

**GEVREK ve SÜNEK MALZEME (ELASTİK-İNELASTİK MALZEME)**

- **Sünek (Elastik) Malzeme**

Yükleme ve boşaltma adımlarında aynı yük-deplasman çizgisi izlenir.

Yük kaldırdığında, bütün sonuçları (deformasyon, gerilme, vs.) da ortadan kalkar.
- **Gevrek (İnelastik) Malzeme**

Yükleme ve boşaltma adımlarında aynı yük-deplasman çizgisi izlenmez. Yük kaldırılınca, etkiler ortadan kalkmayabilir...

**Gerçek malzemelerde çoğunlukla, yüklemenin derecesine göre iki davranış bir arada bulunur...**

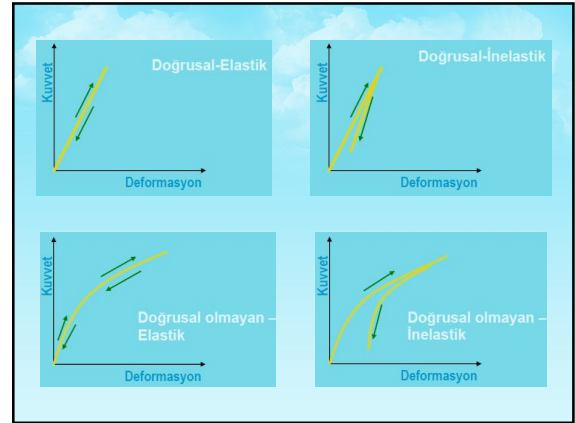
**Davranış**

```

    graph TD
      A[Davranış] --> B[Lineer (Doğrusal)]
      A --> C[Nonlineer (Doğrusal Olmayan)]
  
```

**Lineer (Doğrusal)**  
Tepki, etki ile doğru orantılıdır. (2 kat yük = 2 kat deplasman) Eğilme Rijitliği (EI) Sabittir.

**Nonlineer (Doğrusal Olmayan)**  
Tepki, etki ile doğru orantılı değildir. (2 kat yük = 4 kat deplasman olabilir...) Geometrik Etkilere, Malzeme özelliklerine veya ikisine birden bağlı olabilir.



**Analiz Türleri**

Yük	Malzeme	Davranış	Analiz Türü
Statik	Elastik	Lineer	Lineer-Elastik-Statik Analiz
Statik	Elastik	Nonlineer	Nonlineer-Elastik-Statik Analiz
Statik	İnelastik	Lineer	Lineer-İnelastik-Statik Analiz
Statik	İnelastik	Nonlineer	Nonlineer-İnelastik-Statik Analiz
Dinamik	Elastik	Lineer	Lineer-Elastik-Dinamik Analiz
Dinamik	Elastik	Nonlineer	Nonlineer-Elastik-Dinamik Analiz
Dinamik	İnelastik	Lineer	Lineer-İnelastik-Dinamik Analiz
Dinamik	İnelastik	Nonlineer	Nonlineer-İnelastik-Dinamik Analiz

**Diğer Analiz Türleri**

- **Doğrusal Olmayan Analizler**
  - P-Delta Analizi
  - Burkulma Analizi
  - Pushover Analizi
  - Büyük Deplasman Analizi
- **Dinamik Analizler**
  - Serbest Titreşim ve Modal Analiz
  - Davranış Spektrumu Analizi

Analiz Türü	Denklemi	Anlamı	Açıklaması
Lineer Statik Analiz	$Kv(t) = P(t)$	Rijitlik x Deplasman = Sisteme Etkiyen Kuvvet	Atalet Kuvveti = Sisteme Etkiyen Kuvvet
Lineer Dinamik Analiz	$Mv''(t) + Cv'(t) + Kv(t) = P(t)$	Kütle x Hız + Sönüm x İvme + Rijitlik x Deplasman = Sisteme Etkiyen Kuvvet	Atalet Kuvveti + Sönüm Kuvveti + Rijitlik Kuvveti (Yay) = Sisteme Etkiyen Kuvvet
Nonlineer Statik Analiz	$Kv(t) + F = P(t)$	Rijitlik x Deplasman + Rijitlik Azaltma Matrisi = Sisteme Etkiyen Kuvvet	Atalet Kuvveti + Rijitlik Azaltma Matrisi = Sisteme Etkiyen Kuvvet
Nonlineer Dinamik Analiz	$Mv''(t) + Cv'(t) + Kv(t) + F = P(t)$	Kütle x Hız + Sönüm x İvme + Rijitlik x Deplasman + Rijitlik Azaltma Matrisi = Sisteme Etkiyen Kuvvet	Atalet Kuvveti + Sönüm Kuvveti + Rijitlik Kuvveti (Yay) + Rijitlik Azaltma Matrisi = Sisteme Etkiyen Kuvvet

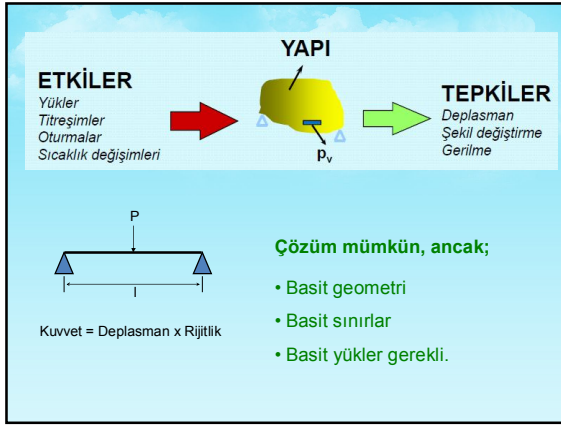
## Kabuller

Karar verilen analiz türünün uygulanabilmesi için çeşitli Kabuller yapılır.

Örneğin;

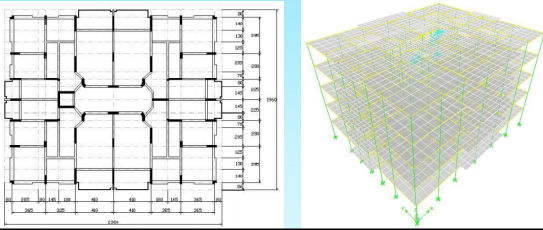
Lisans Düzeyinde Anlatılan Lineer-Elastik-Statik Analiz için Kabuller;

1. Yapı Statiğinde incelenecek sistemler yüklerin şekline ve şiddetine bağlı değildir.
2. I.Mertebe Teorisi geçerlidir. Sisteme etkiyen yüklerin şekil değiştirmemiş eksen üzerine etki ettiği kabul edilir. Yani, doğrusal yer değiştirmelerin denge denklemlerine ve geometrik uygunluk koşullarına etkisi terk edilmektedir. I.Mertebe Teorisine göre yapılan hesaplarda, iç kuvvetler ile dış kuvvetler arasındaki bağıntılar lineer (doğrusal) olduğundan süper pozisyon prensibi geçerlidir.
3. Malzemenin gerilme-şekil değiştirme bağıntısı lineer elastik sınırlar içerisinde. Hooke kanunu geçerlidir.
4. Şekil değiştirmeden önce bir düğüm noktasına birleşen çubuklar arasındaki açı, sistem şekil değiştirdikten sonra da aynı kalır. (Rijit Düğüm Noktası Kabulü)
5. Düzlem kesitler şekil değiştirdikten sonra da düzlem kalırlar (Bernoulli – Navier Hipotezi).
6. Doğru eksensli çubuklarda düğün sıcaklık değişimi etkisi yok ise ( $t=0$ ), çubuğun boy değişimi yaklaşık sıfır alınabilir.
7. Sisteme etkiyen yüklerin, sistem şekil değiştirdikten sonra da doğrultularını değiştirmedikleri varsayılır.
8. Kayma şekil değiştirmeleri, çubuk elemanlarda (Perde elemanlar hariç) terk edilebilecek kadar küçüktür.



## Modelleme

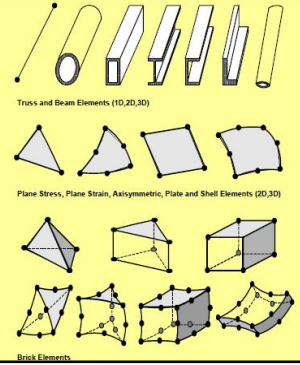
Modellemede; Kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilen problemlerin çözümü için sayısal bir yöntem olan ve çözüm hassasiyeti mühendislik problemleri için yeterli olan Sonlu Elemanlar Metodu kullanılmaktadır.



## Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu Elemanlar;

Çubuk, Plak, Levha ve Kabukların çözümünde kullanılmaktadır.

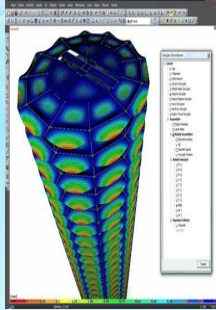


Malzeme ve Geometri bakımından Lineer yada Nonlineer sistemlere uygulanabilir.

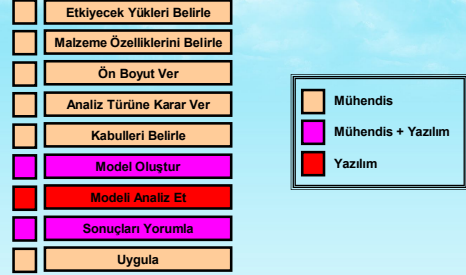
Her türlü sınır şartlarına uygulanabilir.

Her türlü sisteme istenilen yük şekli ve değerleri ile uygulanabilir.

Problemin büyüklüğü önemli değildir. Bilgisayar çözümlmeleri için uygundur.



## Yapı Analizinde Mühendisin Rolü



## PAKET PROGRAMLA ANALİZ YAPARKEN;

- PROGRAMLARIN HESAP KABULLERİ İYİ BİLİNMELİDİR.
- PROGRAMIN KAPASİTESİNE UYGUN VERİLER GİRİLMELİDİR.
- TÜM KONTROLLERİN PROGRAM TARAFINDAN YAPILMADIĞI BİLİNMELİDİR...!!!
- DAVRANIŞ BİLGİSİ İLE SONUÇLAR YORUMLANMALIDIR.

**HAZIR PAKET PROGRAMLAR, KIYMA MAKİNASI GİBİDİR.  
NE VERİRSENİZ ONU ALIRSINIZ...**

(BALIK ETİ) → (BALIK KIYMASI)

**SONUÇ: DOĞRU VERİ GİRMEZSENİZ, ANALİZİ YAPILAN SADECE MODEL OLUR, BİNA DEĞİL...**

“ İnşaat mühendisliğinde kesin çözüm yoktur. Hesap yaparken bir sürü varsayım yaparız .

İyi mühendis, yaptığı varsayımların ve bunların mertebesinin bilincindedir.

Kötü mühendis, çoğu kez hesapların, yaptığı varsayımlar nedeni ile kesin olmadığını farkında değildir. Bu nedenle de oluşabilecek hata oranı hakkında da hiçbir fikri yoktur.”

**R.C. REESE**

Uğur Ersoy'un "Ustalarından Öğrendiklerim" Kitabından.

## Betonarme Davranışı

Betonarme; 1855'de Coignet ve 1857'de Monier tarafından resmi olarak patent alınmasıyla yapı malzemesi olarak tanınmış ve tüm dünyada en çok tercih edilen yapı malzemesi olmuştur. Bunun nedeni; betonarmenin yüksek dayanımı, güvenilirliği, diğer malzemelere göre maliyetinin düşük olması ve yapım kolaylığı olarak sıralanabilir.



Joseph MONIER

1887'de Wayss ve Koenen tarafından yayınlanan "Monier Sistemi" isimli kitap Betonarme Hesap İske ve Yöntemlerini aktaran ilk yapıttır. Bu yapıtı ilginç kılan en önemli özellik; Bugün de temel ilke olarak kabul ettiğimiz üç hususun ilk kez bu yapıtta dile getirilmiş olmasıdır.

## Betonarme Davranışı

1. Betonarme elemanlarda çekmenin tamamı çelik çubuklar tarafından karşılanır.
2. Çelik ve Betonun birlikte çalışması bu iki malzeme arasındaki bağ kuvvetleri (aderans) ile sağlanır.
3. Beton ve Çeliğin genişleme katsayıları özdeşdir. (Sıcaklık değişimlerine verdikleri tepkiler aynıdır.)

### Betonarme Davranışı

Beton düşük çekme dayanımına sahip olması sebebiyle oldukça yüksek çekme dayanımına sahip olan çelik çubuklar ile takviye edilmektedir.

Çelik çubukların beton tarafından sarılması ile beton içinde kalarak dış etkilerin oluşturacağı korozyona karşı korunması sağlanmaktadır.

İki malzemenin de yakın sıcaklık genleşme katsayılarına sahip olması sebebi ile iki malzeme arasında mükemmel bir uyum vardır.

### Betonarme Davranışı

Betonarmeyi diğer yapı malzemelerinden ayıran en önemli özelliği işte bu "uyum"dur.

**Uyum**; fazla zorlanan bir lifin, kesitin veya elemanın, zorlanmaları komşu lif, kesit veya elemana aktarabilme özelliğine denir.

Betonarme uyumunun doğru şekilde sağlanabilmesi için gevrek davranış sergileyen beton sünek bir malzeme olan çelik donatılar ile yatay olarak sarılır ve Betonarme kesitin sünek davranmasını sağlarlar.

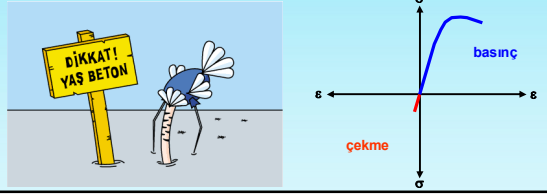
### Betonarme Davranışı

**Süneklik**; yük taşıma kapasitesinde düşme olmadan, kesitin büyük deformasyon yapabilme özelliğidir. Sünek davranış, "uyum"un oluşmasını sağlayarak, kuvvetlerin fazla zorlanan bir elemandan diğerine aktarılmasına olanak tanır.

**Dikkat !!**  
**SÜNME ile karıştırma !!**

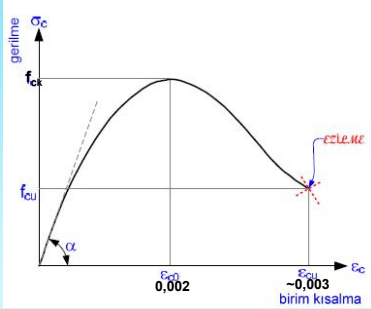
### Beton

<b>Basınç Dayanımı</b>	Değeri Beton Sınıfına Göre Değişir.
<b>Çekme Dayanımı</b>	Basınç Dayanımının Yaklaşık %10'u Seviyesindedir. <b>İhmal Edilebilir</b>



### Betonun Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi

Betonun yük altındaki davranışının anlaşılabilmesi için Gerilme-Şekil Değiştirme diyagramının bilinmesi gerekiyor...



### Betonun Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi

#### Önemli Noktalar:

Betonun Gerilme Şekil Değiştirme Eğrisi için tek bir fonksiyondan bahsetmek mümkün değildir.

Hatta aynı eğrinin farklı bölgeleri için farklı denklemler dahi uygulanamaz. Ancak modelleme yapılabilir. (Beton Modelleri)

Farklı basınç dayanımları (Beton Kaliteleri) için farklı eğriler söz konusudur.

Eğrinin maksimum gerilme noktası betonun karakteristik basınç dayanımıdır ( $f_{ck}$ ). Karakteristik basınç dayanımı beton için güvenlik katsayısı olan 1,5'a bölüldüğünde hesap basınç dayanımı ( $f_{cd}$ ) elde edilir.

Beton 0.002 Şekil Değiştirmeye maruz kaldıktan sonra daha fazla yük taşıyamaz (gerilme büyümeye) çatlama başlar, 0.003 Şekil Değiştirmeye kadar enerji yutmaya devam eder. Bu noktada beton ezilerek dayanımını yitirir.

## Elastisite Modülü

Elastisite modülü, gerilme-şekil değiştirme eğrisinin eğimi olarak tanımlanır.

Elastisite modülü yapıların analizinde şekil değiştirme ve deplasmanların belirlenmesi için gerekli, önemli bir parametredir.

Betonun elastisite modülünü tanımlamak zor bir iştir. Çünkü betonun basınç dayanımını ve gerilme-şekil değiştirme bağıntısını etkileyen faktörler elastisite modülünü de etkiler.

Betonda elastisite modülü tayini genellikle 150x300 mm boyutlarındaki silindirik şekilli numuneler üzerinde yapılır.

Çeşitli ülkelerde yürürlükte olan yönetmeliklerde elastisite modülü, basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir.

## Video (Elastisite Modülü Deneyi)



## Elastisite Modülü Değerleri

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 318-83):

$$E_{ci} = w^{1.5} \times 0.14 \times \sqrt{f_{ci}}$$

Avrupa Beton Komitesi (CEB-78):

$$E_{ci} = 44150 (f_{ci} + 80)^{1/3}$$

Türk Standartları Enstitüsü (TS-500):

$$E_{ci} = 10270 \sqrt{f_{ci}} + 140000$$

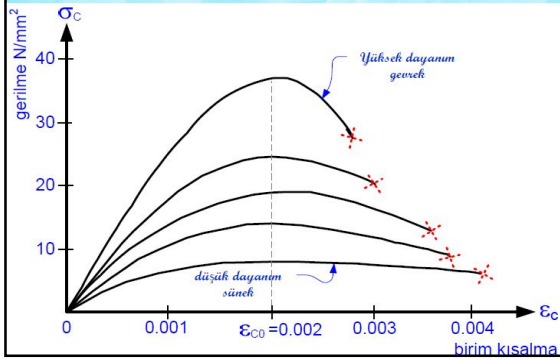
w: betonun ağırlığı, kg/m<sup>3</sup>

f<sub>ci</sub>: j günlük betonun silindirik basınç dayanımı, kgf/cm<sup>2</sup>

## Elastisite Modülü Değerleri

Beton Sınıfı	E Değeri (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Amerikan Beton Enstitüsü	Avrupa Beton Komitesi	Türk Standartları
C20	219130	288480	285340
C25	245000	304720	302500
C30	268380	319390	318000
C35	289890	332820	332270
C40	309900	345250	345550

## Değişik Dayanıma Sahip Betonların $\sigma$ - $\epsilon$ Eğrileri



## Farklı Dayanıma Sahip Betonların $\sigma$ - $\epsilon$ Eğrileri

• Beton kalitesi arttıkça betonun ezildiği şekil değiştirme değeri ( $\epsilon_{cu}$ ) daha küçük olur. (Beton dayanımı daha düşük olan numunelere göre nispeten daha gevrek.)

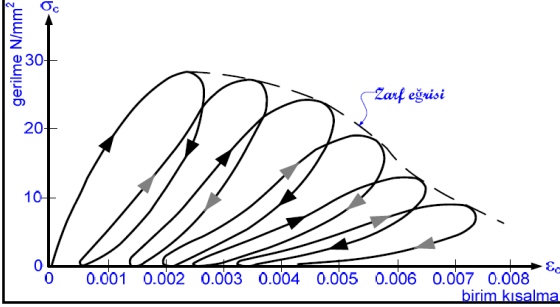
• Kalite azaldıkça betonun ezildiği şekil değiştirme değeri ( $\epsilon_{cu}$ ) daha büyük olur. (Beton dayanımı daha büyük olan numunelere göre nispeten daha sünek.)

• Beton Dayanımı düştükçe Elastisite Modülü' de düşer.

• Her tür betonda maksimum gerilmeye karşılık gelen kılma yaklaşık aynıdır. ( $\epsilon_{c0} \approx 0.002$ ) dir.

### Tekrarlanan Yük Altında Beton Davranışı

Bir beton numunede yükleme sırasında, gerilme en büyük değere varınca yük boşaltılır, tekrar ulaşabildiği en büyük gerilmeye kadar yüklenirse ve bu defalarca tekrarlanırsa aşağıdaki eğri oluşur.



### Tekrarlanan Yük Altında Beton Davranışı

•Defalarca yüklenen-boşaltılan yük altında  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrilerinin zarf eğrisi sürekli yüklü betonun  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi ile aynıdır.

•Yükleme-boşaltma altında betonun elastisite modülü değişmekte, yük tekrarı arttıkça, elastisite modülü önemli ölçüde azalmaktadır.

•Elastisite modülünün azalması rijitliğin azalması anlamına gelir. Yüklenen-boşaltılan beton yumuşamaktadır.

•Yükleme-boşaltma davranışı deprem veya rüzgâr yükleri altındaki beton davranışını özetler.

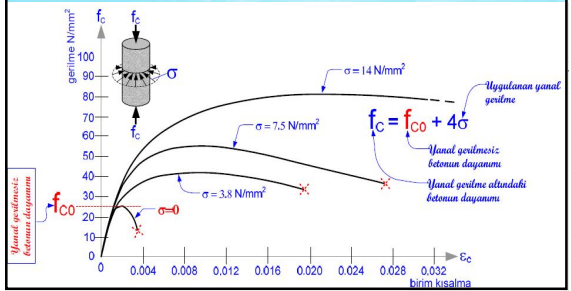
### Betonun Zamana Bağlı Deformasyonu

**Rötre (Büzülme):** Beton priz yaptıktan sonra, çimento ile kimyasal reaksiyona girmemiş suyun buharlaşması nedeniyle nemini kaybederek büzülür. Dış yüklerden bağımsız olan bu olaya **Rötre** denir.

**Sünme:** Betonun uzun süreli ve sabit basınç yükü altında kısalmasıdır.

### Üç Eksenli Gerilme Etkisinde Beton Davranışı

Aynı kalitede hazırlanan beton numunelere farklı sabit yanal basınç gerilmeleri uygulanmış ve numunelerin aşağıda görülen  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrileri deneysel olarak çizilmiştir.



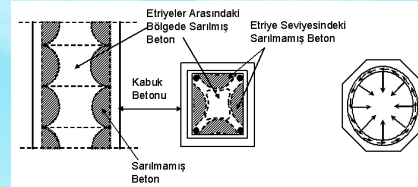
### Sargılı Beton Davranışı

•Yanal basınç, basınç dayanımını ve sünekliği artırır.

•Sargılama ile yanal basınç uygulandığından dolayı hem basınç dayanımı hem de göçme şekil değiştirmesinin artması sağlanır.

•Sargı donatısı elemana belirli bir yük uygulandıktan sonra devreye girerek dayanımı artırır.

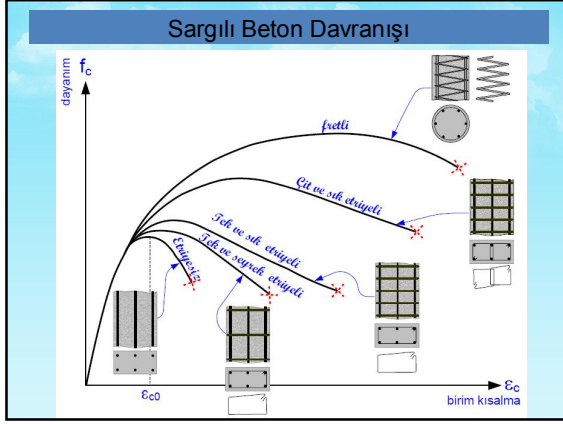
### Sargılı Beton Davranışı



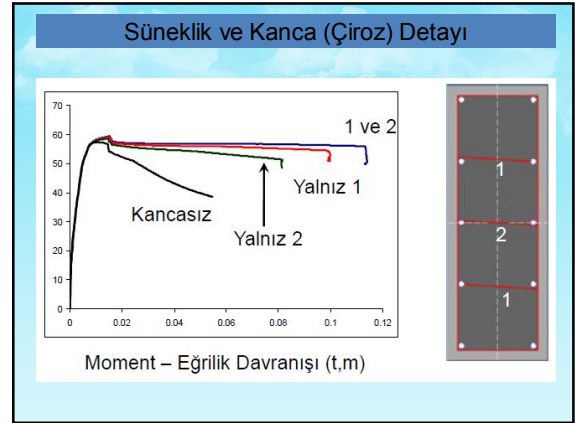
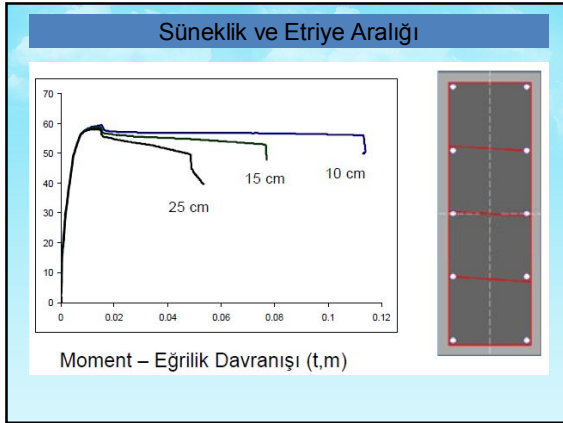
Etriye çekirdek betonunun yük altında yapmak istediği yanal deformasyonu sınırlar.

Sınırlanan yanal deformasyon nedeniyle betona yanal basınç uygulanır.

Etriyelerin betona uyguladığı yanal basınç betonun dayanımını ve özellikle sünekliğini büyük oranda artırır.

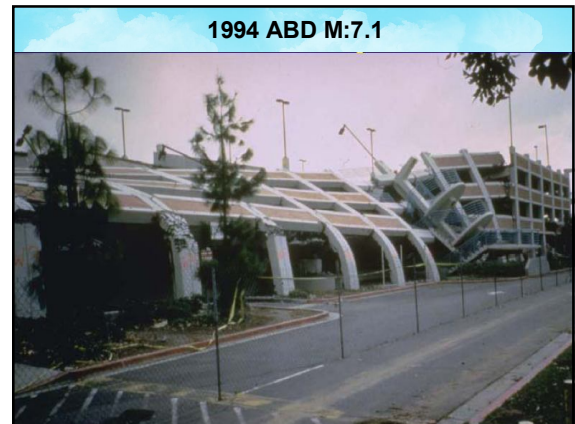


- ### Sargılı Beton Davranışı
- Seyrek de olsa etriye sünekliği artırır, dayanım pek artmaz.
  - Sık etriye sünekliği oldukça artırır, dayanım artışı da belirgin olur.
  - Çift etriye hem sünekliği hem de dayanımı çok artırır. Bunun nedeni etriye serbest açıklığının ve adımının küçülmesidir.
  - Fretli kolon hem süneklik hem de dayanım açısından, etriyeye göre, daha etkindir.
  - Donatılı betonlarda  $\epsilon_{c0}$  değeri sargı etkisi arttıkça büyümektedir.



### SÜNEKLİK

Enine Donatı Miktarı	↗	↗
Enine Donatı Aralığı	↗	↘
Enine Donatı Çapı	↗	↗
Enine Donatı Dayanımı	↗	↗
Çiroz Kullanımı	↗	↗
Beton Dayanımı	↗	↘





1994 ABD M:7.1



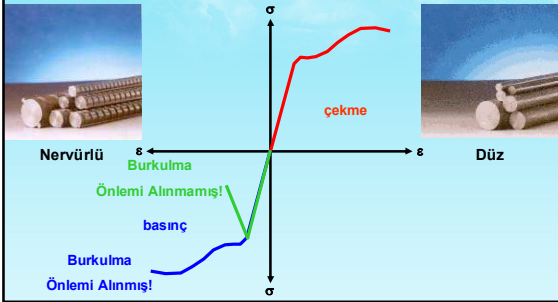
1994 ABD M:7.1



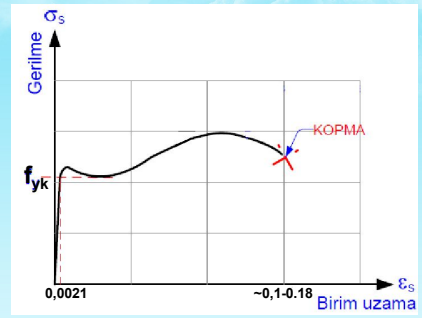
### Beton Çeliği

Çekme Dayanımı

Çelik Sınıfına Göre Değişir



### Çeliğin Gerilme-Şekil Değişirme Eğrisi



### Çeliğin Gerilme-Şekil Değişirme Eğrisi

#### Önemli Noktalar:

Çeliğin Gerilme Şekil-Değişirme Eğrisi için tek bir fonksiyondan bahsetmek mümkün değildir. Ancak betona göre fonksiyonel olarak daha kolay ifade edilebilir. (Çelik Modelleri)

Farklı çekme dayanımına sahip donatı çelikleri aynı tür eğri ile ifade edilebilir.

Eğrinin maksimum gerilme noktası çeliğin karakteristik çekme dayanımıdır ( $f_{yk}$ ). Karakteristik çekme dayanımı çelik için güvenlik katsayısı olan 1,15'e bölündüğünde hesap basınç dayanımı ( $f_{yd}$ ) elde edilir.

Çelik 0.002 Şekil Değişirmeye maruz kaldıktan sonra pekleşerek yük almaya devam eder ve kopma noktasına kadar yük alır. 0.1-0.18 Şekil Değişirmeye ulaştığında kopma meydana gelir.

Çeliğin Elastisite Modülü 2.100.000 kg/cm<sup>2</sup>'dir.

Teşekkürler...



Haftaya;  
Deprem Yönetmeliğinde Tarif Edilen Düzensizlikler