

birlikler arasında 14 nolu seyyar hastane, V. Süvari Kolordu'sunda üç piyade tümeni için seyyar hastane görev yapmıştır³⁵.

Tablo 1: İstiklal Harbindeki Askerlerin Şehit, Yaralı ve Esirlerin Miktarı³⁶

	Şehit	Yaralı	Esir
Ermeni Harekâtı	46	76	2
Gediz Harbi	181	135	187
Birinci İnönü Muharebesi	95	183	11
İkinci İnönü Muharebesi	1493	2470	76
Kütahya Eskişehir Muharebesi	1522	4714	320
Sakarya Harekâtı	3288	13618	415
Başkumandanlık Taarruzu	2542	9977	101
Yekûn	9167	31173	1112

TBDY-2018 Yönetmelik Tasarımında Yapı Dinamiği ve Deprem Parametreleri

Kemal Beyen

İMO – İSTANBUL 3 Nisan 2023

Nümerik
Model

Yetkin
Mühendislik

Doğru
Malzeme

Doğru
Denetim

Yurt ve
Halk
Sevgisi

TBDY-
2018

Yapı
dinamiği

Doğru
İmalat

Dürüstlük

TBDY-2018 Tasarımında Yapı Dinamiği ve Deprem Parametreleri

Bu kısa ders sunumunda depremlerde önemli can ve mal kayıpları verdiğimiz bina türü mühendislik yapılarının depreme dirençli ve can emniyetini sağlayacak tasarım için yapı dinamik parametrelerinin seçimi ve ihtimal diğer seçeneklerin sonuçları ne kadar etkilediği TBDY-2018 çerçevesinde tartışılacaktır. Son yaşanan Kahraman Maraş depremlerinde yapı dinamik parametrelerinin, modelleme ayrıntılarının ve seçilen deprem sınıfının sonuçlara etkisi eski yönetmelik tasarımlı binaların gösterdiği deprem performanslarıyla mukayesesi saha gözlemleri üzerinden tartışılacaktır.

Doğru yapı dinamik bilgisi, doğru sonlu eleman modeli kurulması ve TBDY-2018'in doğru uygulanmasından oluşan tasarımın birinci altın üçgeni ve imalat sürecini içine alan **bir diğer bir altın üçgen olan doğru malzeme, doğru işçilik-imalat ve doğru denetim** ile yapılar günümüzün inşaat mühendisliği bilimi içinde başarılı sonuçları bize yaşatmıştır. **Ahlak eksikliğinin, yetki eksikliğinin ve vatan ve insan sevgisinin olmayacağı bütün yaklaşımların zaten çökeceğini** düşünerek tartışma dışında tutuyorum. Yapıya yapılan inşaat mühendisliği dışı yanlış müdahaleler birinci altın üçgeni parçalayarak tehlikeli taşıyıcı sistem hasarlarına; zayıf imalat süreci ise ikinci altın üçgenin parçalanmasıyla mutlak toptan göçmeye sebep olmaktadır. Bütün bunların kusursuz uygulanması mesleki sorumluluk ve bilgi donanımıyla gerçekleşecektir. Teori ve pratiği kucaklayan bu ders ile bilgi donanımına giriş yapılmaktadır.

Kemal Beyen

3 Nisan 2023

İMO - İstanbul

Temel Yapı Dinamiği:

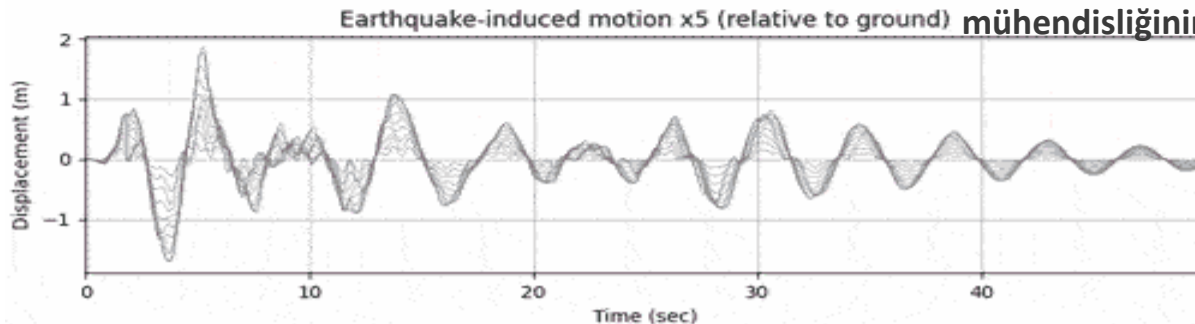
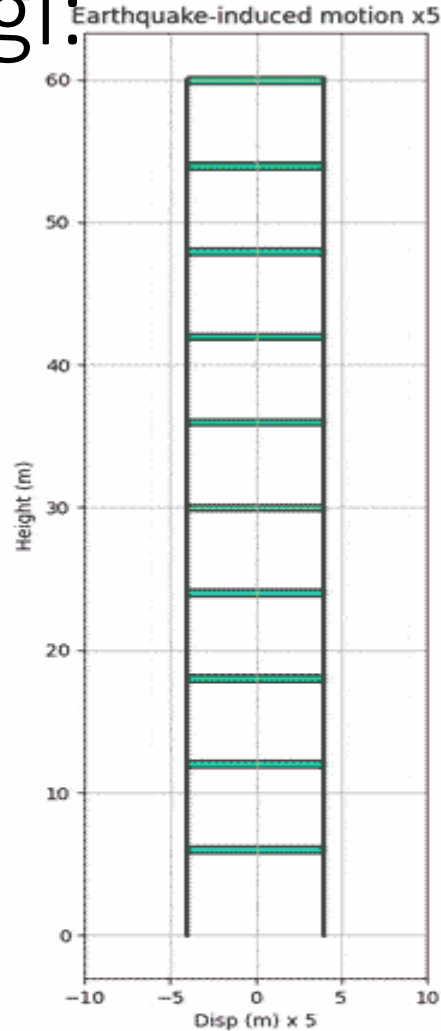
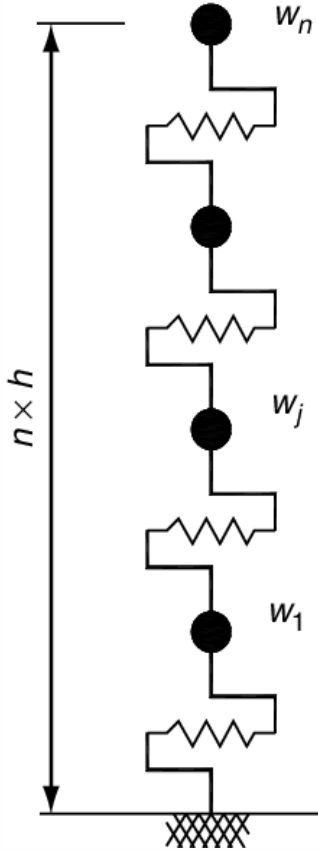
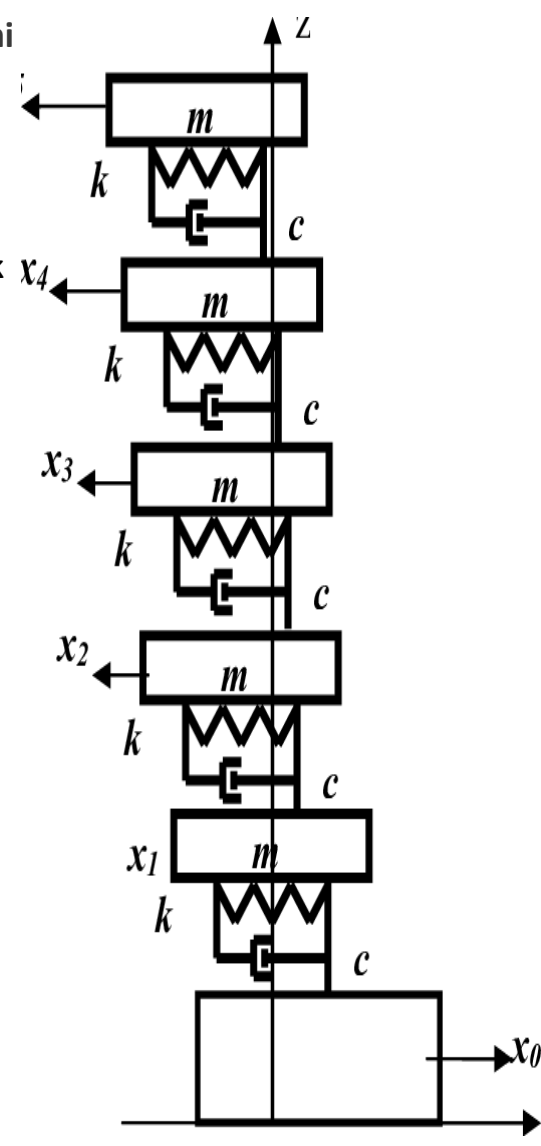


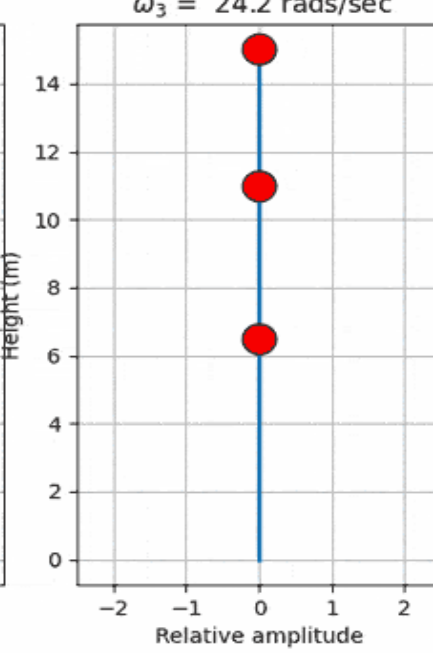
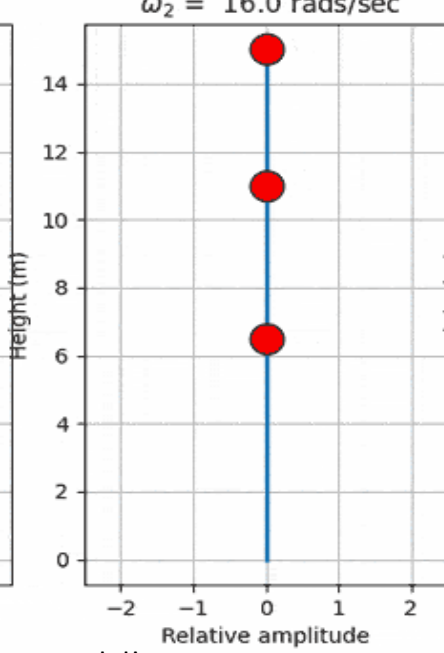
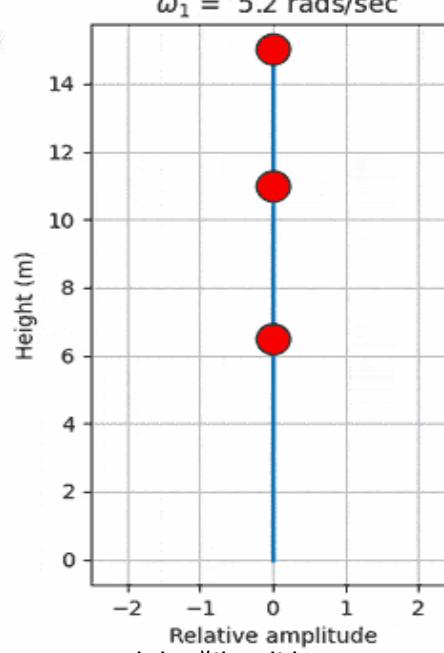
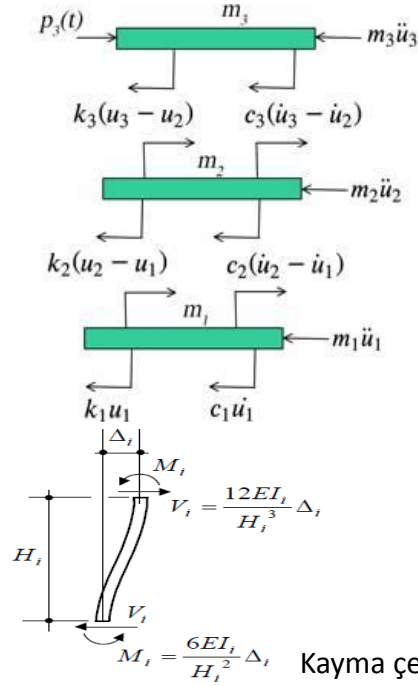
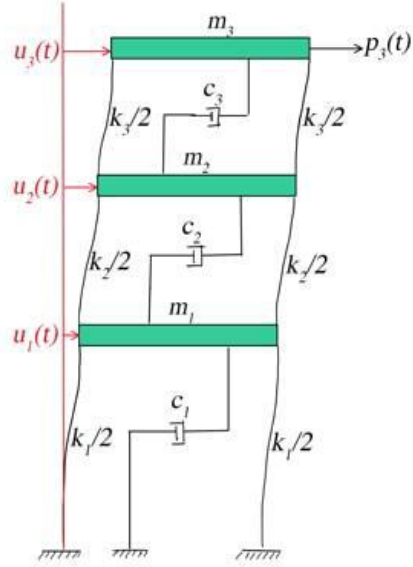
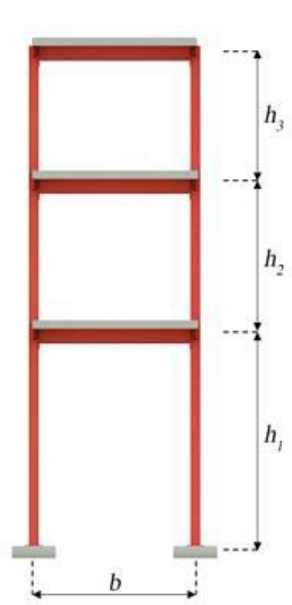
Diagram illustrating the relationship between displacement Δ_i , shear force V_i , and bending moment M_i at a floor level H_i .

$$V_i = \frac{12EI_i}{H_i^3} \Delta_i$$
$$M_i = \frac{6EI_i}{H_i^2} \Delta_i$$

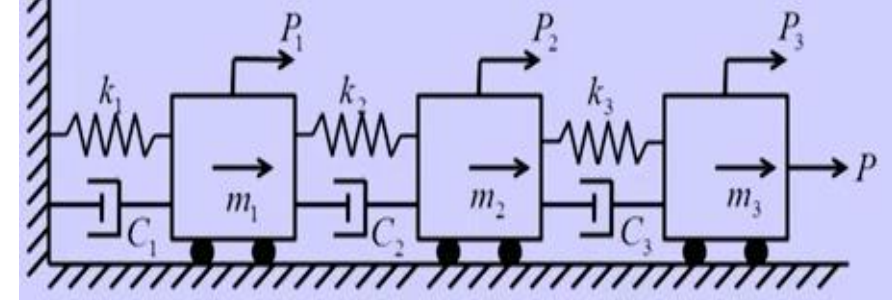
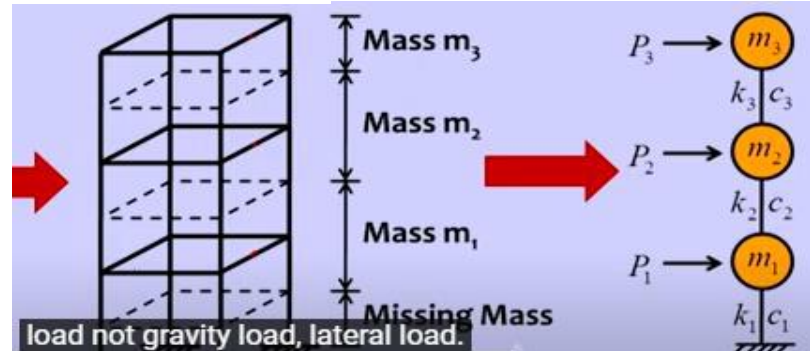
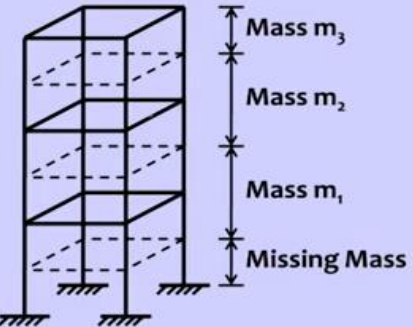
- Lineer ve non-linear ÇSD yapı sistemlerini çözmek ve çözümünü teorisiyle anlamak günümüz mühendisliğin temelini oluşturuyor.
- Deprem ve rüzgar formundaki doğa yükleri dahil karşılaşılabilecek bütün dinamik yüklerin ÇSD yapı sistemlerine etkilerini nümerik olarak SEA ortamlarında modellemek günümüz mühendisliğin temelini oluşturuyor.
- Çalışılan ÇSD yapı sistemlerinin dinamik hareket denklemlerini üretmek ve çözmeye muktedir olmak günümüz mühendisliğin temelini oluşturuyor.
- Çıkarılan dinamik hareket denklemlerini modal alt guruplara ayırtırmak ve dinamik karakteristikleri elde etmek teorisiyle anlamak günümüz mühendisliğin temelini oluşturuyor.
- Bu amaçlar doğrultusunda kullanılacak mühendislik yazılımlarına bir operatör olarak değil bir donanımlı mühendis olarak hakim olmak, programa bağımlı değil, programa bağlı çalışmak günümüz mühendisliğin temelini oluşturuyor.



Temel Yapı Dinamiği:



Idealization



Kayma çerçeve model, eğilmeli kayma çerçeve model!

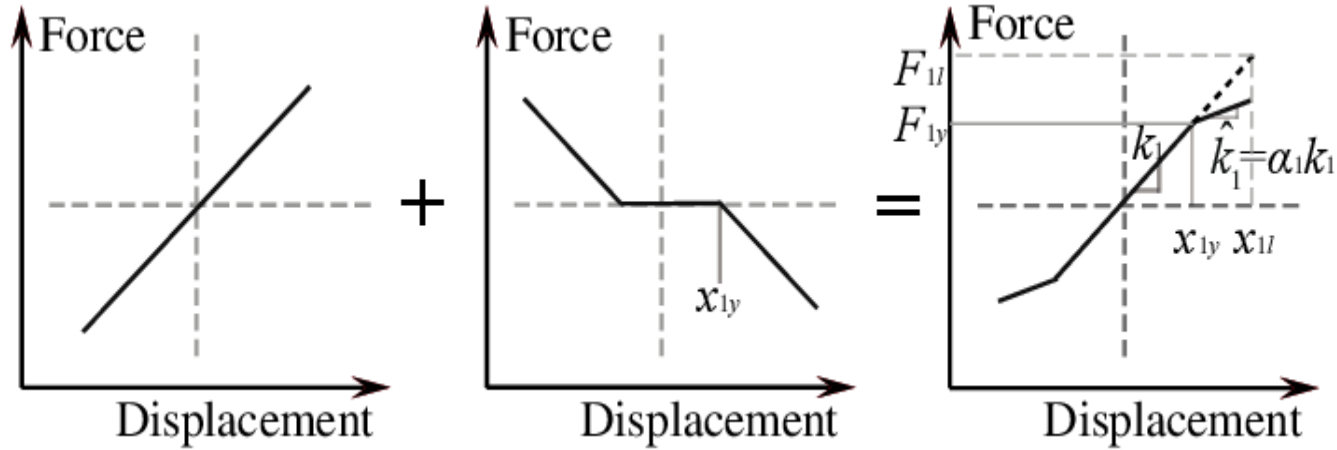
Yığılı model yaklaşımında, temel üstü yarım kat kütlelerin idealleştirmede yer yapısıyla beraber hareket ettiği kabulü gerçekte yapıdan o seviyede kütle eksiltirken hem daha az ivmeye hem de karşıt atalet kuvvetini azaltmaktadır! Az ivme ve yenilmemiş atalet katkısı deformasyonu azaltırken varsayılan ankastreliği güçlendirmektedir.

Ayrıca gerçek bir yapıda M3 katılımı idealleştirilen kadar mıdır? Benzer eksiklikler çatı döşemesi için tartışılmalı mıdır?

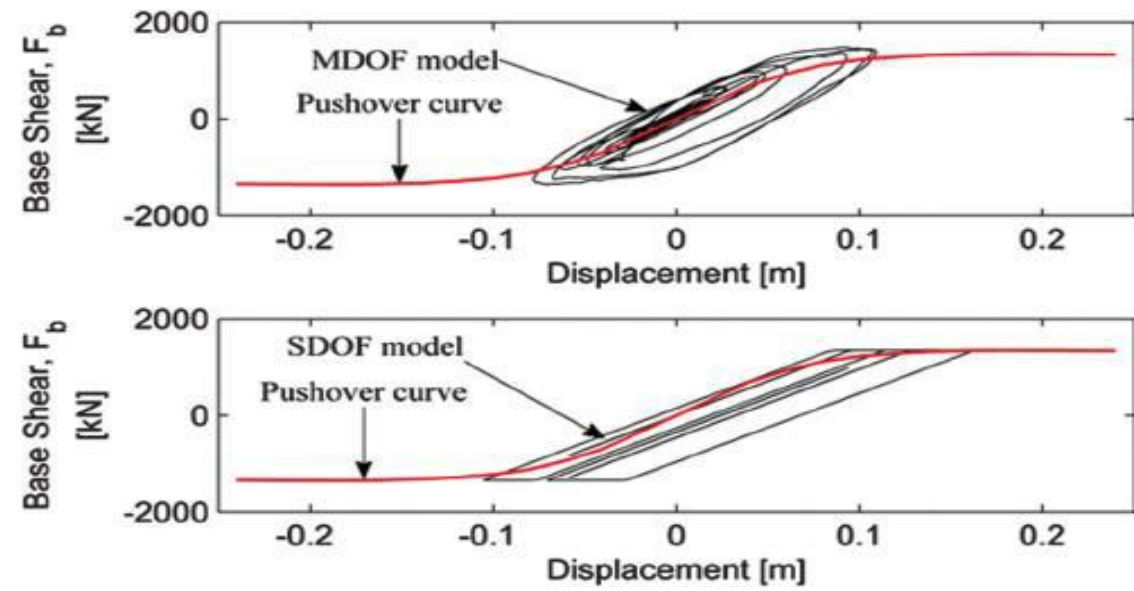
Bu yığılı kütle varsayımlarıyla yürütülen modal analizlerde kütle katılım oranları (mass participation ratio) gerçeği çok bozuyor mu? $u_3 > u_2 > u_1$ kabulü, eğer yumuşak bir ara kat varsa örneğin $u_2 > u_3$ ise ne olacak? Veya $u_2 = u_3$ olduğunda o katlarda fark kuvvet?

Kütle-yay-sönümlü sistemde kat deplasmanları arttığı için çekme etkin davranış her durumda gerçekleşmiş gibi kullanılıyor !

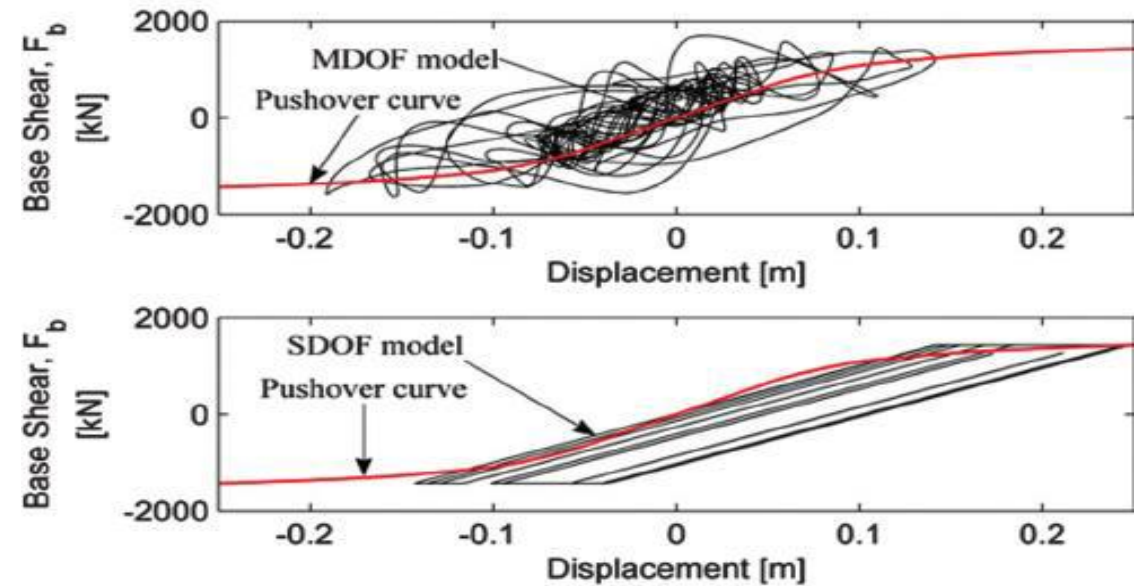
Temel Yapı Dinamiği:



- Eleman davranışında pozitif rijitlik ve negatif rijitlik değişimlerinin gerçek davranış ile dolayısıyla geometrik non-lineerlik ve malzeme non-lineerliği ile olan ilişkisi ve etkisi. Gerçeğe yakın non-lineer benzeşim çalışmalarının tutarlılık seviyesinin yükselmesi, hasar analizlerinin, sigorta eleman çalışmalarının, kontrollü hasar yönetiminin, yapı kontrolünün, ve yapı iyileştirme çalışmalarına uzanan katkıları...
- Bir benzeşim çalışmasında TSD model, ÇSD model ve itme analizleriyle hesaplanan etki eden yanal deprem kuvvet değişimiyle değişen histeretik kat döşemesi deplasman hikayelerinin tutarlılığı....



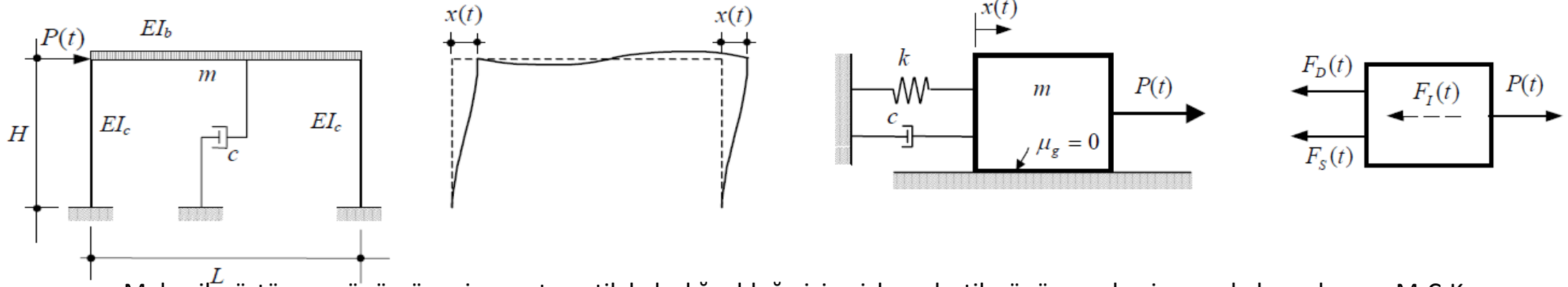
2-storey



4-storey

Temel Yapı Dinamiği:

TSD sistem olarak modellenmiş çerçeve taşıyıcı sistem ve öngörölmüş çerçeve hareketi;



Mekanik sürtünme sönümü yerine matematik kolaylığı olduğu için viskoz-elastik sönüm mekanizmasıyla kurgulanmış M-C-K eşdeğer mekanik model solda ve etkiyen dinamik kuvvetlerden oluşan SCD. Yatayda kuvvetler toplamı sıfır alınarak düzenlenirse,

$$F_I + F_D + F_S = P(t)$$

Etkiyen zaman bağımlı dış kuvvet şimdilik sıfır alınarak serbest titreşim şartları oluşturulursa

$$F_I = m \cdot \ddot{x} \quad F_D = c \cdot \dot{x} \quad F_S = k \cdot x ;$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = P(t)$$

$$P(t) = 0$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \text{ (TSD sistemin Diferansiyel denklemi)}$$

Kullanılan tek açıklıklı kolon-kiriş çerçeve sistemin rijitlik faktörü;

$$k = \frac{12(6I_b I_c H + I_c^2 L)E}{H^3(3I_b H + 2I_c L)}$$

TSD sistemin diferansiyel denkleminde önerilen x yer değiştirme; $x = e^{\lambda t}$ ve λ değerlerini TSD sistemin diferansiyel denkleminde yerleştirir ve ortak çarpana alırsak, homojen ikinci dereceden bir diferansiyel denklem olarak iki kökünü buluruz.

$$\begin{aligned} [m\lambda^2 + c\lambda + k]e^{\lambda t} &= 0 \\ [m\lambda^2 + c\lambda + k] &= 0 \end{aligned}$$

Temel Yapı Dinamiği:

Diferansiyel denklemin kökleri; $[m\lambda^2 + c\lambda + k] = 0$

$$\lambda_{1,2} = \frac{-c \pm (c^2 - 4mk)^{1/2}}{2m}$$

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

ve yapı dinamiğinden aşına olduğumuz parametrelerle yeniden düzenlenirse;

$$\lambda_{1,2} = -\frac{c}{2(km)^{1/2}} \left(\frac{k}{m} \right)^{1/2} \pm \left(\frac{k}{m} \right)^{1/2} \left(\frac{c}{4km} - 1 \right)^{1/2}$$

$$\omega = \left(\frac{k}{m} \right)^{1/2}$$

Sönümsüz açısal frekans tanımı kullanılırsa;

Sönüm oranı $\xi = \frac{c}{c_{kritik}}$; $c_{kritik} = 2\sqrt{km} = 2m\omega$ kullanılırsa;

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad k = m\omega^2$$

$$\xi = \frac{c}{2(km)^{1/2}} = \frac{c}{2m\omega} \rightarrow c = 2m\omega\xi$$

m'ye böldükten sonra, TSD sistemin diferansiyel denklemi; $x'' + 2\xi\omega x' + \omega^2 x = 0$

ve denklemin kökleri ;

$$\lambda_{1,2} = -\xi\omega \pm \omega(\xi^2 - 1)^{1/2}$$

TSD sistemin diferansiyel denkleminde önerilen x yer değiştirme; $x = C1 \cdot e^{\lambda_1 t} + C2 \cdot e^{\lambda_2 t}$

Çözümün takip edileceği şartlar sönüm oranıyla şekillenecektir.

Eğer $\xi > 1$ ise aşırı sönümlü bir yapı ile karşı karşıyayız demektir ve $(\xi^2 - 1)^{1/2}$ gerçek bir sayı değeri alır ve x deplasmanı;

$$x = e^{-\xi\omega t} \{ A \cdot \exp[\omega(\xi^2 - 1)^{1/2} t] + B \} \exp[-\omega\xi t]$$

Eğer $\xi = 1$ ise kritik sönümlü bir yapı ile karşı karşıyayız demektir ve $(\xi^2 - 1)^{1/2}$ sifıra eşittir. x deplasmanı;

$$x = e^{-\omega t} \{ A + B \cdot t \}$$

Eğer $\xi < 1$ ise az (C_{kritik} altı) sönümlü bir yapı ile karşı karşıyayız demektir ve $(\xi^2 - 1)^{1/2}$ sanal bir sayı değeri alır. Bu şartlarda önerilen x 'i eksponansiyel formdan başka alternatif olarak eşdeğeri olan trigonometrik bir fonksiyon olarak da x yazılabilir.

$$x = e^{-\xi\omega t} \{ A \cdot \cos[\omega(1 - \xi^2)^{1/2} t] + B \cdot \sin[\omega(1 - \xi^2)^{1/2} t] \}$$

A ve B sabitleri x ve x' başlangıç şartları kullanılarak hesaplanabilir.

Hatırlayın lütfen...

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Ortaokul yılları ne güzel yıllarmış meğerse... Ahhhh, ah ve yine ah...

Temel Yapı Dinamiği:

Sönümlü doğal açısal frekans; $\omega_d = \omega \cdot (1 - \xi^2)^{1/2}$

Sönümlü doğal periyot; $T_d = \frac{1}{\omega_d}$

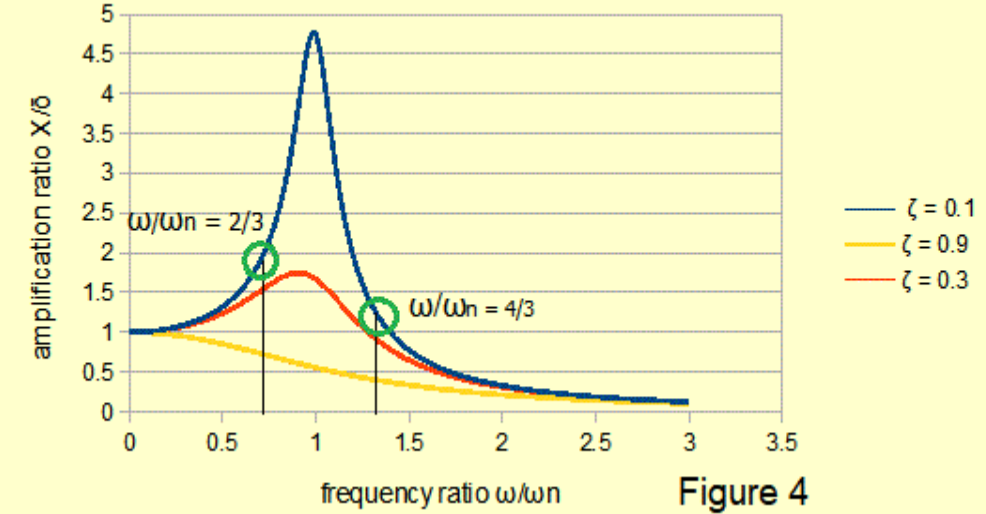
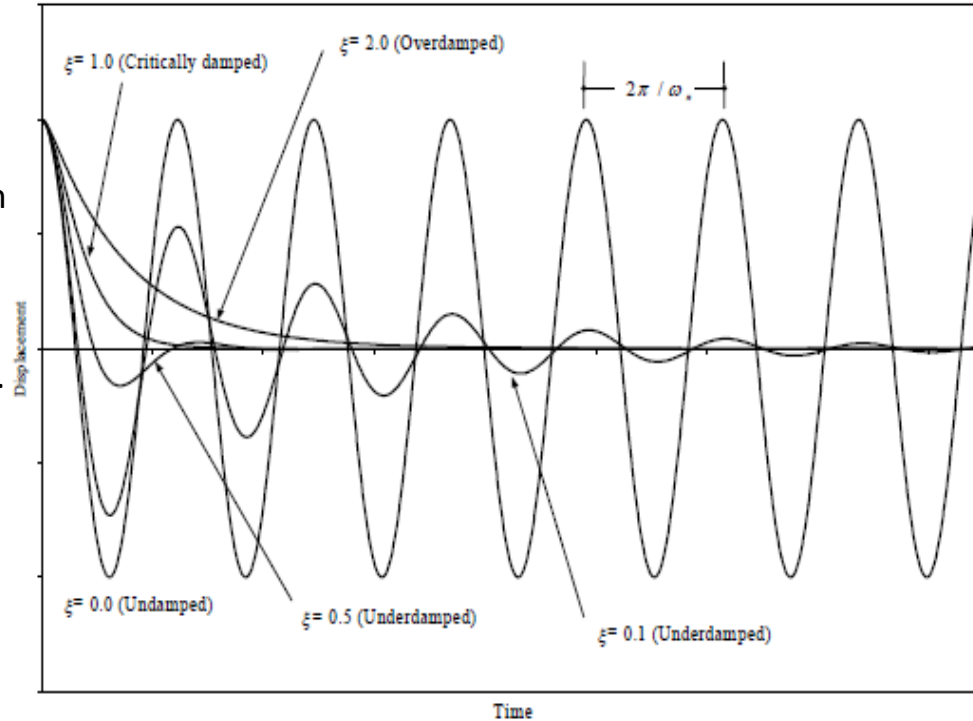
Başlangıç şartlarına bağlı olmak üzere kritik sönümün çok altında gerçekleşecek serbest titreşim tepkisi; $A = x_0$ ve $B = \left(\frac{x_0 + \xi \omega x_0}{\omega_d} \right)$

$$x = e^{-\xi \omega t} \left\{ x_0 \cdot \cos \left[\omega_d t \right] + \left(\frac{x_0 + \xi \omega x_0}{\omega_d} \right) \cdot \sin \left[\omega_d t \right] \right\}$$
$$x = e^{-\xi \omega t} \left\{ x_0 \cdot \cos \left[\omega_d t \right] + \left(\frac{x_0 + \xi \omega x_0}{\omega_d} \right) \cdot \sin \left[\omega_d t \right] \right\}$$

$\xi=1$ sönüm koşulunda, yapı sistemi sıfır eksenini geçen herhangi bir salınıma girmeden sıfır deplasman konumuna geldi.

$\xi = C/C_{\text{kritik}} = 1$; $C = C_{\text{kritik}}$ şartlarında salınım söndürüldü.

$\xi > 1$ aşırı sönüm şartlarında yapı kritik sönümden daha yavaş şekilde sıfıra ulaşıyor. $0 < \xi < 1$ şartlarında azalan genlik ile sönüme mutedil yaklaşır.



$$X = \frac{F_0}{k} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{2\xi \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}} \right)$$

TSD sistemin farklı sönüm oranlarına göre serbest titreşim şartlarında deplasman hikayeleri

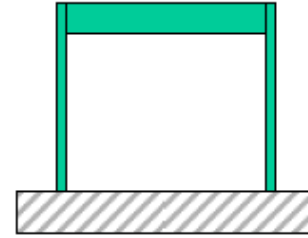
Temel Yapı Dinamiği:

Damping in Structures (2)

Welded steel frame	$\xi = 0.010$
Bolted steel frame	$\xi = 0.020$
Uncracked prestressed concrete	$\xi = 0.015$
Uncracked reinforced concrete	$\xi = 0.020$
Cracked reinforced concrete	$\xi = 0.035$
Glued plywood shear wall	$\xi = 0.100$
Nailed plywood shear wall	$\xi = 0.150$
Damaged steel structure	$\xi = 0.050$
Damaged concrete structure	$\xi = 0.075$
Structure with added damping	$\xi = 0.250$

Damping in Structures (3)

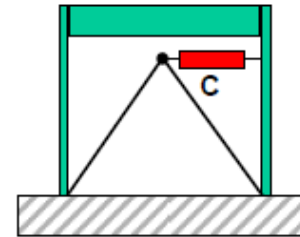
Inherent damping



ξ is a structural (material) property independent of mass and stiffness

$$\xi_{Inherent} = 0.5 \text{ to } 7.0\% \text{ critical}$$

Added damping



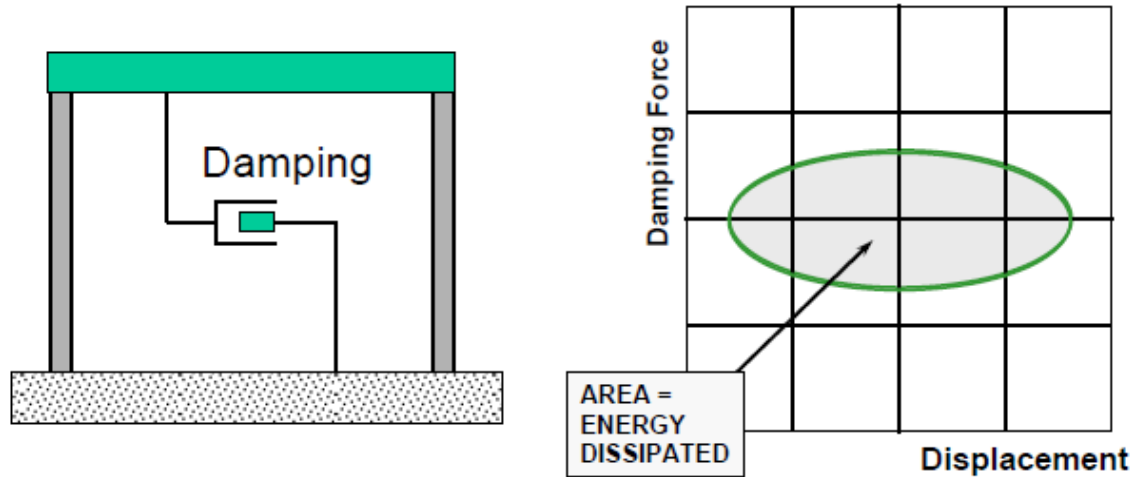
ξ is a structural property dependent on mass and stiffness and damping constant C of device

$$\xi_{Added} = 10 \text{ to } 30\% \text{ critical}$$

Yapı sisteminde varolan (malzeme ve geometrinin kazandırdığı) karakteristik sönüm ile özel bir düzenek ile kazandırılmış sönümün farkı görülmektedir.

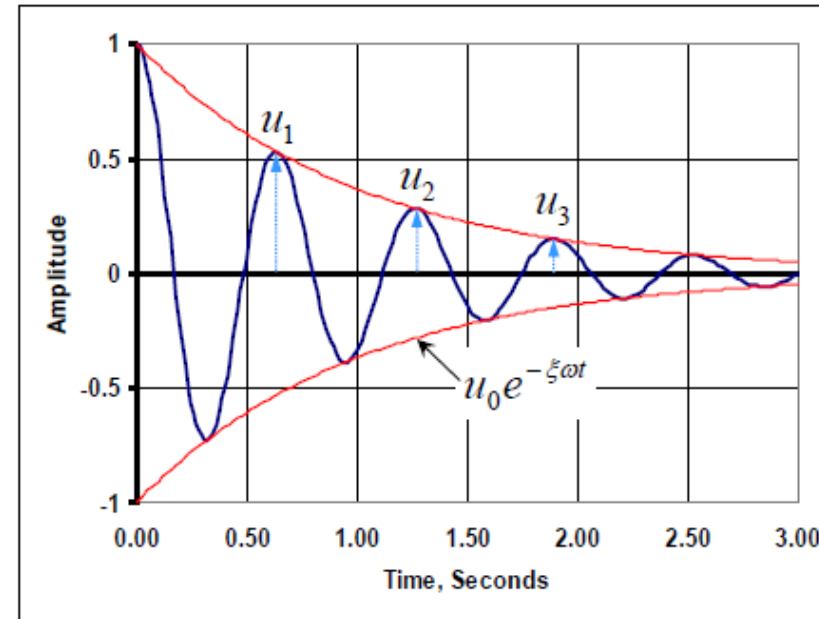
Temel Yapı Dinamiği:

Properties of Structural Damping (2)



Damping vs displacement response is elliptical for linear viscous damper.

Measuring Damping from Free Vibration Test



For all damping values

$$\ln \frac{u_1}{u_2} = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

For very low damping values

$$\xi \cong \frac{u_1 - u_2}{2\pi u_2}$$

Temel Yapı Dinamiği:

Viskoz-elastik sönüm mekanizmasıyla kurgulanmış M-C-K eşdeğer mekanik modele etkiyen dinamik kuvvetler, $\dot{x}$ ile çarpılarak etkidiği t zaman boyunca integre edilirse;

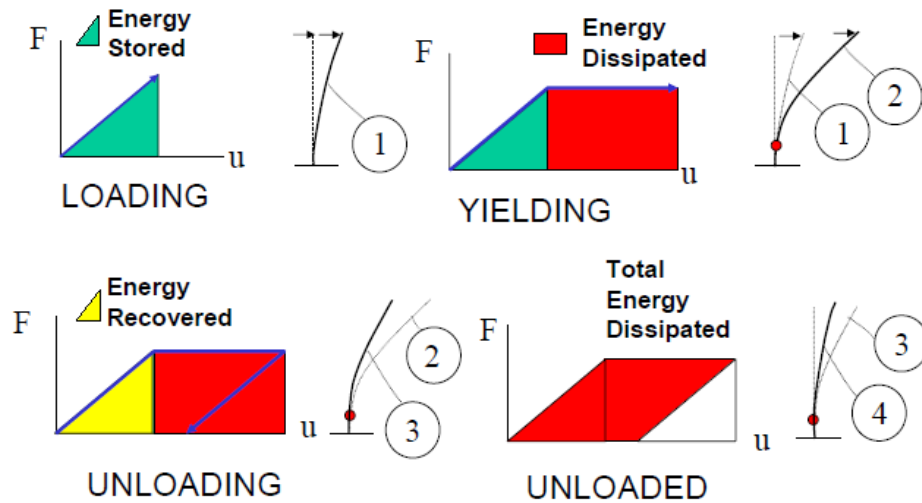
$$F_I + F_D + F_S = P(t)$$

$$E_K = \int_0^t m \dot{x} \dot{x} dt = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \quad E_D = \int_0^t c \dot{x} \dot{x} dt = \frac{1}{2} c \dot{x}^2 \quad E_S = \int_0^t k x dx = \frac{1}{2} k x^2 \quad E_I = \int_0^t x P(t) dt$$

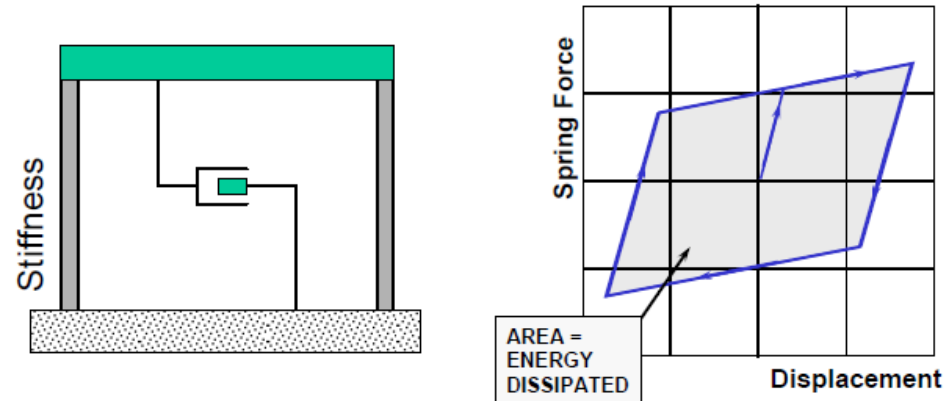
$$E_K + E_D + E_S = E_I$$

Kinetik enerji, viskoz sönüm tarafından tüketilen enerji ve birim şekil değişikliğine harcanan yay enerjilerinin toplamı sisteme yanal giren enerjiye eşit olmalıdır. Diğer enerji temelli yaklaşımlar buradan hareketle kurulabilmektedir.

CONCEPT of ENERGY STORED and Energy DISSIPATED



Properties of Structural Stiffness (2)



- Is almost always nonlinear in real seismic response
- Nonlinearity is implicitly handled by codes
- Explicit modelling of nonlinear effects is possible

Temel Yapı Dinamiği:

3 katlı bir düzlem çerçeve taşıyıcı sistemi anlatım örneği olarak kullanalım. Kat kütleleri üzerine etkiyen kuvvetlerin SCD 'nı çizelim. Her bir m kütle için hareket denklemini yazılırsa kütle sayısı kadar lineer diferansiyel hareket denklemini bulunur.

$$P_3(t) - m_3\ddot{x}_3 - c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) - k_3(x_3 - x_2) = 0$$

$$P_2(t) - m_2\ddot{x}_2 + c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_3(x_3 - x_2) - k_2(x_2 - x_1) = 0$$

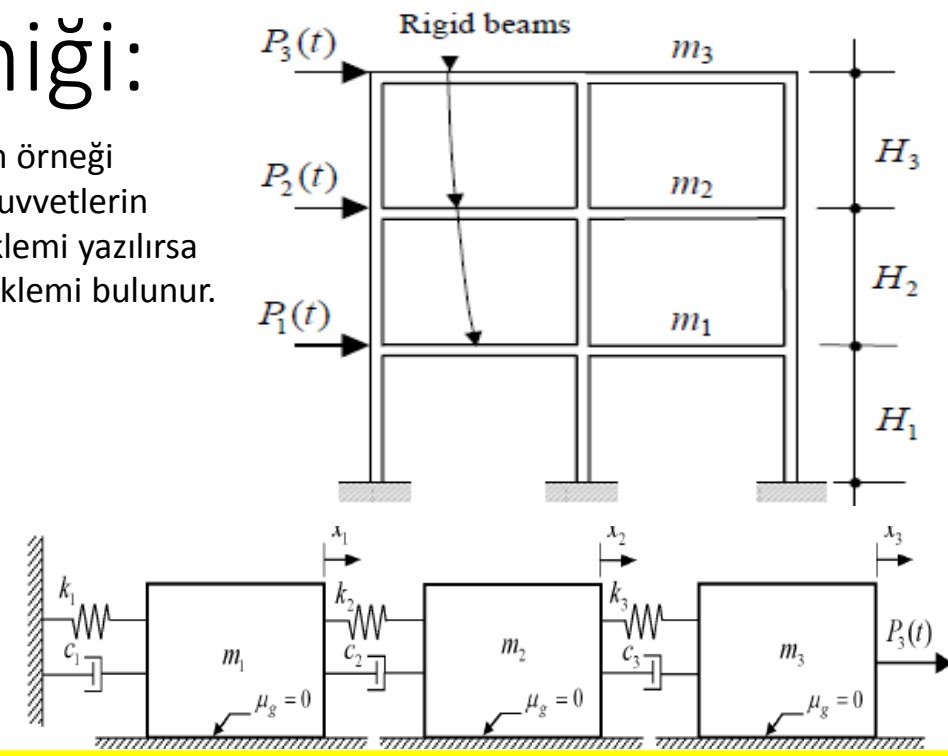
$$P_1(t) - m_1\ddot{x}_1 + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - c_1\dot{x}_1 + k_2(x_2 - x_1) - k_1x_1 = 0$$

Bu denklemler düzenlenirse;

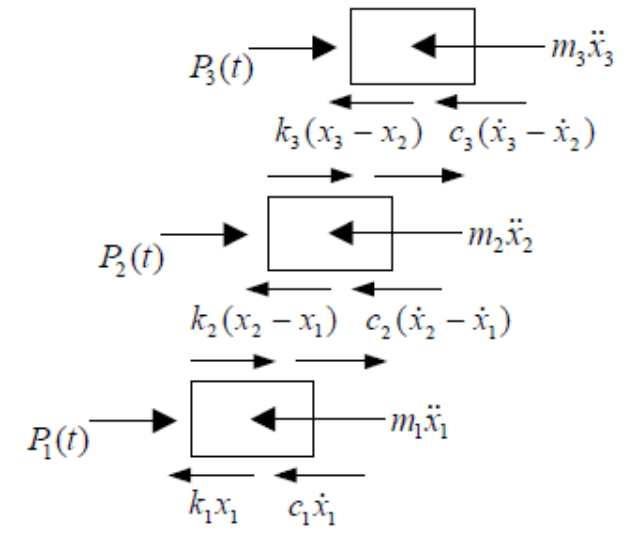
$$m_1\ddot{x}_1 + (c_1 + c_2)\dot{x}_1 - c_2\dot{x}_2 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2x_2 = P_1(t)$$

$$m_2\ddot{x}_2 - c_2\dot{x}_1 + (c_2 + c_3)\dot{x}_2 - c_3\dot{x}_3 - k_2x_1 + (k_2 + k_3)x_2 - k_3x_3 = P_2(t)$$

$$m_3\ddot{x}_3 - c_3\dot{x}_2 + c_3\dot{x}_3 - k_3x_2 + k_3x_3 = P_3(t)$$



M, C, K matrisleri diyagonal bant simetrik matrisler. K ve M matrisinin en büyük elemanı diyagonalıdır. M'nin her durumda diyagonal olmadığını bilelim ama kinetik enerji yaklaşımı M'yi simetrikleştirir. Maxwell karşılık teoremi süperpoze özelliği ve gerilme-enerji yaklaşımı simetriyi sunar. Dahası, kayma çerçeve olarak modellenmemiş sistemlerin K matrisinde örneğin köşelerde sıfır olmayan elemanlar vardır. M ve K diyagonal elemanları birim şekil değiştirme ve kinetik enerjinin pozitif özelliğinden dolayı pozitif olmak zorundadır. Birim şekil değiştirme enerjisi yerine harcanan enerjinin viskoz sönümle tariflenmesi C matrisini simetrikleştirir. Hız viskoz sönüm ile enerji harcanmasına katkı vermekte veya enerji değişiminin olmaması için sönümün azalması gerçeği C'nin diyagonal terimlerini pozitif yapar. Fakat sönüm özelliğinin olmadığı eleman diyagonal hücreyi sıfır yapabilir.



Matris formunda ÇSD sistemin hareket denklemini;

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = P(t)$$

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} = \text{inertia (mass) matrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} = \text{damping matrix}$$

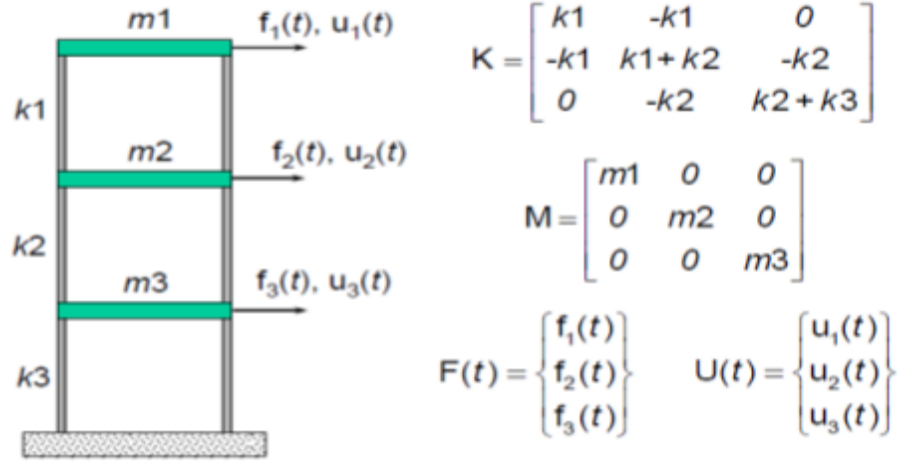
$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} = \text{stiffness matrix}$$

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} = \text{displacement vector}$$

$$P(t) = \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ P_3(t) \end{bmatrix} = \text{external force vector}$$

Temel Yapı Dinamiği:

İdealize edilmiş yapının mühendislik parametre Matrisleri:



Matris yapıdaki hareket denklemlerinin çözümü:

- Transformasyon işlemiyle normal koordinat (düğüm noktalarının deplasmanından) sisteminden modal koordinat (yapı doğal mod genlikler) sistemine dönüştürülerek çözümün ilk adımı tamamlanacak.
- Doğal mod şeklinin ortogonalite özelliği hareket denklemlerinin TSD Sistemler olarak çözülmesine imkan vermektedir.
- Çözümünden sonra modal koordinatlar normal koordinatlara dönüştürülecektir.

Tek mod ifadesi:

$$K\Phi = M\Phi\Omega^2 \quad \text{For ALL Modes}$$

$$\text{Where: } \Phi = [\phi_1 \quad \phi_2 \quad \phi_3]$$

$$\Omega^2 = \begin{bmatrix} \omega_1^2 & & \\ & \omega_2^2 & \\ & & \omega_3^2 \end{bmatrix} \quad K\phi = \omega^2 M\phi$$

Note: Mode shape has arbitrary scale; usually

$$\phi_{ij} = 1.0 \quad \text{or} \quad \Phi^T M \Phi = I$$

Sönümsüz zorlama titreşim altında sistemin denklemleri:

$$M\ddot{U}(t) + KU(t) = F(t)$$

$$\begin{bmatrix} m1 & 0 & 0 \\ 0 & m2 & 0 \\ 0 & 0 & m3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1(t) \\ \ddot{u}_2(t) \\ \ddot{u}_3(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k1 & -k1 & 0 \\ -k1 & k1+k2 & -k2 \\ 0 & -k2 & k2+k3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ u_3(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \\ f_3(t) \end{Bmatrix}$$

$$\text{DOF 1} \quad m1\ddot{u}_1(t) + k1u_1(t) - k1u_2(t) = f_1(t)$$

$$\text{DOF 2} \quad m2\ddot{u}_2(t) - k1u_1(t) + k1u_2(t) + k2u_2(t) - k2u_3(t) = f_2(t)$$

$$\text{DOF 3} \quad m3\ddot{u}_3(t) - k2u_2(t) + k2u_3(t) + k3u_3(t) = f_3(t)$$

Sönümsüz serbest titreşim altında sistemin Doğal mod şekilleri ve modal frekansları:

$$M\ddot{U}(t) + KU(t) = \{0\}$$

$$\text{Assume } U(t) = \phi \sin \omega t \quad \ddot{U}(t) = -\omega^2 \phi \sin \omega t$$

$$\text{Then } K\phi - \omega^2 M\phi = \{0\} \quad \text{has three (n) solutions:}$$

$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} \phi_{1,1} \\ \phi_{2,1} \\ \phi_{3,1} \end{Bmatrix}, \quad \omega_1 \quad \phi_2 = \begin{Bmatrix} \phi_{1,2} \\ \phi_{2,2} \\ \phi_{3,2} \end{Bmatrix}, \quad \omega_2 \quad \phi_3 = \begin{Bmatrix} \phi_{1,3} \\ \phi_{2,3} \\ \phi_{3,3} \end{Bmatrix}, \quad \omega_3$$

Natural frequency

Natural mode shape

Temel Yapı Dinamiği:

Sönümsüz serbest titreşim altında sistemin
Doğal mod şekilleri ve modal frekansları:

$$M\ddot{U}(t) + KU(t) = \{0\}$$

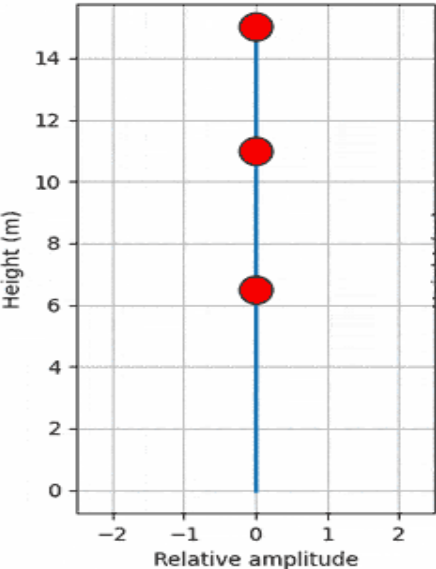
Assume $U(t) = \phi \sin \omega t$ $\ddot{U}(t) = -\omega^2 \phi \sin \omega t$

Then $K\phi - \omega^2 M\phi = \{0\}$ has three (n) solutions:

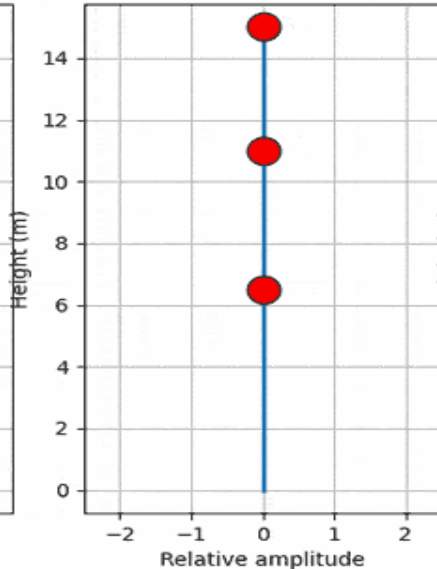
$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} \phi_{1,1} \\ \phi_{2,1} \\ \phi_{3,1} \end{Bmatrix}, \quad \omega_1 \quad \phi_2 = \begin{Bmatrix} \phi_{1,2} \\ \phi_{2,2} \\ \phi_{3,2} \end{Bmatrix}, \quad \omega_2 \quad \phi_3 = \begin{Bmatrix} \phi_{1,3} \\ \phi_{2,3} \\ \phi_{3,3} \end{Bmatrix}, \quad \omega_3$$

Natural frequency
Natural mode shape

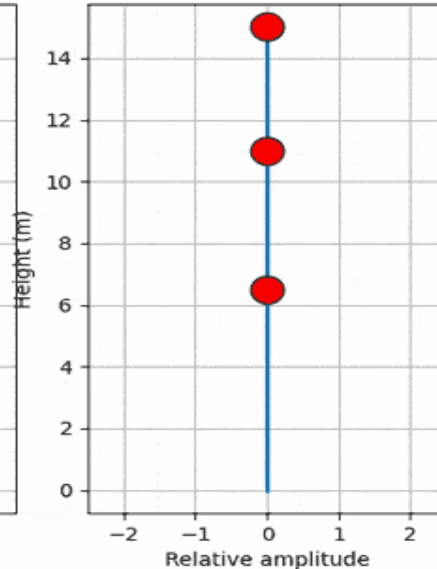
Mode shape
 $\omega_1 = 5.2$ rads/sec



Mode shape
 $\omega_2 = 16.0$ rads/sec



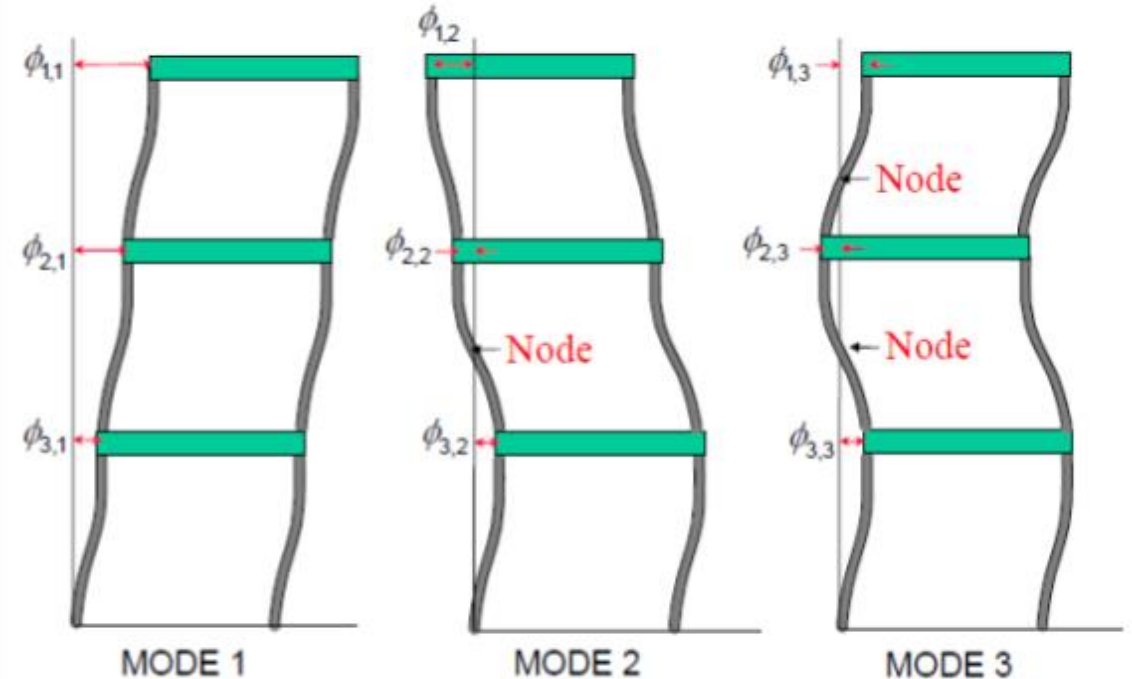
Mode shape
 $\omega_3 = 24.2$ rads/sec



$$[K - \omega^2 M] \cdot \phi = 0$$

Denklemin bir Eigen özdeğer çözümüdür. ϕ parametresinin sıfır olması hareketi ortadan kaldıracığından $[K - \omega^2 M]$ matrisini sıfır yapacak ω değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bu Eigen özdeğer problemi (3 kat 3 serbestlik dereceli olduğundan) n adet açısal frekans değeriyle Matrisi sıfır yapma çözümüdür. Mod numarasıyla mod şeklinin sıfırdan geçme sayısı ($n-1$) bir kontrol olarak denenebilir. Altta idealize edilmiş 3 mod şekli altta verilmiştir. Yüksek modların alçak modlara göre daha düşük frekans salınımda oldukları görülebilir. Modal deformasyon şeklinin sınır şartlarıyla (örneğin mesnet koşullarıyla) uyumlu olduğu kontrol edilmelidir. Herhangi ön tanımlı mesnet hareketinden doğan deformasyon şekli izlenen lineer modal kombinasyonu değiştirebileceğinin farkında olunmalıdır.

Üç katlı çerçevenin doğal serbest titreşim modları:



Temel Yapı Dinamiği:

Mod şekillerinin lineer Kombinasyonu (Koordinat transformasyonu):

$$U = \Phi Y$$

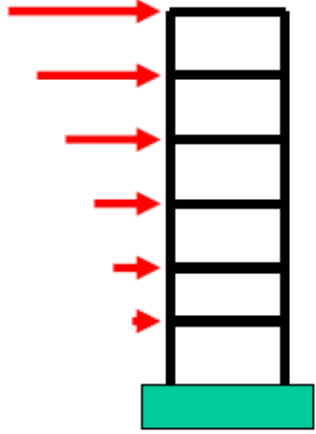
Mode shape

$$U = \begin{bmatrix} \phi_{1,1} & \phi_{1,2} & \phi_{1,3} \\ \phi_{2,1} & \phi_{2,2} & \phi_{2,3} \\ \phi_{3,1} & \phi_{3,2} & \phi_{3,3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} \quad U = \begin{Bmatrix} \phi_{1,1} \\ \phi_{2,1} \\ \phi_{3,1} \end{Bmatrix} y_1 + \begin{Bmatrix} \phi_{1,2} \\ \phi_{2,2} \\ \phi_{3,2} \end{Bmatrix} y_2 + \begin{Bmatrix} \phi_{1,3} \\ \phi_{2,3} \\ \phi_{3,3} \end{Bmatrix} y_3$$

Modal coordinate = amplitude of mode shape

Mod şekil matrisi fleksibilite matrisi benzeri olup yapının modal yer değiştirmesini tanımlayan gerçekteğerlerden oluşmaktadır. Mod şekil matrisinin sunduğu kolaylık ortogonal özelliğiyle K rijitlik matrisini diyagonal yığmasıdır.

Bina Deprem Yönetmeliklerinde Deprem Hesabı:



Modal Tepki Analizleri:

Tek mod analiz (Eşdeğer Yanal Deprem Yüğü Analizi)

Zaman tanım alanında ağır hesap yüküyle analiz yapmanın yerine tasarım spektrumları kullanılarak her bir mod için maksimum tepkiler hesaplanabilir. İstatistiki bir teknik ile (SRSS (Square Root of the sum of the squares) ve/veya CQC (Complete Quadratic Combination) kombinasyon oluşturulabilir.

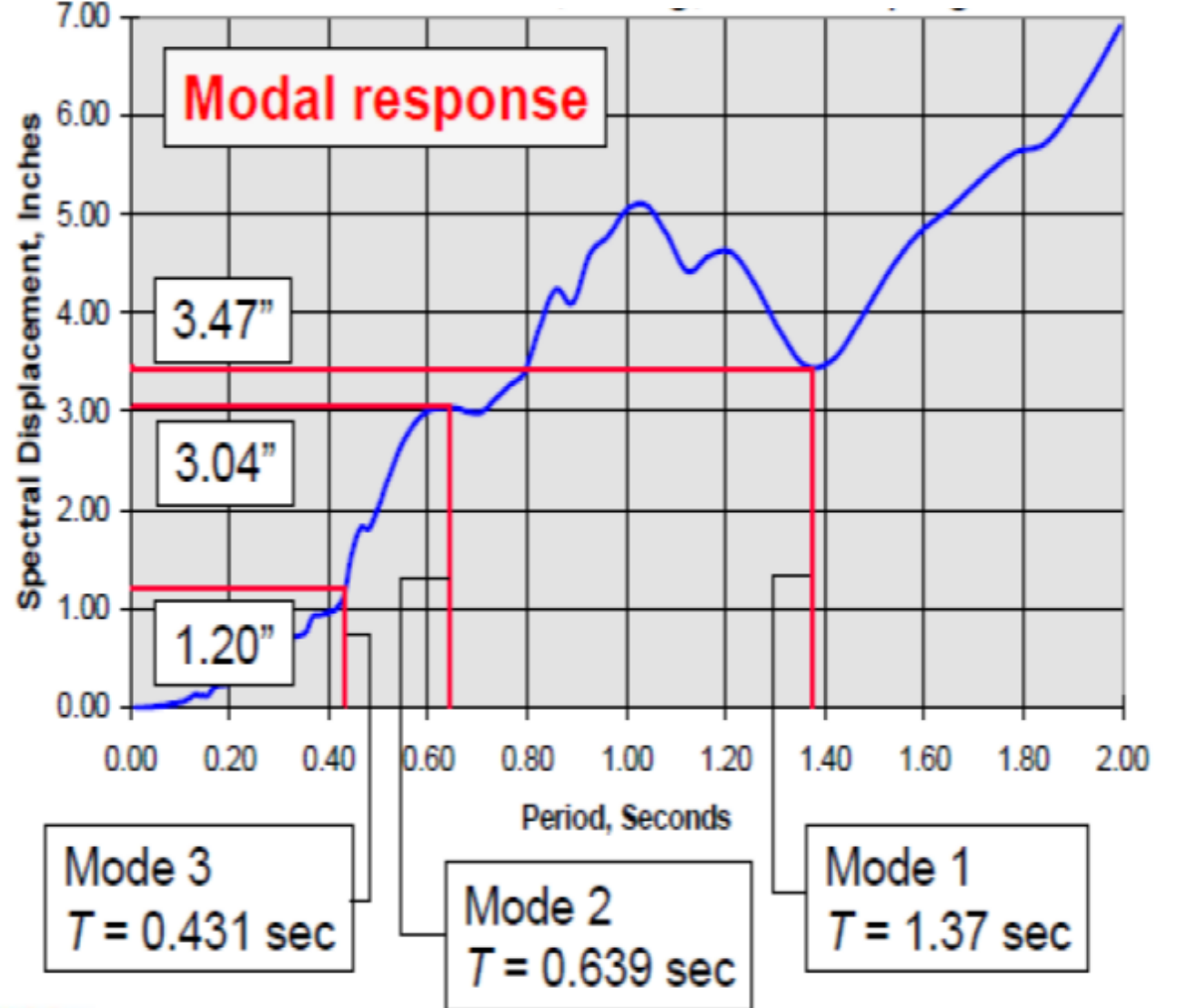
Yaklaşık bir metottur.

Eşdeğer yanal deprem yüküyle analizin temelini oluşturuyor.

İlk modun %85 kütle katılımına ulaştığı şartlarda tek mod analizinin basitleştirilmiş uygulaması Eşdeğer yanal yük ile deprem hesabıdır.

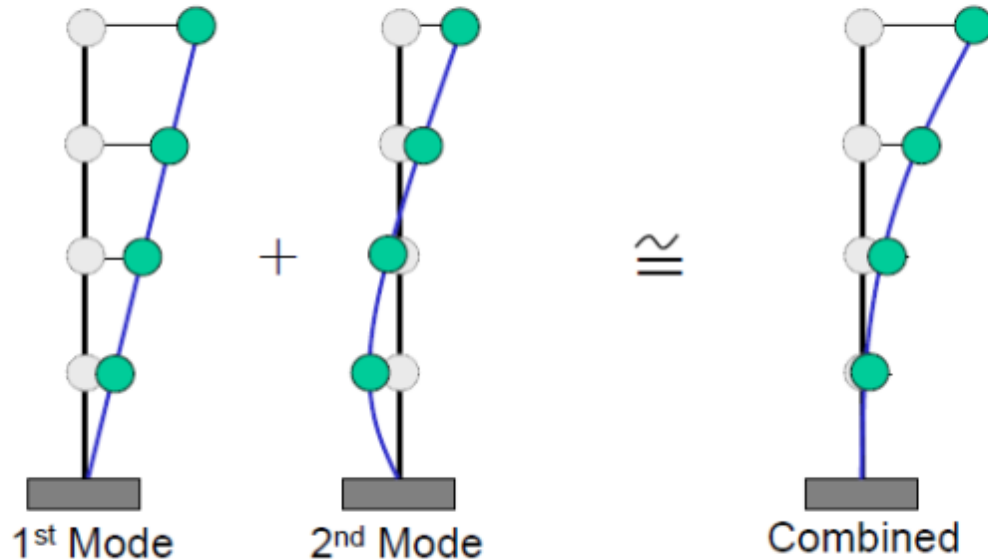
Tasarım Spektrum Metodu:

%5 sönümlü 1940 El Centro deplasman tepki spektrumu



Bina Deprem Yönetmeliklerinde Deprem Hesabı (ASCE):

Equivalent Lateral Force Procedure Higher Mode Effects



Instructional Material Complementing FEMA 451, Design Examples

MDOF Dynamics 4 - 115

ASCE 7 ELF Procedure Limitations

- Applicable **only** to “regular” structures with T less than $3.5T_s$. Note that $T_s = S_{D1}/S_{DS}$.
- Adjacent story stiffness does not vary more than 30%.
- Adjacent story strength does not vary more than 20%.
- Adjacent story masses does not vary more than 50%.

If violated, must use more advanced analysis (typically modal response spectrum analysis).

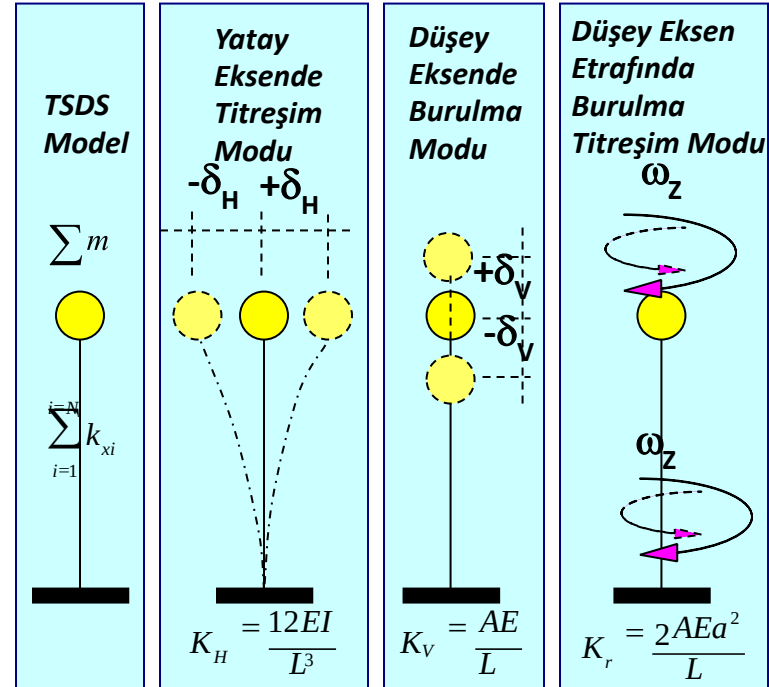
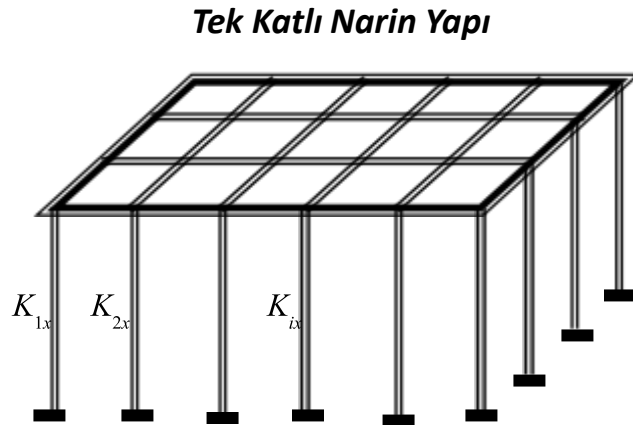
The main reason for the poor performance for the example is that the ELF method as developed so far is based on first mode behavior only. If higher modes are included, accelerations and inertial forces will be higher at the top. As explained later, the code adjusts the ELF method by assuming a “combined” first and second mode as shown.

Temel Deprem Mühendisliği Değerleri

Tek Serbestlik Dereceli Sistemler (TSDS)

İnşaat mühendisliği analizlerinde basitleştirmeler ve karışık olmayan modeller üzerinde çalışarak daha çok parametrelili yapı modelleri hakkında çıkarsamalar yapmak çok takip edilen bir yoldur. Bu yaklaşım içinde kalarak, biz narin kolonlara eğilmeye dirençli kiriş ve rijid döşemeden oluşan bir basit tek katlı ortogonal çerçeve için;

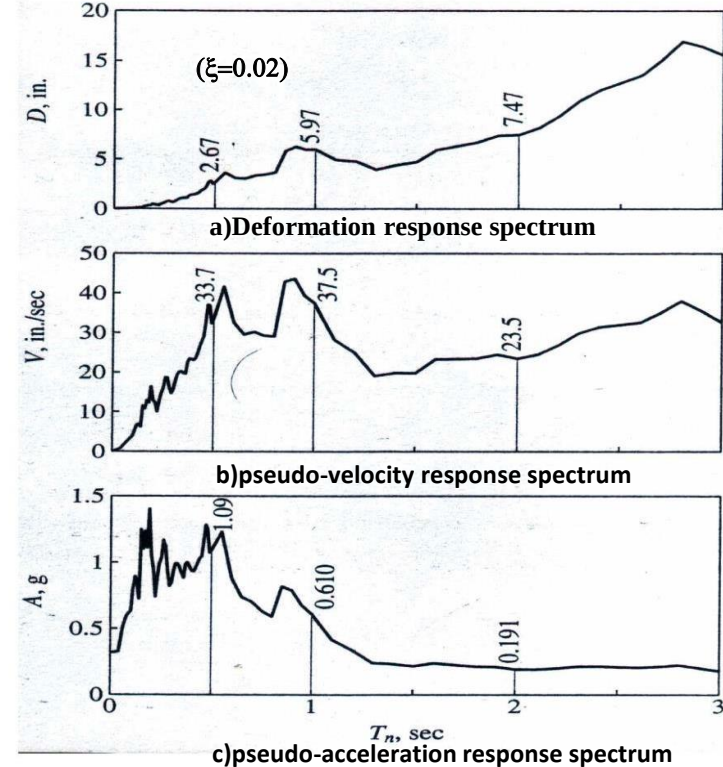
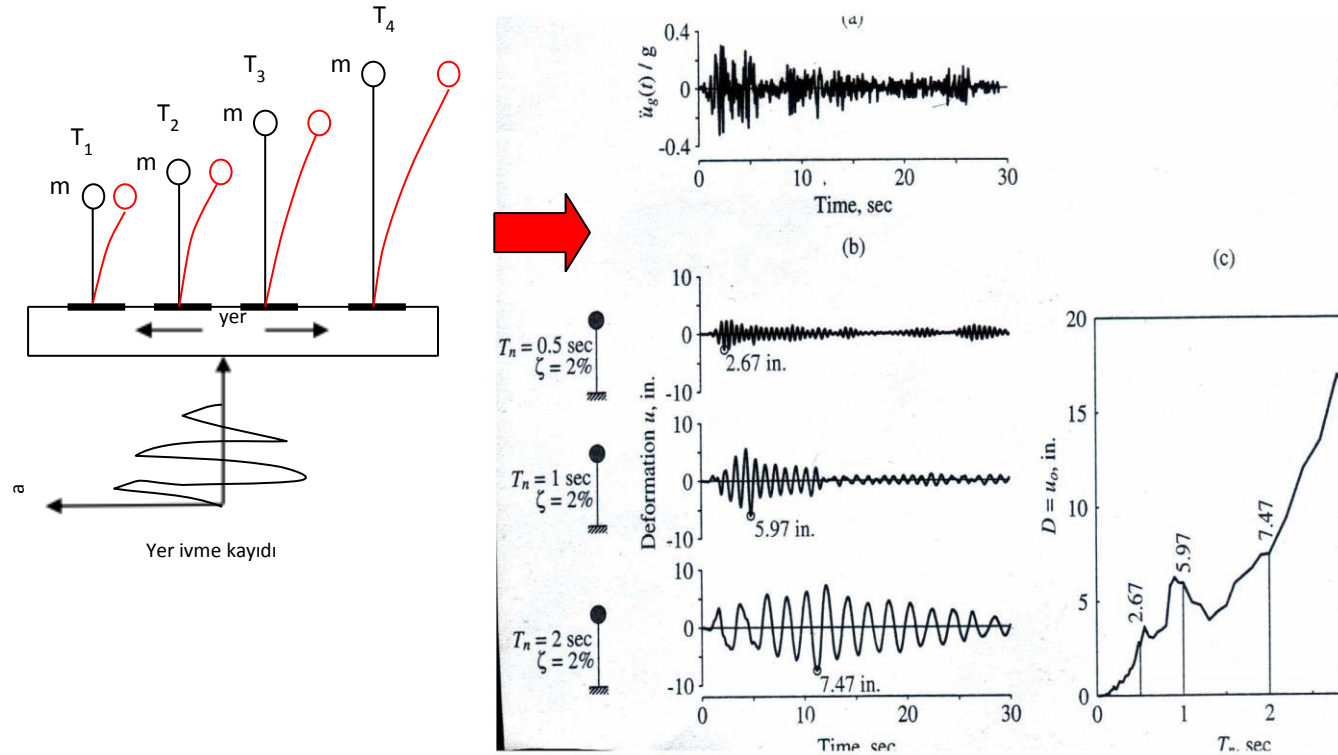
- 1) Yapı yükünün döşeme hizasında etkin olduğu kabulüyle yapı kütlelerini döşeme hizasında yoğunlaştırabilir,
- 2) Bu basit modelin yatay, düşey ve burulma gibi üç temel davranışı (üç serbestlik dereceli bir sistem) sergileyebileceğini bildiğimiz halde, mühendislik pratiği olarak gözlediğimiz en hakim hasar mekanizması olan yanal ötelenmeyi önemseyerek sadece yatay hareketini öne çıkarabilir diğer serbestliklerinin toplam hareketde önemsiz bir kemiyet tuttuğunu düşünerek göz önüne almayıp basitleştirdiğimiz bu modeli tek serbestliği yatayda olan bir yapı modeli olarak düşünebilir,
- 3) Tek kütleli ve toplam kolon rijidliğini temsil eden bir eşdeğer kolon ile tek serbestlik dereceli bir sistem (TSDS) olarak kabul edebiliriz.



Temel Deprem Mühendisliği Değerleri

Tepki Spektrumu

- M.A. Biot tarafından 1932 yılında ortaya atıldı.
- G.W. Housner tarafından içerik ve uygulama yaygınlık kazandı.
- Genel olarak Tepki Spektrumu yer hareketini ve yapılardaki etkilerine pratik anlam yükleyerek fenomenin karakteristik özelliklerini çözmede bir ayırıcı ölçek olarak kullanılıyor.
- Değişik yapıları temsil eden Tek Serbestlik Dereceli (TSD) farklı periyodlu fakat eşit kütleli yapıların aynı depremin bir bileşenine karşı gösterdikleri tepkilerin maksimumlarının oluşturdukları eğri tepki spektrumunu oluşturmaktadır.



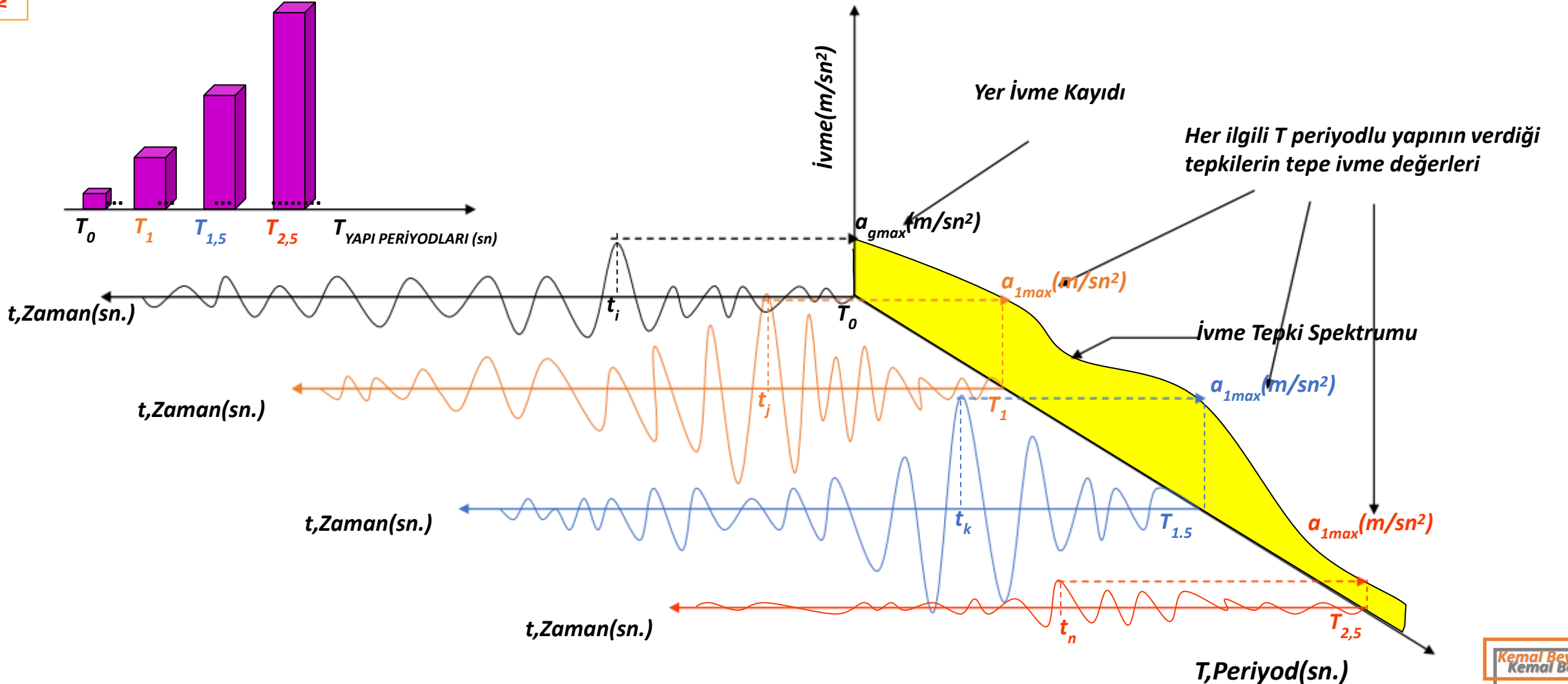
$$S_v = \frac{d(S_d)}{dt} = S_d * w$$

$$S_a = \frac{d^2(S_d)}{dt^2} = S_d * w^2$$

Temel Deprem Mühendisliği Değerleri

TEPKİ SPEKTRUMLARI :

Deprem mühendisliğinde en yaygın ve basit tanımıyla, '**Spektrum**'; Geniş bir periyod bandı içinde bulunan yapıların eşdeğer TSD muadillerinin maruz kaldıkları depreme karşı verdikleri tepkilerin maksimumlarının tek bir grafik üzerinde gösterilmesidir. Bir diğer ifadeyle, verilen bir deprem yer hareketine karşı TSDli değişen periyodlu yapıların belirli bir sönüm oranıyla (örneğin %5 kritik sönüm ile) gösterdikleri maksimum tepkiler koleksiyonudur.

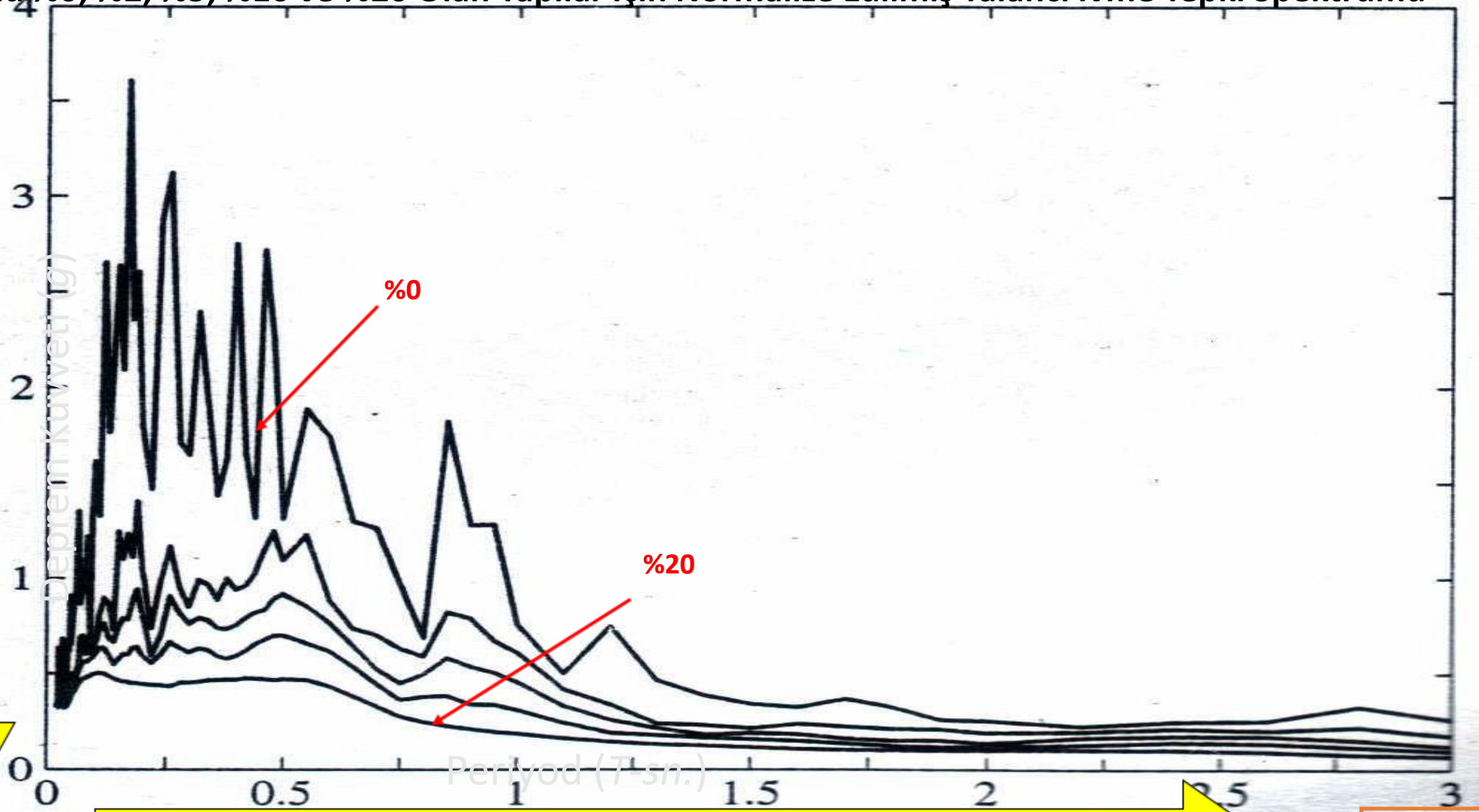


Yapısal Sönüm Çok Önemlidir. Bu elastik bir bünye ve uygun inşaat malzemeleriyle sağlanır.

Temel Deprem Mühendisliği Değerleri

Sönümü %0, %2, %5, %10 ve %20 Olan Yapılar İçin Normalize Edilmiş Yalancı İvme Tepki Spektrumu

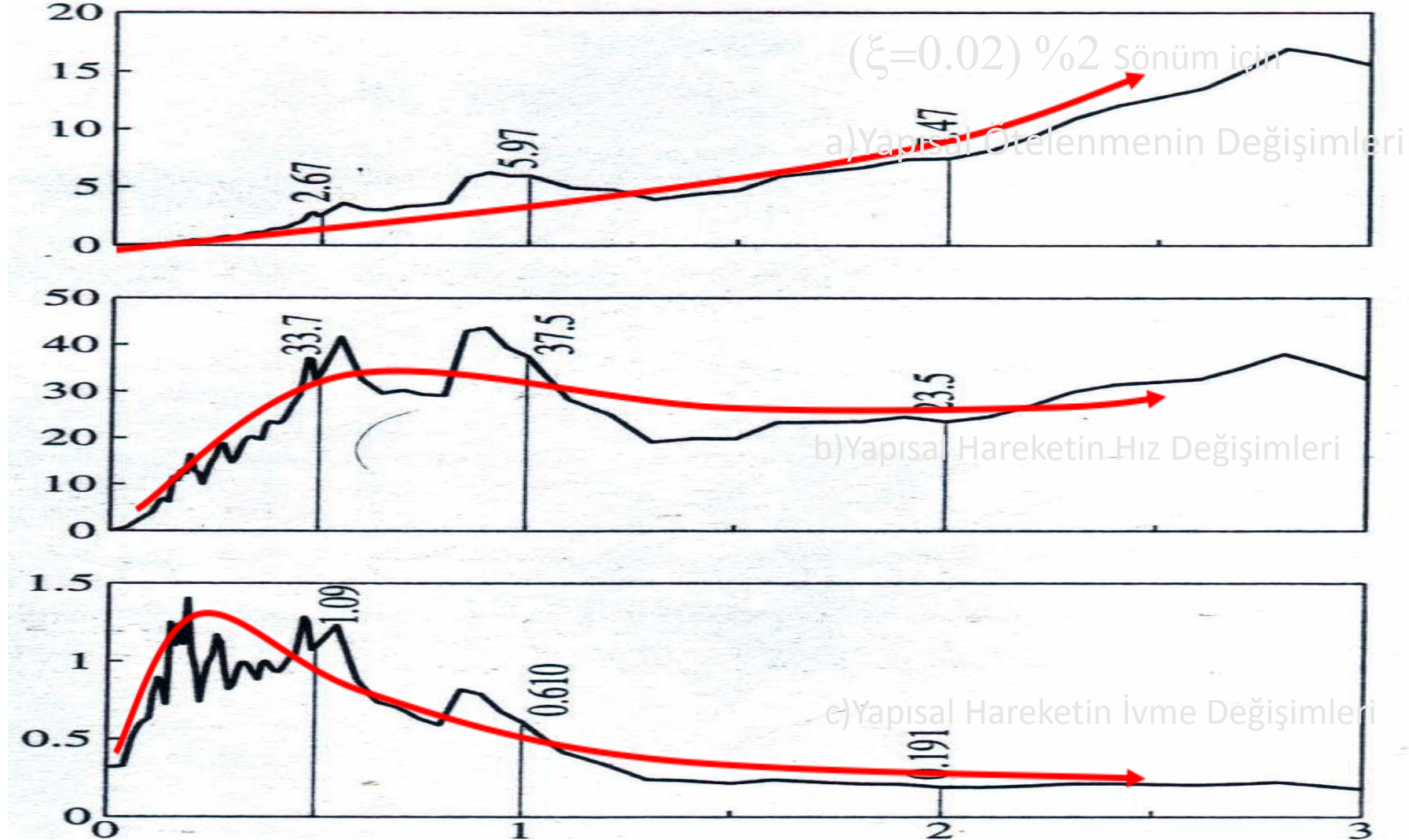
Yapısal sönüm arttıkça Yapının alacağı Deprem Kuvvetleri azalır.



Yapısal Esneklik arttıkça Yapının alacağı Deprem Kuvvetleri azalır.

Temel Deprem Mühendisliği Değerleri

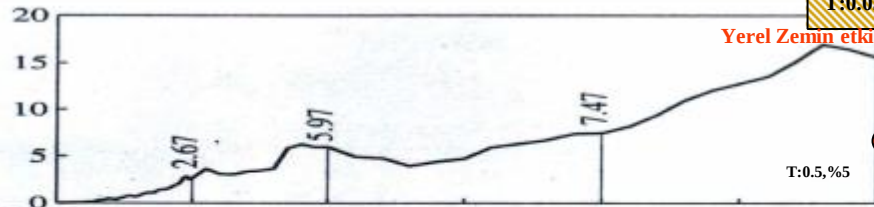
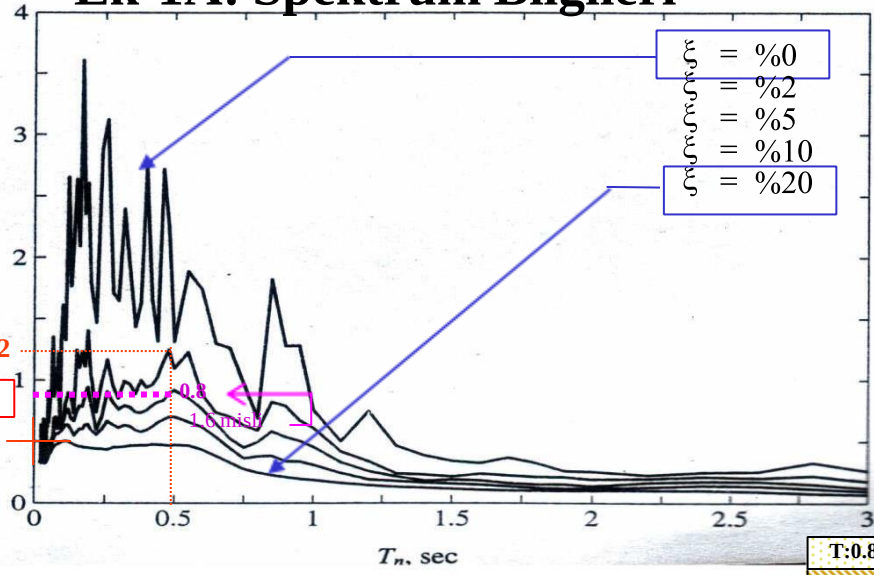
Deprem Esnasında Yapı Tepki Spektrumlarında Deprem enerjisinin ürettiği Deplasman, Hız ve İvme değişimleri



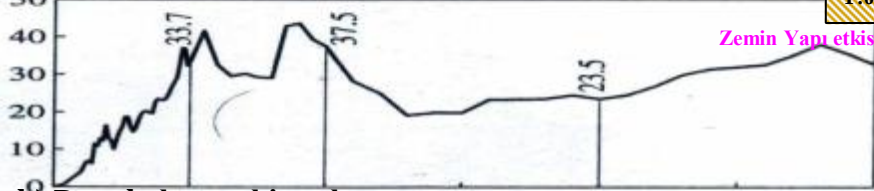
Ek-1A: Spektrum Bilgileri

Yapı Dinamiği
 $f_{50}/w = A/g$

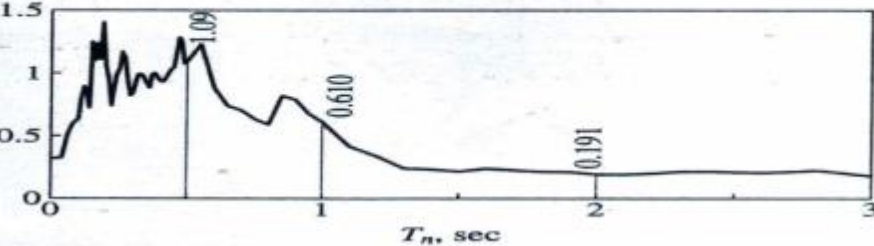
1.2
2.4 misli
0.5



a) Deplasman tepki spektrumu



b) Pseudo hız tepki spektrumu



c) Pseudo ivme tepki spektrumu

Aynı depremin g'ye göre normalize edilmiş ivmelerinin tepki spektrumlarını ($\xi = \%0, \%2, \%5, \%10, \%20$) sönüm oranı için çizdirildi. Elde edilecek grafik bize çok değişik bilgiler verir.

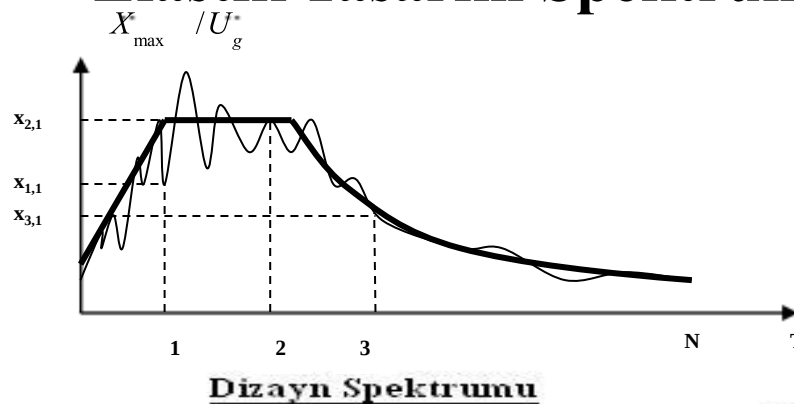
- İvme spektrumu, TSD yapının hissettiği yapısal ivme olduğu düşünülerek spektrumun başına "pseudo", "yalancı" anlamında bir sıfat konularak "Yalancı İvme Spektrumu" adını verilir.
- Çok düşük periyodlu bir yapının (çok rijit) zeminin yüzeyindeki davranış ile aynı davranışı bire-bir intikal ettirdiği düşünülerek (%0 sönüm) Pseudo İvme Spektrum'undaki çok düşük T'ye tekabül eden ivme, yer ile takriben aynı olduğunu kabul edebiliriz.
- Dahası, kaydın alındığı zeminin periyot bilgisi biliniyorsa, mesela 0,5 sn'lik alüvyon zemin olsun. Bu zemindeki sönüm oranı %2 olsun. Bu bilgiler ile zeminin spektral ivmesinin yaklaşık olarak 1,2 olduğunu (Spektral İvme Oranı) okuyabiliriz. Bu bilgiyi çok düşük periyotlu "0" sönüm oranıyla davranan örneğin; 0,05 periyotlu -çok rijit yapının- 'nın hissettiği 0,5 (ivme katsayısı) ile oranlarsak $1.2 / 0.5 = 2.4$ katı zemin büyütmesi olduğunu tek tabakalı (TSD) olduğunu düşünerek söyleyebiliriz.
- Bu şekli ile dahi mühendislik kararları almada bize kaba bir öngörü vermektedir. Bir mühendislik yapısı için konuşacak olursak, çok düşük periyodlu TSD'li sistemin %0 sönüm ile yer ivmesine tekabül ettiğini düşünelim. Üst yapının ise 0,5 periyotlu %5 sönümlü bir binanın spektral ivme katsayısı 0,8 alınırsa, $0.8 / 0.5 = 1.6$ katı ivme büyütmesine maruz kaldığını anlarız. Burada, bütün bu örneklerden görüleceği gibi sadece çok küçük periyottan çok rijit bir yapıyı, bu rijit yapısında yer ivmesini temsil ettiğini sönüm şartları altında unutmamalıyız.
- Çok düşük periyodda çok az deplasman, büyük periyodda ise büyük deplasmanlar gözleniyor.
- Hızın etkinliği, orta periyod bölgesindedir. Faya yakın yapılarda büyük periyodlu yüksek hızlı deprem dalgaları yine benzer periyodlu yapılar için rezonans şartlarını üretir.
- Büyük periyodlarda yapı çok az ivmelere maruz kalmakla beraber çok büyük deplasmanları alır. Deprem izolasyonlu binaların periyotlarını büyütmeyle yapıya gelecek ivmeyi küçültmemize mukabil izolatörün deplasmanını büyüttüğümüzün farkında olmalıyız, bu ise izolatör deplasmanlarının sınırlandırılmasını kaçınılmaz kılıyor.

Ek-2: Elastik Tasarım Spektrum Üretme

Tepki Spektrumu ile Tasarım spektrumu çok karıştırılmaktadır. Şekiller aynı gibi görünmekle beraber farklılıkları özetlersek;

- 1) Tepki Spektrum'u TSD'li değişik periyodlu yapıların belirli bir sönüm özelliği ile belirli bir yer hareketine gösterdikleri tepki hikayesinin maksimumlarıdır.**
- 2) Oysa Tasarım Spektrumu benzer bir şekilde değişen periyodlar ve belirli bir sönümün özelliği (%5) ile belirli bir sismik aktiviteli bölgenin farklı depremlerinden oluşmuş bir koleksiyon depremlerine (50 yıl dönüşümlü aşılma olasılığı %10 olan depremlere) verilen tepkilerin maksimumlarının istatistiki bir değerlendirmeden elde edilen sonuçlarına uydurulan bir zarf ile oluşturulmuştur.**

Elastik Tasarım Spektrumu

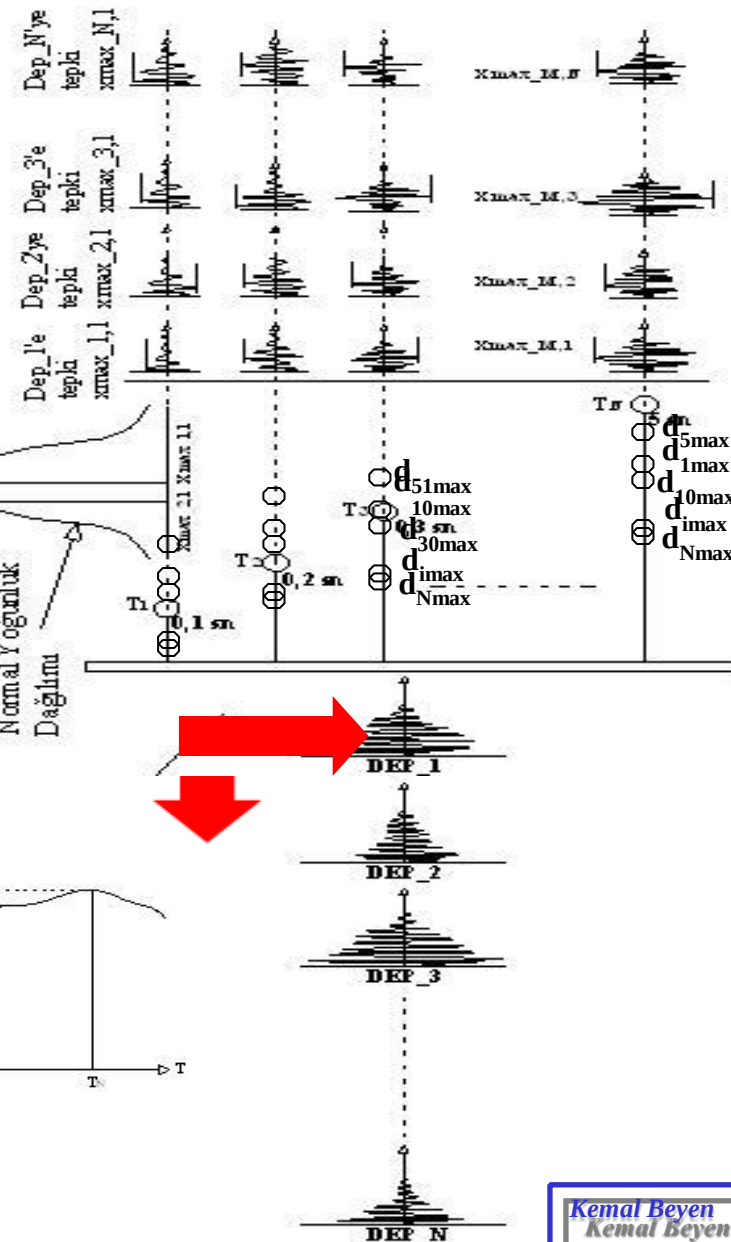
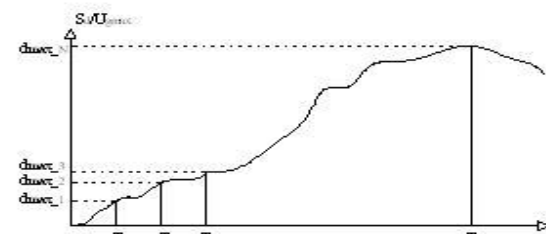
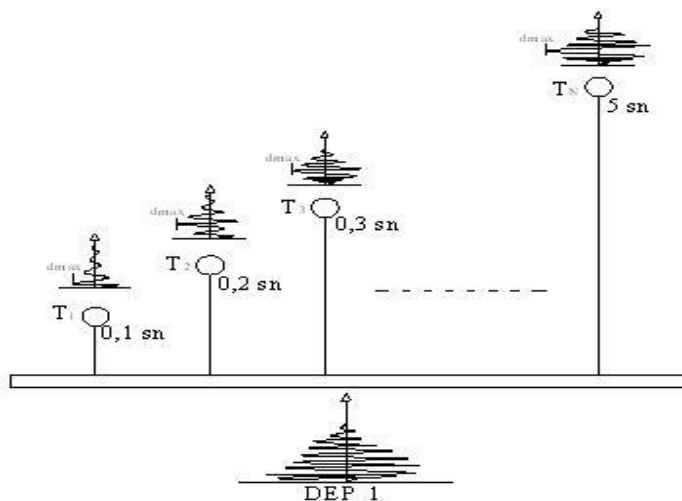


İstatistiki veri ağırlığının hakim olmasının bulunması

Normal Y Dağılımı

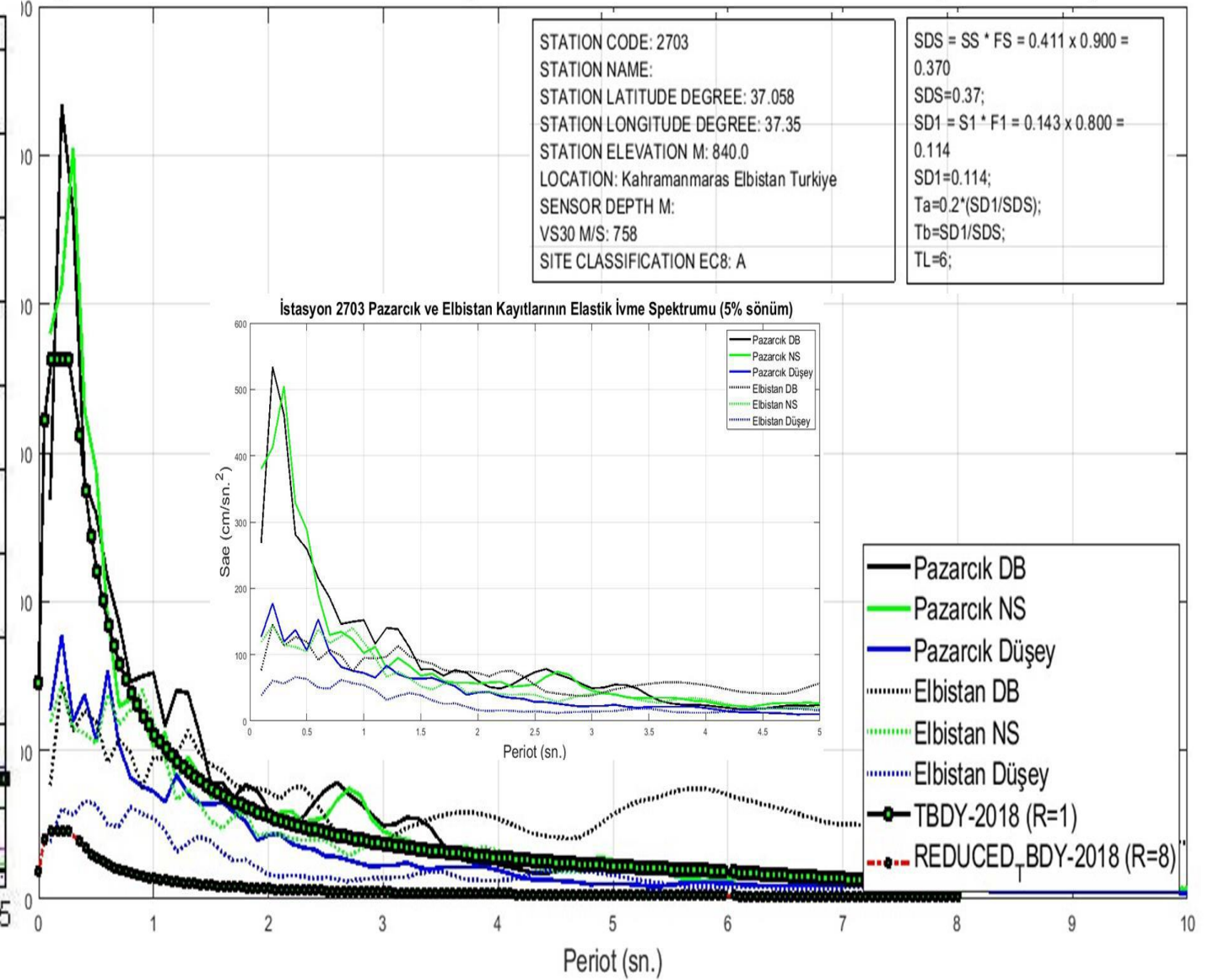
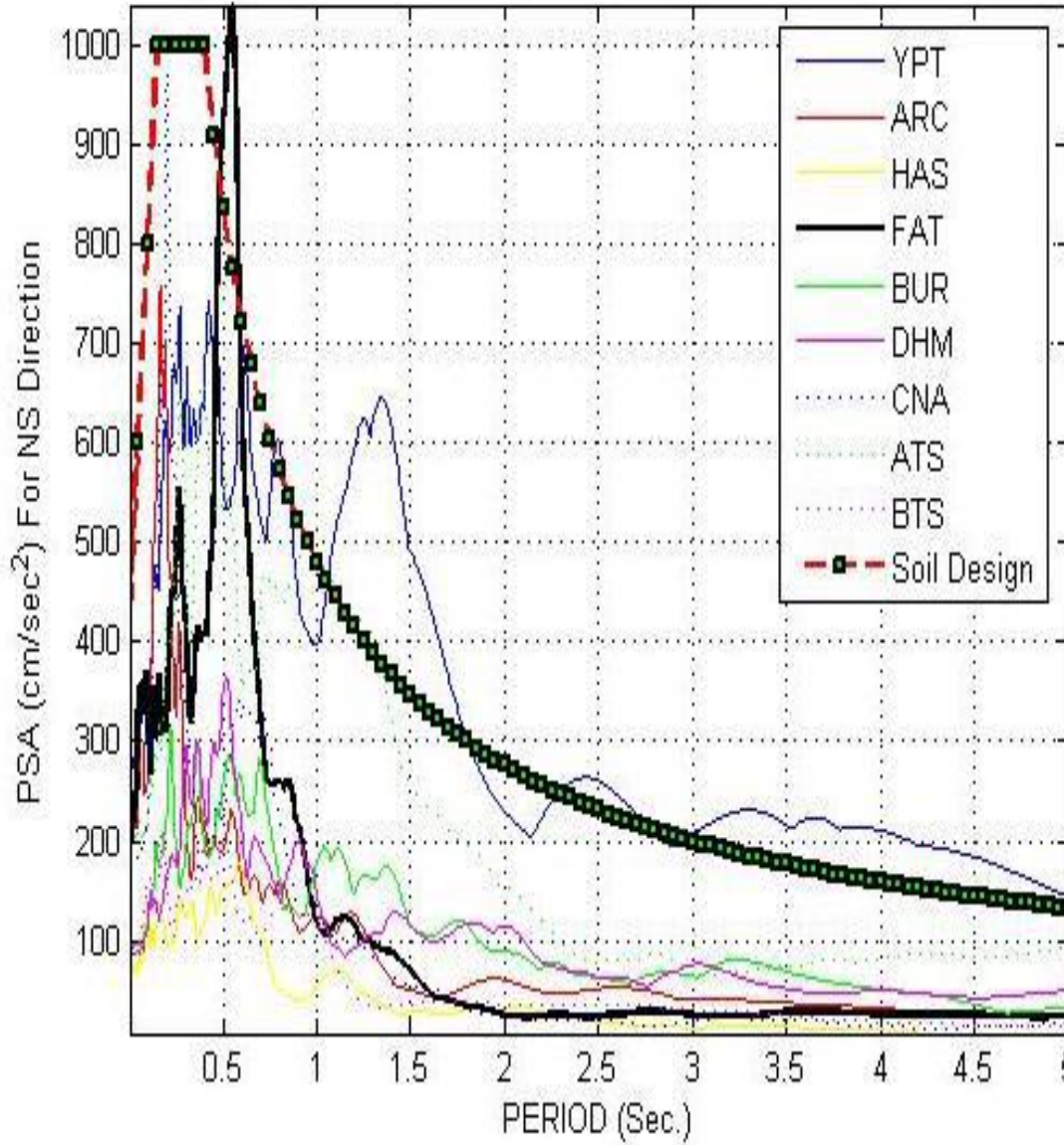
Normal Y
Dažlīm

Dagšlīm



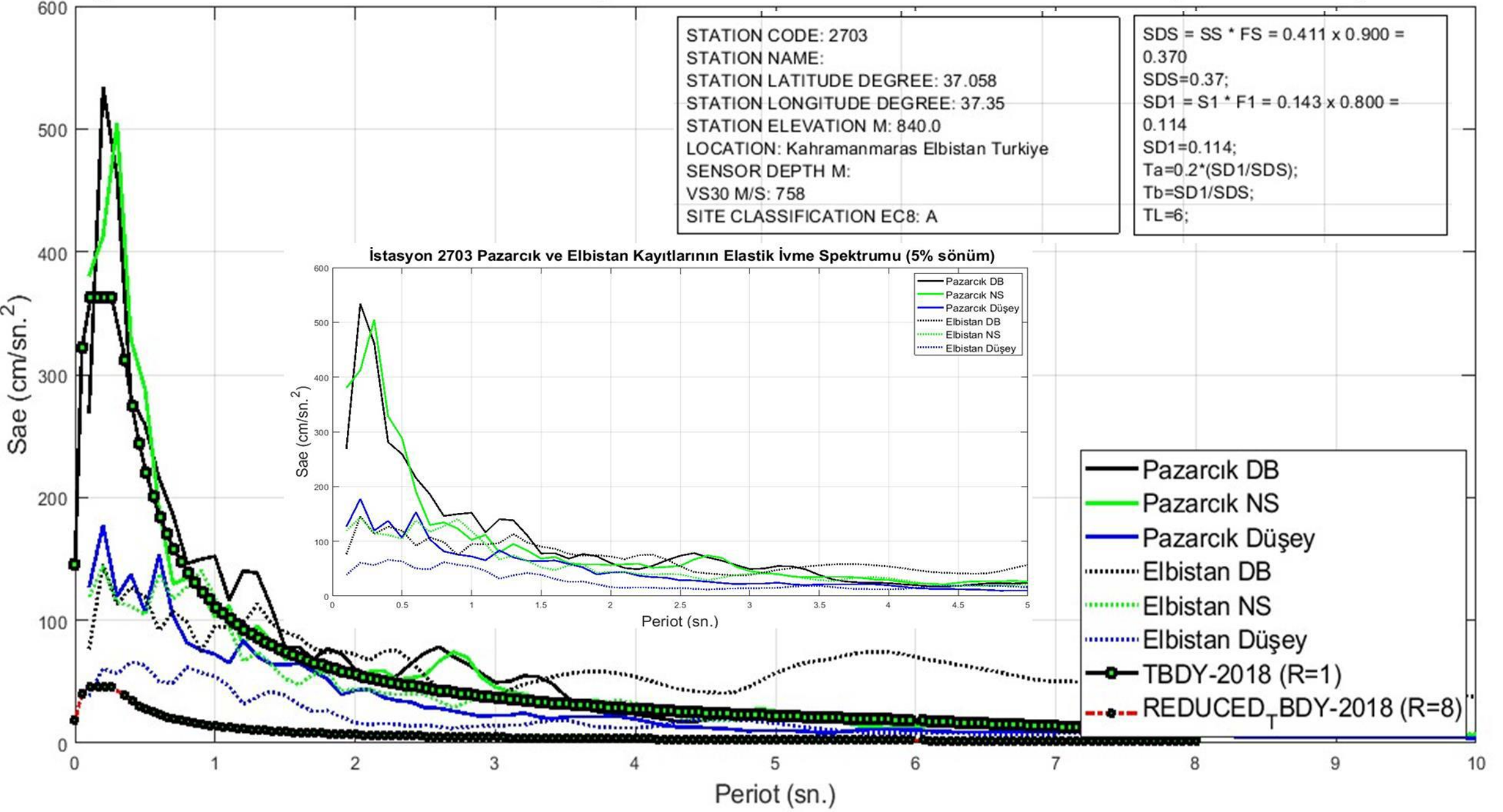
Ek-3: Yapı Deprem Mühendisliği Uygulaması

İstasyon 2703 Pazarcık ve Elbistan Kayıtlarının ve TBDY-2018 Elastik İvme Spektrumları (5% sönüm)



17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi KRDAE istasyonlarının Kuzey bileşenlerinin %5 sönümlü ivme spektrumları

İstasyon 2703 Pazarcık ve Elbistan Kayıtlarının ve TBDY-2018 Elastik İvme Spektrumları (5% sönüm)



İnşaat Mühendisliği Açısından Spektrumlar

Kısım - 3

Yer Hareketi Tanımında Kullanılan Temel Mühendislik Parametreleri

Deprem Karakteristiğini Oluşturmaktadır

Depremi üç temel karakteristiği:

- Genlik
- Frekans içeriği
- Deprem etki süresi

Genlik

Yaygın genlik formları:

- Yer ivmesi tepe genliği [peak ground acceleration (PGA, PHA veya PVA)]
- Yer hızı tepe genliği [peak ground velocity (PGV, PHV veya PVV)]
- Yer deplasmanı tepe genliği [peak ground displacement (PGD)]
- Efektif ivme (Newmark and Hall, 1982)
- Etkin maksimum ivme [sustained maximum acceleration (Nuttli, 1979).]

Frekans İçeriği

Yer hareketinin frekans muhteviyatı genellikle Fourier, Güç (Power) ve tepki spektrumları gibi spektral bilgiler ışığında anlaşılabilir. Spektral parametreler hakim periyod, ilk modal periyod, periyod bandı veya bunların frekans karşılıklarını, modal periyod (modal frekans) vs. değerlerini içerir.

Diğer Parametreler

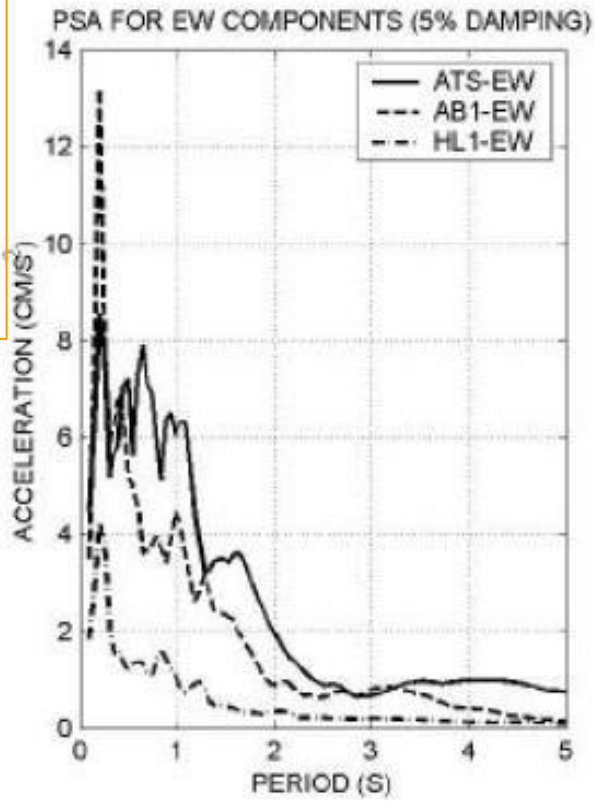
Genlik ve frekans içeriğini birlikte görebileceğimiz diğer gösterim şekilleri.

- Arias intensity-şiddet eğrisi
- Housner intensity -şiddet eğrisi
- rms acceleration

Deprem Etki Süresi

Bir inşaat/deprem mühendisi için Kuvvetli yer hareketinin etken süresi depremin etkiyen toplam süresinden daha önemlidir. Bazı tanım örnekleri olarak;

- Pencerelenmiş süreç [bracketed duration (Bolt, 1969)], 0.05g gibi bir sınır ivme değerinin aşılması ve sonrasında bu değerin altına düştüğünün en son görülmesi aralığında geçen zaman
- D_{5-95} (Trifunac and Brady, 1975): Toplam enerjinin %5 ve %95 arasında geçen zaman süresi
- Köşe periyodu, [corner period (Boore, 1983)]: Kuvvetli yer hareketi Fourier Spektrumunun köşe frekansının karşılığı periyod.
- Eşdeğer halka sayısı, [number of equivalent cycles (Seed et al., 1975)]: Harmonik gerilme halkaları (ilmikleri) serisi olarak yer hareketinin temsil edilmesi (sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmesinde kullanılmak amacıyla)



Tepki Spektrumunun Mühendislik Olarak Anlamı

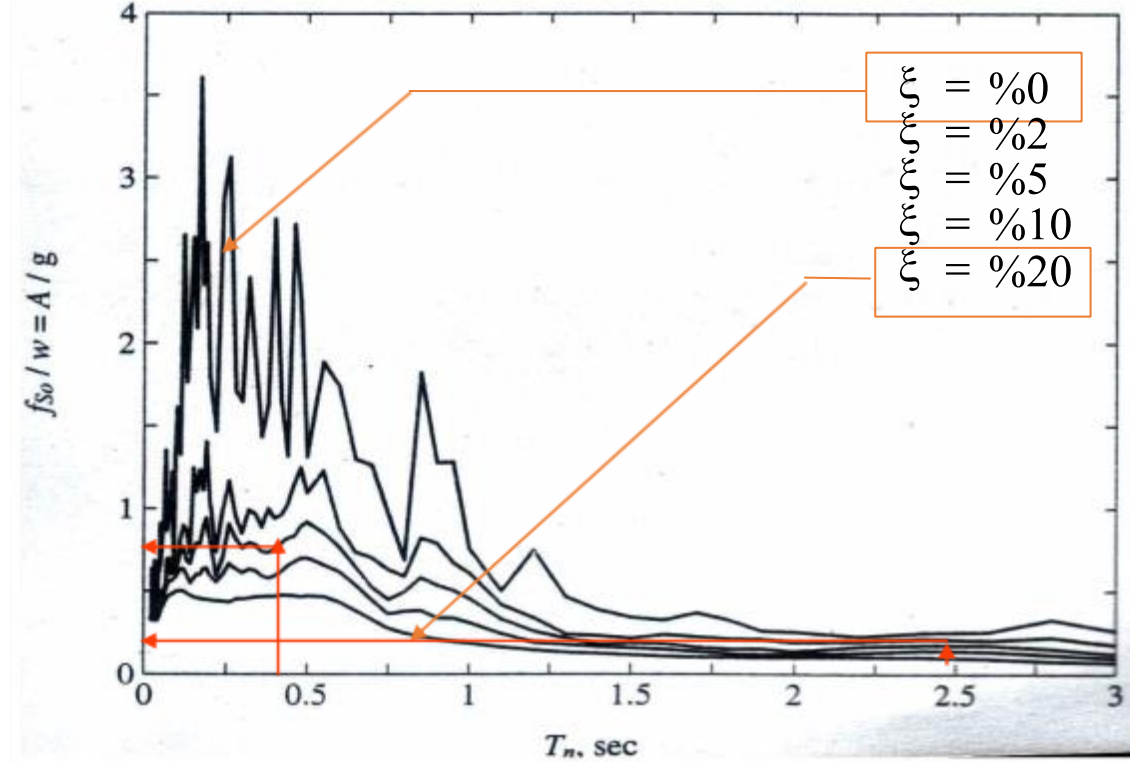
1- Fourier spektrumu, deprem dalgasının karakteristiğini (genlik, faz bilgileri), frekans/periodyok eksenli olarak gösterir. Yapı mühendisliği kavramları ile direkt ilişkisinin olmadığı ilk göze çarpan eksiklikler. Bu boşluk TSD bir sistemin tepki spektrumlarıyla doldurmaya çalışılmış ve TSD sistem ile temsil edilen taşıyıcı sistemin maruz kalacağı depremlere karşı davranışı içinde ürettiği maksimum etkiler (ötelenme, hız, ivme) MÜHENDİSLİK OLARAK daha anlaşılır KAVRAMLAR olduğu görülmüştür.

2- İvme mukabele spektrumu, yapılar etkiyen kuvvetin (zeminden yapıya deprem girişı) değerlerini tepki değeri olarak $(x, y)_{\max}$ maksimum mutlak ivme olarak hesaplar. Dolayısıyla yapıda meydana gelen maksimum kesme kuvveti;

$$Q_{\max} = m(x, y)_{\max}$$

Yapı ağırlığı W 'ye oranı taban kesme katsayısını (C) verir.

$$C = \frac{Q_{\max}}{W} = \frac{m(\ddot{x}, \ddot{y})_{\max}}{mg} = \frac{(\ddot{x}, \ddot{y})_{\max}}{g} = \frac{Sa(\xi, T)}{g}$$



Ör: 0.2g'lik bir depreme maruz BArme ($T=0.4$ sn. ve $\xi:0.05$) ile çelik çok katlı bir yapı ($T=2.5$ sn. ve $\xi:0.02$) çiftinin taban kesme kuvveti katsayıları;

Yapı Periyodu T (sn.)	Yapı Sönüm Oranı	C:Taban Kesme Kuv. Katsayısı
0.4	0.05	0.08
2.5	0.02	0.02

Görüldüğü gibi aynı deprem etkisinde yapıların deprem kuvvetlerini algılaması yapının doğal periyodu ve sönüm oranlarıyla (yapı karakteristiği ile) değişmektedir

Tepki Spektrumunun Mühendislik Olarak Anlamı

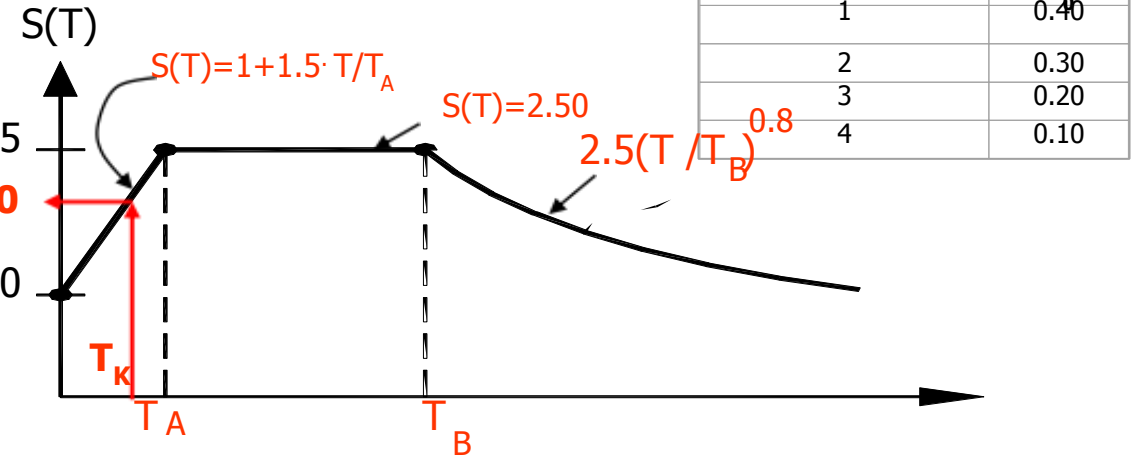
Bu değişim, aynı deprem katsayısının bütün yapılar için kullanıldığı statik (eşdeğer yanal yük) analizin tutarsız olduğunu gösterir. Özellikle küçük periyodlu kısa yada rijid yapıların taban kesme kuvveti katsayıları yüksek, buna mukabil uzun periyodlu yüksek yapıların taban kesme kuvveti katsayıları önerilene göre oldukça küçük kalmaktadır.

$C_{STATIK\ YÖNETMELİK}$	<	C_{T_KISA}	depremi karşılayan kötü tasarım
$C_{STATIK\ YÖNETMELİK}$	>	C_{T_UZUN}	depremi karşılayan iyi tasarım

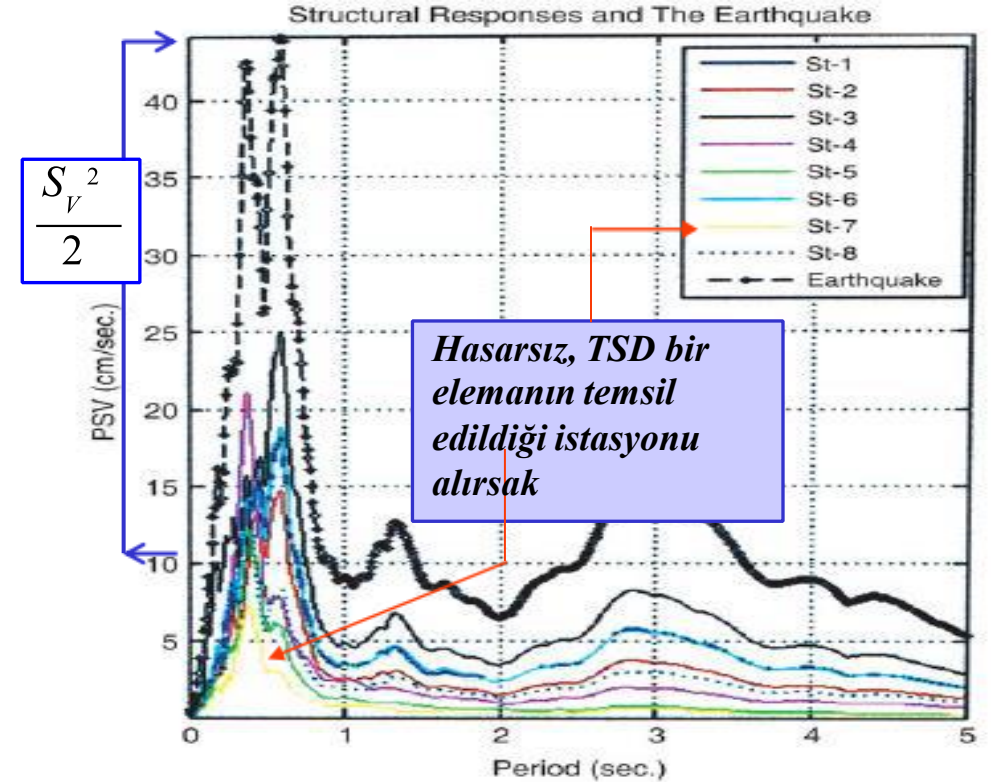
3- Hız tepki spektrumu deprem hareketinin yapılara verdiği maksimum enerjiyi ifade etmektedir. Yapı yay katsayısını k , ve maksimum yer değiştirmeyi X_{max} olarak ifade edersek,

$$\begin{aligned} \text{Maksimum Şekil Değiştirme Enerjisi} &= \frac{k \cdot X_{max}^2}{2} \\ \text{Birim Kütle Başına Maksimum Enerji} &= \frac{k \cdot X_{max}^2}{2m} \\ &= \frac{w^2 X_{max}^2}{2} \\ &= \frac{S_v^2}{2} \end{aligned}$$

Hız tepki spektrumu bir çeşit güç spektrumu olarak da yorumlanabilir. Burada **yapı tepki spektrumunda** yatay eksenin **yapısal frekans**, **güç spektrumunda** ise **depremin frekansı** olduğunu fark etmeliyiz.



Deprem Bölgesi	A
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10



Tepki Spektrumunun Mühendislik Olarak Anlamı

Belirli rijidliğin mesela periyodu 0.1 sn – 2.5 sn arasında değişen yapıların hız tepki spektrumu bir çeşid güç spektrumu olarakda gözlenebileceğini iddia eden Housner, bu periyod aralığındaki enerjinin toplamını ifade eden denklemi (Spektral Şiddet, Spektral intensity);

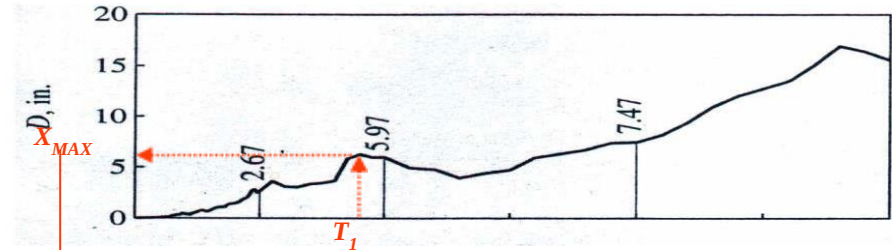
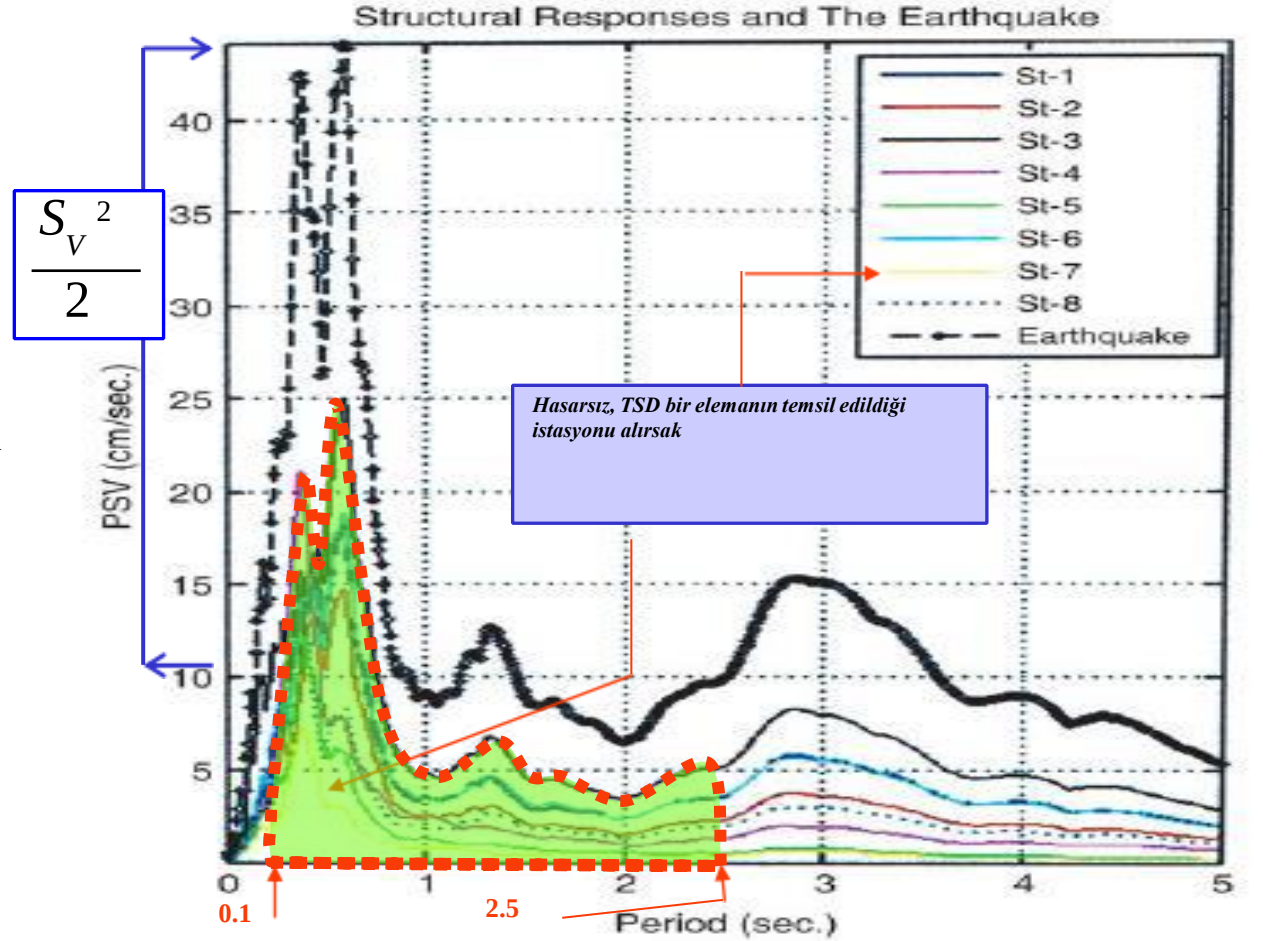
$$I_h = \int_{0.1}^{2.5} S_V(\xi, T) dT$$

Depremin yıkıcı gücünü gösteren bir indeks olarak önermiştir. Burada S_v altındaki alanın İvme tepki spektrumunun taralı kısmının alanına karşı geldiğini unutmayalım.

4- yerdeğiştirme tepki spektrumu, yerdeğiştirme veya şekil değiştirmenin büyüklüğünü göstermekte olup, yapı içindeki gerilmelerle ilişkilidir. Doğal periyodu ile sönüm oranına göre yer değiştirme tepki spektrumunda okunan değer, $X_{max}(T_{yapı}, \xi)$ olduğundan, yay sabiti, k ile çarpılması ile maksimum kesme kuvveti elde edilebilir.

$$Q_{max} = k.X_{max}$$

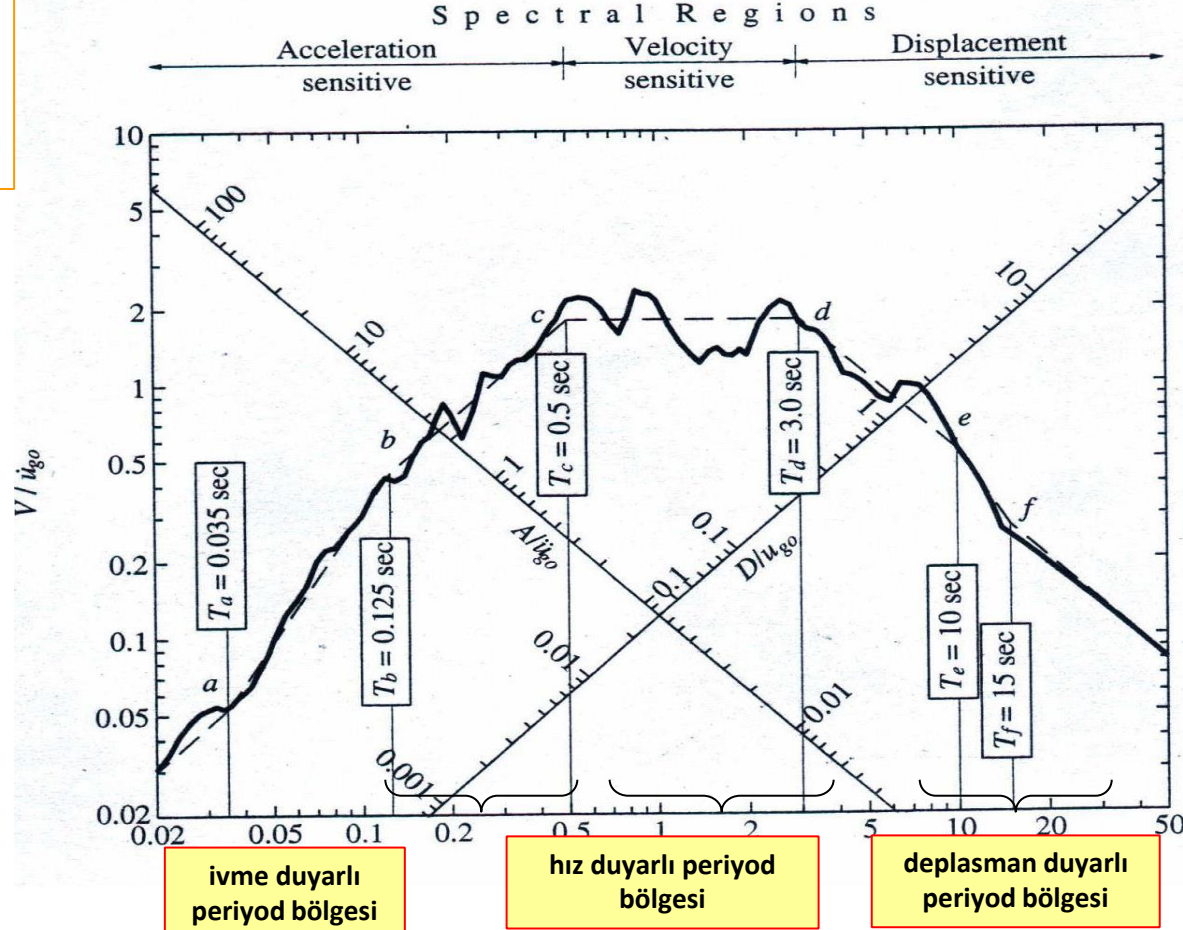
5- Tepki spektrumu TSD bir sistem içindir. Fakat karışık ÇSD bir sistemin titreşimleri, modal ayrıştırma yöntemiyle basit TSD bir sürü sistemin titreşimlerinden oluştuğu düşünülecek olursa, TSD titreşim bileşenlerine ayrılabilir. Tepki spektrumuna göre, her bir alt modun (bileşenin) tepkisi bulunduktan sonra bunların birleştirilmesiyle (süperpoze ederek) kompleks ÇSD bir yapının tepkisi bulunabilir.



$$Q_{max} = k.X_{max}$$

Duyarlı periyod bölgeleri

Elastik Tasarım Spektrumu



Üç parçalı gösterimi olan spektrum yaklaşık üç periyodik bölgede düşünülürse. Küçük periyodlu bölge ivme hassaslığı yüksek bölge, orta periyod bölgesi hız'a duyarlı bölge ve uzun periyodlu bölge deplasmana duyarlı bölge olarak çok açıktır.

Küçük periyod bölgesinde Spektral genlik yer ivme genliklerine duyarlı, buna mukabil uzun periyod bölgesinde yer deplasman genliklerine duyarlılıktan bahsettik. Şüphesiz ivme duyarlı kısa periyod rijit yapının da davranışını açıklayan bir özelliktir, benzer şekilde uzun periyod fleksibil (elastik) yapıları tarifler ve büyük deplasman mümkündür.

Spektral genlikler bir çok bölge için ivme, hız ve deplasman genliklerinin tepe değerleri ve periyod eksenindeki kapladıkları büyüklükler ve oranlarıyla açığa çıkan duyarlı periyod uzunlukları ile değişmektedir.

PGD=Peak Ground Displacement=Yer Ötelenmesi Tepe genlik değeri

PGV=Peak Ground Velocity=Yer Hızı Tepe genlik değeri

PGA=Peak Ground Acceleration=Yer İvmesi Tepe genlik değeri

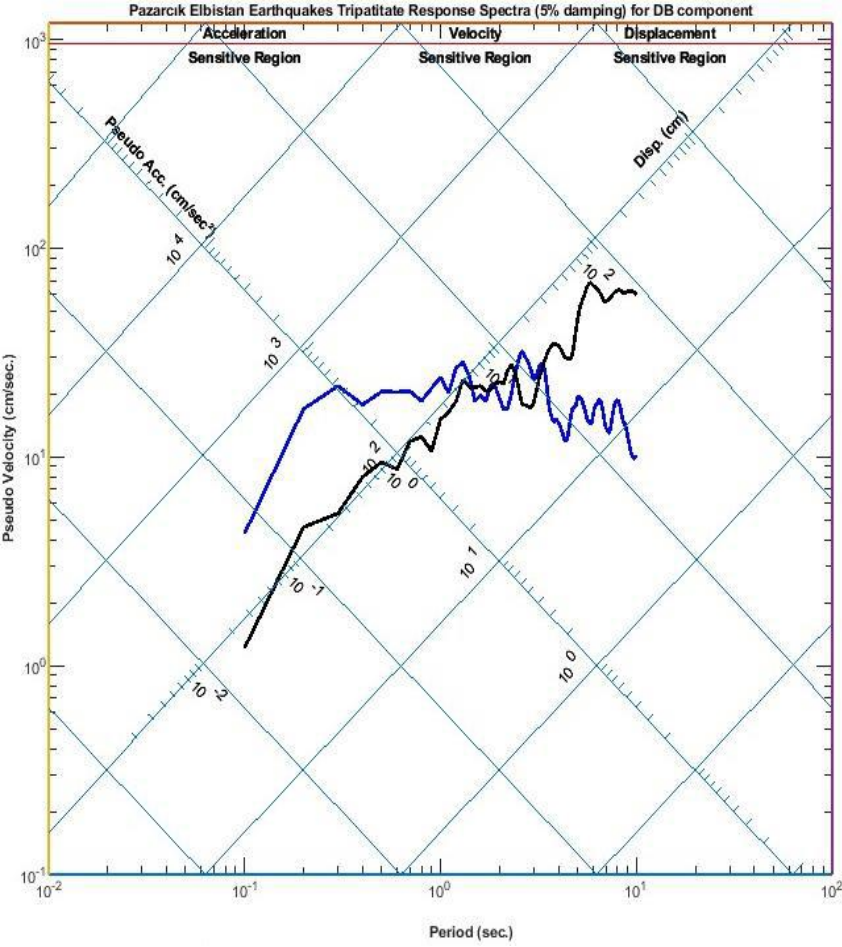
Yüksek **PGV/PGA** oranı daha uzun ivme hassas periyot bölgesi

Düşük **PGD/PGV** oranı daha uzun deplasman hassas periyot bölgesi

Yapılar ivme hassaslığı uzun olan periyod bölgesinde veya az yada dışında kalmaları sonucuna göre elastik veya rijit davranış gösterirler. Örneğin geniş ivme duyarlı bölgede, 15-20 katlı bir yapı yada deprem yalıtımlı (büyük periyotlu T_1) yapılar elastik davranış gösterecektir. Sonuçta;

- Geniş ivme hassas periyod bölgesinde oldukça fazla yapısal titreşim modları yapıda oluşacak ve yüksek ivme genliğine maruz kalacaktır. Bu ise elastik taban kesme kuvvetini ve katlar arası ötelenmeleri yüksek katlı yapılarda artıracaktır.
- Yapının büyük olan ilk modal periyodu T_1 , ilk mod kütle katılım oranını büyütürük yüksek modların katkılarını azaltacaktır.
- İkincil mertebedeki sönüm katkılarını azaltacaktır.
- Depremin talep ettiği duktilite bu geniş ivme duyarlı periyod bölgesinde artacaktır.

6 Şubat 2023 @ 01:17 Pazarcık ve 10:24 Elbistan Kahraman Maraş Depremlerinin %5 sönüm için Üç Parçalı Tepki Spektrumları

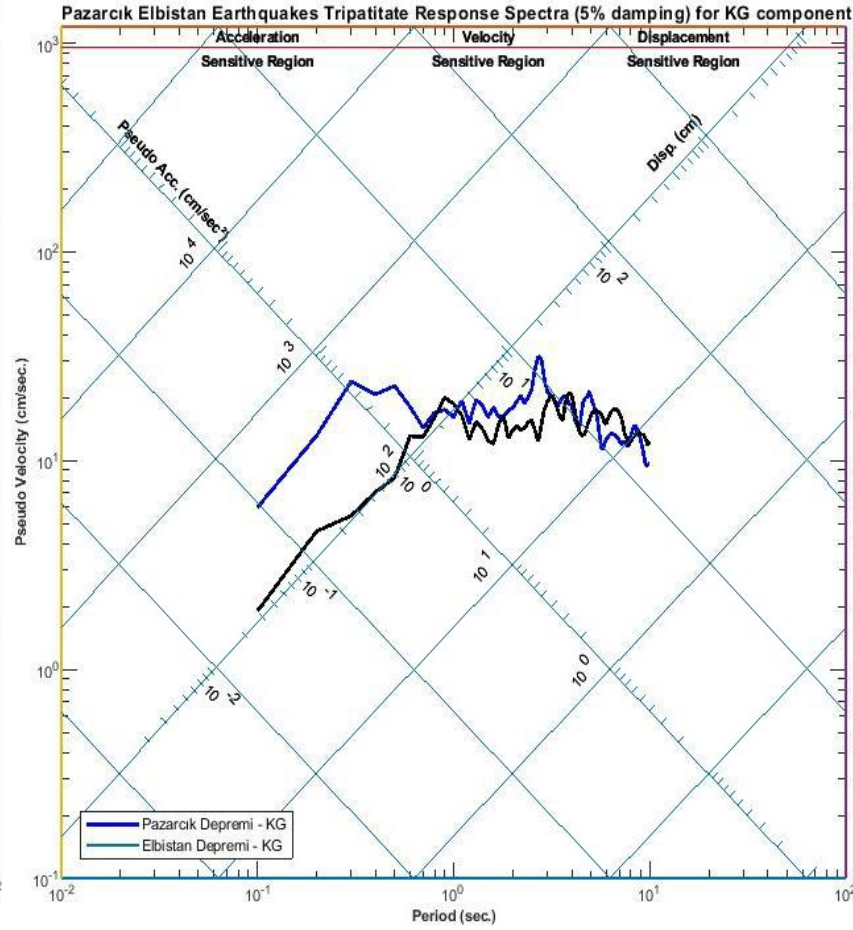


ivme duyarlı
periyot bölgesi

hız duyarlı
periyot bölgesi

deplasman duyarlı
periyot bölgesi

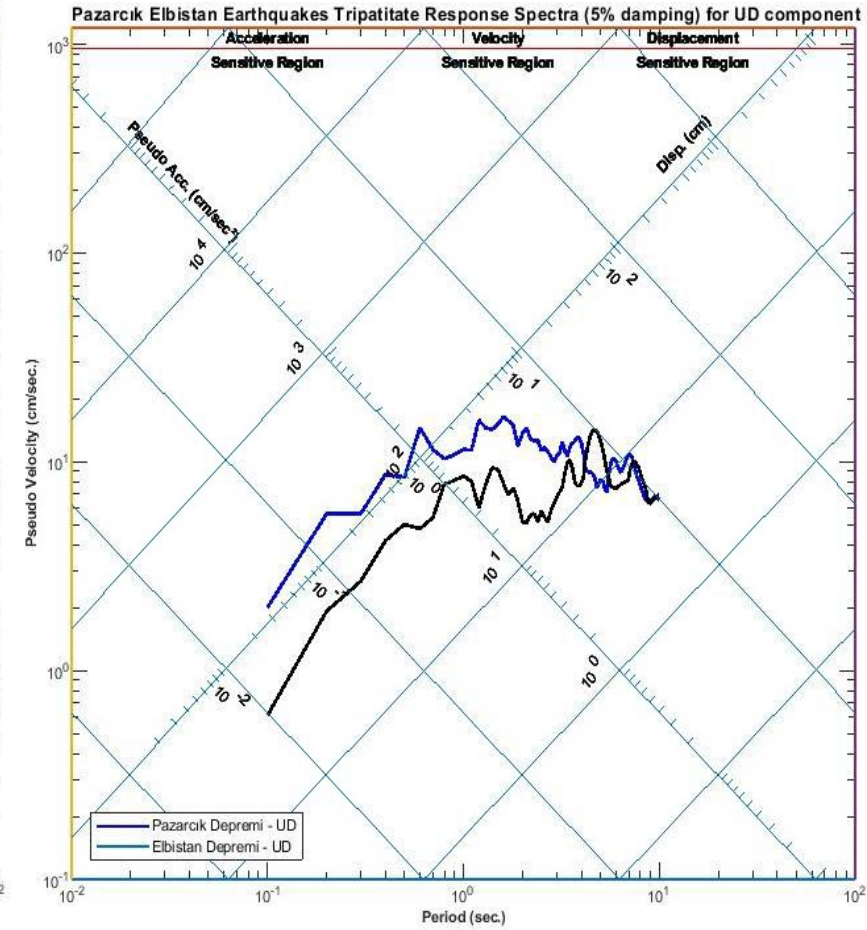
Üç parçalı gösterimi olan spektrum yaklaşık üç periyodik bölgede düşünülürse. Küçük periyotlu bölge ivme hassaslığı yüksek bölge, orta periyot bölgesi hız duyarlı bölge ve uzun periyotlu bölge deplasmana duyarlı bölge olarak çok açıktır.



ivme duyarlı
periyot bölgesi

hız duyarlı
periyot bölgesi

deplasman duyarlı
periyot bölgesi

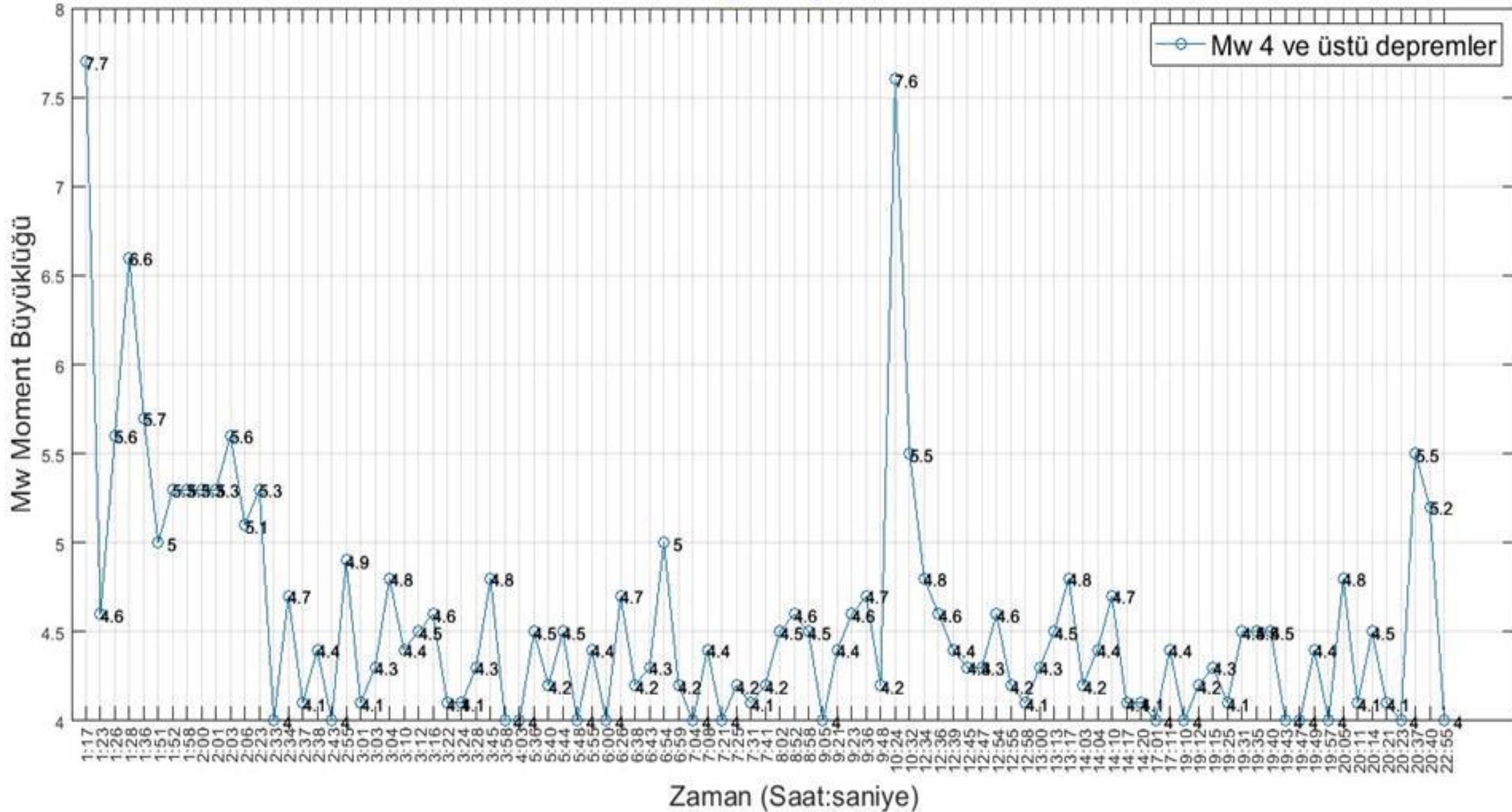


ivme duyarlı
periyot bölgesi

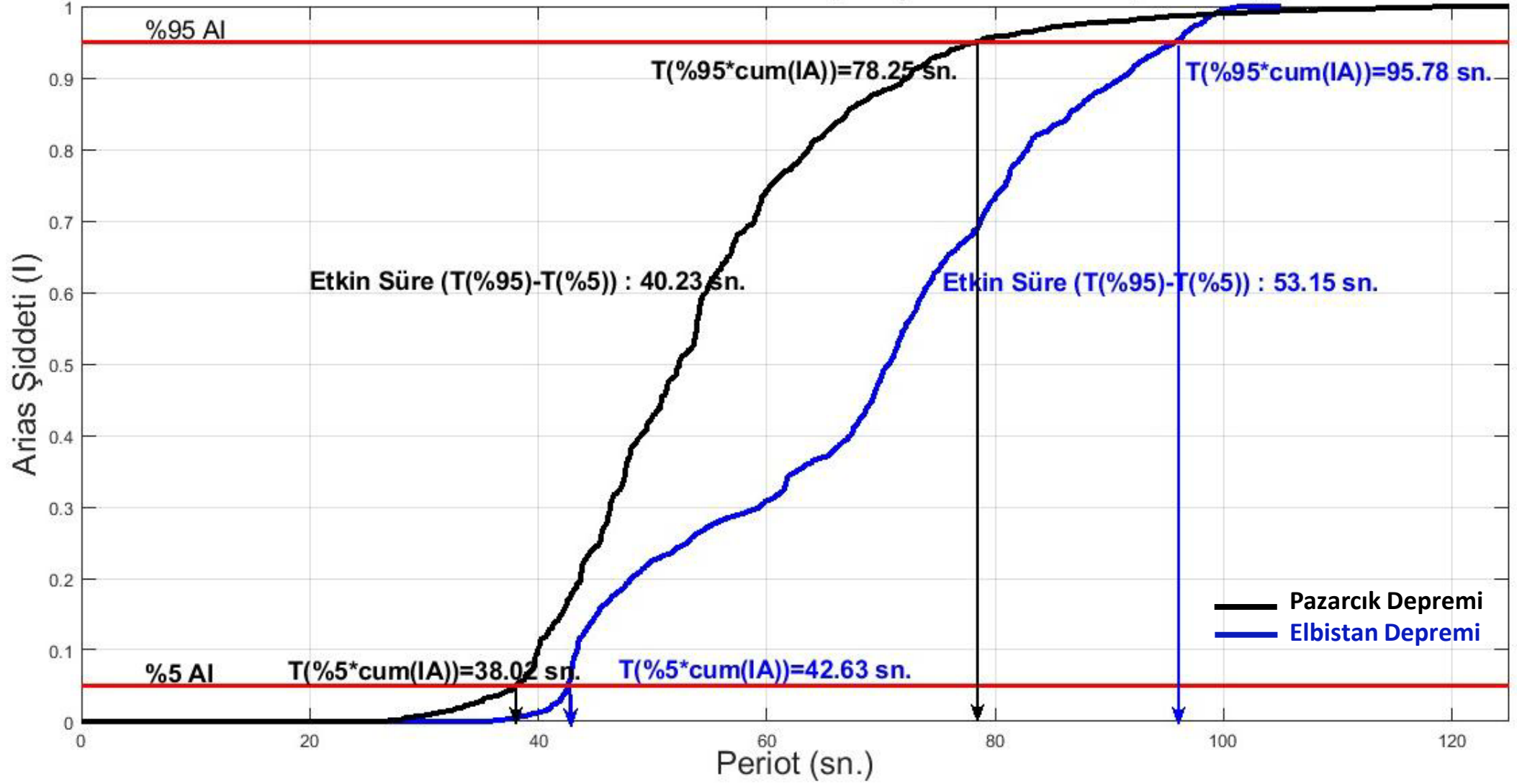
hız duyarlı
periyot bölgesi

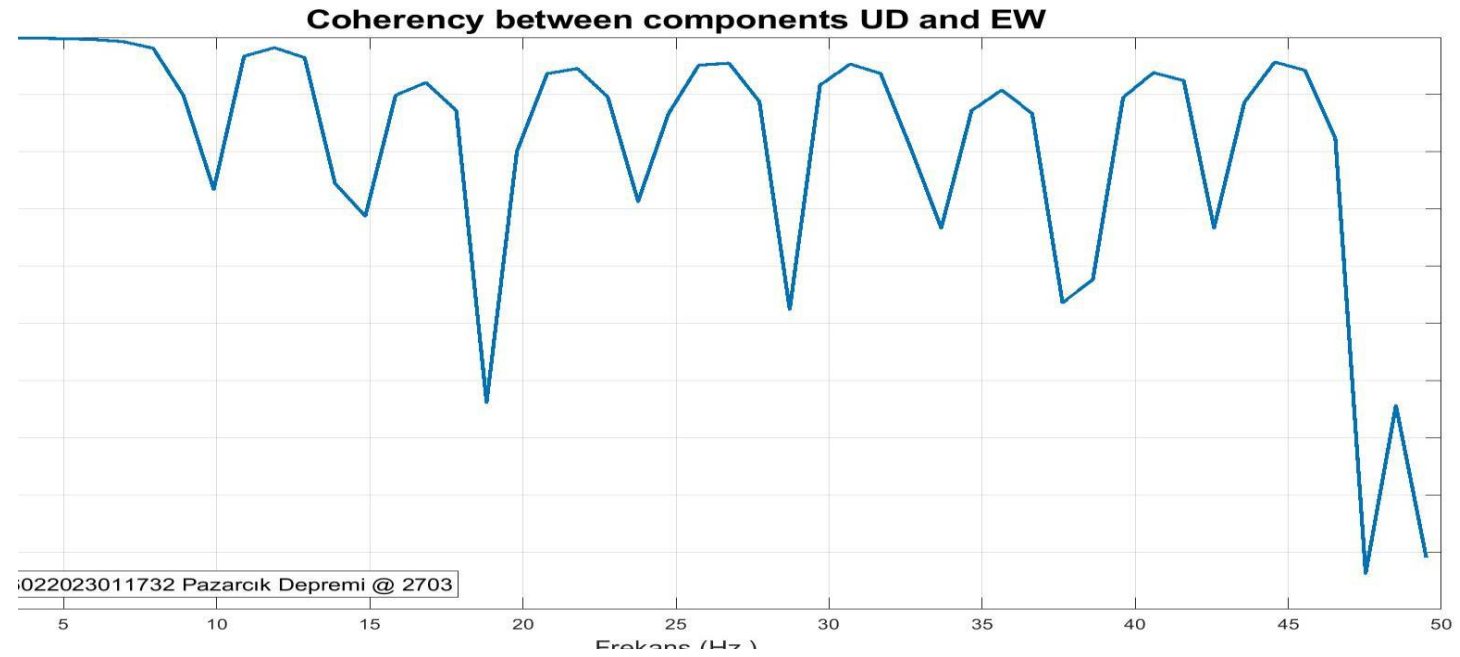
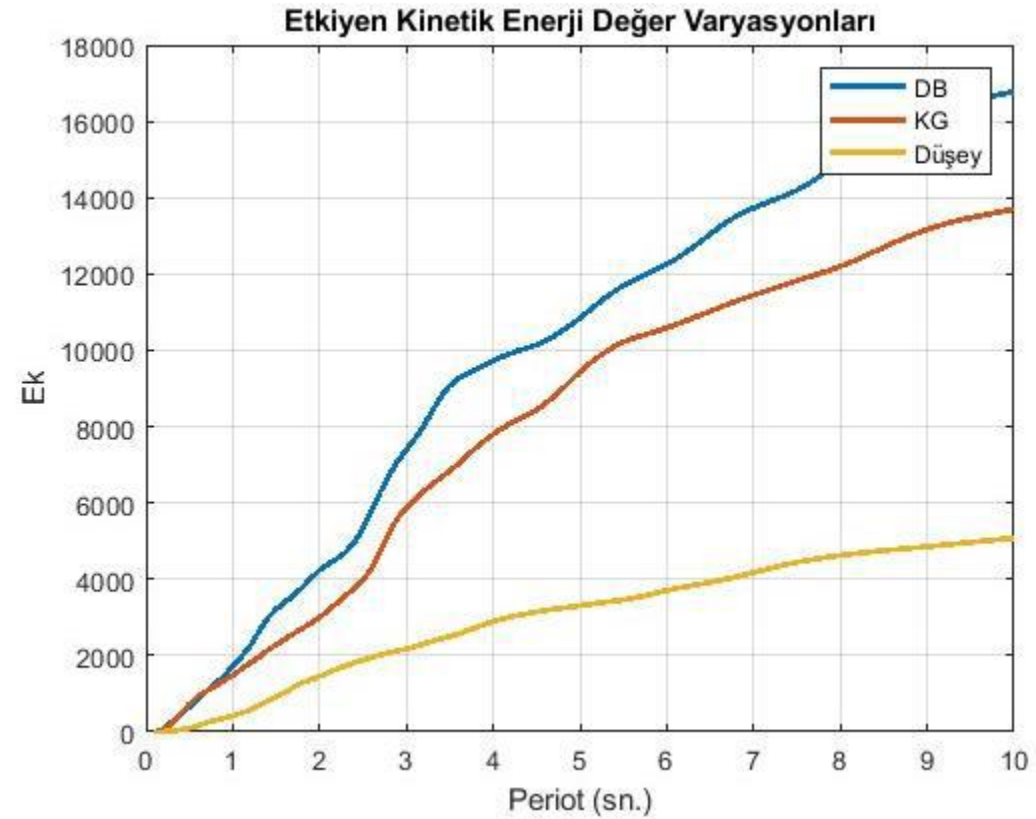
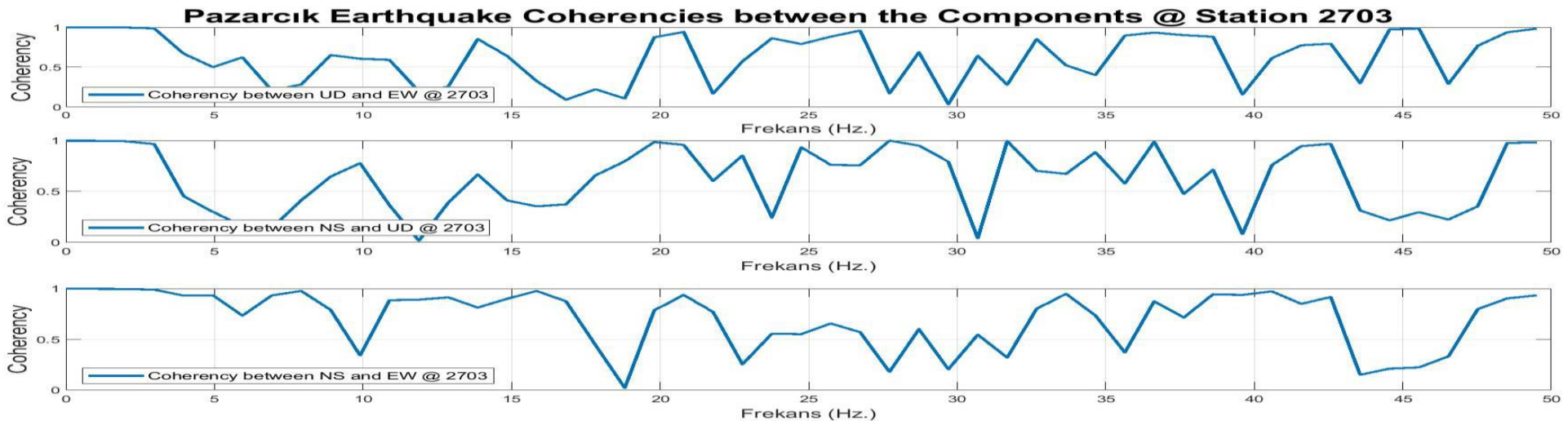
deplasman duyarlı
periyot bölgesi

06-02-2023 Pazarcık/KMaraş Depremi Sonrası Sismik Aktivite



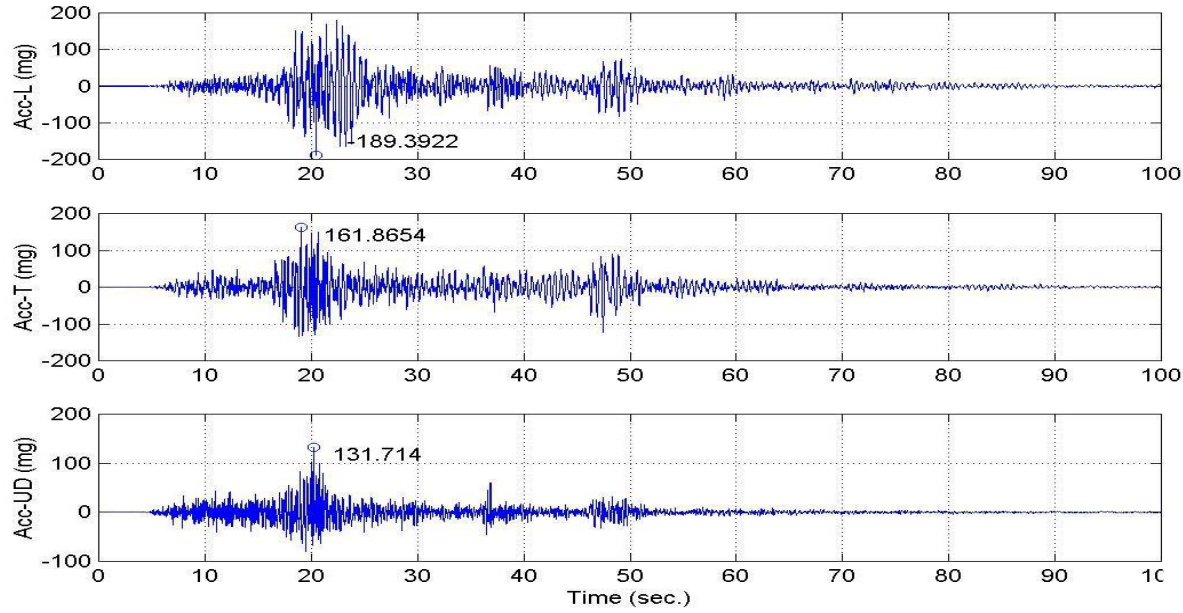
Pazarcık ve Elbistan - Kahraman Maraş Depremleri Arias Şiddet Eğrileri



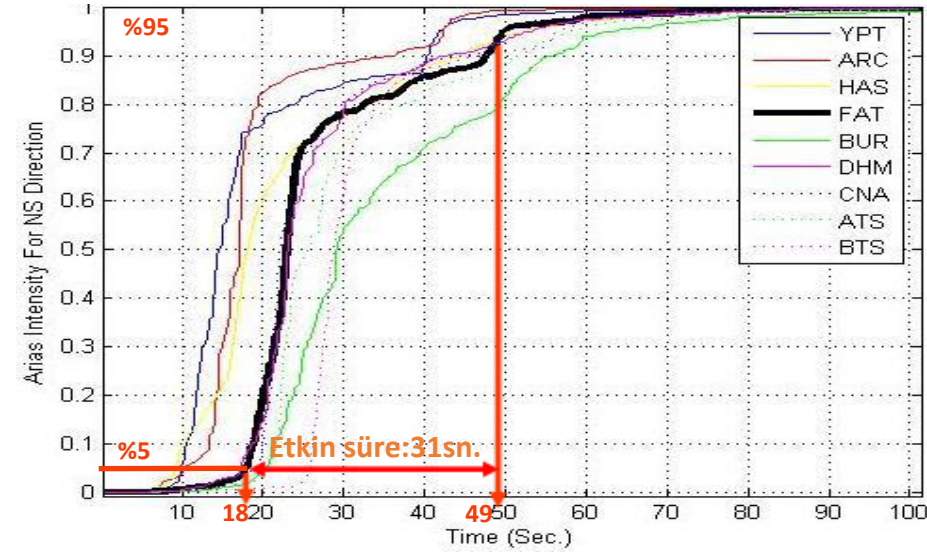


Ek-4: Yapı Deprem Mühendisliği

17-08-1999 KOCAELI EARTHQUAKE RECORDED @FATmainshock.



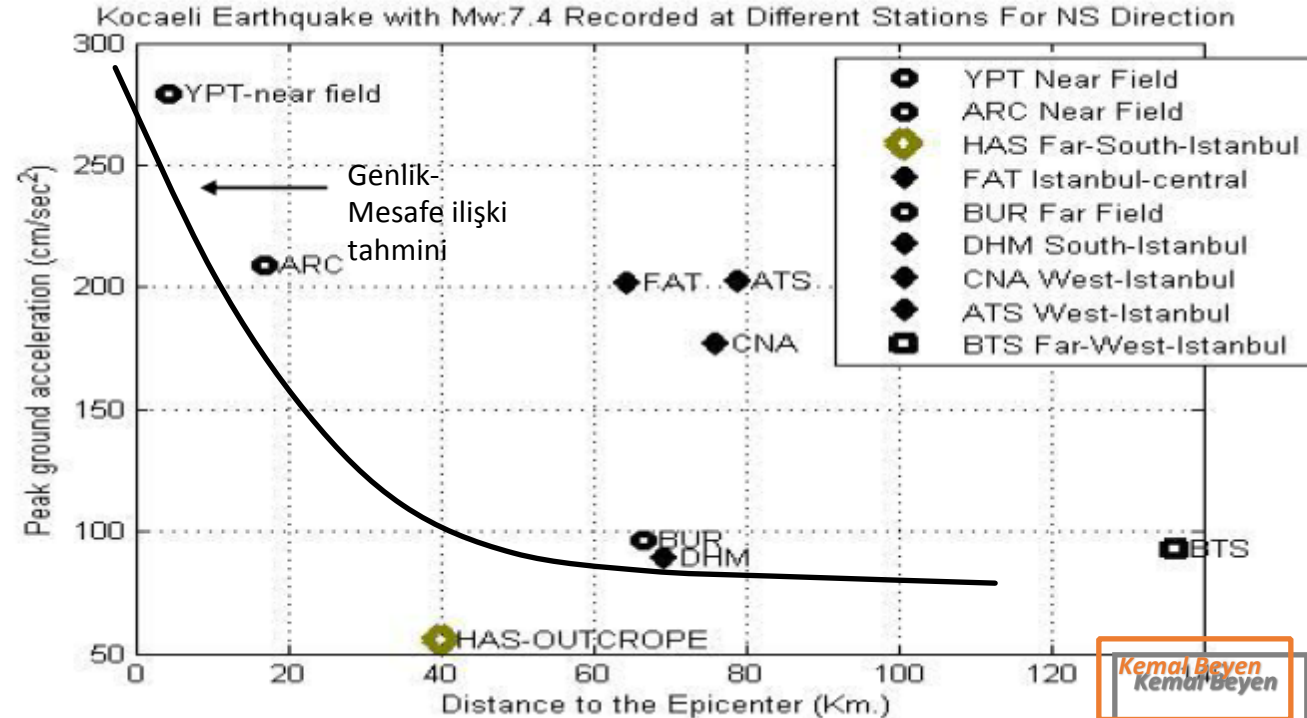
17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi KRDAE Fatih istasyonu bileşenlerinin ilk 100 sn'lik zaman geçmişi.

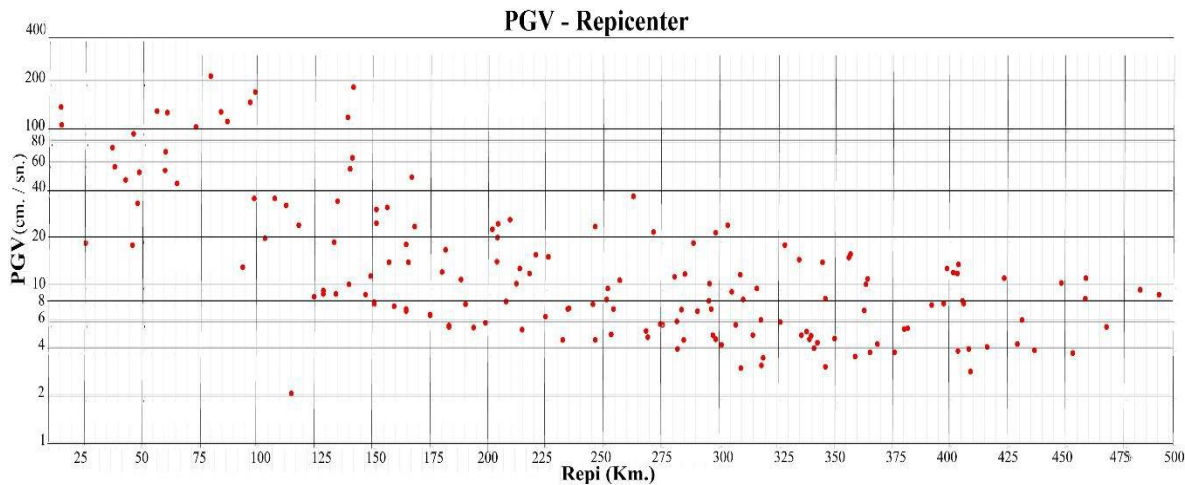
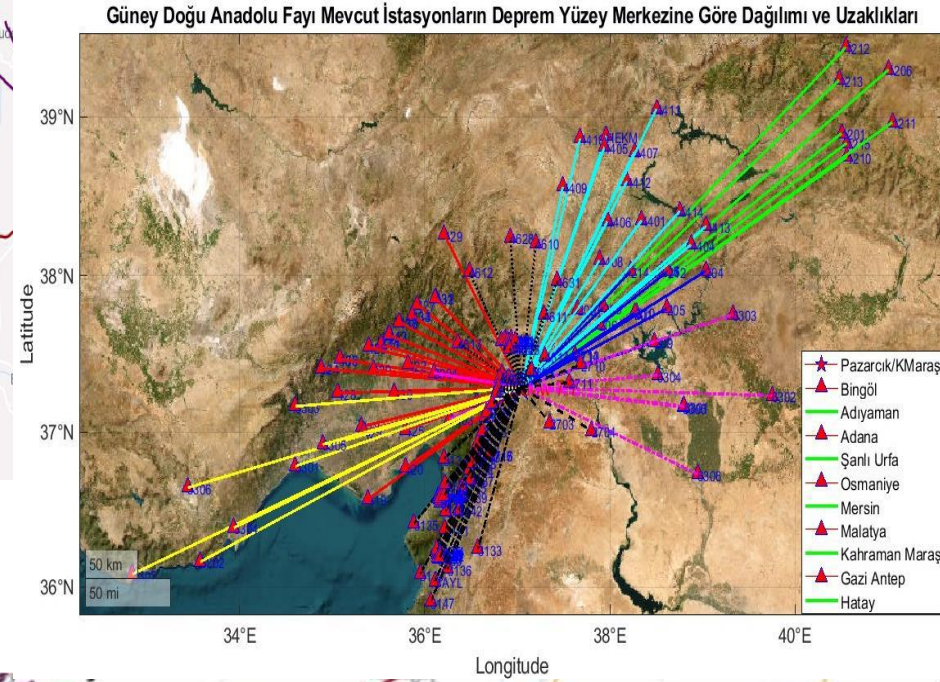
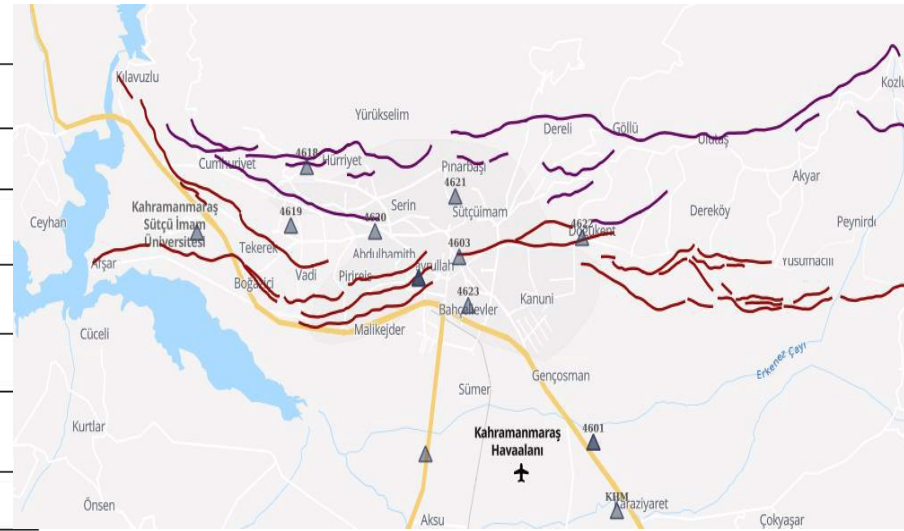
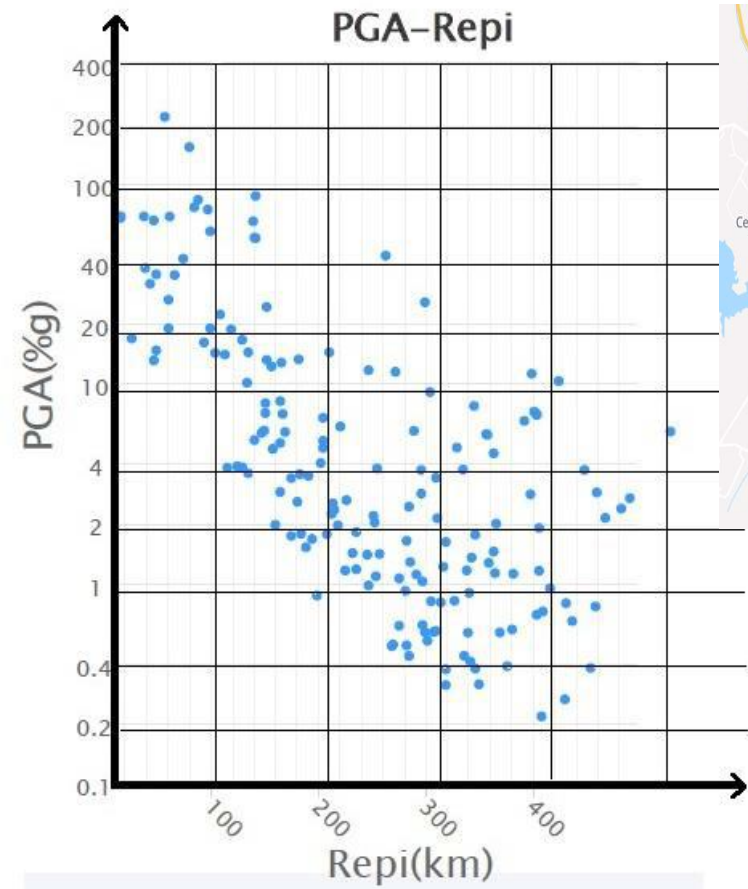


17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi KRDAE istasyonlarının KG bileşenlerinin Arias şiddet haritaları.

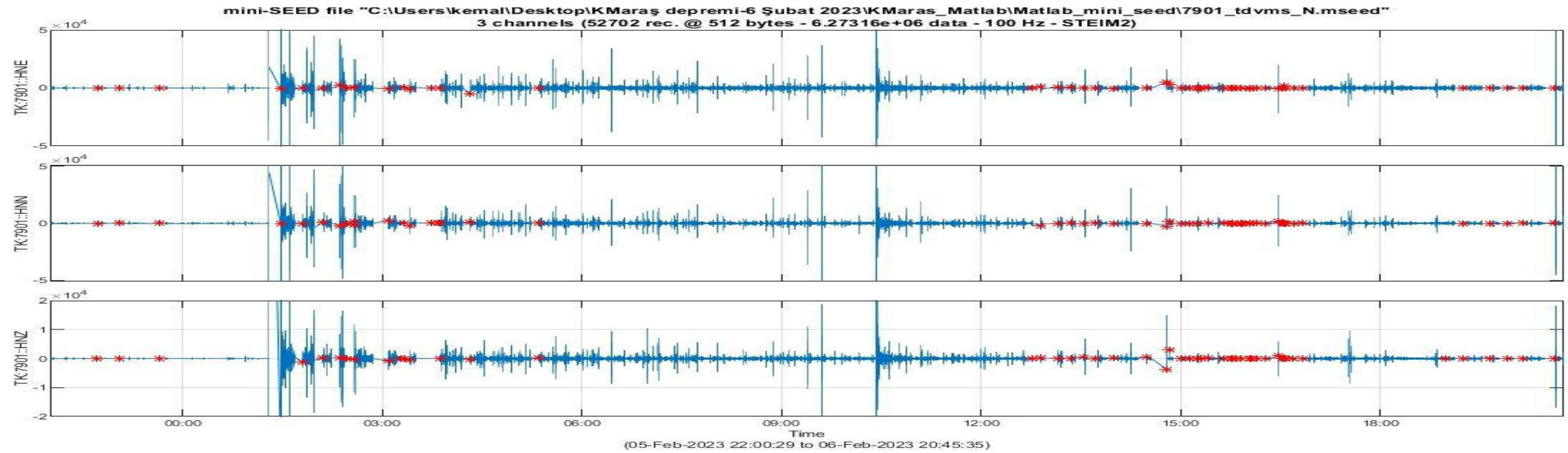
Stations of the Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute and conditions

K.O.E.R.I Stations	Distance to Epicenter	Site-Soil-Class
ARC(Gebze)	17 Km.	Stiff Soil 180-360 m/sec.
ATS(Ambarlı Termik S)	78.9 Km.	Soft Soil <180 m/sec.
BTS(Botas)	136.3 Km.	Stiff Soil 180-360 m/sec.
BUR(Bursa TOFAS)	66.6 Km.	Soft Soil <180 m/sec.
CNA(Cekmece Nukleer A)	76.1 Km.	Stiff Soil 180-360 m/sec.
DHM(Devlet Hava Mey)	69.3 Km.	Stiff Soil 180-360 m/sec.
FAT(Fatih Mosque)	64.5 Km.	Soft Soil <180 m/sec.
HAS(Heybeliada Ask Has)	40 Km.	Rock >700 m/sec.
YPT(Yarımca Petro K T)	4.4 Km.	Soft Soil <180 m/sec.





06-02-2023 GD Anadolu'da İlk 20 Saat İçinde Gerçekleşen 4 ve Üstü Depremler



Yapı Karakteristiği

- (1) Süneklik (Dütilite)*
- (2) Yapısal Doğal Titreşim Periyodları*
- (3) Davranışın Ayırıklaştırılması*
- (4) Deprem İvme Parametreleriyle Yapısal Davranış Arasında Karşılıklı Bağımlılık*

Kısım - 4

Yapı Karakteristiği

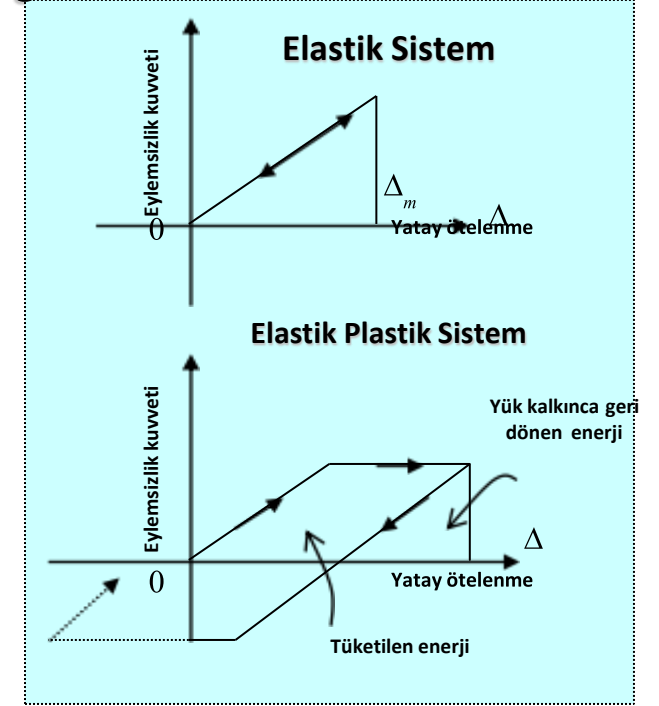
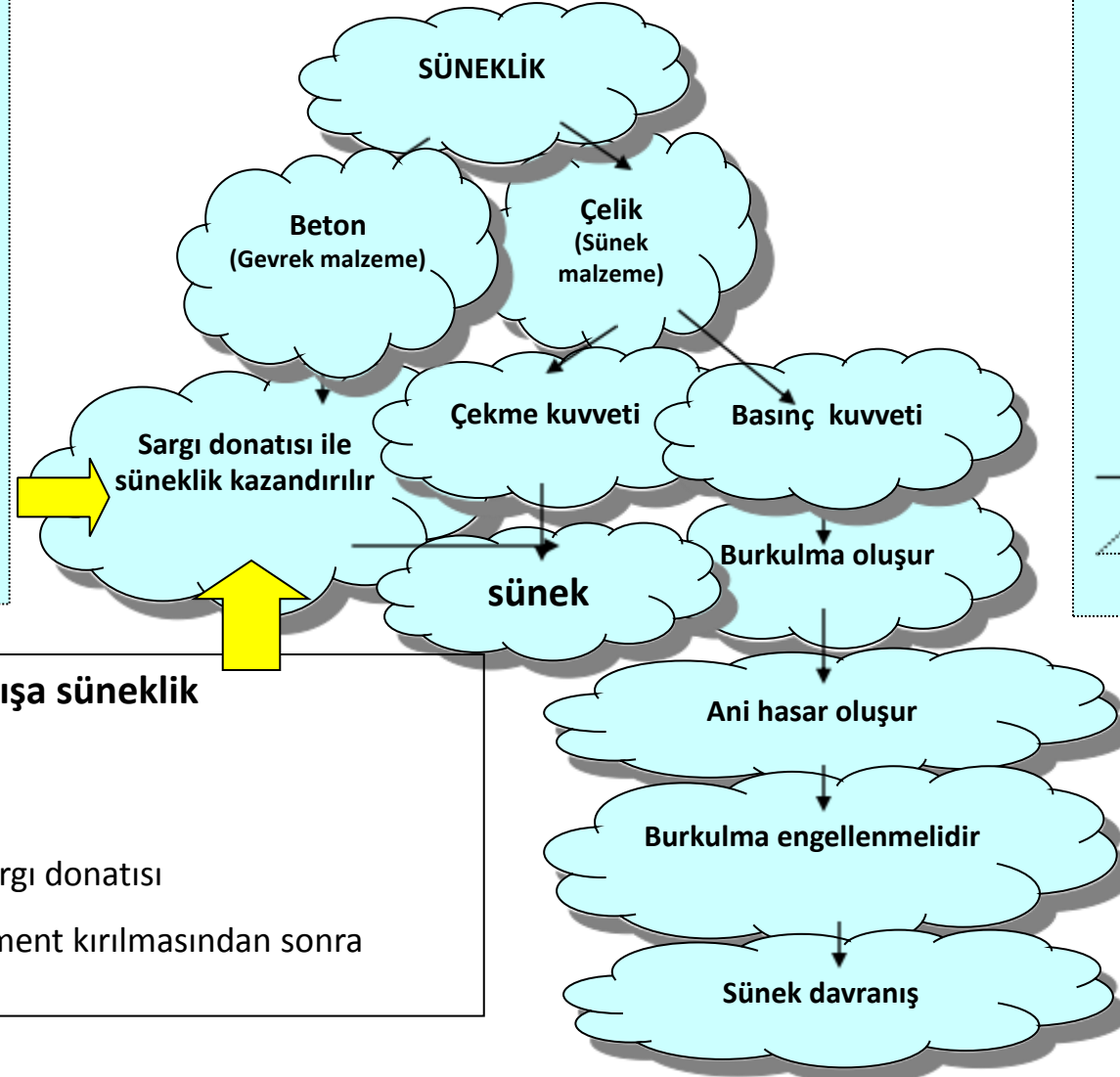
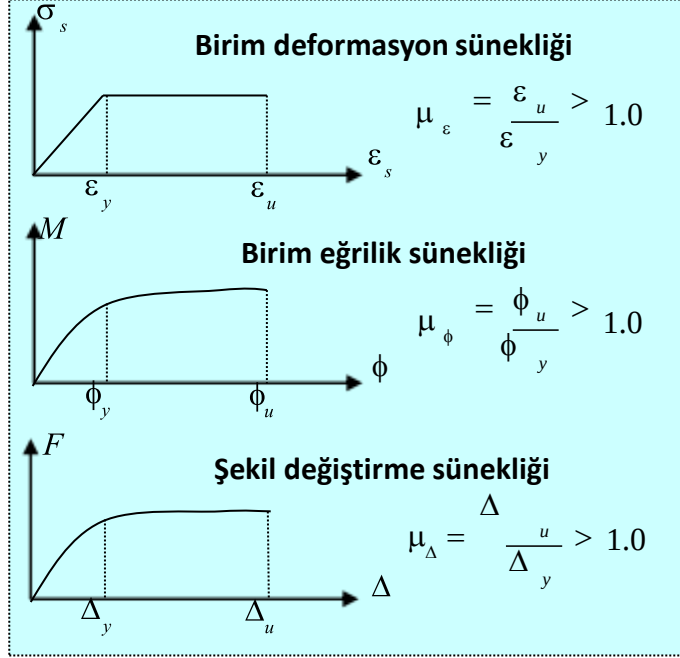
Yapısal dinamik
davranışı
karakterize
etmekte
kullanılabilecek
taşıyıcı sistem
özellikleri neler
olabilir ?



- SÜNEKLİK
- YÜKSEK HİPERSTATİKLİK-YEDEKLEME SİSTEMİ-İÇ KUVVETLERİN YENİDEN DAĞILIMI
- ÇERÇEVE ÇALIŞMA UYUMU
- ZAYIF KİRİŞ KUVVETLİ KOLON YAPISI
- RİJİD DİYAFRAM PLAK YAKLAŞIMI
- YAKIN KAPASİTELİ ELEMAN TASARIMI
- KONTROLLÜ HASAR LOKASYON TASARIMI
- (E.MOMENT ETKİSİNDE) PLASTİK HASAR ÖNCELİĞİ
- YÜKSEK GEVREK KIRILMA MUKAVEMETİ-KESMEDEN GÜÇ YİTİMİ TERCİH EDİLMEZ
- LİMİTLİ ÖTELENME ve BURULMA
- SÖNÜM KABİLİYETİ (Geometrik sönüm)
- MALZEME SÖNÜMÜ

SÜNEKLİK

Deprem güvenliği olan ve dayanıklılığı olan yapı sünek malzemeler kullanılarak ve/ya sünek davranırılacak şartlar oluşturularak sağlanmalıdır

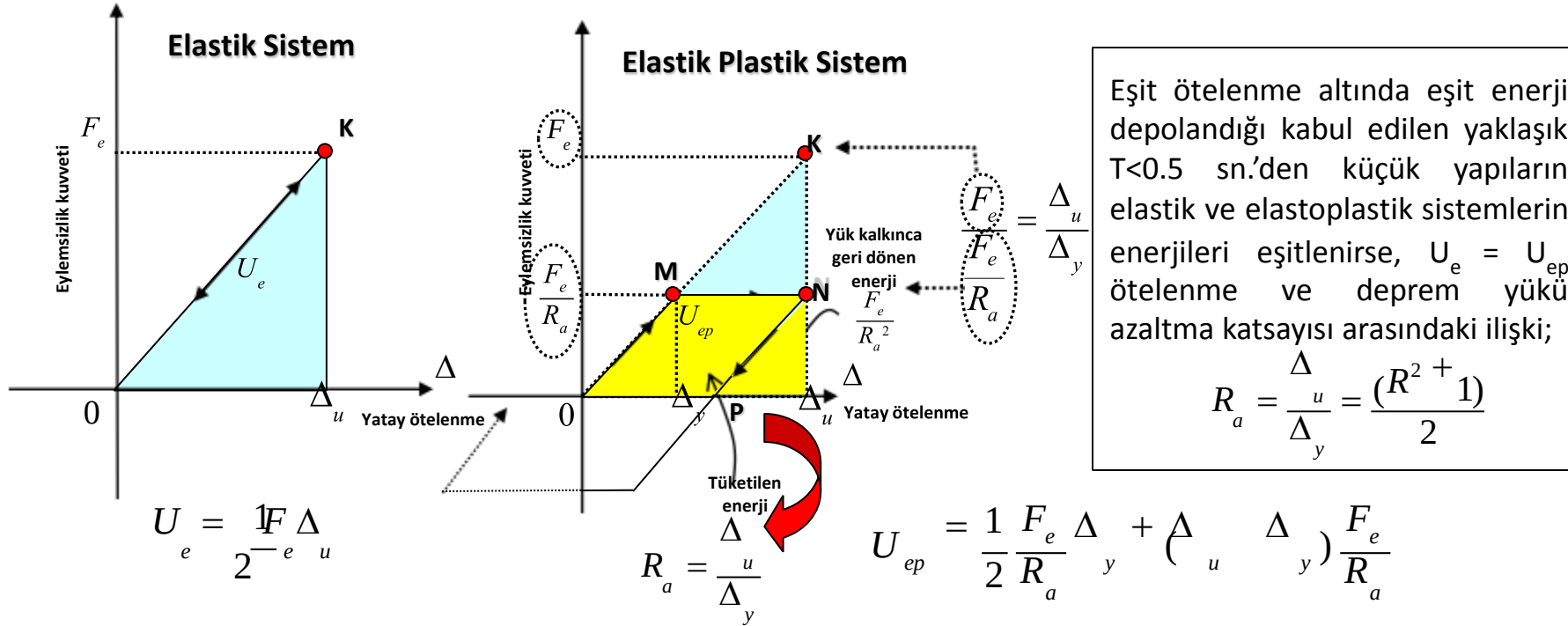


Betonarme davranışa süneklik kazandırılması:

- Kirişlerde alt donatı
- Kolonlarda yeterli sargı donatısı
- Kesme kırılması Moment kırılmasından sonra oluşmalıdır

Ek-5: Yapısal Süneklilik

SÜNEKLİK

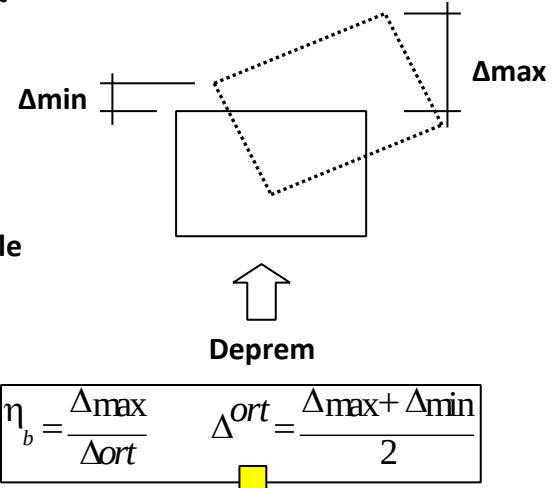
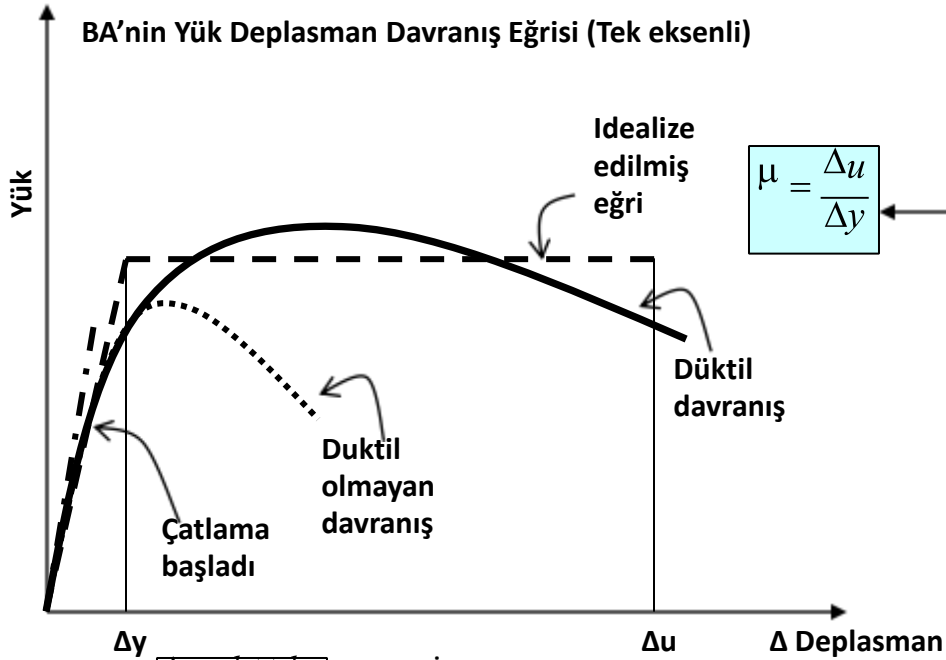


Elastik dizayn edilmiş periyodu yüksek yapılar (mesela $T > 0.8$ sn.) deprem kuvvetleri altında artan eylemsizlik kuvvetleriyle kırılma, K durumuna Δ_u yatay ötelenmeyle gelir. Üçgen alan ise bu elastik yapı sisteminde depolanan enerji U_e değerini verir.

Oysa aynı yapı sistemi artan eylemsizlik kuvveti altında M noktasında mafsallı olduğunda yapı üstüne etkiyen depreme karşı eylemsizlik kuvvetini artırmayıp sabit kalır ve sünekleşen yapı ötelenmeler altında N noktasında Δ_u değerine yine ulaşılmış olur. Aynı deprem kuvvetleri altında elastik ve elasto-plastik sistemlerin yaklaşık eşit Δ_u yatay ötelenme gösterdiği tecrübe edilmiş ve mafsallı ile kırılma noktalarındaki ötelenme oranı ötelenme sünekliliği veya deprem yükü azaltma katsayısı R_a şartnamede tanımlanmıştır. Mesela R_a 4 durumunda yapı nihayi ötelenme Δ_u durumuna Δ_y nin 4 misli büyümesine müsaade edilerek ama etkiyen deprem kuvvetlerine rağmen sabit eylemsizlik kuvvetleri altında gelecektir.

Ek-5: Yapısal Süneklik

SINIRLI SÜNEKLİK



Burulma düzensizliği kriterleri

eğer $\eta_b \leq 1.2$ kontrollümüz altında burulma (risksiz)

eğer $\eta_b > 2$ kontrol dışı burulma oluşuyor, yeniden dizayın

eğer $1.2 < \eta_b \leq 2$ eksantrikliği $\left(\frac{\eta_b}{1.2}\right)^2$ oranında artırarak yapıyı

büyük burulma kuvvetlerini karşılar konuma getirir.

x yönünde artırılmış eksantrisite: $e_x = \left[0.05 \left(\frac{\eta_{by}}{1.2} \right)^2 \right] L_y$

y yönünde artırılmış eksantrisite: $e_y = \left[0.05 \left(\frac{\eta_{bx}}{1.2} \right)^2 \right] L_x$



Eksantrikliğin Nedenleri ve Sonuçları :

- 1) Deprem burulma hasarlarına neden olabilir.
- 2) Hesaplanmış yapı proje rijitlik değerleri ile inşaat (imalat) rijid değerleri arasında önemli farklılıklar olabilir.
- 3) Deprem esnasında, farklı lokal taşıyıcı elemanlarda farklı rijitlik kayıpları oluşabilir. Dolayısıyla heterojen rijitlik kaybı dağılımı kolaylıkla burulmaya dönüşebilir.

İkinci Mertebe Etkisi:

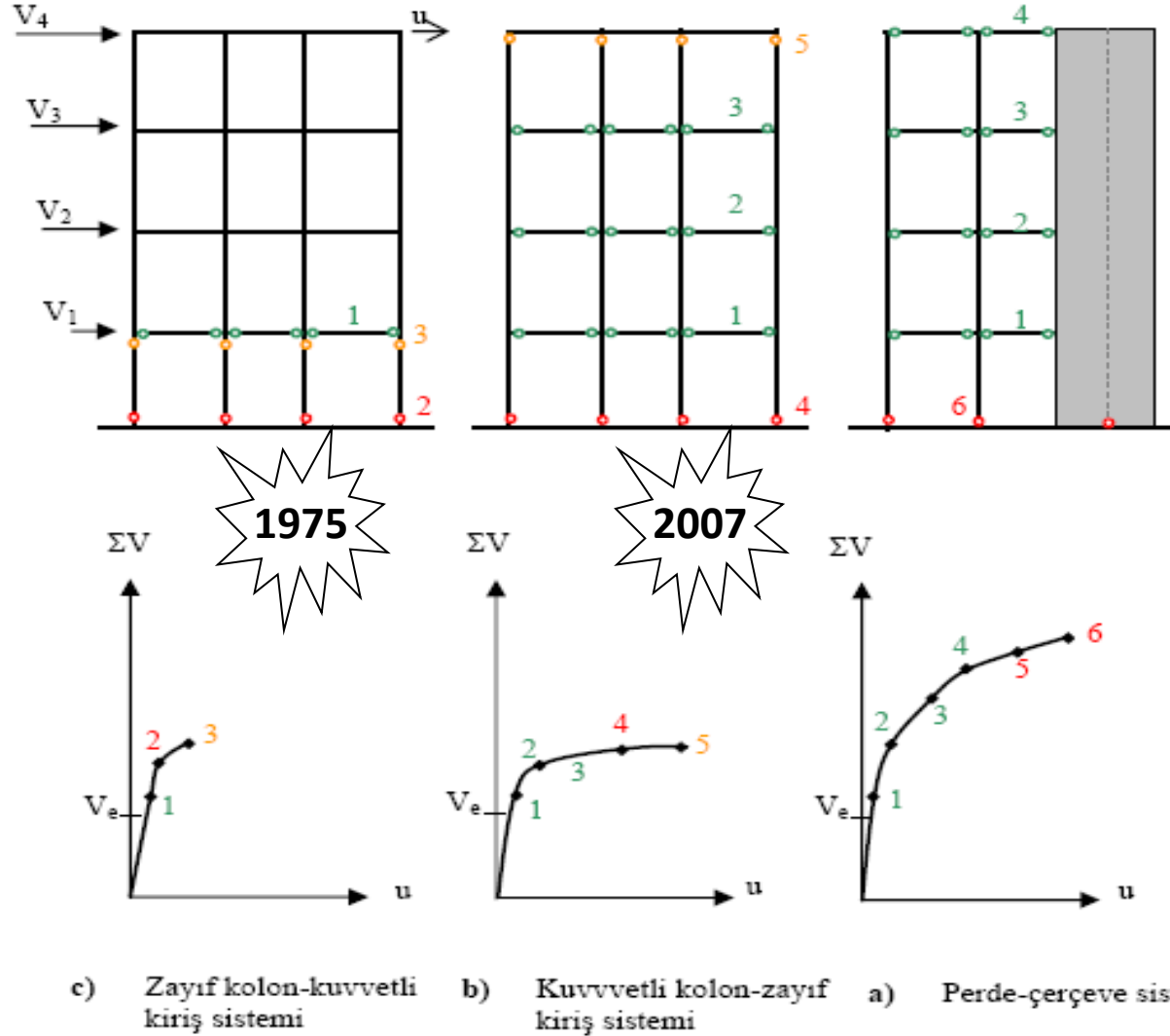
$$\theta_i = \frac{\Delta_{i,ort} \sum_{i=1}^N w_i}{V_i h_i} \leq 1.2$$

Koşulunu sağlarsa, ikinci mertebe etkisi şartnamelerin öngördüğü mertebe değerleriyle kontrol edilebilir.

Eğer $\theta_i > 1.2$, yapının dinamik analizi mühendislik değerlendirmesiyle artırılan taşıyıcı sistemin rijitlik değerleriyle yapı yeniden analize tabi tutulur.

SÜNEKLİK ve KAZANÇ

Farklı Yapı Sistemlerinin Göçme Modu



Yapıya deprem (enerjisi) girdisini mümkün olan az titreşim çevrimi ile başka bir enerji/iş türüne (deformasyon işi) dönüştürülebildiği oranda yapı performansı sağlanacaktır. Bu ise yapıda bu tür enerji dönüştürücü mekanizmaları oluşturmakla mümkündür. Bunun için, yapı dışında deprem izolatörleri yada yapı içinde söndürücü sistemler (energy dissipaters) kullanılabilir. Veya yapı elemanlarının bazılarını enerji dönüştürecek özellikte tasarlamak ve inşa etmek mümkündür. Yapı elemanlarının mukavemetlerini müsaade edilebilir hasar seviyelerinde tutarak plastik mafsallarla plastik şekil değiştirmeler yaptırarak sünek çalıştırılıp deformasyon ile enerji harcatma özelliği kazandırılabilir.

Ek-5: Yapısal Süneklik

YAPI PERİYODU VE YAPI DAVRANIŞ KATSAYISI

ELASTİK DEPREM YÜKLERİNİN AZALTILMASI: DEPREM YÜKÜ AZALTMA KATSAYISI

Deprem yükü azaltma katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için yönetmelikte Tablo 2.5'te tanımlanan, *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı*, R 'ye Dayanım fazlalığı katsayısı D 'ye ve *doğal titreşim periyodu*, T 'ye bağlı olarak;

4.2.1.2 – EK 4A'da yapılan tanıma göre doğrusal elastik deprem yüklerinin azaltılmasında esas alınacak *Deprem Yükü Azaltma Katsayısı* $R_a(T)$ aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (4.1a)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (4.1b)$$

Periyod ?

$T < 0.5$ sn olan küçük periyodlu yapılarda:

Nisbeten büyük rijidliğe sahip olan yapının elastik sistem olarak davranıp gereken elastik ötelenmeyi yapabilmesi için büyük süneklik zorunlu olarak seçilmelidir. Dolayısıyla R katsayıları yüksek alınmalıdır.

$T > 0.6-0.7$ sn olan büyük periyodlu yapılarda:

Nisbeten küçük rijidlik ama buna mukabil büyük elastik davranış gösterdiğinden büyük ötelenmeler gerekmez. Dolayısıyla R katsayısının büyük seçilmesi gerekmez.

YAPI DOĞAL TİTREŞİM PERİYODLARI



Yapıların **birden fazla titreşim periyodları** bulunur, ancak birinci titreşim periyodu yapı davranışına en büyük etkide bulunan periyod olabilir (analiz + yönetmelik) çerçevesinde yeterli mod hesaplanır.

Farklı periyotlarda farklı harmonik titreşimler ve bunlarında yapı üzerinde farklı etkileri olur. Her farklı periyotta oluşan titreşimlerden elde edilen maksimum yerdeğiştirme, hız veya ivme değerleri yeni bir grafik üzerinde işaretlenerek **spektrum grafikleri oluşturulur.**



Elastik İvme Tasarım Spektrumu (TBDY-2018)

2.3.5. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

2.3.5.1 – Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için *yatay elastik tasarım ivme spektrumu*'nun ordinatları olan *yatay elastik tasarım spektral ivmeleri* $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi $[g]$ cinsinden Denk.(2.3)'te tanımlanmıştır (Şekil 2.1):

$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Burada S_{DS} ve S_{D1} yukarıda 2.3.2.2'de tanımlanan *tasarım spektral ivme katsayıları*'nı, T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. *Yatay tasarım spektrumu köşe periyodları* T_A ve T_B aşağıdaki Denk.(2.4) ile S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak tanımlanır:

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.4)$$

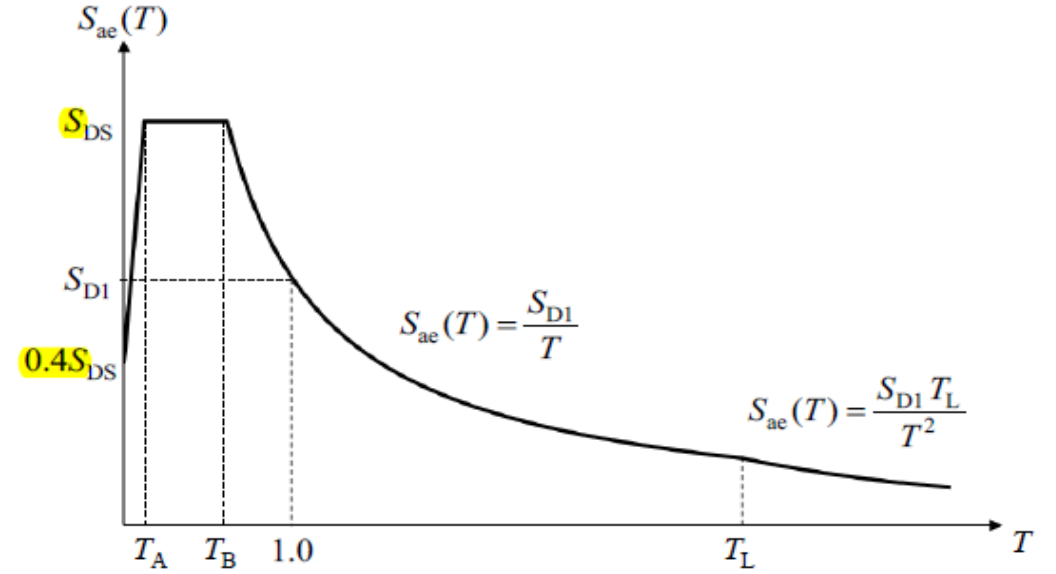
Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6$ s alınacaktır.

2.3.6. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

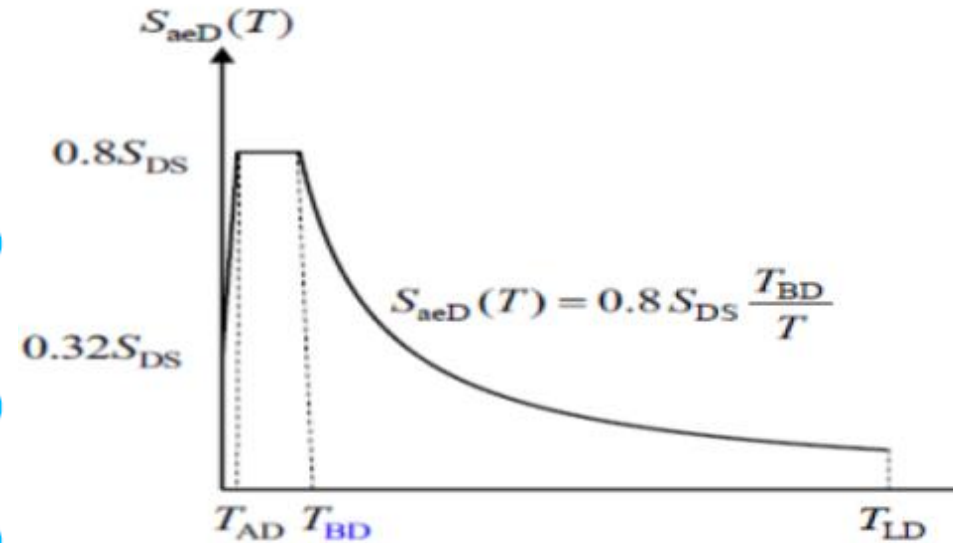
$$\begin{aligned} S_{aeD}(T) &= \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_{AD}) \\ S_{aeD}(T) &= 0.8 S_{DS} & (T_{AD} \leq T \leq T_{BD}) \\ S_{aeD}(T) &= 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} & (T_{BD} \leq T \leq T_{LD}) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Denk.(2.6)'da yer alan T_{AD} ve T_{BD} *düşey spektrum köşe periyodları* ile T_{LD} periyodu Denk.(2.7)'de verilmiştir.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad ; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad ; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (2.7)$$



Şekil 2.1



Şekil 2.3

Tablo 2.1 – Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Eile Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Eile Katsayısı F_0					
	$S_0 \leq 0.25$	$S_0 = 0.50$	$S_0 = 0.75$	$S_0 = 1.00$	$S_0 = 1.25$	$S_0 \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF						

Sakarya İZEL Zemin Derinliği malzeme yapıları için (Bkz.16.5)

Tablo 3.1 – Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

Tablo 2.2 – 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Eile Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Eile Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF						

Sakarya İZEL Zemin Derinliği malzeme yapıları için (Bkz.16.5)

Tablo 3.2 – Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

(DD-2) Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.333$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.333 \leq S_{DS} < 0.5$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.5 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

3.3. BİNA YÜKSEKLİĞİ VE BİNA YÜKSEKLİK SINIFLARI

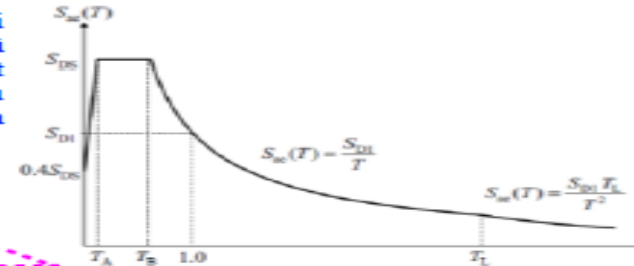
3.3.1. Bina Tabanı ve Bina Yüksekliği

3.3.1.1 – Aşağıdaki koşulların her ikisini de sağlayan *bodrumlu binalar*'da *bina tabanı* bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanır.

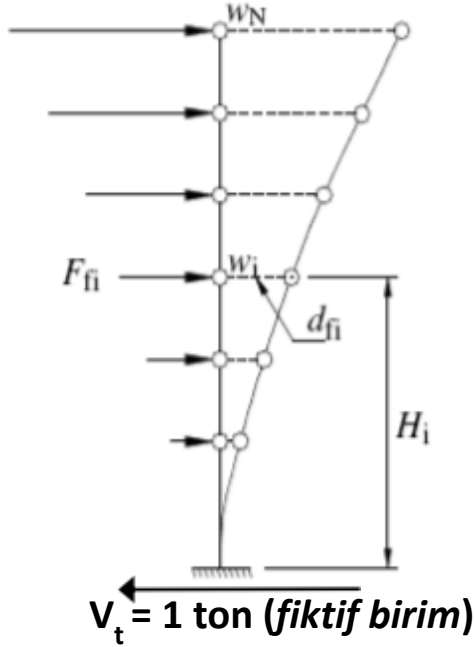
(a) Rijit bodrum perdelerinin binayı her taraftan veya en az üç taraftan çevrelemesi,

(b) Birbirine dik bina eksenlerinin herbirinin doğrultusundaki hakim titreşim modunda, bodrum katlar dahil binanın tümü için hesaplanan *doğal titreşim periyodu*'nun, zemin kat döşemesi dahil tüm bodrum kütlelerinin silinmesi ile aynı doğrultuda hesaplanan *doğal titreşim periyodu*'na oranının 1.1'den küçük olması ($T_{p,mm} \leq 1.1 T_{p,ay}$).

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.4)$$



YAPININ İLK DOĞAL TİTREŞİM PERİYOD HESABI TDY-2007



$$F_{fi} = V_t \frac{w_i H_i}{\sum_{i=1}^N w_i H_i}$$

4.7.3 Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

4.7.3.1 – Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nin uygulanması durumunda, binanın deprem doğrultusundaki hakim doğal periyodu, **Denk.(4.22)** ile hesaplanan değerden daha büyük alınmayacaktır.

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (m_i d_{fi}^2)}{\sum_{i=1}^N (F_{fi} d_{fi})}}^{\frac{1}{2}} \quad \text{toplama tüm katlar üzerinde yapılır (i = 1, N).}$$

Denk.(4.22)

m_i = Kat toplam kütlesi

F_i = Katlara uygulanan fiktif yatay kuvvetleri

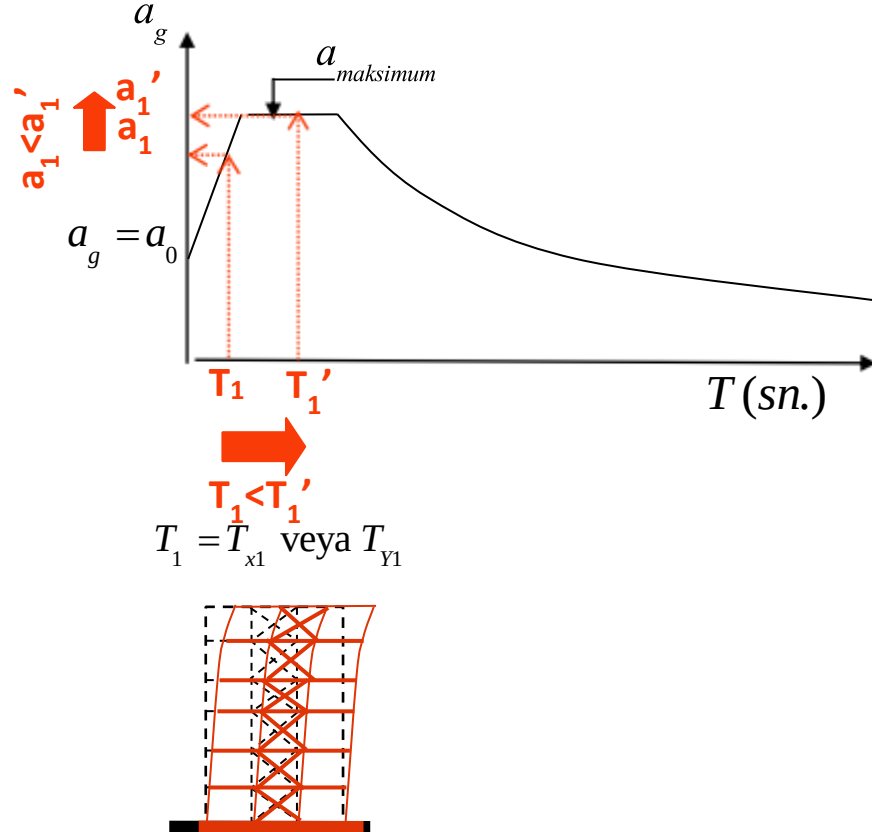
d_i = F_i kuvvetlerinin ürettiği kat yer değiştirmeleri

i 'inci kata etkiyen fiktif yükü gösteren F_{fi} , **Denk.(4.19)**'da ($V_t = \Delta FN$) yerine herhangi bir değer (örneğin birim değer) konularak elde edilecektir.

4.7.3.2 – Denk.(4.22) ile hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu, [s] biriminde $0.04H_N$ değerinden daha uzun alınmayacaktır.

Genel: Yapısal Dinamik Davranış

Genel olarak bir deprem anında binalar sahip oldukları **karakteristik periyodlarına yakın hakim periyodlara sahip yerel zemin** katmanları **üzerindeyseler** yapı ile zeminin **hakim periyodlarının uyuşması durumunda** yapı yer hareketine intibak etmeye çalışır. (yani yerin hakim modunda yer alan **depremin** enerjik titreşimleri ortam olarak yapı içinde de **benzer genlik ve faz disiplini içinde yayılmaya çalışır**.) Bu hadisenin tam olarak gerçekleşmesine **rezonans** denir. Pratik de bu senkronizasyonun **gerçekleşmesi tam mümkün olmamakla beraber yakın periyodlarda** ($T_{\text{yapı-1}} \approx 0.9 T_{\text{zemin-1}}$) **yapının zeminden yayılan dalgaların etkisine kısmen girmesi dahi yapı elemanlarında önemli mertebelerde kuvvet büyümesine sebep olabilir.** Bu tehlike yapı deprem izolatörlerinin kullanımıyla oluşan **izolatörlü yapı Periyodunun büyümesinde de görülür ve bu durumdan kaçınılır.** Güçlendirme çalışmalarında da yapı çok rijit hale getirilebilir ve **yerel zemin periyodunun küçük olduğu rijid zeminler ile rezonansa yakın risk gözlenebilir.** Yapının hasar alarak periyodunun **büyümesiyle** üstünde bulunduğu yerel zemin periyoduna yaklaşma ve **süren depremin enerjik bileşenlerinin o periyodlarda yapıya girmesi** yapının gelen enerjik titreşime intibak gayretine dayanamayan **hasarlı elemanlarının** kopmasına ve **göçmesine** neden olabilir.



Periyod küçülmesi değişik nedenlerden olabilir :

- Üst yapının aşırı güçlendirilmesi
- Üst yapıda kat azaltmasına gidilmesi
- Gevşek kumlarda titreşimlerin hacimsel şekil değiştirmeye sıkışması
- Sıvılaşma sonucunda ilave konsolidasyon oturmalarının oluşması

Periyod büyümesi değişik nedenlerden olabilir :

- Üst yapının hasar alması
- Üst yapıya kat ilaveleri
- Temelin hasar alması
- Yerel zeminin sıvılaşma aşamalarında

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \left(\frac{1}{T} \right) = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}}$$

Genel: Yapısal Dinamik Davranış

Sönüm : Mühendislik yapıları imal edildikleri malzeme özelliğine, yapı geometrisine, birleşim detaylarına ve taşıyıcı olmayan elemanlarının taşıyıcı elemanlarla bağlantı detayları ve taşıyıcı elemanların rijidliklerine etkilerine bağlı olarak sönüm karakteristikleri oluşur. Yapıların sönüm kabiliyetini kritik sönümün bir oranı olarak tarifleriz.

Kritik Sönüm : Dinamik sistemlerde, titreşimin gerçekleşmemesi için ihtiyaç olan minimum sönüm olarak tariflenir. Kritik sönümü anlamak için vereceğim örneği tahlil edelim. Gerilmiş bir yayı bir su havuzuna batıralım ve gerilmiş ipini parmağımızla bir kere çekip bırakalım. İp sükunete ulaşmak için defalarca titreşicektir. Bu sefer aynı ortamı yüksek viskozluğu olan bir madde ile doldurup aynı deneyi tekrarlırsak, görürüzkü, ip sudaki titreşimi sayısından az tekrarlar yapacaktır. Koyduğumuz sıvının viskozluğunu artırdıkça yapılacak deney tekrarlarında öyle bir viskoziteye ulaşılacaktır ki yayın gergide olan ipini parmakla çekip bıraktığımızda ip bir yarım periyod titreşimini dahi tamamlamadan duracaktır. İşte ordaki titreşimi hemen söndüren sıvının viskozluk değeri minimum kritik sönümdür.

Yapının sönüm karakteristiğini etkileyen harici ve dahili bir çok etken vardır.

1. Havanın sebep olduğu harici viskoz sönüm (diğerlerine göre çok düşük olduğundan genellikle ihmal edilmektedir).
2. Bünye malzemesinin sunduğu dahili viskoz sönüm titreşimin hızı ile orantılı olup yapının doğal titreşimi ile orantılı artar.
3. Sürtünmeden kaynaklanan sönüm (Coulomb sönümü) yapının birleşim noktalarında ve mesnetlendiği bölgelerde oluşur. Hız ve deplasmanın büyüklüğünden etkilenmez.
4. Ve sünek yapılarda en büyük enerji yutucu yetenek olan histeretik sönüm.

Genelde, bütün sönüm türlerinin tek bir tip sönüm (viskoz sönüm) değeriyle eşleştirilerek gösterilmesi pratiklik açısından tercih edilmiştir.

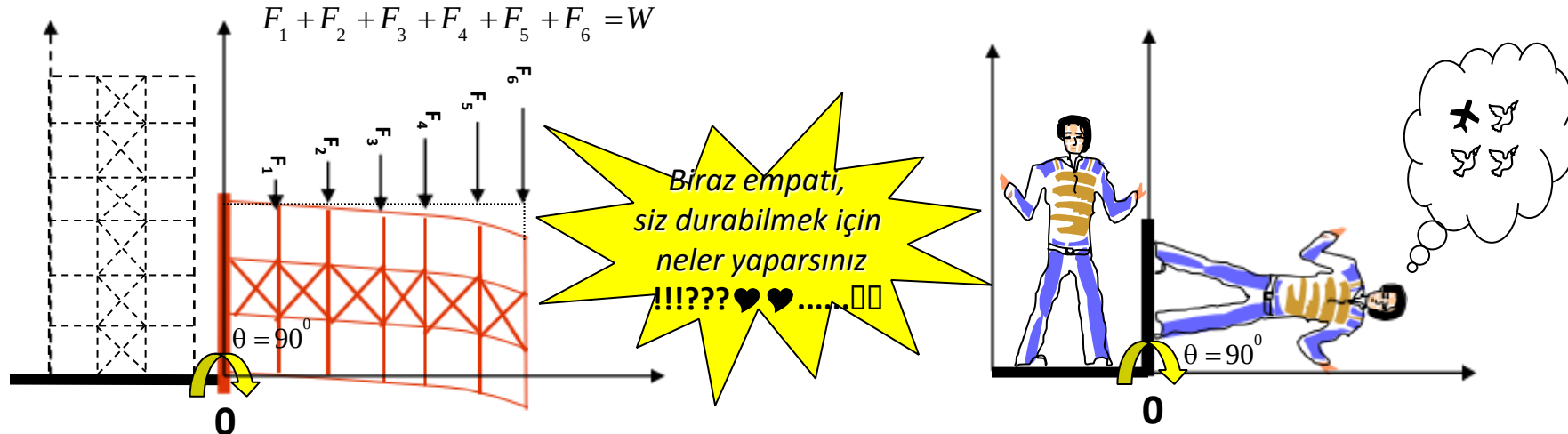
Genel: Yapısal Dinamik Davranış

Deprem izolatörlerinin olmadığı **normal yapılarda yönetmelik yükleri altında** sönüm oranı yani **kritik sönüm oranı** (c/c_{kritic}) **%1** (rüzgarın sebep olduğu sönüm) **ile %10** (sismik tasarımın öngördüğü sönüm oranı) **arasında değişebilir.**

$$\frac{1}{100} \leq \frac{c}{c_{kritic}} \leq \frac{10}{100}$$

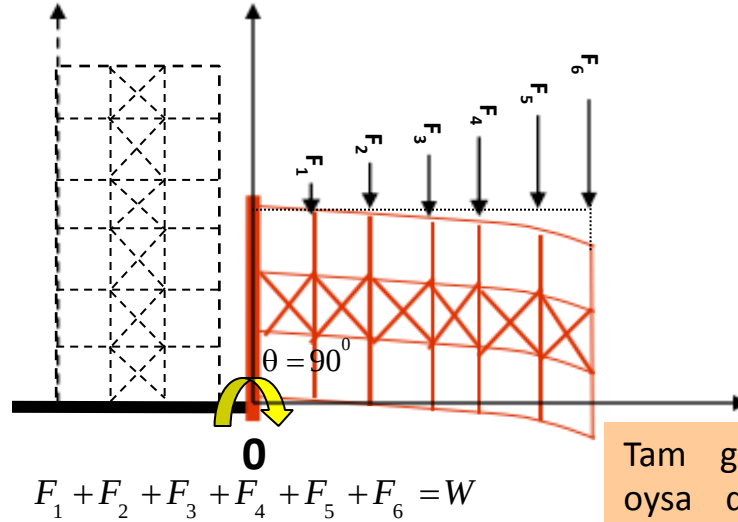
Deprem **izolatörlerinin olduğu yapılarda** yönetmelik yükleri altında sönüm oranı yani kritik sönüm oranı (c/c_{kritic}) **%20 ile %35 arasında değişebilir.** Bu şekliyle üst yapının büyük yatay ötelenmelerini temel seviyesinde önleyen sistem üst yapıya gelen **deprem enerjisini yapı giriş seviyesinde karşılayarak büyük elastik sönüm işleri yaptırmaktadır.** Bunun sonucunda **üst yapıda kat ötelenmeleri ve kat ivmeleri çok küçülmektedir.** Müzeler, tarihi mekanlar, hastahaneler ves. için öncelikli bir tercih olarak önümüzde durmaktadır.

Yer ivmesi 'g'nin %10'u kadarlık bir kuvvetin (**0.1g**) **yapıya yanal yük olarak etkimesi dahi zayıf yapılarda ciddi hasarlar doğurabilir.** Bu kuvvetin yer ivmesinin değeri olan 'g'ye yaklaşması **güçlü yapıları dahi hasara zorlar.** Tam 'g' ivmesini statik anlamda şöyle yorumlayabiliriz; Yerde düşeyde duran bir yapıyı bir anda şekilde görülen O noktası etrafında (yani sağ temel topuğundan, $\theta=90^\circ$) yataya çevirdiğimizi düşünelim. Bu şekliyle yapı bir konsol olarak orijinal şeklini verilen yönetmelik yükleri altında koruması umulmaktadır. Bu bize hangi hesap yöntemini hatırlatıyor.



Genel: Yapısal Dinamik Davranış

Yapı Hareketi ve Deformasyonlar : Gözlenen **deformasyon** deprem esnasında belirli mertebelerde ve defalarca kendini **tekrar ederek bir süreliğine** (birkaç sn'den bir kaç dakikaya kadar) **oluşacaktır**. Bu titreşimlerde yapı içindeki **yaşam ve hizmetler** talep edilen performans seviyesine bağlı olarak **sekteye uğrasada** sonra devam edecektir. O halde taşıyıcı elemanlarda sonrada kullanım için **yönetmelik kriterlerinin sağlanması gerekmektedir**. Kesitte oluşacak iç kuvvetlerin kesit kapasitesi sınırları içinde yada müsadde edilen aşılımlarla sağlanması, kat ötelenmelerinin sınırlandırılması, hasar durumunda **kesmeden önce eğilme hasarlarının sağlanması** ves. Ayrıca taşıyıcı olmayan elemanların dolgu duvarları, bölmeler ves.'nin az/çok **hasar ile** ve fakat **devrilmeden durumunu koruması**.



Tam g etkisindeki deformasyon, oysa deprem daha küçük g'ler üretir.

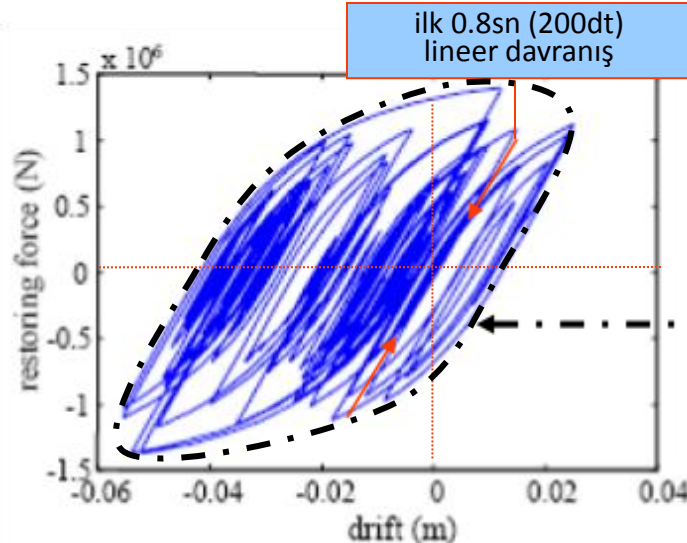
Göreceli Kat Ötelenmeleri : Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme

farkını ifade eden **azaltılmış göreceli kat ötelemesi**, Δ_i , ($\Delta_i = d_i - d_{i-1}$) ve R ile çarpılarak elde edilen **etkin göreceli kat ötelemesi**, δ_i , $\delta_i = R \Delta_i$ değerinin kat içindeki enbüyük değeri $\frac{(\delta_i)_{\max}}{h} \leq 0.02$ sağlanmalıdır.

verilen koşulun binanın herhangi bir katında **sağlanamaması** durumunda, taşıyıcı **sistemin rijitliği artırılarak** deprem hesabı tekrarlanacaktır. Ancak verilen koşul **sağlansa bile**, **yapısal olmayan** gevrek **elemanların** (cephe elemanları vb) etkin göreceli kat ötelemeleri altında **kullanılabilirliği hesapla doğrulanacaktır**.

Deprem İvme Parametreleriyle Yapısal Davranış arasındaki Karşılıklı Bağımlılık

Yapısal elemanların **süneklik kabiliyetleri** oluşan **kapasite fazlası gerilmelerin** inelastik (kalıcı) deformasyon işinde harcanabilme yatkınlığıdır. Bir kesitte ilk çekme donatısının akması o kesitin süneklik değeri olarak deklare edilecek olursa, **kesitte sunulan süneklik değeriyle depremin** o elemandan **talebinin mukayesesi** taşıyıcı sistemde yapı elemanının performansını **değerlendirmede uygun bir yoldur**. Eleman seviyesinde **kesit sünekliği** zayıf elemanların ve dolayısıyla **göçme mekanizmasının** oluşmasını sağlamaktadır.



İnşaat mühendisliği **proje parametreleri arasında lineer davranış kabul edilse dahi uygulamada, yapılarda lineer davranışın sağlanması oldukça güçtür. Küçük şiddete sahip depremlerde dahi betonda göremediğimiz mikro çatlakların açılıp kapanması o bölgede kalıcı gerilmelerin donatılarda oluşmasına taşıyıcı olmayan yapısal elemanlar ile taşıyıcı yapısal elemanlar arasındaki etkileşiminde ilave etkileriyle yapısal tepkide doğrusal olmayan bir davranış kabüllerdeki lineerlik ile çelişmektedir.**

Süregelen çalışmalar yapılarda **histeretik davranışın pratikte gözlenene çok uygun düştüğünü** göstermiştir. Buradan hareketle **yapıların doğrusal olmayan davranışının gerçekte doğrusal olmayan histeretik bir yapı arzettiğini** kabul edebiliriz.

Deprem gibi tekrarlı bir dinamik yük altında gösterdiği ötelenmeler sonucu oluşan kesme kuvvet-yanal deplasman değişim halkalarını çevreleyen zarf yapının sönüm gücünü gösterir.

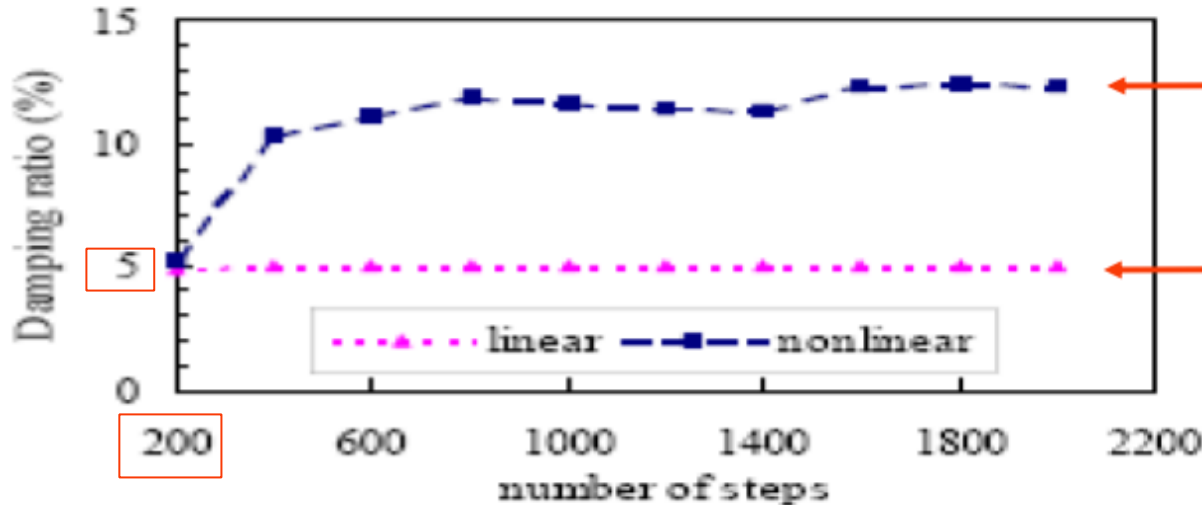
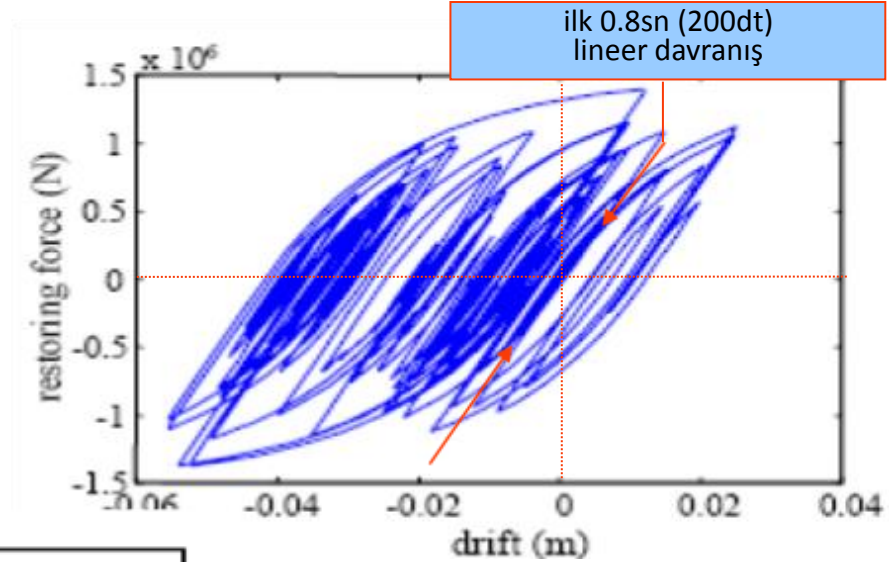
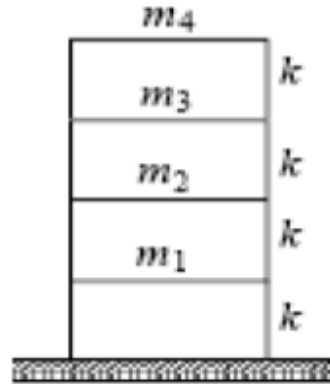
Deprem İvme Parametreleriyle Yapısal Davranış arasındaki Karşılıklı Bağımlılık

Yapılan bir nümerik simulasyonda 4 katlı kesme çerçeve yapı kat kütleleri ve rijitlikleriyle aşağıda verilen modal açısai frekans değerleriyle çalışılmışdır. %5 yapısal sönüm ve sadece yatay deprem bileşenleriyle çalışılan bu modelde ilk kat kesme kuvveti ve ötelenmeleri çizilmiş diğer üst katların lineer elastik davrandıkları kabul edilmiştir.

$k = 7.5E7 \text{ N/m}$, $m_1 = 3.6 \text{ Ton}$, $m_2 = m_3 = 2.85 \text{ Ton}$, $m_4 = 1.8 \text{ Ton}$.

Modlar: w (rad./sec.):

1	9.67
2	26.37
3	39.81
4	49.03



Doğrusal olmayan davranış kendisini (ilk 0.8sn (200dt)) lineer bölgeden sonra belirgin bir sönüm artımıyla deklare etmekte, sonrası sönüm özelliği küçük salınımlarla artarak değişmektedir.

Deprem gibi Dinamik Yüke Karşı Tasarımda Hedef

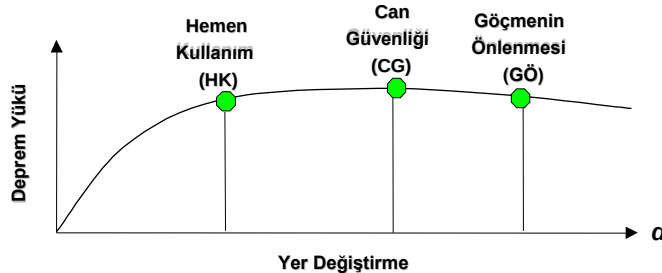
Yapıların tasarımı ilgili yönetmeliğin şiddetli olarak tanımladığı sismik yükler karşısında yine ilgili yönetmeliğin istediği seviyede yapısal performansı can güvenliğini sağlayarak yerine getirmesidir. Tasarımda bu hedeflenirken tekrarlı ve doğrusal olmayan deformasyonları yapının üretebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Hemen hemen bütün yönetmelikler şiddetli bir depremde (Elastik Tasarım İvme Spektrumu altında) kalıcı hasarlar bırakacak (inelastik) enerji tüketimini taşıyıcı sistemden beklerken, göçmenin olmamasını ve can güvenliğinin sağlanmasını hedeflerler. Bu hedefin tutturulması, bazı detayların ve parametrelerin doğruluğuna bağlıdır. Bunlar, a) malzeme mukavemeti, b) yapı taşıyıcı elemanlarının kazandıracağı düktilite ve c) yanal kuvvetlere yapının mukavemetinin tam bir kayma ve eğilme moment çerçevesi sürekliliği içinde çalıştırılmasının yanı sıra d) donatıda konstruktif detaylara tam uyulmasıdır.

Yönetmeliğimizde Tasarım Depremi ve Yapı Performansı

DBYBHY'de yeni yapılacak binalar için esas alınan tasarım depremi, dönüş periyodu 475 yıl olan, diğer deyişle bir yılda meydana gelme olasılığı $1 / 475 = 0.0021$ olan "seyrek deprem"dir. Bu depremin 50 yılda aşılma olasılığı aşağıdaki bağıntı ile %10 olarak elde edilmiştir.

$$P_{(50)} = 1 - \left(1 - \frac{1}{475} \right)^{50} = 0.10$$

Tasarım depremi altında Yönetmelik-2007'de tanımlanan **Can Güvenliği (CG)** performans düzeyinin sağlanmasını inşaat mühendisi hedefler.



Deprem Yönetmeliğinde Öngörülen Yapısal Performans

KRİTERLER	HASAR		
	Hafif	Orta	Ağır
İşlevsellik	korunmalı	korunmalı	korunamaz
Taşıyıcı Olmayan Elemanlarda Hasar	Onarımı gerektermeyecek kadar olur (kılcal)	Onarılabılır seviyede olur (geniş çatlaklar)	Olur (geniş çatlaklar ve dökülmeler)
Taşıyıcı Elemanlarda Hasar	Olmaz	Onarılabılır seviyede olur ama sistem davranışına çok az müdahale gerektirebilecek seviye	Onarılamayacak seviyede olur ve yapı davranışında iyileştirme maliyeti fizible değildir
Çatlak Dağılımı ve Türü	Tek tük ve kılcal	Düşük yoğunlukta; kılcal ve geniş çatlaklar	Çok yoğun patenler oluşmuş; geniş yarıklar ve dökülmeler
Donatıda Akma	Olmaz	Bir kaç noktada olabilir	Bir çok noktada aktığında mafsallaşma hakim bir tablo olarak görülür
Betonda Ezilme	Olmaz	Yer yer ezilebilir	Sayırsız yerde beton ezilir (-) ve açılır (+)
Onarımın Ekonomiye Maliyeti	0.0001*Maliyet	(0.1~0.4)*Maliyet	1*Maliyet
Çökme ihtimali	Olmaz	Olmaz	Olmaz
Can Kaybı	Olmaz	Olmaz	Olmaz

Yönetmelikte Yapısal Dinamik Davranış

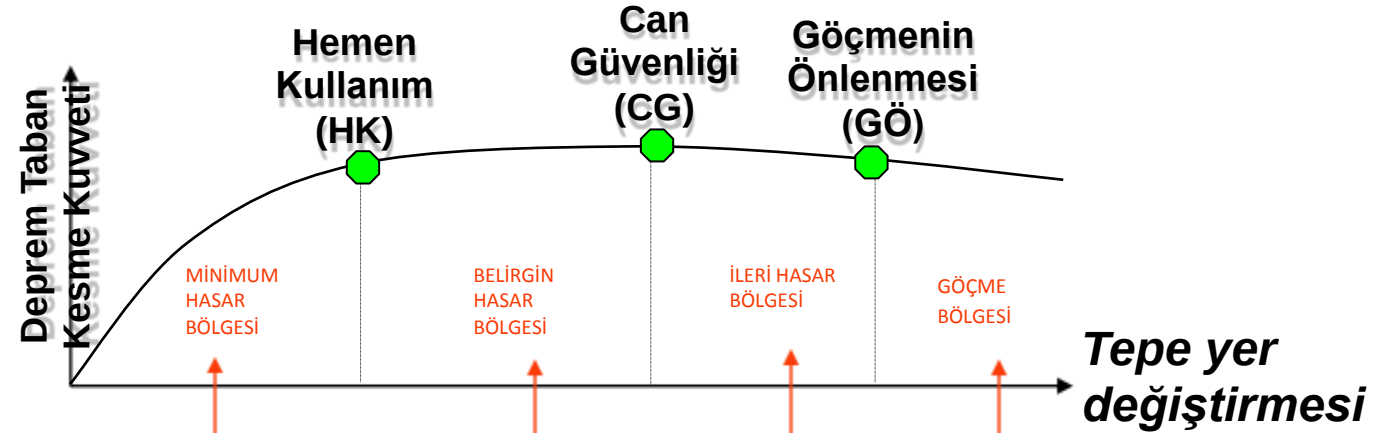
Yönetmeliğimizde Hedef Yapı Performansı ve Tasarım Depremi

DBYBHY’de yeni yapılacak binalar için esas alınan tasarım depremi, dönüş periyodu 475 yıl olan, diğer bir deyişle bir yılda meydana gelme olasılığı $1 / 475 = 0.0021$ olan ”seyrek deprem”dir.

Bu depremin 50 yılda aşılma olasılığı istatistiki bağıntı ile %10’dur.

$$P_{50} = 1 - \left(1 - \frac{1}{475}\right)^{50} = 0.10$$

Tasarım depremi altında Yönetmelik-2007’de ve sonrası 2018’de tanımlanan **Can Güvenliği (CG)** performans düzeyinin sağlanmasını inşaat mühendisi hedefler.



Elemanlar toplamının kesit maksimum değerleriyle değerlendirilmesi sonucu elemanların bileşkesinin (?) oluşturacağı nihai bina performansı bölgelerden birinde yer alır.

Yönetmelikte Yapısal Dinamik Davranış

TABLO 7.7 – FARKLI DEPREM DÜZEYLERİNDE BİNALAR İÇİN ÖNGÖRÜLEN MİNİMUM PERFORMANS HEDEFLERİ

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	–	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	–	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	–
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	–	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	–	CG	–

HK: Hemen Kullanım; CG: Can Güvenliği; GÖ: Göçme Öncesi (Bkz. 7.7)

2007 yönetmeliği performansın çeşitli deprem düzeylerinde belirlenmesi için üç deprem düzeyi tanımlamıştır.

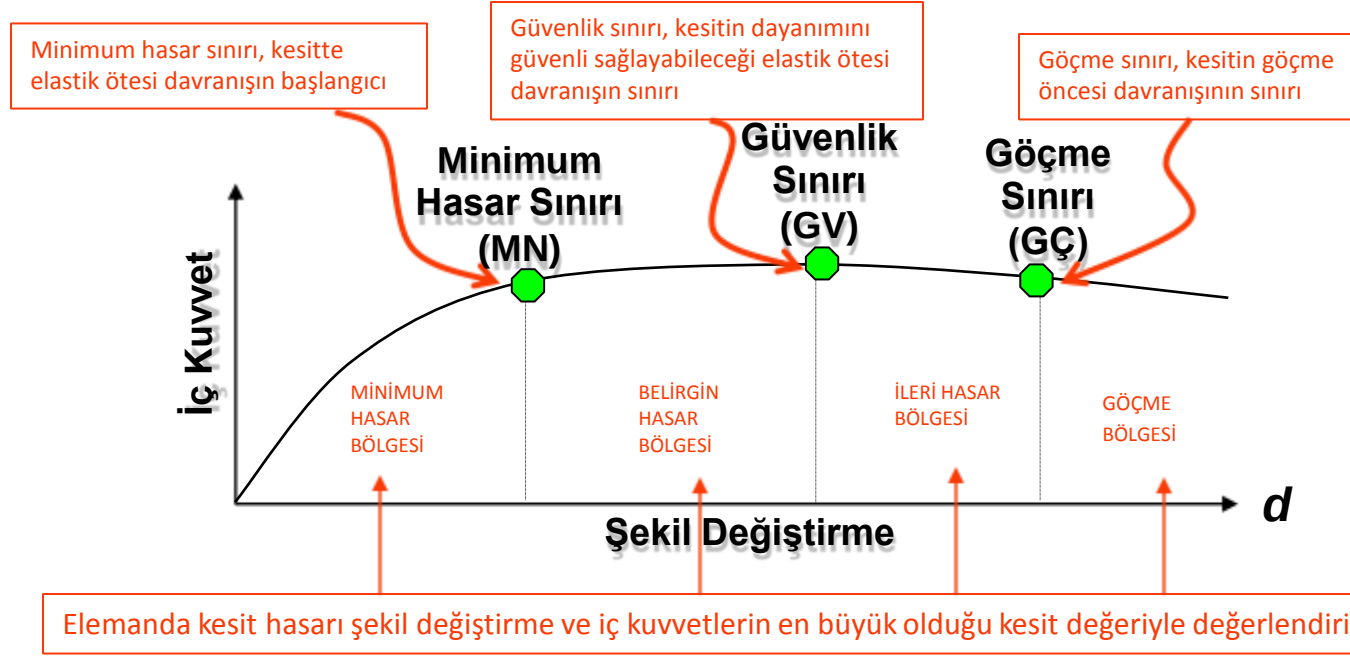
- 1) Sık (küçük) depremler; 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan dönüş periyodu 72 yıl olan depremler: Yönetmeliğin şiddetli deprem olarak öngördüğü elastik tasarım depreminin ordinatlarının yarısı alınarak oluşturulur.
- 2) Seyrek (büyük) depremler; 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan dönüş periyodu 472 yıl olan depremler: Yönetmeliğin şiddetli deprem olarak öngördüğü elastik tasarım depremidir.
- 3) Çok seyrek (çok büyük) depremler; 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan dönüş periyodu 2475 yıl olan depremler: Yönetmeliğin şiddetli deprem olarak öngördüğü elastik tasarım depreminin ordinatlarının 1.5 katı alınarak oluşturulur.

Konut türü yapılara verilen bu performans hedeflerinden birisi (2) uygulanmakla beraber, konut dışındaki yapılar için en az iki deprem düzeyi için iki farklı performans tanımlanmıştır.

Deprem Yönetmeliğinin Yapı Davranışına Yaklaşımı

- Yönetmelik binanın $\Rightarrow$ Kullanım amacına ($I, R, \text{istenen yapısal performans}$)
- $\Rightarrow$ Yapı geometrisine (Plan ve Kesit detayları, *Yatay ve düşey düzensizliklere*)
- $\Rightarrow$ Bulunduğu deprem bölgesine ($T_A, T_B, \text{Zemin türü}, A_0$)
- $\Rightarrow$ Taşıyıcı sistem özelliğine (R)
- $\Rightarrow$ Statik parametrelerine ($m, E, G, \text{Poisson oranı}, \text{Genleşme Katsayısı}, I_y, f_{cd}, f_{cy}$)
- $\Rightarrow$ Dinamik parametrelerine (m, R_a, T_1) bağlı olarak bina önem sayısı (I), 1 olan binalar için (ekonomik amortisman ömrü olan) 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olan bir orta şiddette (dönüşüm periyodu 474 yıl olan) tasarım depremi altında düşey yük şartlarında R_a deprem yükü azaltma katsayısı marifetiyle azaltılmış deprem etkisinde taşıyıcı sistemin (*süneklik mertebesiyle uyumlu onarılabilir sınırlı kalıcı hasar alacağı öngörüsüyle*) doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınmış bir doğrusal hesap (*superpozisyona imkan veren*) algoritmasıyla *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve/ya *Mod Birleştirme Yöntemi* kullanılarak taşıyıcı sistemin (R_a kadar azaltılmış) kesit tesirleri ve etkin yerdeğiştirmeleri ($R(\Delta_i)_{max}$) hesaplanır ve bunları karşılayacak kesit boyutları ve donatı detayları tasarlanır.
- Taşıyıcı olmayan elemanların hasar seviyesi ise etkin yatay yerdeğiştirme sınırlamasıyla ($R(\Delta_i)_{max}/h_i < 0.02$) minimize edilmiş olur.
 - Gevrek güç tükenmesi istenmez, eğilmeden hasar alarak pekleşen ve plastikleşen bir sünek yapı davranışı istenir.
 - Gerçekte plastikleşen (hasar alan) bir yapı davranışı plastik teoriyle çözümlidir ve en basit bir yaklaşım ile elasto-plastik çözüm algoritmalarının uygulanmasını gerektirir. Bu basit yaklaşım dahi yapıdan yapıya güçlükler içeren bir çözümdür. Plastikleşen kesitlerde doğru bir malzeme davranış bilgisinin (Gerilme-Birim şekil değiştirme eğrileri veya soğanları, akma yasaları, artımsal plastik teori algoritmaları) yanı sıra en kolay şekliyle plastik mafsallar kullanılarak (basınç normal kuvveti + iki eksenli kayma kuvveti + iki eksenli burulma momenti + iki eksenli eğilme moment kuvvetleri altında önceden bilinecek kararlı donatı alanı ve bu kesit tesirlerini tam karşılayan kesit geometrisi için plastik mafsallık kabülü) *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*, *Mod Birleştirme Yöntemi* ve Zaman ortamında adım adım dinamik analiz pratik uygulama mühendisliği açısından zordur.
 - Hasarın analitik modeli zorluk içersede, biz taşıyıcı sistem kesitlerinin düşey ve yatay yükler altında sınırlı plastik dönen mafsallar oluşturarak taşımayı diğer elemanların yardımıyla (hiperstatik yapının sunduğu çok yedekleme ile) yeniden dağılım (yeniden dengeleme) ile sistemde ani güç kaybını önlemekte, sünek yapıda dayanımı uzatmakta ve göçmeyi önlemektedir. Taşıyıcı sistem için elastik ve elasto-plastik çözümle bulunacak göçme yüklerinin oranı yaklaşık R kadar olup, seçilecek bir süneklik mertebesiyle elasto-plastik hesap güçlüğü elastik hesabın sunduğu kolaylıklar ile aşılmış olmaktadır. Yönetmeliğin doğrusal çözüm yaklaşımı bu eksen üzerinden değerlendirilmelidir.

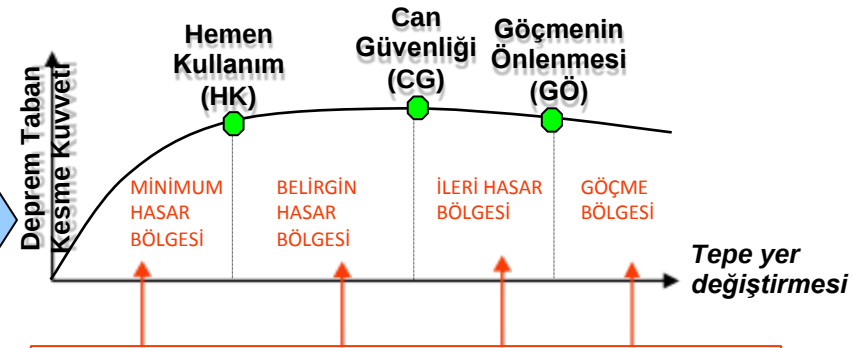
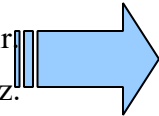
KESİT HASAR SINIRLARI VE BÖLGELERİ



$$\varepsilon_c \leq \varepsilon_{c \text{ SINIR}}$$

$$|\varepsilon_s| \leq \varepsilon_{s \text{ SINIR}}$$

Elemanda kesitlerinden birisi gevrek kırılmadan giderse o elemanın gevrek eleman davranışı gösterdiği kabul edilir, ve göçme bölgesinde olduğu göz önüne alınır. Tali kirişler yatay yük hesabında değerlendirmeye alınmaz.



Elemanlar toplamının kesit maksimum değerleriyle değerlendirilmesi sonucu elemanların bileşkesinin (?) oluşturacağı nihai bina performansı bölgelerden birinde yer alır.

Tablo 3.4. Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Yeni Yapılacak veya Mevcut Binalar için Performans Hedefleri ve Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları

(a) Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar
(Yüksek Binalar dışında – $BYS \geq 2$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS=1, 1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ 3, 3a, 4, 4a		DTS=1 a ⁽²⁾ , 2 a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	HK	ŞGDT
DD-2	CG	DGT	CG	DGT ^(3,4)
DD-1	—	—	CG	ŞGDT

(b) Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar ($BYS = 1$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS=1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT-ŞGDT	—	—
DD-3	—	—	HK	ŞGDT
DD-2	CG	DGT ⁽¹⁾	CG	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	CG	ŞGDT

(c) Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar
(Yüksek Binalar dışında – $BYS \geq 2$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS=1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	HK	ŞGDT
DD-2	CG	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	CG	ŞGDT

⁽¹⁾ $BYS > 3$ olan binalarda uygulanacaktır.

⁽²⁾ $BYS = 2, 3$ olan binalarda uygulanacaktır.

⁽³⁾ Ön tasarım olarak yapılacaktır.

⁽⁴⁾ $I = 1.5$ alınarak uygulanacaktır.