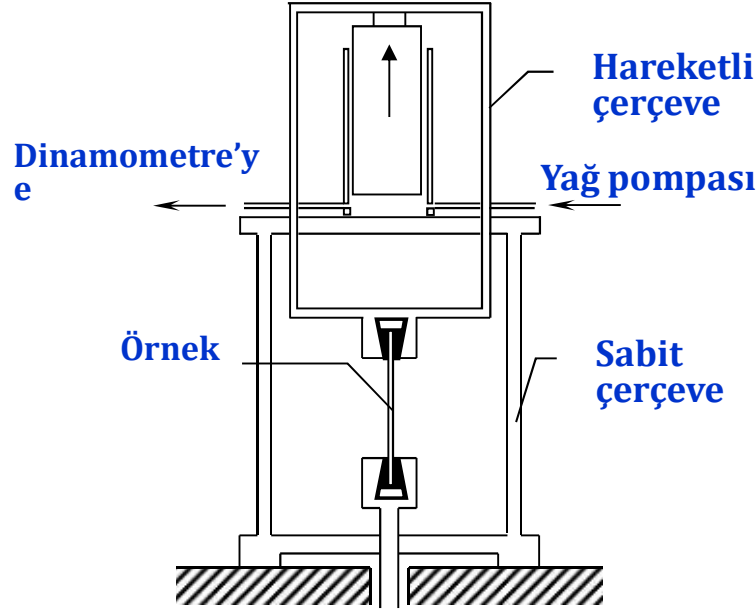
- BETONUN  $f$ - $\epsilon$  DAVRANIŞI



# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



- ✓ Çekme deneyi silindirik veya prizmatik çubuklara eksen doğrultusunda çekme kuvveti uygulamak suretiyle yapılır.
- ✓ Silindire basınçlı yağ sevk edilerek piston yukarı itilir. Pistona bağlı bir çerçeve yukarıya doğru çekilerek çerçeveye bağlı çeneleri yukarı çeker.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



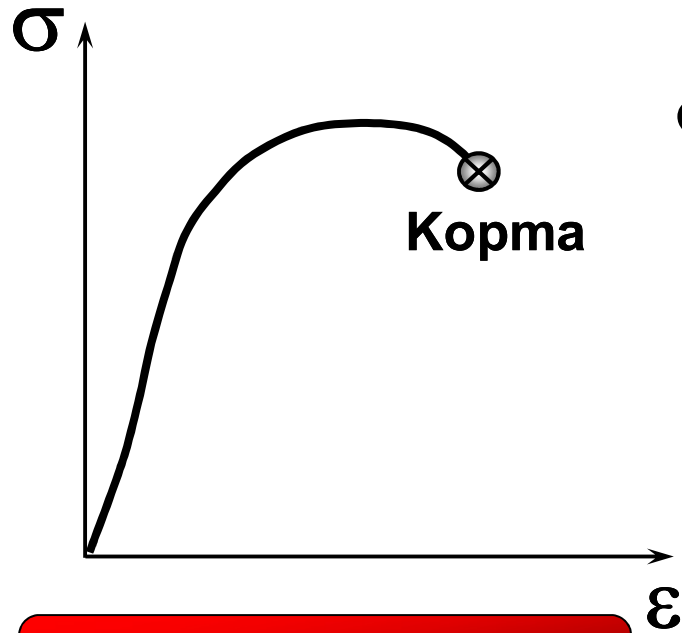
- ✓ Çekme deneyi, malzemelerin eksenî doğrultusunda çekmeye zorlandığı zaman göstermiş olduğu davranışları belirlemek için yapılır.
- ✓ Bir malzeme eksenî doğrultusunda çekmeye zorlandığında boyu uzar, kesiti daralır.
- ✓ Kuvvet uygulanmaya devam edilip plastik deformasyon bölgesine geçilir ise malzemede bazı değişiklikler olduktan sonra kopma meydana gelir.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## Çekme Kuvveti Altında Gerilme-Birim Şekil Değişimi Eğrileri



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

✓ Gerilme, kuvvetin orijinal kesit alanına bölünmesi ile elde edilir.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

✓ Birim şekil değişimi ise kuvvet uygulanması sırasında oluşan çubuk boy değişiminin, kuvvet uygulanmadan önceki ilk çubuk boyuna bölünmesi ile elde edilir.

### Görünür $\sigma$ - $\varepsilon$ Eğrisi



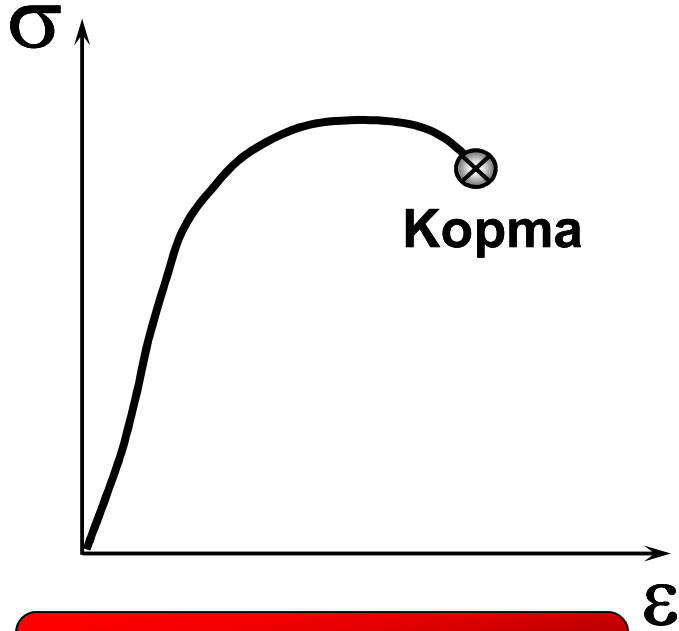
- ✓ Çekme deneyi sırasında kesit alanı hep sabit kalır mı?
- ✓ Çekme deneyi sırasında boy değişimi sabit kalır mı?
- ✓ Gerçekte bu grafik görüldüğü gibi midir?



# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## Çekme Kuvveti Altında Gerilme-Birim Şekil Değişimi Eğrileri



Görünür  $\sigma$ - $\epsilon$  Eğrisi

✓ **Görünür  $\sigma$ - $\epsilon$  Eğrisi:**  
Gerilmeler kuvvetin asıl alana değil ilk alana bölünmesi, birim şekil değişimleri ise, uygulanan kuvvet anındaki oluşan gerçek boya bölünmeyip ilk boya bölünmesi ile elde edilir.

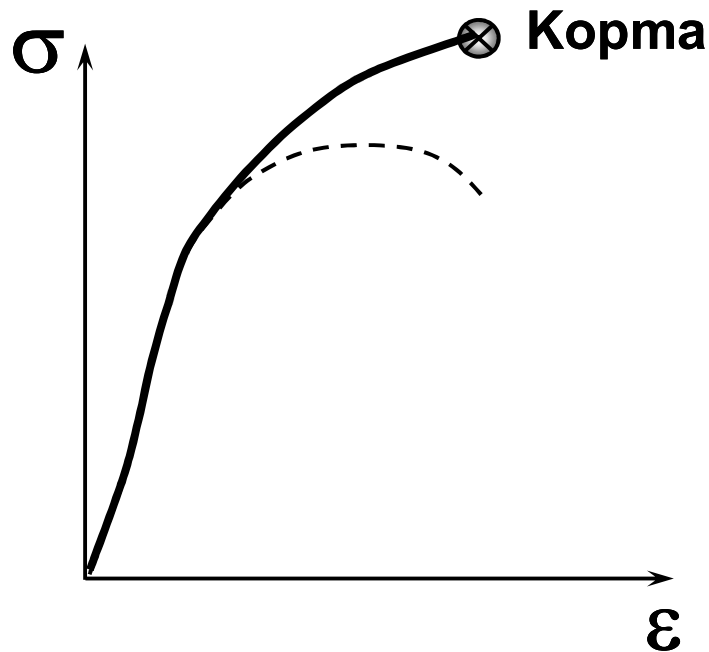
✓ **Bu yüzden gerçek  $\sigma$ - $\epsilon$  Eğrisi değildir.**

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## Çekme Kuvveti Altında Gerilme-Birim Şekil Değişimi Eğrileri

### Gerçek $\sigma$ - $\epsilon$ Eğrisi



✓ Gerilmeler kuvvetin asıl alana değil ilk alana bölünmesi, birim şekil değişimleri ise, uygulanan kuvvet anındaki oluşan gerçek boya bölünmeyip ilk boya bölünmesi ile elde edilir

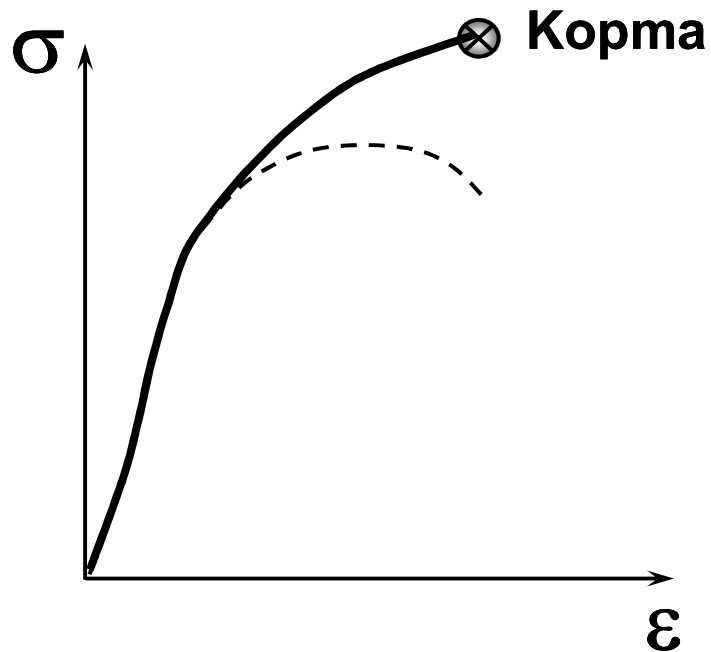
✓ Özellikle büyük gerilmelerde **asıl alan ( $A_i$ )** **orijinal alandan ( $A_o$ )** **oldukça küçüktür** ve önemli farklılıklar gösterir.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## Çekme Kuvveti Altında Gerilme-Birim Şekil Değişimi Eğrileri

### Gerçek $\sigma$ - $\epsilon$ Eğrisi



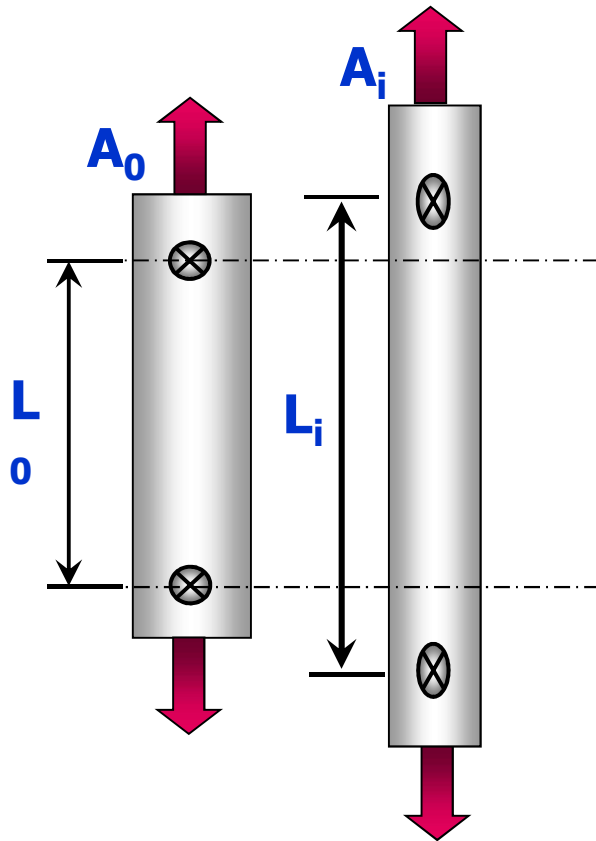
✓ Gerçek alan  $A_i$ ,  
 $P_i$  kuvveti altındaki çubuğun kesit  
alanını göstermekte olup  
 $A_i < A_o$  dır.

✓ Bu nedenle gerçek gerilmeler,  
 $\sigma_t > \sigma$  olur.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## Çekme Kuvveti Altında Gerilme-Birim Şekil Değişimi Eğrileri



$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{(L_i - L_0)}{L_0} = \frac{L_i}{L_0} - \frac{L_0}{L_0} = \frac{L_i}{L_0} - 1$$

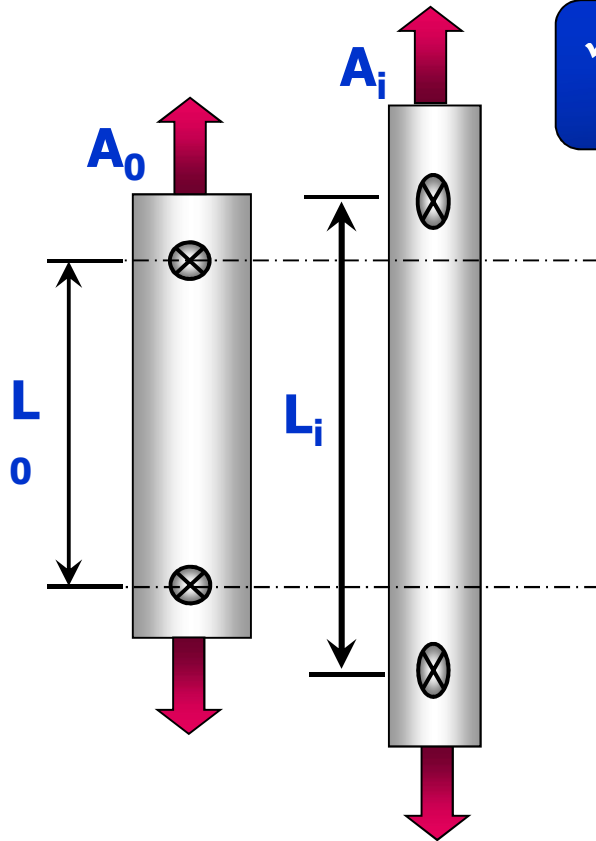
$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{L_i}{L_0} - 1 \Rightarrow \varepsilon + 1 = \frac{L_i}{L_0}$$

$$\Rightarrow L_i = L_0 (1 + \varepsilon)$$

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## Çekme Kuvveti Altında Gerilme-Birim Şekil Değişimi Eğrileri



✓ Çubuğun hacminde özellikle plastik şekil değişimleri bölgesinde bir değişiklik olmadığından,

$$A_i \times L_i = A_0 \times L_0 \text{ veya } \frac{L_i}{L_0} = \frac{A_0}{A_i}$$

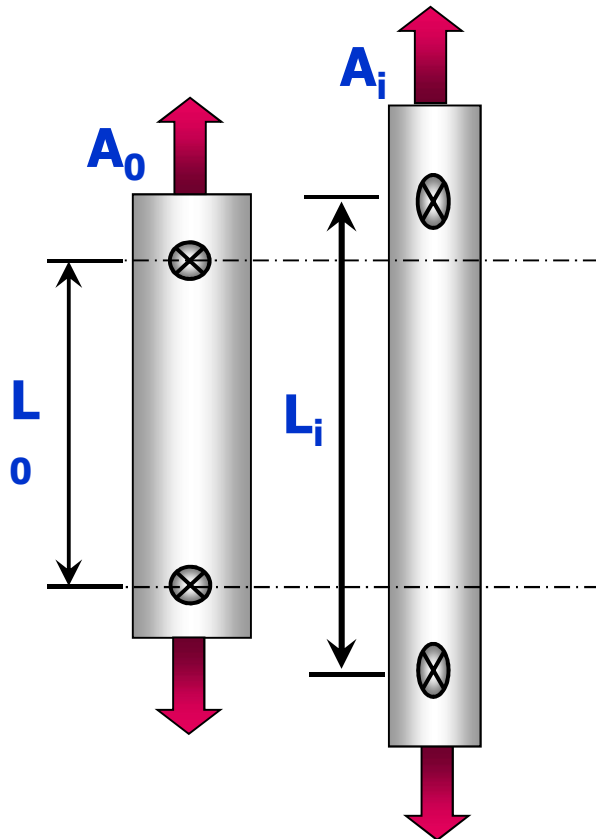
$$\Rightarrow L_i = L_0 (1 + \varepsilon) \text{ olduğundan}$$

$$\Rightarrow A_0 = A_i (1 + \varepsilon) \text{ yazılabilir.}$$

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## Çekme Kuvveti Altında Gerilme-Birim Şekil Değişimi Eğrileri



**Gerçek gerilme**

$$\sigma_t = \frac{P_i}{A_i} = \frac{P_i}{\frac{A_0}{(1 + \varepsilon)}}$$

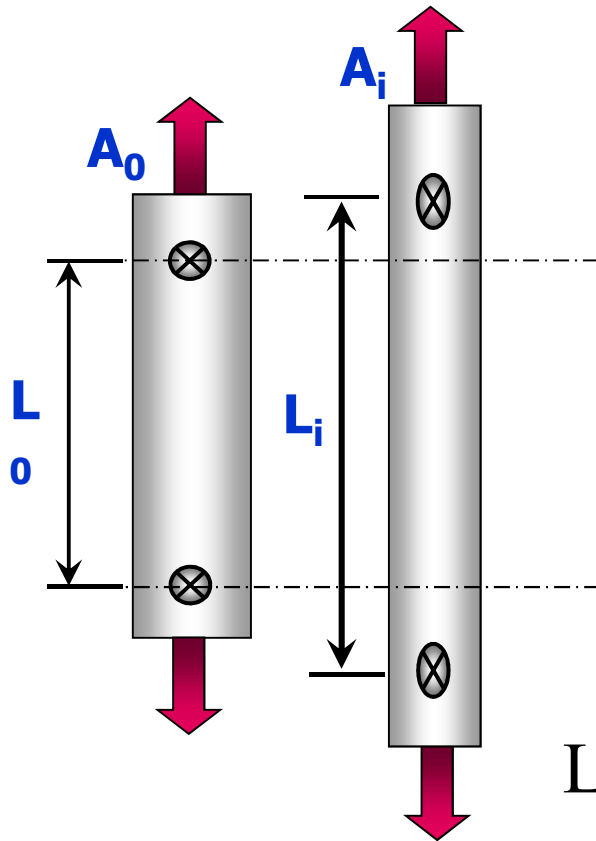
$$\Rightarrow \sigma_t = \sigma (1 + \varepsilon)$$

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## Çekme Kuvveti Altında Gerilme-Birim Şekil Değişimi Eğrileri

### Gerçek birim şekil değişimi



$$\epsilon_t = \frac{L_1 - L_0}{L_0} + \frac{L_2 - L_1}{L_1} + \dots + \frac{L_i - L_{i-1}}{L_{i-1}}$$

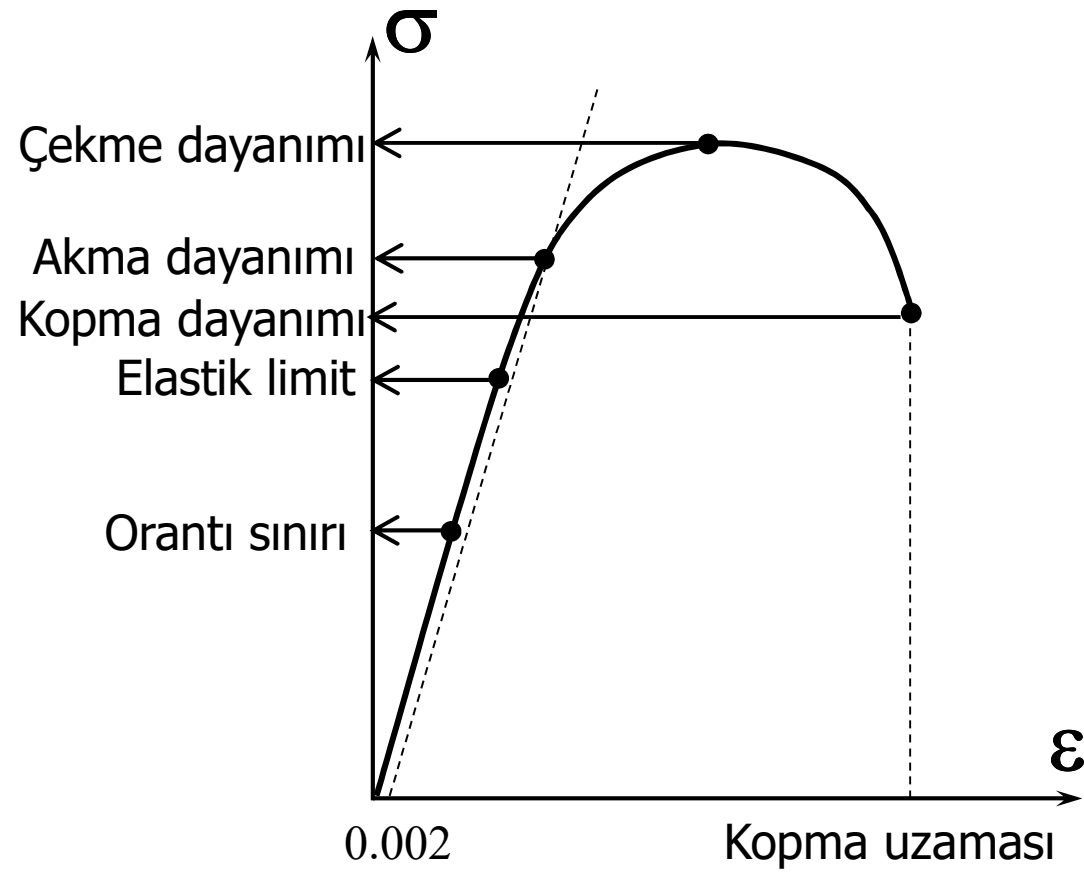
$$\Rightarrow \epsilon_t = \int_{L_0}^{L_i} \frac{dL}{L} = \ln \frac{L_i}{L_0}$$

$$L_i = L_0(1 + \epsilon) \text{ idi} \quad \epsilon_t = \ln(1 + \epsilon)$$

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



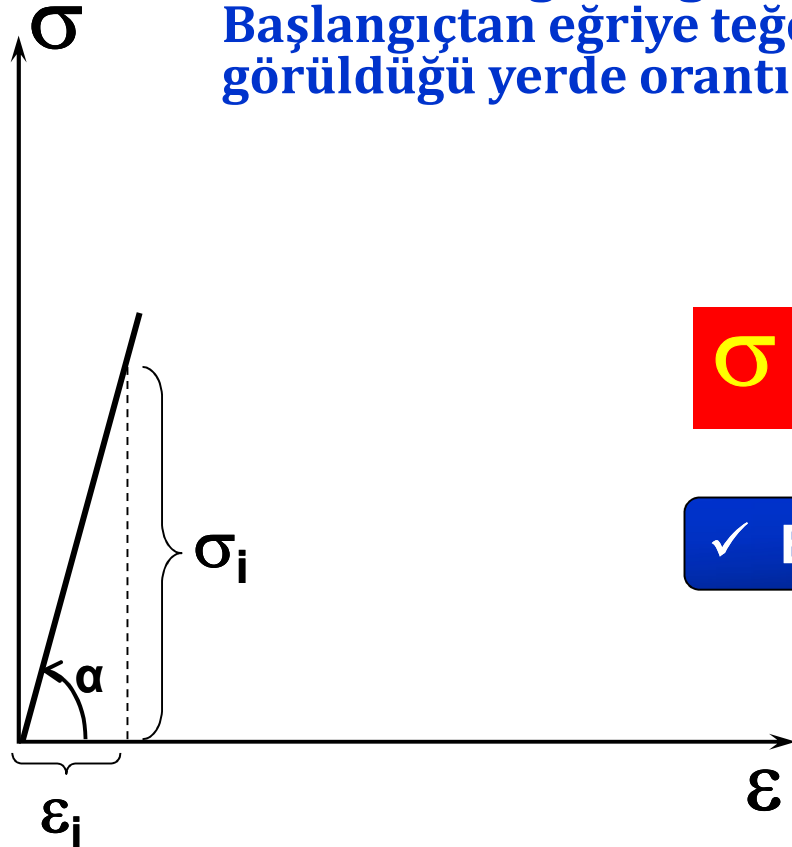
## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\epsilon$ DAVRANIŞI



# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



**Orantı sınırı:** Orantı sınırı gerilmelerin birim şekil değişimlere orantılı olduğu bölgenin en büyük gerilme değeridir. Başlangıçtan eğriye teğet çizilerek, teğetten ilk sapmanın görüldüğü yerde orantı sınırı gözlenir



$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

✓ Hooke yasası

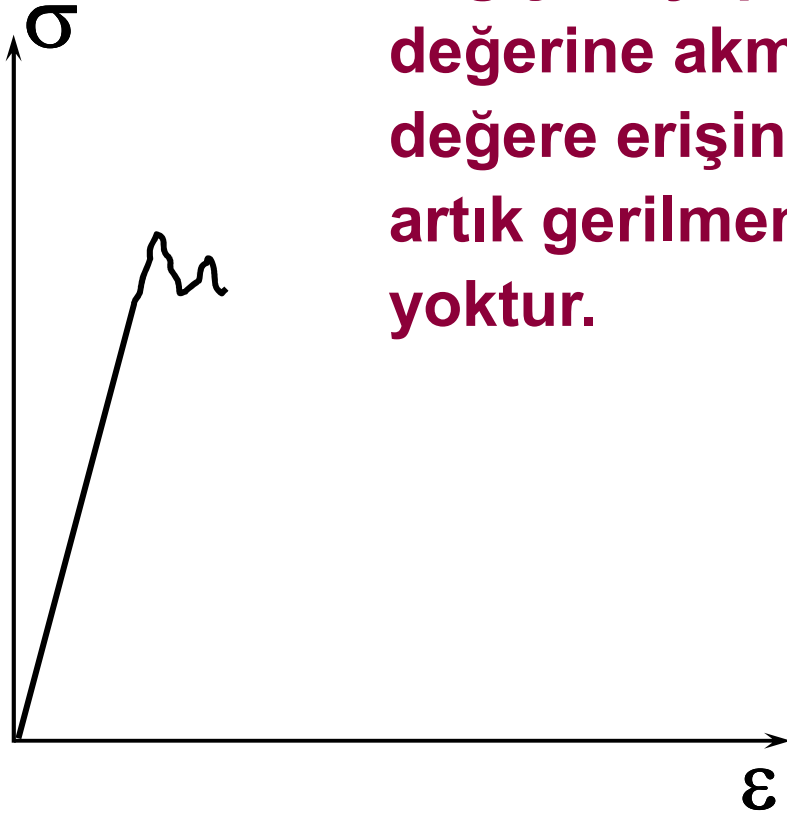
✓ E: Elastisite modülü (young modülü)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \tan(\alpha)$$

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



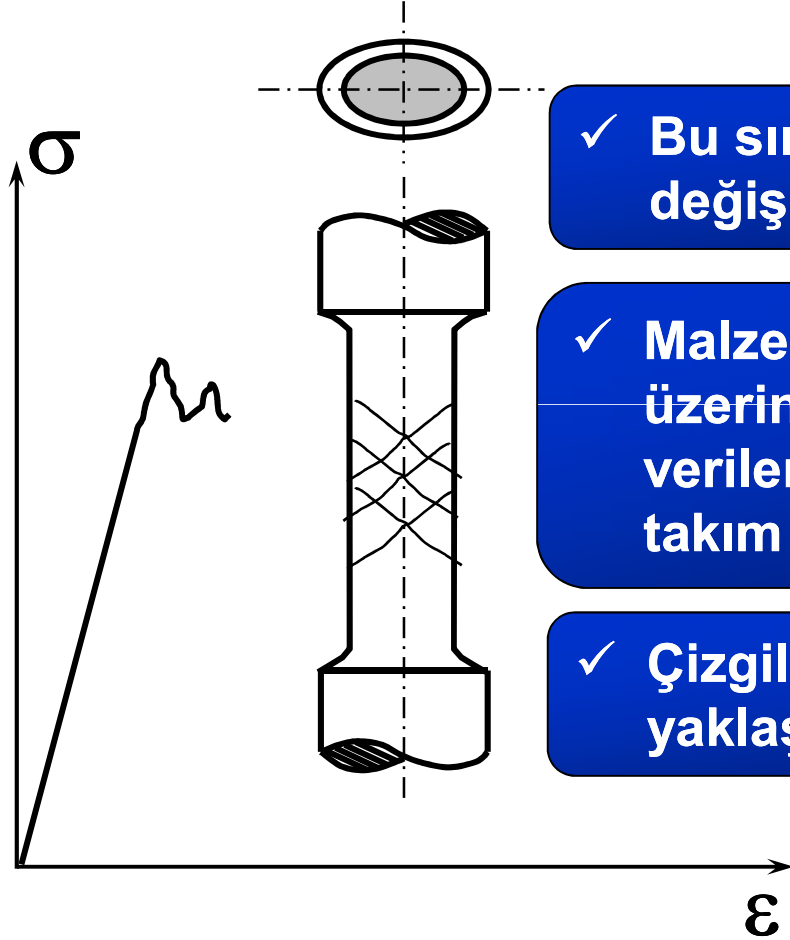
Akma Dayanımı - Malzemenin kalıcı şekil değişimi yapmaya başladığı gerilme değerine akma dayanımı denir. Gerilme bu değere erişince uzamaların artması için artık gerilmenin çoğalmasına gerek yoktur.



✓ Diyagramdaki zikzaklı bölgeye **akma noktası** denilir.

✓ belirli bir kalıcı şekil değiştirmenin meydana geldiği duruma **akma** denilir.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI

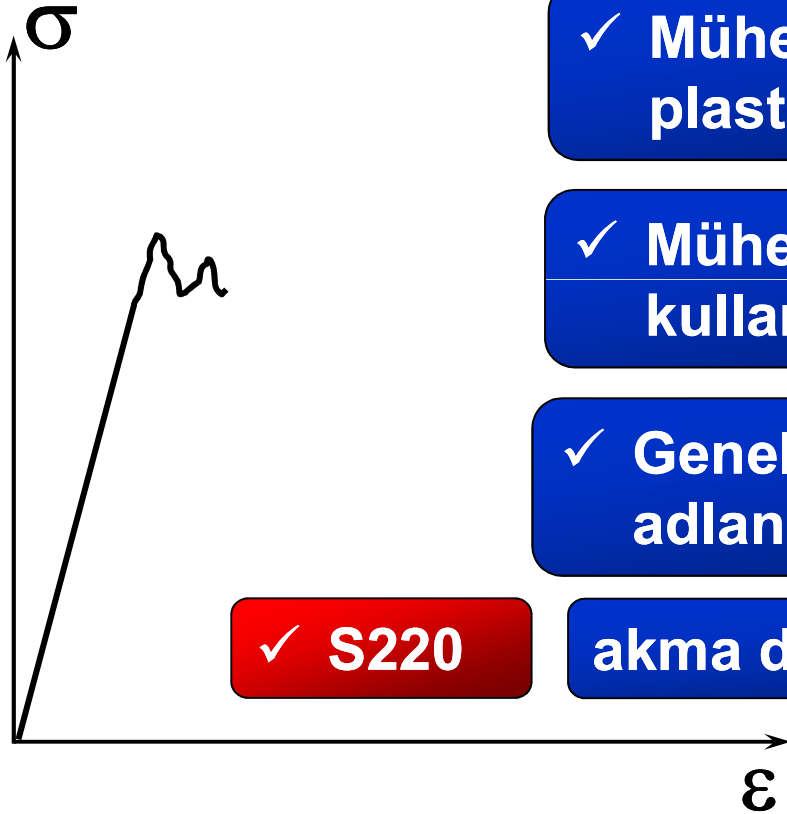


✓ Bu sınırdaki malzeme içinde büyük değişiklikler ve kaymalar olur.

✓ Malzeme ısınır ve deney çubuğunun üzerinde Lüders-Hartmann çizgileri adı verilen ve büyüteçle kolaylıkla görülen bir takım çizgiler belirir

✓ Çizgilerin çekme doğrultusuna göre eğimi yaklaşık  $45^\circ$ 'dir.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



✓ Mühendislik açısından önem taşır, plastik davranışın başladığını belirtir.

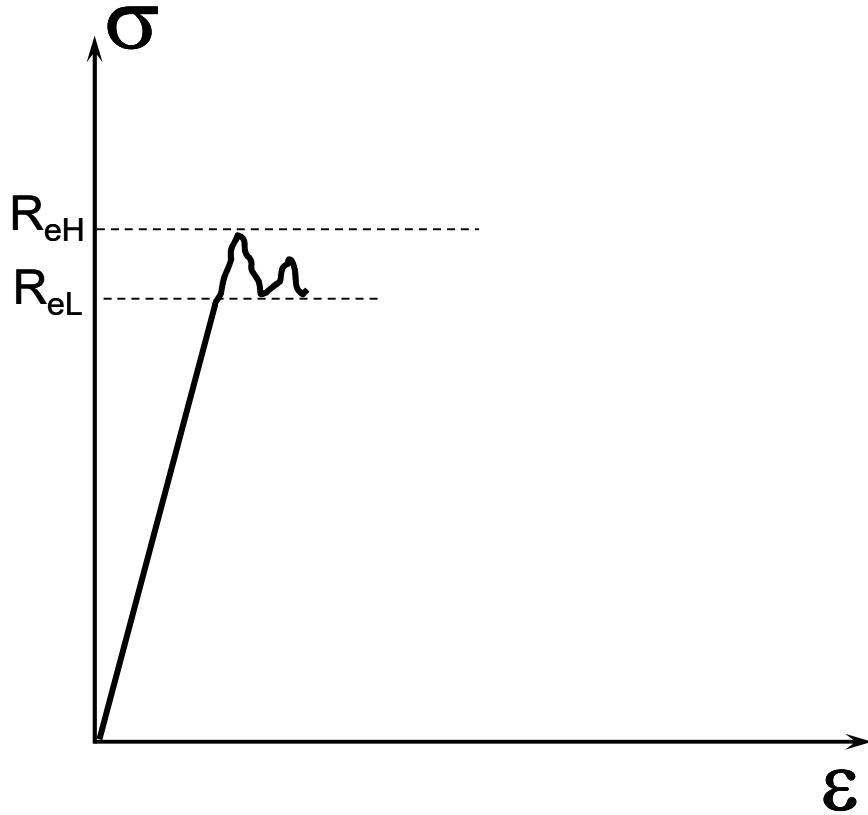
✓ Mühendislik dizaynı ve hesaplarında kullanılır.

✓ Genellikle sünek malzemelerin adlandırılmasında kullanılır.

✓ S220

akma dayanımı 220 MPa olan inşaat çeliği

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI

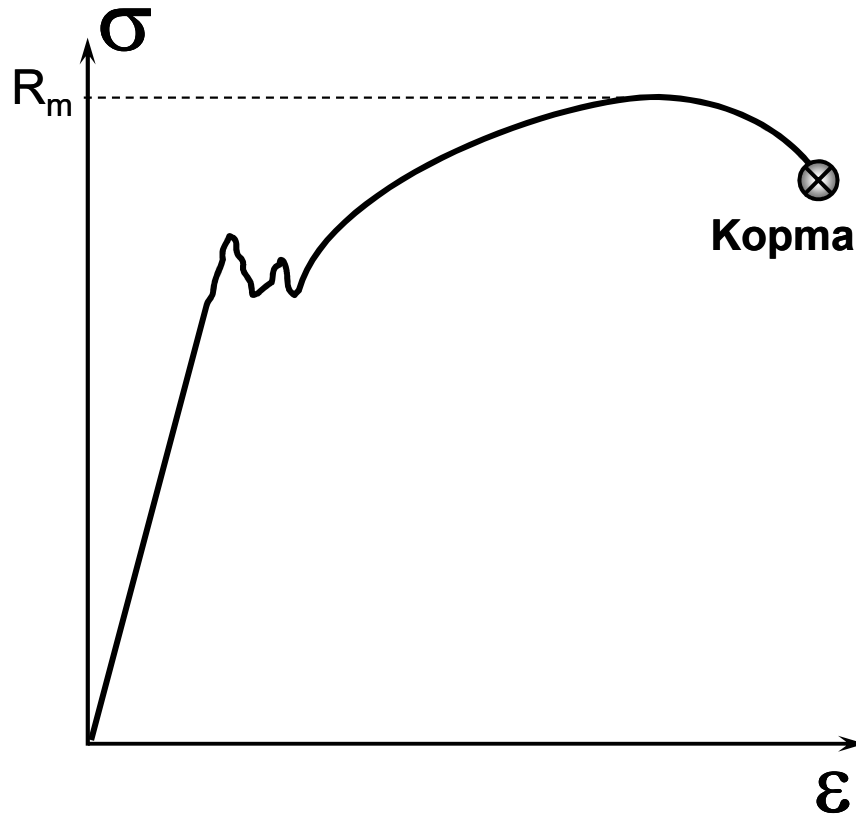


Akmanın ilk başladığı noktaya  
üst akma sınırı (  $R_{eH}$  )

Zikzakların sona erdiği en  
düşük nokta alt akma sınırı  
akma sınırı (  $R_{eL}$  )

Akma dayanımı bazı  
malzemelerde örneğin  
yumuşak çelikte çok  
belirgindir.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI

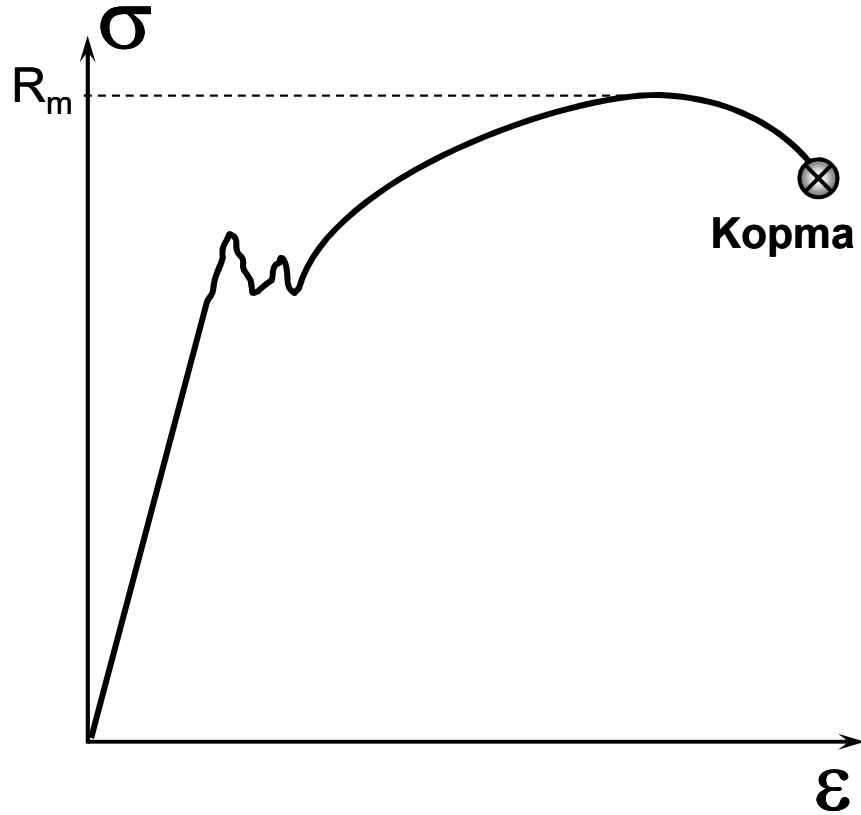


Akma bölgesinden sonra diyagramda tekrar bir yükselme görülür

Birim şekil değiştirmelerin artması ancak gerilmelerin artmasıyla mümkün olur.

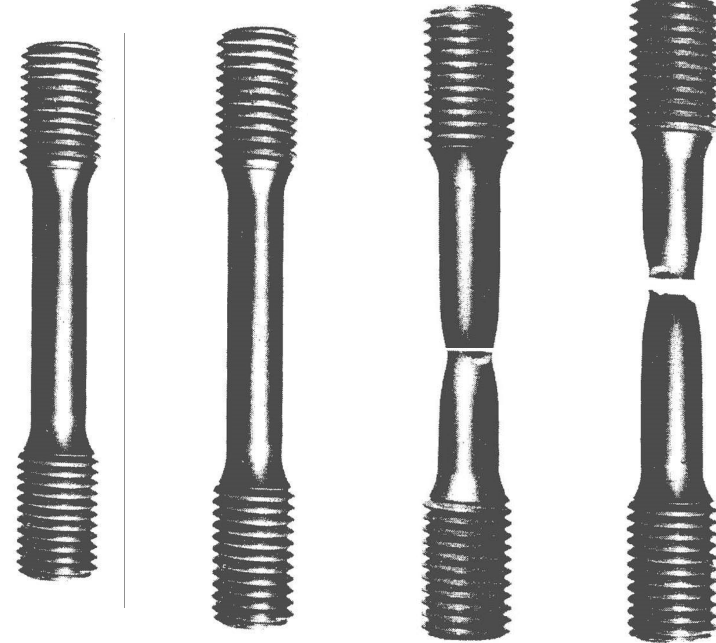
Gerilmenin en büyük değeri  
**Çekme dayanımı (  $R_m$  )**

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI

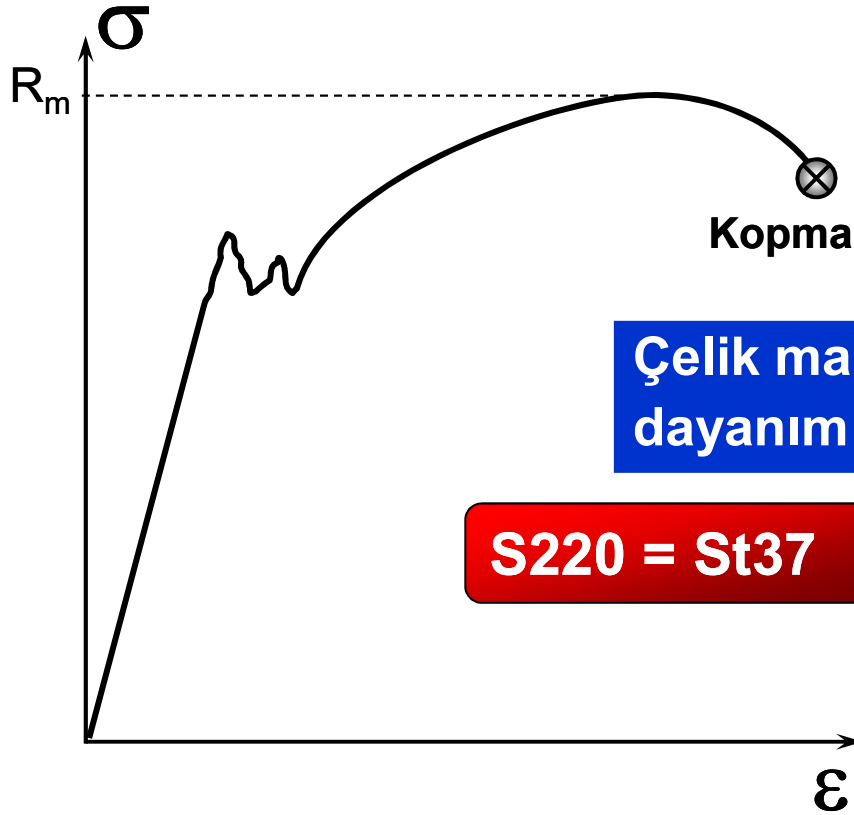


Çekme dayanımı noktasına kadar malzeme homojen uzar.

Bu noktadan sonra kesiti daralarak (boyun verme) kopar.



# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



Hesaplarda akma dayanımı kadar fazla olmamasına rağmen kullanılır.

Çekme dayanımı, gevrek malzemeler için dayanım sınırıdır.

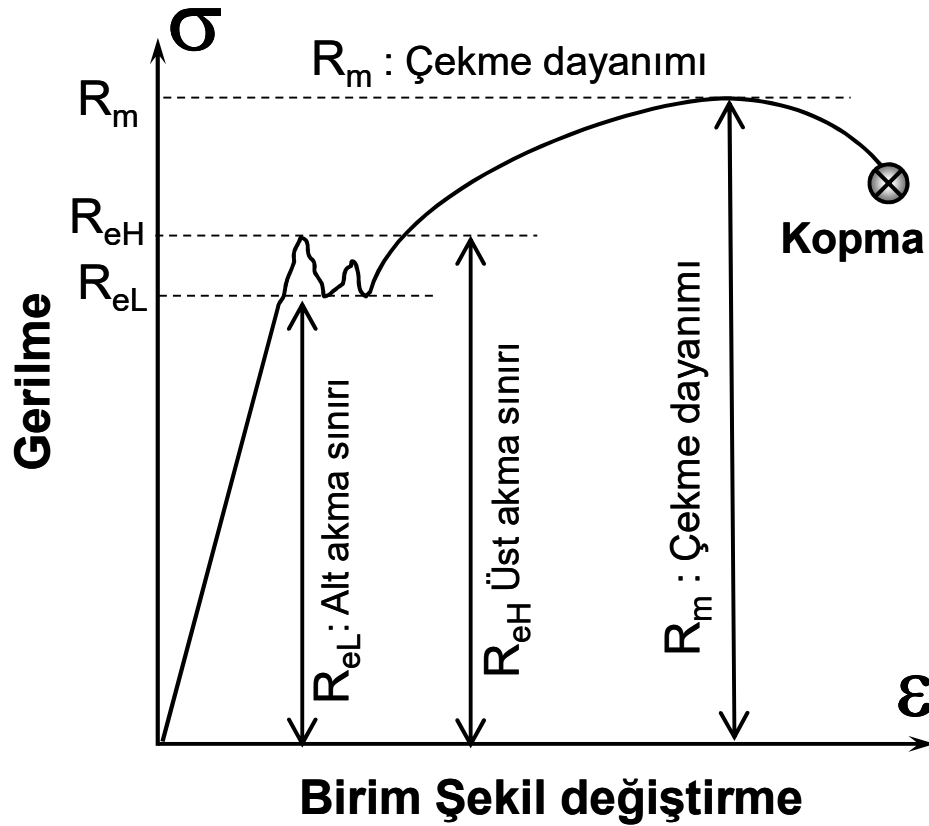
Çelik malzemeler bazı standartlarda çekme dayanım değerleri ile adlandırılırlar.

**S220 = St37**

- ✓ akma dayanımı 220 MPa
- ✓ çekme dayanımı 37 kgf/mm<sup>2</sup> olan inşaat çeliği



## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\epsilon$ DAVRANIŞI



**$R_m$  :** Çekme dayanımı

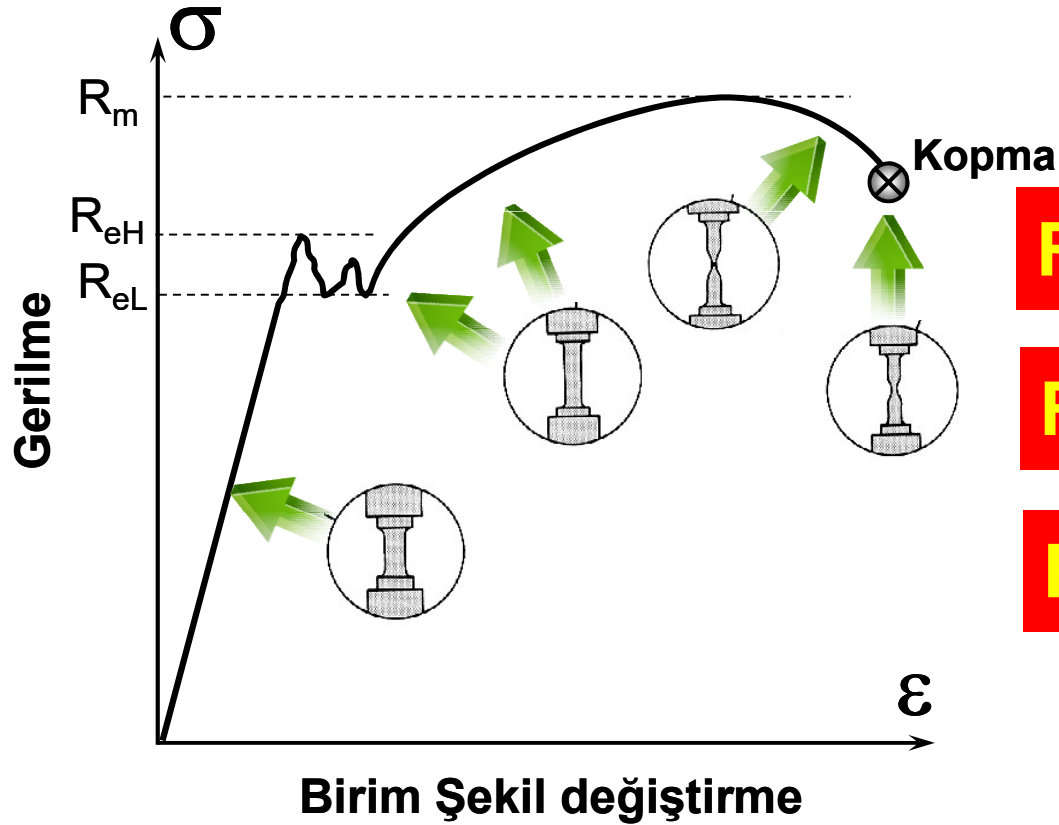
**$R_{eH}$  :** Üst akma sınırı

**$R_{eL}$  :** Alt akma sınırı

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\epsilon$ DAVRANIŞI



**$R_m$  :** Çekme dayanımı

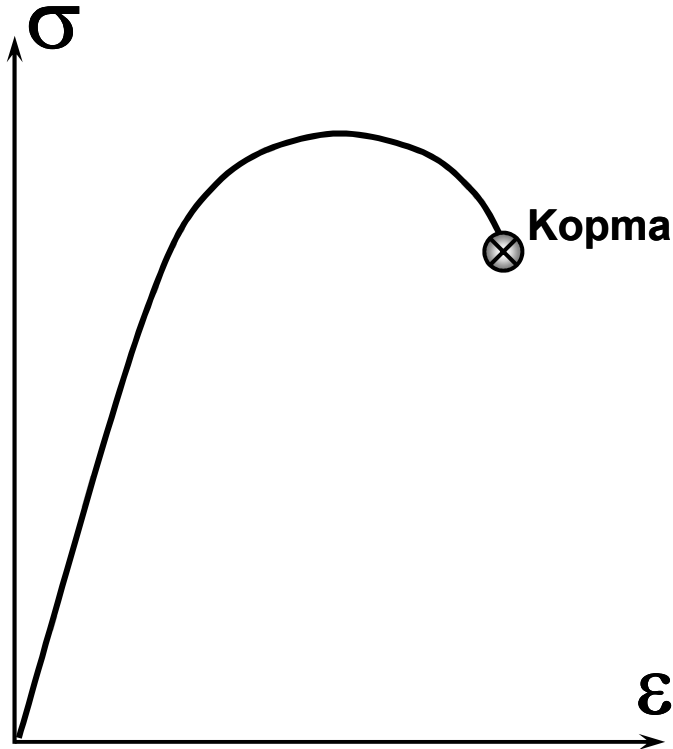
**$R_{eH}$  :** Üst akma sınırı

**$R_{eL}$  :** Alt akma sınırı

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\epsilon$ DAVRANIŞI



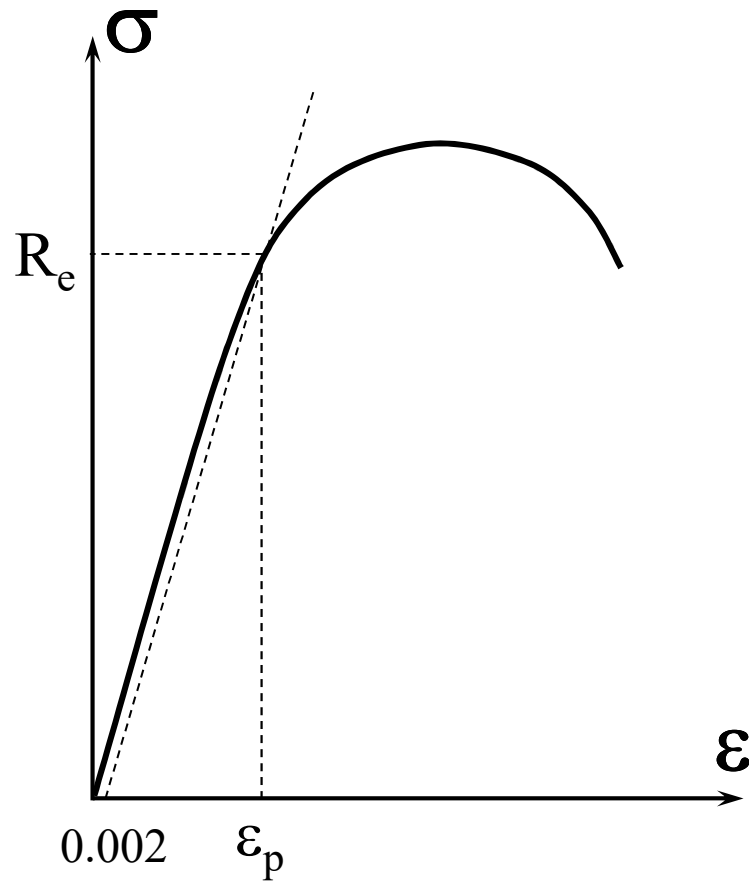
Başlangıçta süreksiz akma gösteren sünek malzemelerde olduğu gibi birim şekil değiştirme kuvvetle orantılı olarak uzamaktadır.

Belirli bir noktada doğrusallık bozulmaktadır.

Bu nokta nasıl belirlenir?



# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI

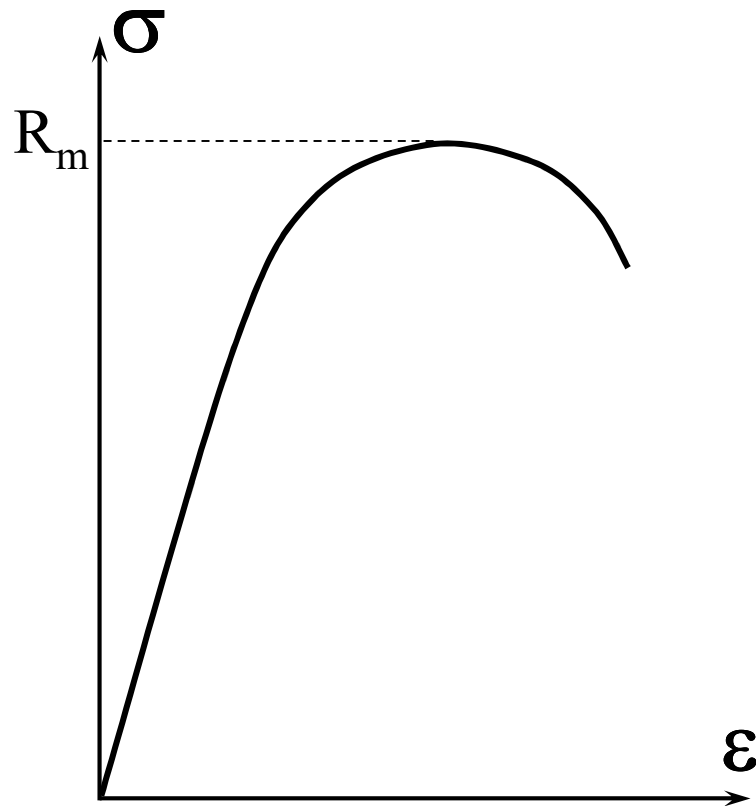


Akma noktası göstermeyen malzemelerde ise belirli bir  $\epsilon_p$  şekil değiştirmenin ( $\epsilon_p$ ) meydana geldiği nokta akma sınırı olarak alınır

Genellikle 0.002 şekil değiştirmenin olduğu noktadan elastik bölgedeki doğruya paralel çizilir.

Eğriyi kestiği nokta **akma sınırı** olarak alınır.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI

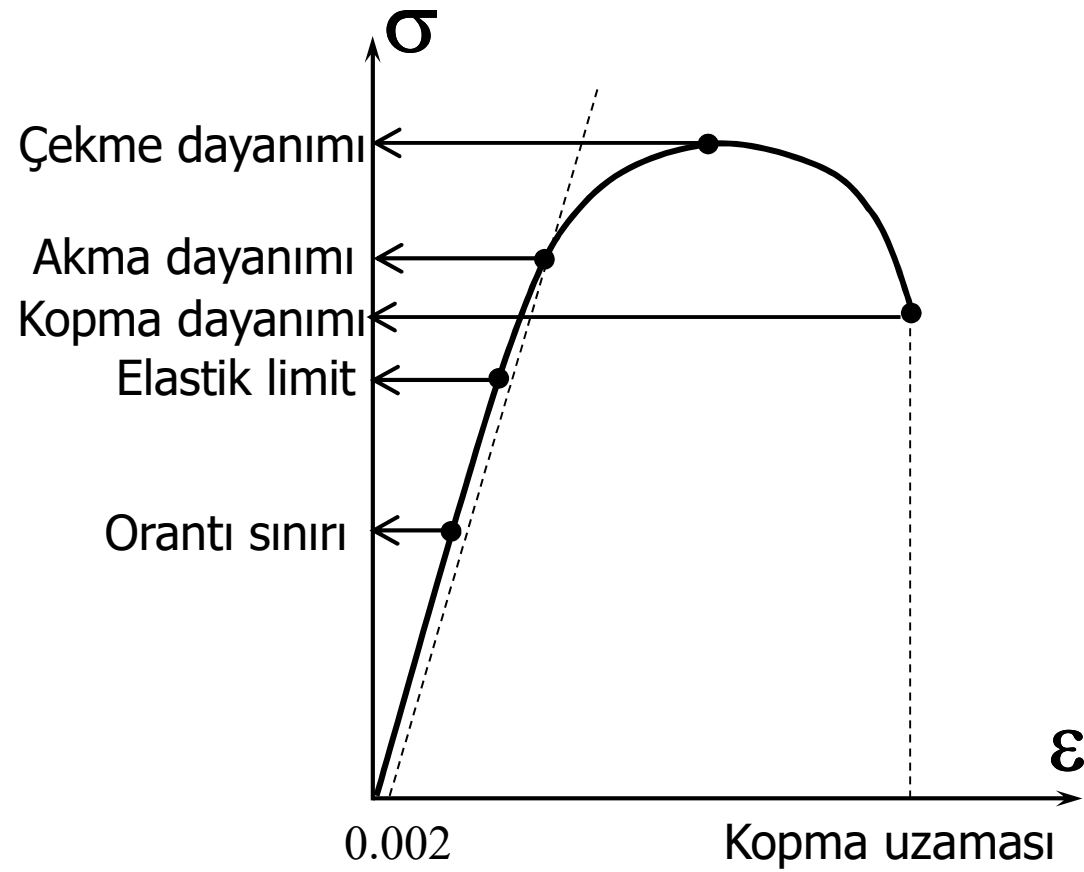


Gerilmenin en büyük değeri  
**Çekme dayanımı (  $R_m$  )**

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



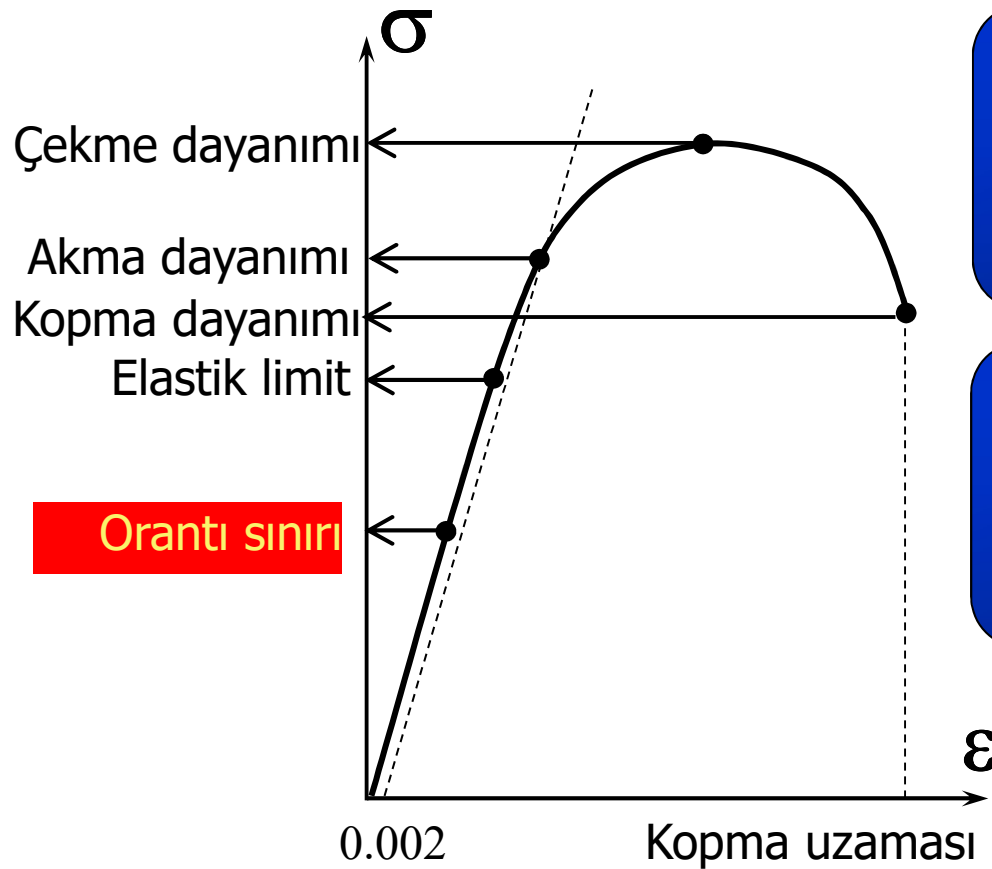
## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\epsilon$ DAVRANIŞI



# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\epsilon$ DAVRANIŞI



### ✓ Orantı Sınırı:

✓ Orantı sınırı gerilmelerin birim şekil değişimlere orantılı olduğu bölgenin en büyük gerilme değeridir.

✓ Başlangıçtan eğriye teğet çizilerek, teğetten ilk sapmanın görüldüğü yerde orantı sınırı gözlenir.

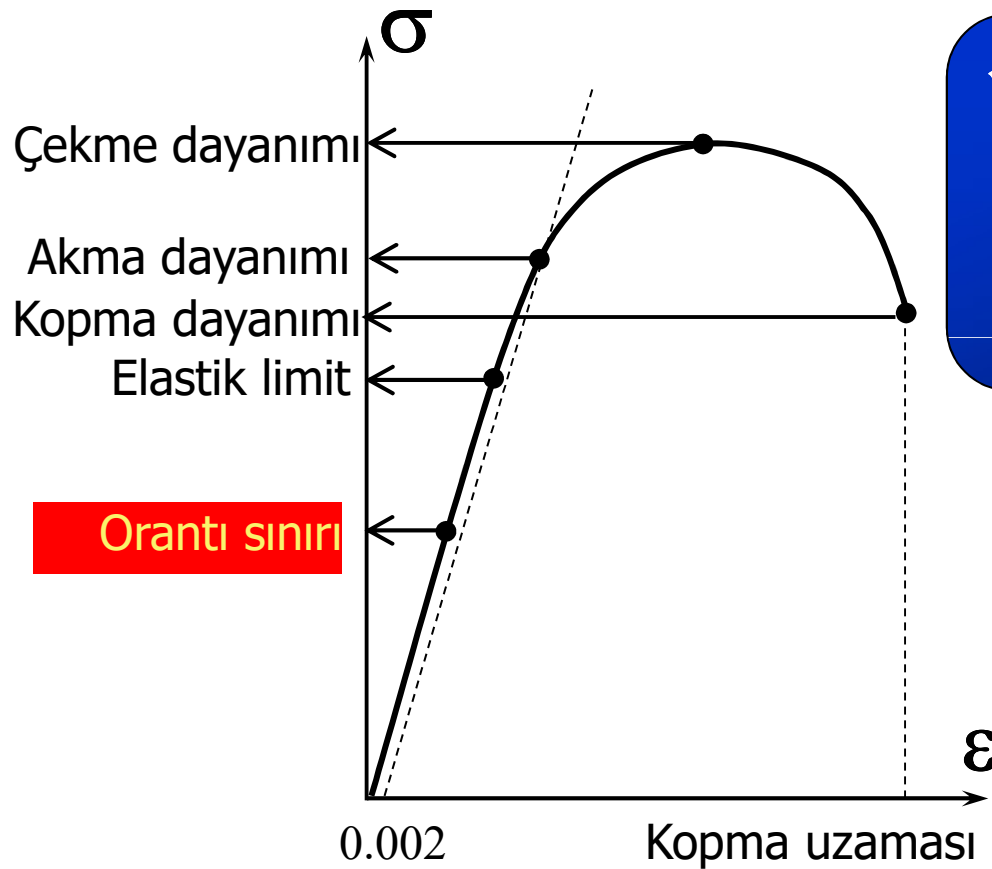
✓ Ölçüm duyarlılığına göre değişir

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\epsilon$ DAVRANIŞI

✓ Orantı Sınırı:



✓ Bu bölgede yapılan ölçmeler göstermiştir ki boyuna uzayan çubukta aynı zamanda bir daralma görülmektedir.

$$\nu = \frac{-\epsilon_e}{\epsilon_b}$$

$\nu$  : Poisson Oranı.

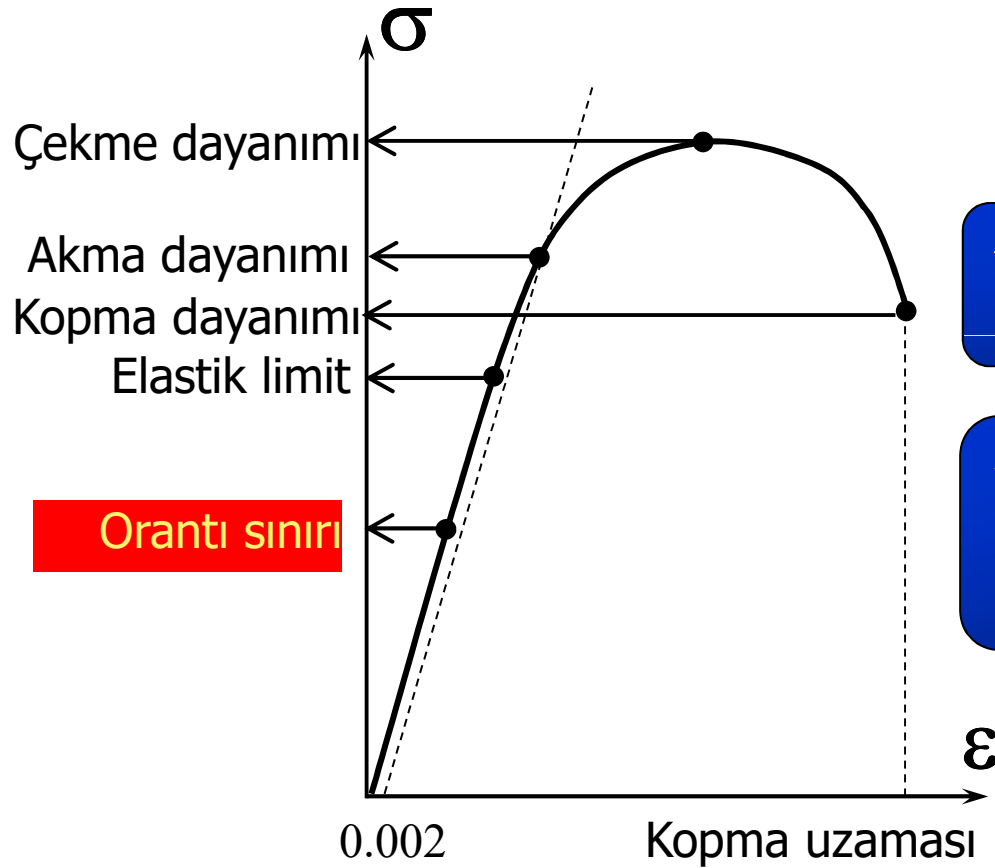
# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\varepsilon$ DAVRANIŞI

✓ Poisson Oranı:

$$\nu = \frac{-\varepsilon_e}{\varepsilon_b}$$



✓ çelik malzemesi için poisson oran 0.3 civarındadır.

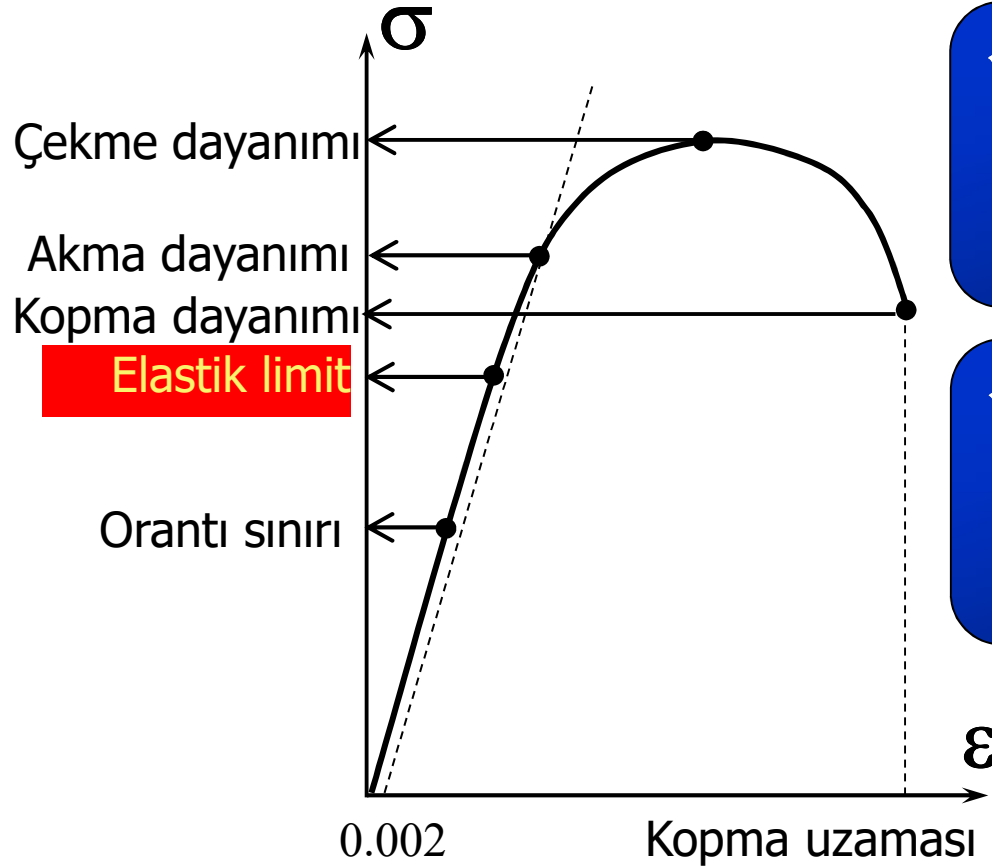
✓ Basınç kuvveti uygulanması halinde, örnekte enine genişleme görülür.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\varepsilon$ DAVRANIŞI

✓ Elastik Limit:



✓ Kalıcı şekil değişimi bırakmadan malzemenin dayanabileceği en fazla gerilme değeridir.

✓ Bu değer kesin olarak saptanabilmesi için örneğin peş peşe devamlı yüklenip boşaltılması gerekir.

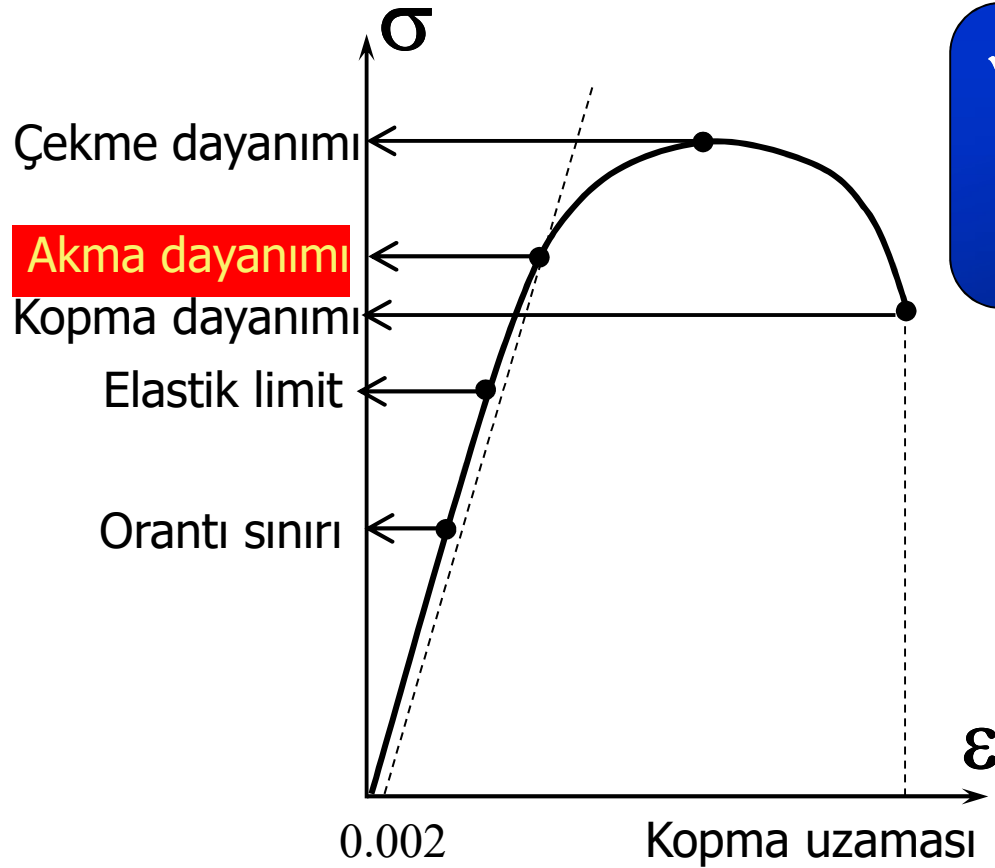
# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\epsilon$ DAVRANIŞI

✓ Akma Dayanımı:

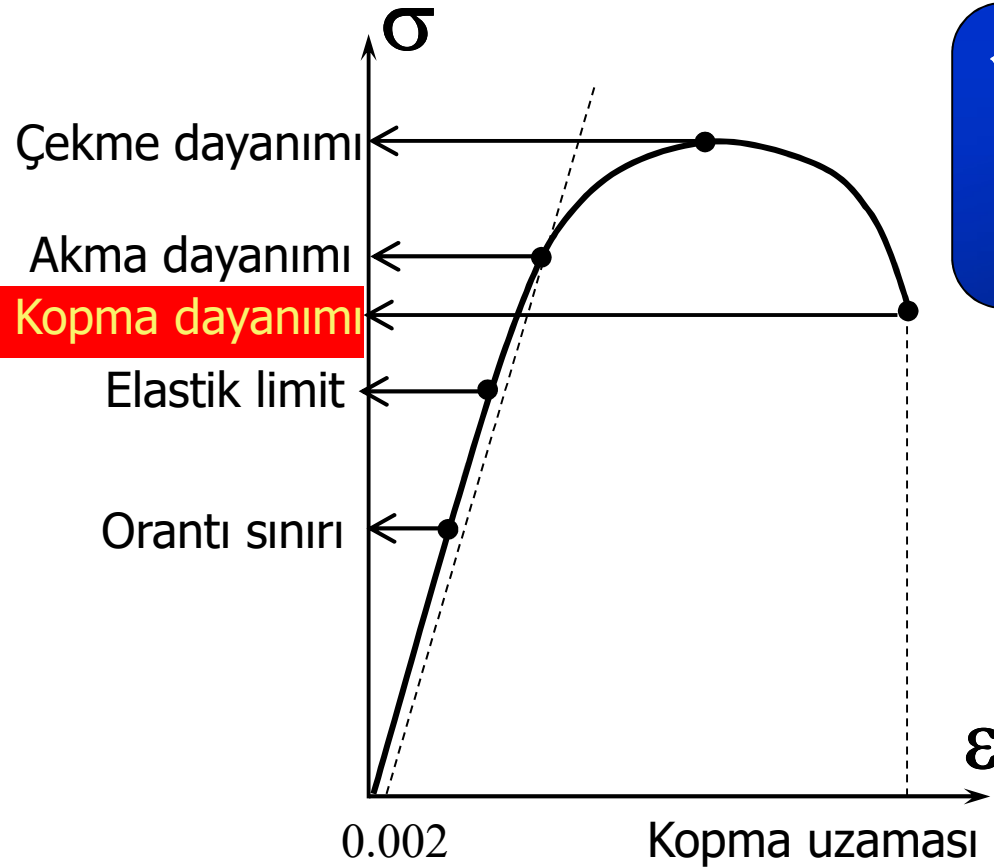
✓ Malzemenin kalıcı şekil değişimi yapmaya başladığı gerilme değerine akma dayanımı denir.



# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\epsilon$ DAVRANIŞI



✓ **Kopma Dayanımı:**

✓ Kırılma (kopma) anında uygulanan yükün orijinal alana bölünmesi ile bulunan gerilmedir.

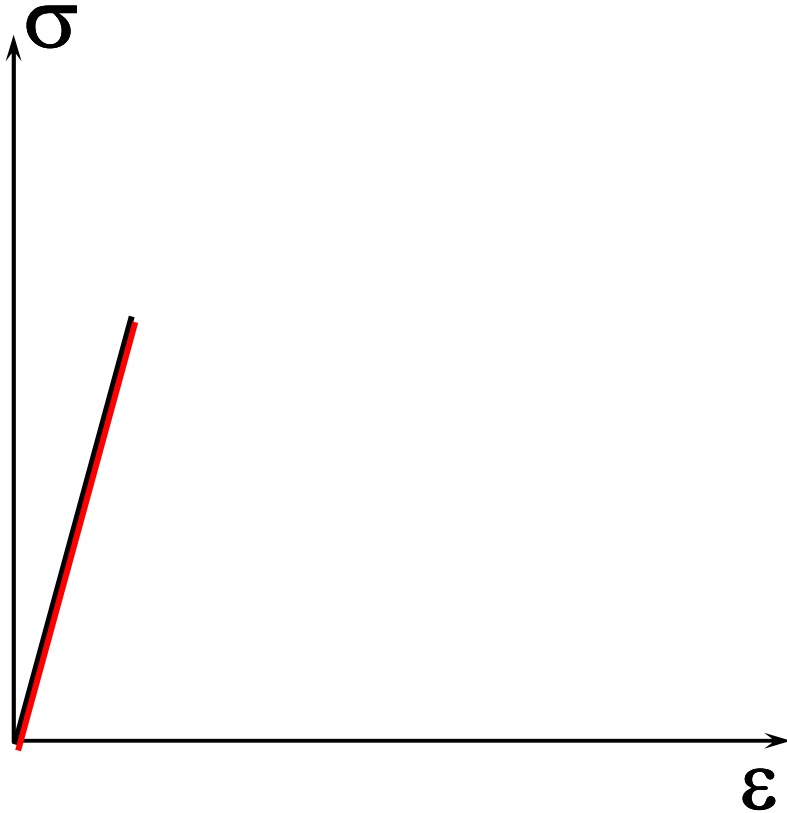
✓ Kopma dayanımı, çekme dayanımından küçük görülmesine rağmen bu kesit daralması olayı sonucu olduğundan gerçekte durum böyle değildir.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\varepsilon$ DAVRANIŞI

✓ Şekil Değiştirme sertleşmesi



✓ Çekme deneyi sırasında elastik bölgede kuvvet bırakılırsa; malzeme ilk haline aynı doğru üzerinden geri döner.

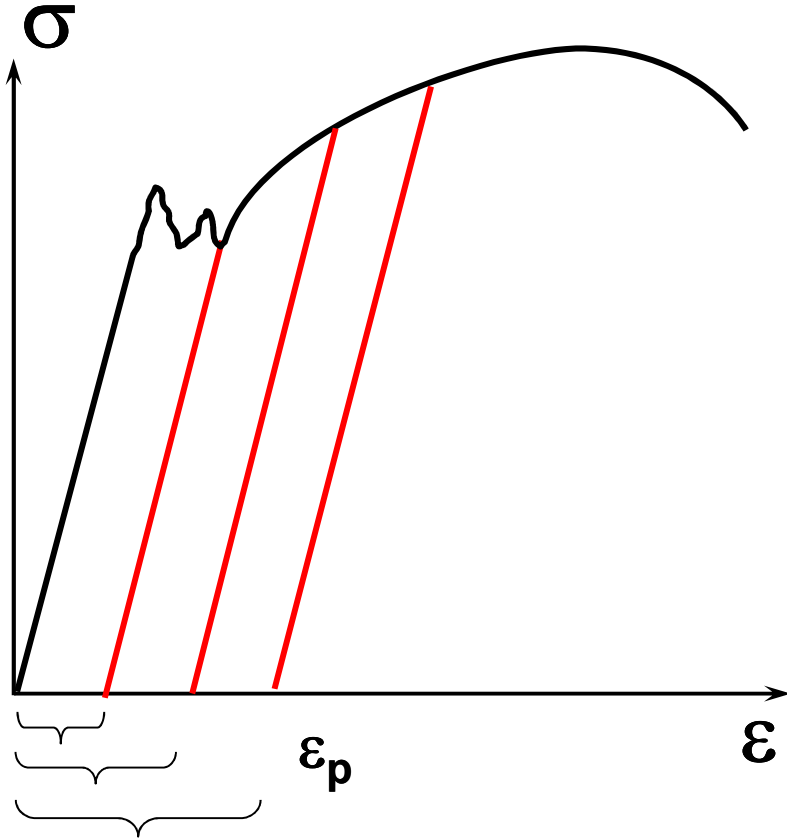
✓ Malzeme üzerinde kalıcı deformasyon kalmaz.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\varepsilon$ DAVRANIŞI

✓ Şekil Değiştirme sertleşmesi



✓ Ancak plastik deformasyon bölgesinde kuvvet bırakılırsa; malzeme kuvvetin bırakıldığı noktadan elastik doğruya paralel şekilde geri döner.

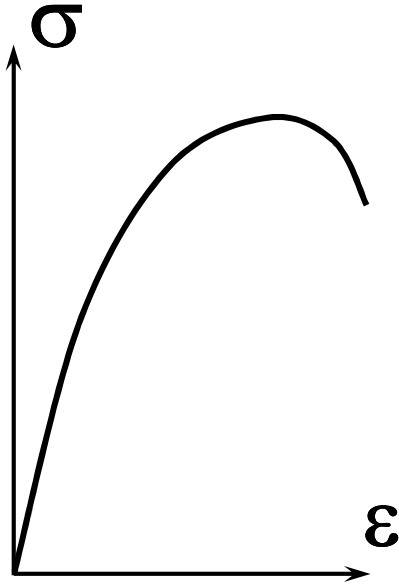
✓ Apsisi kestiği nokta kadar malzeme üzerinde kalıcı deformasyon kalır.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI

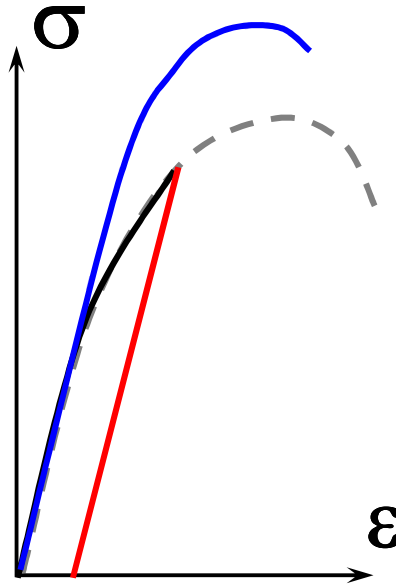


## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\epsilon$ DAVRANIŞI

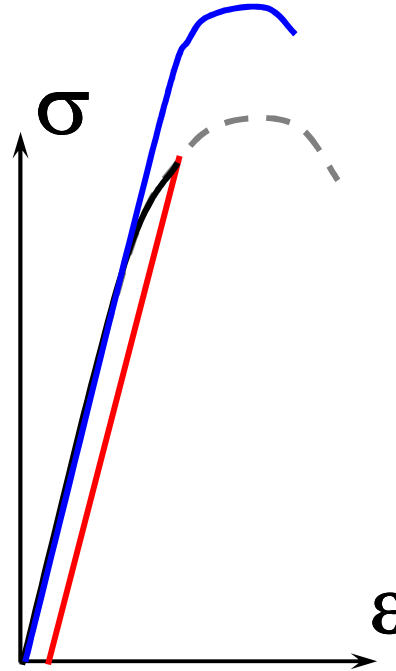
✓ Şekil Değiştirme sertleşmesi



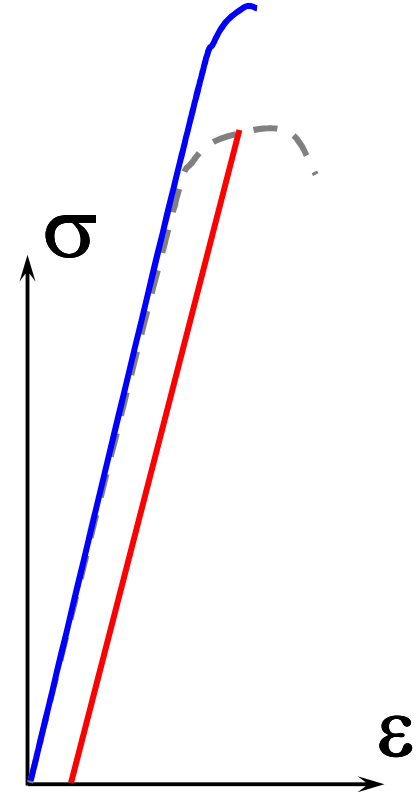
Bir defa çekilen metalin çekme diyagramı



$\sigma_1$  kadar çekilip sonra tekrar çekilen metalin çekme diyagramı



$\sigma_2$  kadar çekilip sonra tekrar çekilen metalin çekme diyagramı



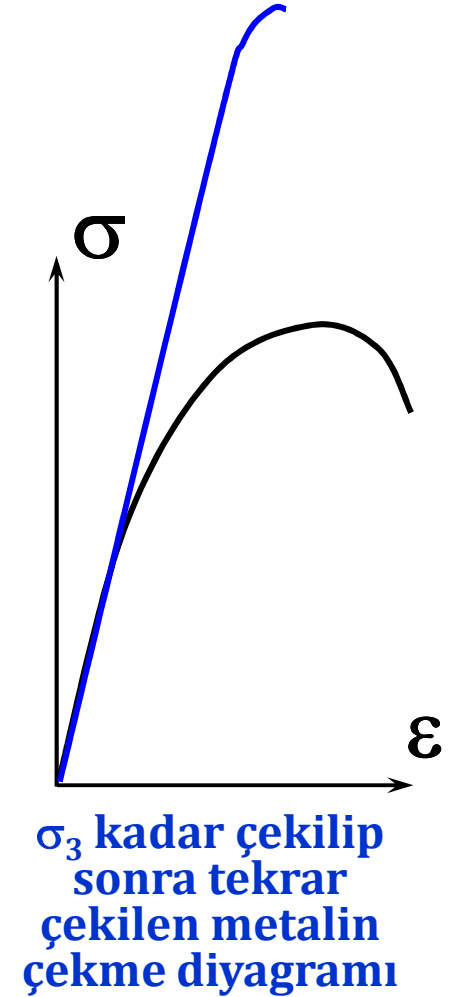
$\sigma_3$  kadar çekilip sonra tekrar çekilen metalin çekme diyagramı

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ÇELİĞİN $\sigma$ - $\epsilon$ DAVRANIŞI

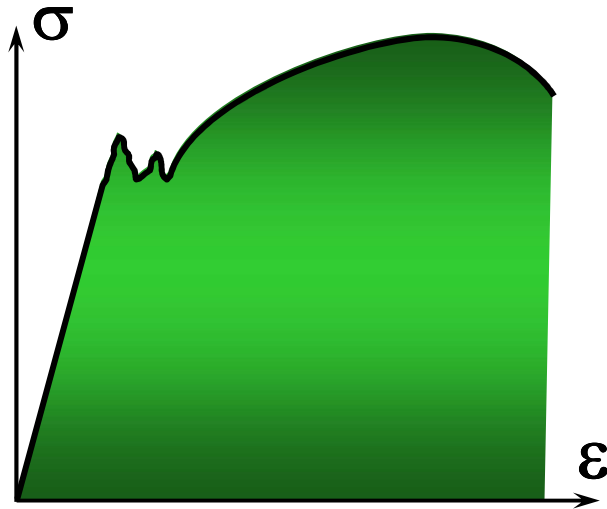
- ✓ Şekil Değiştirme sertleşmesi
- ✓ Metale akma sınırının üzerinde gerilme uygulanması durumunda dislokasyon yoğunluğu artar, dayanım değerleri artar, sünekliliği azalır.
- ✓ Çekme işleminin tekrarlanması durumunda dislokasyon yoğunluğunun artması devam edeceği için dayanım değerlerindeki artış ve süneklilik değerindeki azalış devam edecektir.
- ✓ Ancak bu işlemlerin tekrarlanması esnasında öyle bir noktaya gelinir ki; Metal bu gerilmenin üzerinde plastik şekil değişimine uğratılamaz.



# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ✓ Düktilite (süneklik) ve Enerji Yutabilme kapasitesi



✓ Bir metalik malzemenin kopmadan enerji yutabilme yeteneğini o malzemenin çekme altında gerilme - şekil değişimi eğrisinin altında kalan alan temsil edebilir

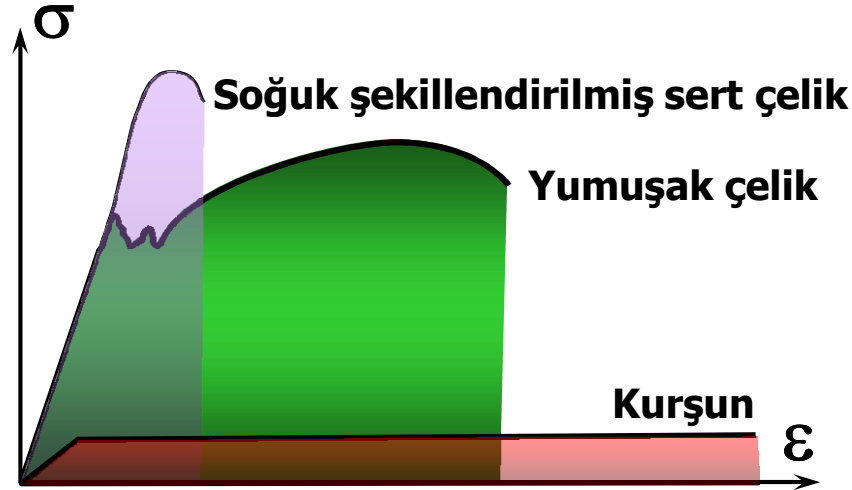
- ✓ Boyutları  $(\text{cm/cm} \times \text{kg/cm}^2) = (\text{kg.cm/cm}^3)$  olur.
- ✓ Burada kg.cm enerji veya yapılan iştir.
- ✓ Bu nedenle enerji yutabilme kapasitesi birim hacme düşen iş olmaktadır.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



✓ **Düktilite (süneklik) ve Enerji Yutabilme kapasitesi**

✓ Bir malzemenin dayanımının yüksek olması veya çok düktil olması, o malzemenin enerji yutabilme kapasitesinin fazla olduğunu göstermez.



✓ Örneğin, soğuk işlenmiş çelik yüksek dayanımlı, kurşun çok düktil olmalarına karşın ikisi de, fazla enerji yutabilme yeteneğine sahip değildir.

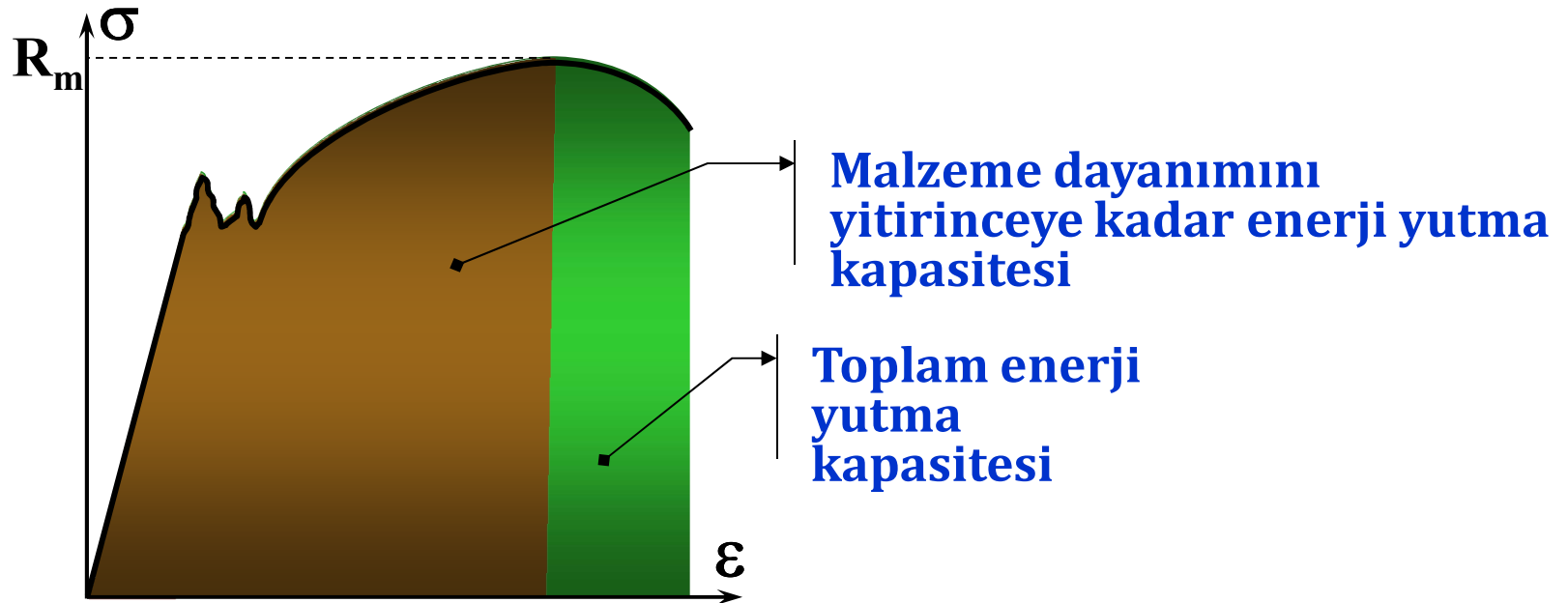
**Düktilite: yük altında şekil değiştirme kapasitesi**

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ✓ Düktilite (süneklik) ve Enerji Yutabilme kapasitesi

- ✓ Malzeme **çekme dayanımı** noktasına gelinceye kadar kuvvete bağlı olarak şekil değişimi yapar.
- ✓ Enerji yutabilme kapasitesinin bu limit değerinden sonra malzeme dayanımını yitirir.

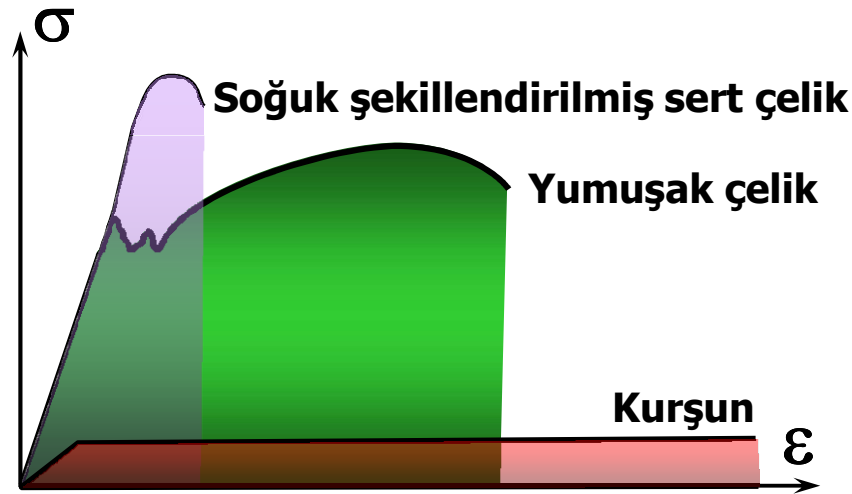


# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ✓ Tokluk

- ✓ Bir malzemenin plastik şekil değiştirme esnasında enerji absorbe etme özelliğine **tokluk** denilir.



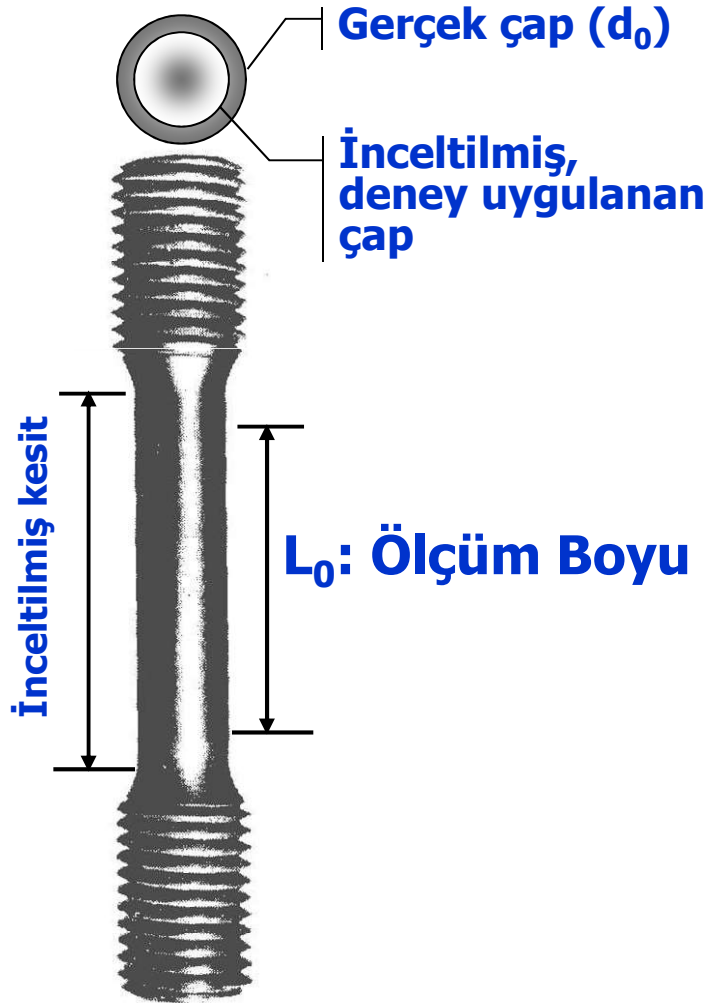
- ✓ Çekme eğrisi altında kalan alan malzeme tokluğunun bir ölçüsüdür. Tokluk malzemenin dayanımını ve sünekliliğini beraber değerlendiren bir kavramdır.

- ✓ Sünekliliği (düktilitesi) yüksek olan malzemenin tokluğu, daha az sünek olan bir malzemeye göre daha az olabilir.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ✓ Çekme Deneyi Numunesi



### ✓ TS 708

Deneyler, çelik çubuklara haddeleme işlemi sonrasında herhangi bir tornalama işlemi yapılmadan uygulanmalıdır.

- ✓ Yalnızca  $d = 32$  mm ve üzerindeki çaplarda.....

.....

.....

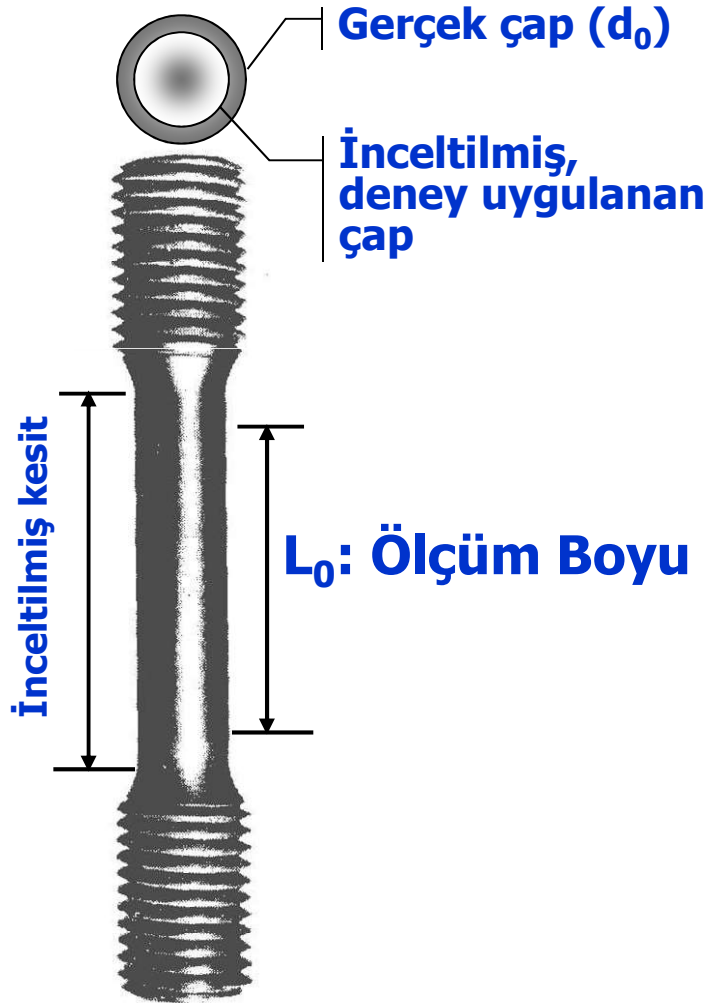
tornalanarak deneye tabi tutulur.



# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ✓ Çekme Deneyi Numunesi



### ✓ TS 708

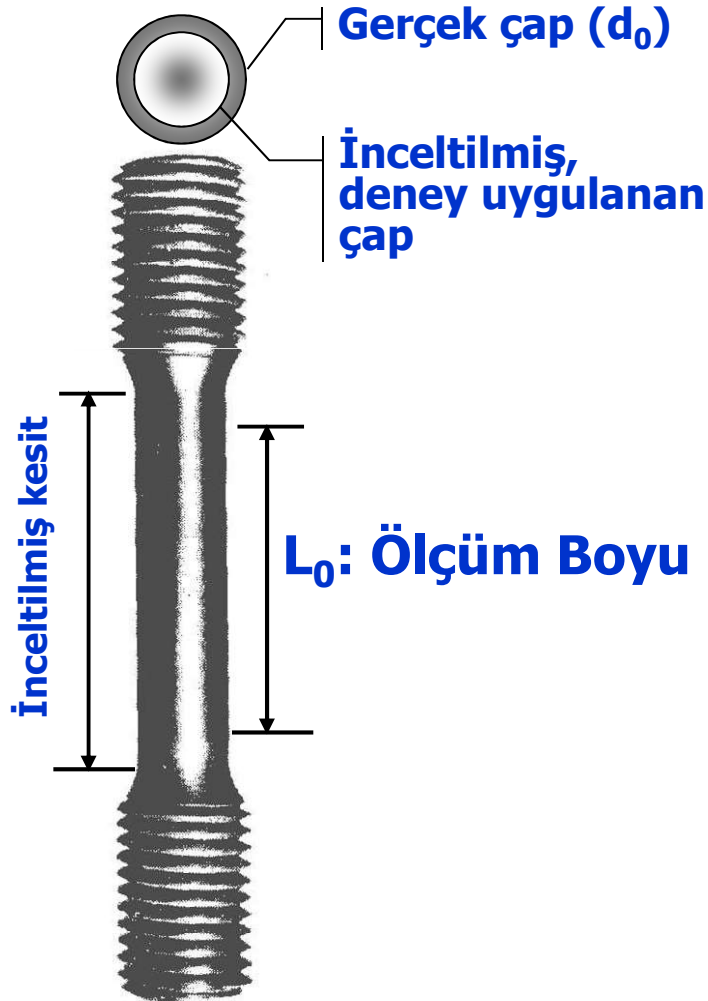
Deneyler, çelik çubuklara haddeleme işlemi sonrasında herhangi bir tornalama işlemi yapılmadan uygulanmalıdır.

- ✓ Yalnızca  $d = 32$  mm ve üzerindeki çaplarda, **sıcak haddeleme işlemi yapılmış çubuklar** için çekme cihazının kapasitesi yetersiz ise numuneler  $d = 28$  mm den daha küçük olmamak üzere cihaz kapasitesinin izin verdiği **en büyük çapta** tornalanarak deneye tabi tutulur.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ✓ Çekme Deneyi Numunesi



- ✓ Çekme deneyi numuneleri hazırlanırken kopma uzamasını belirlemek için; ölçüm boyu numunenin çapına bağlı olarak  $L_0 = 5d_0$  veya  $L_0 = 10d_0$  alınır.

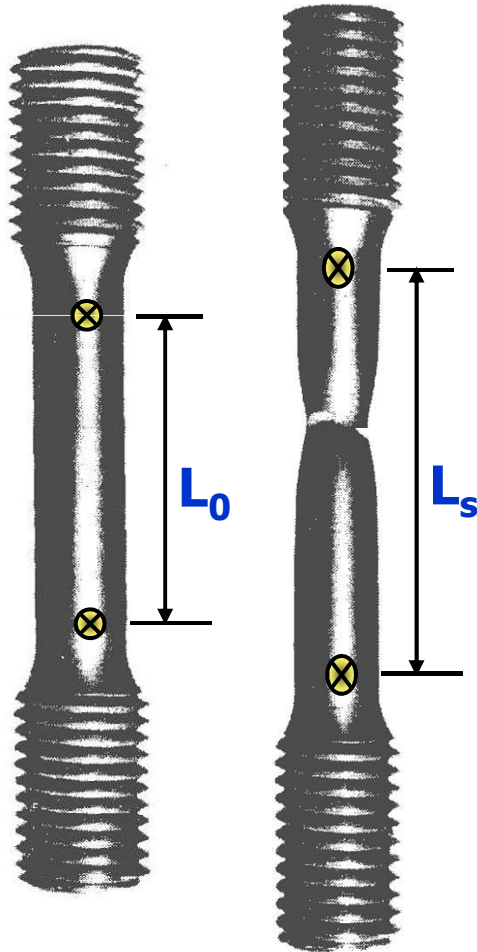
- ✓ Numune çekme deneyine tabi tutulur

- ✓ Deney sonucunda  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi önemli noktaları ile **kopma uzaması** belirlenir.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ✓ Kopma Uzaması



✓ Numunenin koptuğu zaman meydana gelen uzama miktarının ilk boya oranına kopma uzaması denilir

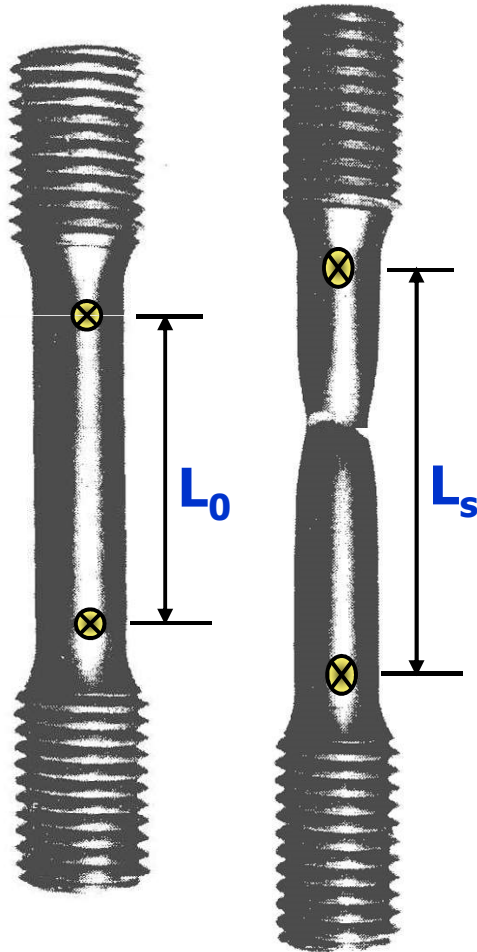
$$A = \frac{\Delta L_K}{L_o} 100 \quad [\%]$$

$$A = \frac{(L_s - L_o)}{L_o} 100 \quad [\%]$$

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ✓ Kopma Uzaması



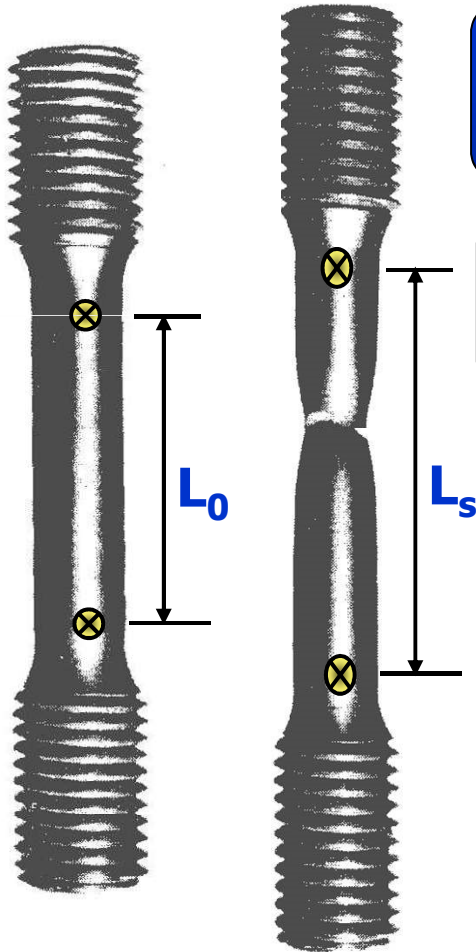
✓ Kopma uzaması ve kopma büzülmesi malzemelerin süneklilik özelliklerinin bir ölçüsüdür.

✓ Kopmadan önce belirli bir uzama gösteren (bazı kaynaklar %5 kopma uzaması kabul etmektedir) malzemelere **sünek malzeme**, göstermeyen malzemelere **gevrek malzeme** denilmektedir.

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ✓ Düktilite ve Enerji Yutabilme kapasitesi



✓ Bir malzemenin kırılmaya kadar geçici şekil değiştirme yeteneğine **düktilite** denir.

✓ Düktilite uzama ve alan azalmasının ölçülmesi ile belirlenir.

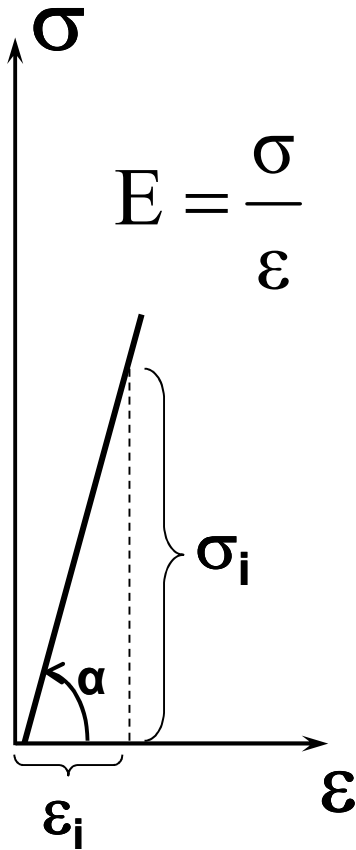
✓ Malzemenin kırılmadan uzayabilmesini göstermesi açısından, düktilite mühendislik açısından önem taşır.

✓ Metalik malzemelerin işlenebilmesi için düktilite özelliği istenir.

# ELASTİSİTE MODÜLÜ

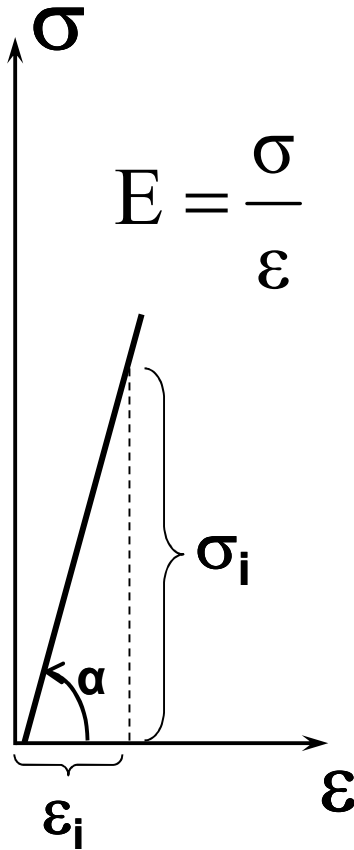
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



- ✓ Hooke yasası adı verilen bu bağıntıda çekme elastisite modülüne "Young modülü" de denir.
- ✓ Genellikle basınç halindekiine eşit değerdedir.
- ✓ Hooke yasası yalnız elastik şekil değişimi yapan malzemelerde geçerlidir.
- ✓ Kil, bakır, kurşun gibi kolay şekillendirilen, plastik şekil değişimi yapan malzemelerde, çok düşük bir elastiklik limiti sonunda malzemedede akma görülür.

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



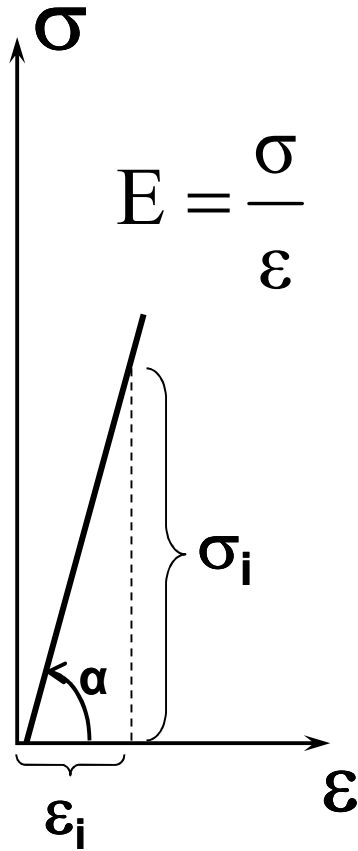
✓ Mühendislik açısından, malzemenin şekil değişimlerine elastik karşı koymasını gösterdiğinden, E'nin önemi çok büyüktür

✓ çeliğin elastisite modülü  $2.1 \times 10^5$  MPa, alüminyum'un  $0.7 \times 10^5$  MPa'dır.

✓ Bu durumda çelik, alüminyumdan 3 misli rijittir veya aynı yükü taşıyan aynı boyutlardaki bir çelik çubuk, bir alüminyum çubuğun üçte biri kadar uzayacaktır.

✓ Bu durum eğilme için de söz konusudur.

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



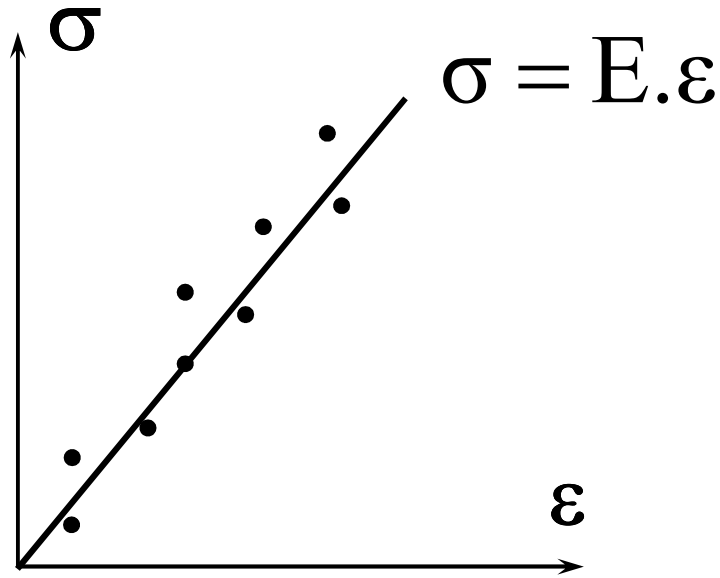
## ✓ Bazı Yapı Malzemelerinin Tipik Mekanik Özellikleri

| Malzeme   | Elastisite Modülü (E) MPa | Kayma Modülü (G) MPa | Poisson Oranı |
|-----------|---------------------------|----------------------|---------------|
| Çelik     | 210 000                   | 81 000               | 0.26          |
| Font      | 110 000                   | 50 000               | 0.17          |
| Alüminyum | 70 000                    | 25 300               | 0.33          |
| Beton     | 10 000 – 45 000           | 4 000 – 18 000       | 0.15 – 0.22   |

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



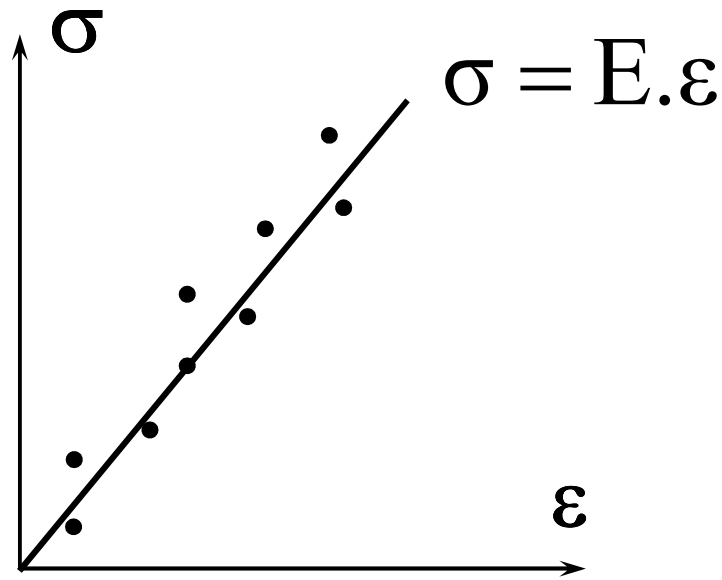
- ✓ Orantılılık bölgesinde HOOKE yasası geçerli olduğuna göre  $\sigma = E.\varepsilon$  bağıntısı geçerlidir.
- ✓ Ancak değişik nedenlerle, deney verileri ile elde edilen değerler farklılıklar gösterebilir.



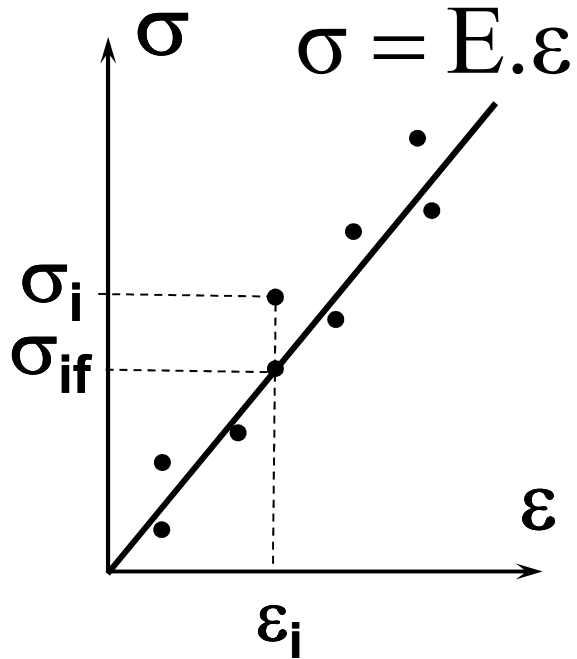
# ELASTİSİTE MODÜLÜ



- ✓ Koordinat merkezinden geçen ve deney sonuçlarına göre yerleştirilen noktalardan en yakın şekilde geçen doğrunun eğimi malzemenin **elastisite modülü** olacaktır.



# ELASTİSİTE MODÜLÜ

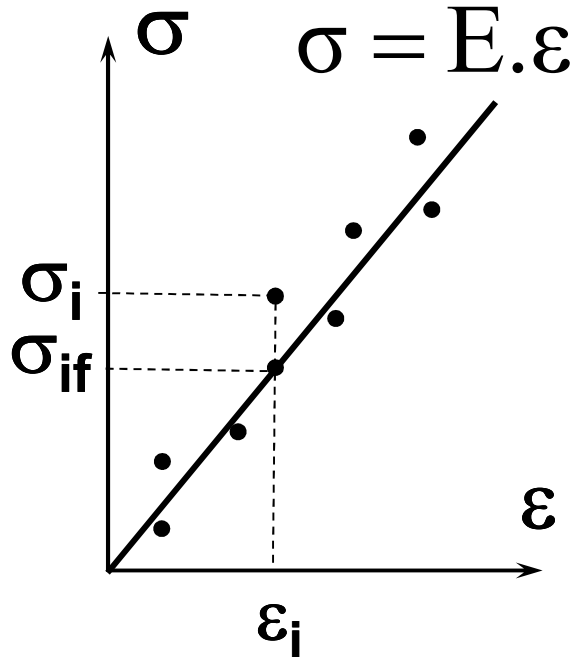


✓ Deneylerde  $\sigma = \sigma_i$  olunca,  $\epsilon = \epsilon_i$  olarak bulunsun.

✓ Denklemden  $\epsilon$  yerine  $\epsilon_i$  konulunca  $\sigma = \sigma_{if}$  değerini alsın.

✓ E'nin bilindiği varsayımıyla bağıntı,  
 $\sigma_{if} = E \cdot \epsilon_i$  şeklinde yazılabilir.

# ELASTİSİTE MODÜLÜ

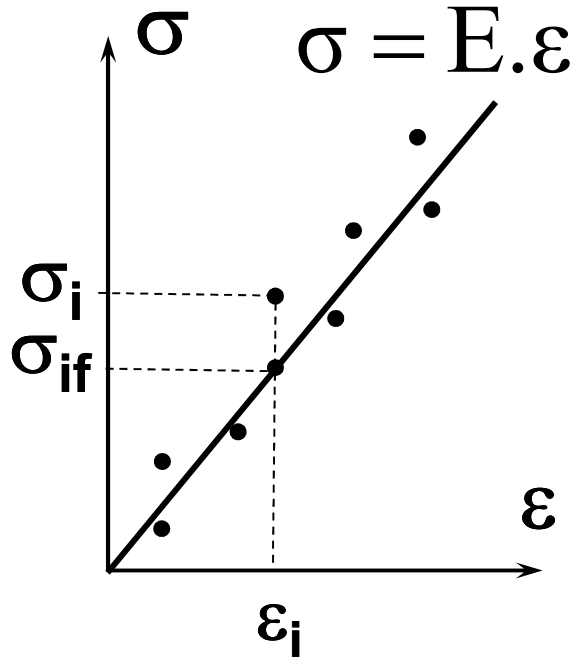


✓ Aynı nokta için deney sonucu ile bağıntının verdiği değer arasındaki farkın karesi,

$$(\sigma_i - \sigma_{if})^2 = (\sigma_i - E\epsilon_i)^2$$

✓ Deneylerde bulunan  $\sigma_i$  ve  $\epsilon_i$  değerlerine göre oluşturulacak bu kareler toplamının değeri en az olacak şekilde  $E$  saptanacak olursa,  $\sigma - \epsilon$  diyagramını belirleyen noktalara en yakın bir doğru geçirilmiş olur.

# ELASTİSİTE MODÜLÜ

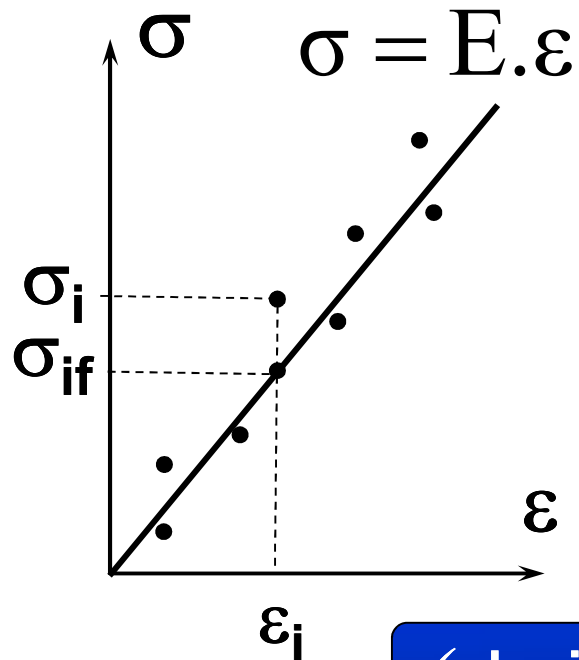


✓ Bu farkların karelerinin toplamı  $F(E)$  ile gösterilsin.

$$F(E) = \sum (\sigma_i - E\varepsilon_i)^2$$

- ✓ Tanımdaki  $\sigma_i$  ve  $\varepsilon_i$  değerleri deney sonuçları olduğuna göre sabit değerlerdir. Bu nedenle yukarıdaki tanımın minimum olması  $E$ 'nin alacağı değere bağlıdır.
- ✓  $E$ 'nin  $F(E)$ 'yi minimum yapan değerini bulmak için, bu fonksiyonun  $E$ 'ye göre türevi alınıp sıfıra eşitlenir.

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



$$F(E) = \sum (\sigma_i - E\varepsilon_i)^2$$

$$F(E) = \sum (\sigma_i^2 - 2\sigma_i E\varepsilon_i + E^2 \varepsilon_i^2)$$

$$F(E) = \sum \sigma_i^2 - 2E \sum \sigma_i \varepsilon_i + E^2 \sum \varepsilon_i^2$$

✓ bu ifadenin E'ye göre türevi alınıp sıfıra eşitlenince,

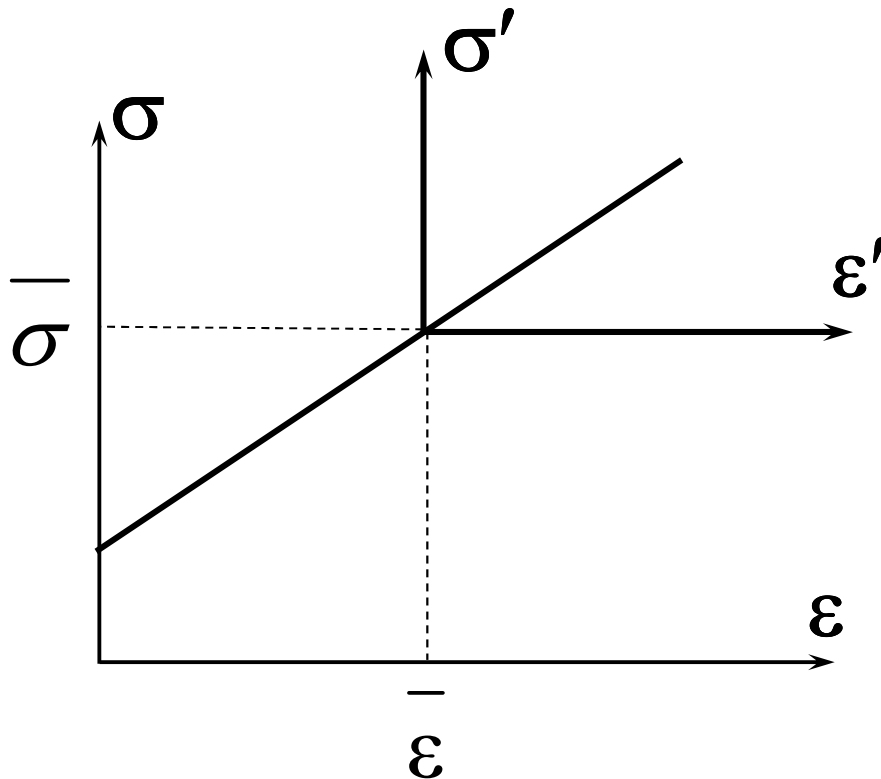
$$F'(E) = -2 \sum \sigma_i \varepsilon_i + 2E \sum \varepsilon_i^2 = 0 \quad E = \frac{\sum \sigma_i \varepsilon_i}{\sum \varepsilon_i^2}$$

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



$$E = \frac{\sum \sigma_i \varepsilon_i}{\sum \varepsilon_i^2}$$

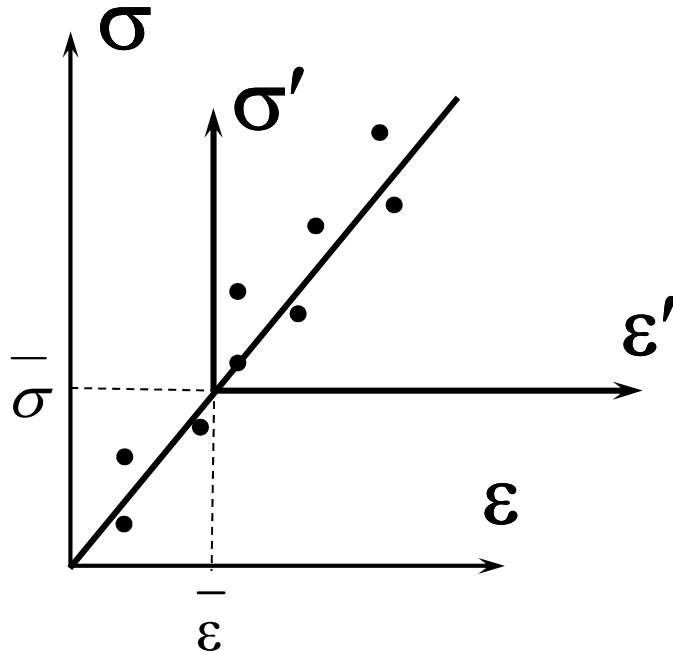
✓ Ancak bu değeri kullanarak çizilen  $\sigma$ - $\varepsilon$  doğrusu orijinden geçmeyebilir.



✓ Bu durumu göz önüne alarak yalnız orantı sınırı altındaki deney verilerini hesaba katarak elastisite modülünü hesaplamak mümkündür.

✓ Eksen kaydırma yapılır.

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



- ✓ Orantılılık bölgesinde yapılan ölçüm sayısı “n” olsun.
- ✓ Bu “n” sayıda gerilme ve birim şekil değiştirmelerin ortalama değerleri.

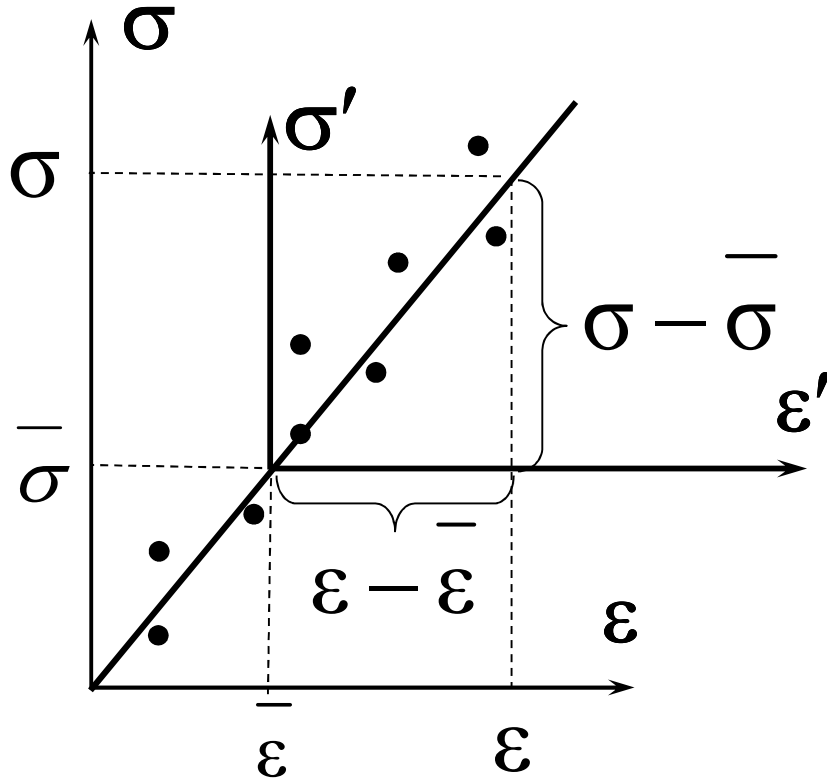
$$\bar{\sigma} \quad \bar{\epsilon}$$

ile gösterilsin.

$$\sigma_{\text{ort}} = \bar{\sigma} = \frac{\sum \sigma}{n}$$

$$\epsilon_{\text{ort}} = \bar{\epsilon} = \frac{\sum \epsilon}{n}$$

# ELASTİSİTE MODÜLÜ

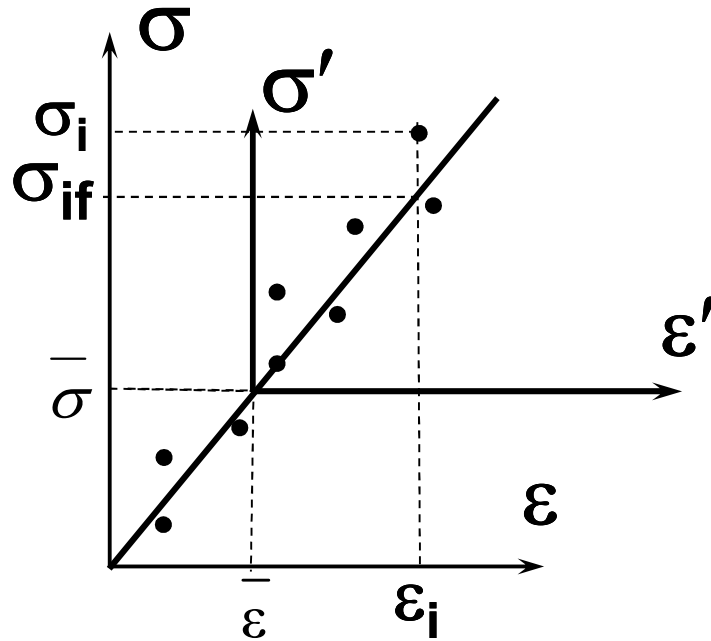


✓ Koordinat merkezi eksenleri paralel kalacak şekilde,

$\sigma_{\text{ort}} = \bar{\epsilon}_{\text{ort}}$  olan noktaya taşınırsa Hooke yasası şöyle yazılabilir :

$$\sigma - \bar{\sigma} = E(\epsilon - \bar{\epsilon})$$

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



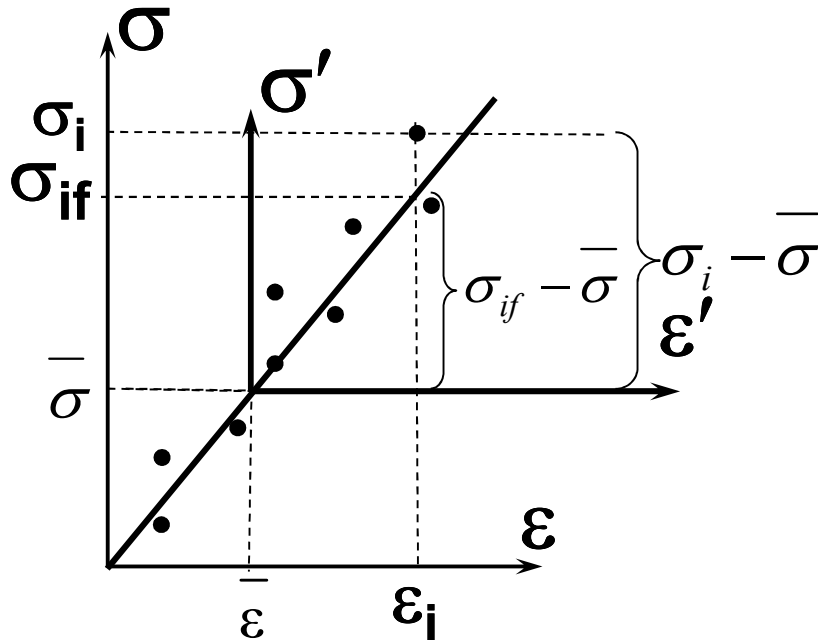
$$\sigma - \bar{\sigma} = E(\varepsilon - \bar{\varepsilon})$$

✓ Deneysel olarak  $\varepsilon = \varepsilon_i$  olunca  $\sigma$ ,  $\sigma_i$  değerini alsın.

✓  $\varepsilon = \varepsilon_i$  değeri yukarıdaki ifadede yerine konulunca  $\sigma = \sigma_{if}$  değerini alsın.

$$\sigma_{if} - \bar{\sigma} = E(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})$$

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



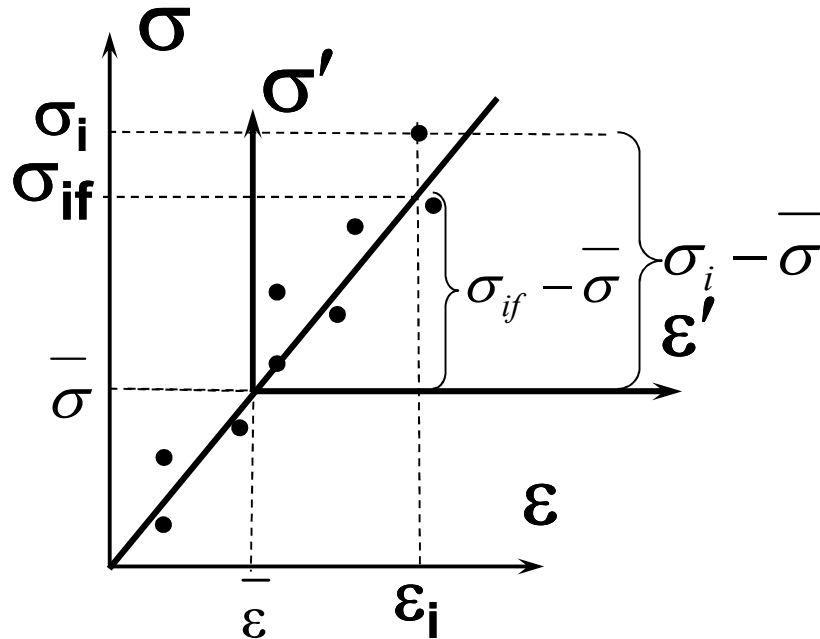
$$\sigma_{if} - \bar{\sigma} = E(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})$$

✓ ifadesinde yeni eksen takımında, doğrunun noktalardan mümkün olduğu kadar yakınından geçebilmesini sağlamak için, ordinatlar arasındaki farkların karelerinin toplamının minimum olması sağlanmalıdır.

✓ Aynı  $\varepsilon_i$  değerine ait doğrunun ordinatı ile deneyde bulunan ordinatın farkının karesi

$$\left[ (\sigma_{if} - \bar{\sigma}) - (\sigma_i - \bar{\sigma}) \right]^2$$

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



$$\left[ (\sigma_{if} - \bar{\sigma}) - (\sigma_i - \bar{\sigma}) \right]^2$$

✓ İfadesinde

$$\sigma_{if} - \bar{\sigma} = E(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})$$

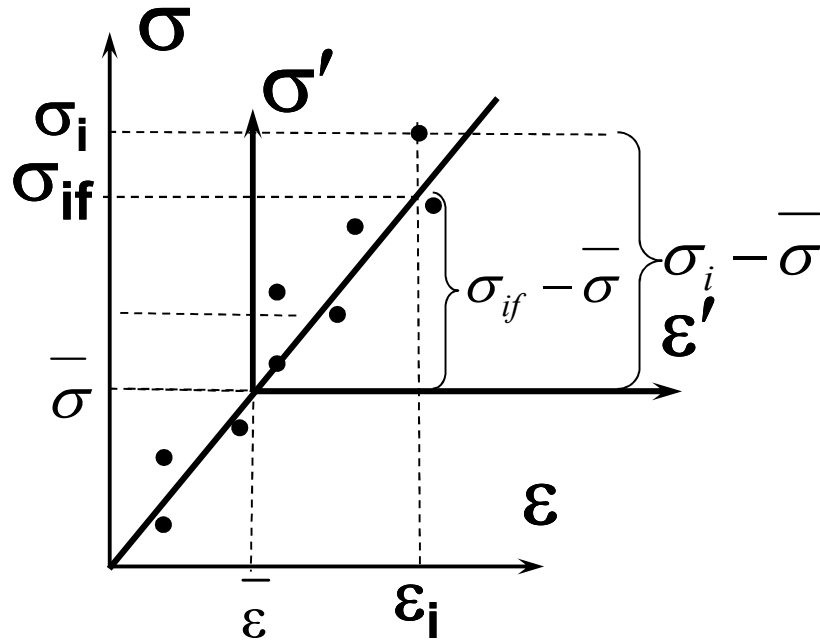
✓ Yerine konursa farkların karesi aşağıdaki gibi olur.

$$\left[ E(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon}) - (\sigma_i - \bar{\sigma}) \right]^2$$

✓ Karelerin toplamının ifade eden denklem:

$$F(E) = \sum \left[ E(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon}) - (\sigma_i - \bar{\sigma}) \right]^2$$

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



$$F(E) = \sum \left[ E(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon}) - (\sigma_i - \bar{\sigma}) \right]^2$$

✓ bu ifadenin E'ye göre türevi alınıp sıfıra eşitlenince,

$$F'(E) = 0$$

✓ Bu ifadeyi en küçük yapan E değeri bulunur.

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



$$F(E) = \sum \left[ E(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon}) - (\sigma_i - \bar{\sigma}) \right]^2$$

$$F(E) = \sum \left[ E^2 (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2 - 2E(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})(\sigma_i - \bar{\sigma}) + (\sigma_i - \bar{\sigma})^2 \right]$$

$$F(E) = E^2 \sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2 - 2E \sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})(\sigma_i - \bar{\sigma}) + 0$$

$$F(E)' = 2E \sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2 - 2 \sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})(\sigma_i - \bar{\sigma}) + 0$$

$$F(E)' = 0 \Rightarrow 2E \sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2 - 2 \sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})(\sigma_i - \bar{\sigma}) = 0$$

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



$$F(E)' = 0 \Rightarrow 2E \sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2 - 2 \sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})(\sigma_i - \bar{\sigma}) = 0$$

$$\cancel{2E} \sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2 = \cancel{2} \sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})(\sigma_i - \bar{\sigma})$$

$$E = \frac{\sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})(\sigma_i - \bar{\sigma})}{\sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}$$

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



$$E = \frac{\sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})(\sigma_i - \bar{\sigma})}{\sum (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}$$

$$E = \frac{\sum (\varepsilon_i \cdot \sigma_i - \varepsilon_i \cdot \bar{\sigma} - \bar{\varepsilon} \cdot \sigma_i + \bar{\varepsilon} \cdot \bar{\sigma})}{\sum (\varepsilon_i^2 - 2\varepsilon_i \bar{\varepsilon} + (\bar{\varepsilon})^2)}$$

$$E = \frac{\sum \varepsilon_i \cdot \sigma_i - \sum \varepsilon_i \cdot \bar{\sigma} - \sum \bar{\varepsilon} \cdot \sigma_i + \sum \bar{\varepsilon} \cdot \bar{\sigma}}{\sum \varepsilon_i^2 - 2 \sum \varepsilon_i \bar{\varepsilon} + \sum (\bar{\varepsilon})^2}$$

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



$$\sum \varepsilon_i = n \cdot \bar{\varepsilon} \quad \sum \sigma_i = n \cdot \bar{\sigma} \quad \sum \bar{\varepsilon} \cdot \bar{\sigma} = n \cdot \bar{\varepsilon} \cdot \bar{\sigma}$$

$$E = \frac{\sum \varepsilon_i \cdot \sigma_i - \sum \varepsilon_i \cdot \bar{\sigma} - \sum \sigma_i \cdot \bar{\varepsilon} + \sum \bar{\varepsilon} \cdot \bar{\sigma}}{\sum \varepsilon_i^2 - 2 \sum \varepsilon_i \bar{\varepsilon} + \sum (\bar{\varepsilon})^2}$$

$$\sum \bar{\varepsilon}^2 = n \cdot (\bar{\varepsilon})^2$$

$$E = \frac{\sum \varepsilon_i \cdot \sigma_i - n \bar{\varepsilon} \cdot \bar{\sigma} + n \bar{\sigma} \cdot \bar{\varepsilon} + n \bar{\varepsilon} \cdot \bar{\sigma}}{\sum \varepsilon_i^2 - 2n \bar{\varepsilon}^2 + n (\bar{\varepsilon})^2}$$

$$E = \frac{\sum \varepsilon_i \cdot \sigma_i + n \bar{\varepsilon} \cdot \bar{\sigma}}{\sum \varepsilon_i^2 - n (\bar{\varepsilon})^2}$$

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



✓ En küçük kareler yöntemine göre  
Elastisite modülünün bulunuşu

$$E = \frac{\sum \varepsilon_i \cdot \sigma_i - n \cdot \bar{\varepsilon} \cdot \bar{\sigma}}{\sum \varepsilon_i^2 - n \cdot (\bar{\varepsilon})^2}$$

✓ Bu yöntemle bir doğrunun eğimi bulunmaktadır.

# ELASTİSİTE MODÜLÜ



## ✓ Sayısal Örnek (1)

| Veri No | $P_i(\text{kgf})$ | $\Delta L$<br>( $10^{-3} \text{ mm}$ ) |
|---------|-------------------|----------------------------------------|
| 1       | 180               | 11,2                                   |
| 2       | 370               | 16,8                                   |
| 3       | 502               | 19,6                                   |
| 4       | 751               | 26,6                                   |
| 5       | 913               | 36,4                                   |
| 6       | 1198              | 50,4                                   |
| 7       | 1400              | 76,2                                   |
| 8       | 1798              | 84,4                                   |

✓ Yandaki tabloda 12 mm çaplı, 12 cm ölçüm boyundaki bir çelik donatı üzerinde elastik bölgede yapılan çekme deneyi verileri (uygulanan kuvvet – uzama) bulunmaktadır.

✓ En küçük kareler yöntemini kullanarak bu malzemenin elastisite modülünü bulunuz.

# ÖRNEKLER

## ÖRNEK 2:

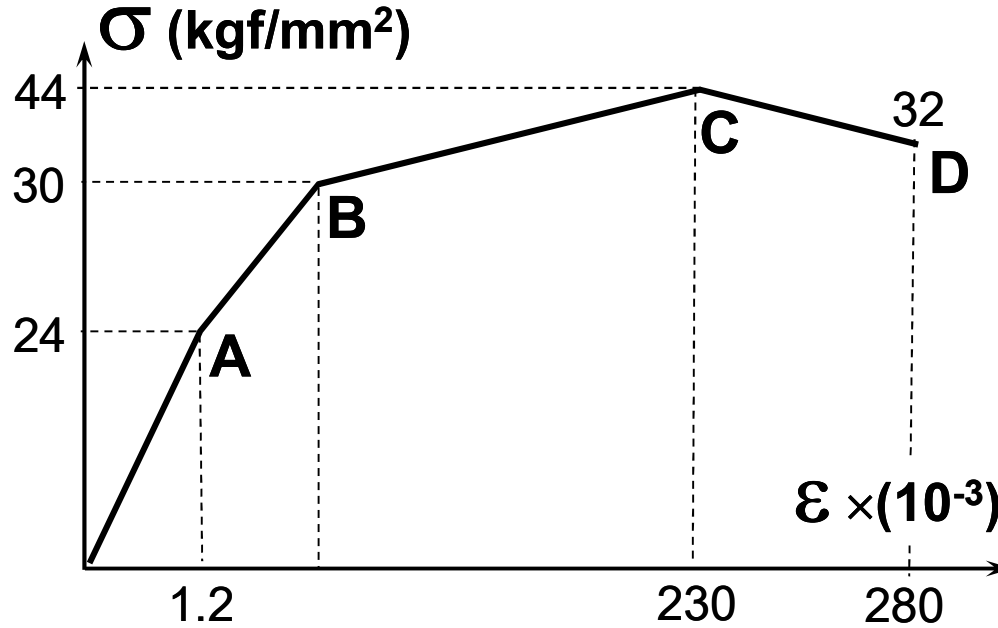
Bir çelik örneğinin çekme deneyi sonucu  $\sigma$ - $\epsilon$  diyagramı aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi koordinatları verilen doğru parçaları ile simgelenmektedir.

| NOKTA | NOKTA<br>ÖZELLİĞİ | ABSİS                | ORDİNAT<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) |
|-------|-------------------|----------------------|----------------------------------|
| A     | ORANTI<br>SINIRI  | $1,2 \times 10^{-3}$ | 24                               |
| B     | AKMA<br>DAYANIMI  | ?                    | 30                               |
| C     | ÇEKME<br>DAYANIMI | $230 \times 10^{-3}$ | 44                               |
| D     | KOPMA<br>DAYANIMI | $280 \times 10^{-3}$ | 32                               |

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ✓ Sayısal Örnek (2)



| <u>Nokta</u>      | <u>apsisi</u>          | <u>Ordinatu</u> |
|-------------------|------------------------|-----------------|
| A: orantı sınırı  | $1.2 \times (10^{-3})$ | 24              |
| B: Akma dayanımı  | ?                      | 30              |
| C: Çekme dayanımı | $230 \times (10^{-3})$ | 44              |
| D: Kopma Dayanımı | $280 \times (10^{-3})$ | 32              |

a) Söz konusu örneğin elastisite modülünü hesaplayınız.

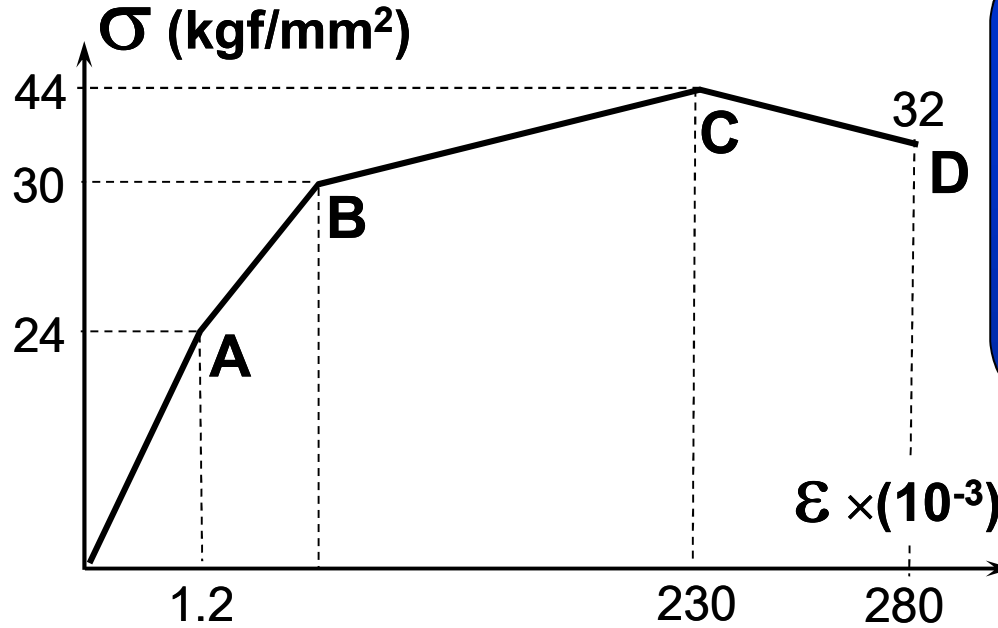
b) %0.2 birim uzama ilkesine göre akma dayanımına karşılık gelen birim uzama miktarını hesaplayınız.

c) Çeliğin birim hacmine karşılık gelen enerji yutabilme kapasitesi hangi limite ulaşırsa çelik örneği dayanımını yitirir?

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ✓ Sayısal Örnek (2)



| <u>Nokta</u>      | <u>apsisi</u>          | <u>Ordinatu</u> |
|-------------------|------------------------|-----------------|
| A: orantı sınırı  | $1.2 \times (10^{-3})$ | 24              |
| B: Akma dayanımı  | ?                      | 30              |
| C: Çekme dayanımı | $230 \times (10^{-3})$ | 44              |
| D: Kopma Dayanımı | $280 \times (10^{-3})$ | 32              |

d) Bu çelikten yapılmış  $4 \times 16$  mm en kesitinde ve 280 cm uzunluğundaki bir çubuk etkilendiği aksenal çekme kuvveti altında 350 mm uzamıştır. Bu çubuk kaç kgf'lik yük altındadır?

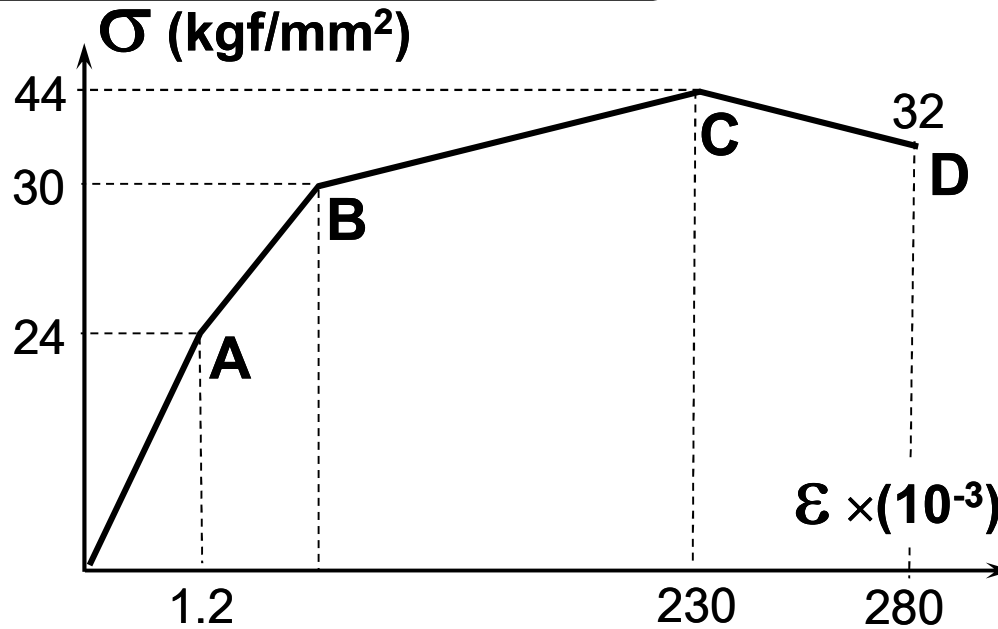
e) Çubuğun 2400 kgf'lik yük altındaki kesit boyutları ne olmuştur?

f) Bu kuvvet altındaki poisson oranı nedir?

# ÇEKME DENEYİ ve ÇEKME DAYANIMI



## ✓ Sayısal Örnek (2)

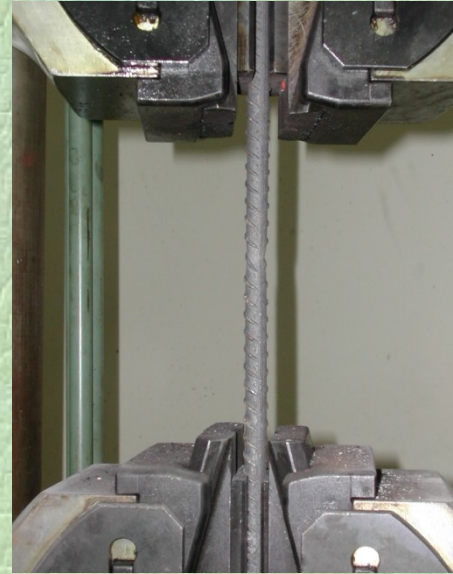
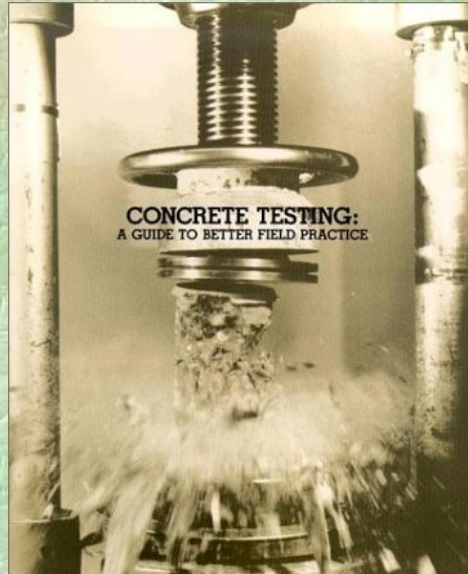


g) B gerilmenin ( $37.52 \text{ kgf/mm}^2$ ) kaldırılması halinde çubuğun son boyu ne olur?

h)  $P=2.4 \text{ t}$  altındaki gerçek gerilme ve gerçek birim uzama nedir?

| <u>Nokta</u>      | <u>apsisi</u>          | <u>Ordinatu</u> |
|-------------------|------------------------|-----------------|
| A: orantı sınırı  | $1.2 \times (10^{-3})$ | 24              |
| B: Akma dayanımı  | ?                      | 30              |
| C: Çekme dayanımı | $230 \times (10^{-3})$ | 44              |
| D: Kopma Dayanımı | $280 \times (10^{-3})$ | 32              |

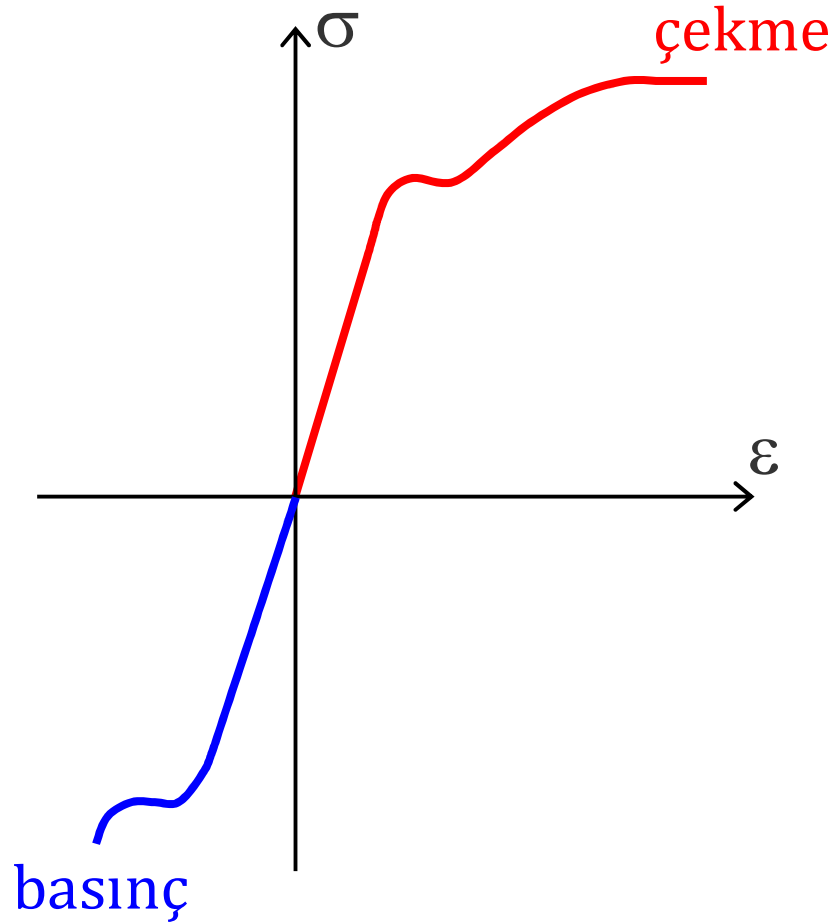
# BAZI CİSİMLERİN ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMI ÖZELLİKLERİ



# ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMI



## YAPI ÇELİĞİ St-I S220



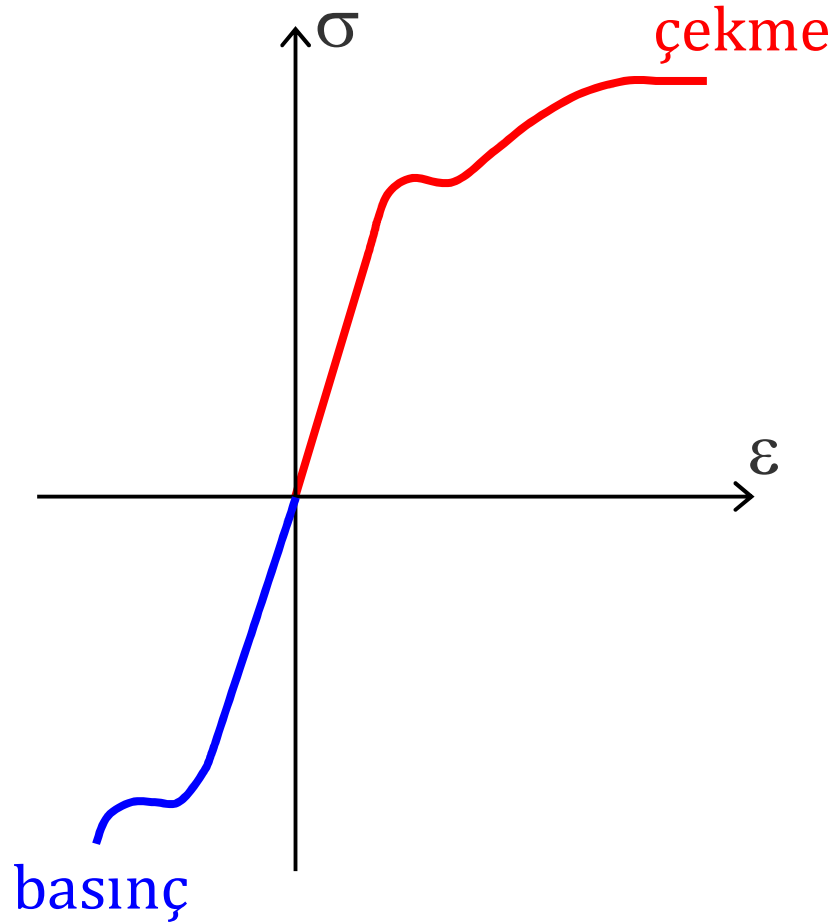
✓ Düşük gerilmelerde Hooke yasasına uyan bir doğrusal davranış gösteren orantılılık bölgesi vardır. Sonra bir akma bölgesine girerek bir kesit daralması gözlenir.

✓ Bu aşamada malzeme iç yapısında atomlar arası bağlar kopar ve kalıcı (plastik) şekil değişimleri görülür.

# ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMI



## YAPI ÇELİĞİ St-I S220



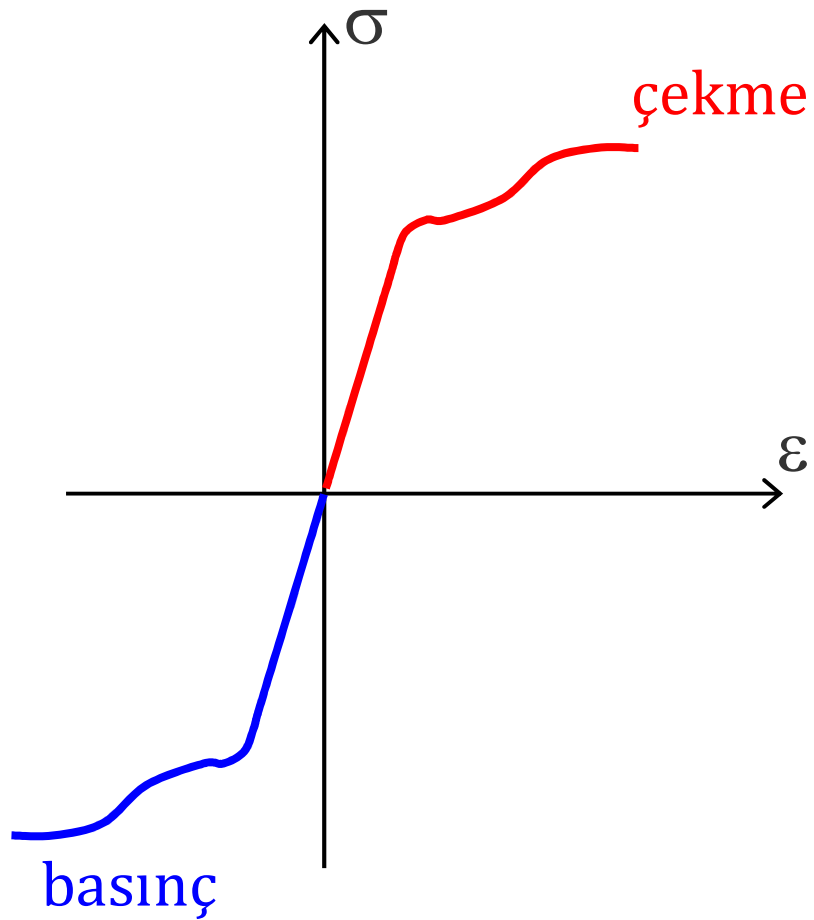
- ✓ Ardından komşu atomlarla yeni bağlar kurarak malzeme yük taşımaya devam eder ve bütünlüğünü korur. Bu bölgeye pekleşme bölgesi denir. Yükün artımı sürdürülünce malzeme boyun vererek kopar.

- ✓ Yumuşak yapı çeliğinde akma dayanımı 220 MPa, çekme dayanımı 370 MPa civarındadır.

# ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMI



**BRONZ**

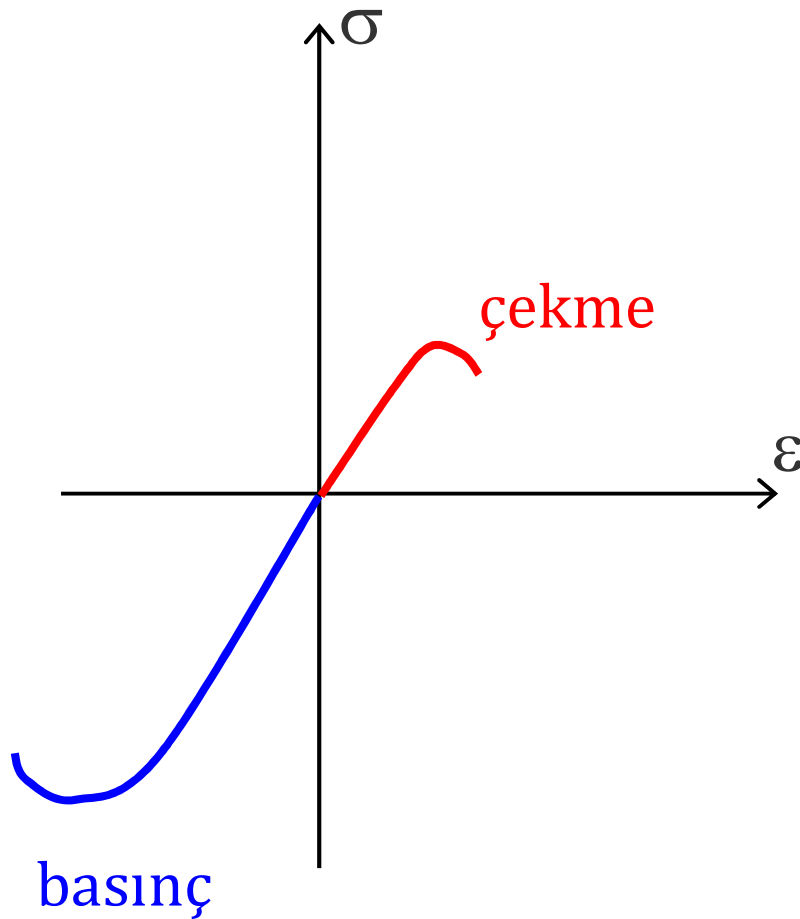


✓ Çeliğe benzer davranış gösterir, oldukça belirgin bir akma bölgesinden sonra kopar.

# ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMI



## FONT – DÖKME DEMİR



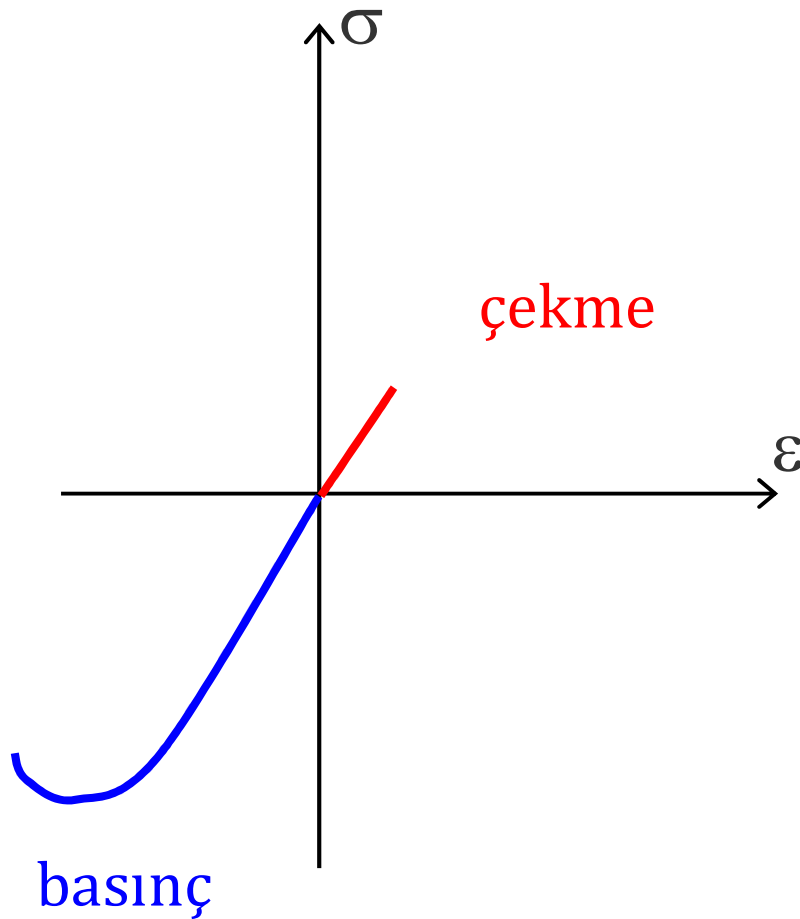
✓ Gevrek bir malzeme olduğundan, büyük şekil değiştirmeler göstermeden kopar veya ezilir.

✓ Basınç dayanımı çekme dayanımının dört katı olup, fontun  $\sigma$ - $\epsilon$  davranışı Hooke yasasına iyi uymaz.

# ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMI



## BETON



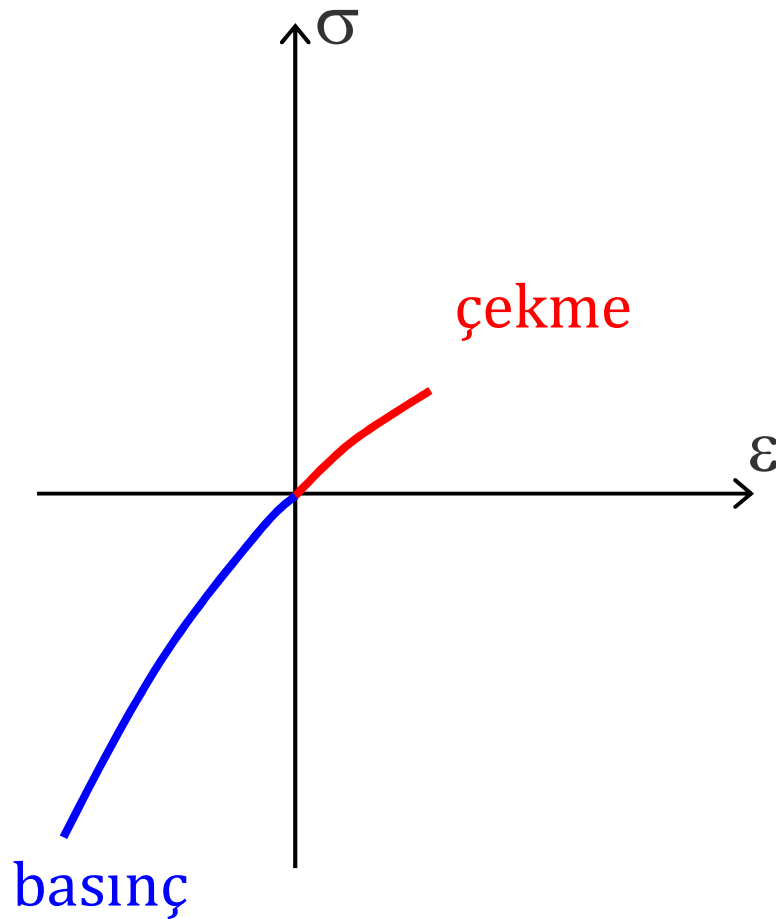
✓ İnşaat Mühendisliğinin çok önemli olan bu malzemesi de gevrek davranış gösterir.

✓ Çekme dayanımı, basınç dayanımının onda biri civarındadır. Bu nedenle yapılarda yalnız basınca çalıştırılır.

# ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMI



## DOĞAL TAŞ - MERMER



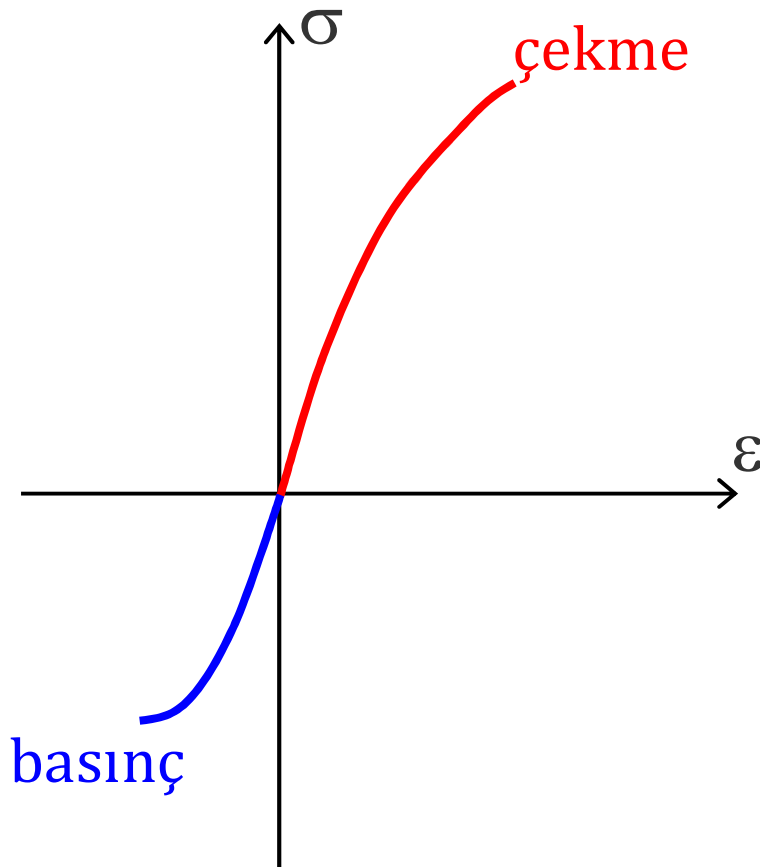
✓ Bunlar da betona benzer davranış gösterirler.

✓ Çekme dayanımları basınç dayanımlarının 1/20 ile 1/40'ı mertebesinde.

# ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMI



## AHŞAP



✓ Anizotropik bir malzemedir. Lifler doğrultusu ile liflere dik doğrultudaki mekanik özellikleri farklıdır.

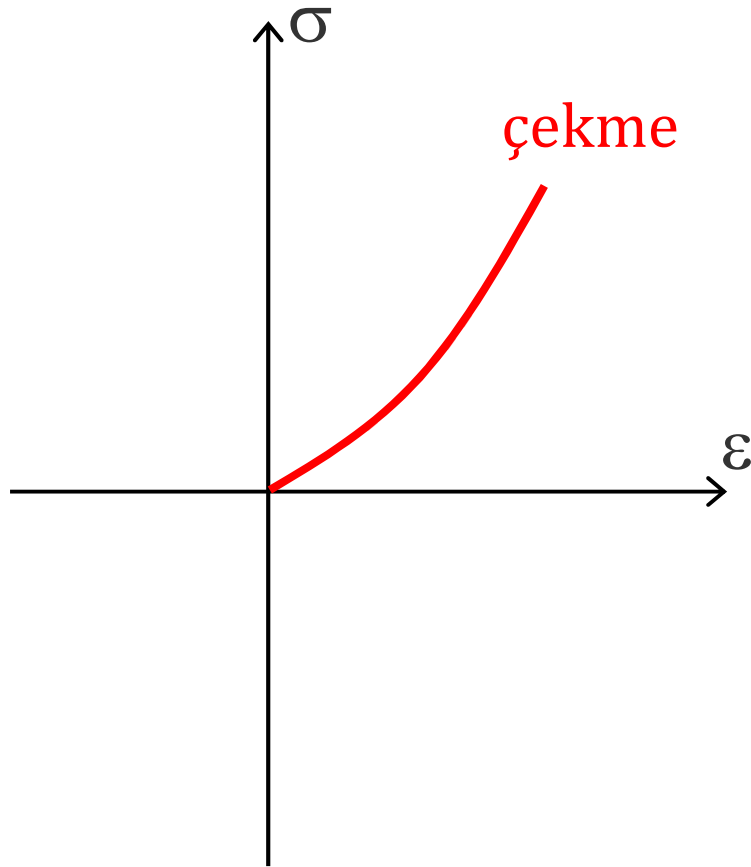
✓ Basınç halinde lifler doğrultusundaki dayanım, liflere dik doğrultudakinin yedi katı, çekme halinde 20-30 katıdır.

✓ Çekme dayanımı, basınç dayanımından büyüktür.

# ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMI



**DERİ**



✓ Daha çok çekme elemanı olarak kullanılır.

✓ Karışık iç yapısı olan bu cismin  $\sigma$ - $\epsilon$  diyagramı artan eğimi nedeniyle ilginçtir.

# ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMI



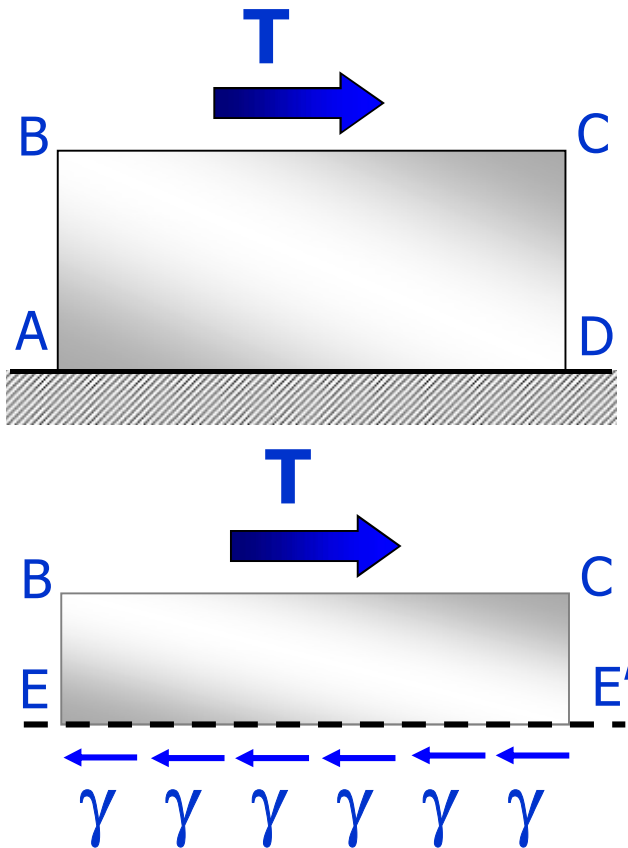
- ✓ Bunların dışında, **kurşun, asfalt, zift, kil** gibi malzemelerin hemen hiç bir elastik özellikleri yoktur.
- ✓ Yük altında almış oldukları şekilleri, yük kalktıktan sonra da muhafaza eden plastiklerdir.

# **KESME DENEYİ ve KESME DAYANIMI**

# KESME DAYANIMI



## KESME DAYANIMI



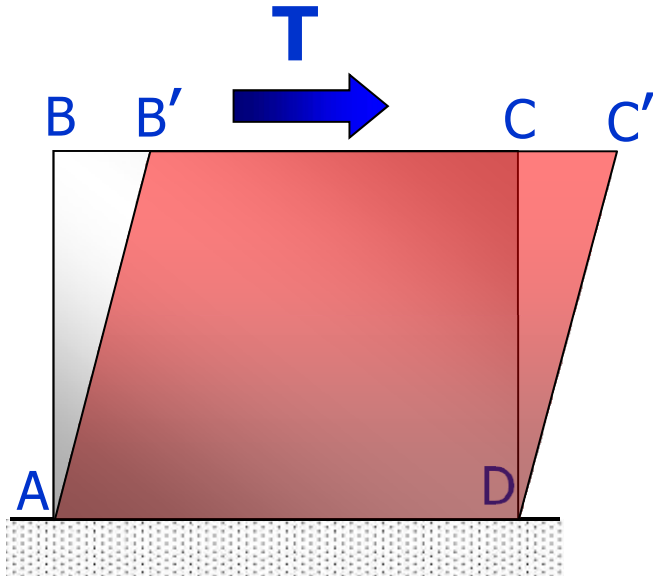
✓ Bir eksene göre birbirine zıt ve aralarında çok küçük uzaklık bulunan iki kuvvetin malzemeye etkimesi sonucu malzemede kesme gerilmeleri ve şekil değişimleri görülür.

$$\gamma = \frac{T}{A}$$

# KESME DAYANIMI



## KESME DAYANIMI



✓ Bu deneyde yalnızca açılarda değişiklikler olur. Ayrıca saptanması en zor ve en az bilinen dayanımdır.

✓ Basit kayma halini deneylerle gerçekleştirebilmek çok zordur. Çünkü eğilme, delme ve sürtünme etkisini yok edebilmek olanaksız gibidir.

✓ Çeşitli deney yöntemlerinin farklı sakıncaları vardır

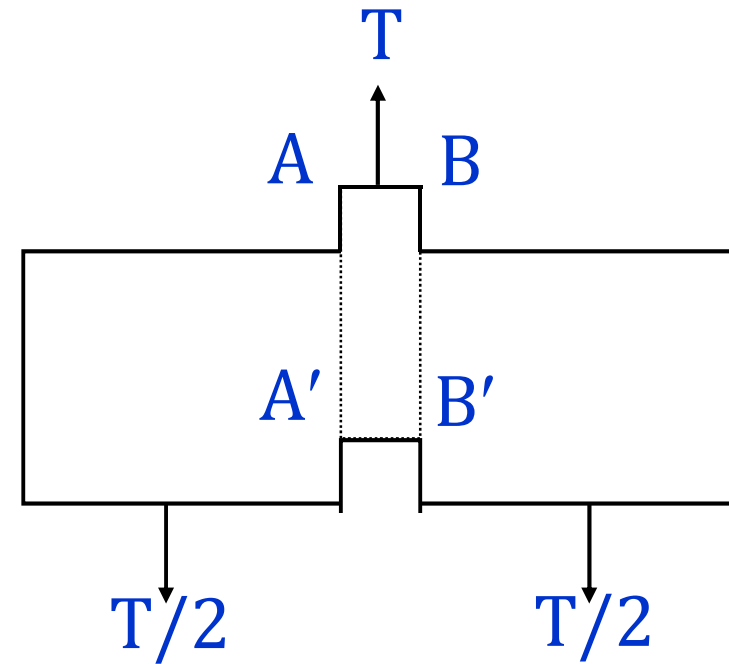
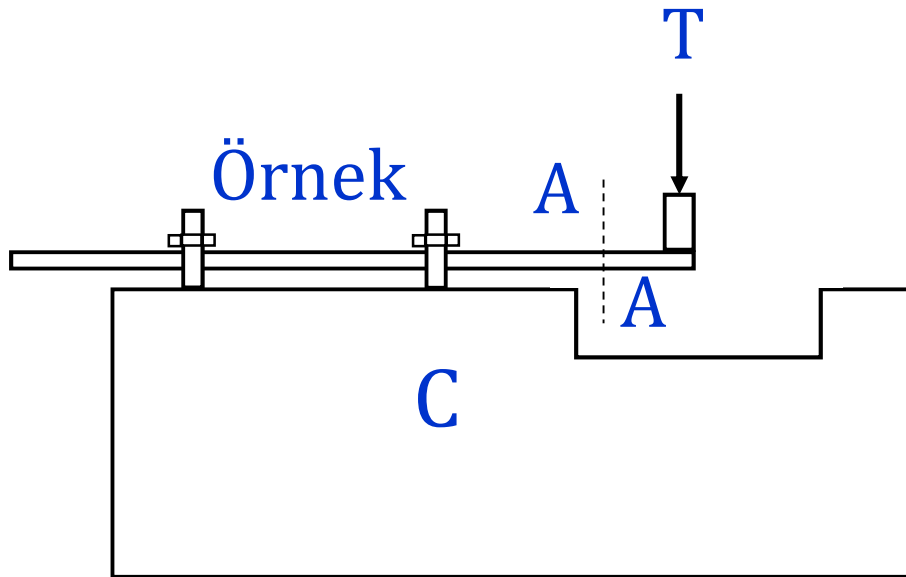
$$\gamma = \frac{T}{A}$$

# KESME DAYANIMI



## KESME DAYANIMI

✓ Çeşitli deney yöntemlerinin farklı sakıncaları vardır

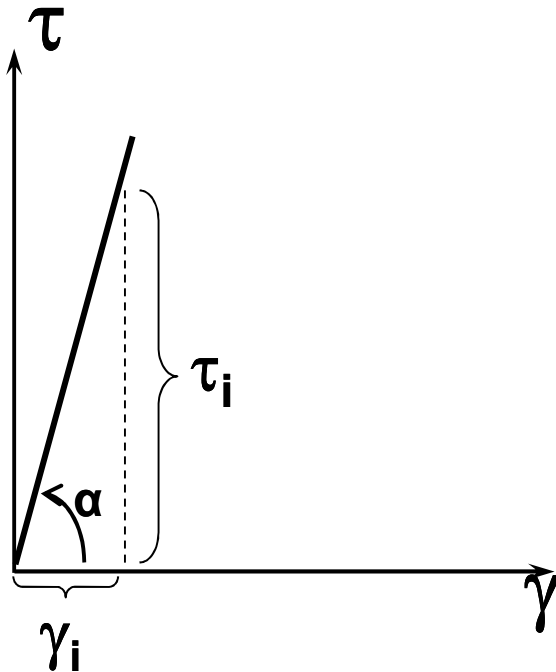


# KESME DAYANIMI



## KESME DAYANIMI

- ✓ Bir cisimde çekme ve basınç halinde gerilmeler ile birim şekil değiştirmeler arasında bir orantı var ise, böyle bir cisim basit kayma halinde de aynı özelliğe sahip olabilir.



$$\tan(\alpha) = \frac{\tau}{\gamma} = G$$

- ✓ Buradaki orantılılık sabiti olan G katsayısına kayma modülü denilmektedir.

# KESME DAYANIMI



- ✓ G ve E arasında da şöyle bir bağıntı vardır:

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

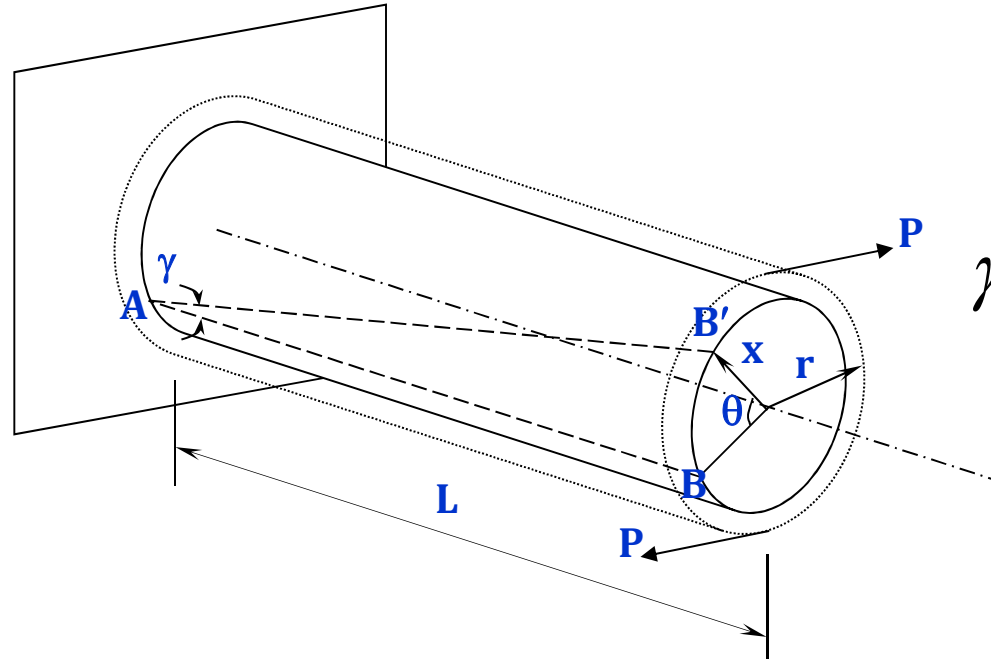
- ✓ Burada, Poisson oranıdır (Basınç ve çekme durumları için oranının eşit olduğu varsayılmıştır).
- ✓ Bazı malzemelerde Elastisite modülleri çekme ve basınç halleri için eşit değildir.

$$G = \frac{1}{(1 + \nu) \left( \frac{1}{E_{\text{ç}}} + \frac{1}{E_{\text{b}}} \right)}$$

# KESME DAYANIMI

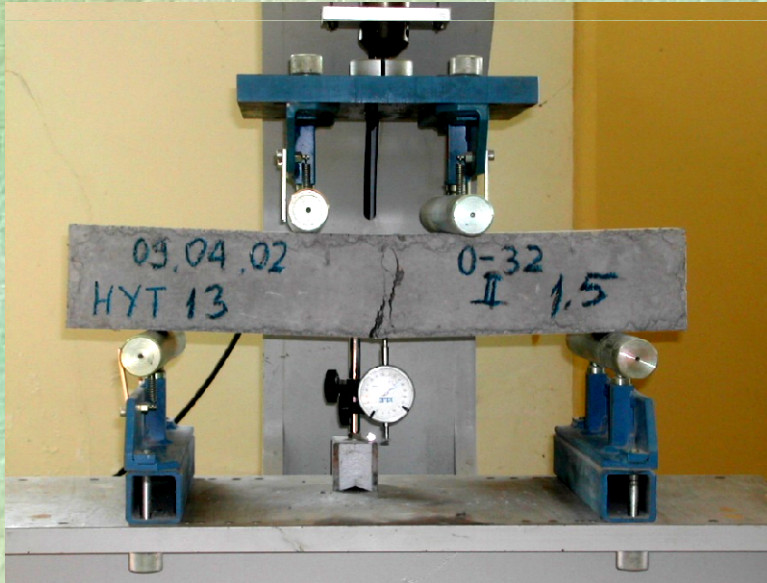


- ✓ Kayma modülü değerleri, genellikle elastisite modülü değerlerinin % 40'ı civarındadır.
- ✓ Kesme deneylerini saf kesme gerilmesi yaratabilmenin zorluğu nedeniyle, kesme gerilmesi durumu burulma deneyleri ile dolaylı olarak gerçekleştirilir.



$$\gamma = \frac{BB'}{AB} = \frac{\theta \cdot x}{L}$$

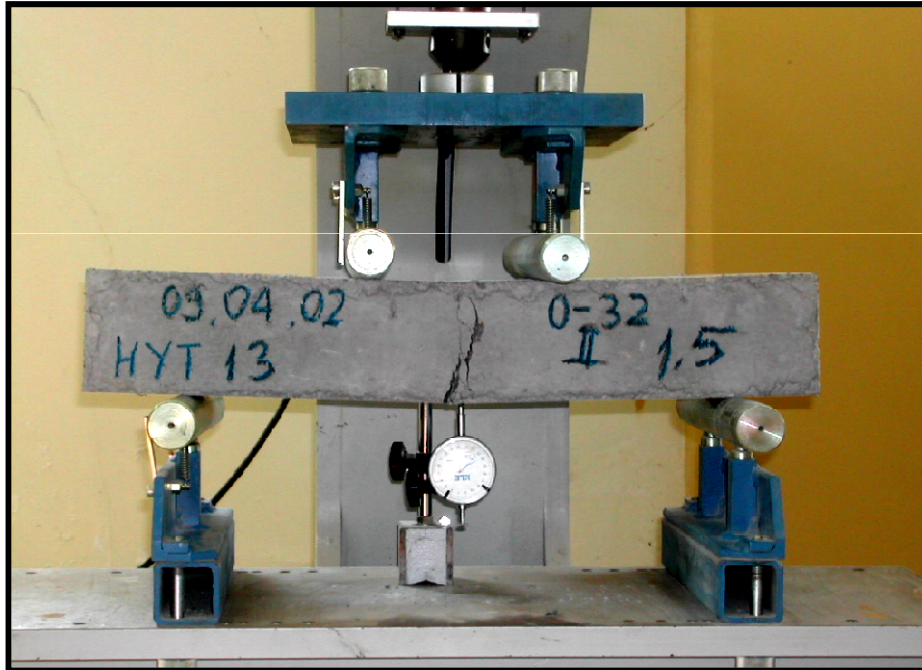
# EĞİLME DENEYİ ve EĞİLME DAYANIMI



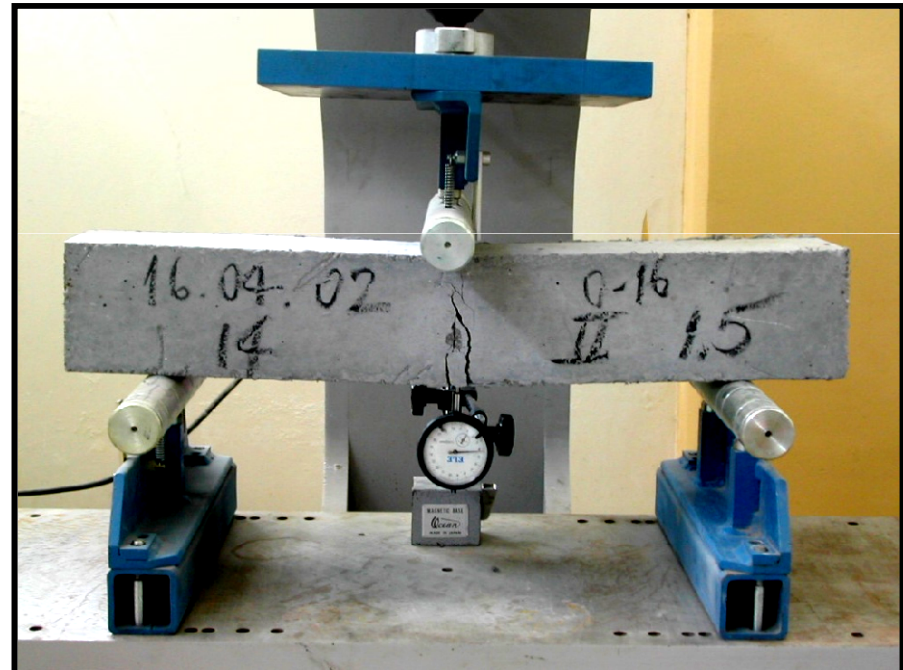
# EĞİLME DAYANIMI



- ✓ Laboratuvarda yapılan eğilme dayanımı belirleme deneyleri standartlara göre iki grupta toplanabilir:

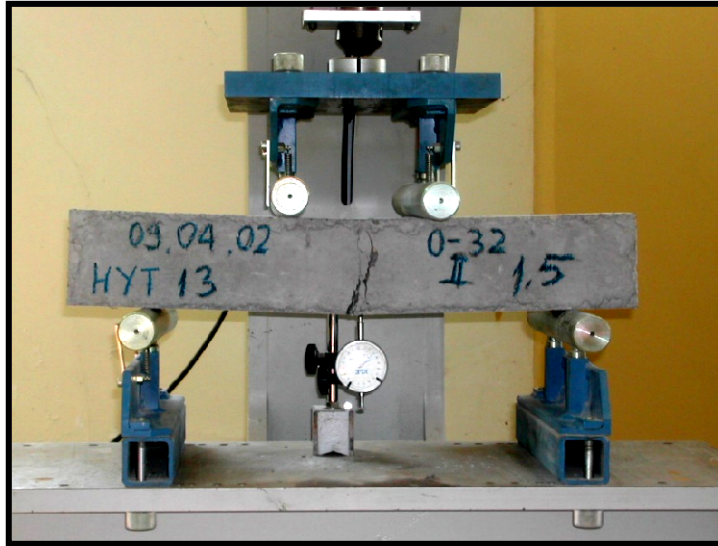


✓ 4 Nokta eğilme deneyi

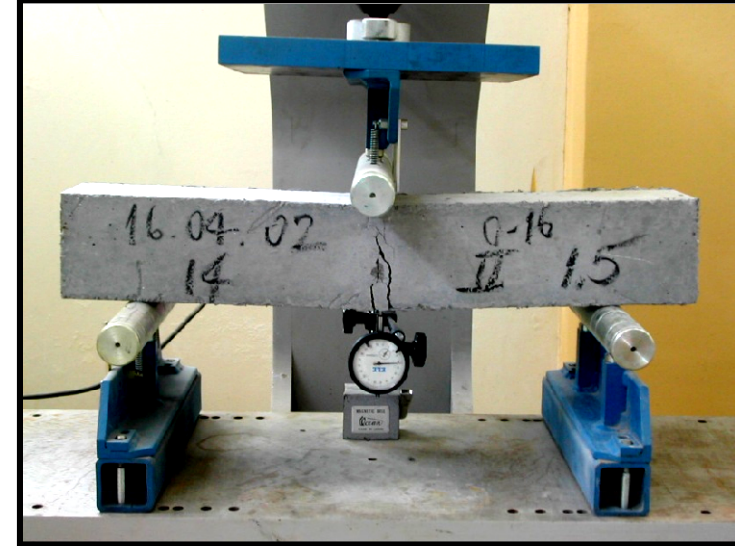


✓ 3 Nokta eğilme deneyi

# EĞİLME DAYANIMI



✓ 4 Nokta eğilme deneyi

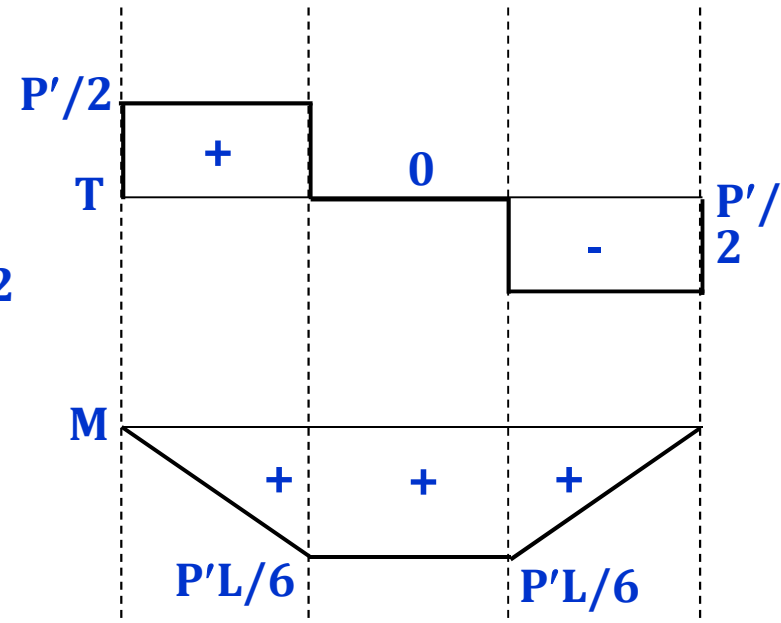
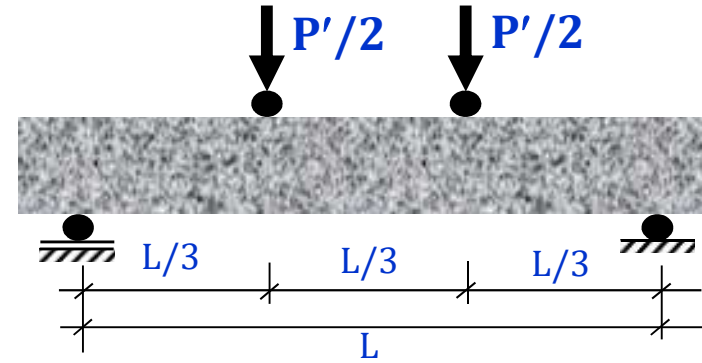
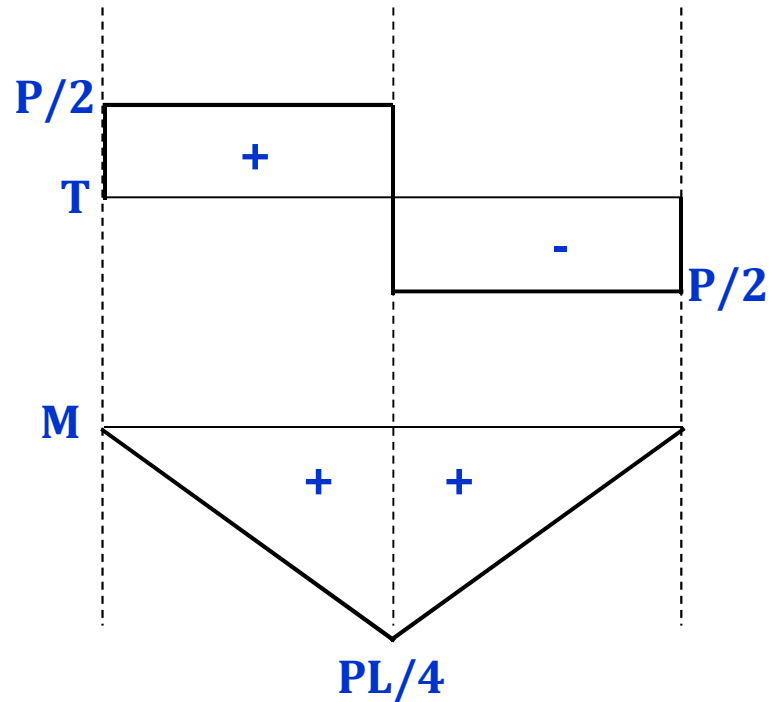
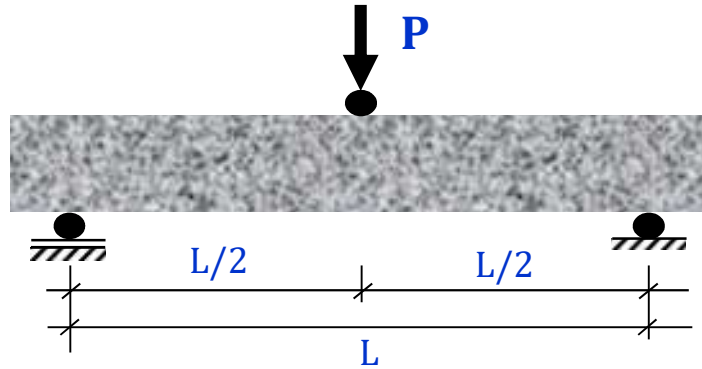


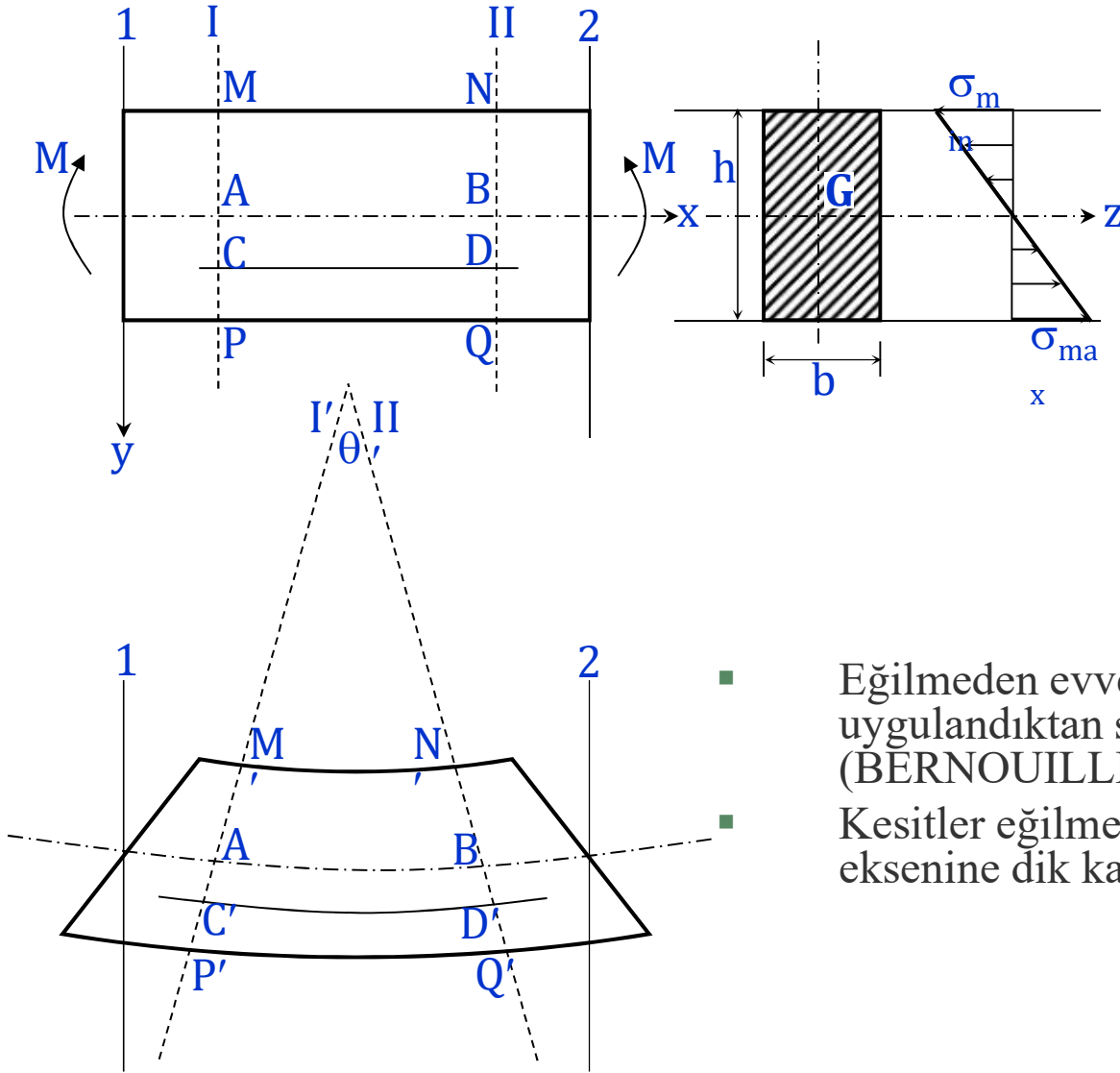
✓ 3 Nokta eğilme deneyi

- ✓ Hangi deney yönteminde eğilme dayanımı daha düşük çıkar?
- ✓ Hangi deney yöntemi daha güvenilirdir?

- ✓ 3 nokta eğilme deneyi ile alınan sonuçlar 4 nokta eğilme deneyine göre daha yüksektir

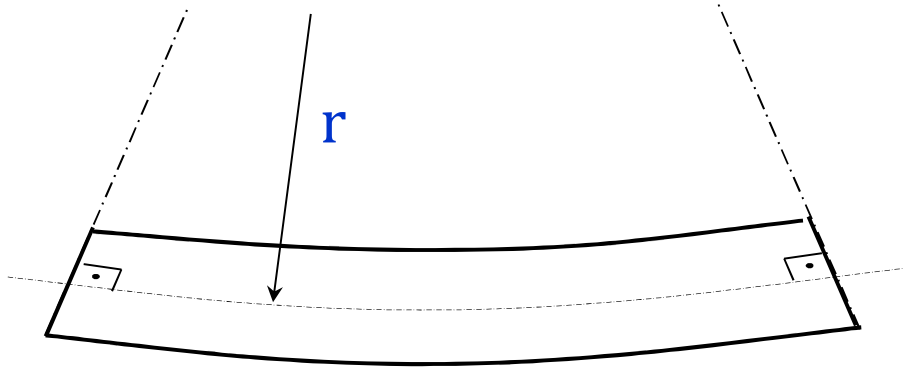
# EĞİLME DAYANIMI





- Eğilmeden evvelki kesitler kuvvet uygulandıktan sonra da düzlemlliğini korur (BÉRNOUILLE-NAVIER hipotezi).
- Kesitler eğilme oluştuktan sonra da kiriş eksenine dik kalmaktadırlar.

- Eğilme durumunda çubuk liflerinin boylarının değişmesine sebep olan gerilmeler çubuk eksenine dik doğrultudaki normal gerilmelerdir (şekilde üst liflerde basınç alt liflerde çekme). Kirişin eğilme neticesinde meydana gelen şekil değişimlerinin çok küçük olması nedeniyle, eksene paralel liflerin bir daire yayı üzerinde olduğu kabul edilebilir. Kiriş eksenini eğilmeden sonra  $r$  yarıçapına sahip bir daire yayı şeklini alır



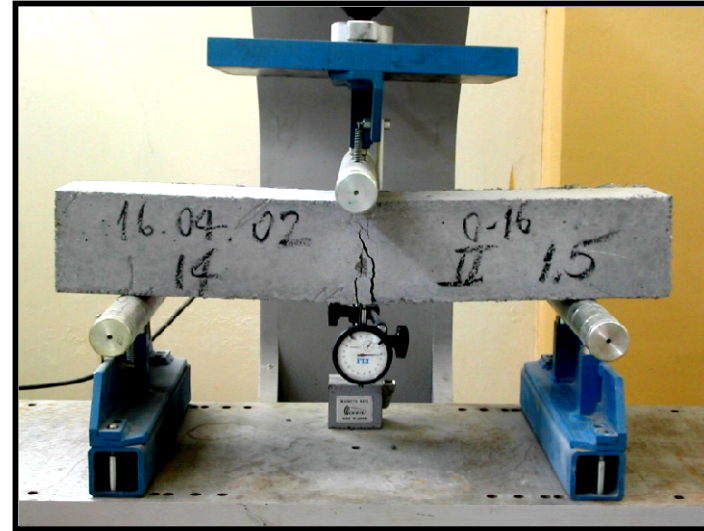
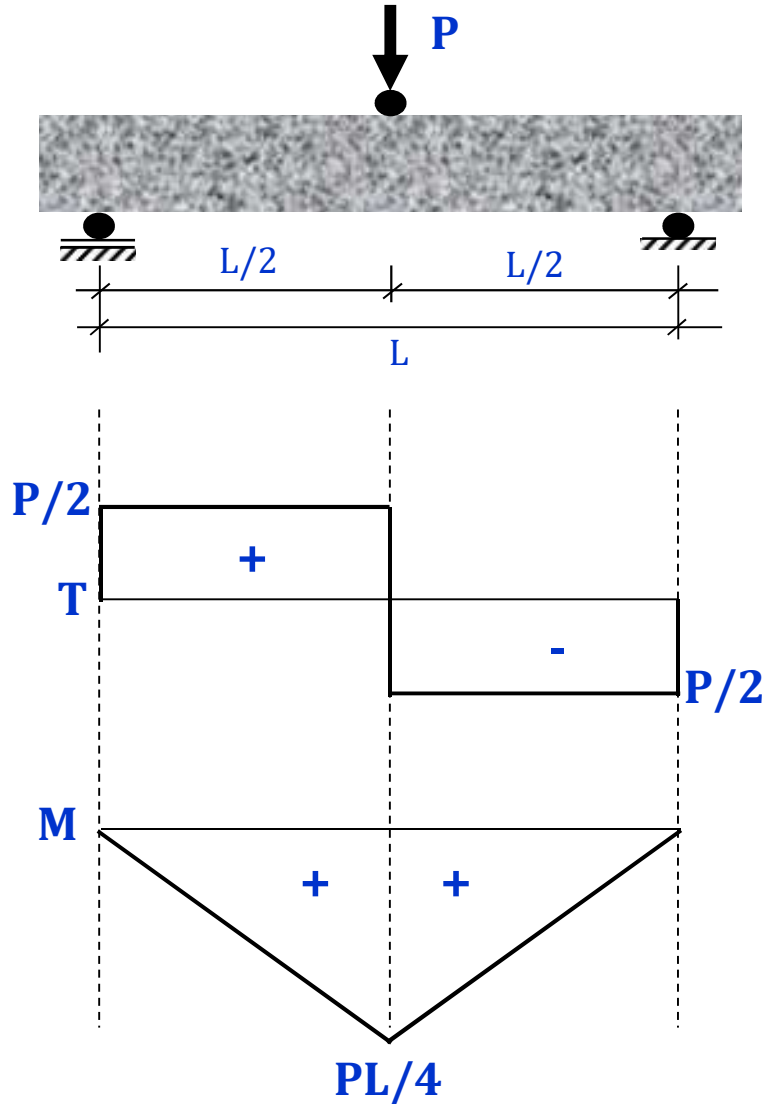
$$W = \frac{I}{y_{\max}}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W}$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EI}$$

$$\sigma = \frac{M}{I_{zz}} \cdot y$$

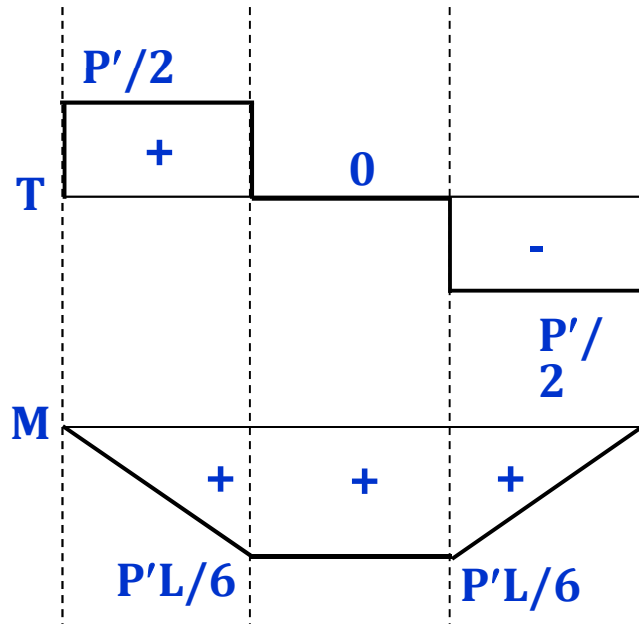
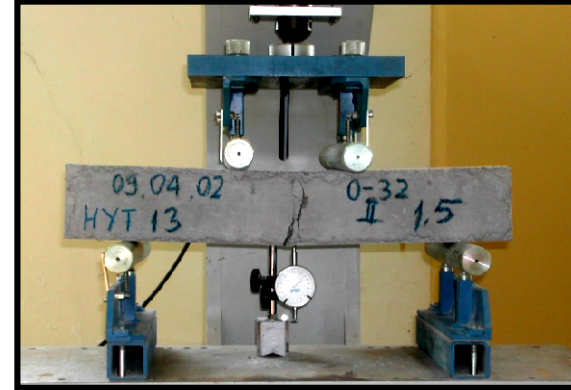
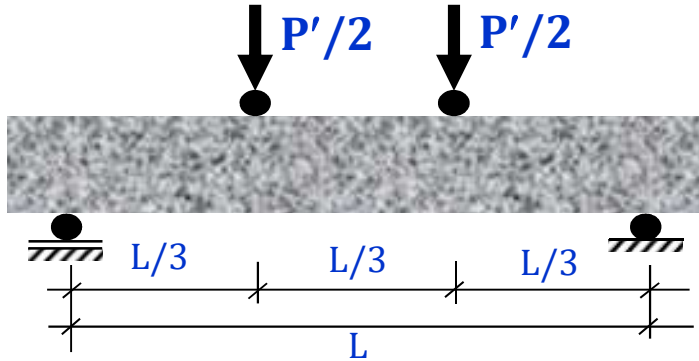
# EĞİLME DAYANIMI



✓ Tekil yüklemeli deneylerde açıklık boyunca tek noktada (açıklık ortası, yükleme noktası) maksimum moment oluşur ve o noktada kesme kuvveti de değer değiştirmektedir.

✓ Dolayısı ile saf eğilme durumundan söz edilemez.

# EĞİLME DAYANIMI



✓ İki noktadan yüklemeli deneylerde maksimum moment belirli bir aralıkta değer almaktadır.

✓ Bu aralıkta kesme kuvveti sıfırdır. Bir başka deyişle, salt eğilme hali söz konusudur.

✓ Eğilme deneylerinde sadece eğilme etkisi inceleneceğinden iki noktadan yüklemeli ikinci deney yöntemi daha sağlıklı sonuçlar vermektedir.

# ÖRNEK ŞEKLİ ve BOYUTLARI



- ✓ Çelik gibi metalik malzemelerde malzeme homojen kabul edilebilir. Bu yüzden kesit alanı büyüse de dayanımı (gerilme) değişmez.

Φ16

Φ14

Φ12

Φ10

Φ8



- ✓ Örneğin yandaki inşaat çelikleri S420 çeliğidir.
- ✓ Buna göre akma dayanımları 420 MPa'dır.

- ✓ Φ8 için akma anındaki

$$\text{Gerilme } \sigma = 420 \text{ MPa} = 4200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Yük } P = \sigma \times A = 4200 \times 0.5024 = 3297 \text{ kgf}$$

- ✓ Φ16 için akma anındaki

$$\text{Gerilme } \sigma = 420 \text{ MPa} = 4200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Yük } P = \sigma \times A = 4200 \times 2.009 = 8438 \text{ kgf}$$

- ✓ Φ50 için

$$\text{Yük } P = 82425 \text{ kgf}$$

# ÖRNEK ŞEKLİ ve BOYUTLARI



- ✓ Beton gibi kompozit malzemelerde ise kırılma dayanımının en zayıf olduğu nokta veya noktalardan başlar ve devam eder.
- ✓ Malzemenin zorlanan kesit alanı büyüdükçe en zayıf nokta veya bölge bulunma olasılığı ve miktarı artar.
- ✓ Bu yüzden malzemenin zorlanan kesit alanı büyüdükçe malzemenin dayanımı düşer.  
Bir başka deyişle; malzemenin boyutları büyüdükçe dayanımı düşer.

# ÖRNEK ŞEKLİ ve BOYUTLARI



## •ÖRNEK ŞEKLİ VE BOYUTLARI



**STANDART  
SİLİNDİR  
15x30 cm**

**h/d ORANI=2.0**

✓ Daha küçük boyutlu malzemenin basınç dayanımı daha büyük olacaktır.



**15 cm AYRITLI  
KÜP**

✓ Ayrıca örnek küp olursa dayanımı daha yüksek olacaktır. (narinlik etkisinden dolayı)

# ÖRNEK ŞEKLİ ve BOYUTLARI

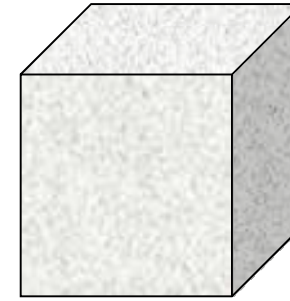
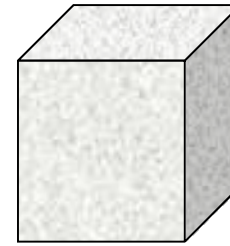
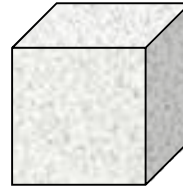


## •ÖRNEK ŞEKLİ VE BOYUTLARI



15 veya 20 cm  
AYRITLI KÜP

**BOYUT ETKİSİ :**



**ÖRNEK :**      **10 cm**      **15 cm**      **20 cm**

**BAĞIL DAYANIM (%) :**      **120**      **100**      **90**

# ÖRNEK ŞEKLİ ve BOYUTLARI

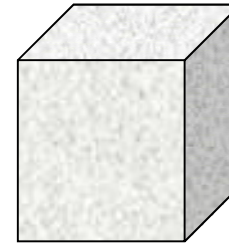
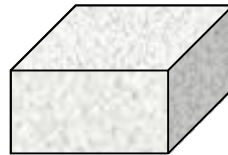


## •ÖRNEK ŞEKLİ VE BOYUTLARI



15 veya 20 cm  
AYRITLI KÜP

**ŞEKİL ETKİSİ :**



**ŞEKİL :**      **PLAK**      **KÜP**      **PRİZMA**

**NARİNLİK ( $h/a$ ) :**      **0.5**      **1.0**      **2.0**

**BAĞIL DAYANIM (%) :** **140-200**      **100**      **75-95**

# ÖRNEK ŞEKLİ ve BOYUTLARI



## •ÖRNEK ŞEKLİ VE BOYUTLARI

**C30/37**



**İkisi de aynı  
beton ile üretilmiş**



**28 günlük  
Basınç dayanımı  
30 Mpa olan  
Standart silindir**



**28 günlük  
Basınç dayanımı  
37 Mpa olan  
15 cm ayrıtlı küp**



Dokuz Eylül Üniversitesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü



**İNŞ2023 YAPI MALZEMESİ I**

# **MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

*Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA*  
[www.caglaryalcinkaya.com](http://www.caglaryalcinkaya.com)