

## DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

*Zekai Celep*  
*İnşaat Fakültesi*  
*İstanbul Teknik Üniversitesi*

### DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

- Deprem hareketi
- Yapıların yer hareketi etkisindeki titreşimi
- Deprem etkisindeki betonarme yapı elemanlarının davranışı
- Depreme dayanıklı yapı tasarımı
- Yurdumuzdaki önemli depremler
- Yapılarda deprem sonrası hasar belirlenmesi, onarım ve güçlendirme yöntemleri
- Mevcut binaların deprem etkisindeki davranışının değerlendirilmesi

### Depreme dayanıklı yapı tasarımı

- a. Geometri
- b. Süreklilik
- c. Rijitlik ve dayanım
- d. Güç tükenme şekli
- e. Süneklik

### Rijitlik

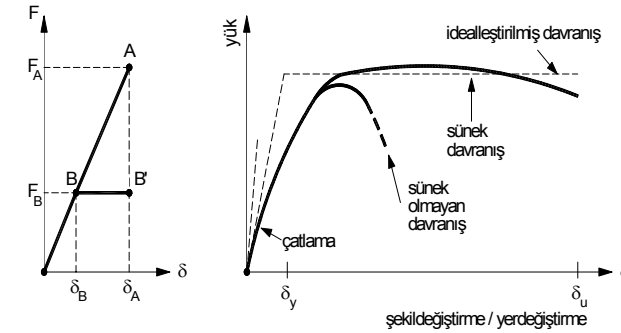
- Etkilerin paylaşılması eleman rijitlikleri ile ilgili
- Rijitlik ile yatay yerdeğiştirmeler ve taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar sınırlandırılabilir
- Yapının rijit olması deprem yüklerini artırabilir (Spektrum eğrisi)

## Dayanım

- Yönetmelikte öngörülen kuvvetlerin karşılanması
- $G+Q+E$
- $0.9G+E$

## Süneklik

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$$



## Süneklik

- Dayanım kaybı olmadan elastik ötesi şekil değiştirme yapabilme yeteneği
- Kesit sünekliği
- Eleman sünekliği
- Taşıyıcı sistem sünekliği

## Deprem Yönetmeliği

Zelzele Mühtakaları Muvakkat Yapı Talimatnamesi

1940

1942

1947

1953

1961

1968

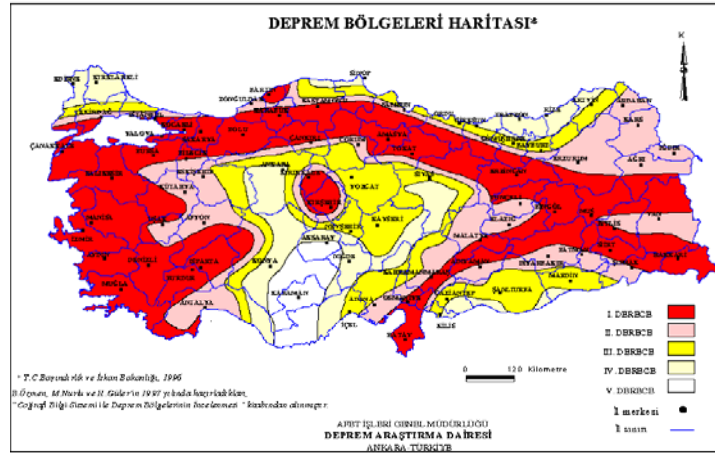
1975

1998

~2006 (muhtemel)

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

## Deprem Bölgeleri



## Deprem Yönetmeliği

Deprem bölgeleri	1. derece	2. derece	3. derece	4. derece	5. derece
Yüzölçüm oranı	%42	%24	%18	%12	%4
Nüfus oranı	%45	%26	%15	%13	%2
Hasar yapan deprem oranı	%75	%20	%2	%3	-

Tablo 4.1. Deprem bölgelerine göre yurdumuzda yüzölçümü, nüfus dağılımı ve 1900-1996 arası hasar yapan deprem oranları

Ana fay bölgeleri	Kuzey Anadolu Fay Bölgesi	Ege Çöküntü Sistemi Bölgesi	Doğu Anadolu Fay Bölgesi
Toplam deprem sayısı	36	35	19
1. deprem bölgesinde	%92	%99	%96
2. deprem bölgesinde	%8	%1	%4

Tablo 4.2. Yurdumuzdaki ana fay bölgelerinde 1900-1996 arası hasar yapan depremlerin dağılımı

## Deprem ve kabul edilebilir hasar

- Hafif şiddetli deprem / Kullanma depremi:** Taşıyıcı sistemde hasar yok
- Orta şiddetli deprem / Tasarım depremi:** Taşıyıcı sistemde ekonomik güçlendirme mümkün
- Şiddetli deprem / Maksimum deprem:** Taşıyıcı sistemin ekonomik güçlendirilmesi mümkün değil, can kaybının önlenmesi

## Sınır durumlar

- Kullanılabilirlik sınır durumu (50yıl/%50:DP 72yıl)**  
Sık ortaya çıkan depremlerin yapının fonksiyonuna olumsuz etkisi olmaması
- Hasar kontrolü (Can güvenliği) sınır durumu (50yıl/%10:DP 474yıl)**  
Yapı ömrü boyunca ortaya çıkma ihtimali düşük deprem yapıda güçlendirmenin mümkün, ve ekonomi
- Göçme kontrolü sınır durumu (50yıl/%2:DP 2475yıl)**  
Nadir oluşabilecek depremlerde yapının sünek biçimde güç tükenmesine gelmesi

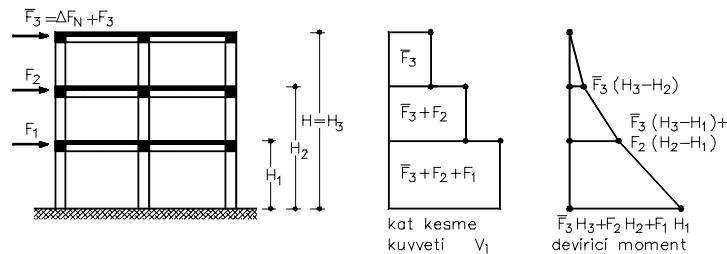
## Tasarım depremi

- Orta hasarla karşılanabilecek deprem
- Ortaya çıkacak hasarı gidermek mümkün ve ekonomik
- 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem
- Önemli binalarda daha büyük depremin gözönüne alınması için, yapı önem katsayısı tanımı  $I = 1.0, 1.2, 1.4, 1.6$

## Taşıyıcı sistemin genel davranışı

- Düşey ve deprem yüklerinin en kısa yoldan zemine aktarılması
- İlave etkilerin meydana getirilmesinden kaçınılması
- Basit taşıyıcı sistem düzeninin seçimi

## Deprem kuvvetinin düşeyde etkimesi



## Planda rijitlik merkezi:

## Plandaki döşemenin yerdeğiştirmesi:

$$v_x, v_y, v_\theta$$

## Kolonun yerdeğiştirmesi:

$$v_{iy} = v_y + (x_i - x_R) v_\theta$$

$$v_{ix} = v_x - (y_i - y_R) v_\theta$$

### Planda etkiyen kuvvet ve momentler:

#### Kuvvetler:

$$F_{ix} = k_{ix} v_{ix}$$

$$F_x = \sum_i F_{ix} = \sum_i k_{ix} [v_x - (y_i - y_R) v_\theta]$$

$$F_{iy} = k_{iy} v_{iy}$$

$$F_y = \sum_i F_{iy} = \sum_i k_{iy} [v_y + (x_i - x_R) v_\theta]$$

#### Moment

$$M_o = \sum_i [F_{iy} (x_i - x_R) - F_{ix} (y_i - y_R)]$$

$$M_o = \sum_i [k_{iy} [v_y + (x_i - x_R) v_\theta] (x_i - x_R) - k_{ix} [v_x - (y_i - y_R) v_\theta] (y_i - y_R)]$$

### Kuvvet ve yerdeşistirmeler arası bağıntı:

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i k_{ix} & 0 & -\sum_i k_{ix} (y_i - y_R) \\ 0 & \sum_i k_{iy} & \sum_i k_{iy} (x_i - x_R) \\ -\sum_i k_{ix} (y_i - y_R) & \sum_i k_{iy} (x_i - x_R) & \sum_i k_{iy} (x_i - x_R)^2 + k_{ix} (y_i - y_R)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_\theta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_x & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 \\ 0 & 0 & K_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_\theta \end{bmatrix}$$

### Rijitlik merkezi koordinatları:

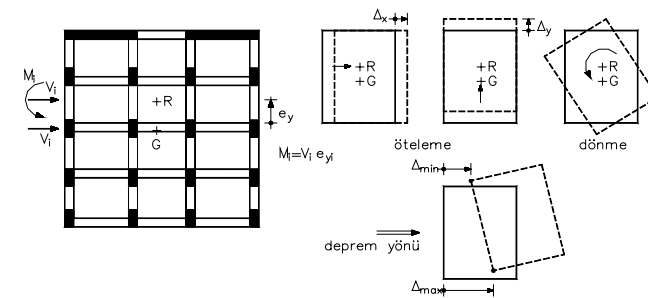
$$x_R = \frac{\sum_i k_{ix} x_i}{\sum_i k_{ix}} \quad y_R = \frac{\sum_i k_{iy} y_i}{\sum_i k_{iy}}$$

### Öteleme ve rijitlikleri:

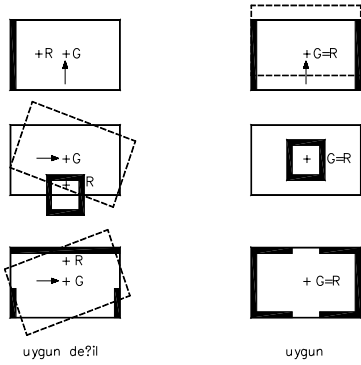
$$K_x = \sum_i k_{ix} \quad K_y = \sum_i k_{iy}$$

$$K_\theta = \sum_i k_{iy} (x_i - x_R)^2 + k_{ix} (y_i - y_R)^2$$

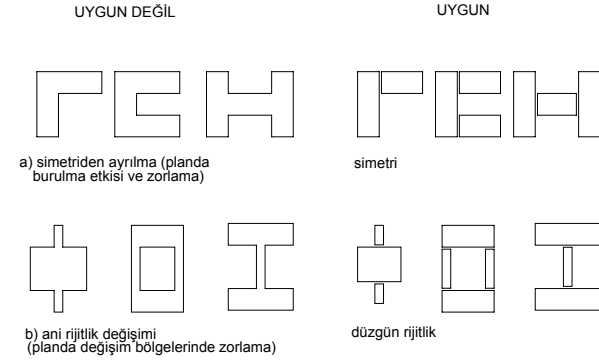
### Rijitlik ve kütle merkezi Deprem kuvvetinin planda etkimesi



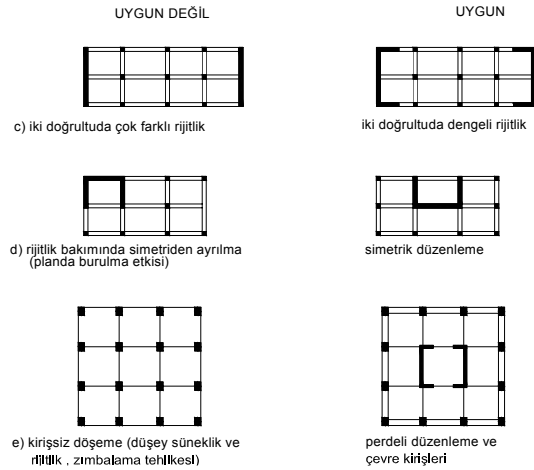
## Planda taşıyıcı sistem



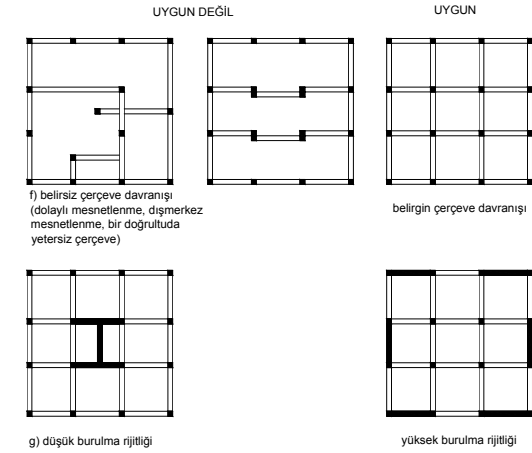
## Planda taşıyıcı sistem



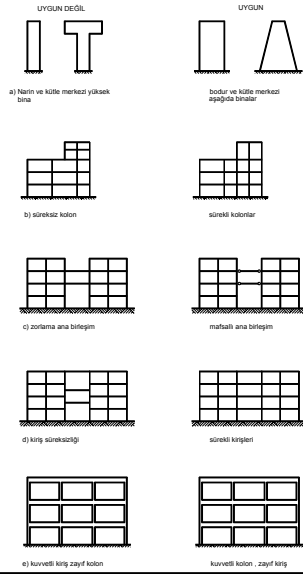
## Planda taşıyıcı sistem



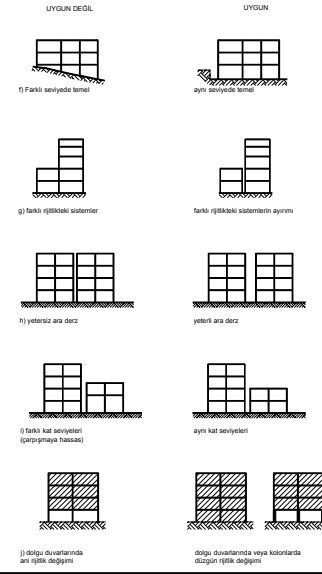
## Planda taşıyıcı sistem



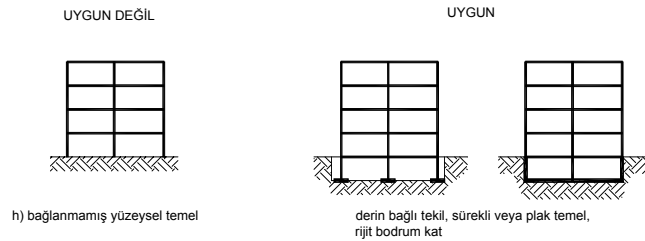
## Düşey kesitte taşıyıcı sistem



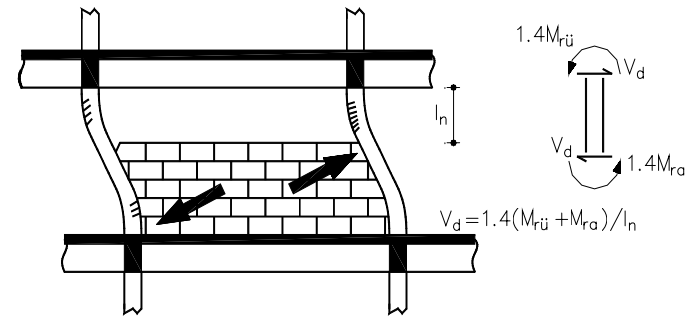
## Düşey kesitte taşıyıcı sistem



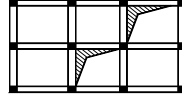
## Düşey kesitte taşıyıcı sistem



## Kısa kolon davranışı



12 aynı kesitli kolondan çevredekilerin yüksekliği üçte bire düşürülerek kısa kolon durumuna getiriliyor:

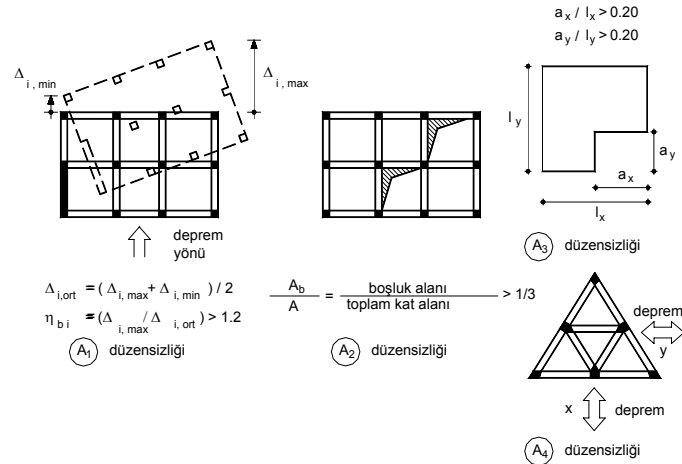


Yükseklikler	Kenar kolon		Orta kolon	
	Kesme kuvveti / $V_t$	Eğilme Momenti / $(h V_t)$	Kesme Kuvveti / $V_t$	Eğilme momenti / $(h V_t)$
Aynı	0.0833	0.0417	0.0833	0.0417
Farklı	0.0993	0.0165	0.0038	0.0019
Değişim	1.19 artış	2.53 azalma	21.9 azalma	21.9 azalma

## Planda düzensiz yapılar

Düzensizlik	Tanım	Önlem
A1) Burulma düzensizliği	Bir katta %5 lik yatay kuvvet dışmerkezliği altında öteleme ve burulma sonucu oluşan en büyük relatif yer değiştirmesinin ortalama öteleme yer değiştirmesine oranının 1.2 den büyük olması ( $\eta_{bi} > 1.2$ )	$\eta_{bi} > 1.2$ ise, ek dışmerkezlik artırılır $\eta_{bi} > 2.0$ dinamik hesap yapılır
A2) Döşeme süreksizlik düzensizliği	Katlarda diyafram görevi yapan döşeme sisteminde %33 den fazla boşluk bulunması ( $A_b/A > 1/3$ )	Deprem yükünün döşemelerden kolon ve perdelerle iletiği hesapla gösterilir
A3) Planda çıkıntı düzensizliği	Plandaki her iki doğrultudaki çıkıntılardan bu doğrultudaki yapı boyununun %20 sinden fazla olması ( $a_x > l_x/5$ ; $a_y > l_y/5$ )	
A4) Taşıyıcı sistem paralel olmama düzensizliği	Yatay yükleri taşıyan elemanların, yapıya depremin etkidiğinin kabul edildiği eksenlere paralel olmaması	Dik iki doğrultudaki deprem etkisinden bulunan iç kuvvetler birleştirilir

## Planda düzensiz yapılar

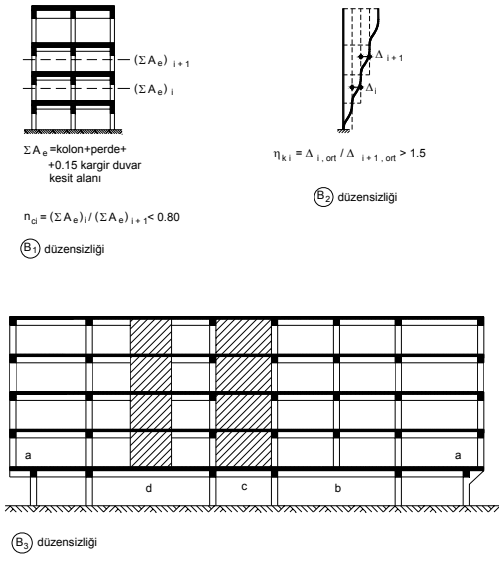


## Düşeyde düzensiz yapılar

Düzensizlik	Tanım	Önlem
B1) Dayanım (zayıf kat) düzensizliği	Bir katın etkili kesme alanının (kolon + perde + $0.15 \times$ kargir duvar alanı) üst katkine oranının 0.80 den küçük olması ( $\eta_{ca \text{ min}} < 0.80$ )	$0.60 < \eta_{ca \text{ min}} < 0.80$ ise, R katsayısı $1.25 \times \eta_{ca \text{ min}}$ ile çarpılarak küçültülür $\eta_{ca \text{ min}} < 0.60$ olmasına izin verilmediği için, kolon ve perde kesitleri artırılarak bu oran büyütülür
B2) Rijitlik (yumuşak kat) düzensizliği	Bir katta %5 lik yatay kuvvet dışmerkezliği altında oluşan ortalama relatif yer değiştirmenin üst katkine oranının 1.5 dan fazla olması ( $\eta_{ri} > 1.50$ )	Dinamik hesap yapılır
B3) Süreksizlik düzensizliği	Yatay yük taşıyan düşey elemanların alt katlarda devam etmemesi	Kolon konsola oturamaz Perde kirişe mesnetlenemez Kolonun iki ucundan mesnetli kirişe oturması durumunda veya perdenin iki ucunda kolona oturması durumunda iç kuvvetler %50 artırılır



## Düseyde düzensiz yapılar



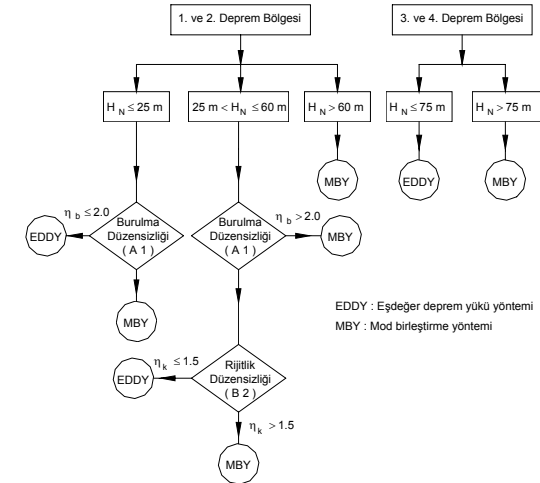
## Deprem etkisi altında çözüm yöntemi:

- Zaman tanım alanında çözüm
- Mod birleştirme yöntemi
- Eşdeğer deprem yükü yöntemi

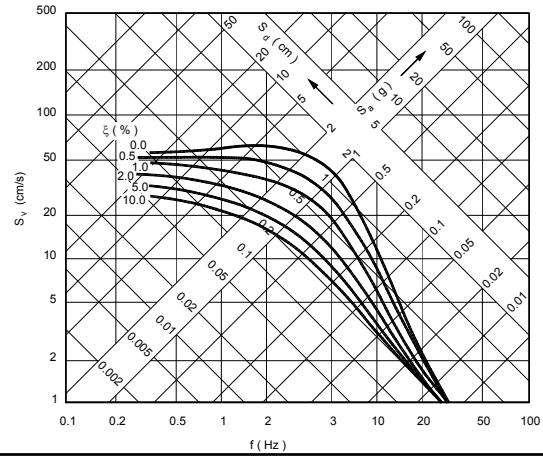
## Eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanma sınırları

Deprem bölgesi	Bina türü	Toplam yükseklik sınırı
1, 2	A1 türü Burulma Düzensizliği Katsayısı $\eta_{bi} \leq 2.0$	$H_N \leq 25m$
1, 2	A1 türü Burulma Düzensizliği Katsayısı $\eta_{bi} \leq 2.0$ ve ayrıca B2 düzensizliği olmayan binalar	$H_N \leq 60m$
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 75m$

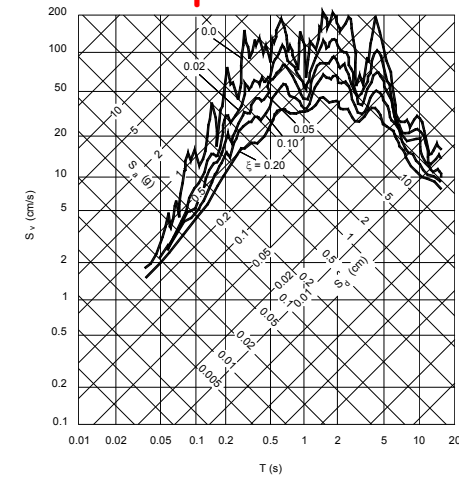
## Deprem etkisi altında çözüm yöntemi



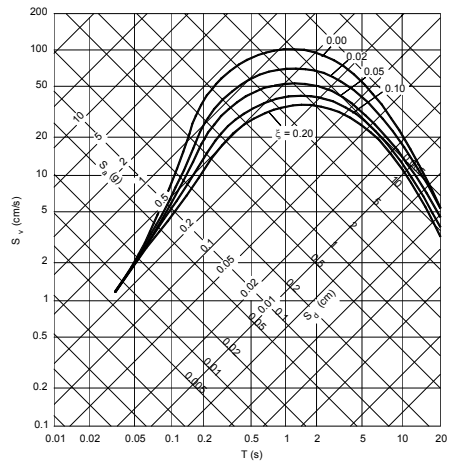
## Housner boyutlama spekturumu



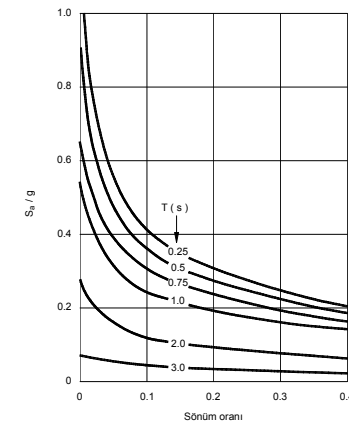
## San Fernando depremi davranış spekturumu



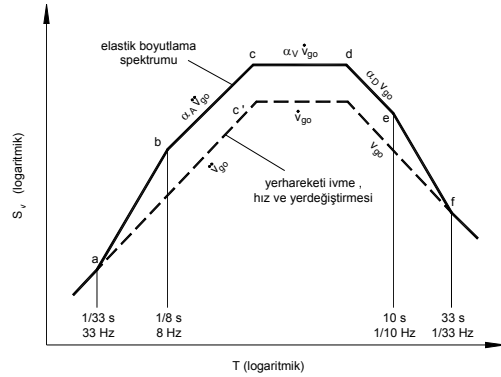
## San Fernando depremi boyutlama spekturumu



## San Fernando depreminde periyodun etkisi

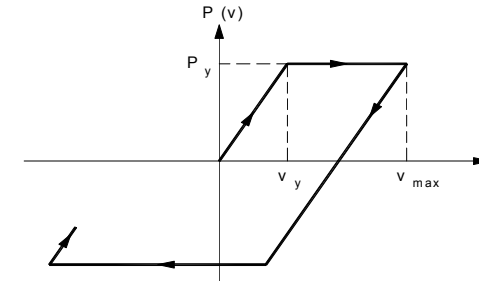


## Elastik boyutlama spektrumun çizimi

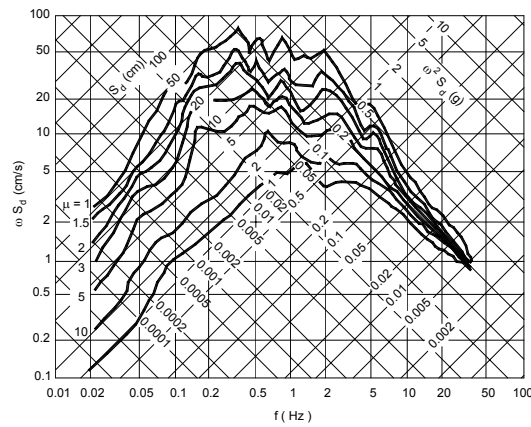


## İdeal elasto-plastik davranış

$$\ddot{v} + 2 \xi \omega \dot{v} + \frac{P(v)}{m} = -\ddot{v}_g(t)$$



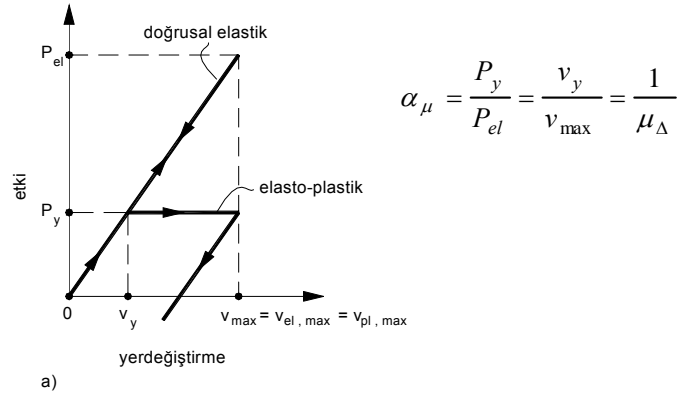
## ElCentro (1941) depreminin süneklik oranlarına bağlı 0.1 sönümlü spektrum eğrileri



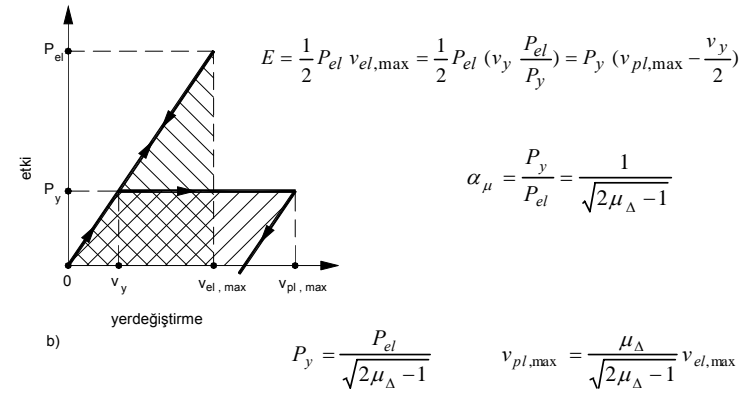
## Yapı türlerine göre sönüm

Gerilme Seviyesi	Yapı Türü	Sönüm oranı (%)
Kullanma durumu (Gerilme akma gerilmesinin yanında küçük)	Önemli boru hattı Kaynaklı çelik yapı; öngerilmeli beton yapı; hafif çatlaklı betonarme yapı Normal çatlaklı betonarme yapı	1 - 2 2 - 3 3 - 5
Göçme durumu (Gerilmeler akma gerilmesine yakın)	Bulonlu veya perçinli çelik yapı; çivili veya bulonlu ahşap yapı	5 - 7
	Önemli boru hattı Kaynaklı çelik yapı; öngerilmeli beton yapı Betonarme yapı Bulonlu veya perçinli çelik yapı; bulonlu ahşap yapı	2 - 3 5 - 7 5 - 10 10 - 15
	Çivili ahşap yapı	15 - 20

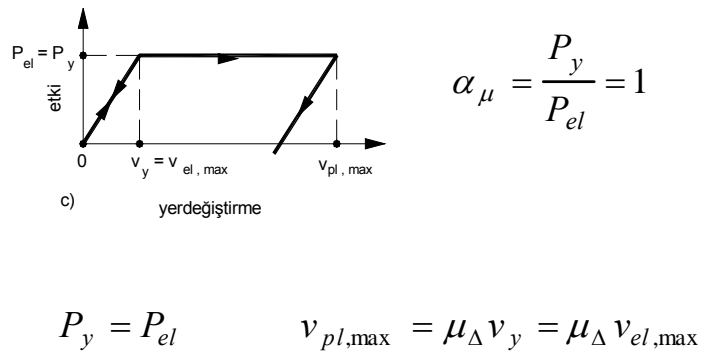
**Süneklilik sebebiyle kuvvet azaltılması**  
**a) eşit yerdeğiştirme kuralı**



**Süneklilik sebebiyle kuvvet azaltılması**  
**b) eşit iş kuralı**



**Süneklilik sebebiyle kuvvet azaltılması**  
**c) eşit kuvvet kuralı**



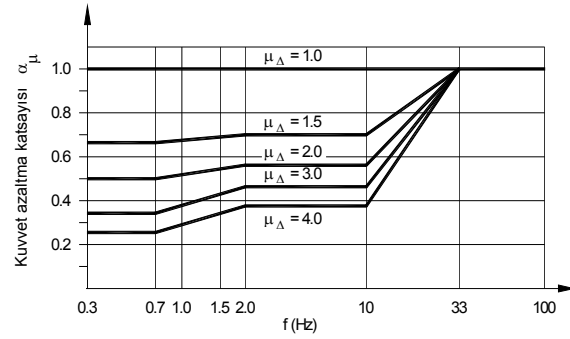
**Süneklilik sebebiyle kuvvet azaltması:**

**Küçük periyot bölgesi:**       $\alpha_\mu = 1$

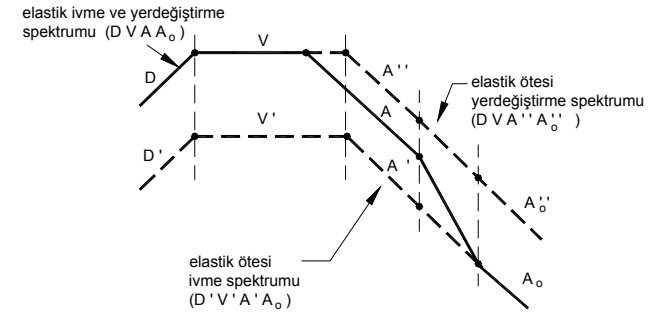
**Orta periyot bölgesi:**       $\alpha_\mu = \frac{1}{\sqrt{2\mu_\Delta - 1}}$

**Büyük periyot bölgesi:**       $\alpha_\mu = \frac{1}{\mu_\Delta}$

## Sünelilik sebebiyle kuvvet azaltması:

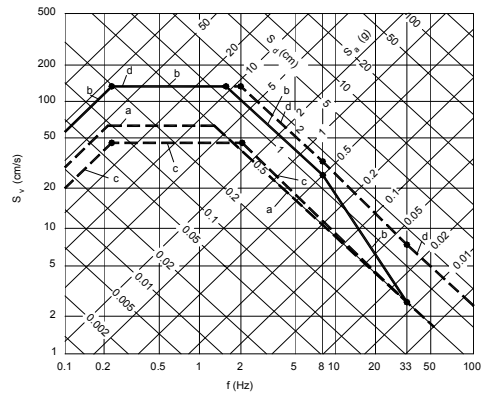


## Sünelilik sebebiyle ivme spektrumunda azaltma azaltması:

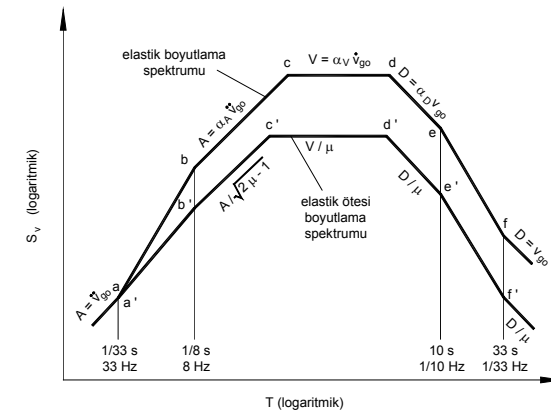


## Elastik spektrumlardan elastik ötesi davranış spektrumların elde edilmesi:

- a) Yer hareketi spektrumu, b) elastik boyutlama spektrumu, c) ivme spektrumu, d) yerdeğiştirme spektrumu



## Elastik spektrumlardan elastik ötesi davranış spektrumların elde edilmesi:



## Elastik deprem yükü:

### Deprem bölgesi Etkin yer ivmesi katsayısı $A_0$

Deprem bölgesi	1	2	3	4
$A_0$	0.40	0.30	0.20	0.10

## Elastik deprem yükü: Yapı önem katsayısı I

Yapı önem katsayısı	I
Depremden hemen sonra kullanımı zorunlu binalar veya tehlikeli madde içeren binalar	1.5
Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye, istasyon ve terminaler, PTT ve diğer haberleşme binaları, ulaşım istasyonları ve terminaleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, yönetim binaları, ilkyardım ve afet planlama merkezleri, zehirli, patlayıcı ve parlayıcı özellikleri olan maddelerin depolandığı binalar	1.4
İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar ve değerli eşyaların saklandığı yerler	1.4
Okullar, eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, cezaevleri, müzeler, askeri kırsalalar	1.2
İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar	1.2
Spor tesisleri, sinema ve tiyatrolar, konser salonları, toplantı salonları, ibadet yerleri	1.0
İnsanların az yaşadığı binalar	1.0
Konutlar, işyerleri, oteller ve lokantalar, bina türü endüstri yapıları	1.0

## Yapı titreşim periodu

$$T_1 \approx T_{1A} = C_t H_N^{0.75}$$

$$C_t = \frac{0.075}{\sqrt{A_t}} \leq 0.05 \quad A_t = \sum_j A_{wj} \left[ 0.2 + \left( \frac{l_{wj}}{H_N} \right)^2 \right] \quad \frac{l_{wj}}{H_N} \leq 0.9$$

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^N F_i d_i}}$$

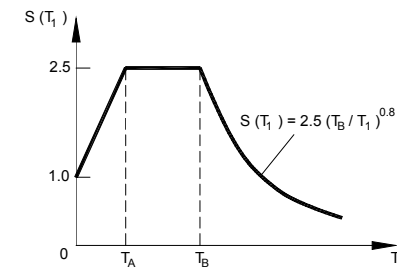
$A_{wj}$  binanın temel üstündeki ilk katında  $j$ . perdenin brüt kesiti  
 $l_{wj}$  deprem doğrultusundaki perde uzunluğu

betonarme çerçeveler  $C_t = 0.07$   
çelik çerçeveler  $C_t = 0.08$   
diğer tür binalar  $C_t = 0.05$

## Yapı titreşim periyodu

$T_{1A} > 1.0s$  olması durumunda, Rayleigh Yöntemi sonucu en büyük değeri  $1.30 \times T_{1A}$  den fazla olmamalıdır.

Basit formül:  $T_f \approx 0.07 \sim 0.10 N$

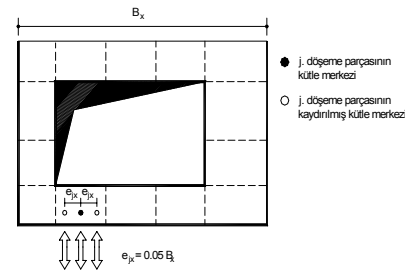
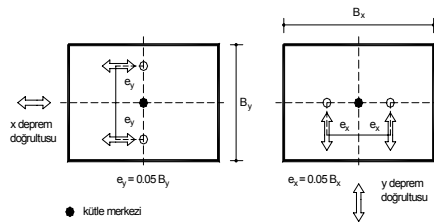
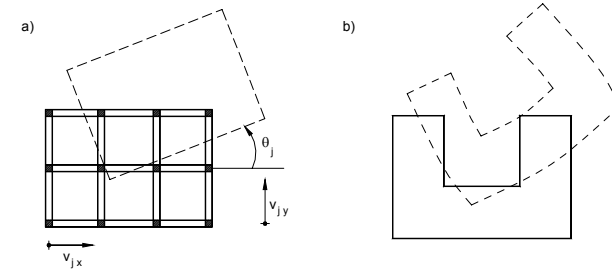


## Yapı ağırlığı

$$W = \sum_{i=1}^N W_i = \sum_{i=1}^N (G_i + n Q_i)$$

Hareketli yük azaltma katsayısı	n
Depolar	0.80
Okullar, öğrenci yurtları, spor tesisleri, sinema ve konser salonları, tiyatrolar, garaj lokanta ve mağazalar	0.60
Özel konutlar, otel ve hastaneler, işyerleri	0.30

## Deprem yüklemesinde rijit diyafram kabülü



## Deprem kuvvetinin dışmerkezliği

$$D_i = \left( \frac{\eta b_i}{1.2} \right)^2$$

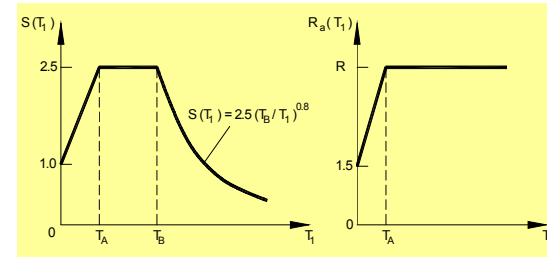
$e D_i$

## Spektrum

$$S(T_i) = 1 + 1.5 T_i / T_A \quad (0 \leq T_i \leq T_A)$$

$$S(T_i) = 2.5 \quad (T_A \leq T_i \leq T_B)$$

$$S(T_i) = 2.5 (T_B / T_i)^{0.8} \quad (T_B \leq T_i)$$



## Zemin grubu ve sınıfı

Zemin grubu	Tanımlama		
A	Ayrılmamış sağlam kayalar, çok sıkı çakıl ve kum; sert kil ve siltli kil		
B	Ayrılmış ve çatlaklı kayalar; sıkı çakıl ve kum; çok katı kil ve siltli kil		
C	Yumuşak, süreksiz düzlemli çok ayrılmış kayalar; orta sıkı çakıl ve kum; katı kil ve siltli kil		
D	Yeraltı su seviyesi yüksek olan yumuşak alüvyon tabakaları; gevşek kum; yumuşak kil ve siltli kil		
Zemin sınıfı	Tanımlama	$T_A$ (s)	$T_B$ (s)
Z1	A grubu zeminler; en üst tabaka kalınlığı 15m den az B grubu zeminler	0.10	0.30
Z2	En üst tabaka kalınlığı 15m den fazla B grubu zeminler; en üst tabaka kalınlığı 15m den az C grubu zeminler	0.15	0.40
Z3	En üst tabaka kalınlığı 15m-50m arasındaki C grubu zeminler; en üst tabaka kalınlığı 10m den az olan D grubu zeminler	0.15	0.60
Z4	En üst tabaka kalınlığı 50m den fazla C grubu zeminler; en üst tabaka kalınlığı 10m den fazla D grubu zeminler	0.20	0.90

## Taşıyıcı sistem sünekliği

⇒ Elastik deprem yükü

Azaltılmamış deprem yükü

Doğrusal olmayan elastik ötesi davranış

⇒ Elastik deprem yükü /  $R_a(T_1)$

Azaltılmış deprem yükü

Doğrusal elastik davranış

## Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R

Taşıyıcı sistem	Süneklik düzeyi	
	Normal	Yüksek
<b>Yerinde dökme betonarme binalar</b>		
Deprem yükleri çerçevelerle taşınan binalar	4	8
Deprem yükleri bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşınan binalar	4	7
Deprem yükleri boşluksuz perdelerle taşınan binalar	4	6
Deprem yükleri çerçeveler ve perdelerle taşınan binalar	4	7
<b>Prefabrik betonarme binalar</b>		
Deprem yükleri bağlantıları tersinir moment aktarabilen çerçevelerle taşınan binalar	3	6
Deprem yükleri temele ankastre üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşınan binalar	-	5
Deprem yükleri prefabrik boşluksuz perdelerle taşınan binalar	-	4
Deprem yükleri perdelerle bağlantıları tersinir moment aktarabilen çerçevelerle taşınan binalar	3	5

## Eşdeğer deprem yükü yöntemi

$$V_t = \frac{A(T_1)}{R_a(T_1)} W = \frac{A_o I S(T_1)}{R_a(T_1)} W \geq 0.10 A_o I W$$

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{W_i H_i}{\sum_{j=1}^N W_j H_j}$$

$$\Delta F_N = 0.07 T_1 V_t \leq 0.20 V_t$$

$$\Delta F_N = 0. \quad \text{eğer} \quad H_N \leq 25m$$

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i$$



## Eşdeğer deprem yükü yöntemi

$$L_j = \phi_j^T \mathbf{m} \mathbf{1} = \sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj} \quad \Gamma_j = \frac{L_j}{M_j}$$

$$M_j = \phi_j^T \mathbf{m} \phi_j = \sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}^2 \quad M_j^* = \Gamma_j L_j$$

$$V_{b1}(t) = M_1^* g \frac{A_1(t)}{g} \quad f_{i1}(t) = V_{b1}(t) \frac{m_i \phi_{i1}}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}}$$

$$V_{b1} = M g \frac{A_1(T_1)}{g} \frac{1}{R_a} = W A_o S(T_1) \frac{I}{R_a} \quad f_{i1}(t) = V_{b1}(t) \frac{w_i h_i}{\sum_{n=1}^N w_n h_n}$$

## Mod birleştirme yöntemi

$$L_j = \sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj} \quad M_j = \sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}^2 \quad M_j^* = \frac{\left( \sum_{n=1}^N m_i \phi_{ij} \right)^2}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}^2}$$

$$V_{bj}(t) = M_j^* g \frac{A_j(t)}{g} \quad f_{ij}(t) = V_{bj}(t) \frac{m_i \phi_{ij}}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}}$$

$$V_{bj} = \max V_{bj}(t) = \frac{M_j^* g}{R_a} \max \left[ \frac{A_j(t)}{g} \right] = \frac{M_j^* g}{R_a} \frac{A_j(T_j)}{g} = \frac{M_j^* g}{R_a} A_o I S_j(T_j)$$

## Mod birleştirme yöntemi

### Etkili Kütle

$$M_j = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{xij}^2 + \sum_{i=1}^N m_i \phi_{yij}^2 + \sum_{i=1}^N m_i \phi_{zij}^2$$

$$M_{xj}^* = \left( \sum_{i=1}^N m_i \phi_{xij} \right)^2 / M_j \quad M_{yj}^* = \left( \sum_{i=1}^N m_i \phi_{yij} \right)^2 / M_j$$

$$\sum_{j=1}^{3N} (M_{xj} + M_{yj}) = \sum_{i=1}^N m_i$$

## Mod birleştirme yöntemi

$T_i / T_j \leq 0.80$  ise Karelerin Toplamının Karekökü Birleştirme Kuralı

$$r(t)_{\max} \approx \left[ r_{1o}^2 + r_{2o}^2 + \dots + r_{3No}^2 \right]^{1/2}$$

$T_i / T_j > 0.80$  ise Tam Karesel Birleştirme Kuralı

$$r(t)_{\max} \approx \left[ \sum_{i=1}^{3N} \sum_{j=1}^{3N} \rho_{ij} r_{io} r_{jo} \right]^{1/2}$$

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2 (1 + \beta_{ij}) \beta_{ij}^{3/2}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2 \beta_{ij} (1 + \beta_{ij})^2} \quad \beta_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j}$$

## Mod birleştirme yöntemi

Hesaba katılacak mod sayısı

$$\sum_{j=1}^Y M_{xj}^* = \sum_{j=1}^Y \left\{ \left( \sum_{i=1}^N m_i \phi_{xij} \right)^2 / M_j \right\} \geq 0.90 \sum_{j=1}^N m_j$$

$$\sum_{j=1}^Y M_{yj}^* = \sum_{j=1}^Y \left\{ \left( \sum_{i=1}^N m_i \phi_{yij} \right)^2 / M_j \right\} \geq 0.90 \sum_{j=1}^N m_j$$

## Mod birleştirme yöntemi

Taban kesme kuvveti

$V_r$  Mod birleştirme yönteminden elde edilen

$V_{tb}$  Eşdeğer deprem yükü yönteminden elde edilen

$\beta V_r / V_{tb}$

Mod birleştirme yönteminden elde edilen artırılarak uygulanacak

Binada A1, B2 ve B3 türü düzensizliklerden birinin bulunması durumunda  $\beta = 1.0$  ve bu düzensizliklerin hiç birinin bulunmaması durumunda ise  $\beta = 0.9$  alınacaktır.

## Taşıyıcı sistem düzensizliği

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının asal eksen doğrultularının gözönüne alınan birbirine dik deprem doğrultularına paralel olmaması durumunda

$$\pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay} \quad \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay}$$

## Zaman tanım alanında çözüm

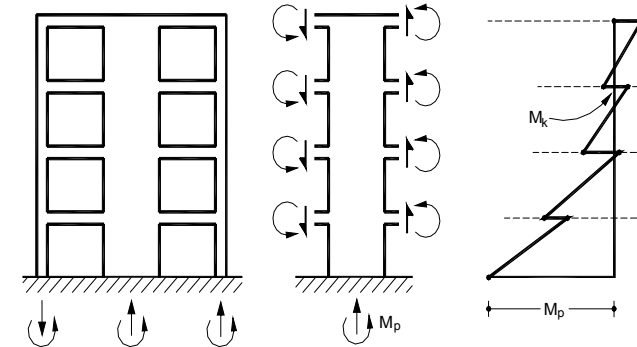
•Kayıt süresi  $T_1$  in 5 katından ve 15s den büyük

Verilen spektrumla uyumlu (%90 dan daha küçük değil)

## Taşıyıcı sistem için koşullar

Taşıyıcı sistem	Süneklik düzeyi	Davranış katsayısı	Uygulama kısıtlaması	
			Yapı önem katsayısı	Deprem bölgesi, yükseklik
Çerçeve	Normal	$R = 4$	$I \leq 1.2$	Sadece 3. ve 4. de $H_N \leq 25m$ (plak döşeme) $H_N \leq 13m$ (kirişsiz ve diğli döşeme) ise
	Yüksek	$R = 8$		
Çerçeve + perde	Normal	$R = 4$	$I \leq 1.2$	$\alpha_M \geq 0.75$
	Yüksek	$6 \leq R = 10 - 4\alpha_M \leq 7$		
Perde	Karma	$5.2 \leq R = 4 + 3\alpha_M \leq 6$		$\alpha_M \geq 0.40$
	Normal	$R = 4$	$I \leq 1.2$	
Boşluklu perde	Normal	$R = 4$	$I \leq 1.2$	
	Yüksek	$R = 7$		

## Taşıyıcı sistem için koşullar

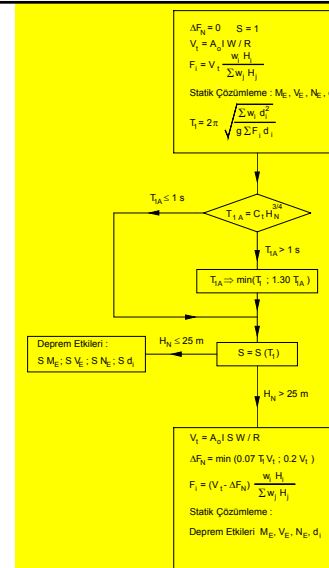


$$\alpha_M = \frac{\sum M_p + \sum \sum M_k}{M_d} \geq 0.4$$

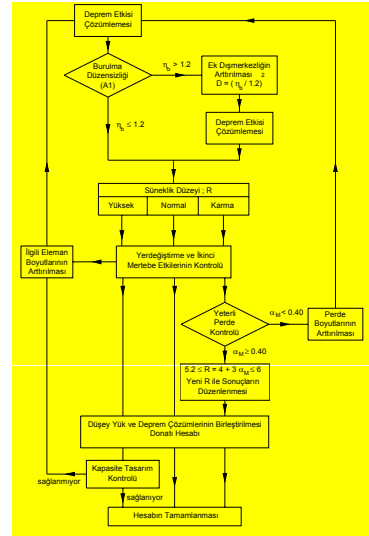
## Taşıyıcı sistem için koşullar

Döşeme türü	Taşıyıcı sistemde perde	Süneklik düzeyi	Davranış katsayısı	Uygulama kısıtlaması	
				Yapı önem katsayısı	Deprem bölgesi, yükseklik
Kirişli plak	Perdeli	Normal	$R = 4$	$I \leq 1.2$	$\alpha_M \geq 0.75$
		Yüksek	$6 \leq R = 10 - 4\alpha_M \leq 7$		$\alpha_M \geq 0.40$
		Karma	$5.2 \leq R = 4 + 3\alpha_M \leq 6$		$\alpha_M \geq 0.40$
Bir veya iki doğrultuda diğli	Perdesiz	Normal	$R = 4$	$I \leq 1.2$	Sadece 3. ve 4. de $H_N \leq 25m$ ise
		Yüksek	$R = 8$		
		Karma	$5.2 \leq R = 4 + 3\alpha_M \leq 6$		$\alpha_M \geq 0.40$
Kirişsiz	Perdeli	Normal	$R = 4$	$I \leq 1.2$	$\alpha_M \geq 0.75$
		Yüksek	$6 \leq R = 10 - 4\alpha_M \leq 7$		$\alpha_M \geq 0.40$
		Karma	$5.2 \leq R = 4 + 3\alpha_M \leq 6$		$\alpha_M \geq 0.40$
Kirişsiz	Perdesiz	Normal	$R = 4$	$I \leq 1.2$	Sadece 3. ve 4. de $H_N \leq 13m$ ise
		Yüksek	$R = 8$		
		Karma	$5.2 \leq R = 4 + 3\alpha_M \leq 6$		$\alpha_M \geq 0.40$

## Eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulaması



## Deprem hesabı



## Döşemeler

Tanım	TS500	Deprem Yönetmeliği
min $h_f$	1 / 25 (bir açıklıklı); 1 / 30 (çok açıklıklı)	-
max $s_{kisa}$	1.5 $h_f$ ; 200mm	-
max $s_{uzun}$	300mm	-
min $\rho_{kisa}$	0.003 (S220) ; 0.002 (S420, S500)	-

Bir doğrultuda çalışan döşemeler ile ilgili konstrüktif kurallar

Tanım	TS500	Deprem Yönetmeliği
min $h_f$	TS500 formül (11.1)	-
max $s_{kisa}$	1.5 $h_f$ ; 200mm	-
max $s_{uzun}$	1.5 $h_f$ ; 250mm	-
min $\rho_{x,y}$ toplam	0.0040 (S220); 0.0035 (S420, S500)	-

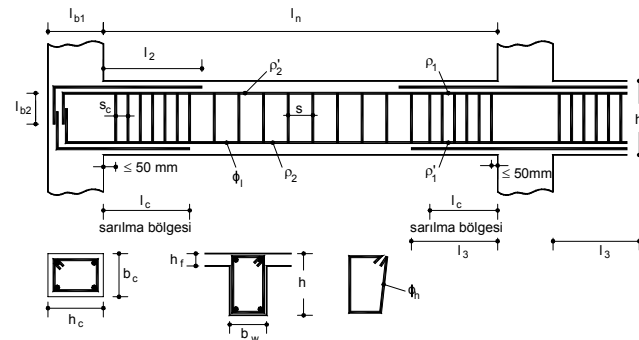
İki doğrultuda çalışan döşemeler ile ilgili konstrüktif kurallar

Tanım	TS500	Deprem Yönetmeliği
min $h_f$	50mm	50mm
min etriye	88/250mm	-
min $b_w$	100mm	-

Diği döşemeler ile ilgili konstrüktif kurallar

## Süneklik düzeyi yüksek kirişler

$$N_d \leq 0.1 A_c f_{ck}$$

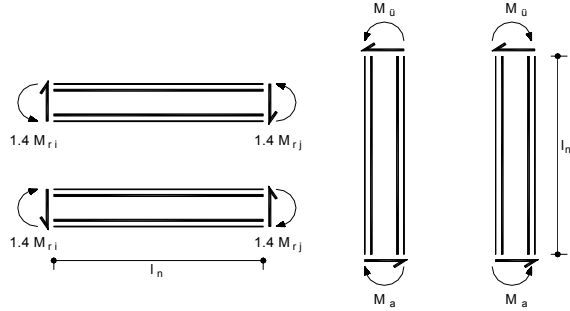


## Süneklik düzeyi yüksek kirişler

Tanım	TS500	Deprem Yönetmeliği
min $b_w$	200mm	250mm
max $b_w$	kolon genişliği + h	kolon genişliği + h
min h	300mm; 3 $h_f$	300mm; 3 $h_f$
max h	-	$l_n / 4$ ; 3.5 $b_w$
min $l_c$	-	2 h
min $l_2$	-	$l_n / 4$
min ( $l_{b1} + l_{b2}$ )	-	$l_b$ ; (0.4 $l_b + 12 \phi$ ); 50 $\phi$ ( $l_{b2} = 0$ ise)
min $l_3$	-	$l_b$
max s	d / 2 ; 300mm	-
max $s_c$	d / 4 ; 8 $\phi$ ; 150mm	h / 4 ; 8 $\phi$ ; 150mm
min $\rho_1$	-	$f_{ctd} / f_{yd}$
min $\rho_2$	0.8 $f_{ctd} / f_{yd}$	-
max $\rho_1$ ; max $\rho_2$	0.85 $\rho_b$ ; 0.02	0.02
min $\rho_1'$	$\rho_2 / 3$	0.5 $\rho_1$ (1. ve 2. ); 0.3 $\rho_1$ (3. ve 4. deprem bölgesinde)
min $\rho_2'$	---	$\rho_1 / 4$
min $\phi_1$	---	12mm
min $\phi_h$	-	8mm

## Süneklik düzeyi yüksek kirişler

$$V_e = V_{dy} \pm 1.4 \frac{M_{ri} + M_{rj}}{l_n} \quad V_e \leq 0.22 f_{cd} b_w d$$



$$V_e = \frac{M_{ü} + M_a}{l_n} = 1.4 \frac{M_{r\ddot{u}} + M_{ra}}{l_n}$$

$$N_d \geq 0.1 A_c f_{ck}$$

## Kolonlar

Tanım	TS500	Deprem Yönetmeliği
max $N_d$	$0.6 f_{ck} A_c$	$0.5 f_{ck} A_c$
min $b$	250mm	250mm
max ( $h/b$ )		7.0
max $a$	300mm	$25\phi_h$
max $s_o$	200mm ; $12\phi_l$	$200\text{mm} ; b/2 ; h/2$
min $s_o$	-	50mm
max $s_c$	-	$100\text{mm} ; b/3 ; h/3$
max $s_{c,j}$	-	150mm (kuşatılmış) ; 100mm (kuşatılmamış)
max $l_c$	-	$500\text{mm} ; h ; b ; l_n/6$
min $\phi_h ; \text{min } \phi_c$	$\phi_l / 3$	8mm
min $\rho_{toplam}$	0.01	0.010
max $\rho_{toplam}$	0.04	0.04
min $A_c$	$4\phi 14$	$4\phi 16$ veya $6\phi 14$
min $A_c$	-	$75000\text{mm}^2$
min dışmerkezlilik	$0.1 h ; 25\text{mm}$	-

## Süneklik düzeyi yüksek kolonlarda sarılma bölgesi:

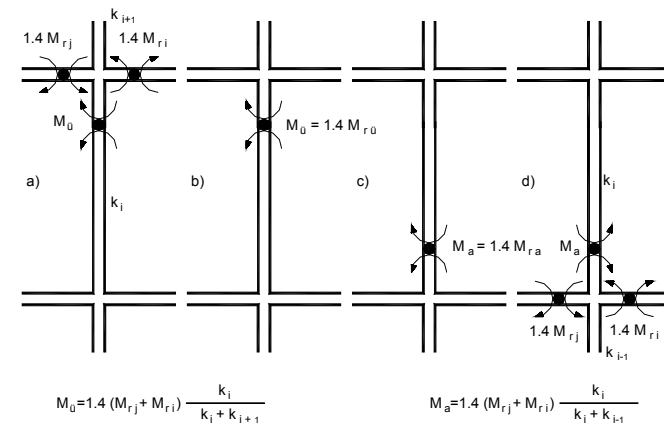
$$N_d > 0.20 A_c f_{ck}$$

ise enine donatı

$$\frac{A_h}{s b_k} \geq 0.30 \left[ \left( \frac{A_c}{A_{ck}} \right) - 1 \right] \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad \frac{A_h}{s b_k} \geq 0.075 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}}$$

aksi durumda bunun 2/3 ü

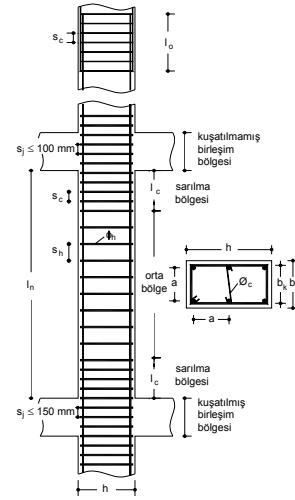
## Süneklik düzeyi yüksek kolonlar



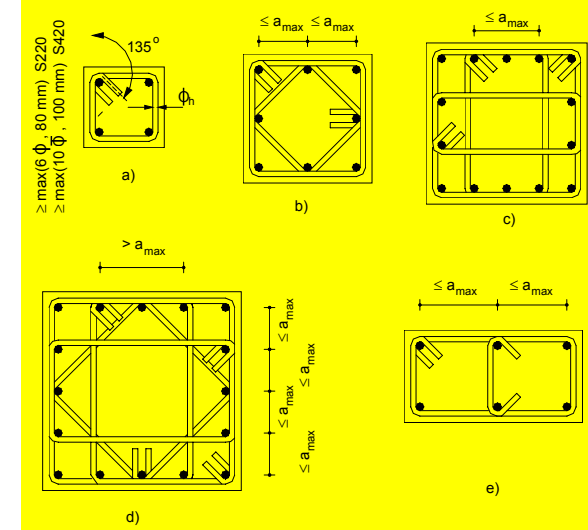
$$M_u = 1.4 (M_{rj} + M_{ri}) \frac{k_i}{k_i + k_{i+1}}$$

$$M_a = 1.4 (M_{rj} + M_{ri}) \frac{k_i}{k_i + k_{i+1}}$$

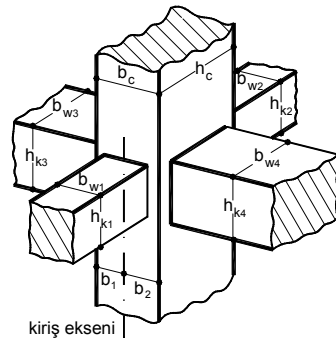
## Süneklik düzeyi yüksek kolonlar



## Kolonlarda etriye düzeni



## Kolon-kiriş birleşim bölgesinde kuşatılma



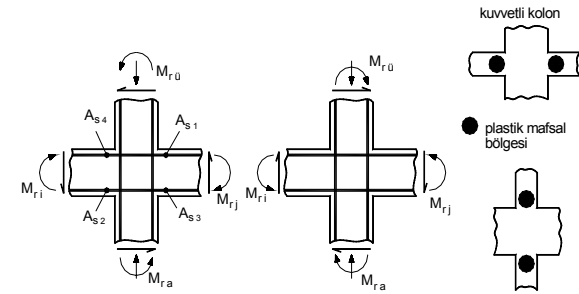
kiriş eksenine

$$\min(b_{w1}; b_{w2}) / b_c \geq 0.75$$

$$\min(b_{w3}; b_{w4}) / h_c \geq 0.75$$

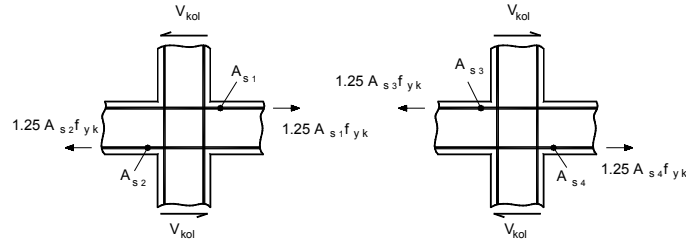
$$b_{w1} \leq b_{w2} \text{ için } b_j = 2 \min(b_1; b_2)$$

## Süneklik düzeyi yüksek kolon-kiriş birleşim bölgesi



$$(M_{ra} + M_{r0}) \geq 1.2 (M_{r1} + M_{r2})$$

## Süneklik düzeyi yüksek kolon-kiriş birleşim bölgesi



$$V_e = 1.25 f_{yk} \max (A_{s1} + A_{s2} ; A_{s3} + A_{s4}) - V_{kol}$$

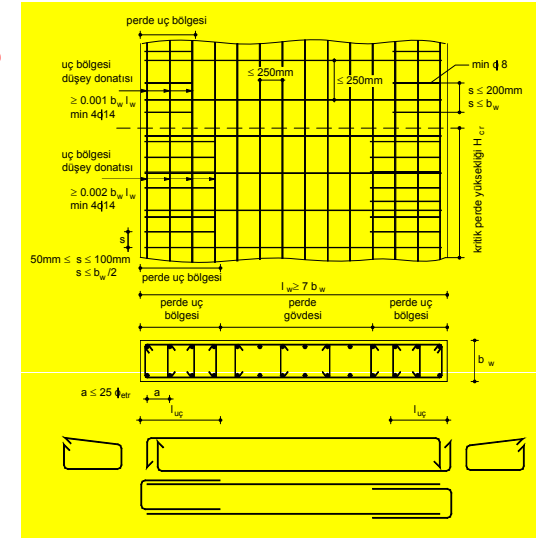
*Kuşatılmış birleşimlerde*

$$V_e \leq 0.60 f_{cd} b_j h_c$$

*Kuşatılmamış birleşimlerde*

$$V_e \leq 0.45 f_{cd} b_j h_c$$

## Perdeler



## Süneklik düzeyi normal perdeler

*H<sub>cr</sub> Kritik Perde Yüksekliği*

$$2 l_w \geq H_{cr} \geq \max ( l_w ; H_w / 6 )$$

*H<sub>w</sub> / l<sub>w</sub> > 2 olan yüksek perdelerde kritik perde yüksekliği boyunca perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1 / 12 sinden az olmamalıdır.*

*Tünel kalıp sistemiyle inşa edilen binalarda*

$$V_t / \Sigma A_g \leq 0.5 f_{ctd} \quad \Sigma A_g / \Sigma A_p \geq 0.002$$

*ise, perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1 / 20 sinden ve 150mm den az olmamalıdır. Bu durumda boyuna ve enine toplam gövde donatılarının her birinin oranı 0.0015 değerine indirilebilir. Enine donatı aralığı 300mm yi geçmeyecektir.*

*V<sub>t</sub> bina toplam taban kesme kuvvetini,*

*Σ A<sub>g</sub> deprem doğrultusundaki perdelerin alanlarının toplamını,*

*Σ A<sub>p</sub> binanın tüm katlarının plan alanı*

## Süneklik düzeyi normal perdeler

*Kesme kuvveti:*

$$V_d \leq 0.65 f_{ctd} A_g + f_{yd} A_{sh} \quad V_d \leq 0.22 f_{cd} A_g$$

*A<sub>g</sub> perde brüt alanını ve A<sub>sh</sub> = ρ<sub>h</sub> A<sub>g</sub>*

*Boşluklu perdelerde bağ kirişleri:*

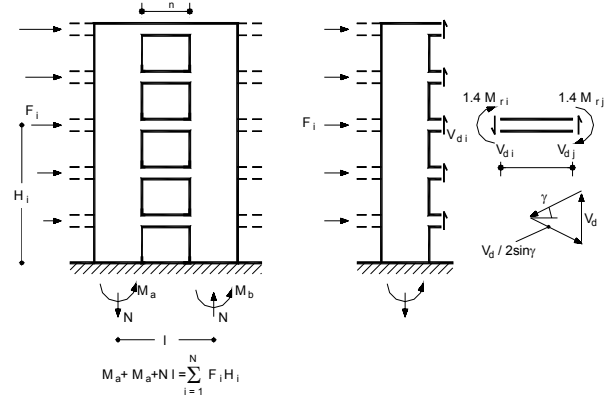
$$l_n \geq 3 h \quad \text{ve} \quad V_d \leq 1.5 f_{ctd} b_w d \quad \text{ise}$$

$$A_{sd} = V_d / ( 2 f_{yd} \sin \gamma )$$

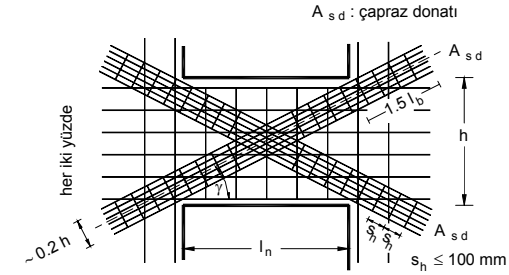
*Çiroz donatı*

*4 adet/m<sup>2</sup> (kritik perde yüksekliğinde 10 adet/m<sup>2</sup>)*

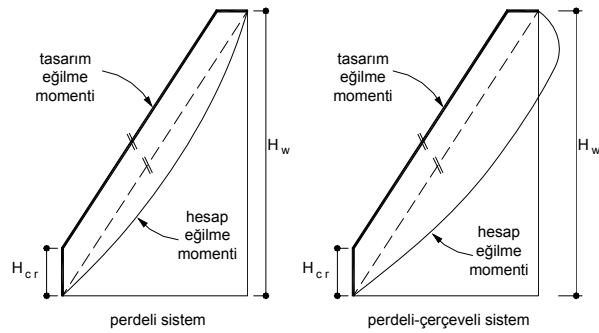
## Bağ kirişli boşluklu perdeler



## Bağ kirişli boşluklu perdeler



## Perdede tasarım momenti



## Perdelerde konstrüktif kurallar

Tanım	TS500	Deprem Yönetmeliği
$\min l_w$	-	$7 b_w$
$\min b_w$	-	$200 \text{ mm} ; \text{ kat yüksekliği} / 15$
$\max s_w ; \max s_h$	$i$	$250 \text{ mm}$
$\min \phi_w ; \min \phi_h$	-	$8 \text{ mm}$
$\min \rho_v ; \min \rho_h$	-	$0.0025$
$\min \rho_{uc} = A_{s uc} / (b_w l_w)$	-	$0.001$
$\min A_{s uc}$	-	$4\phi 14$
$\min l_{uc}$ [ $H_{cr}$ içinde (dışında)]	-	$0.2 (0.1) l_w ; 2.0 (1.0) b_w$
$\max s_{uc}$ [ $H_{cr}$ içinde (dışında)]	-	$100 (200) \text{ mm} ; 0.5 (1.0) b_w$
$\min \phi_{uc}$	-	$8 \text{ mm}$



## Temeller

Deprem bölgesi	Boyut	Zemin grubu (Tablo 4.9.e göre)			
		A	B	C	D
1. ve 2.	Hesap çekme kuvveti / Bağladıkları kolonların düşey yüklerinden büyüğü	0.06	0.08	0.10	0.12
	Minimum en kesit (mm <sup>2</sup> )	62500	75000	90000	90000
	Minimum boyuna donatı	4φ14	4φ16	4φ16	4φ18
	Minimum boyut (mm)	250	250	300	300
3. ve 4.	Hesap çekme kuvveti / Bağladıkları kolonların düşey yüklerinden büyüğü	0.04	0.06	0.08	0.10
	Minimum en kesit (mm <sup>2</sup> )	62500	62500	75000	75000
	Minimum boyuna donatı	4φ14	4φ14	4φ16	4φ16
	Minimum boyut (mm)	250	250	250	250

## Yatay yerdeğiştirme sınırlandırılması

$\theta_i$  İkinci Mertebe Gösterge Değeri

$$\theta_i = \frac{N_i \Delta_{i,ort}}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad N_i = \sum_{j=1}^N W_j$$

$d_i$  Kat Yerdeğiştirmesi  
 $\Delta_i = d_i - d_{i-1}$  Relatif Kat Yerdeğiştirmesi

$$\Delta_i / h_i \leq \min (0.02/R)$$

koşulunu sağlayacak şekilde düzenlenmesi öngörülmüştür.

**Derz aralıkları:**

Komşu iki binanın kat yerdeğiştirmeleri toplamı, kat döşemelerinin bütün katlarda aynı olması durumunda  $R / 4$  ile ve diğer durumlarda  $R / 2$  ile çarpılacaktır. Minimum derz boşluğu 6m yüksekliğe kadar 30mm dir. Daha yüksek binalarda her 3m için bu değer 10mm arttırılacaktır.