TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
İSTANBUL ŞUBESİ

İnşaat Mühendisleri
Odası İstanbul Şubesi
Konferans Salonu

08 Kasım 2026 / Pazar Saat 10:00

17. SÜRELI SERTİFİKALI EĞİTİM

DEPREM MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİMİ

Deprem Yer Hareketi, Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları, Deprem Tepki Spektrumu, Elastik ve İnelastic Tasarım Spektrumları Performansa Dayalı Tasarım

Dr. Yasin Fahjan
İnşaat Y. Müh
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Bu eğitim sunumlarında yer alan birçok görsel, kaynakça bilgileri açıkça belirtilmemekle birlikte, çeşitli kaynaklardan derlenmiştir. Bazı görseller ise yapay zekâ araçları kullanılarak hazırlanmıştır

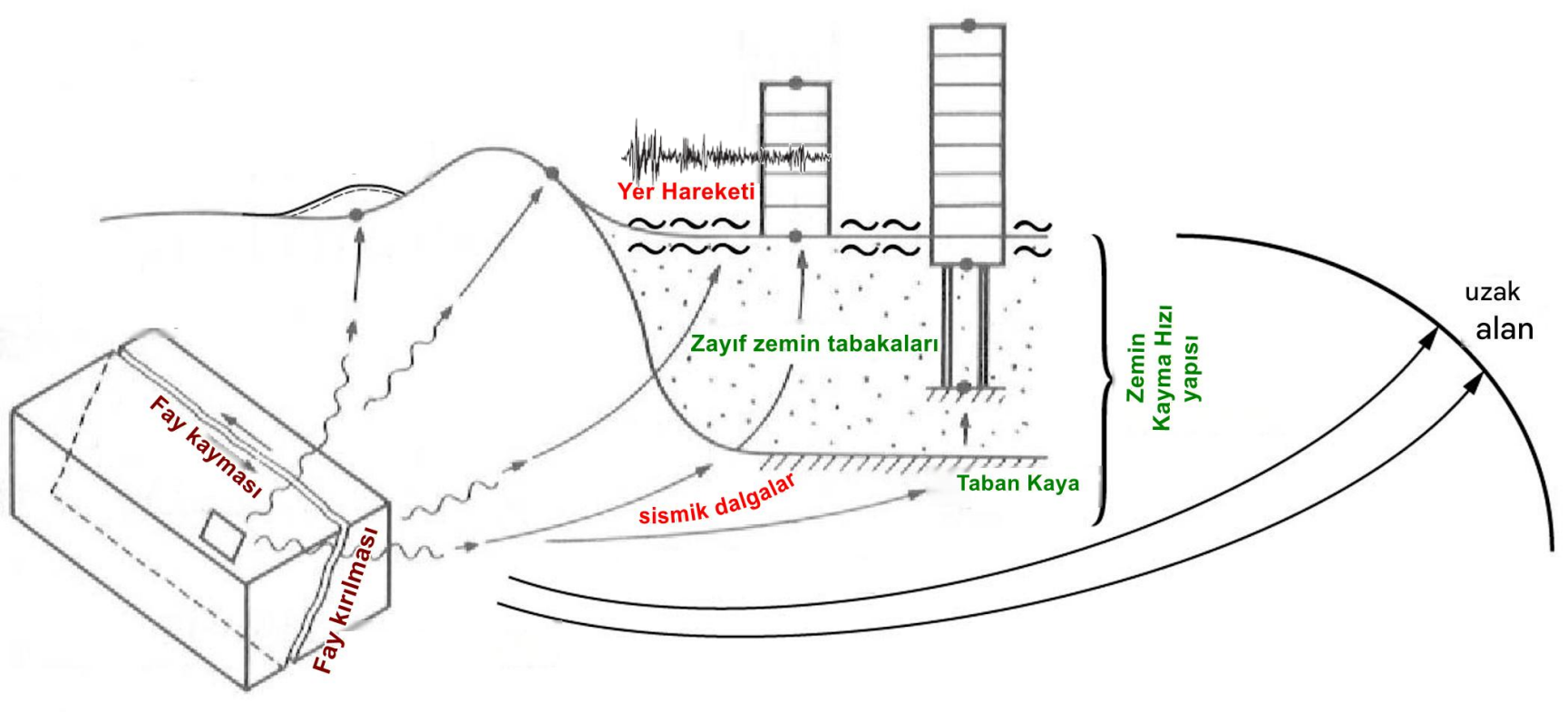
TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ (TBDY-2018)

BÖLÜM 1	GENEL HÜKÜMLER
BÖLÜM 2	DEPREM YER HAREKETİ
BÖLÜM 3	BİNALARIN DEĞER. VE TASARIMI İÇİN GENEL ESASLAR
BÖLÜM 4	DAYANIMA GÖRE TASARIMI
BÖLÜM 5	ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME
BÖLÜM 6	YAPISAL OLMAYAN BİNA ELEMANLARI
BÖLÜM 7	YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ
BÖLÜM 8	ÖNÜRETİMLİ BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ
BÖLÜM 9	ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ
BÖLÜM 10	HAFİF ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ
BÖLÜM 11	YIĞMA BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ
BÖLÜM 12	AHŞAP BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ
BÖLÜM 13	YÜKSEK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ
BÖLÜM 14	YALITIMLI BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ
BÖLÜM 15	MEVCUT BİNA SİSTEMLERİNİN DEĞER. VE GÜÇLENDİRME
BÖLÜM 16	TEMEL ZEMİNİ VE TEMELLERİN TASARIMI
BÖLÜM 17	DÜZENLİ BETONARME BİNALAR (BASİTLEŞTİRİLMİŞ TASARIM)

DEPREM YER HAREKETİ

Deprem yer hareketinin temel bileşenleri (Kaynak Etkileri, Yayılım/Yol Etkileri, Saha/Yerel Zemin Etkileri), Deprem yer hareketinin ölçülmesi, Kuvvetli yer hareketi kayıtları
Deprem hareketi altında Tek Serbestlik Dereceli sisteminin davranışı, Deprem Tepki Spektrumu

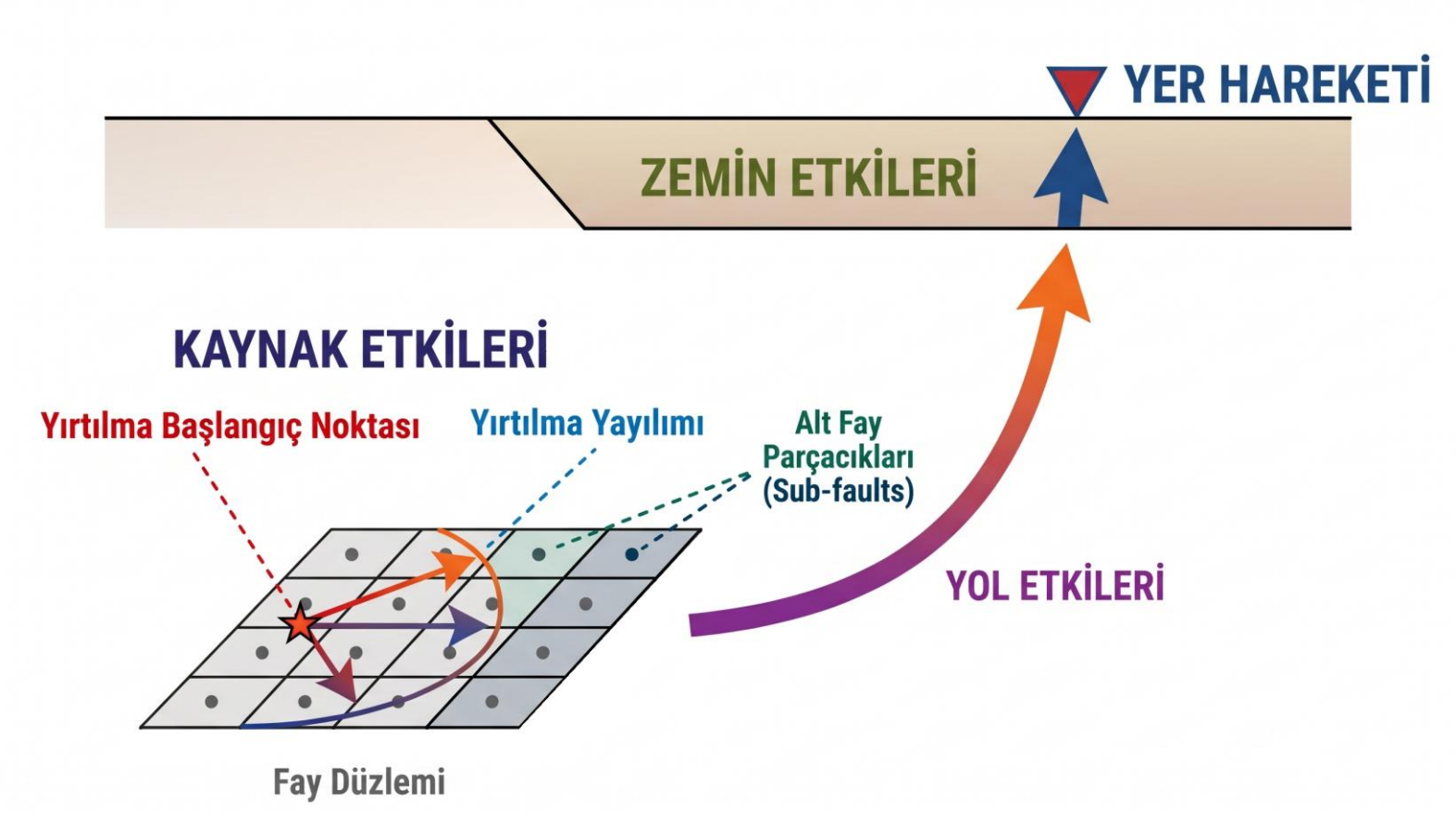
Sismik Sarsıntı Ve Sismik Zemin Davranışı/Sismik Dalgaların Yayılımı



Sismik sarsıntı, fay kırılmasıyla açığa çıkan enerjinin dalgalar halinde yayılmasıdır. Bu sismik dalgalar (**P, S ve Yüzey dalgaları**), kaynaktan yapıya ulaşana kadar geçtikleri kaya ve zeminin özelliklerine göre değişime uğrayarak "**yer hareketini**" oluşturur. Mühendisler için esas olan, bu dalgaların zemin yapısıyla etkileşime girerek binaya aktardığı **dinamik yüklerin ve frekans içeriğinin** doğru analiz edilmesidir.

(based on Taga, 1982).

Kuvvetli Yer Hareketlerine Etkileyen Etkiler



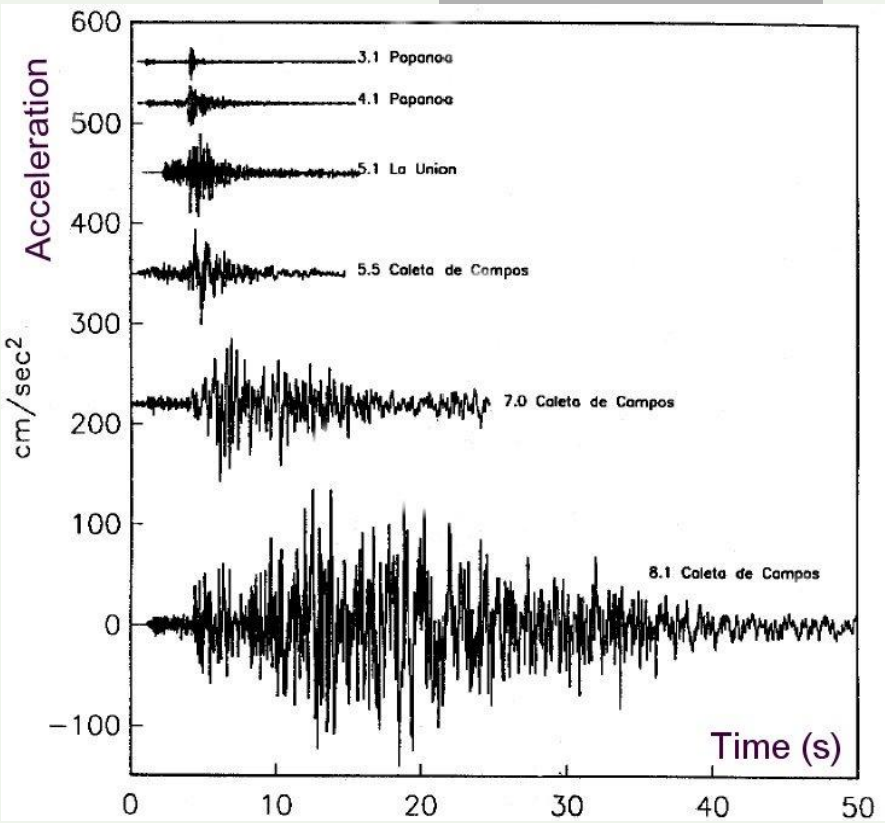
Şiddetli depremler sırasında gözlemlenen kuvvetli yer hareketleri, kaynak, sismik dalga yayılma yolu ve saha etkileri (source-path-site) olmak üzere üç ana faktörden etkilenmektedir.

Farklı Büyüklükteki Depremlerin Yer Hareketi Kayıtları

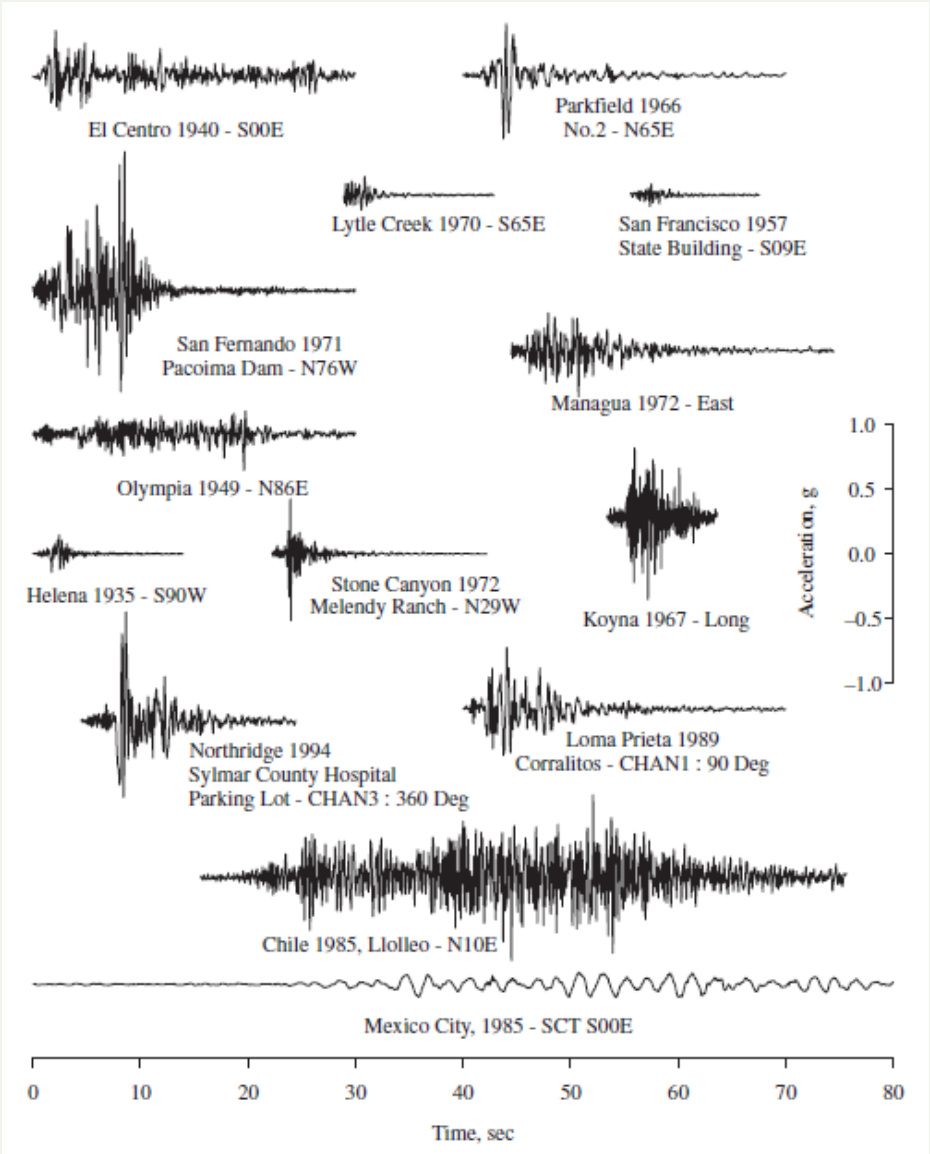
Deprem Büyüklüğünün Yer Hareketine Etkisi:
Deprem büyüklüğü; sarsıntının şiddetini, süresini ve frekans içeriğini doğrudan belirler.

Genlik ve Enerji Artışı:
Büyüklük arttıkça açığa çıkan sismik enerji yükselir; bu da en yüksek ivme (PGA), hız (PGV) ve deplasman (PGD) değerlerinin artmasına yol açar.

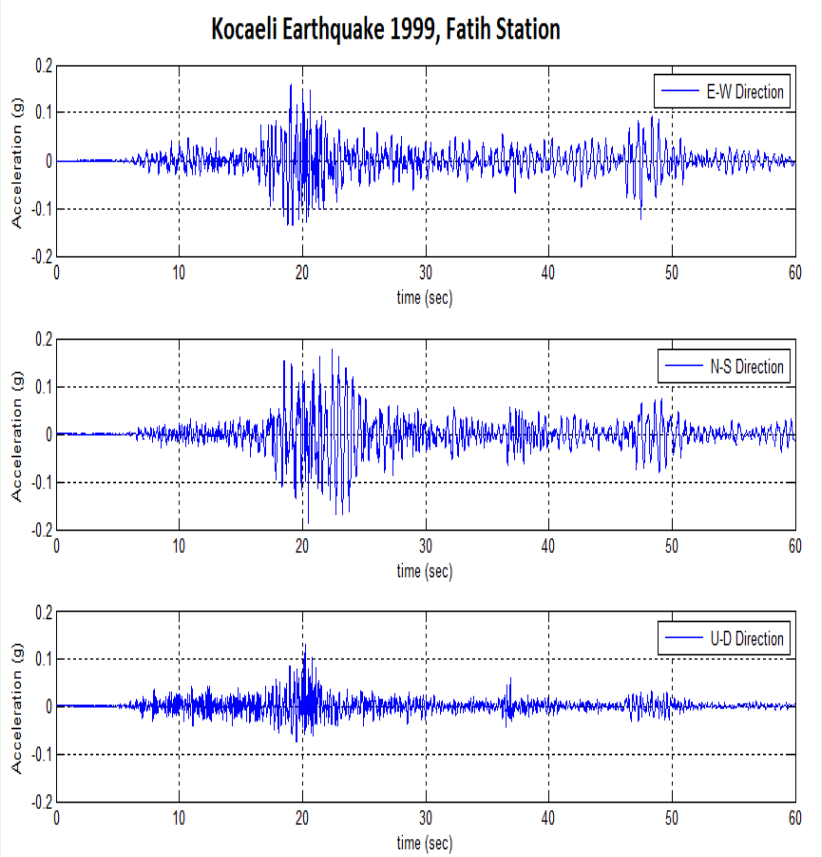
Frekans İçeriğindeki Değişim:
Küçük depremler baskın olarak yüksek frekanslı sarsıntılar üretirken; büyük depremler genlik spektrumunu genişleterek hem yüksek hem de düşük frekanslı (uzun periyotlu) dalga bileşenlerini barındırır.



Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları



3 Bileşen Deprem İvme kayıtları



Chopra, Dynamics of Structures

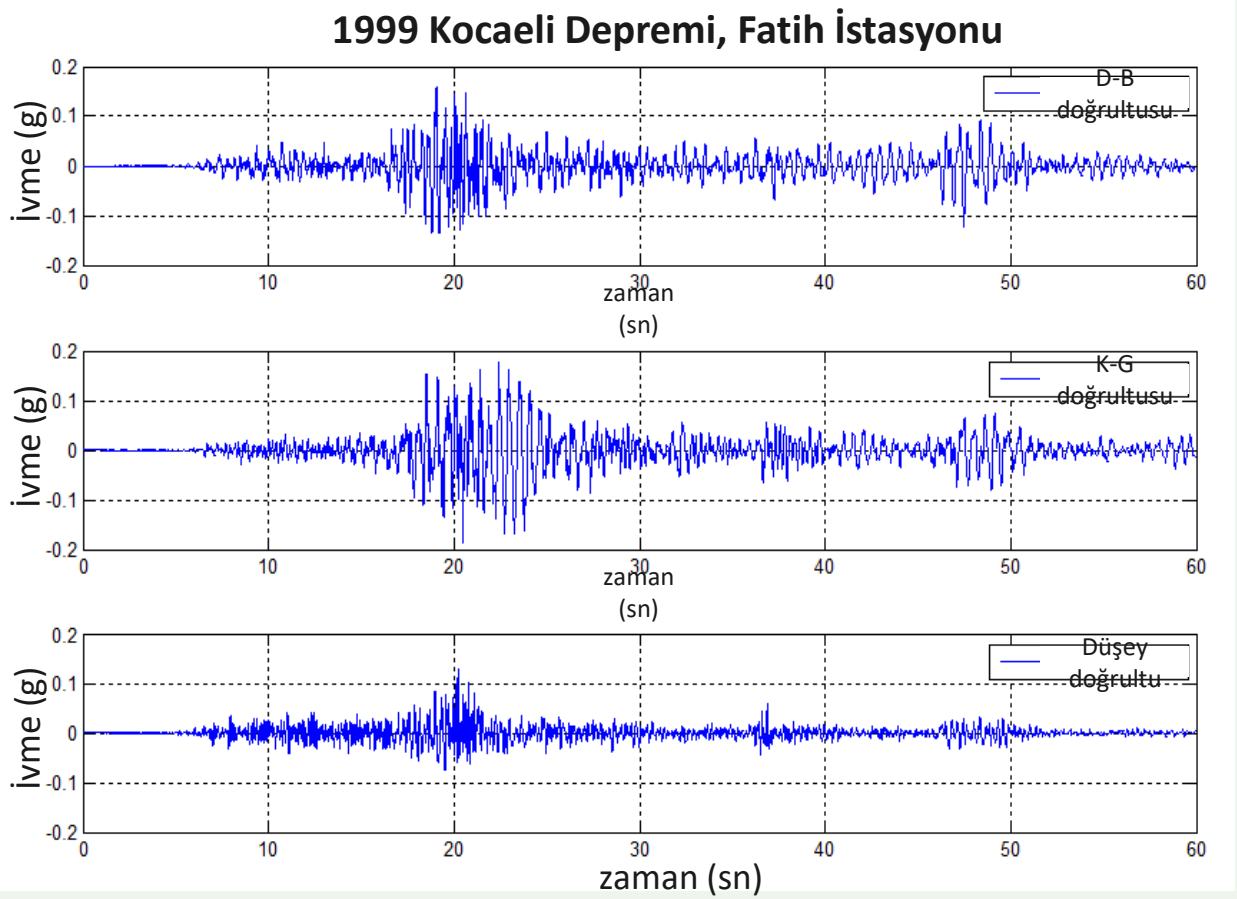
Üç Bileşenli Deprem İvme Kaydı

Gerçek deprem kayıtları şunları içerir:

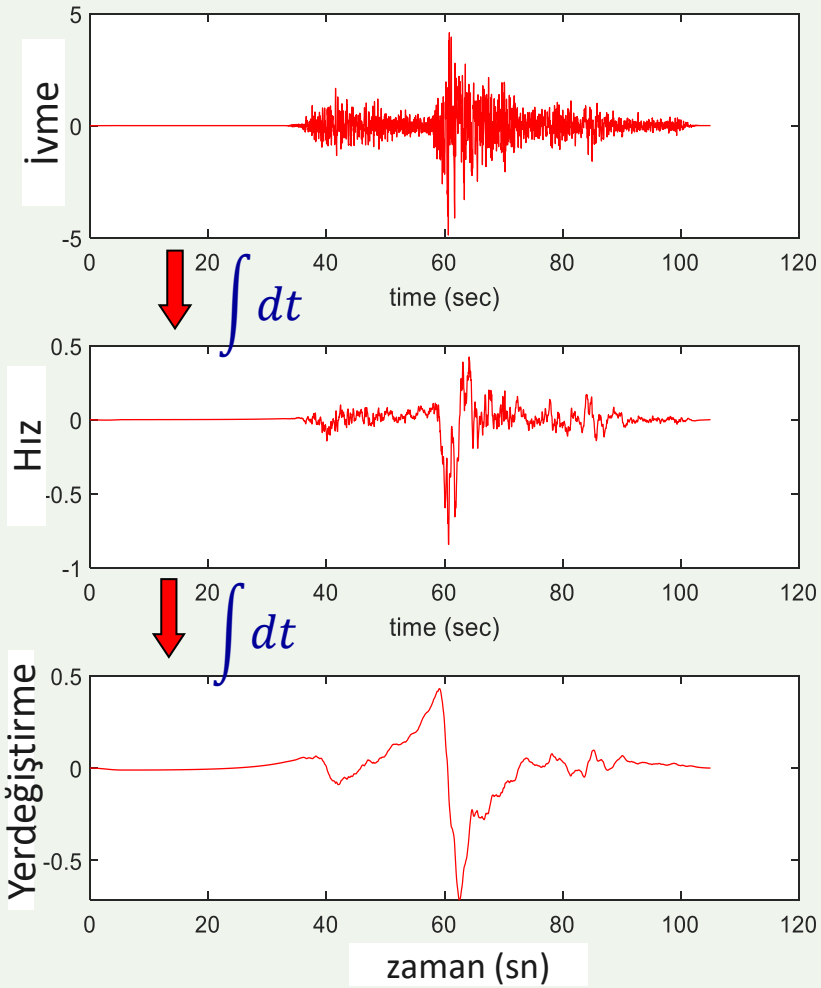
- **H1** Yatay bileşen
- **H2** Yatay bileşen
- **V** Düşey bileşen

AFAD verilerinde

- **H1 : KG (Kuzey–Güney)**
- **H2 : DB (Doğu–Batı)**



Yer Hareketi Zaman Serilerinin İşlenmesi



İvme: en sık kaydedilen zaman serisidir; görece yüksek frekanslı bileşenlerin payı büyüktür.

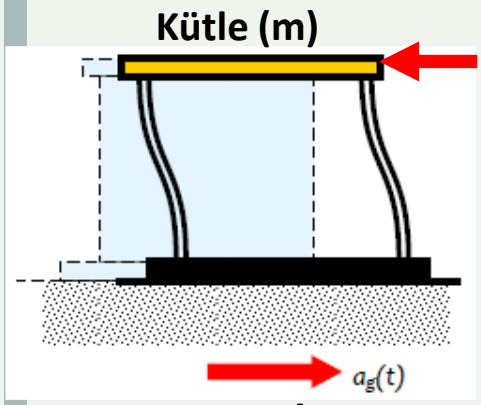
Hız: ivmeye göre çok daha az yüksek frekanslı hareket içerir.

$$v = \int a\,(t)\,dt$$

Yerdeğiştirme: görece düşük frekanslı hareketin baskın olduğu seridir.

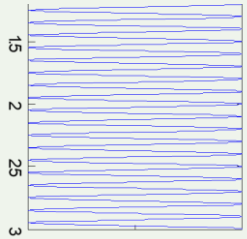
$$u = \int v\,(t)\,dt$$

Deprem Kuvvetlerinin Niteliği

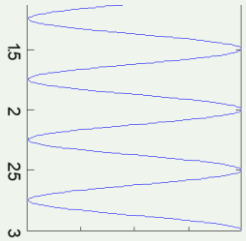


Deprem Yer İvmesi

T=0.05 sn



T=0.5 sn



Yer hareketin Farklı Frekans İçeriği

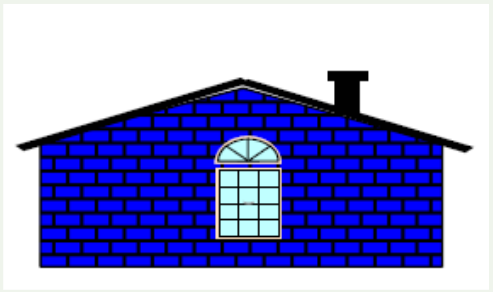
Atalet Kuvveti= Kütle * İvme

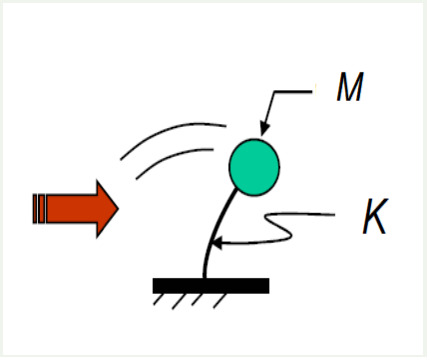


Newton'un İkinci Hareket Yasası

F = m * a_g !!?? → F = m * Sa(T)

Binanın Doğal Titreşim Periyodu





M (Bina Kütle)= Ağırlık / g
K= Bina Yanal Sertlik

$$\text{Vibration Period } T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}}$$

Doğal Titreşim Periyodu (T);

Bir tam Çevrim için geçen süre (saniye cinsinden ölçülür)

Doğal Frekans (f) =1 / T

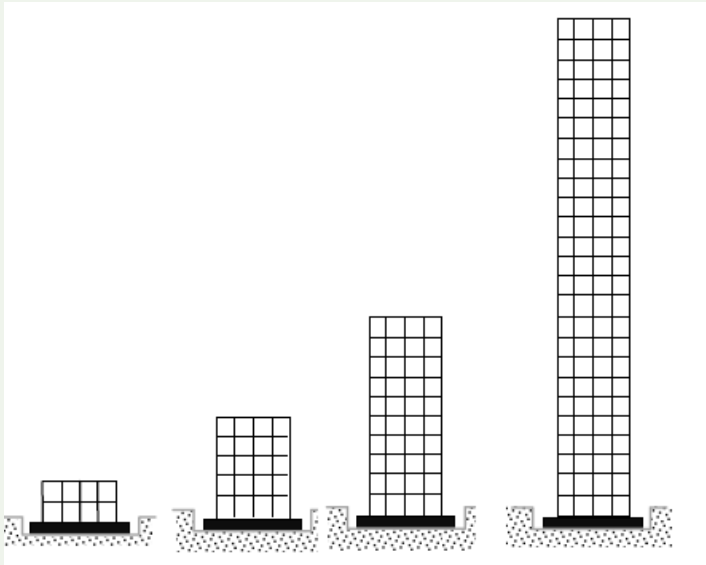
1 saniyedeki Çevrim Sayısı (Hz cinsinden ölçülür)

T=0.1xN (Kat Sayısı)

$$T = C_t H_N^{3/4}$$

TBDY2018

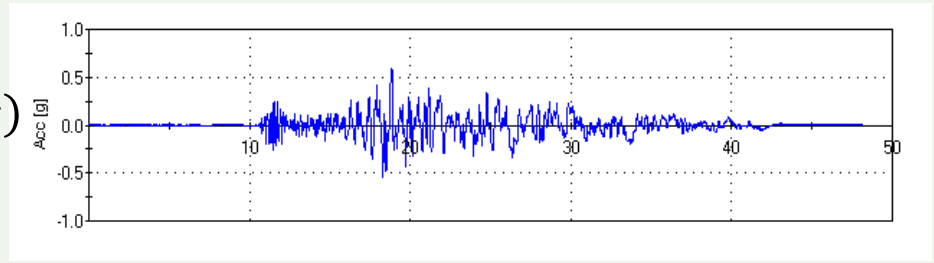
H_N: Bina yüksekliği (m)
Ct = 0,07: betonarme çerçeveli binalar
Ct = 0,08: yalnızca çelik çerçeveli binalar
Ct = 0,05: diğer tüm binalar



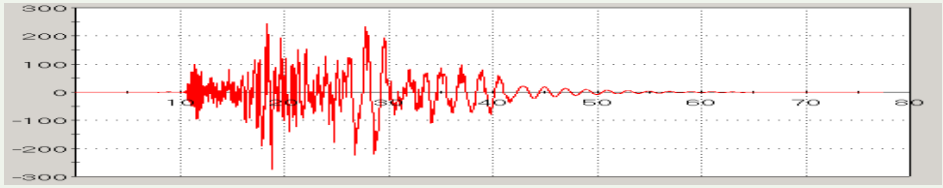
Deprem Hareketi Altında Tek Serbestlik Dereceli (TSD) Sisteminin Davranışı

$$m\{\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t)\} + c\dot{u}(t) + ku(t) = 0$$

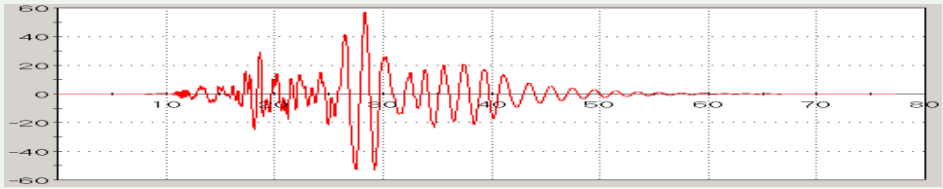
Atalet Kuvveti + Sönümleme Kuvveti + Elastik Kuvvet=0



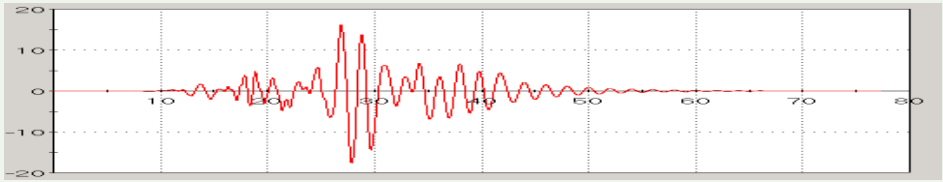
$\ddot{u}_g(t)$ **Giriş Hareketi**



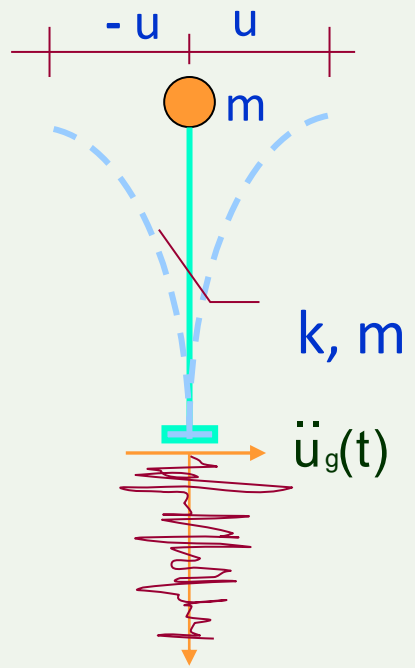
$\ddot{u}(t)$ **İvme Davranışı**

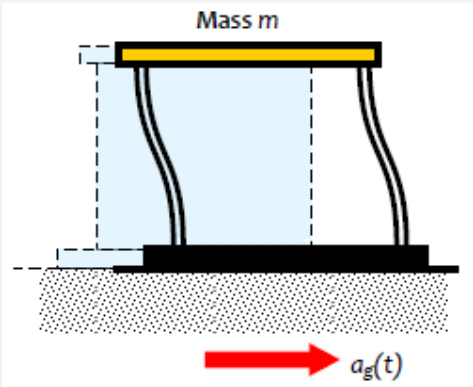


$\dot{u}(t)$ **Hız Davranışı**



$u(t)$ **Yer değiştirme Davranışı**

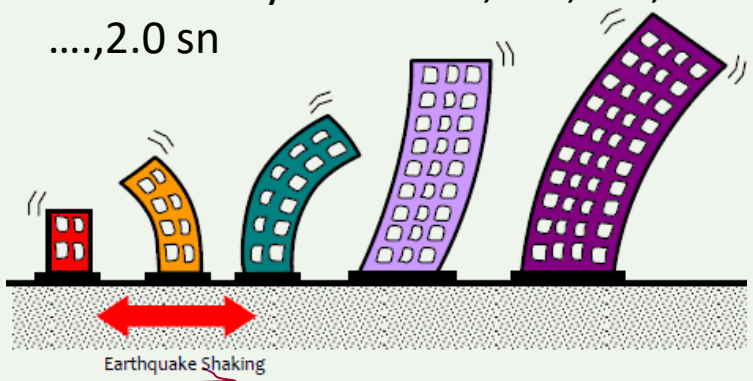




Deprem Tepki (Davranış) Spektrumu

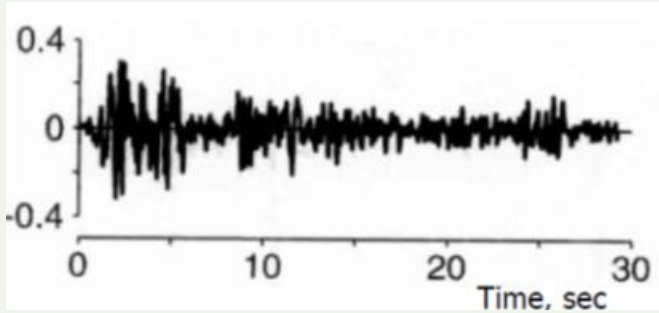
- Önceden tanımlanmış periyot aralığındaki ve belirlenen sönüm oranına sahip TSD sistemlerinin, deprem yer hareketi altında zaman tanım alanındaki tepkilerinin en büyük değerleri hesaplanabilmektedir.
- Deprem tepki spektrumu, **TSD** sistemlerinin maksimum tepkilerinin önceden tanımlanmış periyot aralığına göre grafiğidir.
- Maksimum tepkiler yer değiştirme, hız ve ivme cinsinden hesaplanabilir.

Sönüm oranı ζ =%5
Sistem Periyotları= 0.1, 0.2, 0.3, ….,2.0 sn



$\ddot{u}_g(t)$

Yer Hareket ivmesi

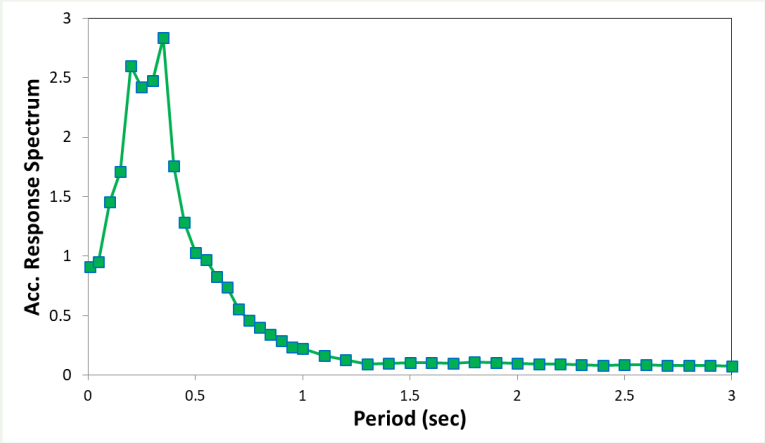


$\ddot{u}_g(t)$

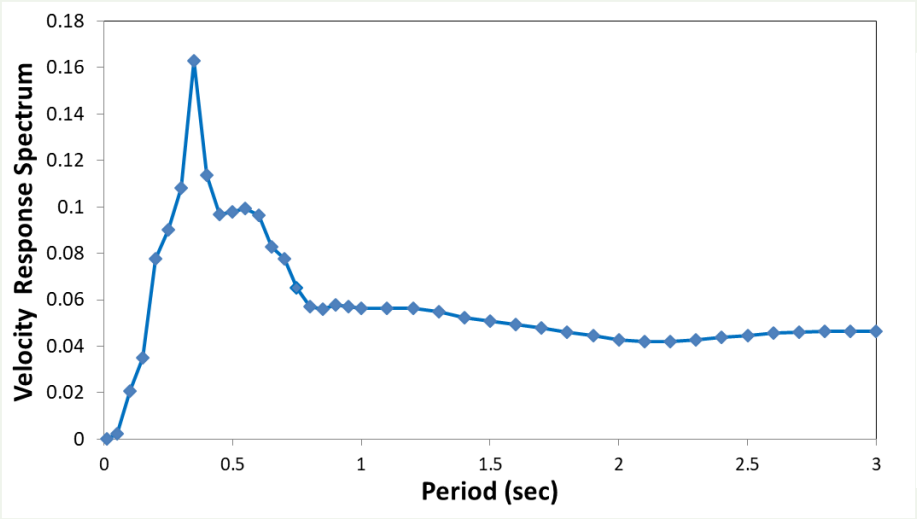
Deprem Tepki (Davranış) Spektrumu

Deprem Tepki Spektrumları, göreli yer değiştirme, göreli hız, mutlak (Toplam) ivme terimleriyle hesaplanabilir ve çizilebilir.

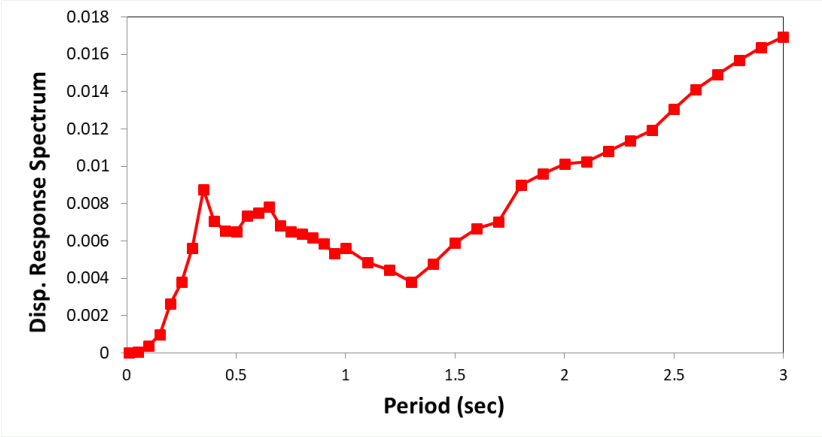
Mutlak (Toplam) İvme Spektrumu, uygulanan atalet kuvvetinin hesaplanması için kullanılır



Mutlak İvme Spektrumu, Sa



Göreli Hız Spektrumu, Sv



Göreli Yer Değiştirme Spektrumu, Sd

Sözde Hız (PSv) ve Sözde İvme (PSa)

- En büyük şekil değiştirme enerjisinin kinetik enerjiye dönüştüğü varsayılır

$$KE_{max} = SEmax$$

$$\frac{1}{2} m S_v^2(\zeta, Tn) = \frac{1}{2} k\, S_d^2(\zeta, Tn)$$

$$S_v = \sqrt{\frac{k}{m}}\, S_d = \omega_n\, S_d$$

Sistemde sönüm bulunduğundan Sv yaklaşık bir değerdir. Sv değeri v_{max}'a eşit olmadığı için (yalnızca ς=0 iken eşittir) "sözde" olarak adlandırılır.

- En büyük atalet kuvvetinin en büyük elastik kuvvete eşit olduğu varsayılır

$$f_{smax} = m S_a\ (\zeta, Tn) = k\, S_d\ (\zeta, Tn)$$

$$S_a = \omega_n\, S_v$$

Sistemde sönüm bulunduğundan Sa yaklaşık bir değerdir. PSa değeri a_{max}'a eşit olmadığı için (yalnızca ς=0 iken eşittir) "sözde" olarak adlandırılır.

$$S_a = \frac{k}{m}\, S_d = \omega_n^2\, S_d$$

Tasarım Bazlı Deprem Yer Hareketi (Şartnamelerde Yöntemler)

- Deprem tehlikesi bölgeleme haritalarından belirlenecek deprem parametrelerine (**enbüyük yer ivmesi**) bağımlı tasarım spektrumları (EC8), (TDY 2007)

- Deprem tehlikesi haritalarından belirlenecek deprem parametrelerine (**0.2s ve 1s periyotlarındaki spektral ivmeler**) bağımlı tasarım spektrumları (ASCE 7-10), (DLH 2008) (TBDY2018)
- **Tasarım Spektrumu**, genelde 50 yıl içinde %10 aşılma olasılığına ve 475 yıl dönüş periyoduna karşılık gelen spektrumdur.

- Sahaya Özel Tehlike Analizleri

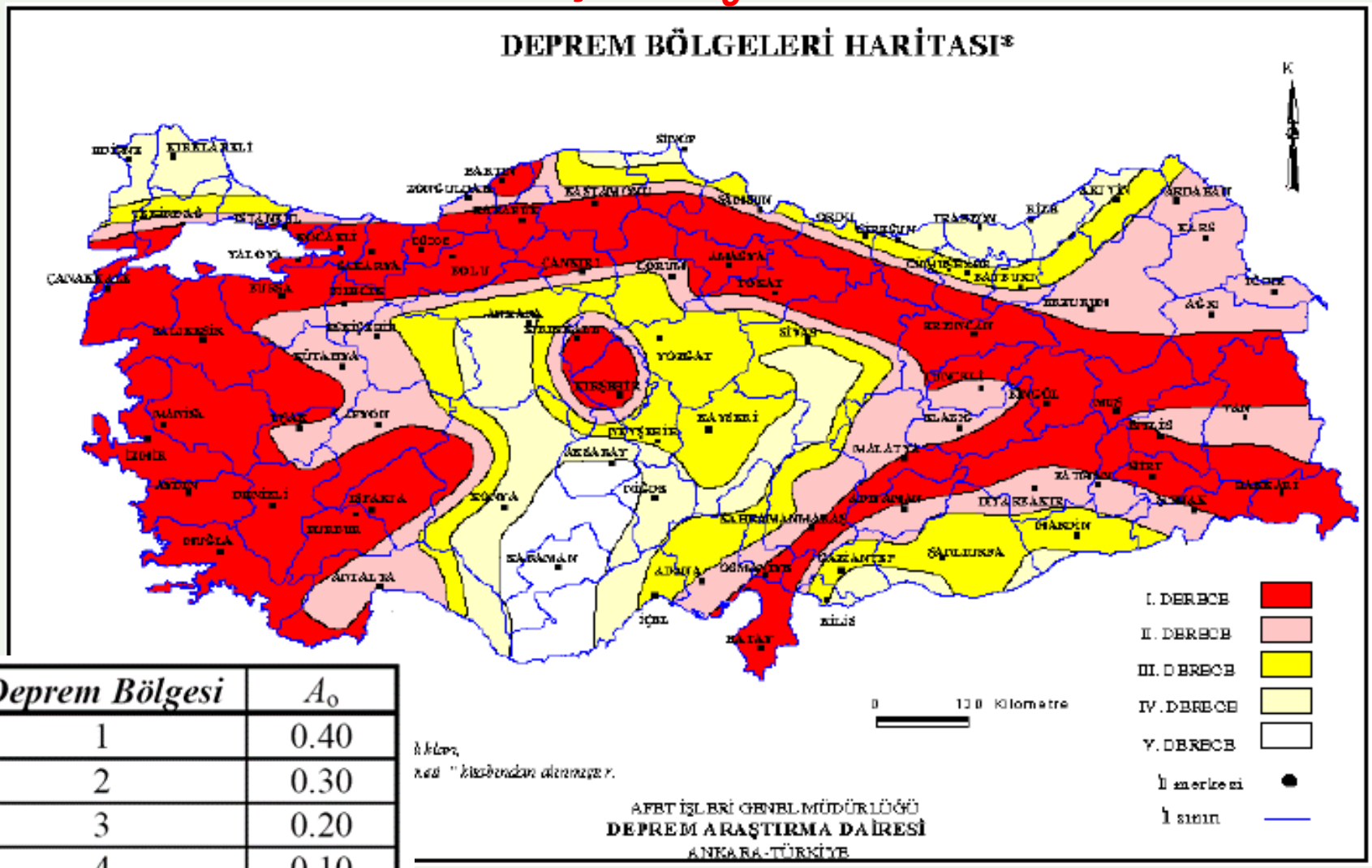
1945 Tarihli Türkiye'nin ilk Resmi Deprem Bölgeleri Haritası

1945 tarihli Türkiye'nin ilk resmi deprem bölgeleri haritası



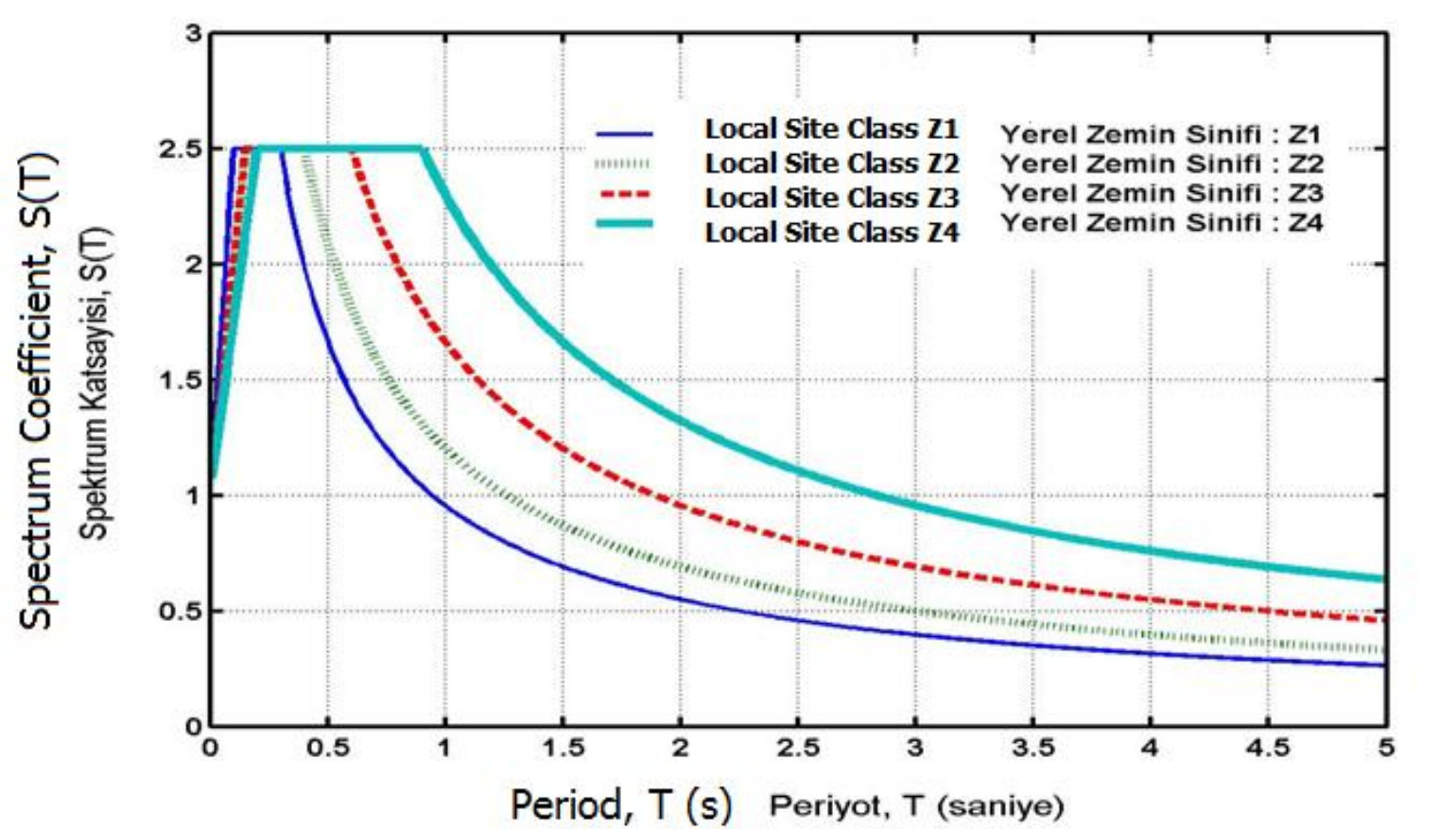
DBYBHY 2007-Deprem bölgeleri Haritası (Dereceye göre En Büyük Yer İvmesi)

Etkin Yer İvmesi Katsayısı, A_0



Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

DBYBHY 2007 Spektrum Katsayısı S(T)



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

$$S(T) = 1 + 1.5\,\frac{T}{T_A} \qquad (0 \le T \le T_A)$$

$$S(T) = 2.5 \qquad (T_A < T \le T_B)$$

$$S(T) = 2.5\left(\frac{T_B}{T}\right)^{0.8} \qquad (T_B < T)$$

TBDY2018 - DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYLERİ

- **Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)**

  DD-1 *Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu *çok seyrek* deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, *gözönüne alınan en büyük deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

- **Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)**

  DD-2 *Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu *seyrek* deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, *standart tasarım deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır

TBDY2018 - DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYLERİ

- **Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)**

  DD-3 *Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu *sık* deprem yer hareketini nitelemektedir .

- **Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)**

  DD-4 *Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu *çok sık* deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, *servis deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

Aşılma Olasılığı ve Tekrarlanma Periyodu (T_r)

$$P(N \geq 1) = 1 - e^{-\lambda t} \rightarrow \lambda = \frac{\ln(1.0 - p)}{Y_t} \rightarrow T = 1/\lambda$$

50 yılda %10: $\lambda = \frac{\ln(1.0 - 0.1)}{50} = 0.0021$

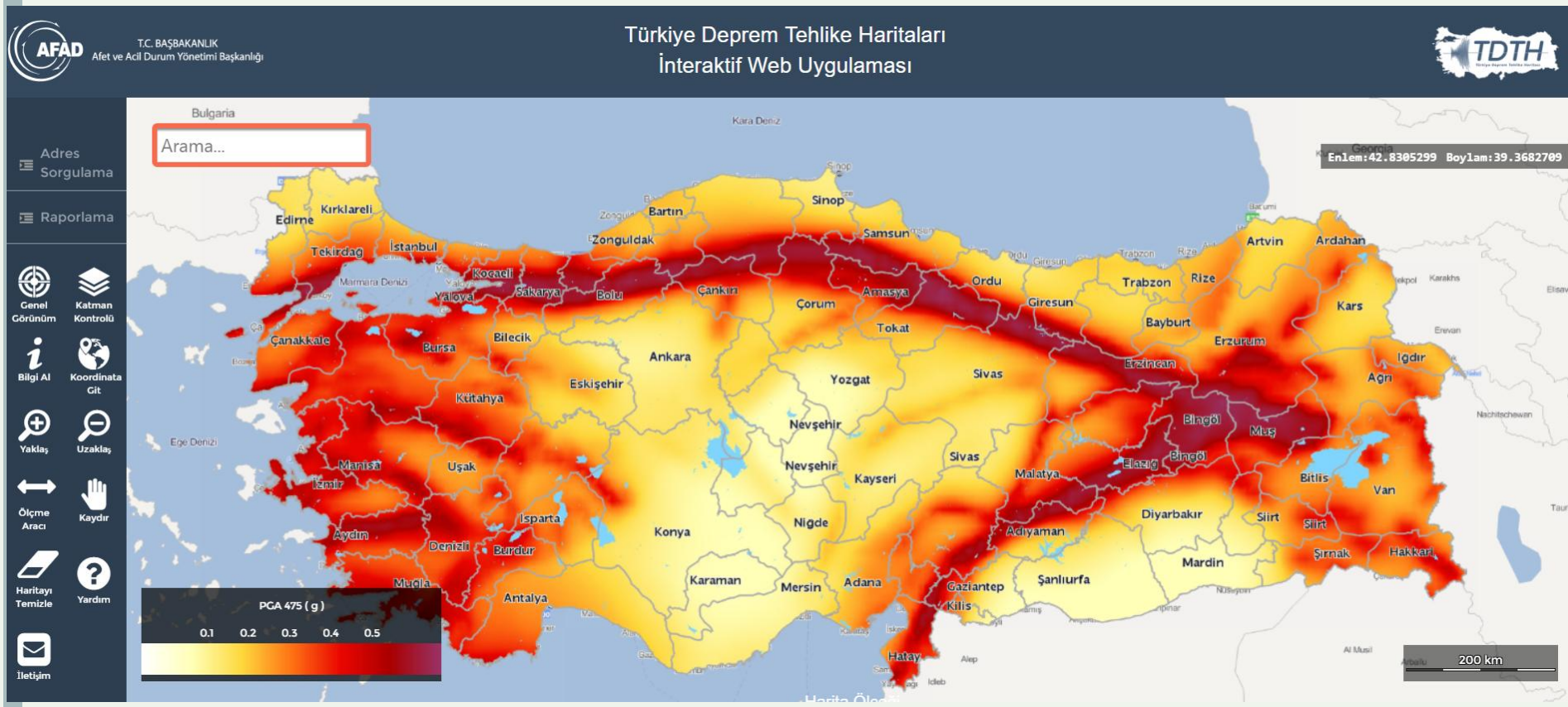
$T_r = \frac{1}{0.0021}$=474.5 yıl

Kaç Yılda (Y_t)	Aşılma Olasılığı (p)	λ ($yıllık\ Aşılma\ olasılığı$)	Tekaralama Periodu, T_r
50	2	0.00040	2474.9
50	10	0.00211	474.6
50	50	0.01386	72.1
30	50	0.02310	43.3

TBDY2018 - Harita Spektral İvme Katsayıları

- Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen *harita spektral ivme katsayıları*
- *Referans zemin koşulu Vs_{30} = 760 m/s esas alınarak %5 sönüm oranı*
- *Deprem Tehlike Haritaları*'nda (https://tdth.afad.gov.tr/)
- Kısa periyod bölgesi için *harita spektral ivme katsayısı* S_s
- 1.0 saniye periyod için *harita spektral ivme katsayısı* S_1

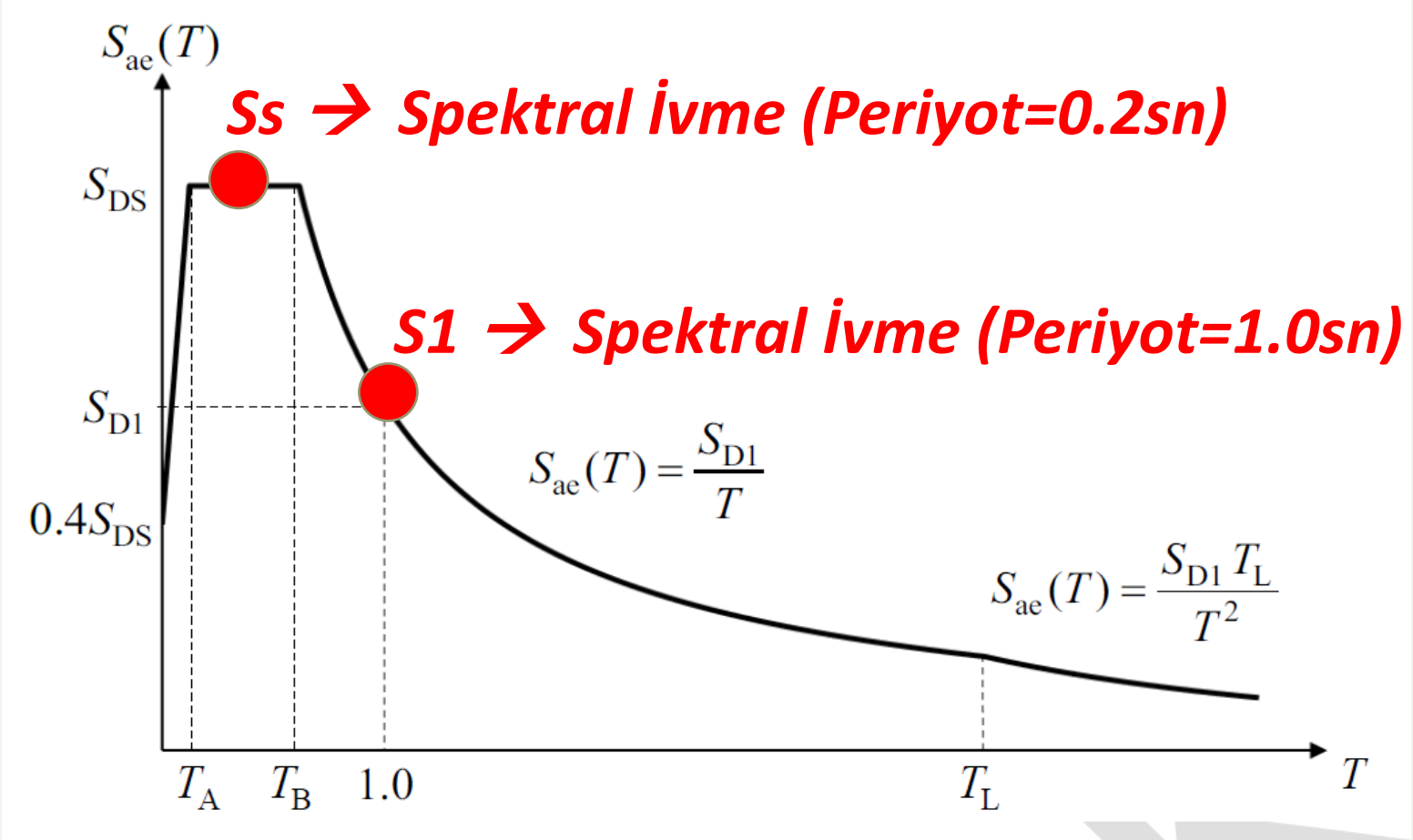
TBDY2018 - Harita Spektral İvme Katsayıları



https://tdth.afad.gov.tr/

TBDY2018 - Harita Spektral İvme Katsayıları

Her Deprem Seviyesi (DD-1, DD-2, DD-3, DD-4) için Ss ve S1 haritaları gerekiyor



TBDY2018 - Yerel Zemin Sınıfları

- $S_{DS} = S_S F_S \quad S_{D1} = S_1 F_1$
- **Yerel Zemin Etki Katsayıları (F1, Fs)**

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%\,40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası $(c_u < 25$ kPa$)$ içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI >50) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

TBDY2018 - Yerel Zemin Etki Katsayıları

Kısa periyod aralığı için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Tablo 2.1 – Kısa periyod bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyod bölgesi için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
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	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

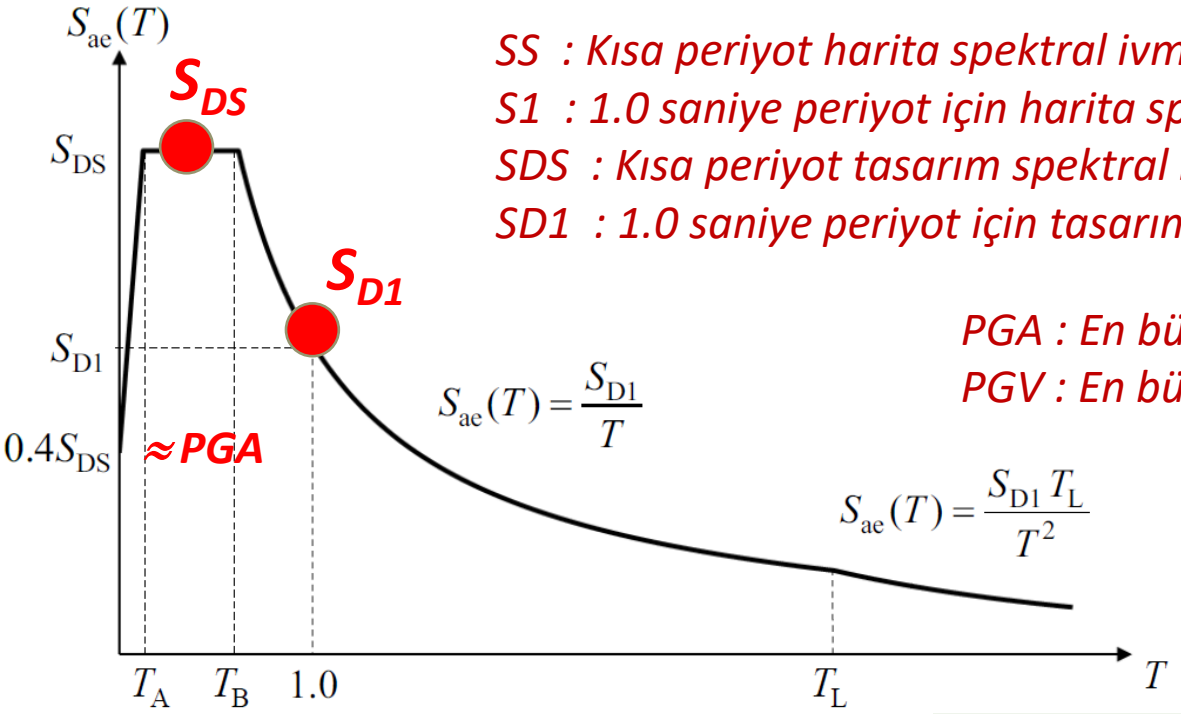
TBDY2018- Yerel Zemin Etki Katsayıları

1.0 saniye periyod için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Tablo 2.2 – 1.0 saniye periyod için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyod için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_1					
	$S_1 \le 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \ge 0.60$
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	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

TBDY2018 - Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



SS : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
SDS : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
SD1 : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı

PGA : En büyük yer ivmesi [g]
PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

$$S_{DS} = S_S F_S$$
$$S_{D1} = S_1 F_1$$

Yerel Zemin Etki Katsayıları (F1, Fs)

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \qquad (0 \le T \le T_A)$$

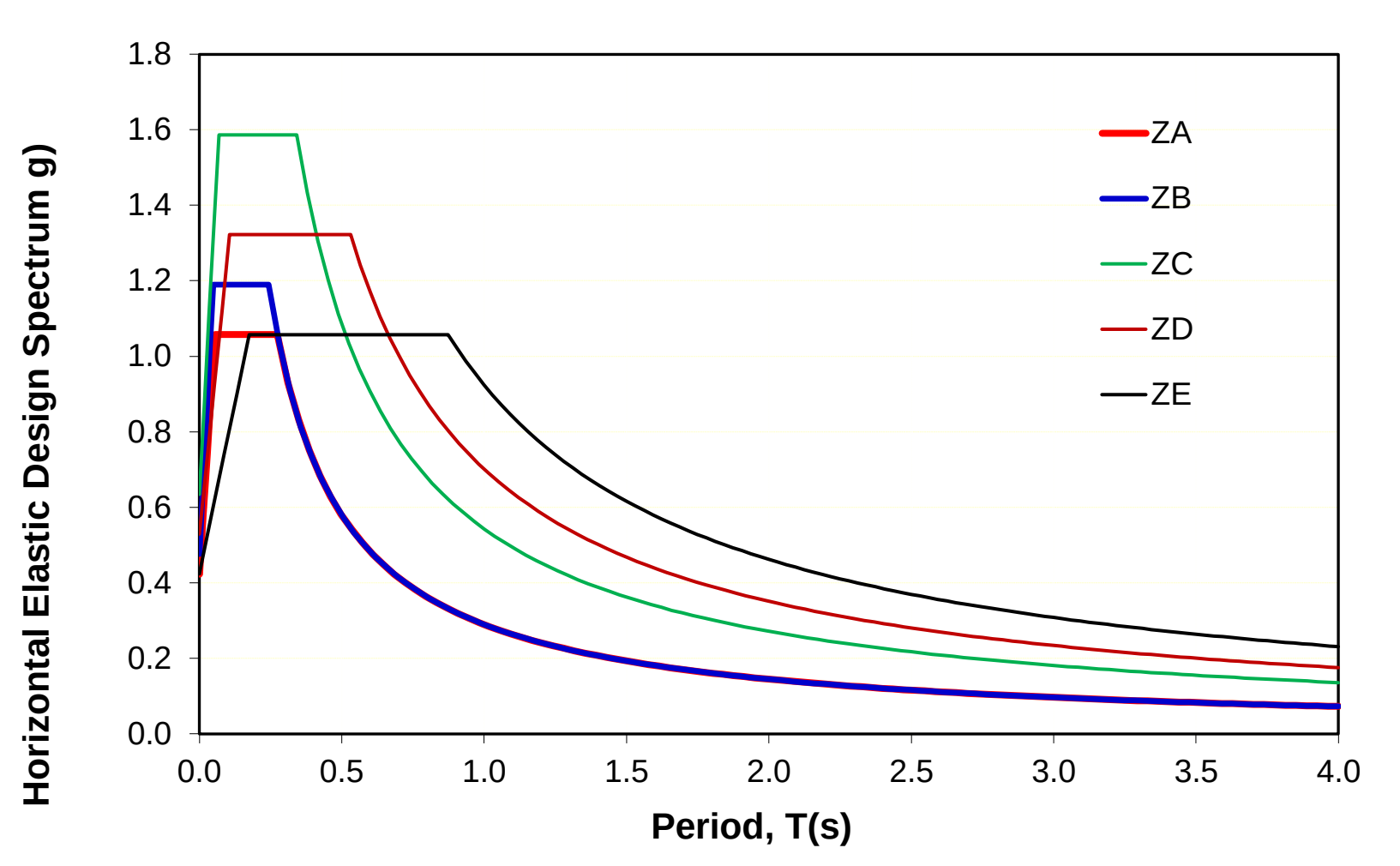
$$S_{ae}(T) = S_{DS} \qquad (T_A \le T \le T_B)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \qquad (T_B \le T \le T_L)$$

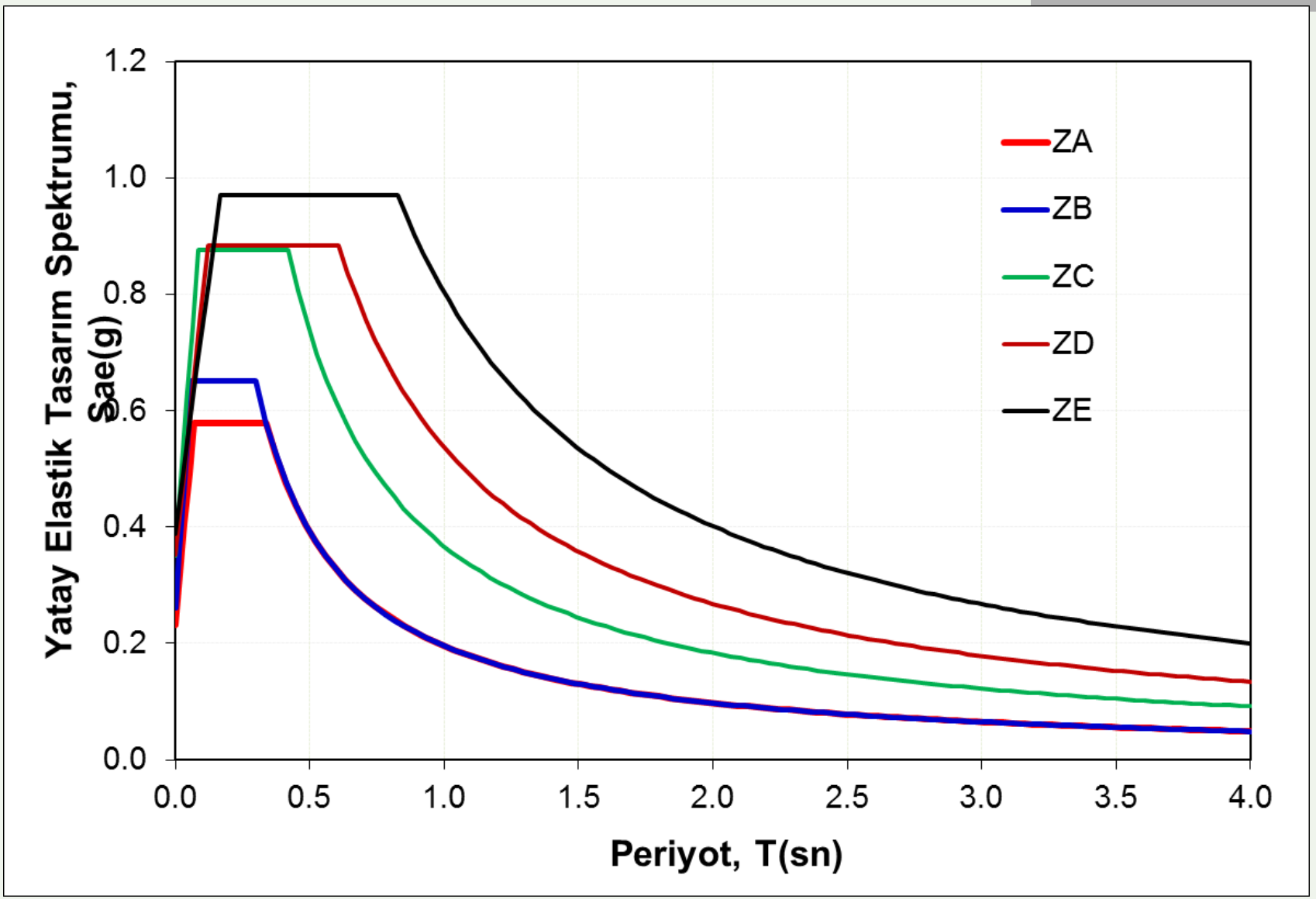
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \qquad (T_L \le T)$$

Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6$ s

TBDY 2018 Tasarım Spektrumu (İTU- DD-2)



TBDY 2018 Tasarım Spektrumu
İskenderun Ticaret ve Sanayi Odası– (DD-2)

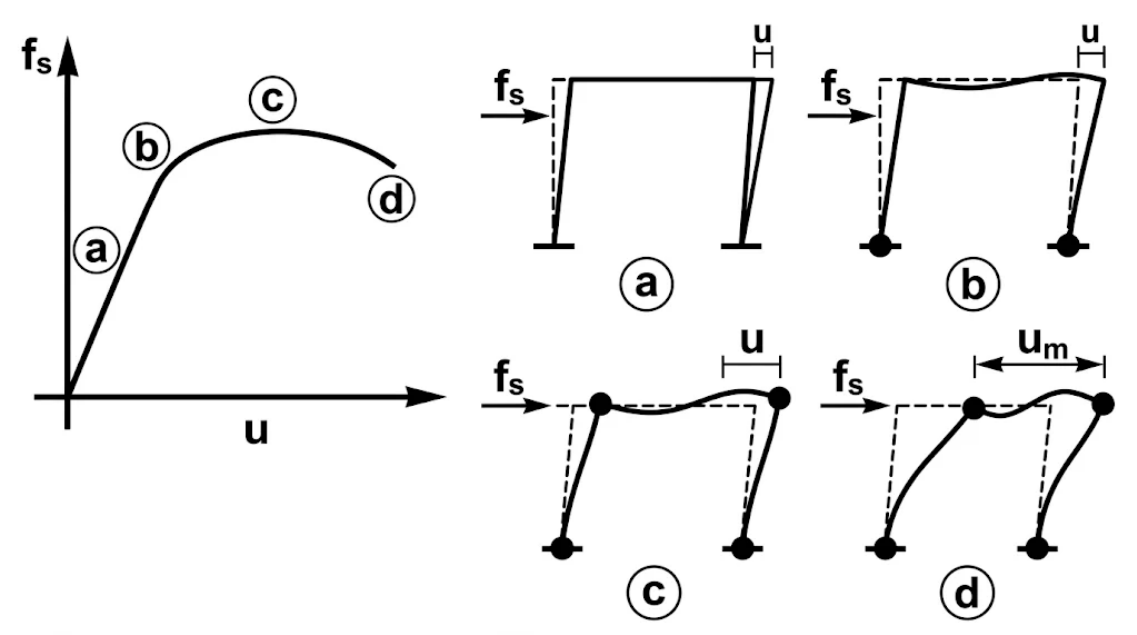


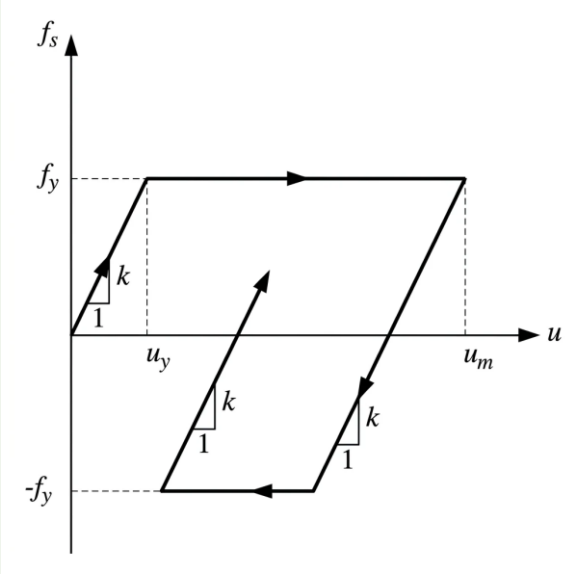
Deprem Etkisi Altında Binaların Değerlendirilmesi Ve Tasarımı İçin Genel Esaslar

Elastik ve inelastik davranış, Deprem Etkisi Altında Binaların Dayanıma Göre Tasarımı İçin Hesap Esaslar, Performansa dayalı tasarım, Taşıyıcı sistem sünekliği, Kapasite Tasarımı İlkeleri

TSD Sistemin Elastik ve İnelastik Davranışı

- Yapıların büyük çoğunluğu, tasarım depreminde elastik davranışı sağlayacak kuvvetlerden **daha küçük** deprem kuvvetlerine göre tasarlanır.
- Seyrek görülen şiddetli depremler için elastik bölgede tasarım ekonomik değildir.





Elasto-plastik sistemin çevrimsel davranışı

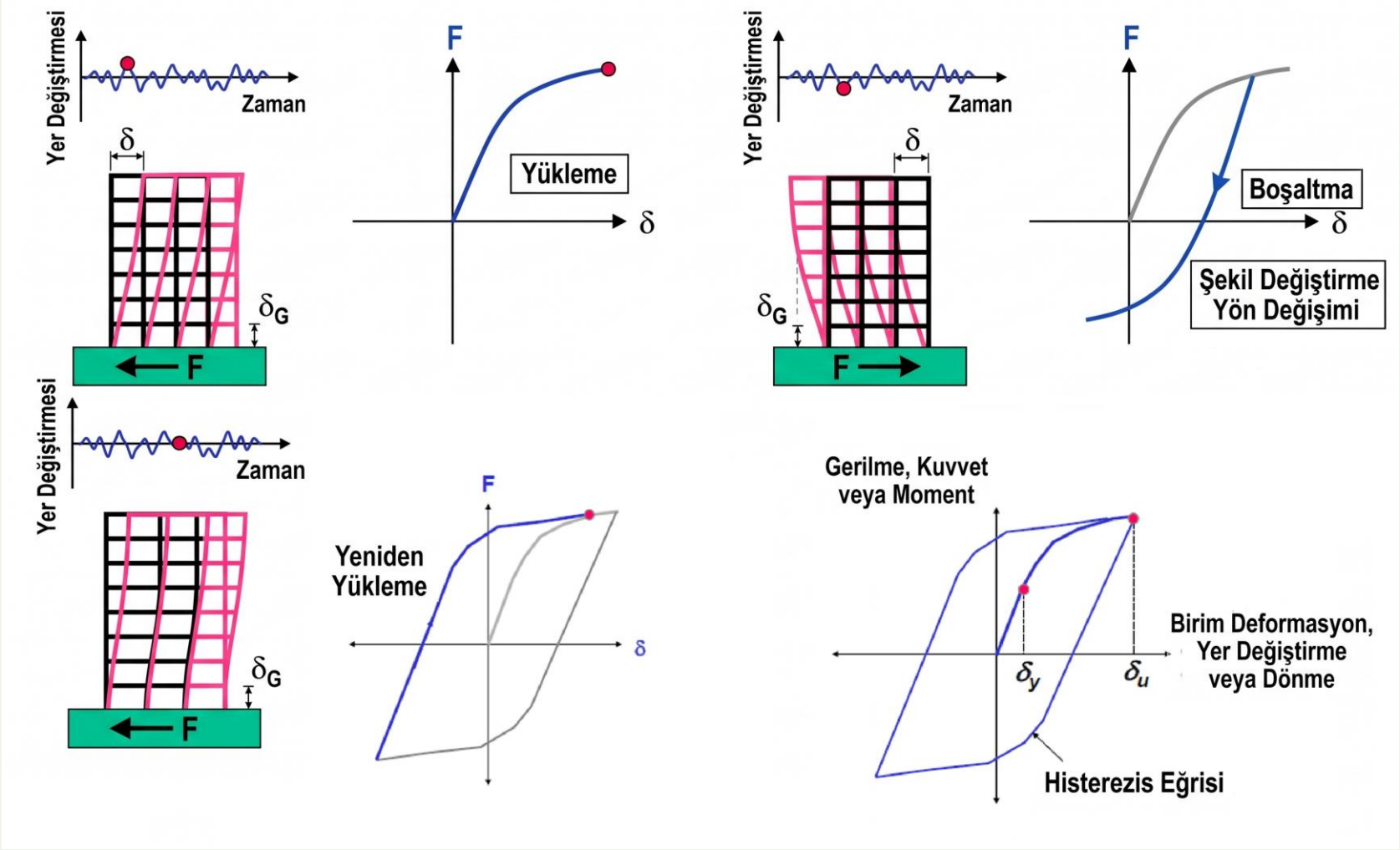
Elasto-plastik Sistem:

Rijitlik **k** , Akma kuvveti $\mathbf{f_y}$

Elasto-plastik idealleştirme: en büyük yerdeğiştirme $\mathbf{u_m}$'ye kadar gerçek ve idealleştirilmiş eğrilerin altında kalan alanlar eşittir.

Kaynak: cemsig.ct.upt.ro/astratan/didactic/seism

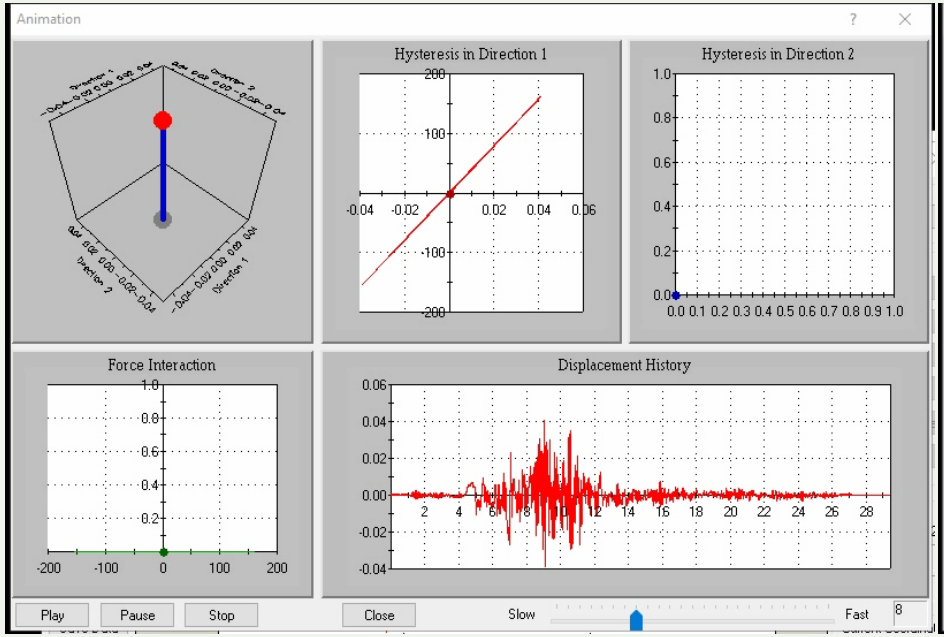
İnelastik Davranış ve Süneklik Tanımı



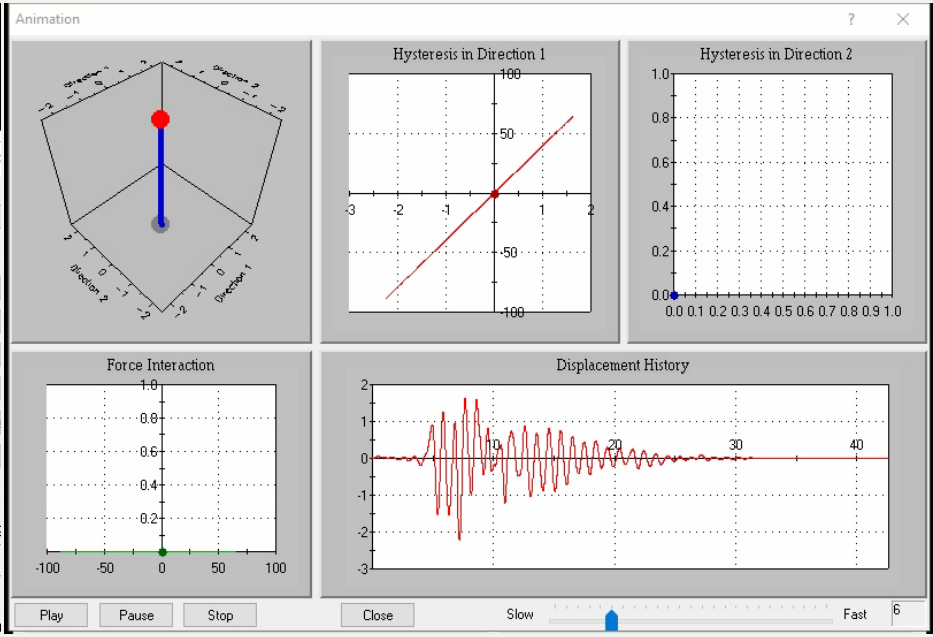
Kaynak: FEMA 451 eğitim materyali (Design Examples).

TSD Sistemin Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Davranışı

Doğrusal (Elastik) Dayanım Talebi (T=0.1 sn)

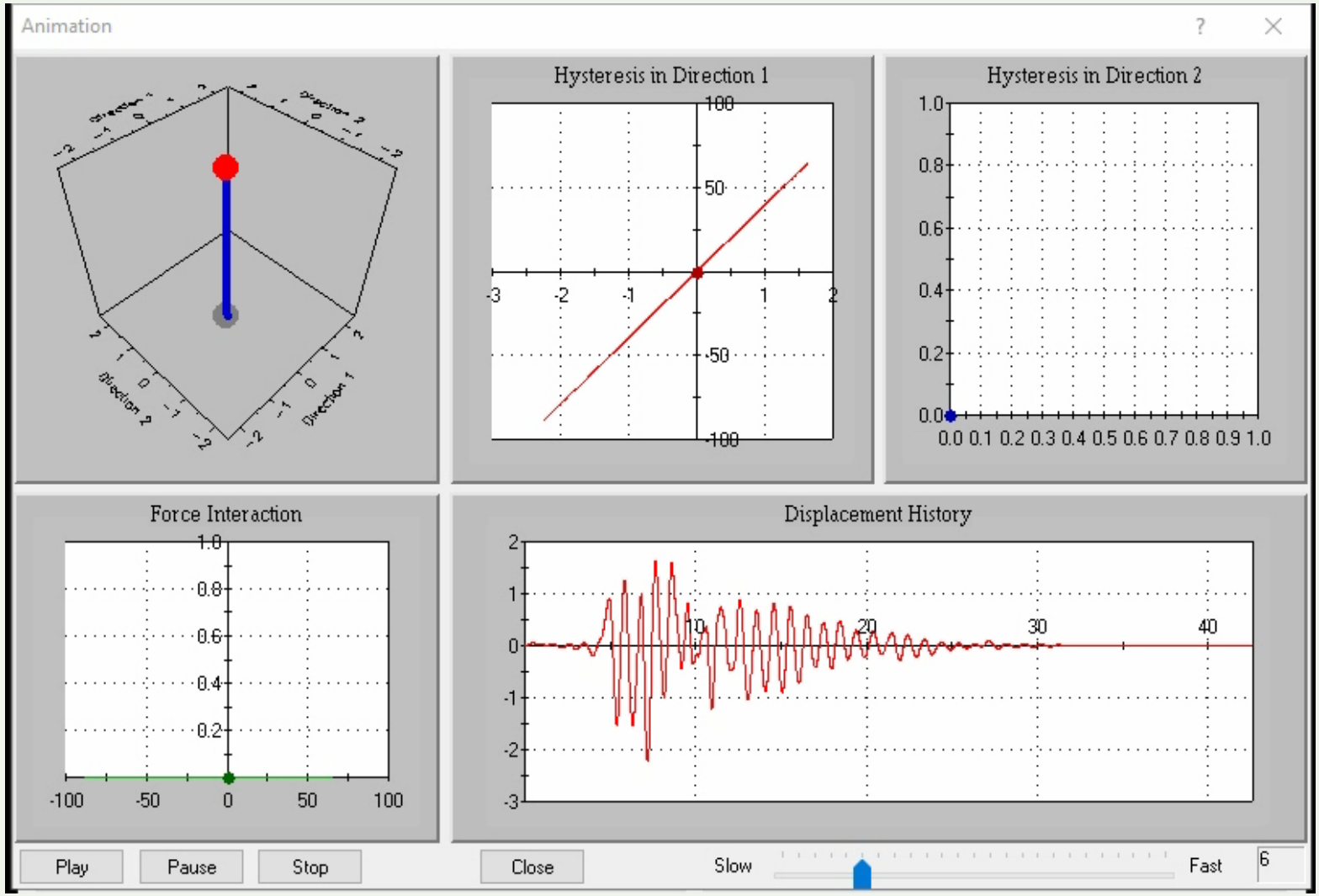


Doğrusal (Elastik) Dayanım Talebi (T=1.0 sn)



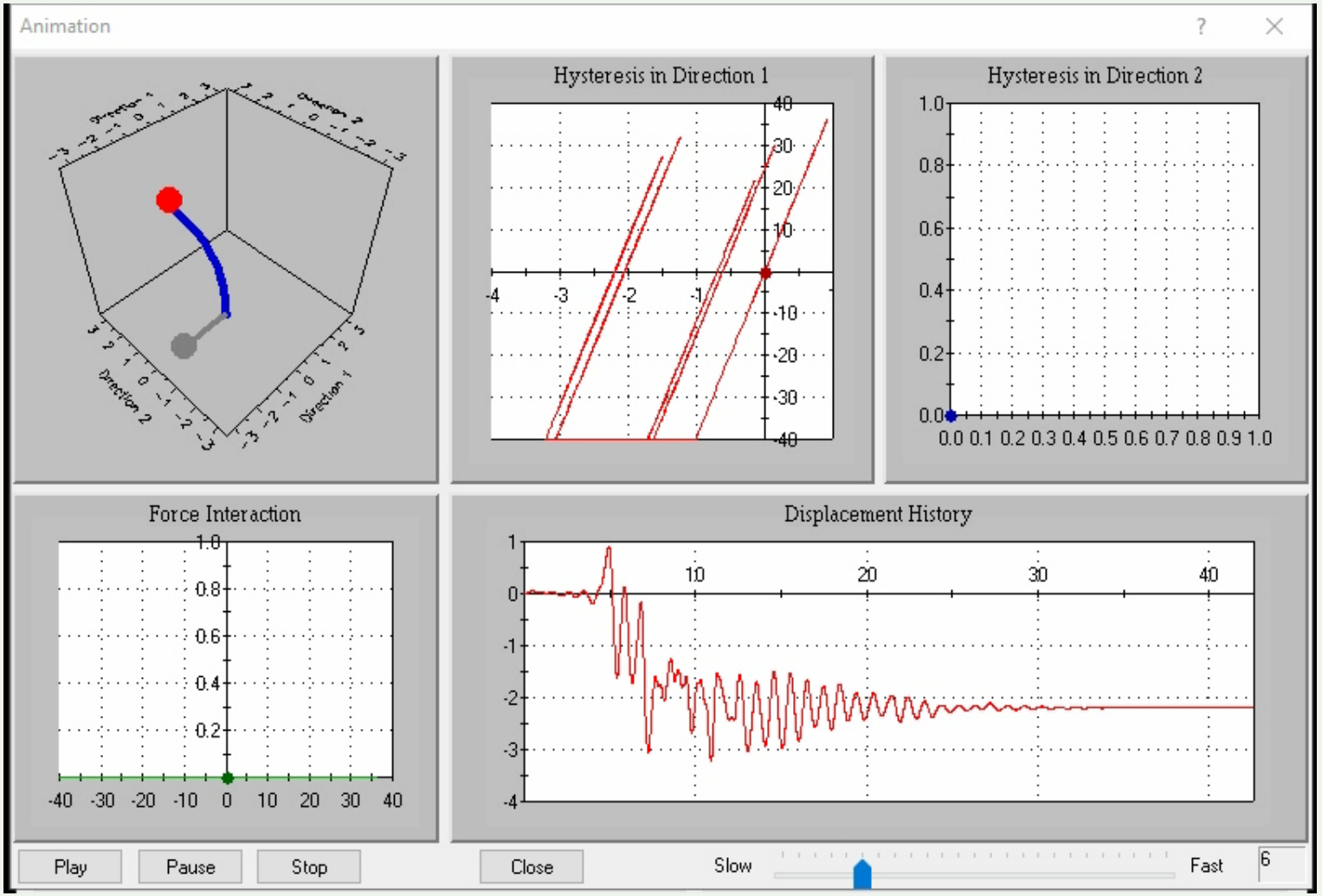
TSD Sistemin Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Davranışı

Doğrusal (Elastik) Dayanım Talebi (T=1.0 sn)



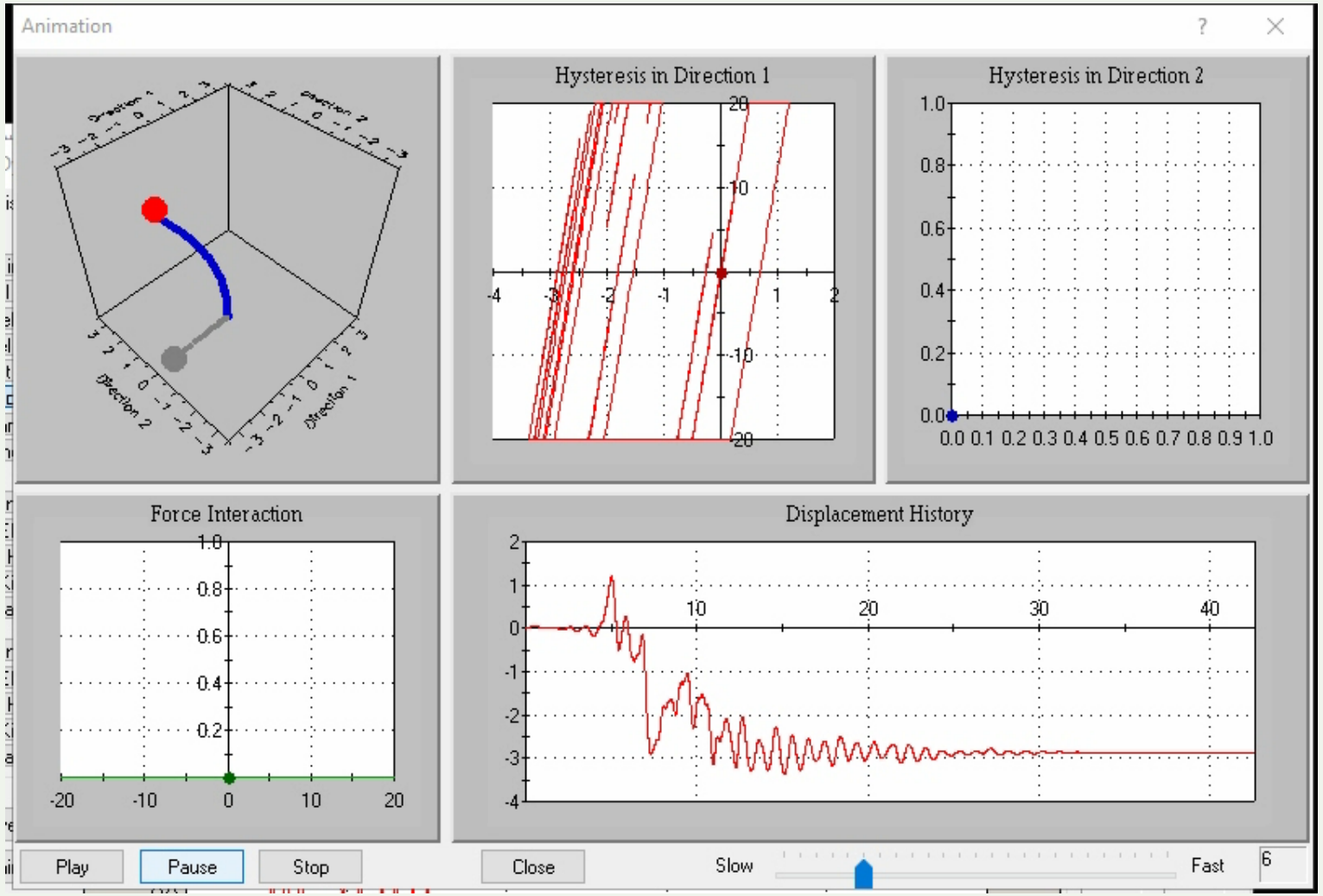
TSD Sistemin Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Davranışı

Taşıyıcı Sistemin Periyodu (T = 1.0 s) ve Tasarım Dayanımının (R=2.0) Katsayısı ile Azaltılması Öngörülen Süneklik Talebi



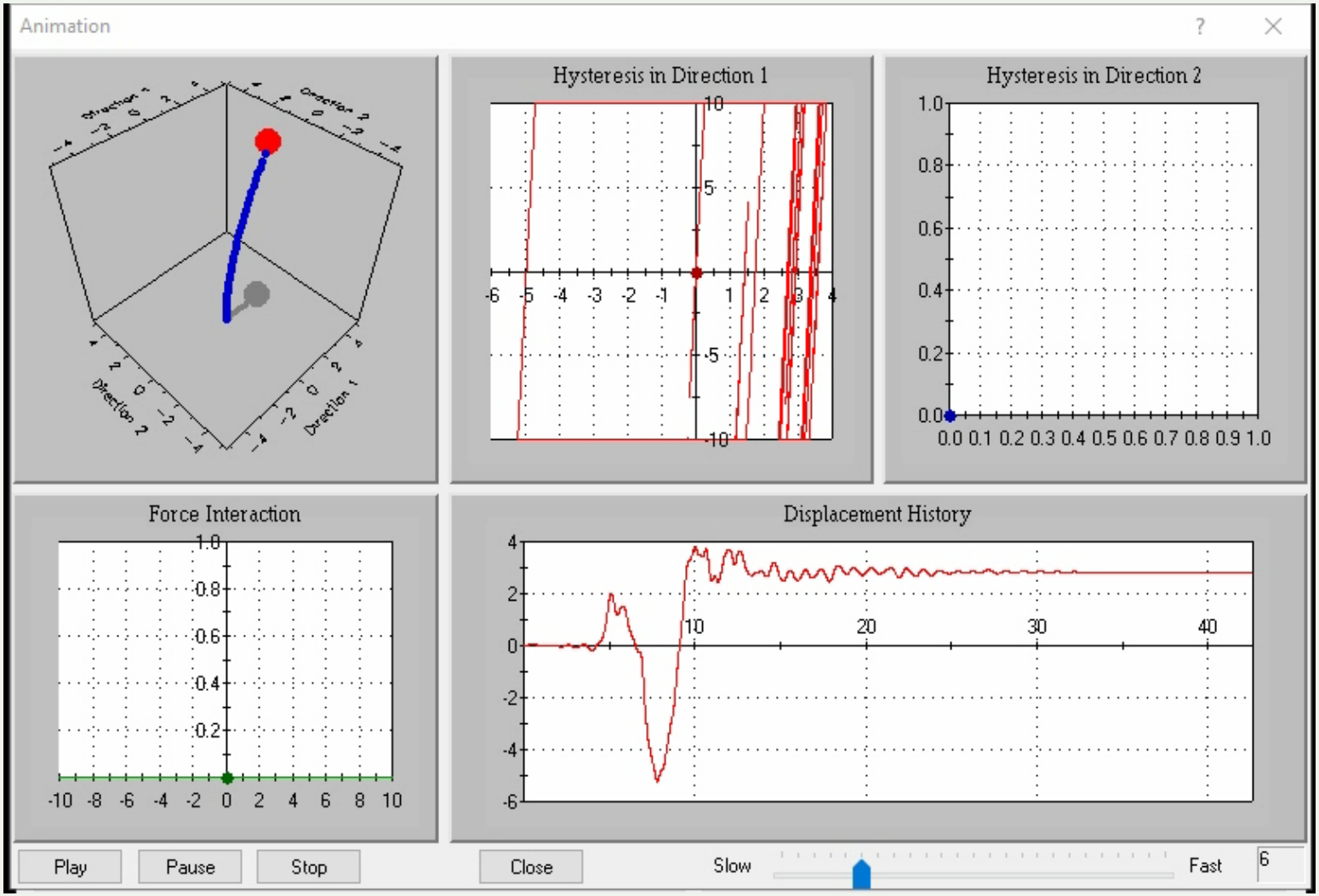
TSD Sistemin Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Davranışı

Taşıyıcı Sistemin Periyodu (T = 1.0 s) ve Tasarım Dayanımının (R=4.0) Katsayısı ile Azaltılması Öngörülen Süneklik Talebi



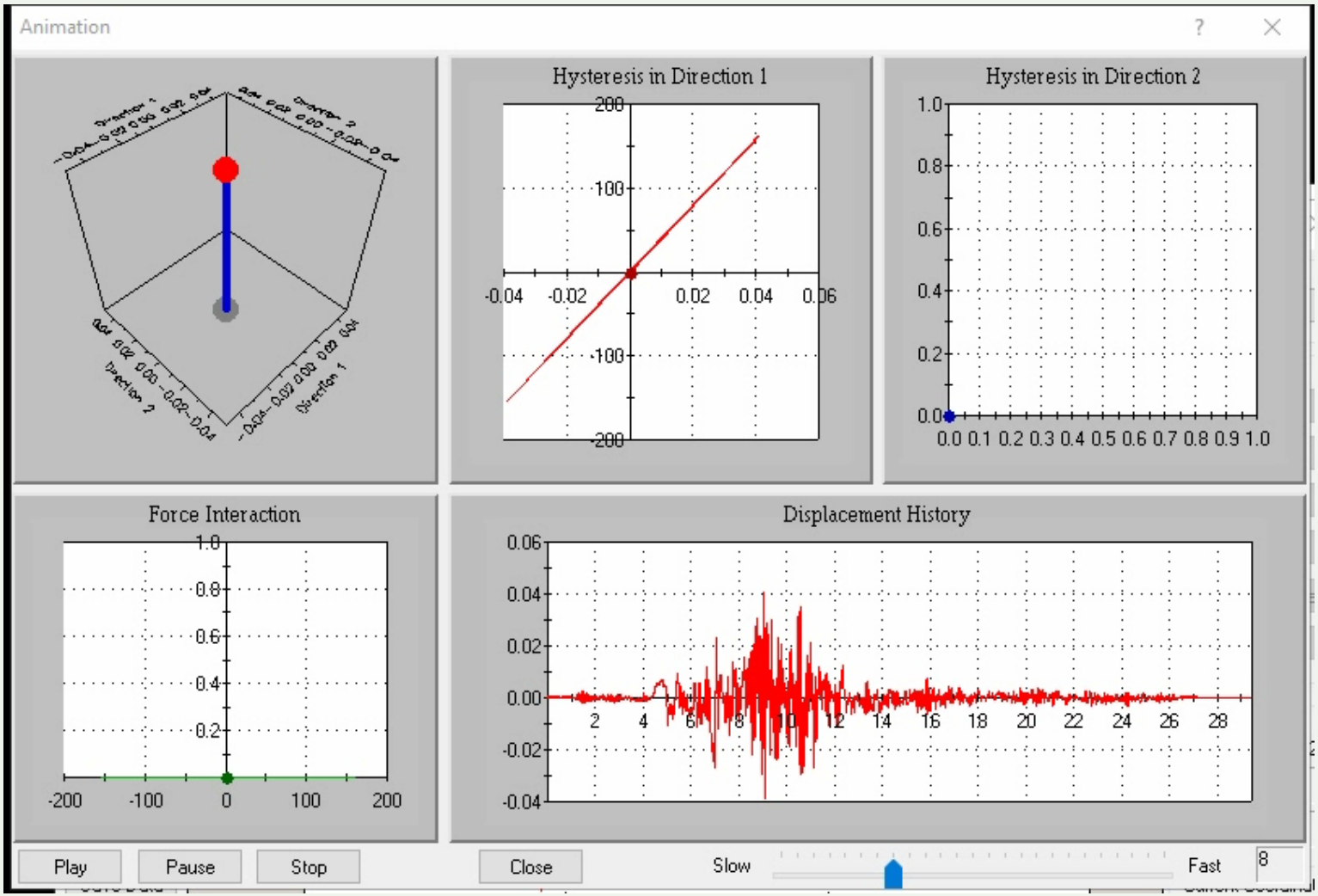
TSD Sistemin Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Davranışı

Taşıyıcı Sistemin Periyodu (T = 1.0 s) ve Tasarım Dayanımının (R=8.0) Katsayısı ile Azaltılması Öngörülen Süneklik Talebi



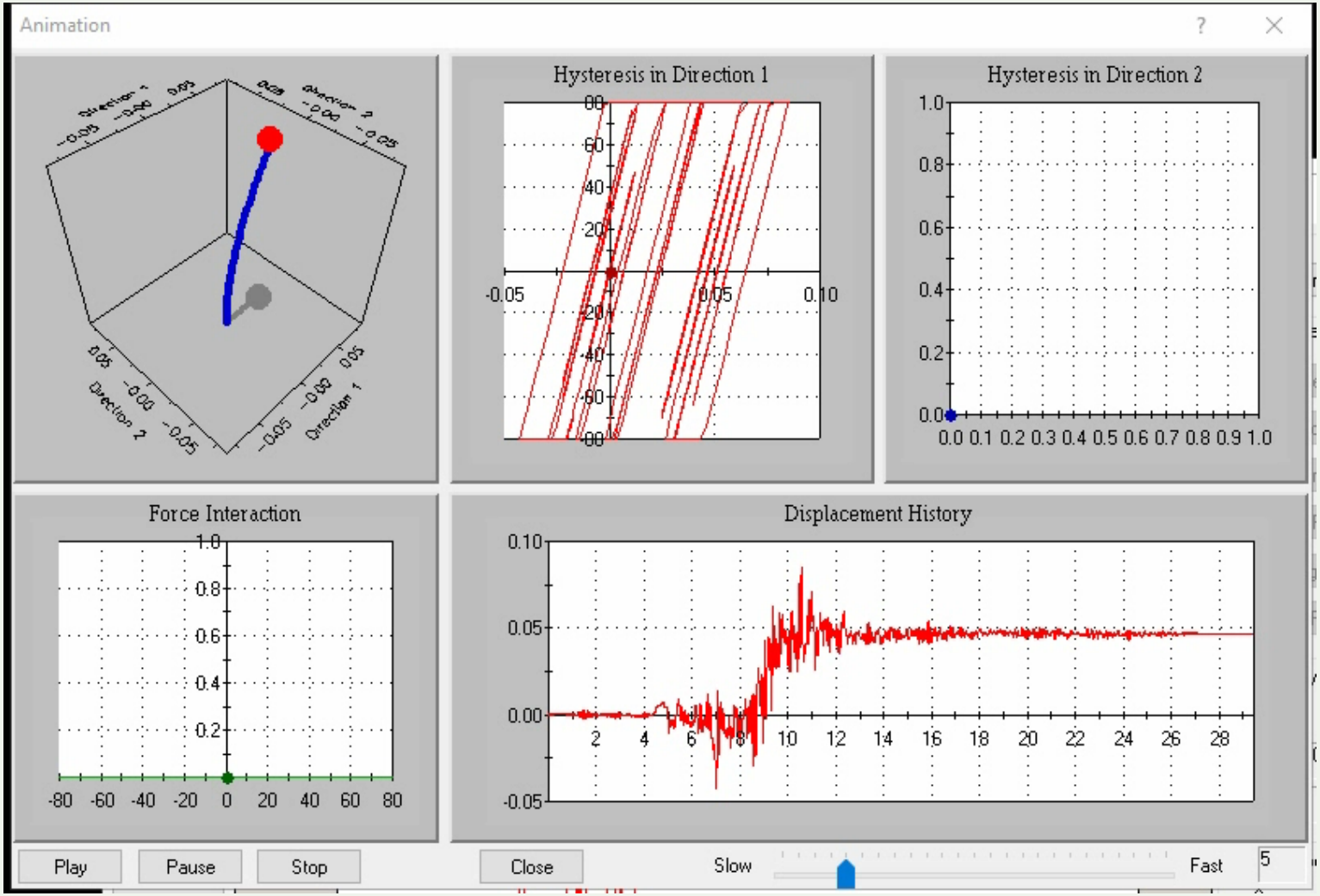
TSD Sistemin Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Davranışı

Doğrusal (Elastik) Dayanım Talebi (T=0.1 sn)

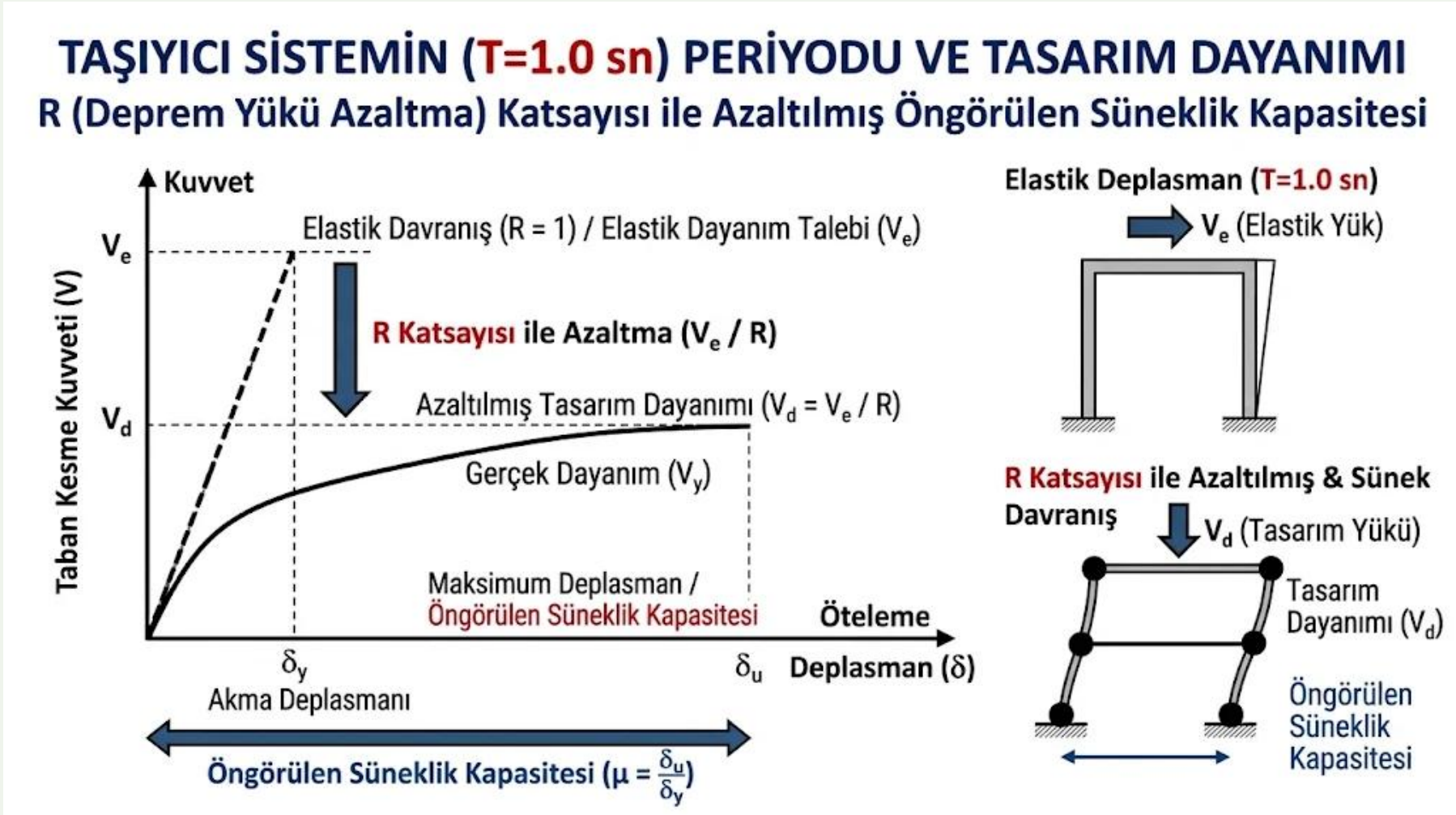


TSD Sistemin Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Davranışı

Taşıyıcı Sistemin Periyodu (T =0.1s) ve Tasarım Dayanımının (R=2.0) Katsayısı ile Azaltılması Öngörülen Süneklik Talebi

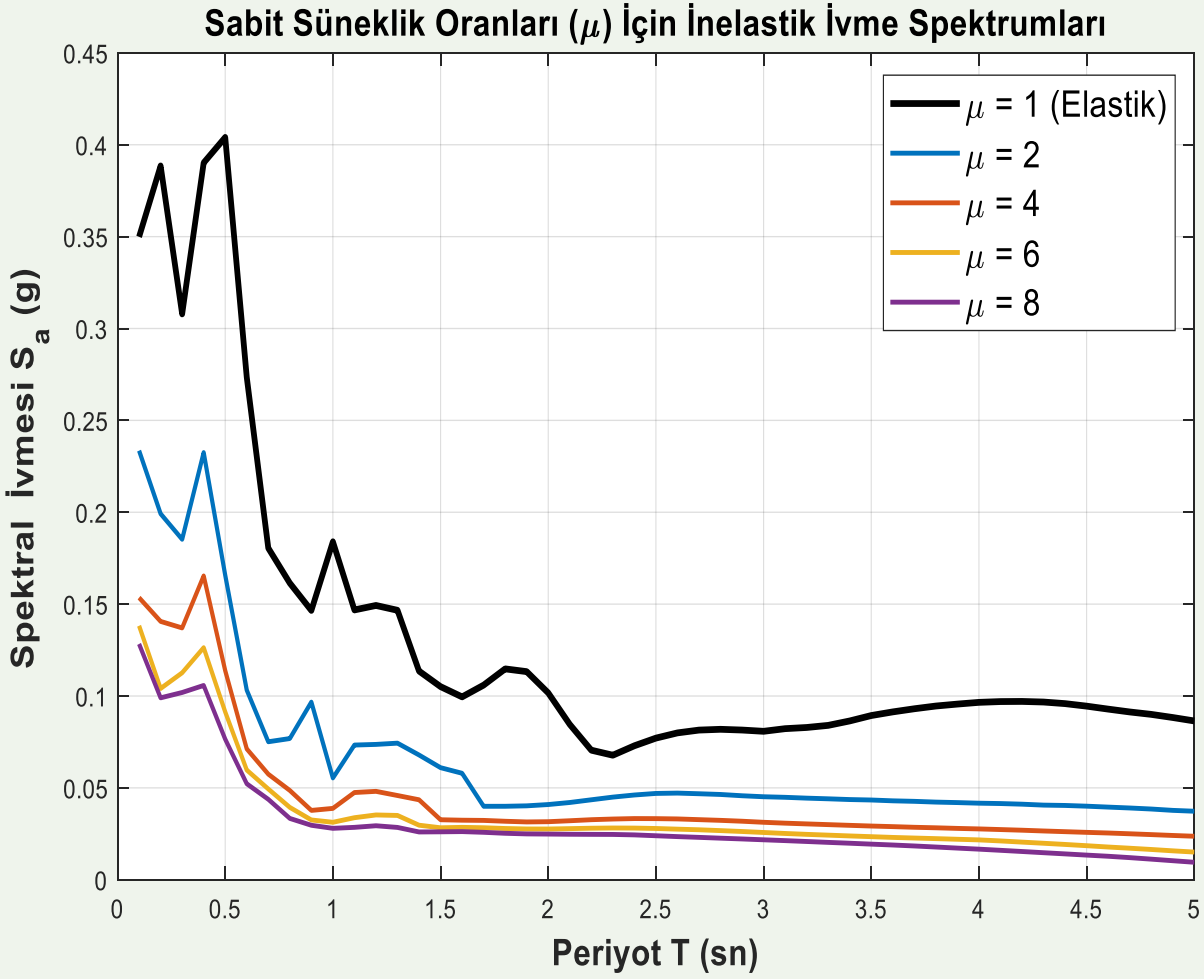


TSD Sistemin Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Davranışı



Doğrusal Olmayan Tepki Spektrumları

Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı (inelastik) tepki spektrumları



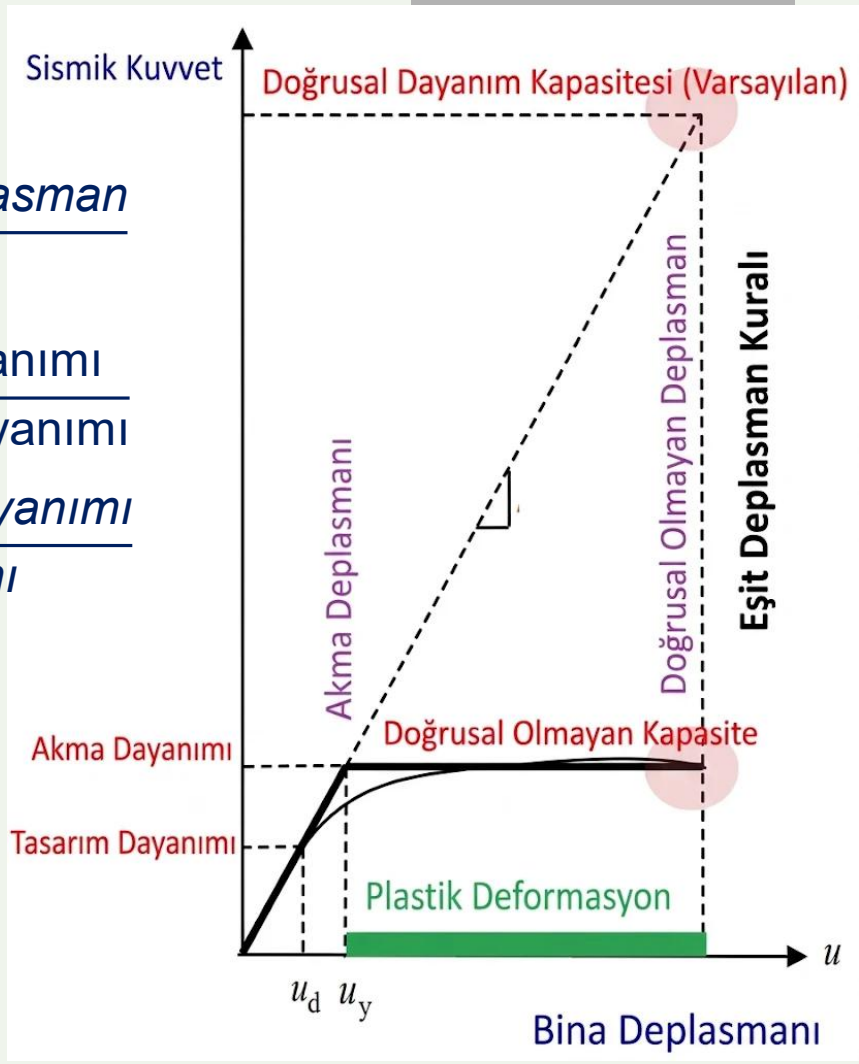
Dayanım Talebi, Süneklik Ve Azaltma Katsayıları

$$\text{Süneklik } (\mu) = \frac{\text{Doğrusal Olmayan Nihai Deplasman}}{\text{Akma Deplasmanı}}$$

$$\text{Dayanım Fazlası Katsayısı}(D) = \frac{\text{Akma Dayanımı}}{\text{Tasarım Dayanımı}}$$

$$\text{Azaltma Katsayısı } (R) = \frac{\text{Doğrusal Sistem Dayanımı}}{\text{Akma Dayanımı}}$$





Bina Performans Düzeyleri

- **Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi**

  Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşı gelmektedir

- **Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi**

  Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.

Bina Performans Düzeyleri

- **Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi**

  Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan kontrollü hasar düzeyine karşı gelmektedir

- **Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi**

  Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir

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) (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT, ..) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, .. c) 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 (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	**1.0**

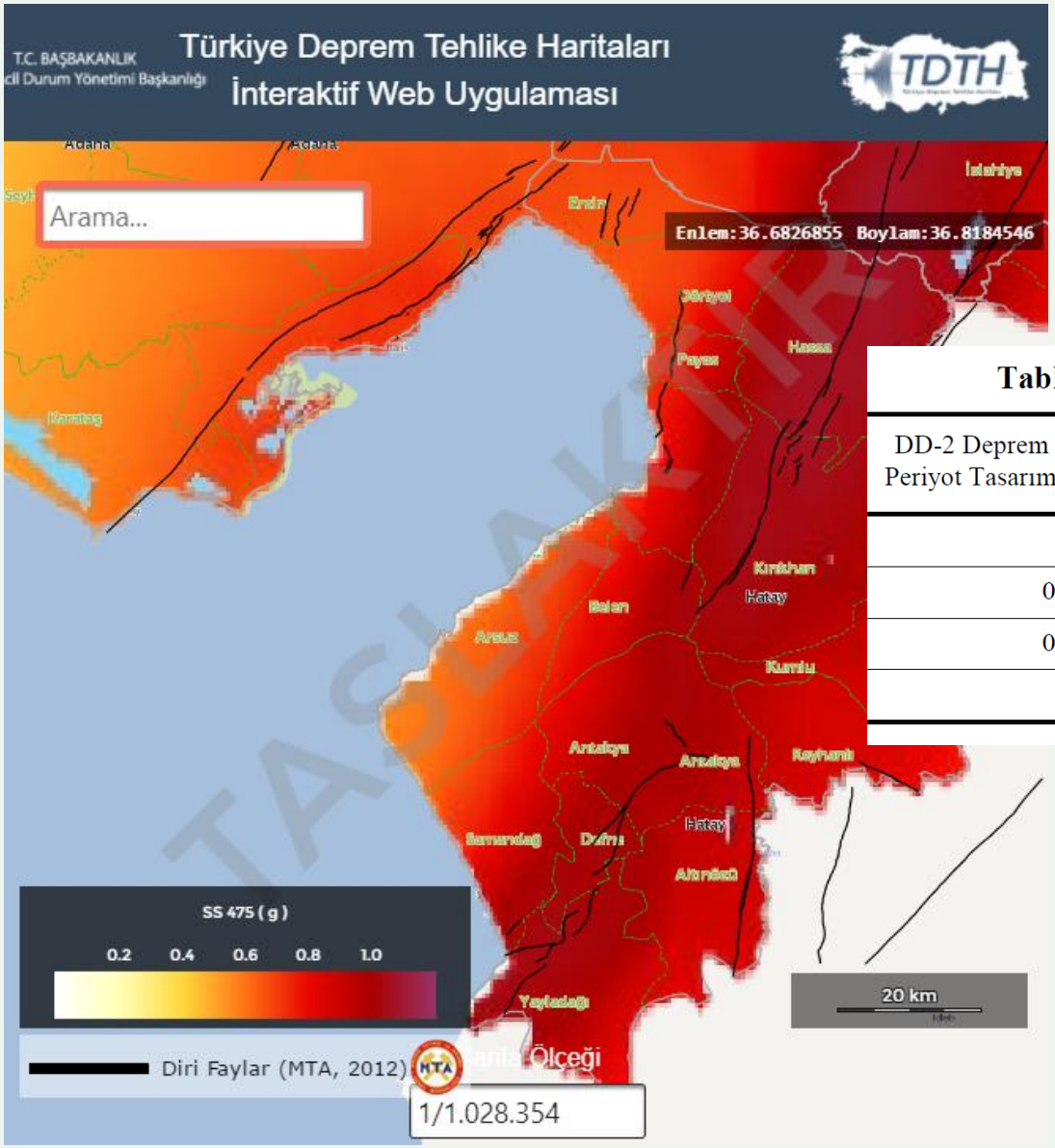
Deprem Tasarım Sınıfları

Tablo 3.2 – Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \le S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \le S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \le S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

- $S_{DS} = S_S \cdot F_S$: AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan (tdth.afad.gov.tr) alınan S_S ile yerel zemin etki katsayısı F_S'nin çarpımıdır.
- "a" indisli sınıflar (DTS = 1a, 2a, 3a, 4a) **BKS = 1** olan binalara karşı gelir.
- DTS; taşıyıcı sistem seçimi, izin verilen bina yükseklikleri ve performans hedeflerinin belirlenmesinde esas alınır.

Deprem Tasarım Sınıfları



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
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \le S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \le S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \le S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

TASLAKTIR

Bina Yüksekliği Ve Bina Yükseklik Sınıfları

Tablo 3.3 – Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina yükseklik aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

H_N: bina yüksekliği [m]. BYS = 1 olan binalar **yüksek bina** olarak tanımlanır (TBDY 2018, Bölüm 13).

Performans Hedefleri Ve Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımları

(a) Yeni yapılacak yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar (yüksek binalar dışında – BYS ≥ 2)

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS = 1, 1a[1], 2, 2a[1], 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a[2], 2a[2]	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT	KH	DGT[3,4]
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

[1] BYS > 3 olan binalarda uygulanır. [2] BYS = 2 ve 3 olan binalarda uygulanır.
[3] Ön tasarım olarak yapılır. [4] I = 1.5 alınarak uygulanır.

Performans düzeyleri

- **KK**: Kesintisiz Kullanım
- **SH**: Sınırlı Hasar
- **KH**: Kontrollü Hasar
- **GÖ**: Göçmenin Önlenmesi

Yaklaşımlar

- **DGT**: Dayanıma Göre Tasarım
- **ŞGDT**: Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım

Performans Hedefleri Ve Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımları

(b) Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS = 1)

Deprem Yer Hareketi 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	—	—
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT[(3)]	KH	DGT[(3,4)]
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

(c) Mevcut yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar (yüksek binalar dışında – BYS ≥ 2)

Deprem Yer Hareketi 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	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

Taşıyıcı Sistemlerin Süneklik Düzeyleri

TBDY 2018, süneklik düzeyine bağlı olarak üç tür taşıyıcı sistem tanımlar:

1

Süneklik düzeyi yüksek

R ve deprem yükü azaltma katsayısı daha büyük, tasarım deprem yükü daha düşüktür; buna karşılık **kapasite tasarımı** ve **donatı detaylandırma** gibi ek kuralların sağlanması gerekir.

2

Süneklik düzeyi sınırlı

Daha az katı kurallara tabidir; buna karşılık tasarım deprem yükleri daha büyüktür.

3

Süneklik düzeyi karma

Süneklik düzeyi sınırlı çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek perdelerin (veya çelik çaprazlı çerçevelerin) birlikte kullanıldığı sistemlerdir.

- Yönetmelik, her taşıyıcı sistem türü için **deprem tasarım sınıfına** (sahanın depremselliği ve bina kullanım sınıfına bağlı) göre izin verilen bina yükseklik sınıflarını ve **R**, **D** katsayılarını verir.
- Yüksek rijitlikleri ve düşük süneklikleri nedeniyle bodrum katlar için ayrı R ve D değerleri tanımlanmıştır.

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R), Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) Ve İzin Verilen BYS

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ – A1. Süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
A12. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 2
A14. Deprem etkilerinin süneklik düzeyi yüksek çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz. 4.3.4.5)	8	2.5	BYS ≥ 2
A15. Deprem etkilerinin süneklik düzeyi yüksek çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz. 4.3.4.5)	7	2.5	BYS ≥ 2
A16. Deprem etkilerinin tamamının, çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen süneklik düzeyi yüksek betonarme kolonlarla karşılandığı tek katlı binalar	3	2	–

Kaynak: TBDY 2018, Tablo 4.1 (betonarme sistemler – kısmi).

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R): Karma Ve Sınırlı Sünekli Sistemler

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A2. Süneklik düzeyi karma taşıyıcı sistemler ($M_{DEV} \geq 0.75\ M_o$)			
A21. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 4
A3. Süneklik düzeyi sınırlı taşıyıcı sistemler			
DTS = 1a, 2a, 3a ve 4a için izin verilmez; A31, B31 ve C31 sistemleri yalnızca DTS = 3 ve DTS = 4'te kullanılabilir.			
A31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	BYS ≥ 7
A32. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi sınırlı betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	BYS ≥ 6

Süneklik düzeyi arttıkça R büyür ve tasarım deprem yükü azalır; ancak sünekliğin gerçekten sağlanması için **kapasite tasarımı ilkeleri** ve **sünek detaylandırma kuralları** eksiksiz uygulanmalıdır.

TBDY2018 - Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)}$$

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \qquad T > T_B$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right)\frac{T}{T_B} \qquad T \le T_B$$

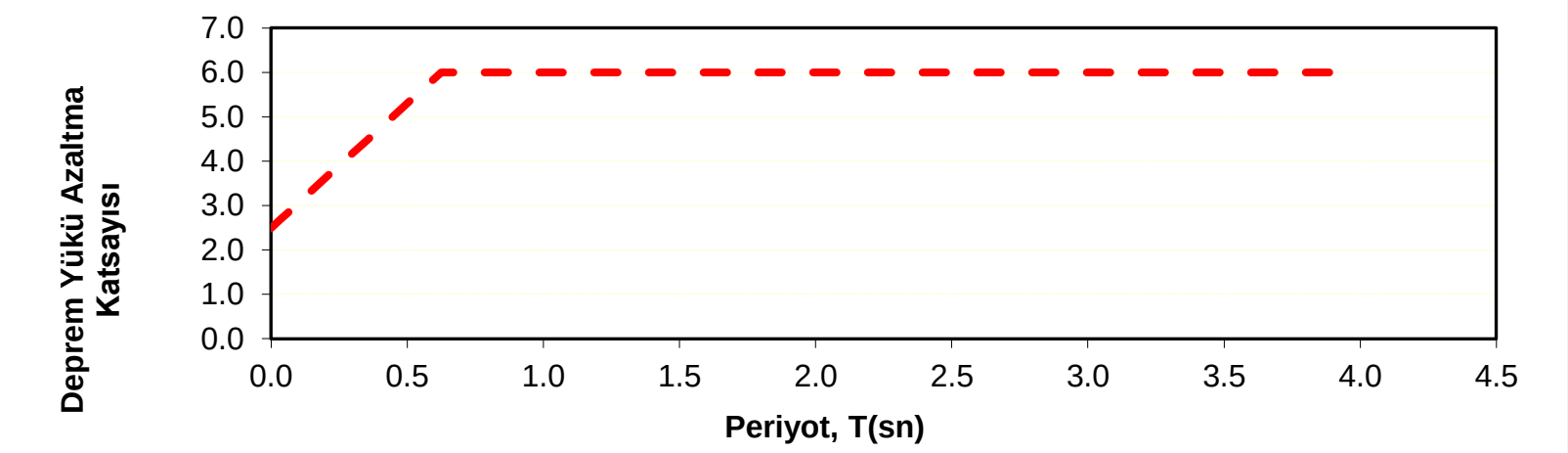
$S_{aR}(T)$ = Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]

$S_{ae}(T)$ = Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]

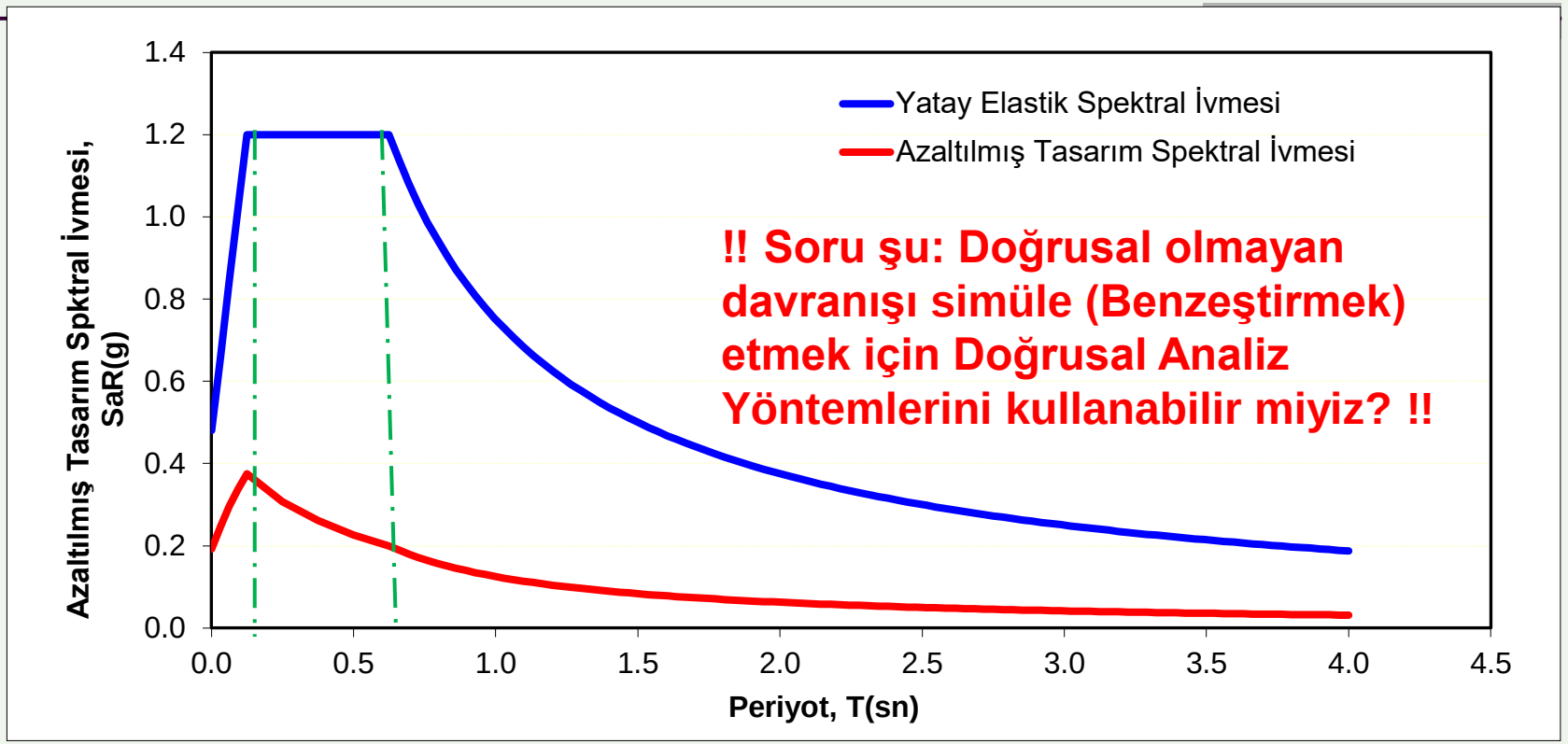
$R_a(T)$ = Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı Deprem Yükü Azaltma Katsayısı

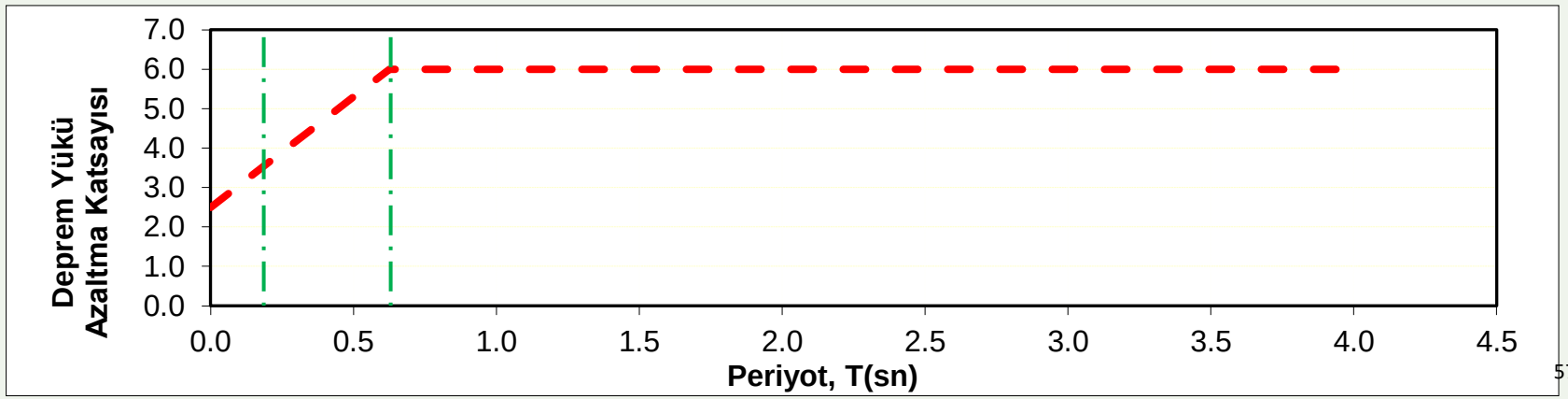
R = Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

I = Bina Önem Katsayısı



TBDY2018 - Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi





Kapasite Tasarımı İlkeleri

- ***Dayanıma Göre Tasarım*** **çerçevesinde bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımında, 4. Bölüm ’de verilen kurallara ek olarak *kapasite tasarımı ilkeleri* gözönüne alınır.**
- ***KAPASİTE TASARIMI* YAKLAŞIMI, taşıyıcı sistemde *doğrusal olmayan sünek davranışın* açık olarak tanımlanan belirli elemanlarla (veya kesitlerle) sınırlı tutulmasını, bu davranışla uyumlu olarak diğer bütün elemanların yeterli dayanım kapasitesine sahip olmasını öngören tasarım yaklaşımıdır.**

Sünek Taşıyıcı Sistemin Temel Gereksinimleri

Sünek bir moment aktaran çerçevenin iki temel gereksinimi vardır: **sünek bir taşıyıcı sistem düzeni** ve **sünek elemanlar**.

Sünek taşıyıcı sistem düzeni

- Aşırı yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması
- Düzensizliklerin sınırlandırılması
- Güçlü kolon – zayıf kiriş

Sünek elemanlar

- Düşey elemanlarda eksenel kuvvetin sınırlandırılması
- Gevrek kesme kırılmasının önlenmesi
- Donatı detaylandırması ve elemanların sargılanması

Amaç: deprem enerjisinin, göçme oluşmadan, önceden belirlenmiş sünek bölgelerde tüketilmesi.

TBDY 2018: Dayanıma Göre Tasarım Kuralları

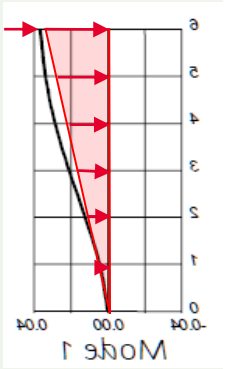
1. Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılması
2. İkinci mertebe etkilerinin sınırlandırılması
3. Betonarme kirişlerde sünek davranış
4. Betonarme kirişlerin kesme güvenliği
5. Betonarme kolonlarda sünek davranış
6. Betonarme kolonların kesme güvenliği
7. Kolonların kirişlerden güçlü olması
8. Süneklik düzeyi yüksek kolon–kiriş birleşimleri
9. Kısa kolonlar

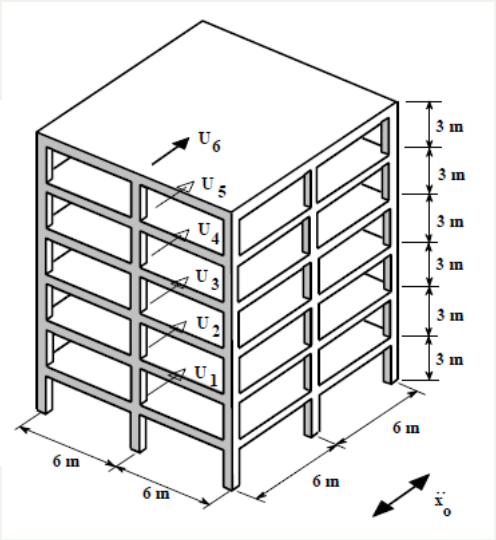
Yapıların Deprem Analizleri

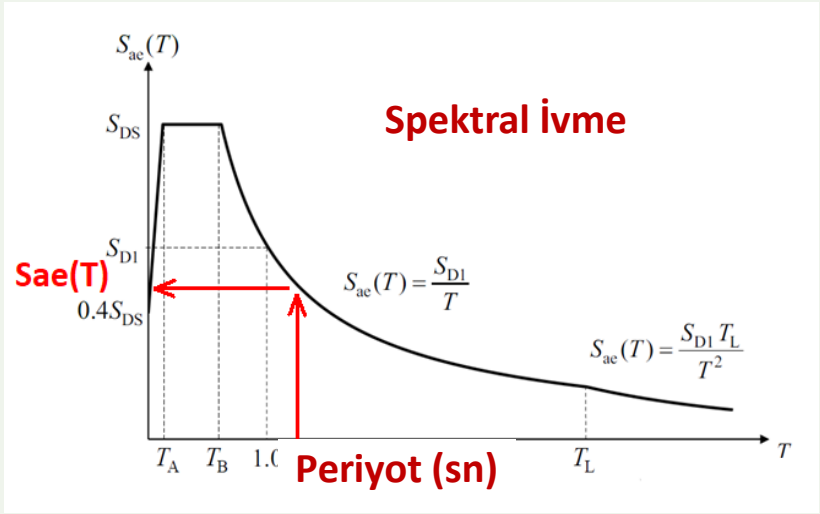
Doğrusal Analiz	Doğrusal Olmayan Analiz
▪ Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ▪ Elastik tasarım spektrumu ▪ Azaltılmış tasarım spektrumu	Doğrusal Olmayan Statik Hesap (İtme Analizi)
▪ Mod Birleştirme Yöntemi ▪ Elastik tasarım spektrumu ▪ Azaltılmış tasarım spektrumu	Çok Modlu İtme Analizi
▪ Zaman Tanım Alanında Hesap ▪ Mod süperpozisyonu ▪ Doğrudan integrasyon	▪ Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap ▪ Hızlı doğrusal olmayan analiz (FNA) ▪ Doğrudan integrasyon
Geometri, malzemelerin elastik özellikleri, eleman kesitleri	+ Malzemelerin doğrusal olmayan özellikleri, donatı detayları

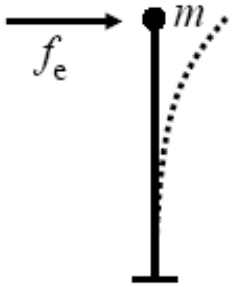
Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

$\{\phi_1\}$









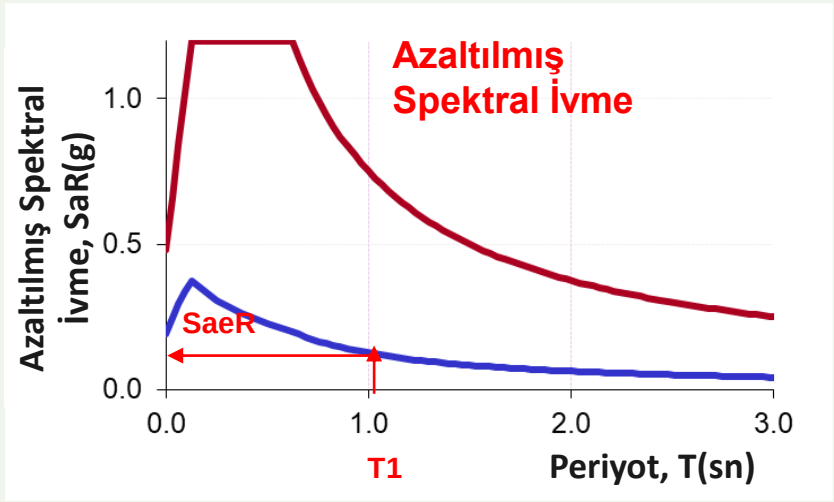
$$V_{te} = m\, S_{ae}(T)$$

TSD

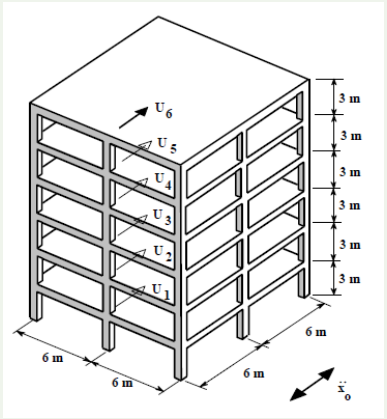
$$V_{te} = M\, S_{ae}(T_1)$$

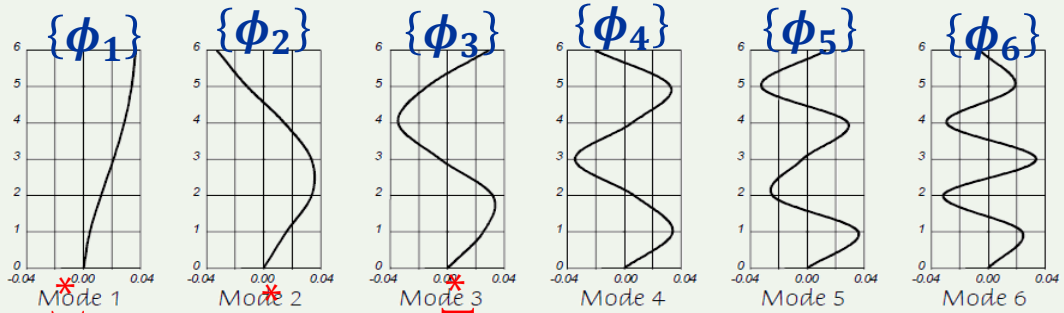
$$M = W / g$$

$$W = \sum_{i=1}^{N} w_i$$



Mod Birleştirme Yöntemi



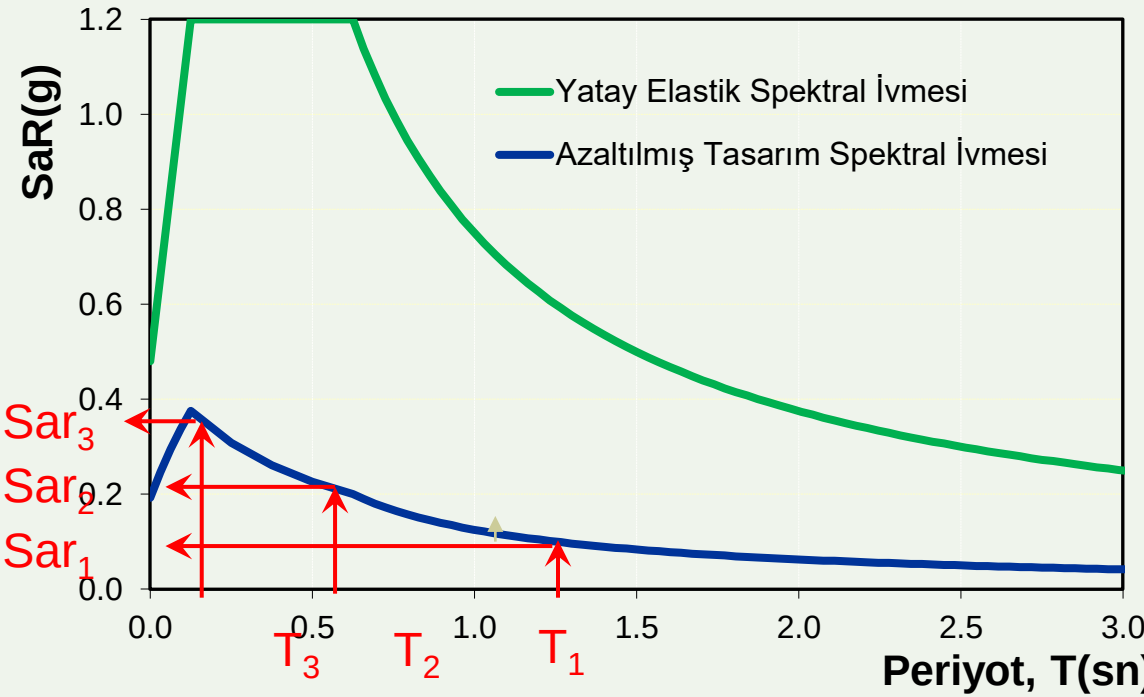


$\Gamma_1^* Sd_1$ $\Gamma_2^* Sd_2$ $\Gamma_3^* Sd_3$

[M] , [K]

$\det(-\omega^2[m]+[k])=0$

ω_i , T_i



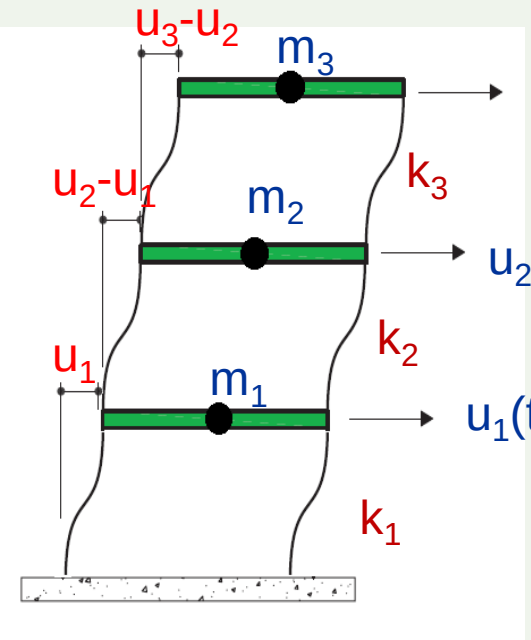
$Sd_3 = Sa_3/(\omega_3)^2 \leftarrow Sar_3$

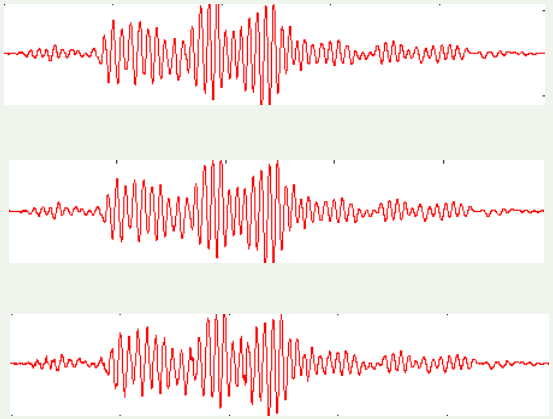
$Sd_2 = Sa_2/(\omega_2)^2 \leftarrow Sar_2$

$Sd_1 = Sa_1/(\omega_1)^2 \leftarrow Sar_1$

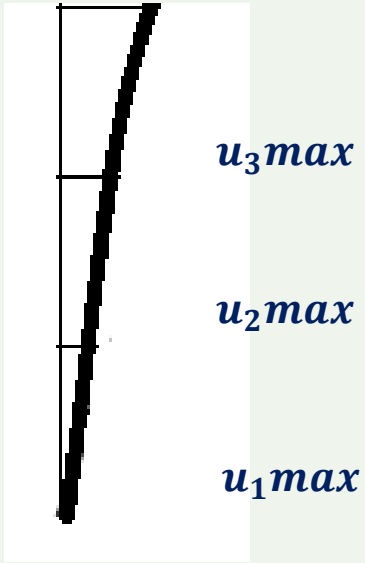
Zaman Tanım Alanında Doğrusal Hesap

$$[\mathrm{M}]\{\ddot{u}\} + [\mathrm{C}]\{\dot{u}\}+[\mathrm{K}]\ \{\mathrm{u}\} = -[\mathrm{M}]\{I\}\ddot{u}_g$$





Yerdeğiştirme–Zaman Değişimleri





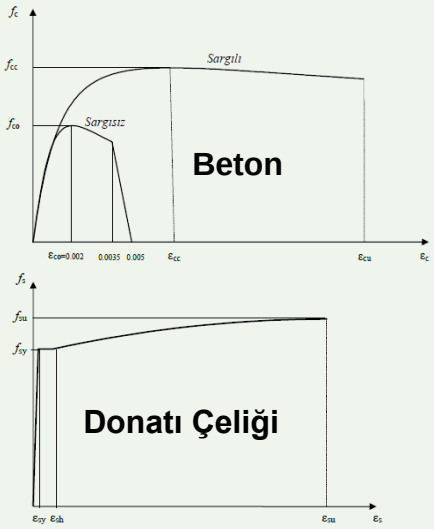
Yer Hareketi İvme Kaydı

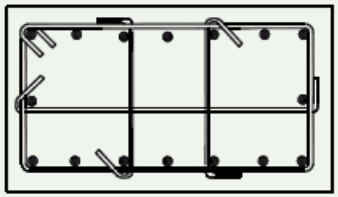
Sayısal Yöntemler

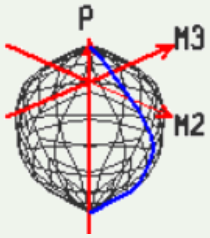
- Merkezi farklar yöntemi
- 2. dereceden integrasyon: Newmark ailesi
- 1. dereceden integrasyon: Doğrudan Taylor serisi, Runge–Kutta, çok adımlı yöntemler

Doğrusal Olmayan Statik Yöntem (İtme Analizi)

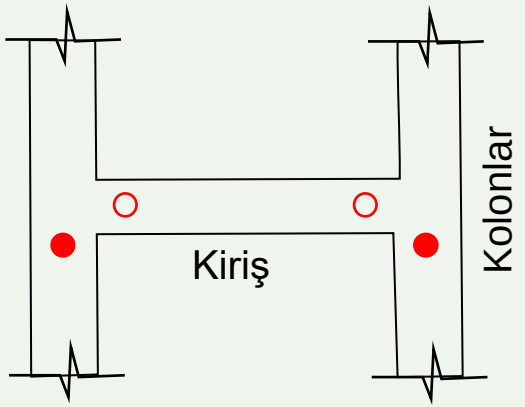
Doğrusal Olmayan Malzeme Modelleri



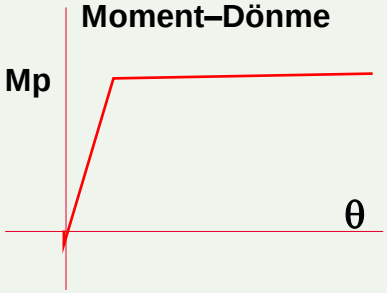




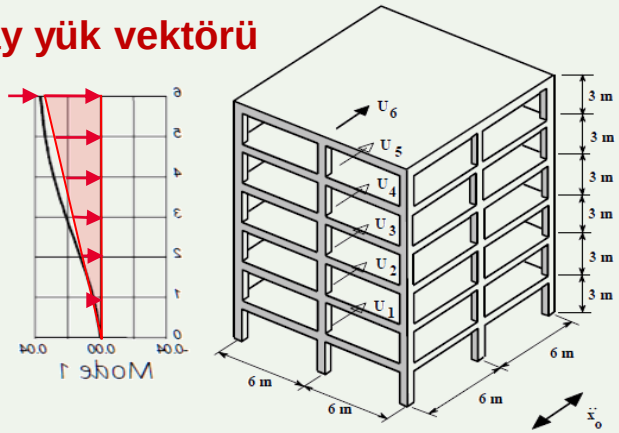
Plastik Mafsal Modellemesi

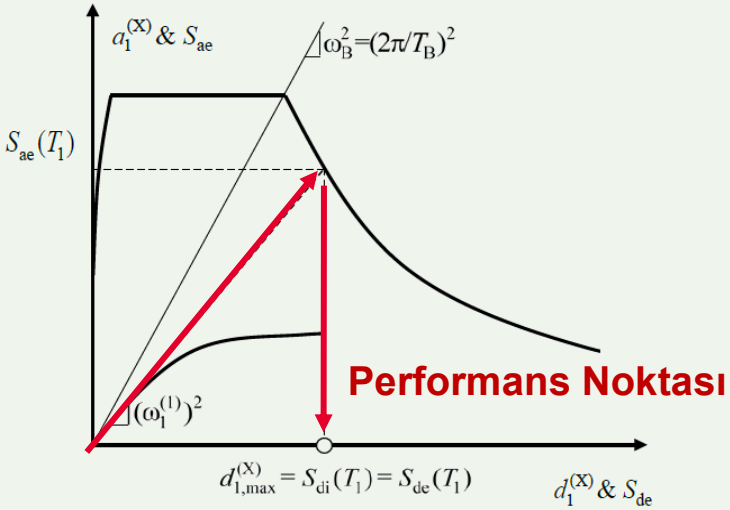


Plastik Mafsal Tanımları

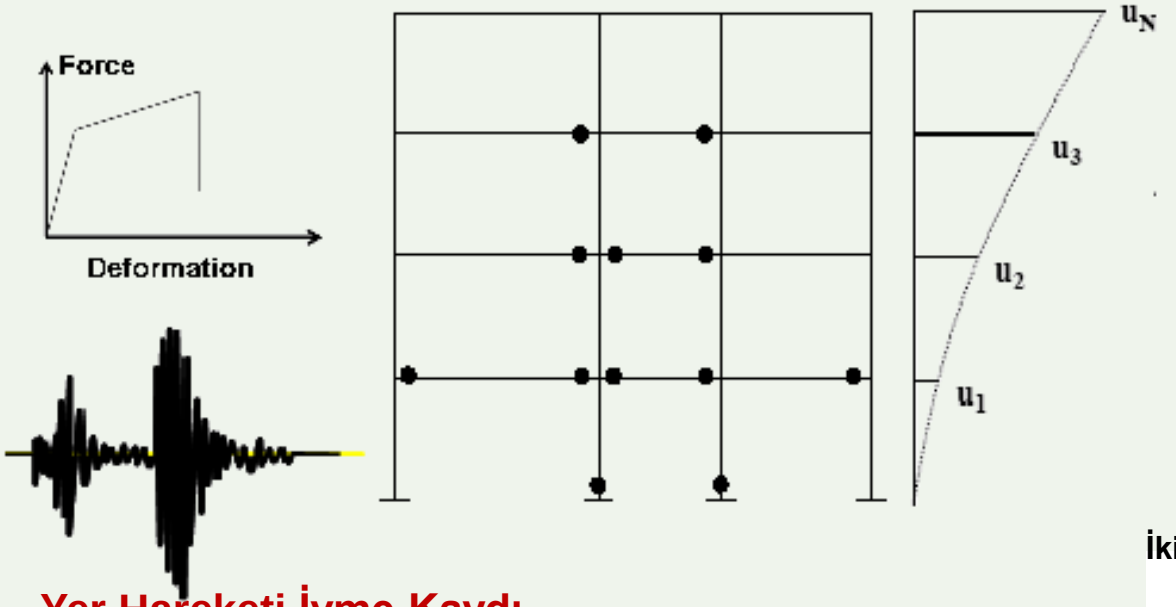


Yatay yük vektörü





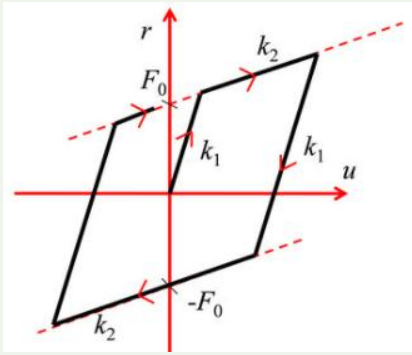
Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap



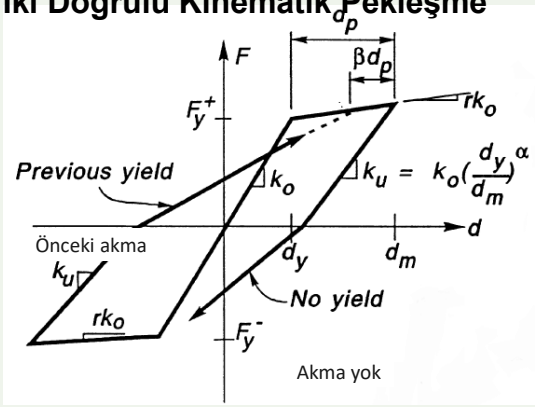
Yer Hareketi İvme Kaydı

Plastik Mafsal Tanımları

Histerezis Modelleri



İki Doğrulu Kinematik Pekleşme



Değiştirilmiş Takeda Modeli

Sayısal Yöntemler

- Merkezi farklar yöntemi
- 2. dereceden integrasyon: Newmark ailesi
- 1. dereceden integrasyon: Doğrudan Taylor serisi, Runge–Kutta, çok adımlı yöntemler

Sabrınız için ....
Teşekkür ederim