

## Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Performansının Değerlendirmesi: İtme Analizi

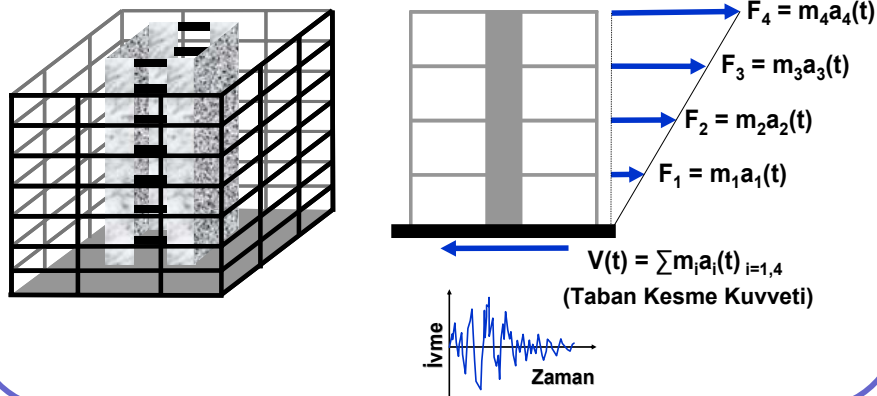
Yrd. Doç. Dr. Kutay Orakçal  
Boğaziçi Üniversitesi

## Dinamik Etki: Deprem Etkisi

- Yer sarsıntısı sonucu oluşan dinamik etki
- Yapı üzerindeki etkisini belirleyen özelliklerden bazıları:
  - Yer sarsıntısının özellikleri
  - Yapının kütlesi
  - **Yapı elemanlarının rijitliği!**
  - **Yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesi!**
  - **Yapı elemanlarının sünekliliği (deformasyon kapasitesi)!**

## Deprem Dayanımı için Tasarım

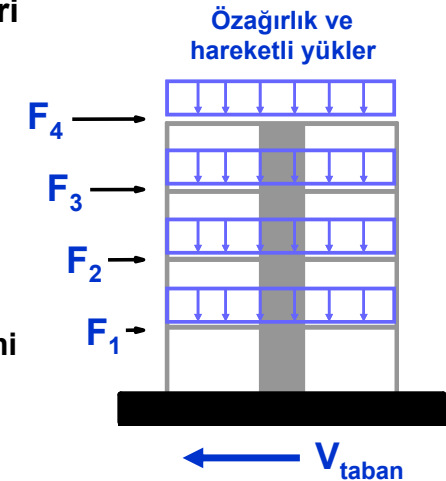
- Eşdeğer deprem yüklerine bağlı yapı analizi ve tasarımı



## Genel Deprem Analizi Yöntemleri - 1

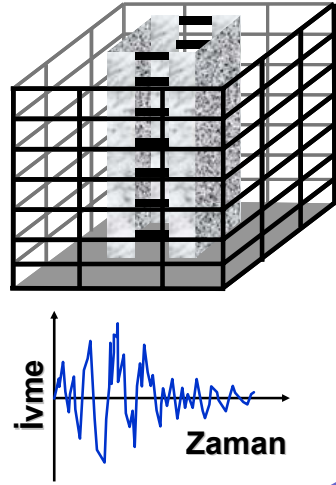
- Eşdeğer Deprem Yükleri Yöntemi

- Doğrusal elastik ya da doğrusal olmayan (artımsal) hesap yöntemleri
- Mevcut binaların değerlendirilmesi için artımsal hesap yöntemi
- Yapı davranışının genellikle birinci titreşim moduna bağlı olduğu varsayımı



## Genel Deprem Analizi Yöntemleri - 2

- Zaman tanım alanında hesap yöntemi (Dinamik analiz)
  - Doğrusal elastik analiz
  - Doğrusal olmayan analiz
  - Zamana bağlı olarak değişen yerdeğiştirme, şekildeğiştirme, ve iç kuvvetler istemlerinin hesaplanması

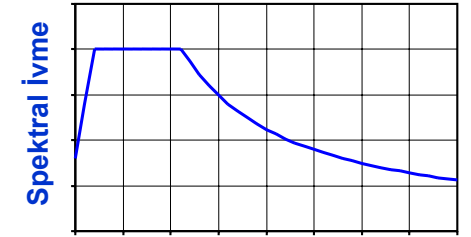


5

## Genel Deprem Analizi Yöntemleri - 3

- Mod birleştirme yöntemi (Davranış Spektrumu analizi)
  - Doğrusal elastik ya da doğrusal olmayan (artımsal) hesap yöntemleri
  - Modal yerdeğiştirme ve iç kuvvet istemlerinin belirlenmesi
  - Modal istemlerin birleştirilmesi

### Standart İvme Spektrumu



Doğal Titreşim Periyodu  
(Yapının kütlelerine, rijitliğine ve titreşim moduna göre değişir)

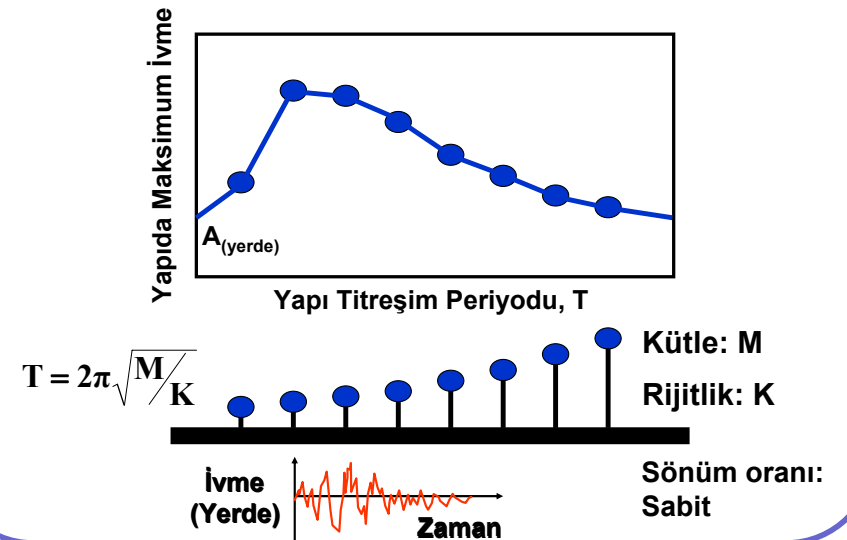
6

## İvme Spektrumu

- Gözönünde alınan bir sönüm oranı ve deprem kaydı sabit tutulmak üzere:
  - Doğal periyodları belirli bir aralıkta değişen tek serbestlik dereceli doğrusal sistemlerin spektral (maksimum) ivmelerini düşey eksene alarak,
  - Doğal titreşim periyodlarını ise yatay eksene alarak

çizilen diyagram, “sözde ivme spektrumu ya da kısaca “ivme spektrumu” olarak adlandırılır.

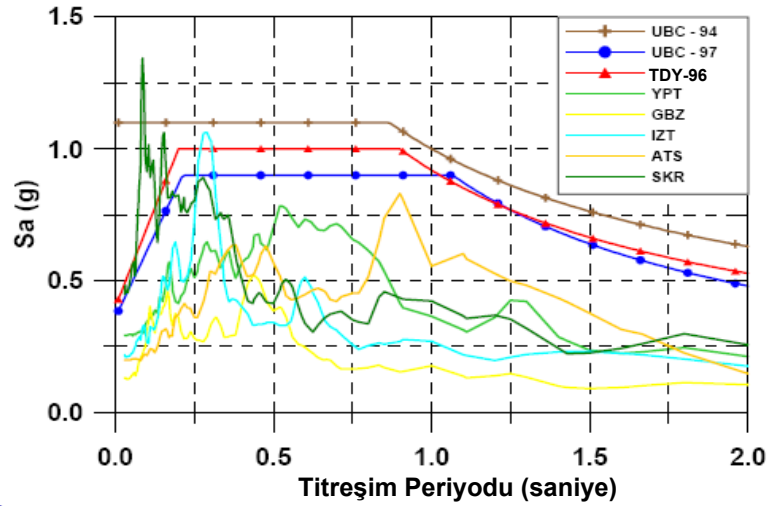
## İvme Spektrumu



7

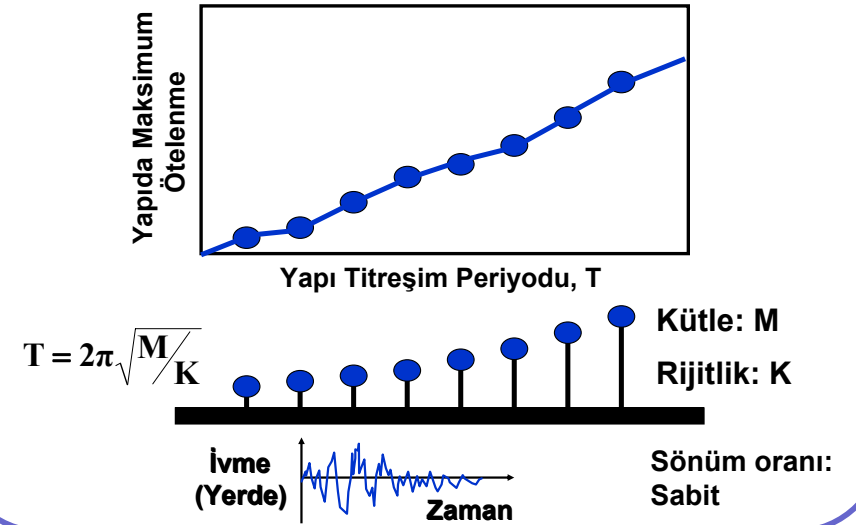
8

## İvme Spektrumu



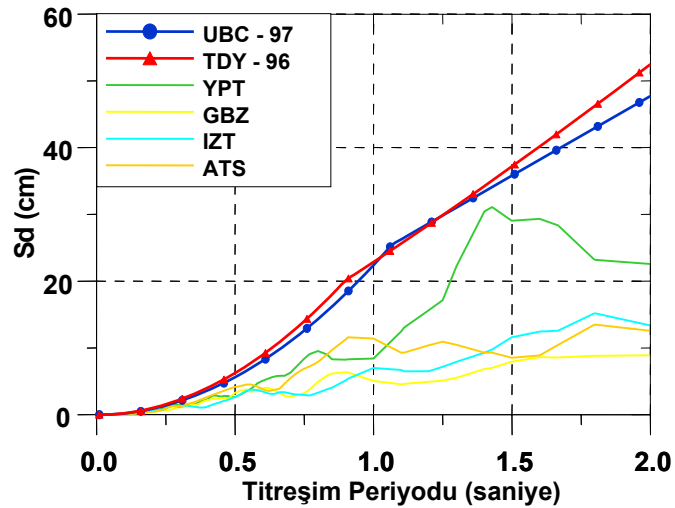
9

## Ötelenme Spektrumu



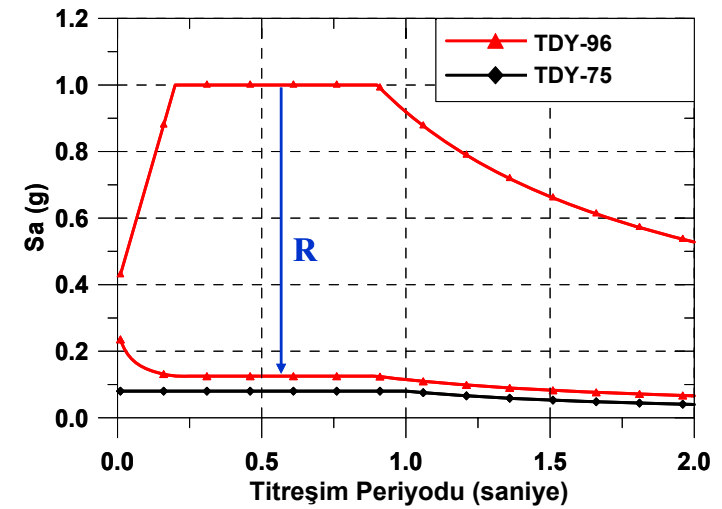
10

## Ötelenme Spektrumu



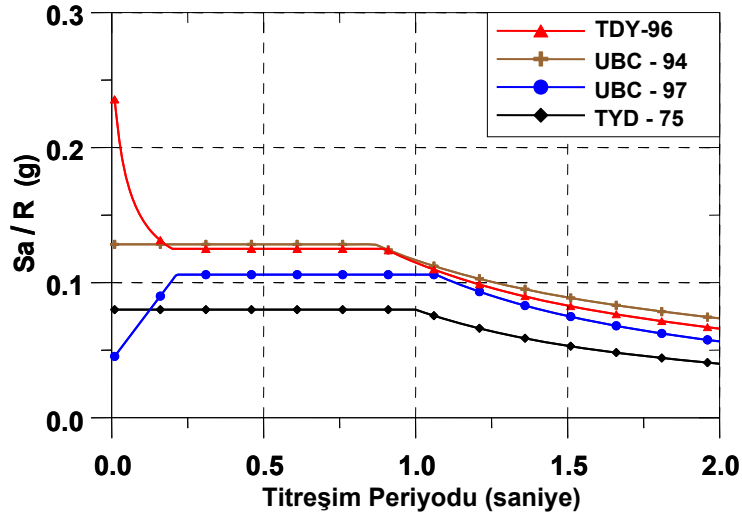
11

## Azaltılmış İvme Spektrumu (Tasarım)



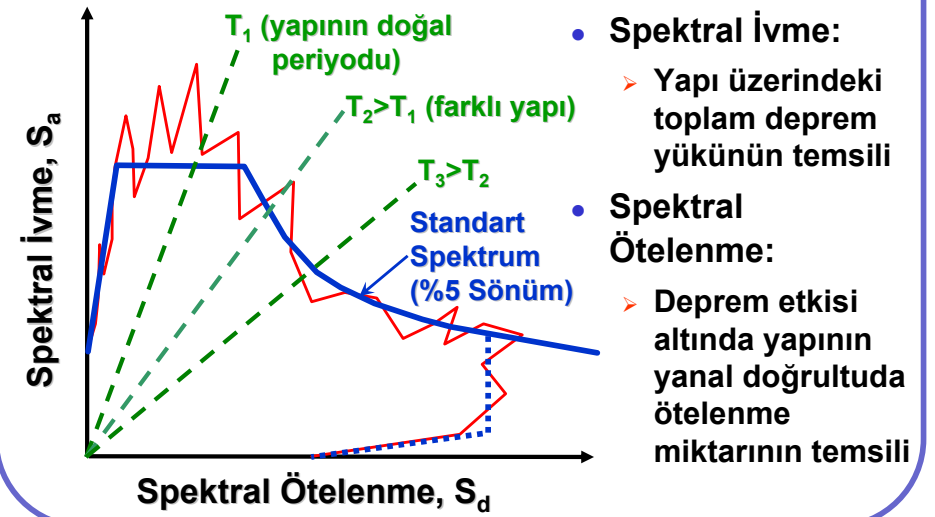
12

## Azaltılmış İvme Spektrumu (Tasarım)



13

## İvme - Ötelenme Spektrumu



- **Spektral İvme:**
  - Yapı üzerindeki toplam deprem yükünün temsili
- **Spektral Ötelenme:**
  - Deprem etkisi altında yapının yanal doğrultuda ötelenme miktarının temsili

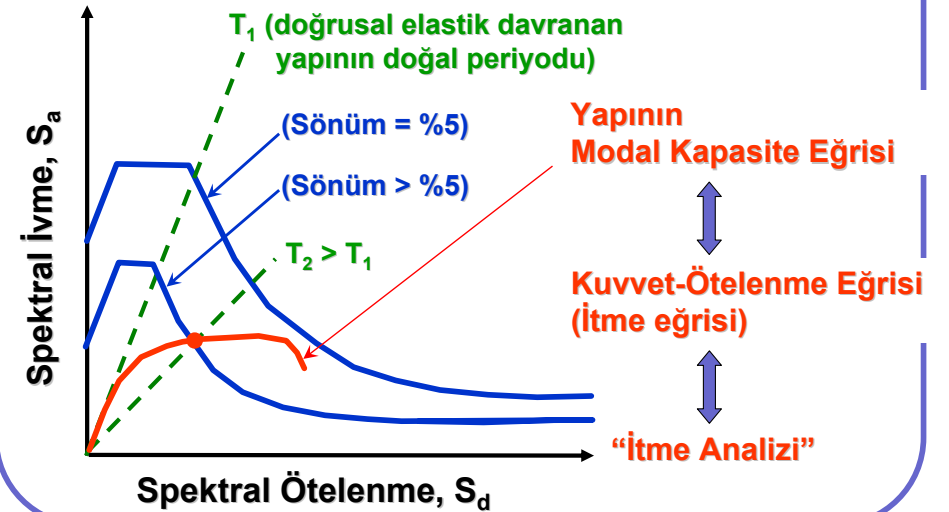
14

## İvme - Ötelenme Spektrumu

- **Öyleyse:**
  - Belirli (ya da standart) bir deprem kaydına maruz kalan ve belirli bir sönüm oranına sahip bir yapı sisteminin üzerine etki edecek deprem kuvveti ve yanal ötelenme istemleri, yapının doğal titreşim periyoduna (rijitliğine) bağlı olarak değişiklik gösterir.
- **Sorun:**
  - Deprem esnasında yapıda oluşan hasardan ötürü, yapının rijitliği (dolayısıyla doğal titreşim periyodu), ve sönüm oranı, oluşan hasara bağlı olarak aşamalı bir şekilde değişecektir.

15

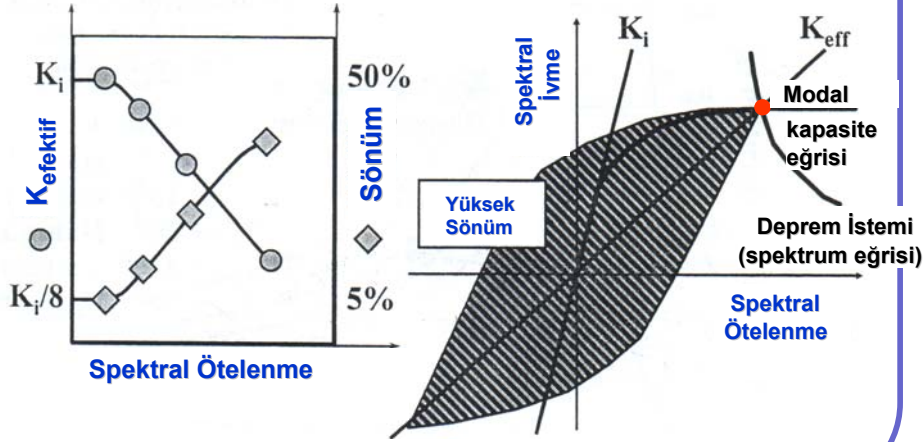
## İtme Eğrisi



- **Yapının Modal Kapasite Eğrisi**
- **Kuvvet-Ötelenme Eğrisi (İtme eğrisi)**
- **"İtme Analizi"**

16

## Yapıda Artan Hasar ile Rijitliğin Azalması ve Sönümün Artması

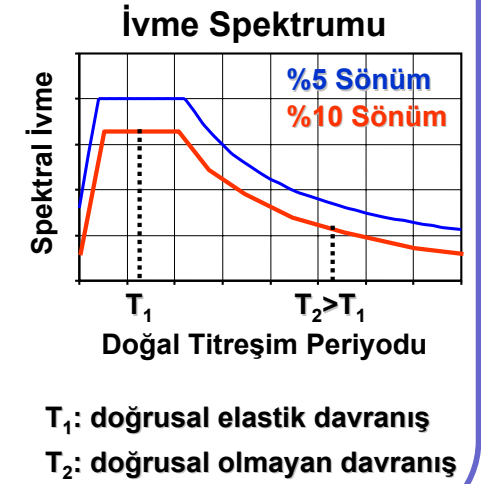


17

## İtme Eğrisi

### Yapıda hasar oluştuğça:

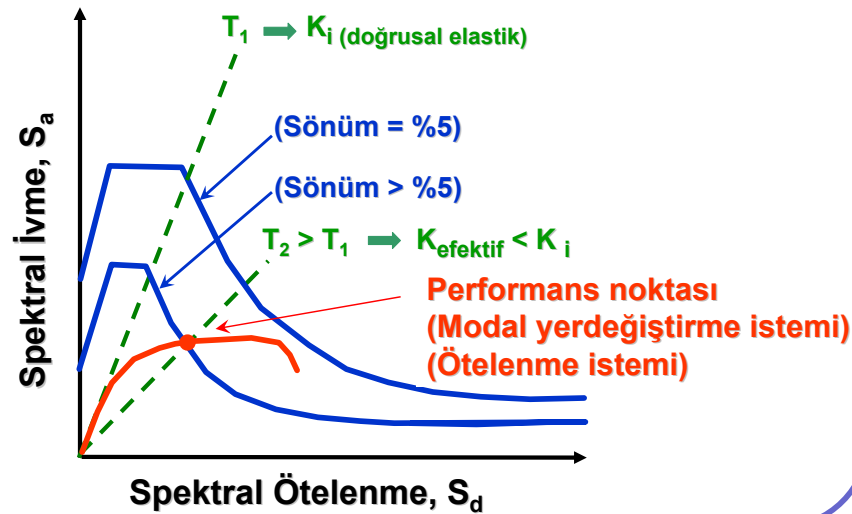
- Doğrusal olmayan davranış
- Yanal rijitliği azalacak
- Doğal titreşim periyodu artacak
- Spektral ivme (deprem kuvveti) genellikle azalacak
- Sönüm artacak



$T_1$ : doğrusal elastik davranış  
 $T_2$ : doğrusal olmayan davranış

18

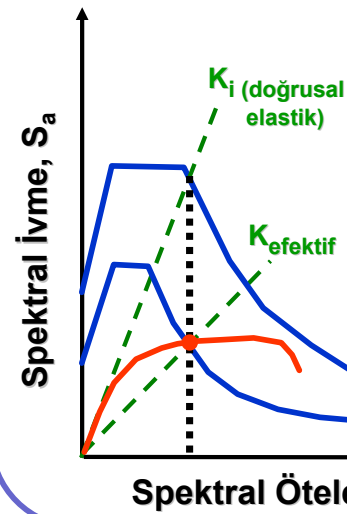
## Hedef Ötelenme



19

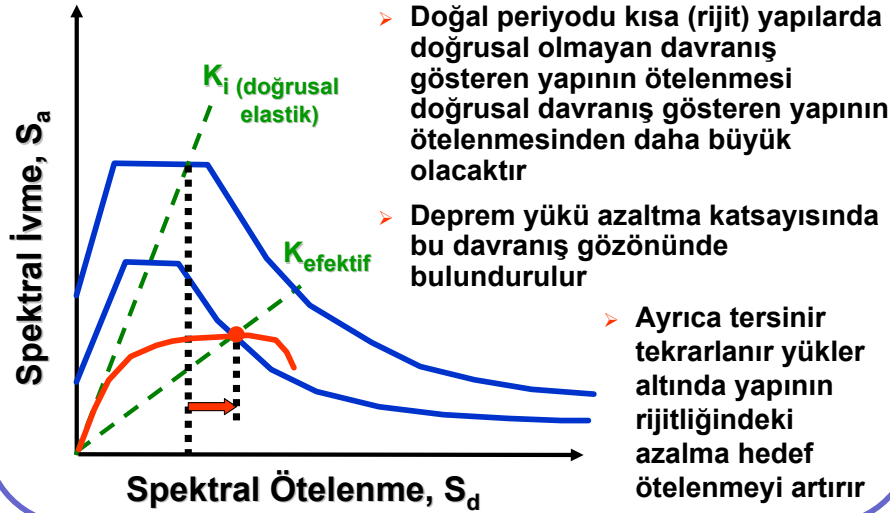
## Eşit Yerdeğiştirme Kuralı

- Deprem etkisi altında doğrusal davranan yapıda oluşacak maksimum ötelenme, doğrusal olmayan şekilde davranan yapıdaki maksimum ötelenmeye eşit olacaktır
- Yapının yanal yük kapasitesinden bağımsız
- Doğal periyodu uzun (esnek) yapılar için geçerli
- Deprem yükü azaltma katsayısı bu prensibe dayalı



20

## Eşit Yerdeğiştirme Kuralı



21

## Ötelenme İstemi

- Performans noktası (hedef ötelenme) olarak da adlandırılır.
- Beklenen seviyede olası bir depremin doğrusal elastik davranmayan yapı üzerinde yaratacağı maksimum ötelenmedir.
- Binanın deprem kapasitesi (**Modal Kapasite Eğrisi**) ile deprem istemi (**İvme-Ötelenme Spektrum Eğrisi**) 'nin kesiştiği noktadaki yanal ötelenmedir.
- Belirlemek için çeşitli yöntemler mevcut
  - > (ATC-40, FEMA356, TDY-2007)

22

## Yapı Performansının Değerlendirilmesi

- Yapı sistemi üzerinde performans noktasına (ötelenme istemine) kadar itme analizi yapılır.
- Eğer performans noktasındaki ötelenme değeri için yapıda oluşan hasar kabul edilebilir bir seviyede ise yapı performans analizi (itme analizi) kriterini yerine getirmiş demektir.
- Hasar seviyesi yüksekse onarım/güçlendirme yöntemleri uygulanmalıdır.
- Hasar genellikle yapı elemanlarında üzerindeki birim şekil değiştirme istemleri şeklinde ifade edilir.

23

## Ülkemizde Uygulama

- **Yönetmelikler:**
  - > Betonarme Yapılar için TS-500-2000
  - > Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar için Yönetmelik (Deprem Yönetmeliği – 2007)
    - Kapsamı genişletildi
    - Deprem bölgelerinde yapılacak yeni binalar
    - **Deprem öncesinde veya sonrasında performansı değerlendirilecek ve güçlendirilecek olan mevcut binalar (Bölüm 7)**

24

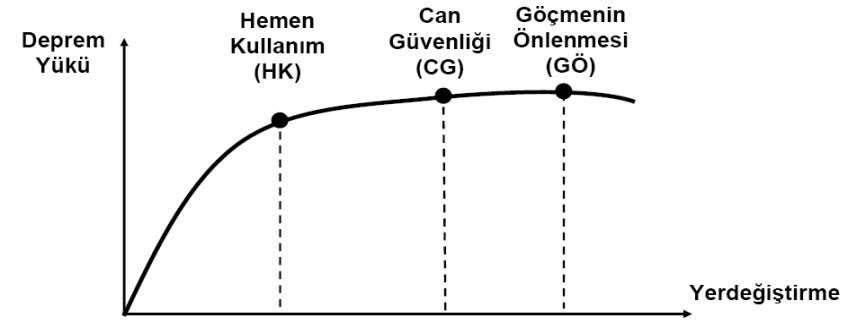
# TDY-2007: Tasarım Depremi

- Dönüş Periyodu: 475 yıl (seyrek deprem)
- Bir yılda meydana gelme olasılığı: % 0.21
- 50 yılda tekrarlanma olasılığı: %10
- Tasarım depremi altında mevcut binaların “Can Güvenliği (CG)” performans düzeyini sağlaması beklenir

25

# Bina Performans Düzeyleri

- Hemen kullanım (HK)
- Can güvenliği (CG)
- Göçme önlenmesi (GÖ)



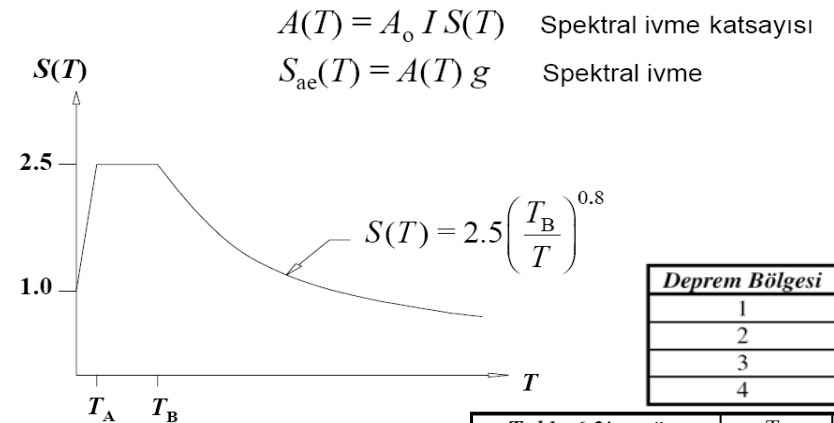
26

# Binalar için Hedef Performans Düzeyleri

Binanın kullanım amacı ve türü	Deprem'in 50 yılda aşılma olasılığı		
	% 50	% 10	% 2
<b>Deprem sonrası hemen kullanımı gereken binalar</b> Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık, belediye binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
<b>İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar ve müzeler</b> Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kıışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	HK	-	CG
<b>İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</b> Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri, vb.	-	CG	GÖ
<b>Tehlikeli Madde İçeren Binalar</b> Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar, vb.	-	HK	GÖ
<b>Diğer binalar</b> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, bina türü endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

27

# Standart İvme Spektrumu



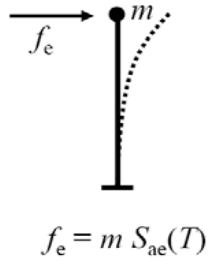
Deprem Bölgesi	$A_0$
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Tablo 6.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı	$T_A$ (saniye)	$T_B$ (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

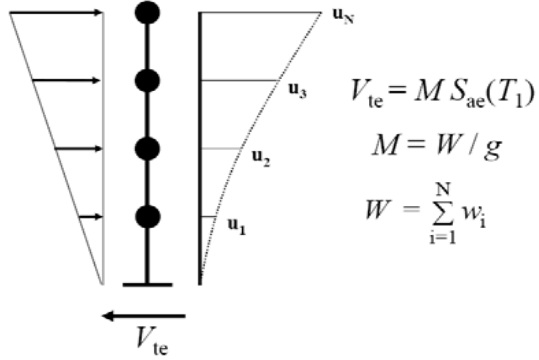
28

## Elastik Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

Tek serbestlik dereceli sistemlerde:

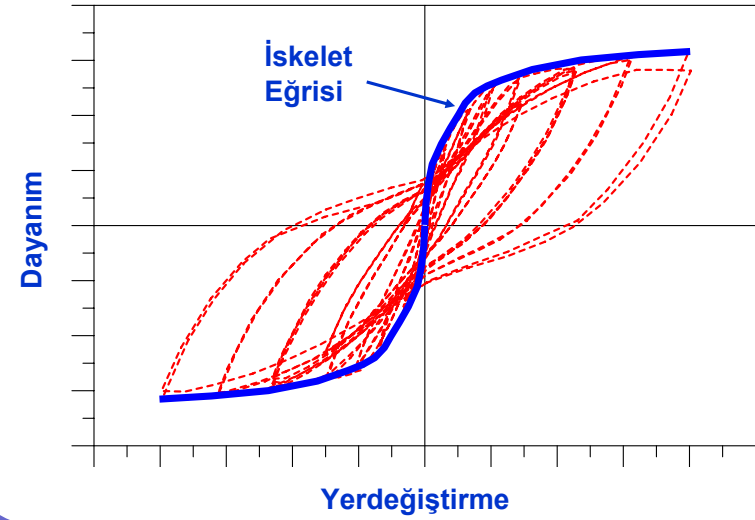


Çok serbestlik dereceli sistemlerde:  
Eşdeğer deprem yükü ile hesapta:



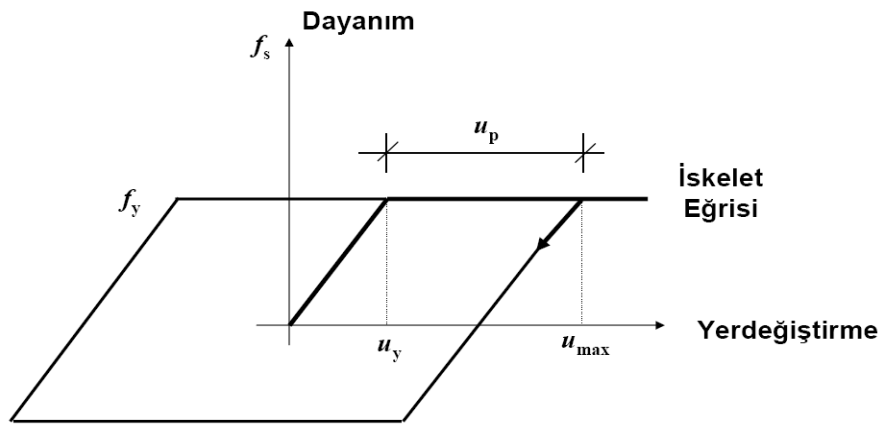
Referans: Aydınoğlu, N 29

## Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Yapı Davranışı



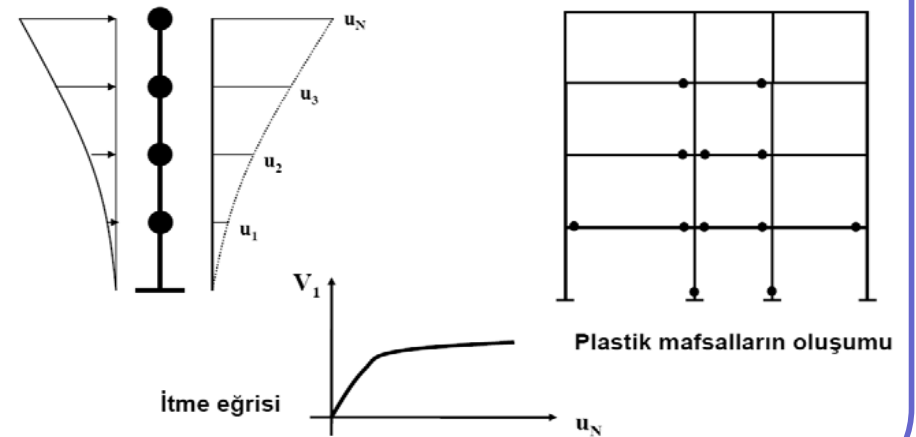
30

## Doğrusal Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi



Referans: Aydınoğlu, N 31

## Doğrusal Olmayan Yapı Sistemi Davranışı

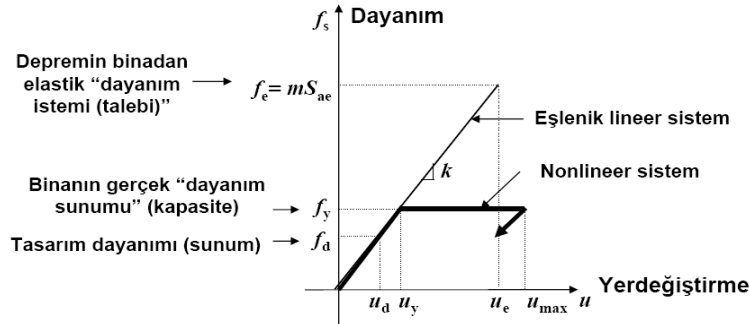


Referans: Aydınoğlu, N 32

32



# Süneklik İstemi ve Dayanım Sunumu Kavramları



**Dayanım Azaltma Katsayısı**  
Elastik deprem isteminin sunulan dayanıma (kapasiteye) oranı

**Süneklik Katsayısı**  
Sunulan dayanıma göre, depremin binadan "süneklik istemi (talebi)"

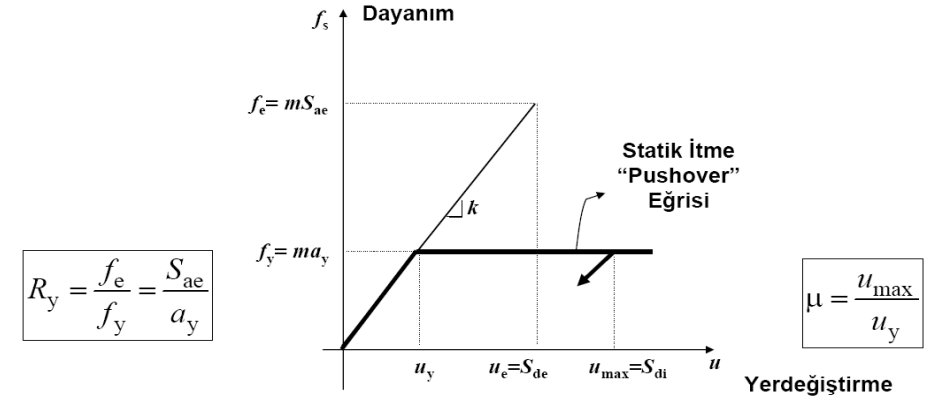
$R_y = f_e / f_y$  ← Sunum      İstem →  $\mu = u_{max} / u_y$

Esnek (doğal periyodu uzun) yapılarda       $u_{max} \cong u_e$        $R_y \cong \mu$       Eşit yerdeğiştirme kuralı

Rijit (doğal periyodu kısa) yapılarda       $u_{max} \gg u_e$        $R_y = 1 + (\mu - 1) T / T_s$

Referans: Aydınoğlu, N  
33

# Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi



$$R_y = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}}{a_y}$$

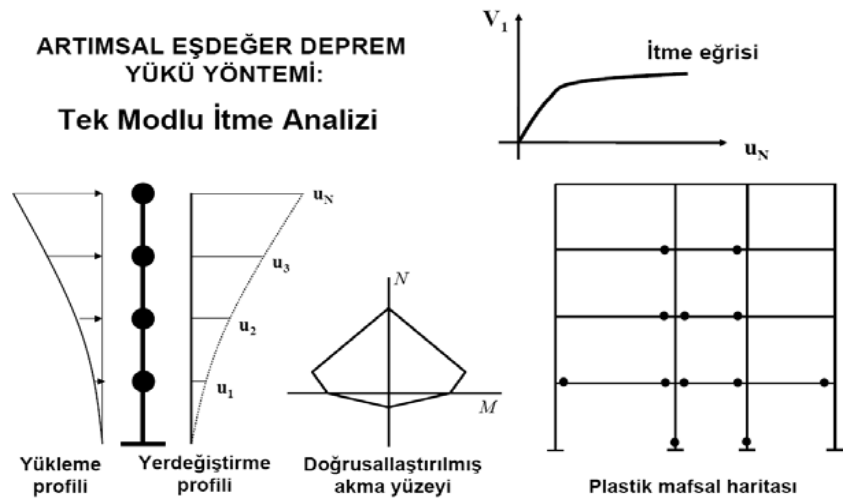
$$\mu = \frac{u_{max}}{u_y}$$

$$C_1 = \frac{\mu}{R_y} = \frac{u_{max}}{u_e} = \frac{S_{di}}{S_{de}} \Rightarrow u_{max} = S_{di} = C_1 S_{de}$$

Referans: Aydınoğlu, N  
34

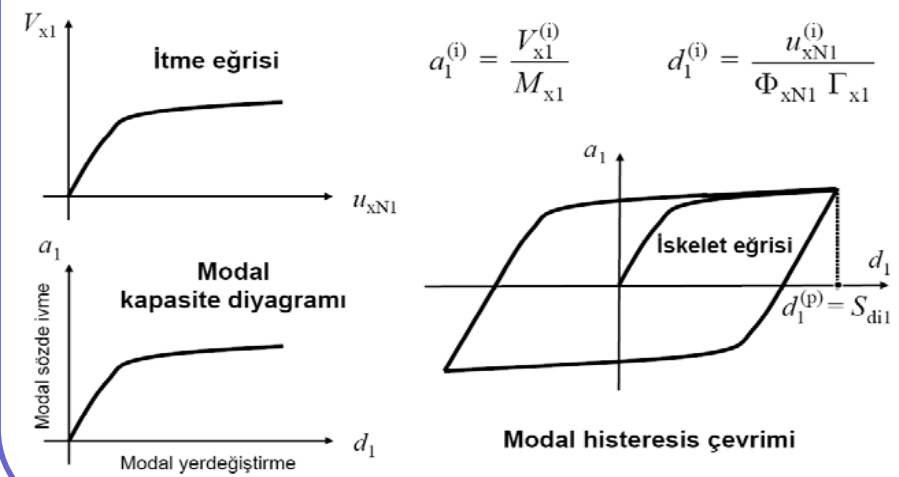
# İtme Analizi

ARTIMSAL EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ:  
Tek Modlu İtme Analizi



Referans: Aydınoğlu, N  
35

# İtme Eğrisinin Modal Kapasite Diyagramına Çevirilmesi



$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}}$$

Referans: Aydınoğlu, N  
36

## İtme Eğrisinin Modal Kapasite Diyagramına Çevirilmesi

$M_{x1}$  = x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle

$\Phi_{xN1}$  = Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği

$\Gamma_{x1}$  = x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı

$$M_{x1} = \frac{L_{x1}^2}{M_1}$$

$$L_{x1} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xi1}$$

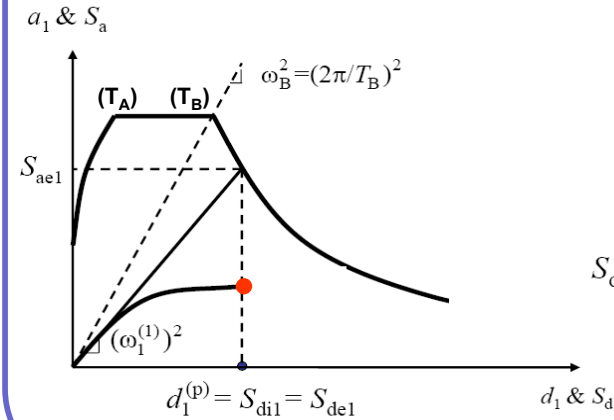
$$M_1 = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xi1}^2 \quad (\text{Birinci moda ait modal kütle})$$

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1}$$

37

## Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi

**Esnek (doğal periyodu uzun) yapılarda ( $T_1 > T_B$ ):**



$$S_{d11} = C_{R1} S_{de1}$$

$$C_{R1} = 1$$

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{\omega_1^2} = \frac{S_{ae1}}{(2\pi/T_1)^2}$$

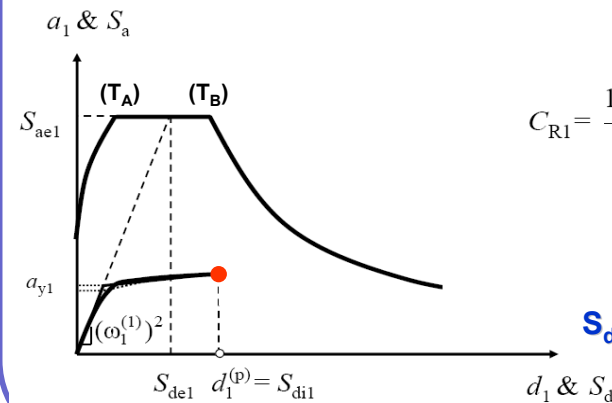
**$S_{d11} = S_{de1}$  (elastik)**  
**(Eşit Yerdeğiştirme Kuralı)**

Referans: Aydınoğlu, N

38

## Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi

**Rijit (doğal periyodu kısa) yapılarda ( $T_1 < T_B$ ):**



$$S_{d11} = C_{R1} S_{de1}$$

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T_1}{R_{y1}} \geq 1$$

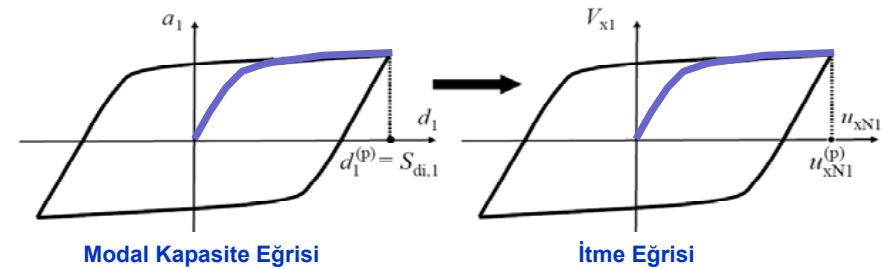
$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}}$$

**$S_{d11} > S_{de1}$  (elastik)**

Referans: Aydınoğlu, N

39

## Modal Yerdeğiştirme İsteminin Ötelenme İstemine Dönüştürülmesi



**Modal Kapasite Eğrisi**

**İtme Eğrisi**

**Geri dönüştürme:**

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)}$$

$d_1^{(p)}$  = Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi

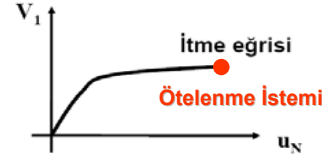
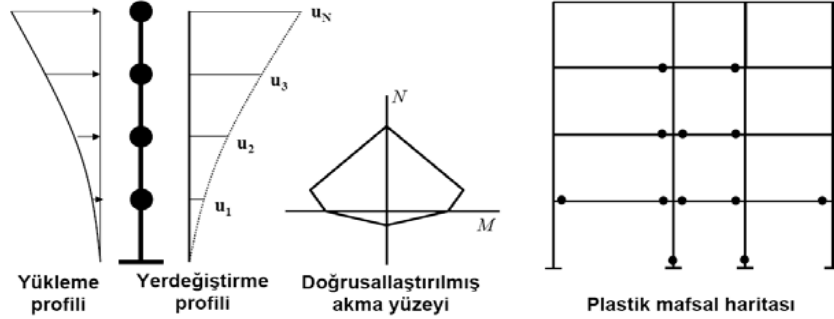
$u_{xN1}^{(p)}$  = Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi (**Ötelenme İstemi**)

Referans: Aydınoğlu, N

40

## Ötelenme İstemine kadar İtme Analizi

- **Taşıyıcı sistemde öteleme istemine denk gelen şekledeğiştirme istemlerinin belirlenmesi (İtme Analizi sonuçları)**



Referans: Aydınoğlu, N

41

## Önemli Noktalar

**7.4.2** – Deprem etkisinin tanımında, 2.4’de verilen elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacak, ancak farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde 7.8’e göre yapılan değişiklikler gözönüne alınacaktır. Deprem hesabında 2.4.2’de tanımlanan bina önem katsayısı uygulanmayacaktır ( $I=1.0$ ).

**7.4.3** – Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.

**7.4.6**– Deprem hesabında göz önüne alınacak kat ağırlıkları 2.7.1.2’ye göre hesaplanacak, kat kütleleri kat ağırlıkları ile uyumlu olarak tanımlanacaktır.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad w_i = g_i + n q_i$$

**TABLO 2.7 – HAREKETLİ YÜK KATILIM KATSAYISI (n)**

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

42

## Önemli Noktalar

**7.6.4.6** – Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için *çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri* kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır:

(a) Kirişlerde:  $0.40 EI_o$

(b) Kolon ve perdelerde,  $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$  olması durumunda:  $0.40 EI_o$   
 $N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$  olması durumunda:  $0.80 EI_o$

Yukarıdaki bağıntılarda yer alan eksenel basınç kuvveti  $N_D$ , düşey yükler altında hesaplanacaktır.  $N_D$ 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

43

## Önemli Noktalar

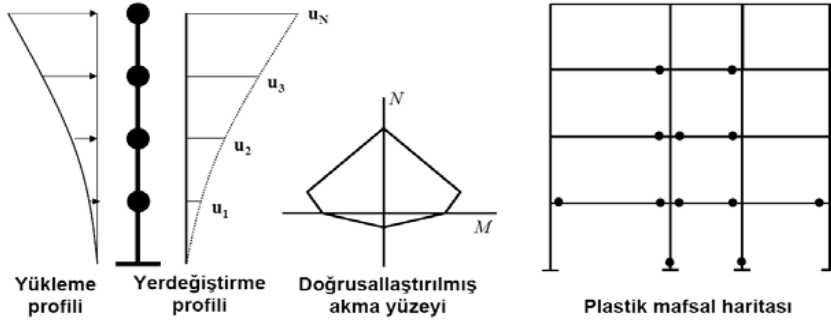
**7.6.5.2** – Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi’nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8’den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$  koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

**7.6.5.3** – Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde *sabit* kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanacaktır.

44

## Ötelenme İstemine kadar İtme Analizi Yapılır

- Taşıyıcı sistemde öteleme istemine denk gelen şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi (İtme Analizi sonuçları)



Referans: Aydınoğlu, N

45

## SAP2000 Programında İtme Analizi Yöntemi

- Yapı sisteminin artan yatay yükler altında doğrusal olmayan davranışının (itme eğrisinin) belirlenmesi
- Oluşan plastik kesitlerin türleri ve yapı içindeki dağılımının belirlenmesi
- Plastik kesitlerdeki şekildeğiştirmelerin (dönme ve eğrilik) belirlenmesi
- Toplam ve göreceli kat ötelemelerinin belirlenmesi

Referans: Darılmaz, K

46

## SAP2000 İtme Analizi Yöntem 1

- Hesap modeli oluşturulur
- Elemanların donatı yerleşimleri kesit tanımında belirtilir
- Varsayılan (default) plastik mafsalları özellikleri atanır
- Yükler tanımlanır (G, nQ, Ex, Ey)
- Statik itme analizi yükleri tanımlanır (Düşey – Yatay)
- Statik itme analizi yaparak itme eğrisi elde edilir

Referans: Darılmaz, K

47

## SAP2000 İtme Analizi Yöntem 2

- Hesap modeli oluşturulur
- Elemanların donatı düzeni ve mevcut alanları esas alınarak **moment-dönme bağıntıları ve karşılıklı etki (P-M) diyagramları kullanıcı tarafından belirlenir**
- Yükler tanımlanır (G, nQ, Ex, Ey)
- Statik itme analizi yükleri tanımlanır
- Statik itme analizi yaparak itme eğrisi elde edilir

Referans: Darılmaz, K

48

## Kirişler için Kesit Tanımı

**Tee Section**

Section Name: B121

Material: BETON

Dimensions:

- Outside stem (t3): 0.6
- Outside flange (t2): 1.21
- Flange thickness (tf): 0.16
- Stem thickness (tw): 0.25

Concrete Reinforcement

OK Cancel

Referans: Darılmaz, K

49

## Kirişler için Plastik Mafsal Özellikleri (M2 ya da M3 Mafsalı)

Frame Hinge Property Data for 229H1 - M3

Point Moment/Yield Rotation/Yield

E-	-0.1943	-0.035
D-	-0.1943	-0.02
C-	-1.0688	-0.02
B-	-0.9716	0
A	0	0
B	1	0
C	1.1	0.02
D	0.2	0.02
E	0.2	0.035

Scaling:

Calculate Yield Moment: Yield Moment: 153.4437

Calculate Yield Rotation: Yield Rotation: 1

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / Yield)

	Positive	Negative
Immediate Occupancy	5.000E-03	-5.000E-03
Life Safety	0.01	-0.01
Collapse Prevention	0.02	-0.02

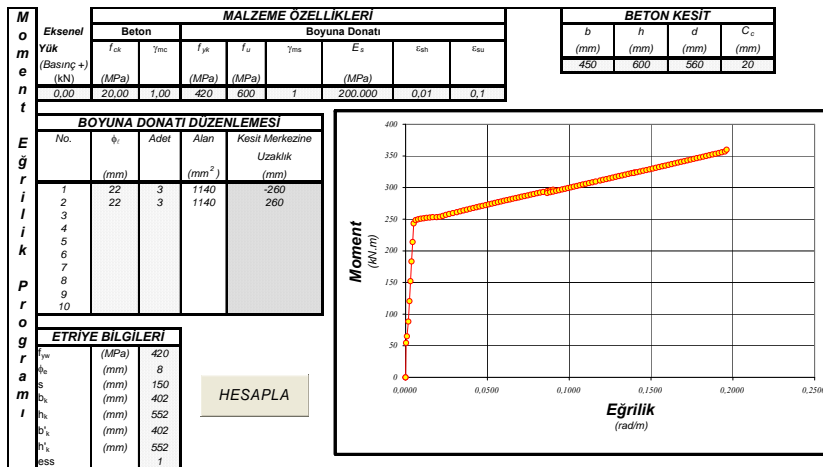
OK Cancel

- Kirişlerde ilgili doğrultularda kullanılır
- Alt ve üst donatılar esas olarak belirlenir
- Bazı durumlarda kolonlar için de kullanılabilir (eksenel yükün sabit kaldığı varsayımıyla)

Referans: Darılmaz, K

50

## Kirişler için Plastik Mafsal Özellikleri: Moment-Eğrilik Analizi Sonuçları



51

## Kolonlar için Kesit Tanımı

**Rectangular Section**

Section Name: C60x60

Material: BETON

Dimensions:

- Depth (t3): 0.6
- Width (t2): 0.6

Concrete Reinforcement

OK Cancel

Referans: Darılmaz, K

52

## Kolonlar için Plastik Mafsal Özellikleri (P-M2-M3 Mafsalı)

P-M2-M3  Modify/Show for PMM

Frame Hinge Property Data for 100H11 - PMM1

Point	Moment/Yield	Rotation/Yield
E-	0.2	-0.025
D-	-0.2	-0.015
C-	-1.1	-0.015
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.1	0.015
D	0.2	0.015
E	0.2	0.025

Symmetric

Scaling

Calculate Yield Moment Yield Moment

Calculate Yield Rotation Yield Rotation 1

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / Yield)

Positive Negative

Immediate Occupancy 2.500E-02

Life Safety 7.500E-03

Collapse Prevention 0.015

Axial Load - Displacement Relationship

Proportional to Moment - Rotation

Elastic - Perfectly Plastic

Define/Show Interaction

OK Cancel

- Karşılıklı etki yüzeyi ve kullanım yükleri altında ortaya çıkan normal kuvvet düzeyi için moment eğriliği ilişkisini belirlemek için kullanılır

Interaction Surface Definition

Axial Load	M	
P	Curve 1	
Angle 0		
1	-1	0
2	-0.8563	0.3779
3	-0.7703	0.5973
4	-0.6582	0.7759
5	-0.5619	0.9079
6	-0.4442	1
7	-0.3396	0.9005
8	-0.2347	0.8699
9	-0.1317	0.7315
10	-0.0294	0.5048
11	0.1407	0
12		
13		
14		
15		
41		

Scaling

P 9341.91

M 849.4535

OK Cancel

Referans: Darılmaz, K

53

## Kolonlar için Plastik Mafsal Özellikleri: P-M Etki Yüzeyi Analizi Sonuçları

BETON ve ÇELİK MODELLERİ

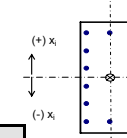
$f_{yk}$ (MPa)	$\gamma_{mc}$	$f_{yk}$ (MPa)	$\gamma_{ms}$	$E_s$ (MPa)
20	1.00	420	1.00	200.000

BU PROGRAMDA:

- 1) Betonun çekme dayanımı ihmal edilmektedir.
- 2) Beton basınç dağılımı dikdörtgen alınmaktadır.
- 3) Çelik modelinde pekleşme ihmal edilmektedir.
- 4) Sargı etkisi göz önüne alınmamaktadır.

KESİT GEOMETRİSİ

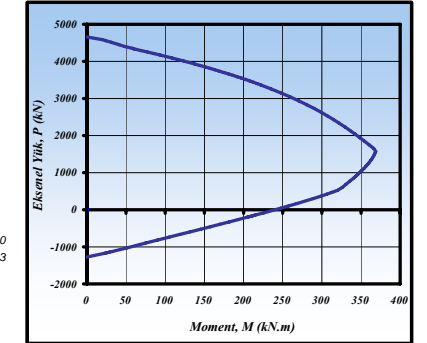
Genişlik (b) (mm)	Yükseklik (h) (mm)
450	450



DONATI DÜZENLEMESİ

No.	Donatı Alanı (mm <sup>2</sup> )	Kesit Merkezinden Uzaklık (x <sub>i</sub> ) (mm)
1	1140	-185
2	760	0
3	1140	185
4		
5		
6		

N (kN): 0,0  
M (kN.m): 240,3



54

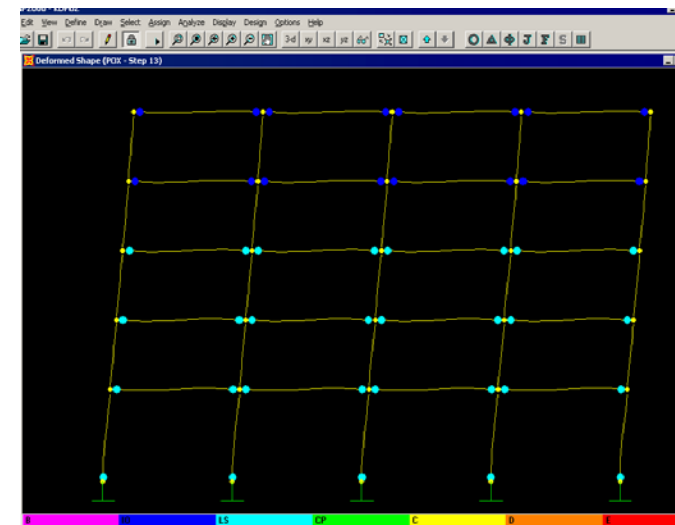
## Plastik Mafsal Özellikleri

- Ayrıca:
  - Sadece aksel yük taşıyan elemanlar için aksel mafsal (iki ucu mafsalı çaprazlar, kafes kiriş elemanları, vb.)
  - Kesme davranışını niteleyen plastik (?) mafsal (yetersiz etriye, bağ kirişleri, yüksekliği az perdeler, vb.)
  - Burulma mafsalı tanımlanabilir

Referans: Darılmaz, K

55

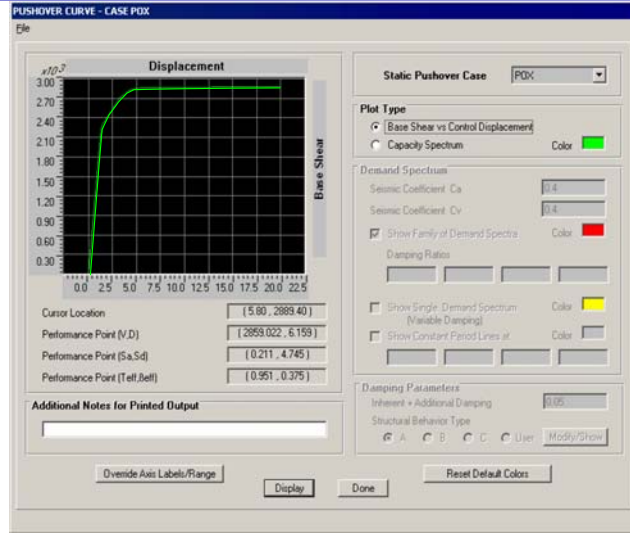
## İtme Analizi – Plastik Mafsal Oluşumu



Referans: Darılmaz, K

56

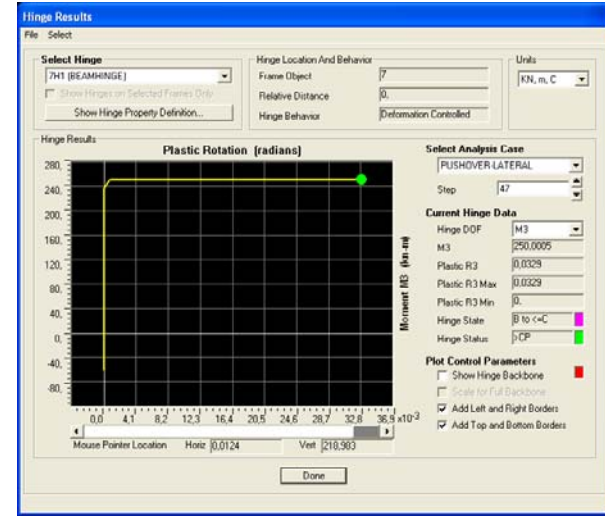
## İtme Analizi (İtme Eğrisi)



Referans: Darılmaz, K

57

## Mafsallarda Plastik Dönme İstemi

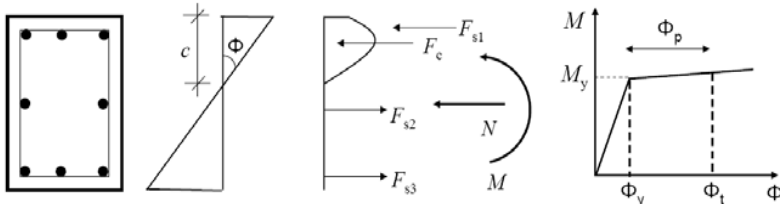


58

## İtme Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

- Kesit bazında şekildeğiştirme istemlerinin (toplam eğrilik istemlerinin) belirlenmesi

$$\begin{aligned} \theta_p &: \text{plastik dönme istemi} & L_p &: \text{plastik mafsall boyu} \\ \Phi_p &: \text{plastik eğrilik istemi} & \Phi_p &= \theta_p / L_p \\ \Phi_t &: \text{toplam eğrilik istemi} & \Phi_t &= \Phi_y + \Phi_p \end{aligned}$$



Referans: Aydınoğlu, N

59

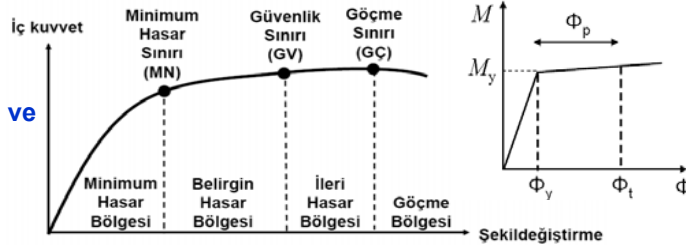
## İtme Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

- İtme analizi sonucunda kesitlerde toplam eğrilik istemleri belirlendikten sonra:
- **Kesitler için Moment-Eğrilik Analizi kullanılarak:**
  - Betonun basınç birim şekildeğiştirme istemlerinin hesaplanması
  - Donatı çeliğinin birim şekildeğiştirme istemlerinin hesaplanması
  - Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirme istemlerinin birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması

60

## İtme Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

“Kesit Hasar Sınırları”na göre tanımlanan beton ve çelik birim şekil değiştirme kapasiteleri:



KESİT HASAR SINIRI	Sargısız beton		Sargılı beton	
	Beton birim şekil değiştirmesi	Çelik birim şekil değiştirmesi	Beton birim şekil değiştirmesi	Çelik birim şekil değiştirmesi
MN	0.004	0.010	0.004	0.010
GV	0.004	0.040	0.0135	0.040
GÇ	0.004	0.060	0.018	0.060

61

## İtme Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

KESİT HASAR SINIRI	Sargısız beton		Sargılı beton	
	Beton birim şekil değiştirmesi	Çelik birim şekil değiştirmesi	Beton birim şekil değiştirmesi	Çelik birim şekil değiştirmesi
MN	0.004	0.010	0.004	0.010
GV	0.004	0.040	0.0135	0.040
GÇ	0.004	0.060	0.018	0.060

**Sargılı beton için:**

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135$$

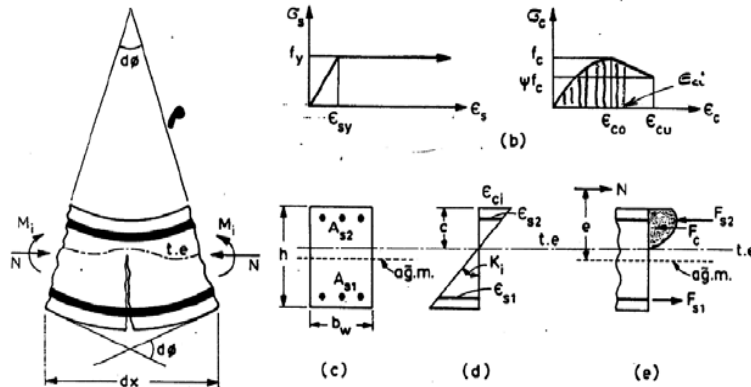
$$(\varepsilon_{cg})_{GÇ} = 0.004 + 0.013 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018$$

$\rho_s$  = Kesitte mevcut bulunan ve sargı etkisi sağlayabilen (135° kancalı) enine donatının hacimsal oranı

$\rho_{sm}$  = 3.3.4, 3.4.4 veya 3.6.5.2'ye göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsal oranı

62

## Moment – Eğrilik Analizi

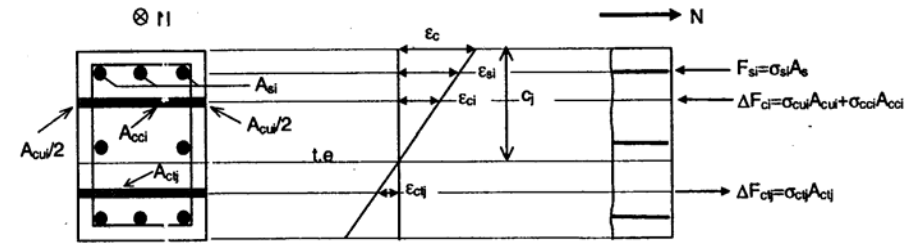


$$K = \frac{1}{\rho} = \frac{d\phi}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{\varepsilon_{ci}}{c}$$

Referans: Ersoy, U

63

## Moment – Eğrilik Analizi Yöntemleri



a) Birim deformasyon dağılımı ve tipik şerit kuvvetleri

- Kesidin şeritlere bölünmesi
- Sargısız ve sargılı beton için ayrı gerilme-birim deformasyon modelleri
- Aksenal yükün etkisi

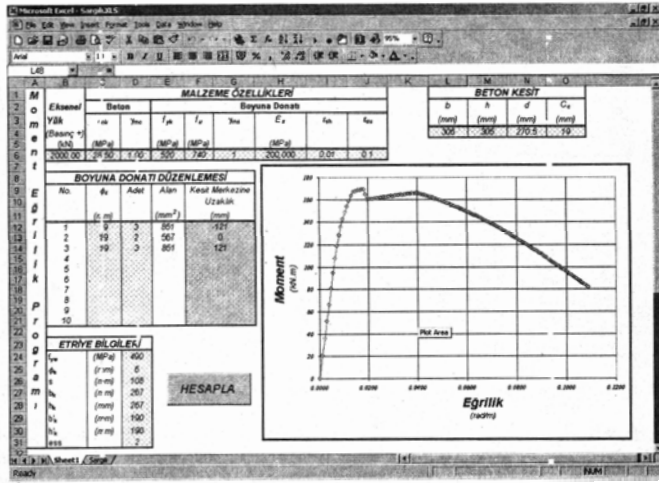
Referans: Ersoy, U

64



## Moment – Eğrilik Analizi Programları

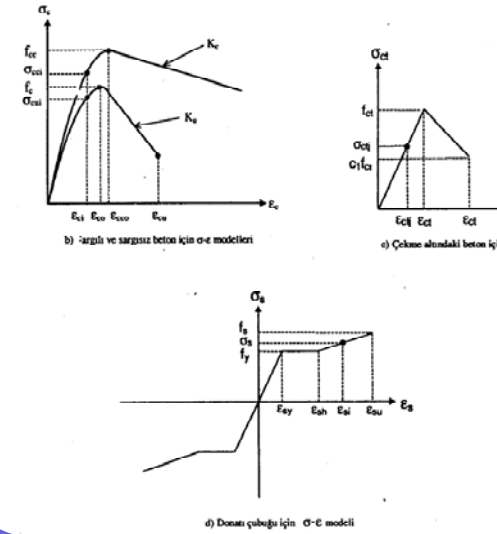
➤ [www.ce.metu.edu.tr/~betonarme](http://www.ce.metu.edu.tr/~betonarme)



Referans: Ersoy, U

65

## Moment – Eğrilik Analizi Programları



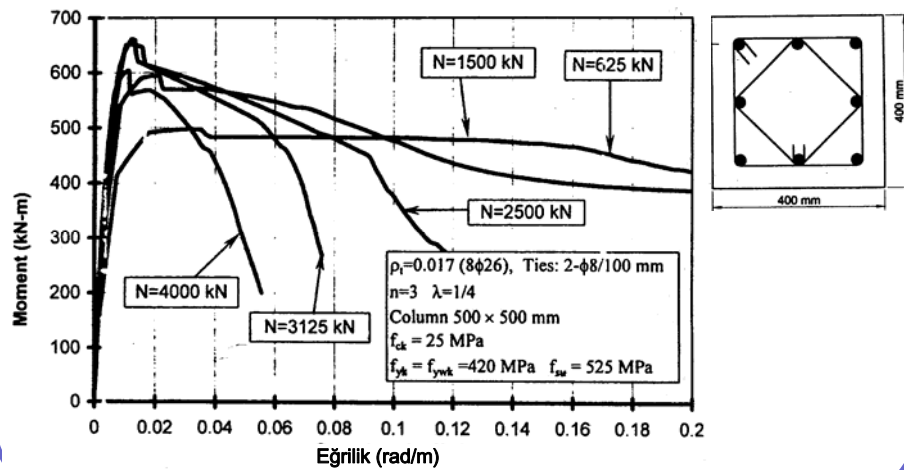
➤ Gerilme-birim deformasyon modelleri kullanıcı tarafından belirlenebilir

➤ Sargısız ve sargılı beton için geliştirilmiş Kent ve Park modeli programda mevcut

Referans: Ersoy, U

66

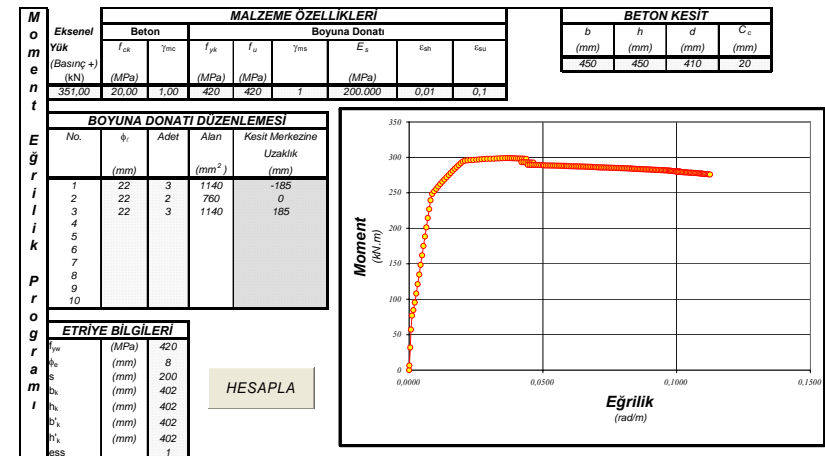
## Moment – Eğrilik Analizi Sonuçları



Referans: Ersoy, U

67

## Moment – Eğrilik Analizi Sonuçları



68

## İtme Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

KESİT HASAR SINIRI	Sargısız beton		Sargılı beton	
	Beton birim şekildeğiştirilmesi	Çelik birim şekildeğiştirilmesi	Beton birim şekildeğiştirilmesi	Çelik birim şekildeğiştirilmesi
MN	0.004	0.010	0.004	0.010
GV	0.004	0.040	0.0135	0.040
GÇ	0.004	0.060	0.018	0.060

### Sargılı beton için:

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135$$

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.013 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018$$

$\rho_s$  = Kesitte mevcut bulunan ve sargı etkisi sağlayabilen (135° kancalı) enine donatının hacimsel oranı

$\rho_{sm}$  = 3.3.4, 3.4.4 veya 3.6.5.2'ye göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı

69

## Bina Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Kararları

### • Hemen Kullanım (HK) durumu:

- Herhangi bir katta her bir deprem doğrultusu için yapılan hesapta kirişlerin en fazla %10'u **belirgin hasar** bölgesine geçebilir
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü **minimum hasar** bölgesindedir
- Güçlendirilmesine gerek yoktur

70

## Bina Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Kararları

### • Can Güvenliği (CG) durumu:

- Kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı **ileri hasar** bölgesine geçebilir
- İleri hasar bölgesindeki kolonların, kattaki bütün kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı **%20'nin altında** olmalı
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü **minimum hasar** bölgesi ya da **belirgin hasar** bölgesinde olmalıdır (Ayrıca ek hükümler mevcut)
- Güçlendirilmesi üzerine güvenlik (hasar) sınırını aşan elemanların sayısı ve dağılımına bağlı olarak karar verilmeli.

71

## Bina Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Kararları

### • Göçmenin Önlenmesi (GÖ) durumu:

- Kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı **göçme** bölgesine geçebilir
- Göçme bölgesindeki kolonların, kattaki bütün kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı **%20'nin altında** olmalı
- Göçme bölgesindeki elemanların durumu yapının kararlılığını bozmamalıdır (labil durum)
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü **minimum hasar, belirgin hasar ve ileri hasar** bölgelerinde olmalıdır (Ayrıca ek hükümler mevcut).
- Bina can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve güçlendirilmelidir. Güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

72

## Bina Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Kararları

- **Göçme durumu:**
  - Herhangi bir katta göçmenin önlenmesi durumu sağlanmıyorsa bina göçme durumundadır.
  - Bina can güvenliği bakımından sakıncalıdır.
  - Güçlendirme uygulanmalıdır.
  - Güçlendirmenin ekonomik verimliliği tartışılır.

73

## Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

- Her bir deprem doğrultusu için binanın herhangi bir katındaki görelî kat ötelemesi değişik performans düzeyleri için aşağıdaki değerleri sağlamalıdır.

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Performans Düzeyi		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
$(\delta_i)_{\max}/h_i$	0.008	0.02	0.03

$(\delta_i)_{\max}$  : düşey elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük görelî kat ötelemesi

$h_i$  : kat yüksekliği

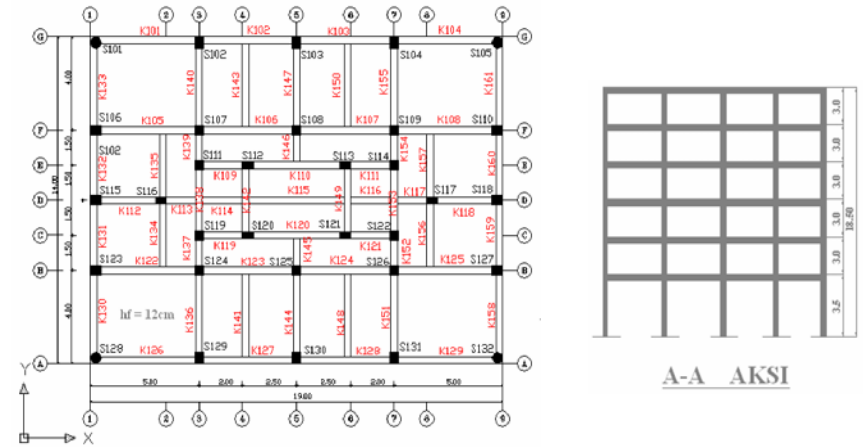
74

## İtme Analizi Özeti

- Yapının **öteleme istemi** belirlenir (TDY-2007).
- Öteleme istemine kadar yapılan **itme analizi** sonucunda kesitlerde **toplam eğrilik istemleri** belirlenir.
- Kesitler için **Moment-Eğrilik Analizi** yapılır.
- Her kesitte toplam eğrilik istemine denk gelen **beton basınç birim şekildeğiştirme istemi** ve **donatı çeliği şekildeğiştirme istemi** hesaplanır.
- Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirme istemleri TDY-2007 tarafından **farklı hasar sınırları** için belirlenen **birim şekildeğiştirme kapasiteleri** ile karşılaştırılır.
- Bu karşılaştırmanın sonucunda her kattaki kolon ve kirişlerdeki **hasar durumları**'na bağlı olarak **bina performansı** belirlenir ve güçlendirme kararları alınır.

75

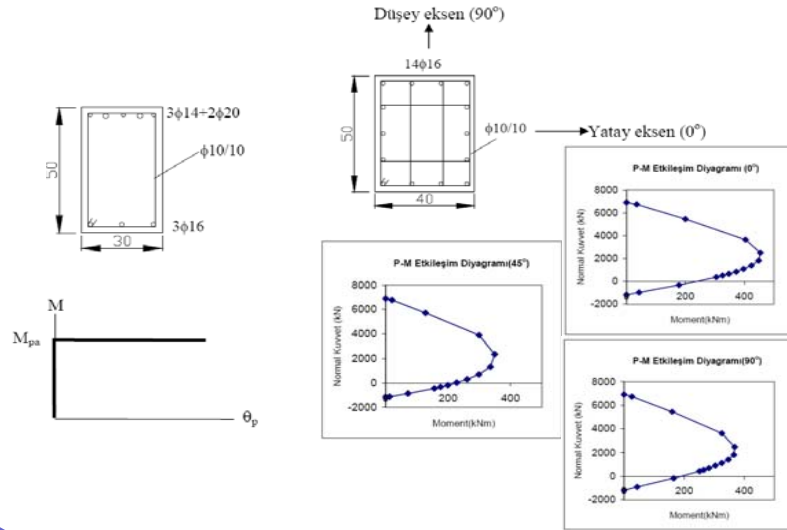
## Literatürde Artımsal İtme Analizi Örnekleri



(Prof. Dr. Nuray Aydınoglu – Örnek 3)

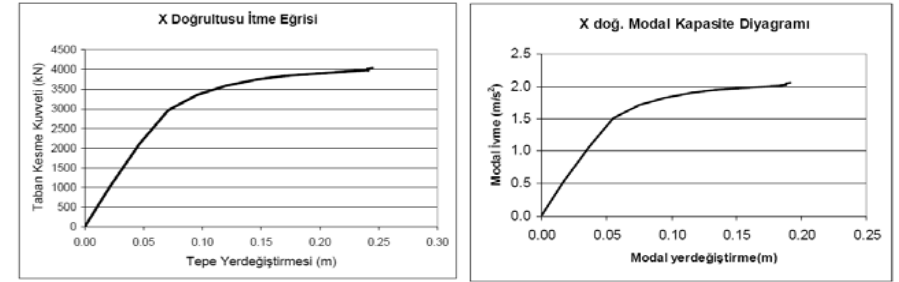
76

## Plastik Moment Kapasiteleri, Etkileşim Diyagramları ve Plastik Mafsal Tanımı



77

## İtme Eğrisi ve Modal Kapasite Diyagramı

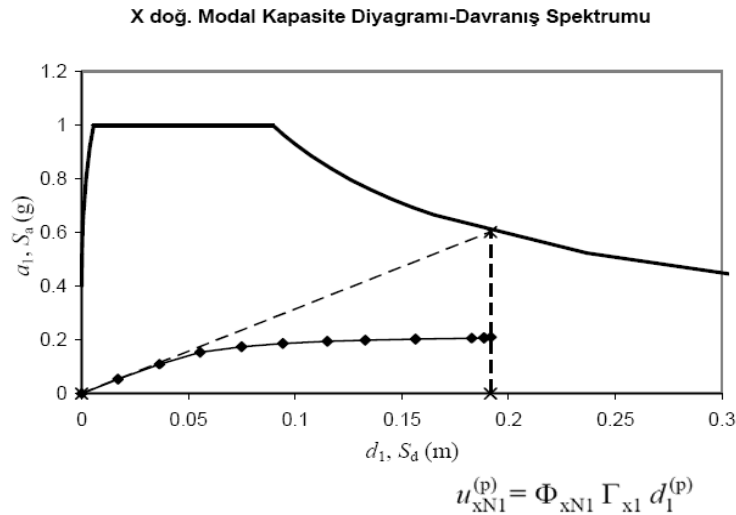


Etkin modal kütle oranı kontrolü:

Mod	Periyod (s)	Etkin Kütle Oranları		Kontrol
		X Doğr.	Y Doğr.	
1	1.15	0	0.853	> 0.7
2	1.13	0.848	0	> 0.7

78

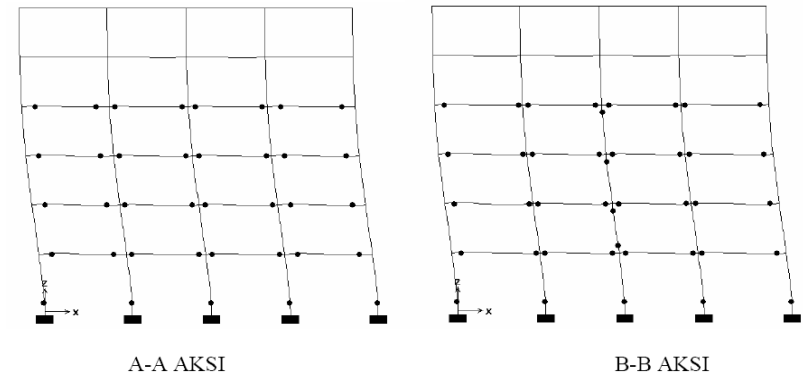
## Modal Yerdeğiştirme ve Öteleme İstemi Hesapları



79

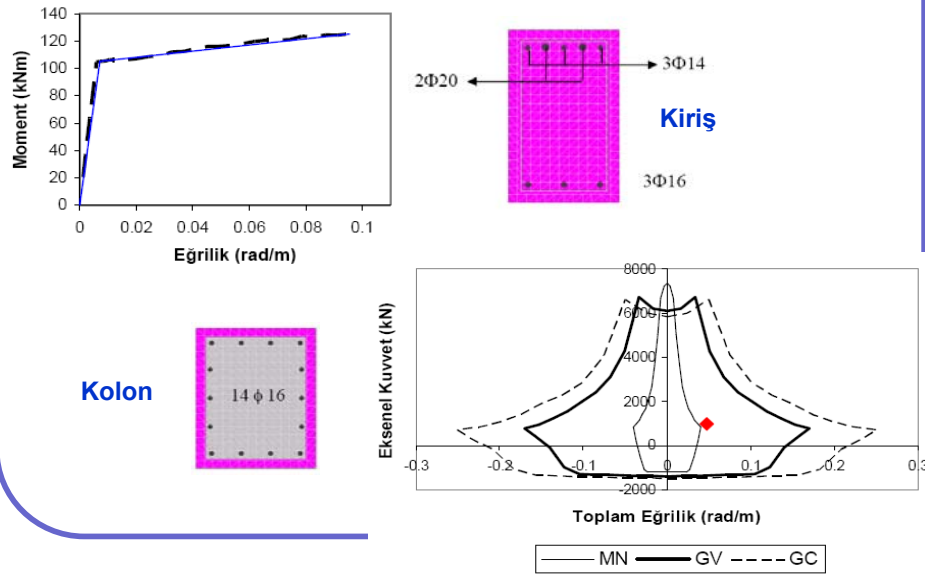
## Tepe Öteleme İstemine kadar Yapılan İtme Analizi Sonucu Oluşan Plastik Mafsallar

X doğrultusunda yapılan itme analizinde binanın tepe deplasmanı istemine ulaşıldığı adımda oluşan plastik kesitler.



80

## Kiriş ve Kolonlarda Moment–Eğrilik Analizi Sonuçları



81

## Ötelenme İstemi Noktasında Elde Edilen Görelî Kat Ötelenmelerinin Kontrolü

			Görelî Kat Ötelenmesi Oranı		Can Güvenliği Sınırı	Kontrol
	$(\delta_i)_{max}$	$h_i$	$(\delta_i)_{max}/h_i$			
1.Kat	0.062	3.5	0.0176	<	0.02	ok
2.Kat	0.060	3.0	0.0199	<	0.02	ok
3.kat	0.054	3.0	0.0181	<	0.02	ok
4.kat	0.036	3.0	0.0120	<	0.02	ok
5.Kat	0.017	3.0	0.0058	<	0.02	ok
6.Kat	0.016	3.0	0.0053	<	0.02	ok

82

## Bina Performansının Değerlendirilmesi

- 1.,2. ve 3. kat kirişlerinde plastikleşen tüm kesitler *belirli hasar bölgesindedir (BHB)*
- 4.katta kirişlerin %35'i *belirgin hasar bölgesi(BHB)*, %65'i ise *minimum hasar bölgesi(MHB)* içindedir. 5.katta kirişlerin hepsi *minimum hasar bölgesi (MHB)* içinde kalmıştır.
- 6. katta kirişlerinde plastikleşen kesit yoktur.
- Kolonlarda plastikleşen tüm kesitler *belirgin hasar bölgesindedir (BHB)*. 1.katta sadece bir kolonda 2. katta ise sadece üç kolonun iki ucunda mafsal oluşmuştur. Bu kolonların taşıdığı kesme kuvvetlerinin tüm kat kesme kuvveti talebine oranı 1.katta 0.045, 2.katta 0.082'dir. Her iki oran **Yönetmelik 7.7.3** gereğince verilen üst sınır 0.3'ten küçüktür.

Sonuç olarak **Yönetmelik 7.7.3'**e göre binada *X doğrultusu* depremi altında yapısal performans *Can Güvenliği* düzeyindedir.

83

## Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Performansının Değerlendirmesi: İtme Analizi

Teşekkürler...

kutay.orakcal@boun.edu.tr