

RİSKLİ YAPILARIN TESPİT EDİLMESİNE İLİŞKİN ESASLAR

1-Temel Kavramlar

Temel Kavramlar

- **Deprem Mühendisliği**
- **Deprem Yapı Davranışı**
- **Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı**
- **Mevcut Yapıların Değerlendirilmesi**

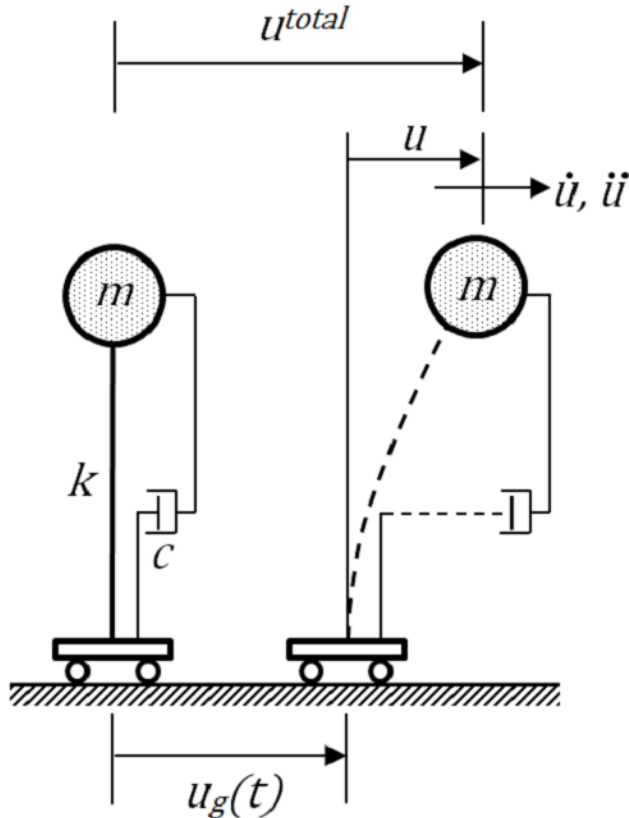
Yapı ve Deprem Mühendisliği Problemi

- *Tahmini zor “gerçek” deprem etkilerini yaklaşık tahmin ederek ve basitleştirilmiş sistemler için belirlediğimiz tepki kuvvetlerini kullanarak;*
- *Güvenli ve ekonomik tasarımlar yapmak*
- *Mevcut yapıların değerlendirmesini yapmak, gerekli durumlarda güçlendirmektir.*

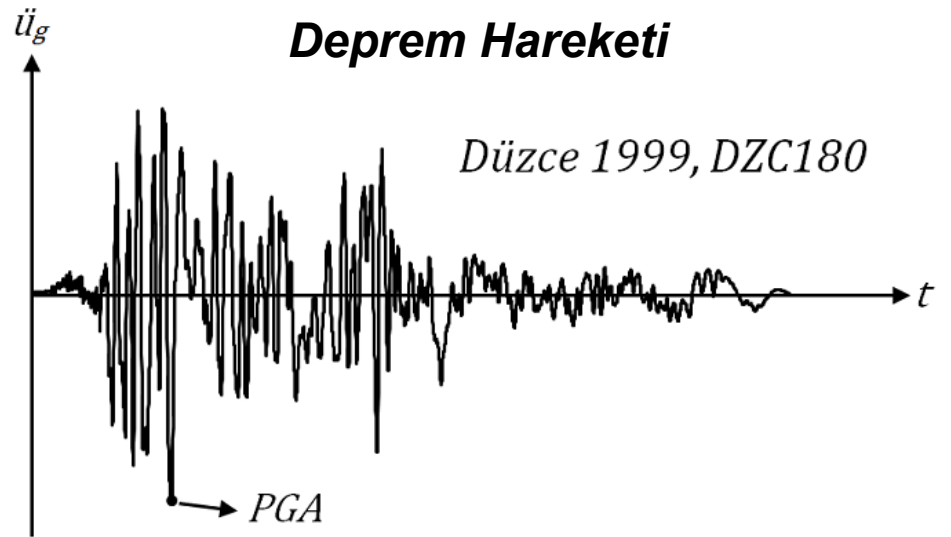
Deprem Etkileri

- Basitleştirilmiş modeller üzerinde deprem istemleri hesapları (Serbestlik Dereceli Sistem):

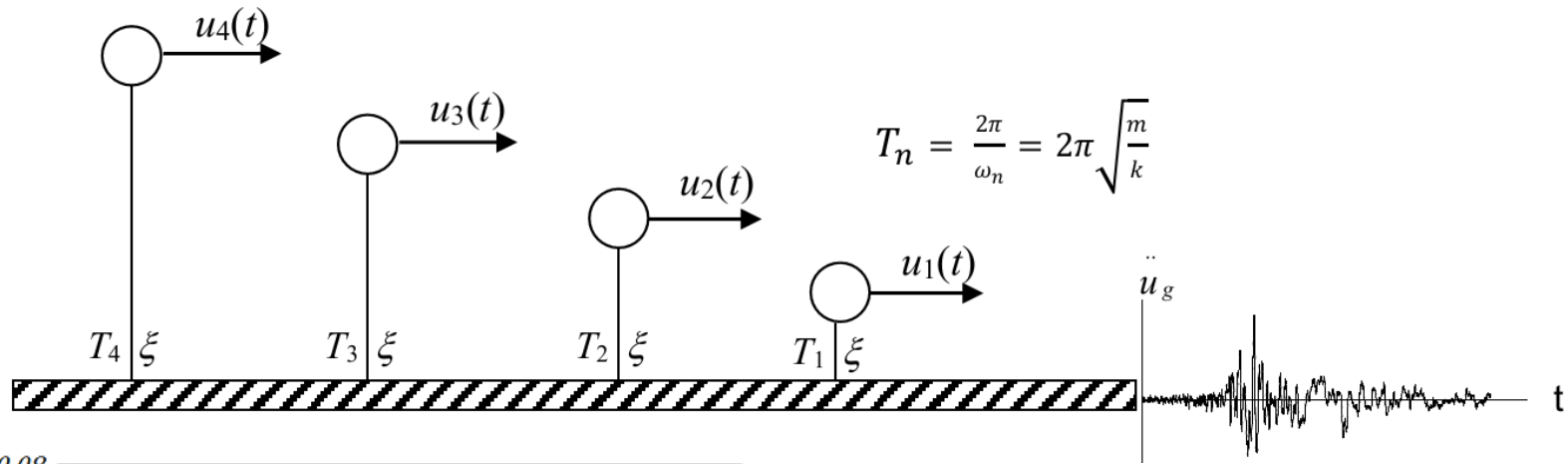
Yapı deprem davranışını belirlediğimiz en basit model



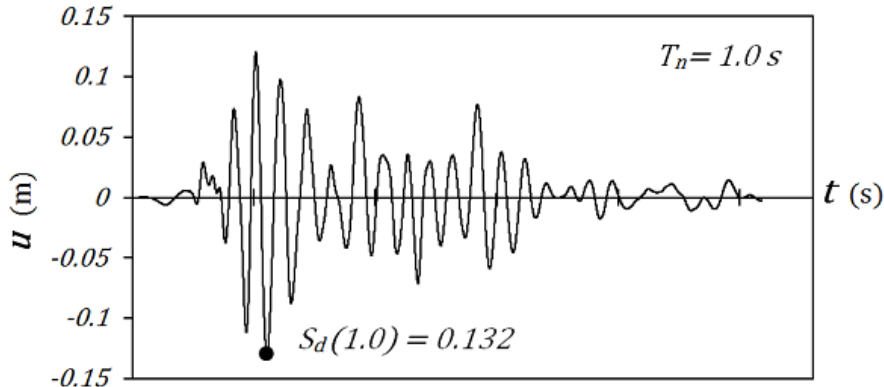
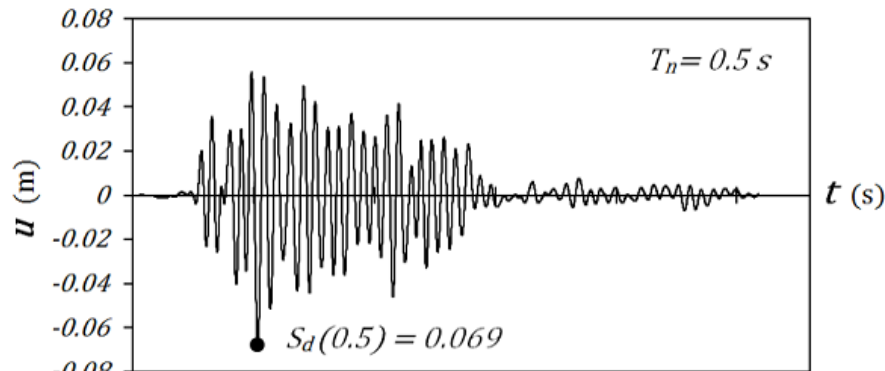
$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t)$$



Değişik Periyotlu Yapılar



$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$



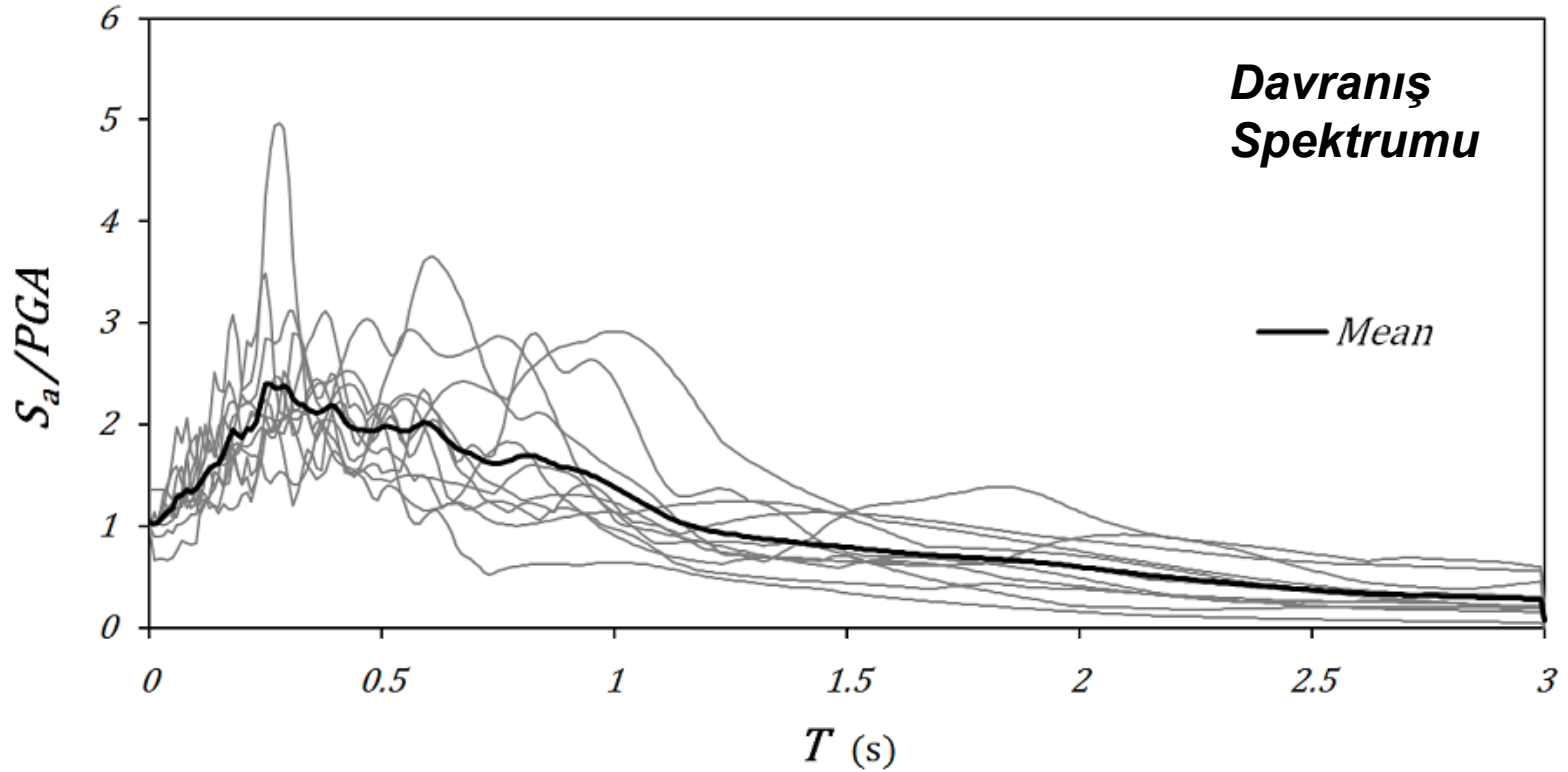
$$S_d = \max |u(t)|$$

$$S_a = \max |\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t)|$$

$$m |(\ddot{u} + \ddot{u}_g)|_{\max} = k |u|_{\max}$$

$$PS_a = \omega_n^2 S_d$$

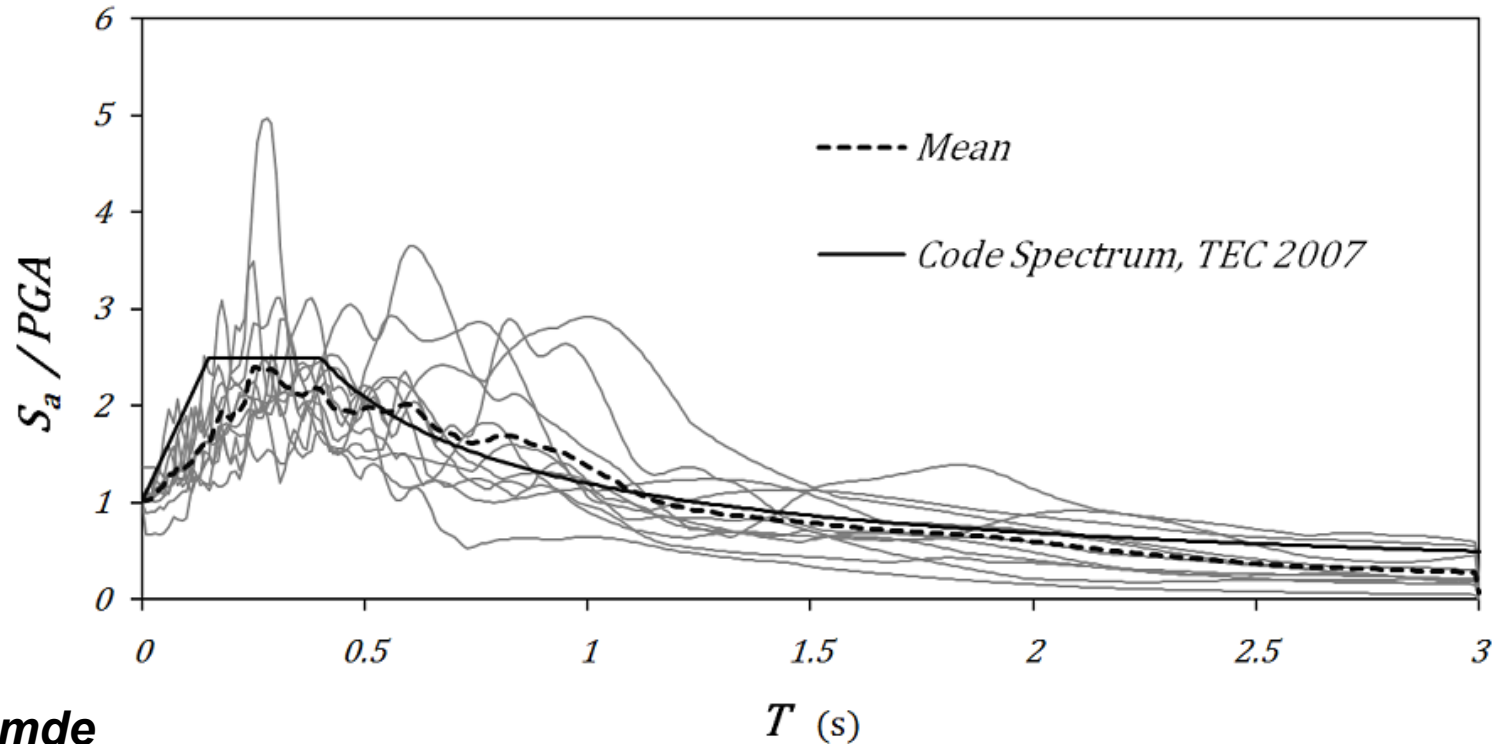
Davranış Spektrumu



10 deprem kaydının ortalama spektrumu

Tasarım Spektrumu

DBYBHY (2007) Tasarım Spektrumu



**Depremde
yapıya etki
etmesi beklenen
azami taban
kesme kuvvetini
verir!**

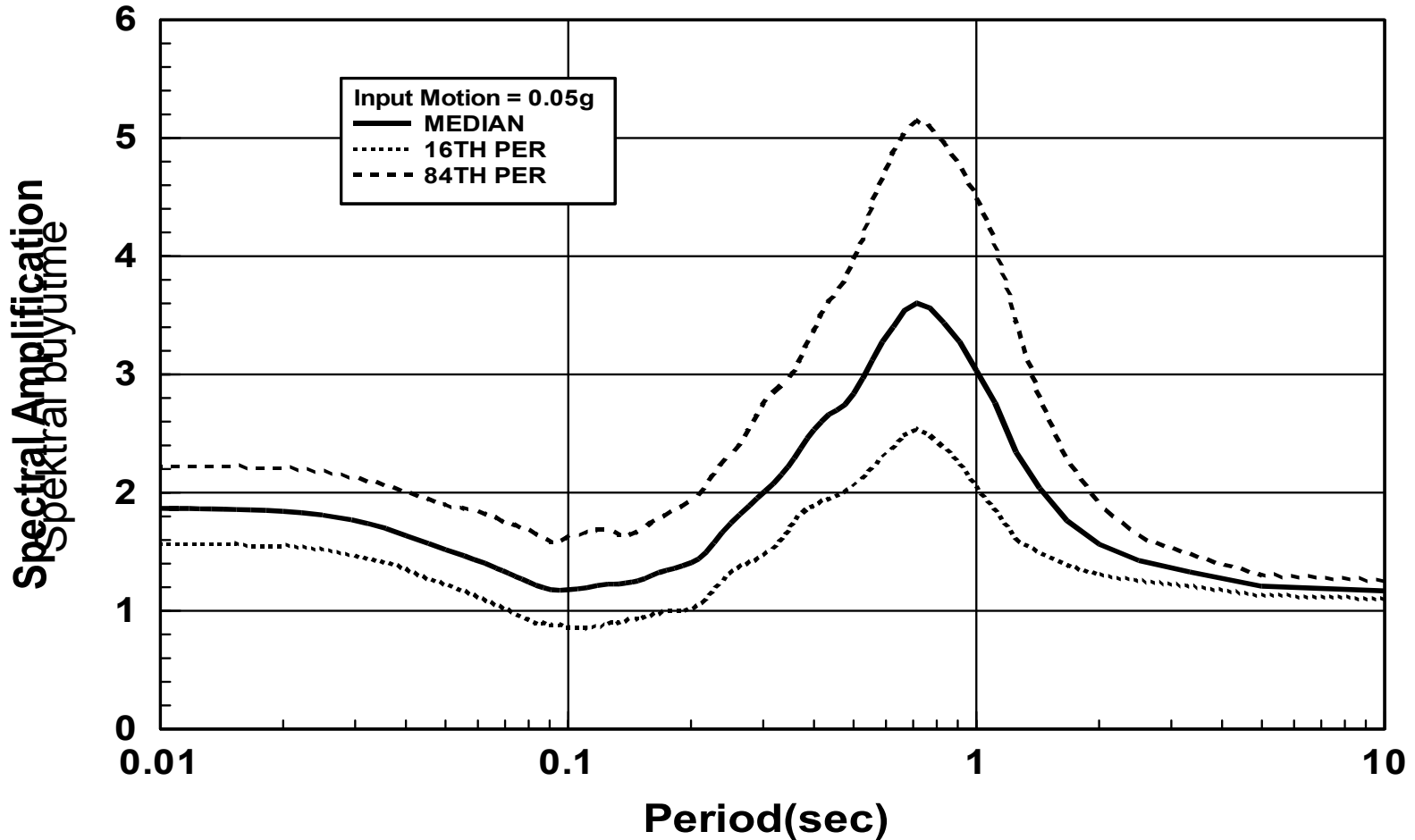
$$V_{b,max} = m PS_a = mg \frac{PS_a}{g} = W \cdot \frac{PS_a}{g}$$

$$\frac{V_{b,max}}{W} = \frac{PS_a}{g}$$

Periyot-Talep İlişkisi

Yapı temel periyoduna bağlı olarak deprem istemleri belirlenir.

Temel periyot yapı kütlesi, rijitliği ve bu değerlerin dağılımından etkilenir.

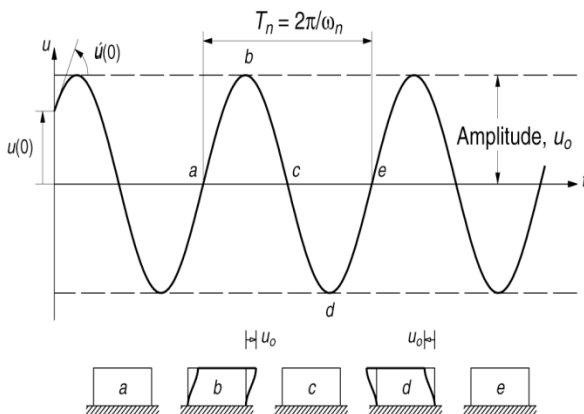


Sönüm

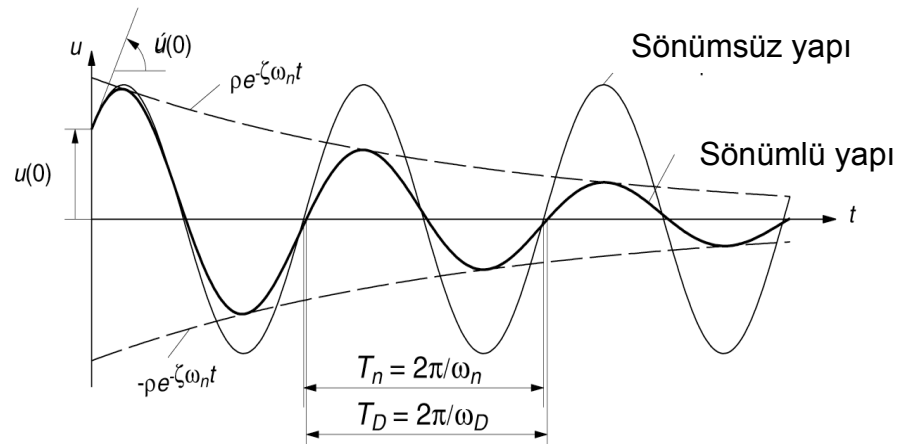
Titreşim yapan sistemlerde enerji sönümü sağlayan özelliktir.

- Viskoz sönüm: Küçük deplasman istemlerinde sistem içindeki sürtünme ve mikro çatlamalara elastik ötesi davranışı temsil etmek için kullanılan sönüm modelidir.
- Histeretik sönüm: Büyük deplasman istemlerinde hasara bağlı oluşan enerji tüketme mekanizmasıdır.

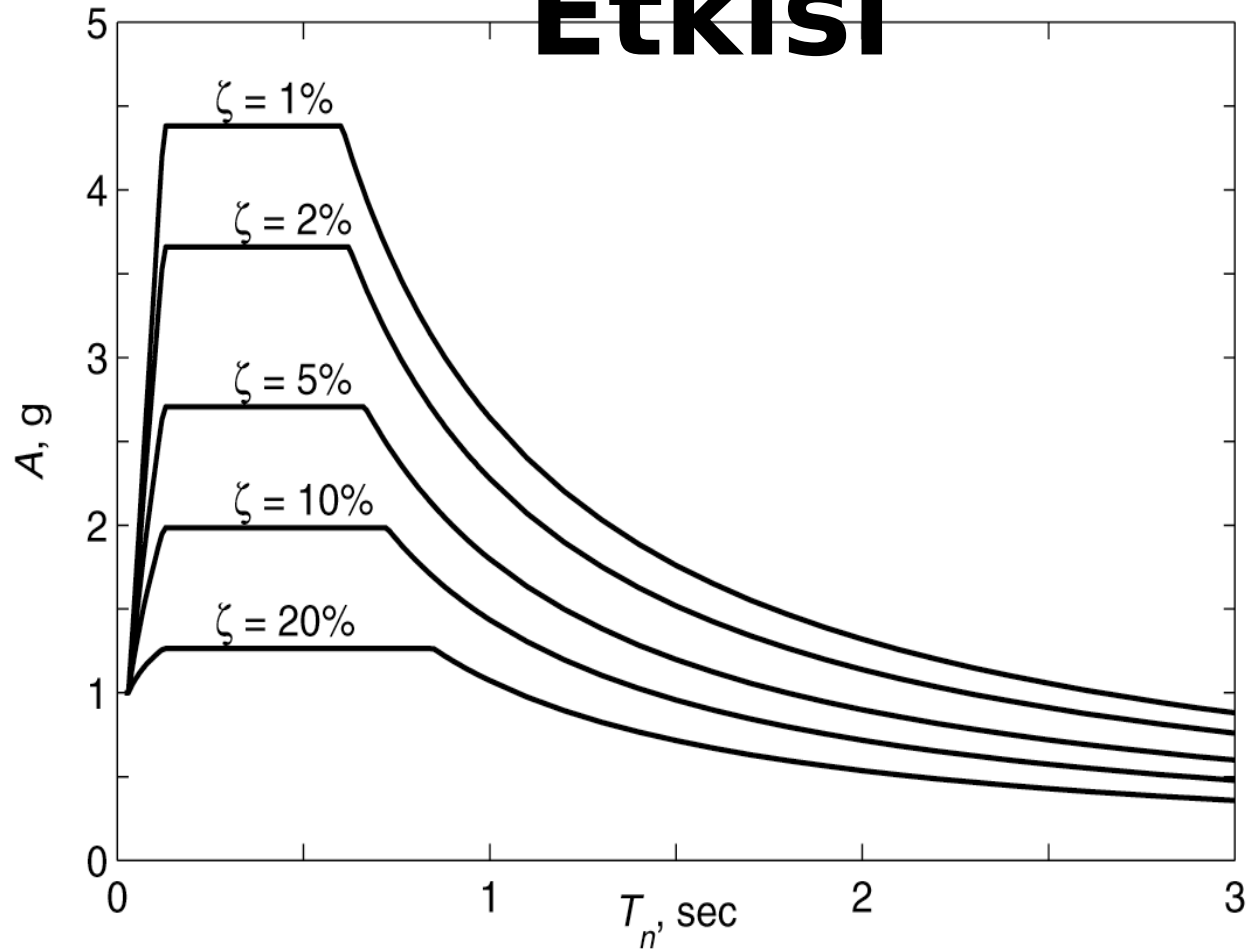
Sönümsüz titreşim



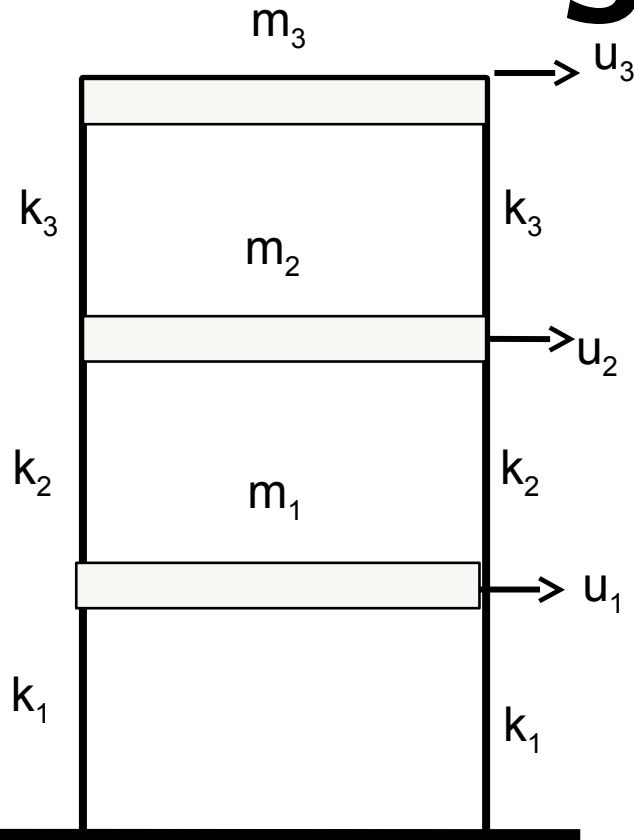
Sönümlü titreşim



Sönümün Spektruma Etkisi



Çok Serbestlik Dereceli Sistem-ÇSDS



Dinamik Denge Denklemi

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -MR\ddot{u}_g \quad K\Phi = M\Phi\Omega^2$$

$$R = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ \cdot \\ 1 \end{Bmatrix}$$

Modal Koordinatlar:

$$u = \Phi y$$

$$\Phi = [\phi_1 \ \phi_2 \ \phi_3 \ \dots \ \phi_n] \quad y = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ y_n \end{Bmatrix}$$

$$M\Phi\ddot{y} + C\Phi\dot{y} + K\Phi y = -MR\ddot{u}_g$$

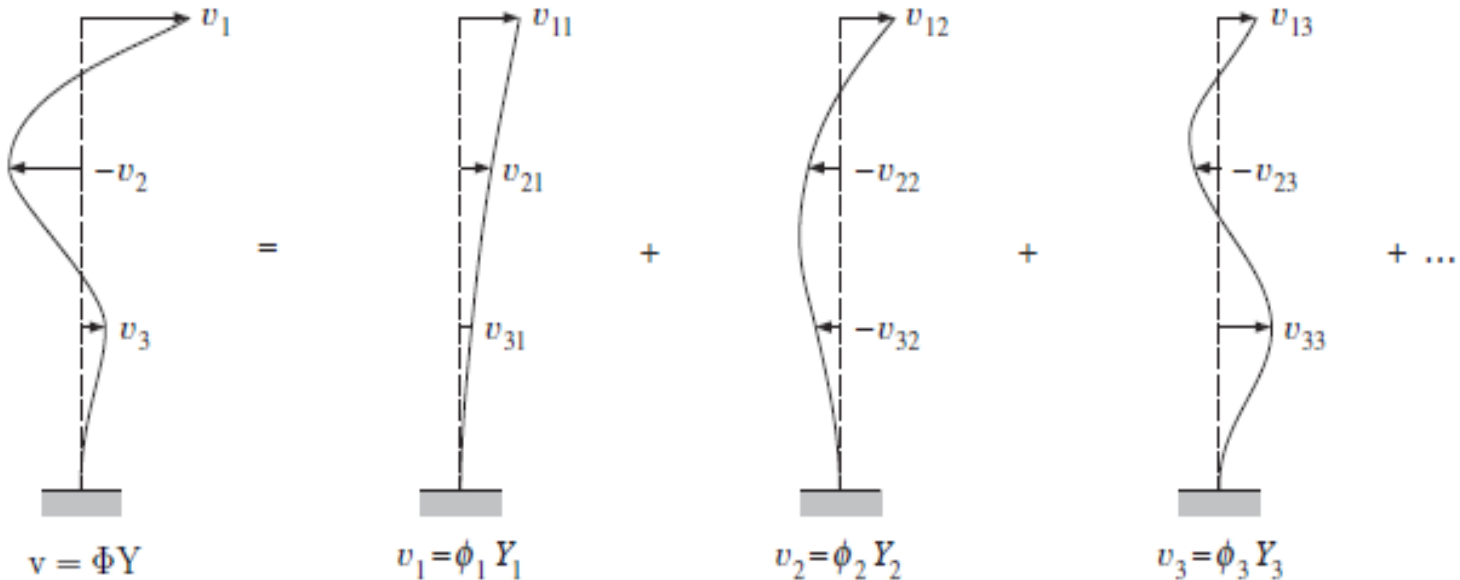
Mod Şekilleri

❑ Yapının deformasyonunu belirleyen geometrik salınım şekilleridir.

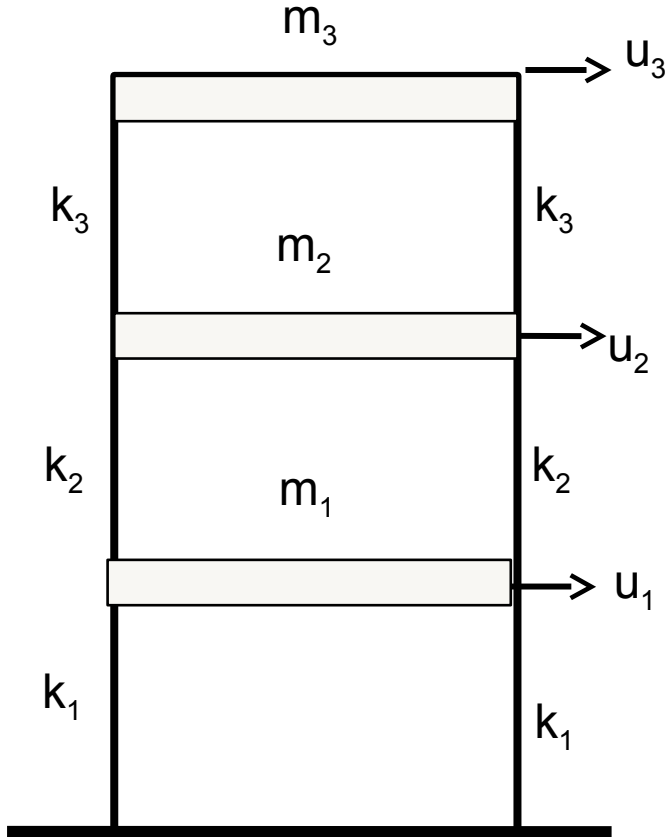
- Kütle ve kütle dağılımına,
- Rijitlik ve rijitlik dağılımına bağlıdır.

❑ Her moda karşılık gelen bir periyot ve frekans vardır.

❑ ÇSDS'nin deprem altındaki deformasyonu bu mod şekillerinin birleşiminden elde edilir.



Mod Şekillerinin Belirlenmesi



$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} 2(k_1 + k_2) & -2k_2 & 0 \\ -2k_2 & 2(k_2 + k_3) & -2k_3 \\ 0 & -2k_3 & 2k_3 \end{bmatrix}$$

Doğal frekanslar (Periyotlar) için

$$|K - \omega^2 M| = 0$$

Mod şekilleri için

$$\{K - \omega_i^2 M\} \varphi_i = 0$$

Modal Analiz

Yapı deplasmanı her bir moddaki deplasmanın birleşimi şeklinde ifade edilir. Her modda yapı tek dereceli bir sistem gibi analiz edilir, elde edilen kuvvet ve deplasman modların katılı $M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -MR\ddot{u}_g$ idi; $u = \Phi y$ irilir.

$$\Phi^T M \Phi \ddot{y} + \Phi^T C \Phi \dot{y} + \Phi^T K \Phi y = -\Phi^T M R \ddot{u}_g$$

$$\Phi^T M \Phi = M^*$$

$$\phi_i^T M \phi_i = m_i^*$$

$$\Phi^T C \Phi = C^*$$

$$\phi_i^T C \phi_i = c_i^*$$

$$\Phi^T K \Phi = K^*$$

$$\phi_i^T K \phi_i = k_i^*$$

i'nci modda TSDS denklemi:

$$m_i^* \ddot{y}_i + c_i^* \dot{y}_i + k_i^* y_i = -\phi_i^T M R \ddot{u}_g$$

$$\ddot{y}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{y}_i + \omega_i^2 y_i = -\frac{\phi_i^T M R}{\phi_i^T M \phi_i} \ddot{u}_g = -\Gamma_i \ddot{u}_g$$

Modal katılım faktörü

$$\Gamma_i = \frac{\phi_i^T M R}{\phi_i^T M \phi_i}$$

Modal Analiz Adımları

1- Rijitlik ve Kütle Matrislerini oluştur

2- Özdeğer problemini çöz

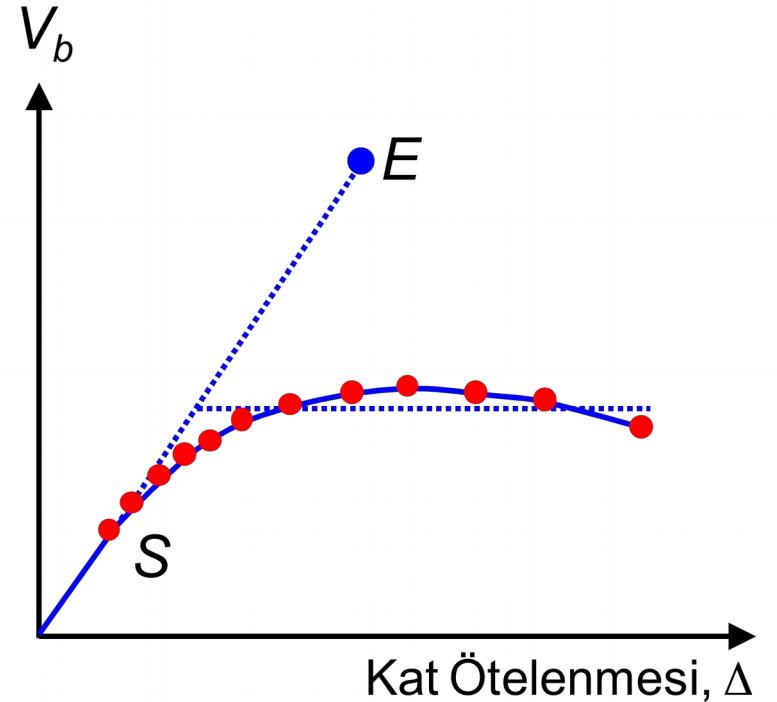
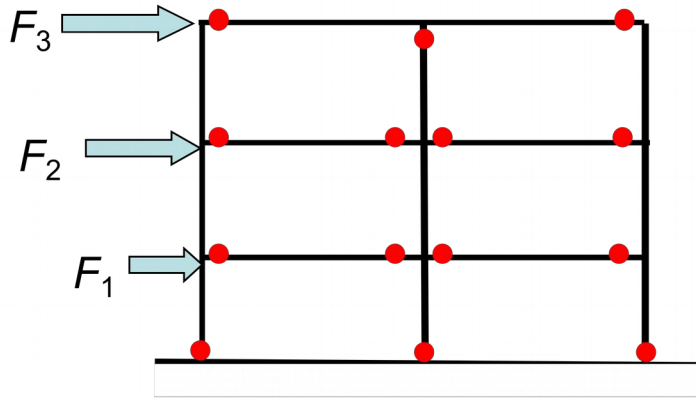
3- Her bir modda TSDS için sistemi çöz

Davranış spektrumu kullanılıyor ise her bir modda etkin yatay kuvvet dağılımı altında sistemi çöz

4- Her bir moda ait sonuçları (deplasman, iç kuvvet vb.) birleştir (SRSS/CQCC).

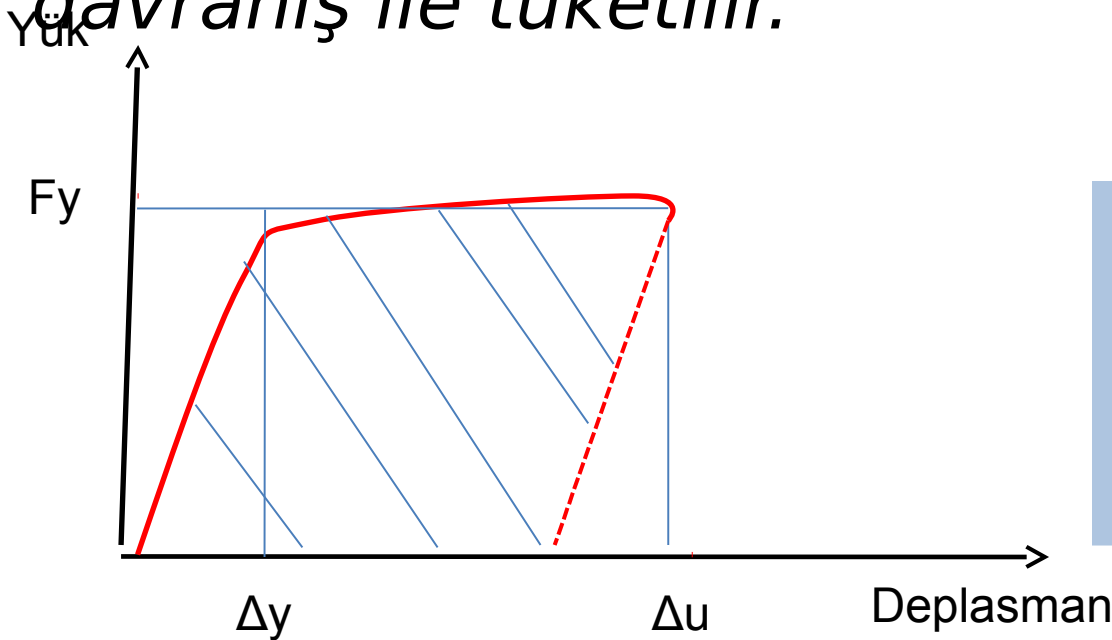
Elastik Ötesi Davranış

Şiddetli depremlerde yapının elastik ötesi davranışına izin verilerek ekonomi sağlamak mümkündür.



Enerji Tüketimi

Elastik ötesi davranış esnasında deprem tarafından yapıya sunulan enerji, elastik ötesi davranış ile tüketilir.



$$\mu = \Delta u / \Delta y$$

$$E_t = F_y \Delta y (\mu - 1/2)$$

$$E_e = F_y \Delta y (\mu - 1/2)$$

Enerji tüketimi deplasman yapabilme kapasitesi (süneklik) ile oranlıdır!

Plastik Mafsal

Azami moment bölgelerinde (deprem durumu için kolon ve kiriş uçlarında) doğru tasarım ve detaylandırma ile enerji tüketiminin etkin olarak (yük taşıma kapasitesinde fazla düşüş olmadan deformasyon kapasitesine sahip) yapılabileceği



Plastik Mafsal

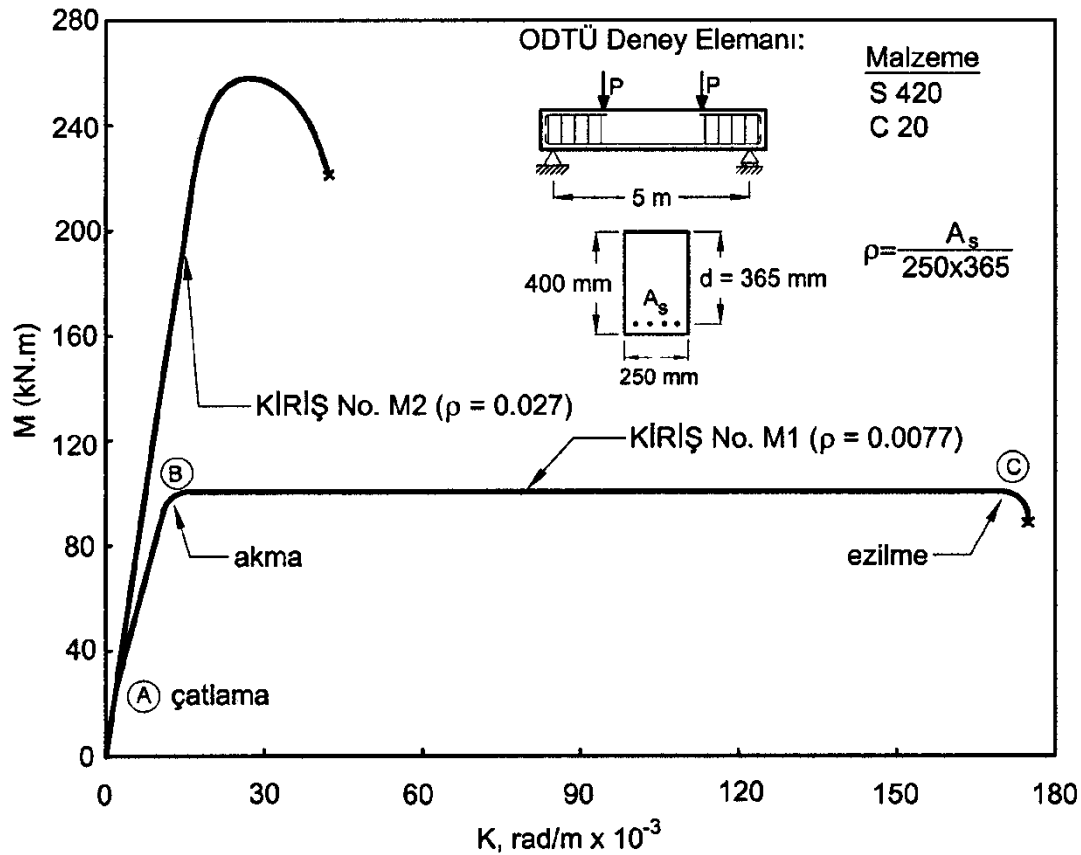
- *Klasik Mafsaldan Farkı:*
 - *Klasik Mafsal* $M_i=0$ iken dönme
 - *Plastik Mafsal* $M_i=M_{ri}$ iken plastik dönme
- *Enerjinin çoğu plastik mafsalda tüketilir*
- *Plastik Mafsal olan kesitte büyük deformasyon istemlerinin karşılanabilmesi gerekir.*

Süneklik

- Bir malzeme, kesit, taşıyıcı eleman veya yapının, *taşıma gücünde önemli bir düşme olmadan deformasyon yapabilme yeteneğidir.*
- Betonarme binalar, şiddetli bir depremde ancak yeterli enerji tüketerek ayakta kalabilirler.
- Bina süneklik seviyesi elemanların süneklik seviyesi ile belirlenir

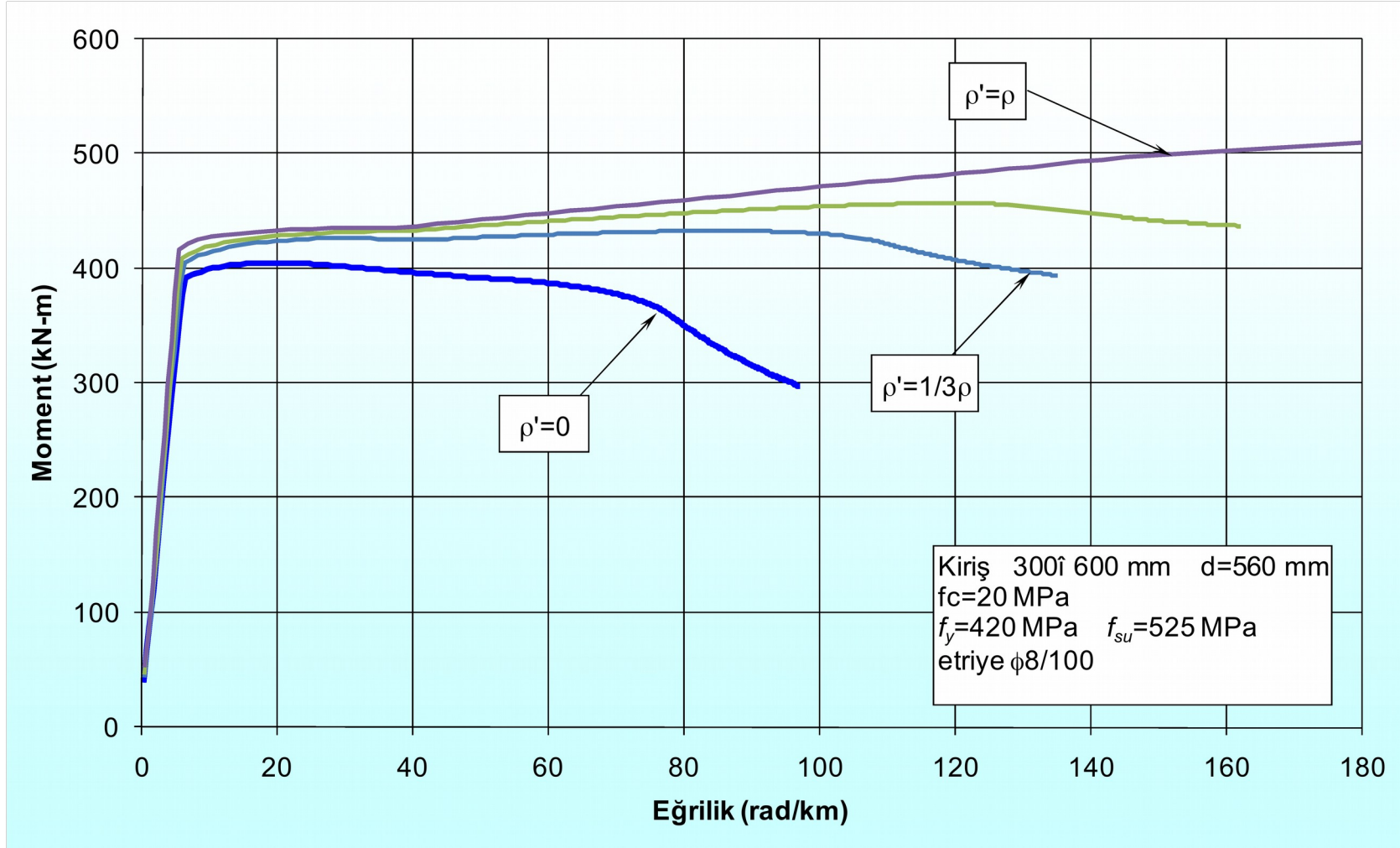
Kirişlerde Süneklik

- Çekme donatısı oranına bağlıdır.



Kirişlerde Süneklik

- Basınç donatısı oranına bağlıdır.



Kirişlerde Süneklik Artışı

- *Düşük donatı oranı (mümkün olamayabilir)*
- *Düşük dayanımlı çelik (kenetlenme davranışı yetersiz, mümkün olamayabilir)*
- *Basınç donatısı (Sağlanmalı)*
- *Ezilme birim uzamasının artırılması (Sargı ile mümkün)*

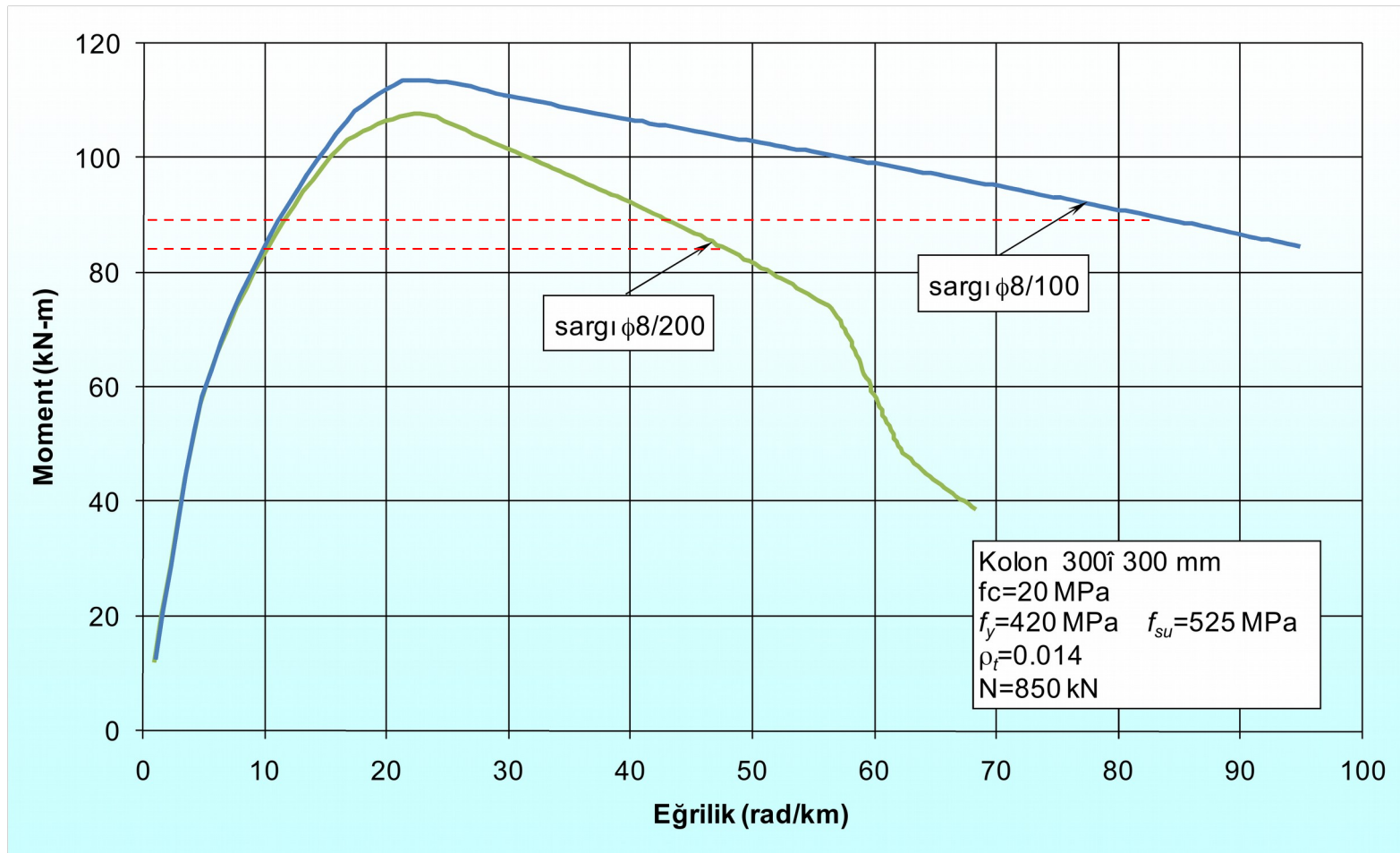
Sargı Etkisi

- *Beton yarı gevrek bir malzemedir.*
- *Sünekliğinin artırılması gereklidir.*
- *Sargı ile (kapalı etriye veya fret, lifli polimer) pasif yanıl basınç çekirdek betona uygulanır.*
- *Yanal basınç, betonun dayanımını ve özellikle sünekliğini önemli oranda artırır.*

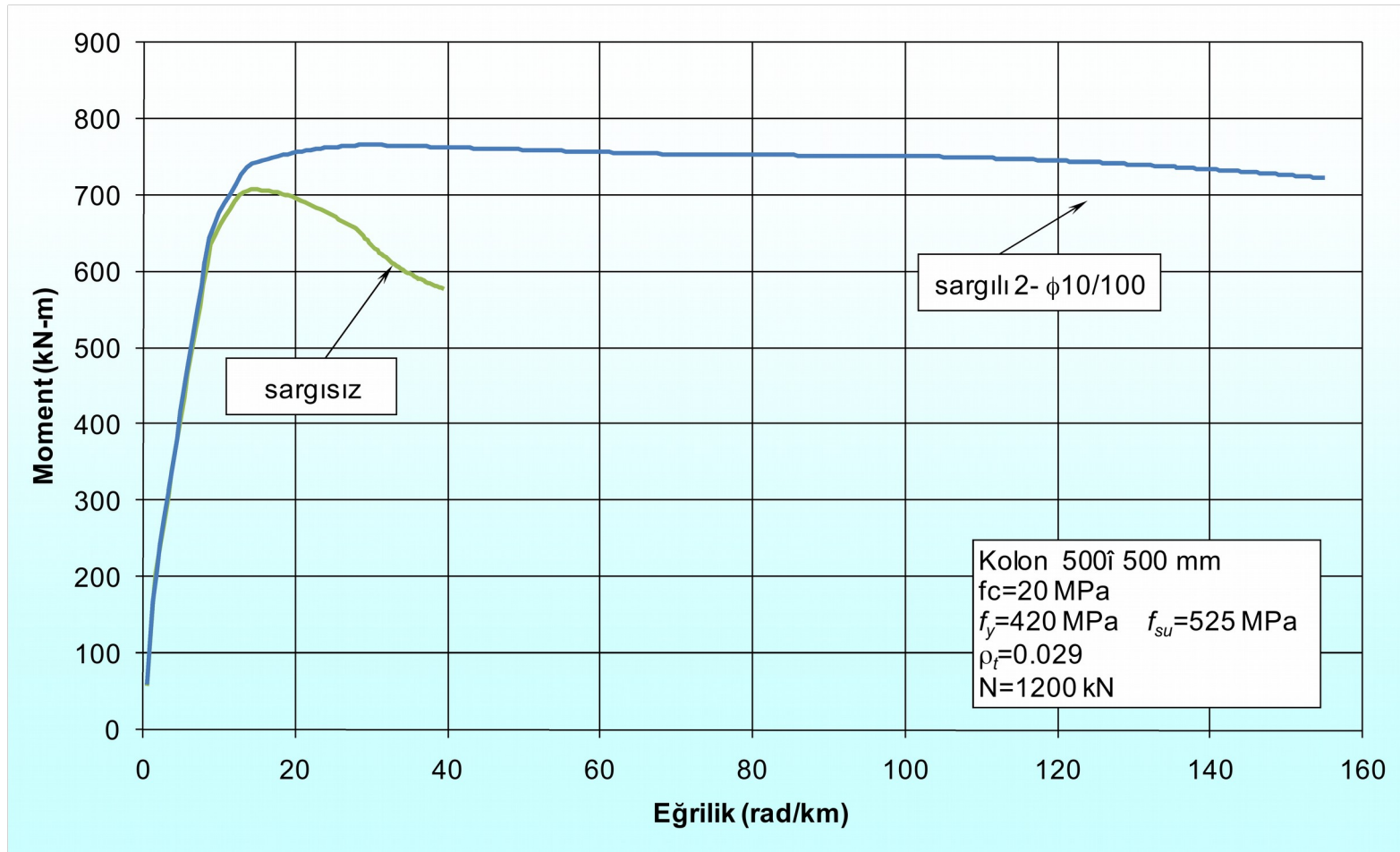
Kolonlarda Süneklik

- *Süneklik, eksenel yük arttıkça azalır.*
- *Eksenel yük arttıkça çekme donatısının akmasından kısa bir süre sonra en dış basınç lifindeki beton ezilir. Sonrasındaki davranış sargı miktarına bağlıdır.*
- *Yüksek eksenel yükler altında ise (basınç kırılması), çekme donatısı akmadan beton ezilir (gevrek kırılma).*

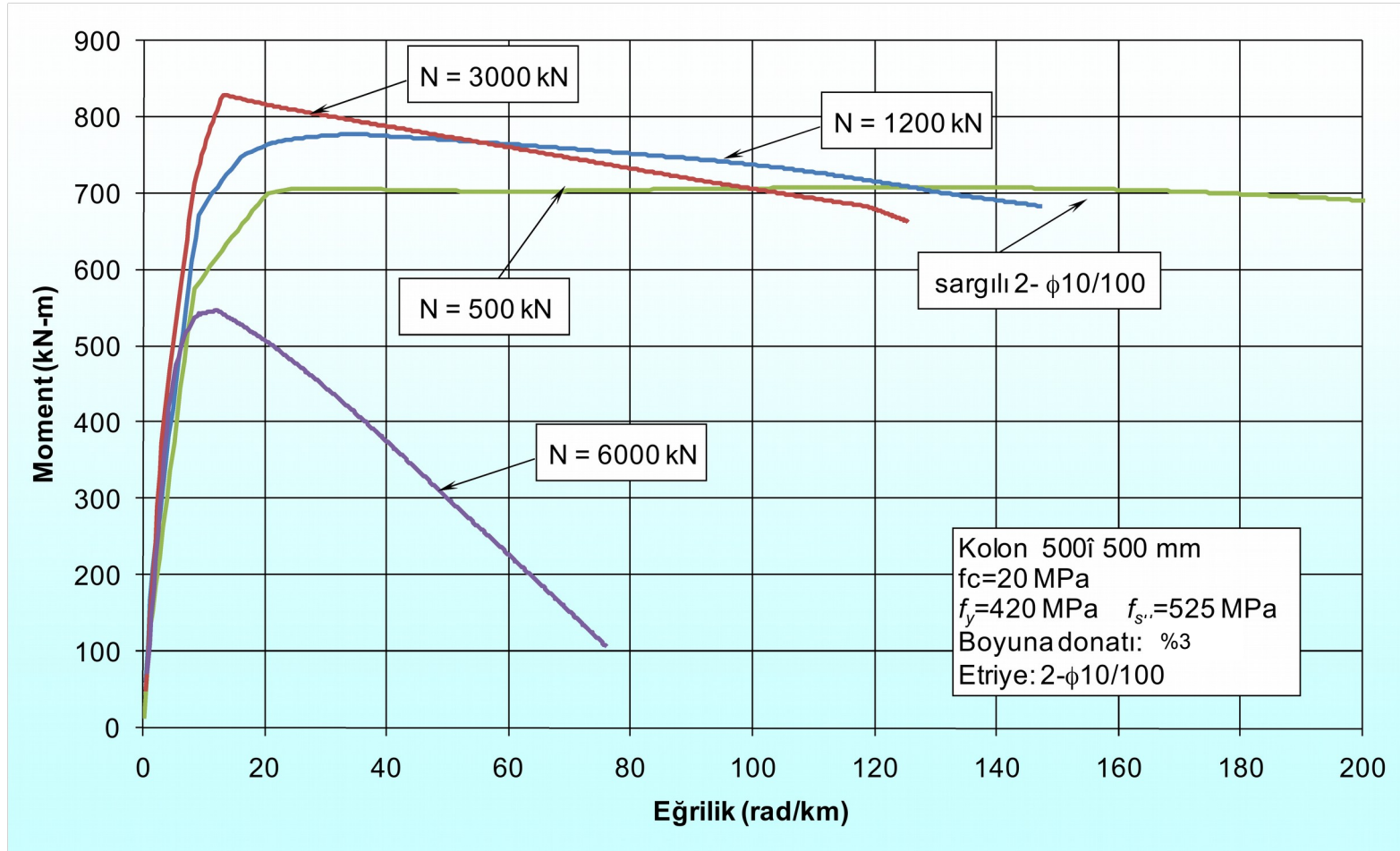
Kolonlarda Süneklik



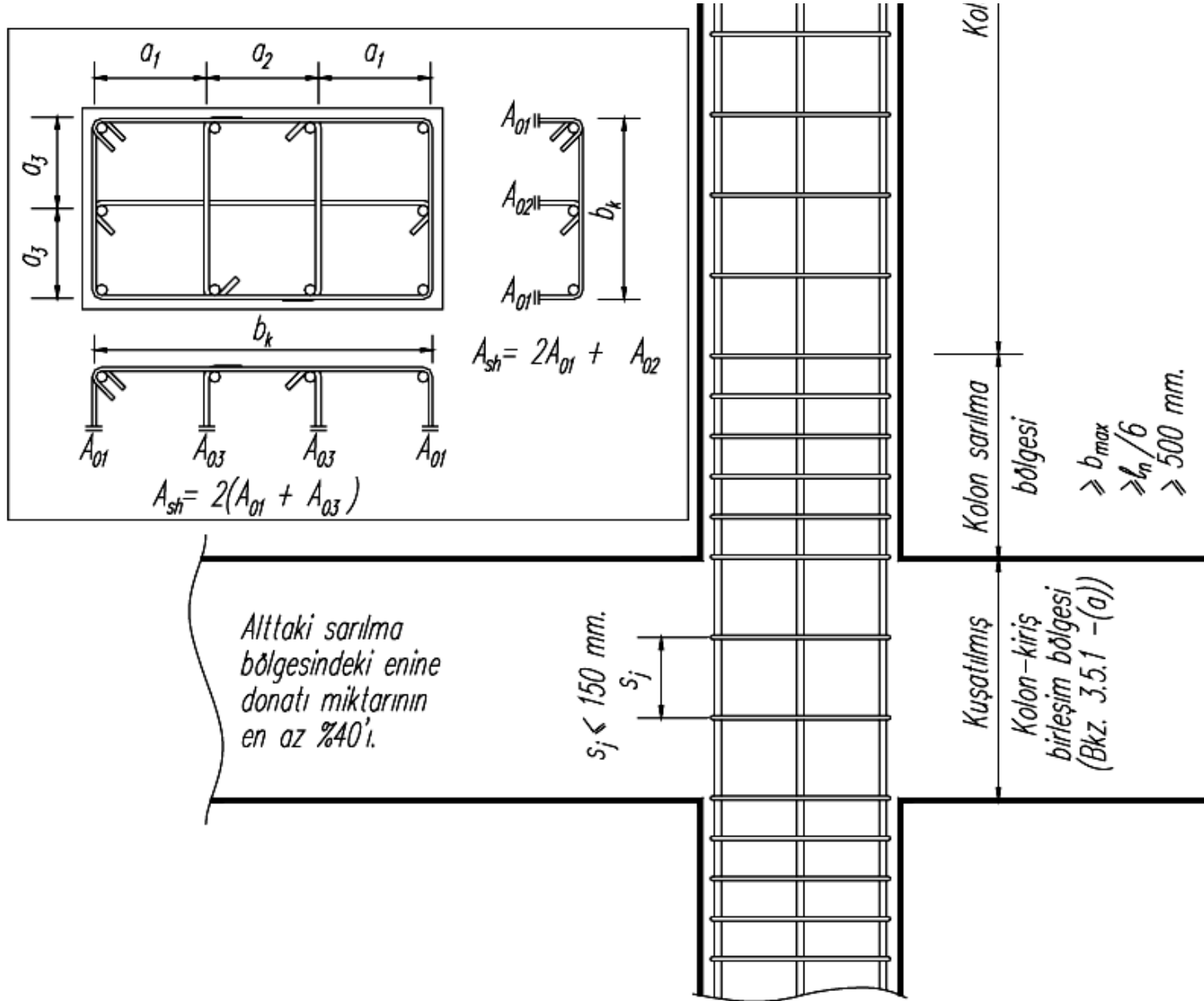
Kolonlarda Süneklik



Kolonlarda Süneklik

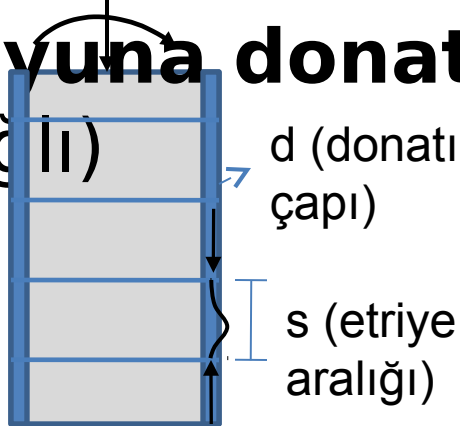


Sünek Kolonlar



Betonarme Eleman Güç Tükenmesi

- **Beton ezilmesi** (sargı ile çekirdekten yüksek uzaklıklar mümkün)
- **Etriye kopması** (sargılı kesitte ezilme noktasını belirler)
- **Boyuna donatı kopması** (ileri deformasyonlarda görülür)
- **Boyuna donatı burkulması** (ettriye aralığına bağlı)



$$\frac{\pi^2 E_{sh}}{(ks)^2} \frac{\pi d^4}{64} \geq \frac{\pi d^2}{4} f_y$$

Basit mesnetli durum için ve $E_{sh} \approx 0.05 E_s$,
 $f_y = 420 \text{ MPa}$, $E_s = 200000 \text{ MPa}$

$$s / h \leq 1/4 !$$

Kapasite Tasarımı İlkeleri

- Potansiyel plastik mafsal bölgeleri belirlenir ve azaltılmış deprem istemlerini karşılayacak kapasite ve süneklik düzeyi için tasarlanıp detaylandırılır.
- İstenmeyen göçme modları (kesme, ankraj) için gereken kapasite azami olası istemler düşünülerek sağlanır.
- Enerji tüketimi için uygun olmayan gevrek elemanlar elastik olarak

Kolonlarda Kesme Kuvveti Hesabı

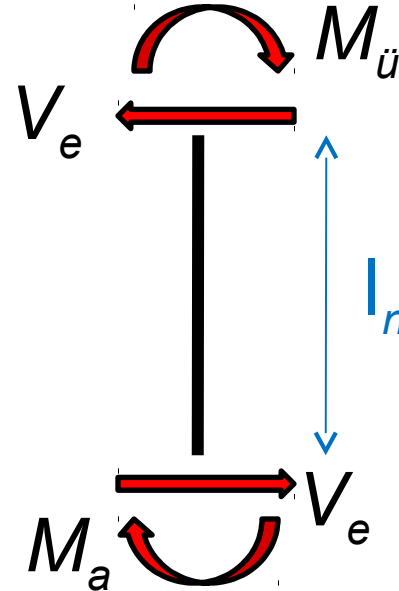
$$V_e = \frac{M_a + M_{\ddot{u}}}{\ell_n}$$

$$V_e \geq V_d$$

$$V_e \leq V_r$$

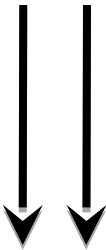
$$V_e \leq 0.22 A_w f_{cd}$$

$$V_r = V_w + V_c$$

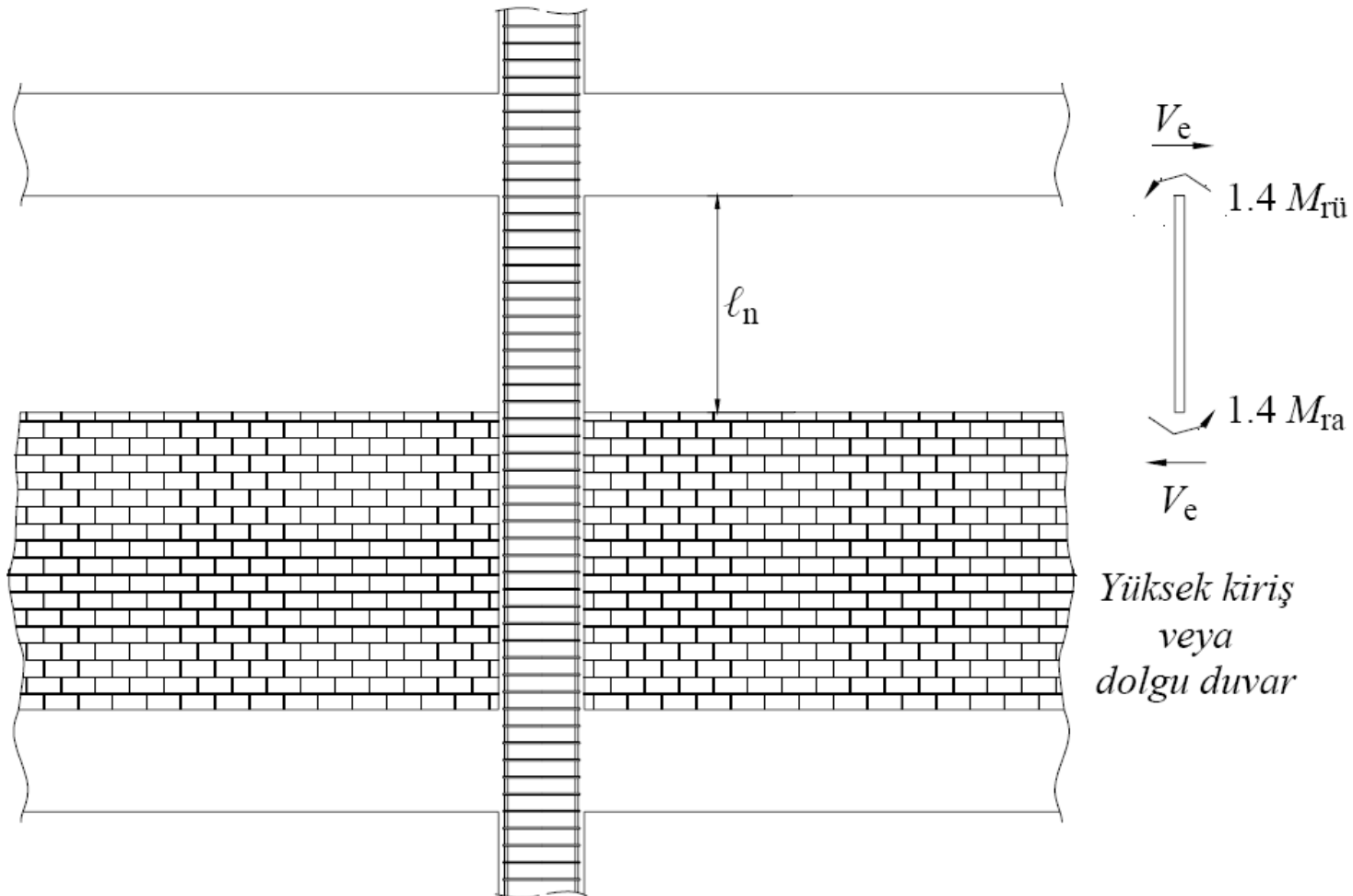


Kolonlarda Kesme Dayanımı

- Kolon sarılma bölgelerindeki enine donatı hesabında
 - Sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremlili durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması ve
 - $N_d \leq 0.05 A_c f_{ck}$


$$V_c = 0$$

Kısa Kolon



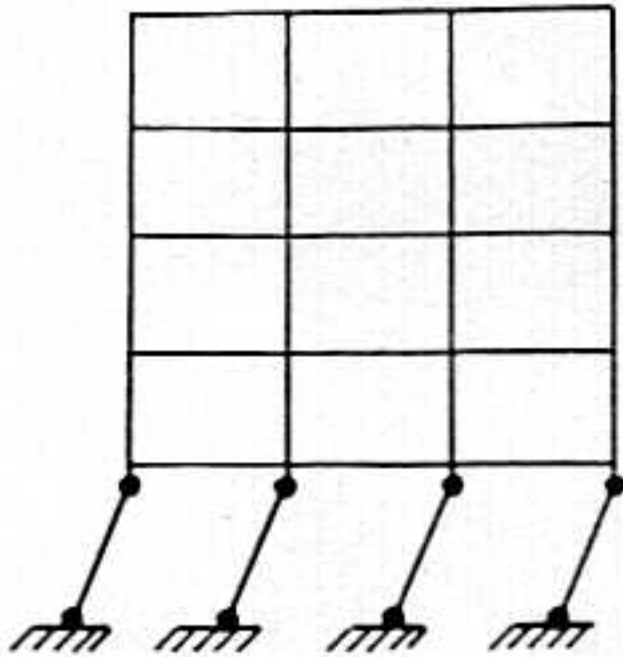
Kısa Kolon

- Taşıyıcı sistem nedeni ile
- Dolgu duvarlarında kolonlar arasında bırakılan boşluklar nedeni ile

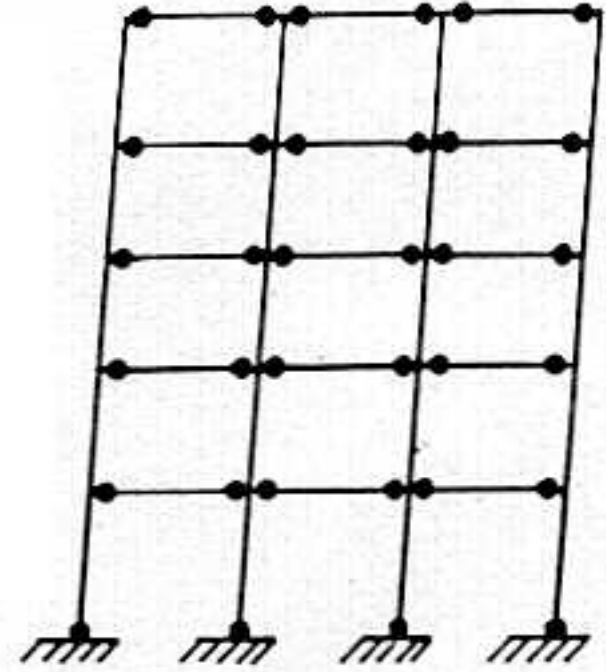


- Yüksek Kesme Kuvveti = Gevrek Kırılma

Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş



(a)



(b)

Yüksek Süneklik ve Enerji Tüketimi için Basit Kurallar

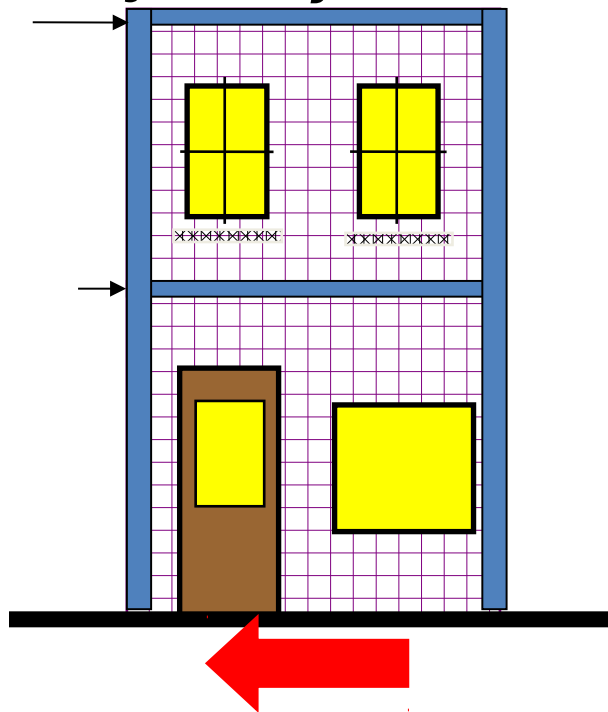
- *Eksenel yük düşük tutulmalı ($N \leq N_o/3$)*
- *Potansiyel plastik mafsal bölgelerinde yeterli sargı sağlanmalı ($\rho_s \geq 0.005$)*
- *Plastik mafsallarda etriye sıklaştırılmalı ($s/h \leq 1/4$)*
- *Kesme açıklığı / Eleman serbest boyu ≥ 3.5*
- *Gevrek göçme durumlarının (kolon-kiriş birleşim bölgelerinde) engellenmesi için kapasite tasarımı ilkeleri uygulanmalı*

Deprem Yönetmeliği Performans Hedefleri

- 1.2.1 - Bu Yönetmeliğe göre yeni yapılacak binaların** depreme dayanıklı tasarımının ana ilkesi;
- ***hafif şiddetteki depremlerde*** binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi,
 - ***orta şiddetteki depremlerde*** yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması,
 - ***şiddetli depremlerde*** ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır.
 - Mevcut binaların değerlendirmesi ve güçlendirilmesinde esas alınan performans kriterleri **Bölüm 7’de tanımlanmıştır.**

Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

- **Yeterli Kapasite** → *Azaltılmış deprem yükleri için dayanım*



$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A < T)$$

- *Uzun periyotlu yapılarda eşdeğer deplasman kuralı* $R_\mu = \mu$

- *Kısa periyotlu yapılarda dayanım fazlası*

$$R = 1.5$$

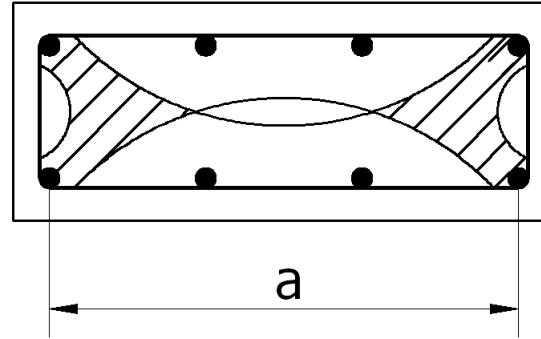
$$V_t = \frac{W A(T_1)}{R_a(T_1)}$$

Betonarme Deprem Tasarımı

- **Yeterli Süneklik** → *Detaylandırma ve kapasite tasarımı*

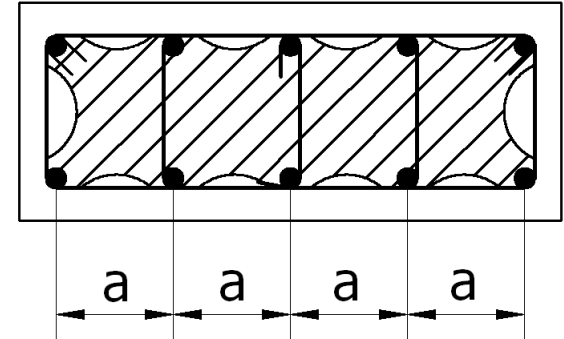
Örnekler:

- Etriye sıklaştırması, deprem çirozu



çift etriye

çiroz



- En büyük olası eğilme kapasitesi, M_p kullanarak kesme tasarımı

- Eksenel yük limiti $N < 0.5 f_{ck} A_c$

Betonarme Deprem Tasarımı

- **Yeterli Rijitlik** → *Performans hedeflerinin sağlanması için deformasyon kontrolü*

-Kat ötelenme oranı sınırı:

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02$$

-İkinci merteye etkileri:

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{\text{ort}} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12$$

Mevcut Binalar

Mevcut binalar, yeni tasarım için yönetmelikte verilen aşağıdaki hususlar ile uyum göstermeyebilir:

- Malzeme dayanımı*
- Boyutlandırma*
- Detaylandırma*

Bu durumda bina, hedef performansı sağlayacak deprem davranışını sergileyemez.

- $R_{\text{mevcut}} \neq R_{\text{tasarım}}$*
- Dayanım Fazlası $\neq 1.5$*
- Tasarım depreminde hedef performans sağlanamayabilir*

Mevcut Binalar

- *Deplasman/süneklik/enerji tüketimi ile hasar arasındaki ilişkiyi dikkate alabilen tasarım yaklaşımları önerebilir miyiz?*
 - *Maliyet-performans ilişkisini belirleyebiliriz.*
 - *Deprem sonrası kayıpları tahmin edebiliriz.*
 - ***Doğru önlemleri alarak risk planlaması yapabiliriz (Riskli***

Performansa Dayalı Tespit

- 1995 yılında SEAC tarafından yayımlanan VISION 2000 ile performansa dayalı tasarım için ilk somut adım atıldı.
- ATC (1996), NEHRP (1997), FEMA-356, ASCE-SEI-41 gibi diğer dökümanlar bunu takip etti.

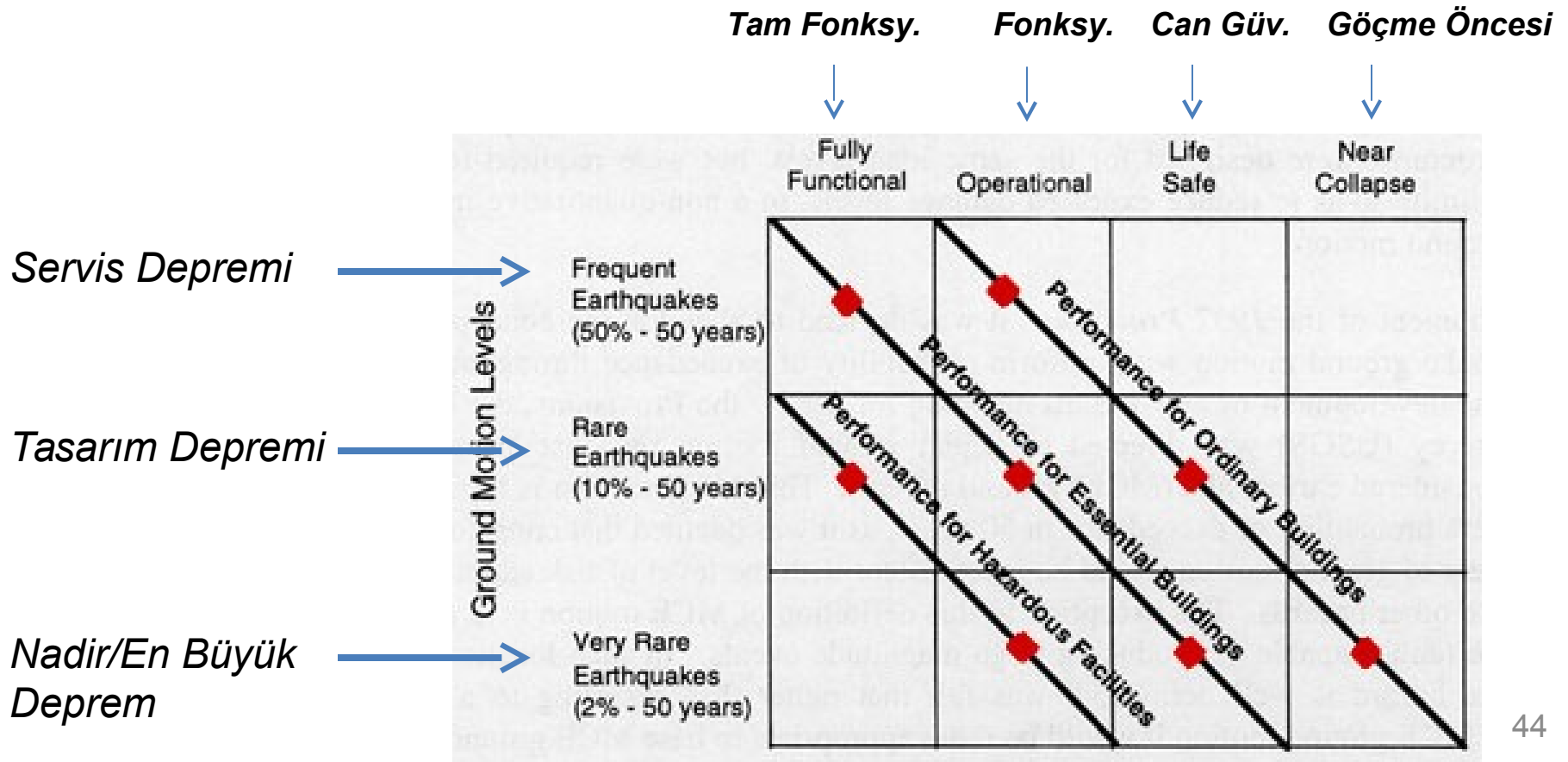


TABLE 1
DEFINITIONS OF STRUCTURAL PERFORMANCE

Performance Level		Description
NEHRP Guidelines	Vision 2000	
Operational	Fully Functional	No significant damage has occurred to structural and non-structural components. Building is suitable for normal intended occupancy and use.
Immediate Occupancy	Operational	No significant damage has occurred to structure, which retains nearly all of its pre-earthquake strength and stiffness. Nonstructural components are secure and most would function, if utilities available. Building may be used for intended purpose, albeit in an impaired mode.
Life Safety	Life Safe	Significant damage to structural elements, with substantial reduction in stiffness, however, margin remains against collapse. Nonstructural elements are secured but may not function. Occupancy may be prevented until repairs can be instituted.
Collapse Prevention	Near Collapse	Substantial structural and nonstructural damage. Structural strength and stiffness substantially degraded. Little margin against collapse. Some falling debris hazards may have occurred.

Can Güvenliği

Göçme Öncesi

Göçmeye yeterli güvenlik payı

Göçmeye çok yakın

TABLE 2
ACCEPTANCE CRITERIA FOR LIFE SAFETY AND COLLAPSE PREVENTION PERFORMANCE LEVELS¹

Performance Level	Primary Component	Secondary Component
Life Safety Can Güvenliği	75% of the deformation at which significant loss of lateral force resisting strength occurs	100% of the deformation at which significant loss of lateral force resisting strength occurs
Collapse Prevention Göçme Öncesi	75% of the deformation at which loss of vertical load carrying capacity occurs, but not more than the deformation at which significant loss of lateral force resisting strength occurs	100% of the deformation at which loss of vertical load carrying capacity occurs

Yatay yük taşıma kapasitesinin kaybolduğu deformasyon seviyesinin %75'i

Eksenel yük taşıma kapasitesinin kaybolduğu deformasyon seviyesinin %75'i

- The acceptance criteria indicated apply to buildings for which nonlinear analytical methods are used to predict component demands. An additional reduction factor, of 0.75, is applied against these acceptance criteria when linear methods of analysis are used to predict component demands.

İki Ayrı Kavram: Deprem Tehlikesi ve Riski!

- **Deprem Tehlikesi:** *Bir bölgede belirli bir seviyenin üstünde deprem istemi oluşma olasılığı*
- **Deprem Riski:** *Bir bölgede beklenen deprem sebebi ile ekonomik kayıp oluşma olasılığı*

Alaska: Yüksek tehlike, düşük risk

New York: Düşük tehlike, yüksek risk

Yeni Yönetmelik ile amaç tehlike durumunda risk yaratacak binaları

Riskli Bina Tespit Yönetmeliği

- **Amaç:**

Riskli binaları hızlı, güvenli, gerçekçi, mühendislik camiasının aşına olduğu yöntemler ile belirlemek

- **(Deprem tehlikesi altında yüksek)**

Riskli Bina:

*Bulunduğu bölge için **DBYBHY**'de tanımlanan Tasarım Depremi altında yıkılma veya ağır hasar görme riski bulunan bina Riskli Bina olarak*

Riskli Bina Performans Seviyesi

Tam Fonksy. Fonksy. Can Gv. Göçme ncesi

Fully
Functional

Operational

Life
Safe

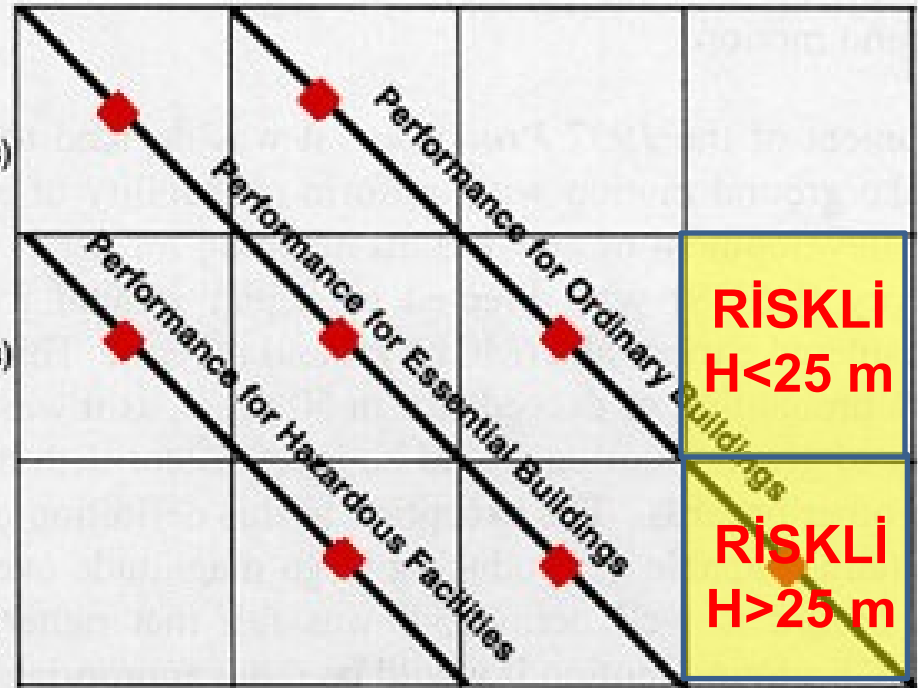
Near
Collapse

Ground Motion Levels

Frequent
Earthquakes
(50% - 50 years)

Rare
Earthquakes
(10% - 50 years)

Very Rare
Earthquakes
(2% - 50 years)



Son Söz

- **Mevcut Yapı Değerlendirmesi Bileşenleri:**
 - Veri toplama (malzeme, geometri, detay)
 - Yapısal analiz
 - Değerlendirme
- **Tüm bileşenler yeni yapı tasarımına göre belirsizlikleri artırıyor.**
 - Veri toplama: Sınırlı
 - Yapısal analiz: Varsayımlar
 - Değerlendirme: Eleman detay farkları sebebi ile perf. tahmin sorunları
- Mevcut yapı değerlendirmesi yeni tasarım kadar şablon yapılamaz
- Varsayımlar, sonuçlar ve nihai karar mühendislik bilgisi v