

Yapı-Deprem Mühendisliği açısından Depremlerde Yapısal Davranış

Dr. Kemal Beyen

İnş. Yük. Müh. (M.S.), Deprem Yük. Müh. (Ph. D.)

İnşaat Mühendisliği Bölümü / Kocaeli Üniversitesi

~~~~ **Sanal Yapı-Deprem Mühendisliği Laboratuvarı** ~~~~

beyen@boun.edu.tr - kbeyen@kou.edu.tr

# İçerik:

## Kısım-1, Giriş:

- Depremın Sosya Ekonomik Toplumsal Etkileri
- Deprem Mühendisliği
- Yerleşim alanlarında gözlenen yerel zemin etkileri ve analiz yöntemleri
- Yapısal gözlemler ve uygulamalar

## Kısım-2, Deprem mühendisliğinde depremin Karakteristik Özellikleri:

- Deprem üreten coğrafya
- Depremi tanımlayan değerler
- Uzak ve yakın depremler
- Yerel zemin analizleri ve lokal büyütmelemler
- Basen ve Topoğrafik yüzey yapı davranışları ve şehir yerleşimleri
- Sarsıntılar ve mühendislik yapıları
- TDY'07 ve mühendislik uygulama parametreleri

## Kısım-3, Deprem mühendisliği ve yapı dinamiği

### EK-0, Davranışın Ayrıklaştırılması

## Kısım-4, İnşaat Mühendisliği Açısından Spektral Analiz

- Yer hareketinde kullanılan temel mühendislik parametreleri deprem karakteristiği
- Tepki Spektrumunun mühendislik olarak anlamı
- Elastik tasarım tepki spektrumu
- Duyarlı periyod bölgeleri

### EK-1, Spektrum Üretme

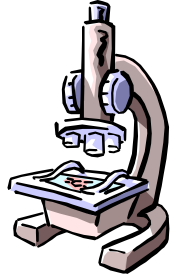
### EK-2, Yapı Dinamiği

### EK-3, Yapı Deprem Mühendisliği Uygulaması

# Giriş

Kısım - 1

# Depremın Sosyo-ekonomik ve Toplumsal Etkileri



Deprem

## •Mühendislik Yapılarında

- Yapısal Güvensizlik
- Can Güvenliği Sorunu
- Afetde ulaşım, ikmal, yardım, sağlık ve barınma kayıpları
- Değer kaybı (sahibine zarar)
- Emlak ve işletme kaybının neden olduğu emlak ve diğer katma değer vergi kayıpları (devletin gelirlerine zarar)

## •Finansman Yapısında Değişimler

- Sigorta sisteminin kayıpları
- Mortgages kayıpları
- Yatırım imkanlarının daralması veya başka ortamlara kayması

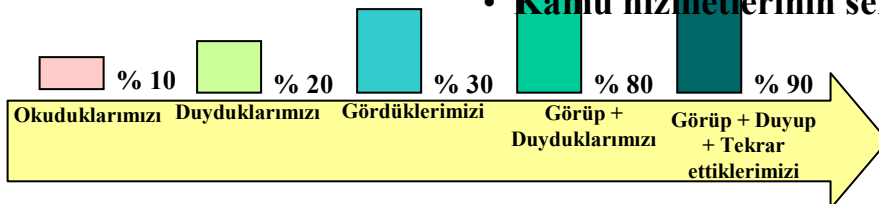
## •Demografik Yapı Hareketleri

- Geçici/Kalıcı yerleşimler (dolayısıyla işçi, işveren ve şehirli profiline darbe)
- Şehirleşme bilincinin yitirilmesi, şehir fiziğinin/varlıklarının kaybı
- Hasarlılık ihtimalinin karmaşıklaşması, kontrol dışı gelişme/kötüleşme

## •İş ve Aktivitelerin Düşmesi

- Çalışma/üretim hayatının durması
- İşsizliğin/karamsarlığın artması (Psikolojik çöküntü-soğuk savaş)
- Organize olamamak, intibak süresinin uzaması
- Kanunsuzlukların artması (Hırsızlık, ölü fiyata emlak toplayıcılığı, arsa toplama, hurda hırsızlıkları, kıymetli eşya hırsızlıkları, organ nakli için insan hırsızlığı)
- Kamu hizmetlerinin sekteye uğraması

Neleri Ne Kadar Hatırlarız ?



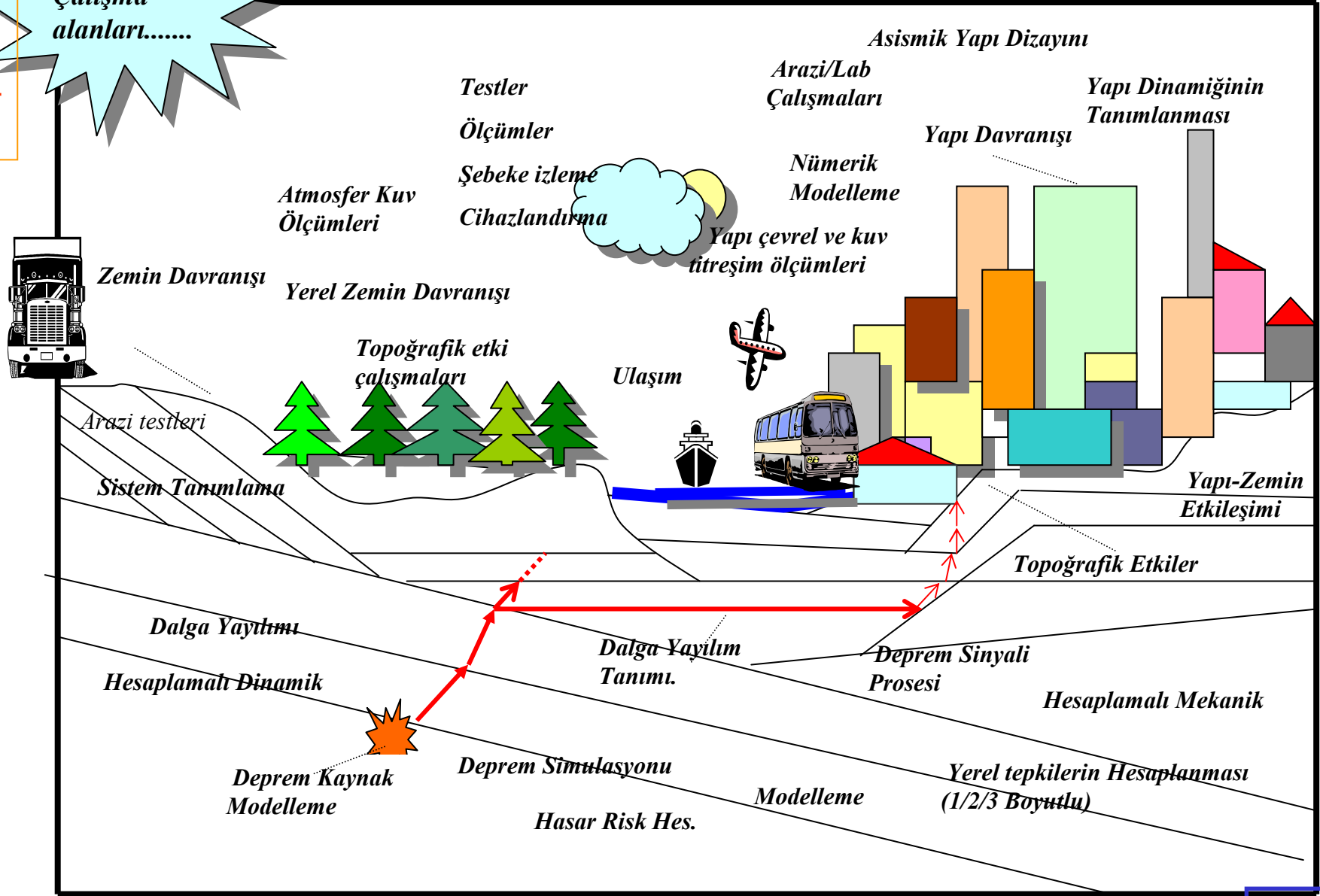
Depremlerden öğrendiklerimiz  
+  
hatalarımızdan öğrendiklerimiz  
+  
tekamül eğitimleri

# Bu doğru bir mühendislik uygulaması mı ?



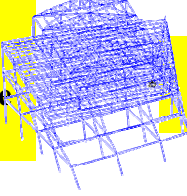
Çalışma alanları.....

# Deprem Mühendisliği Konuları

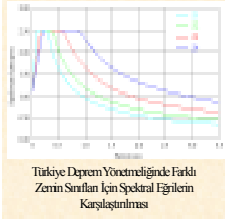


# 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin Sonuçları ve .....

Doğru yapı dizaynı ve imalat

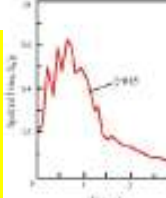


Yanal/Modal (Dinamik) Analiz



Türkiye Deprem Yönetmeliğinde Farklı Zemin Sınıfları İçin Spektral Eğrilerin Karşılaştırılması

Yerel ve makro tepki spektrumları ?

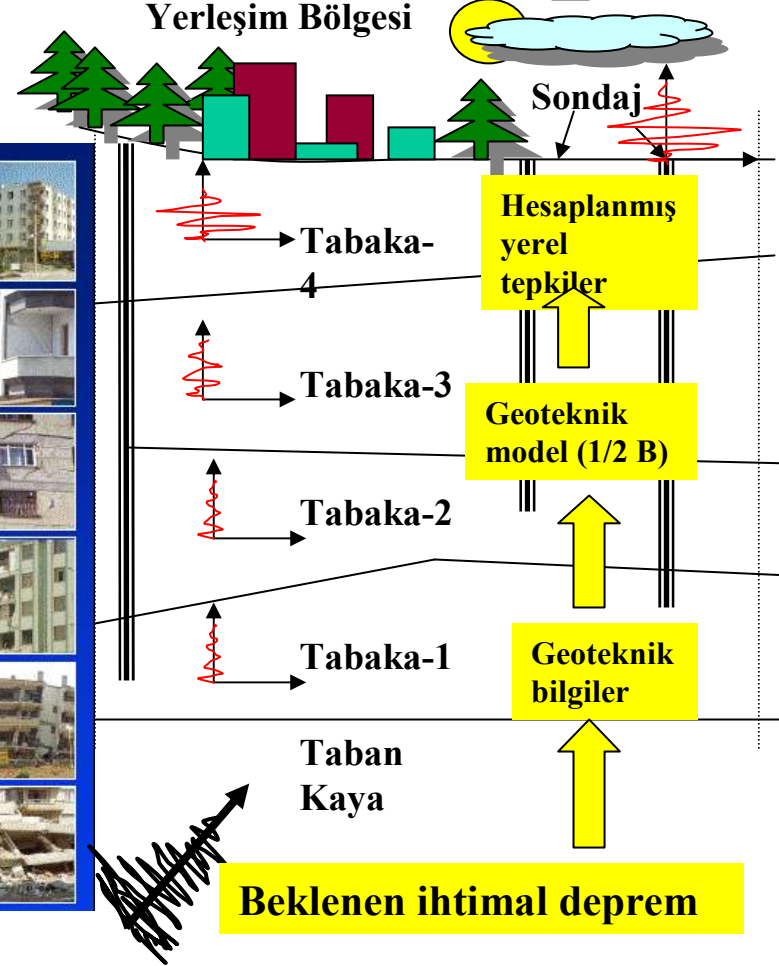
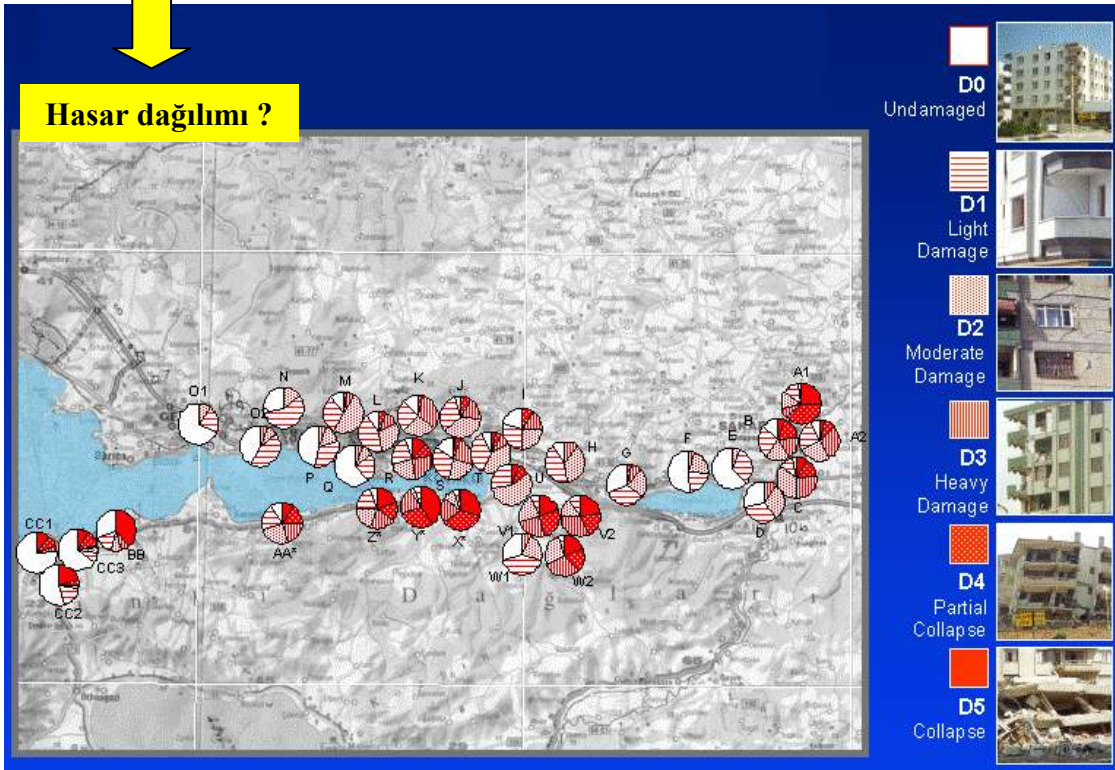


Hesaplanmış yerel tepki spektrumu

Zaman tanım alanında analiz (FEM)

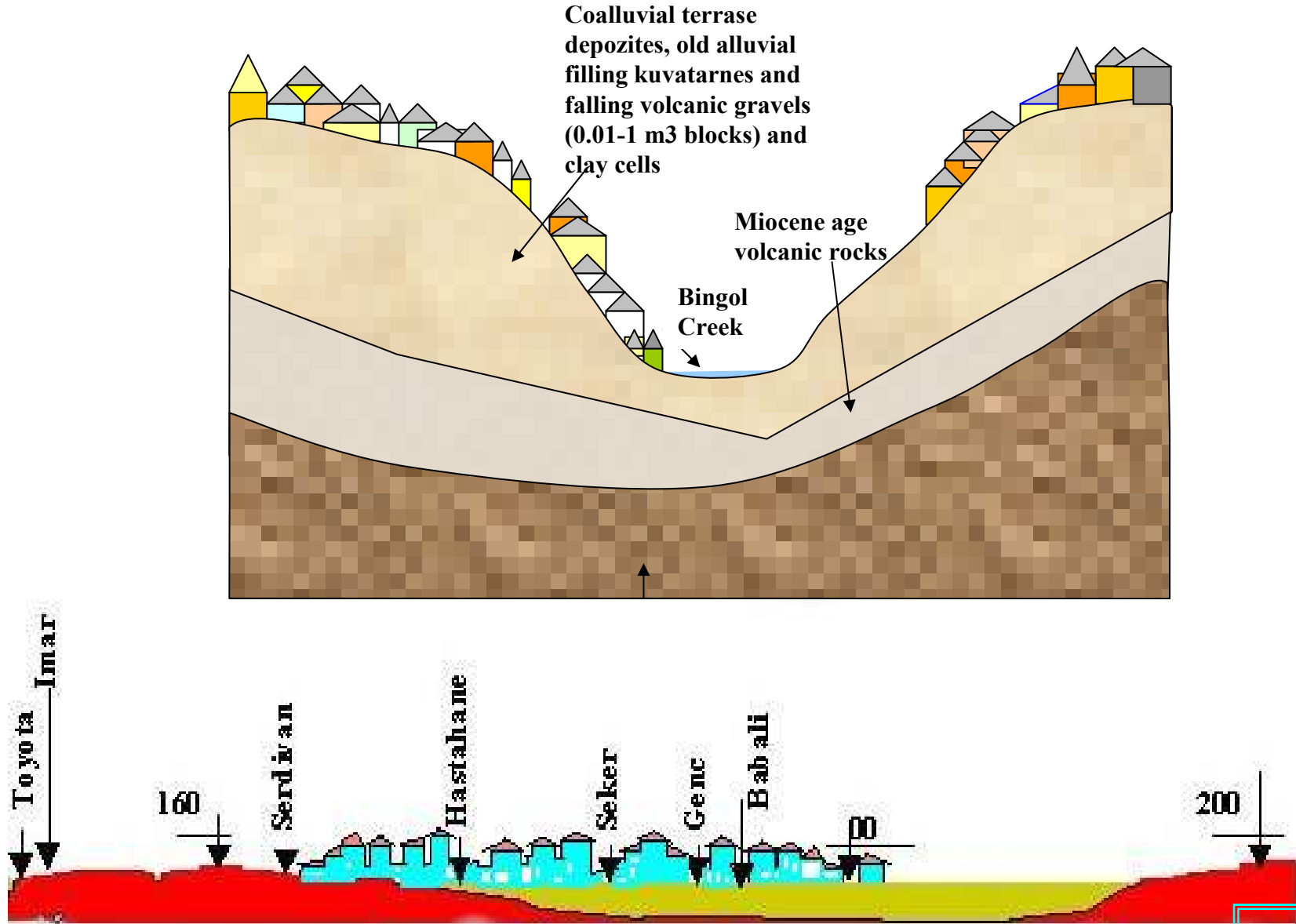
Yapı Performansı ?

Hasar dağılımı ?



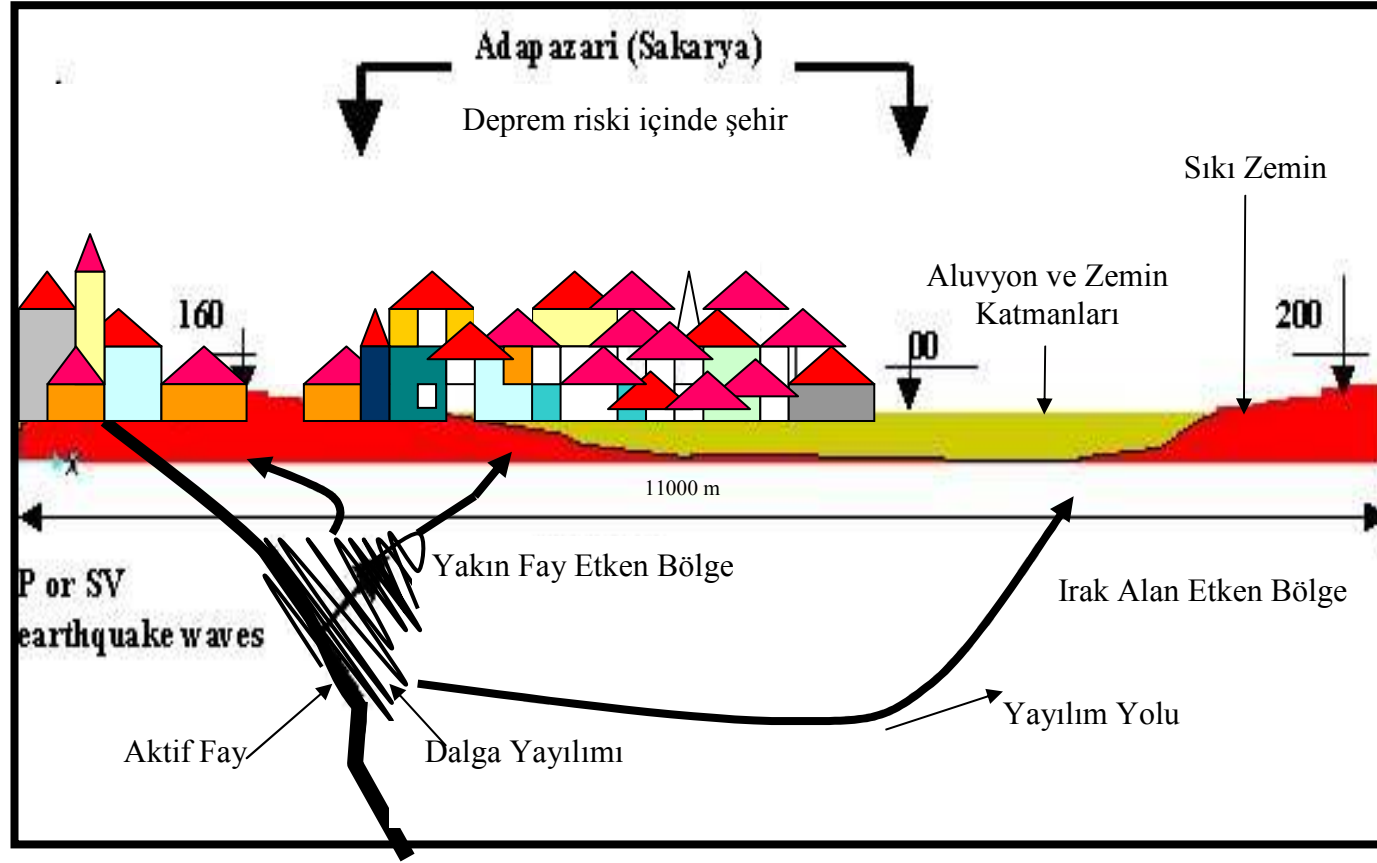
....acaba hasar dağılımını gelecekte azaltabilirmiyiz ...

# Çevre Şartları ve Dinamik Yük Karakteristiğinin Değişimi





# Deprem karakteristiğinin düzensiz alt katmanlar içinde ve yüzey şekilleri boyunca yayılırken değişimi



# Yerel Zemin Analizleri Neden Gereklidir ?

Depremlerde **hasarların dar bir bölgede** dahi **büyük farklılıklar** gösterdiği gözlemlendi. Kocaeli depreminde, bazı bölgelerde hasar çok fazla olurken bitişinde çok daha azı gözlemlenebildi. Bunu yapısal farklılığa (mimari, dizayn, imalat, malzeme) bağlamak belirli şartlarda mümkün olsada aynı tip projeler, aynı malzeme, aynı uygulama hassaslığı(!) kabulü yapılabilecek örneğin **benzer kooperatif yapılarının olduğu bölgelerde bu farklılıklar** gözlemlendi. Elbette bu farklılıklara anlam yükleyebileceğimiz bazı durumlar vardır. Örneğin depremin etkin bileşeniyle yapı yerleşkesinde zayıf yan rijitliğinin diğer benzerlerinden farklı olarak aynı doğrultuya gelmesi olabilir. Ama bunun dışında, gene Kocaeli depreminde de gözlemlenmiş olduğu gibi zeminlerin tabakalanma biçimleri davranışları açısından önemli farklılıklar oluşturabiliyor. Bu yerel farklılıkların proje sürecinde göz önüne alınması gerekiyor. Bu safhada, sadece sismik verilere ve tektonik yapıya bağlı olarak oluşturulan sismik makro bölgelendirmenin (Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasının) ötesinde yerel geoteknik özelliklere ve oluşabilecek deprem kaynak fonksiyonunun özelliklerine bağlı bir **yerel bölge davranışının** analizine ve sonuçta elde edilecek **mühendislik parametrelerinin** mühendislik yapılarının projelendirilmesi sürecinde kullanılmasına ihtiyaç vardır.

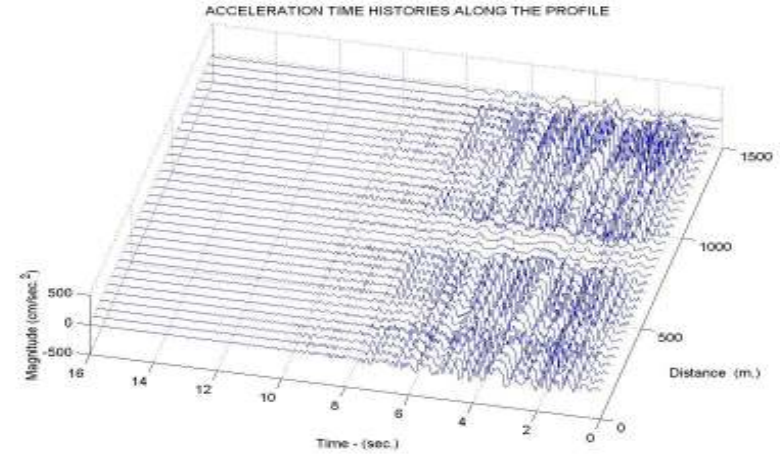


Figure 7.5. Acceleration time histories along the profile.

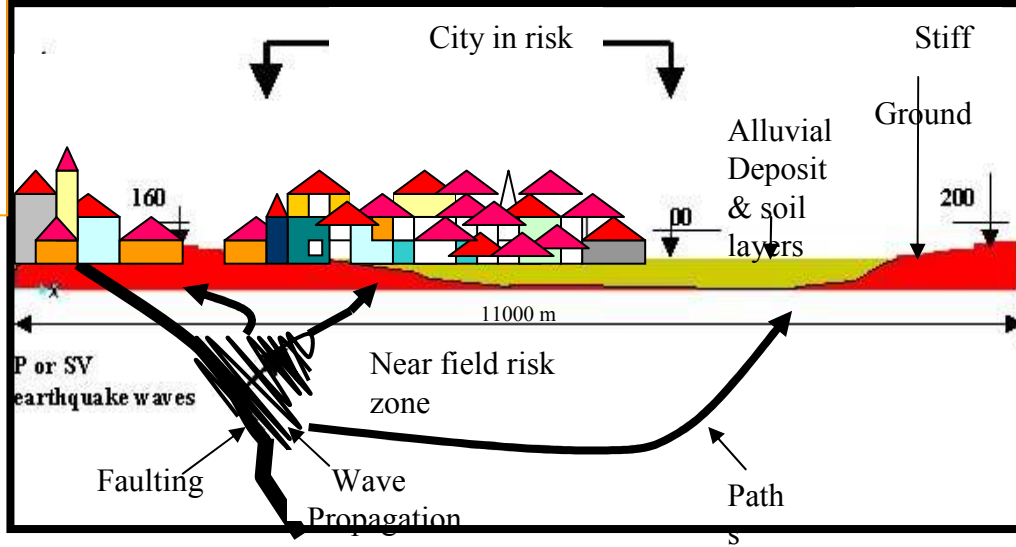
## Yerel Zemin Etkilerini Analiz Etmenin Amaçları

- Afeti önleme veya azaltma çalışmalarına girdi olabilecek değerlerin hesaplanması
- Mühendislik yapılarının olası alabilecekleri hasar boyutunun hesaplanması ve önlem alınması (viyadük, köprü, ulaşım ve kamu yapıları deprem öncesi takviye/güçlendirme proje+uygulama)
- Şehircilik uygulamalarında karar mekanizmalarına bilgi sağlamak (arazi kullanımı, deprem riskine göre yerleşimde imar şartlarını oluşturmak, yeşil/spor/kültür/egitim/ticaret/ev alanları vs.)

## Yerel Etkilere Etki Eden Parametreler

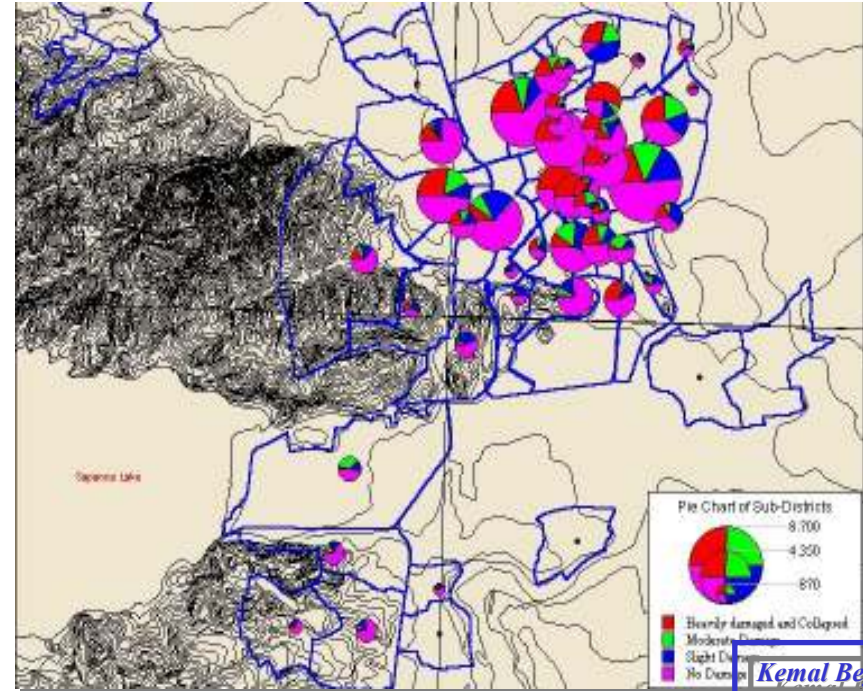
- Faylanma biçimlerine (ters/doğru/normal atımlı),
- İncelenen bölgenin faya uzaklığına (yakın/ırak),
- Katman bilgilerine (tabakalanma/dinamik malzeme parametreleri ( $V_p, V_s$ , gerilme\_birim şekil değiştirme eğrileri/zemin yapı davranış modelleri, plastisite), yatayda ve düşeyde tabaka düzensizlikleri),
- Yüzey formasyonunun geometrisine (topoğrafik etki (yamaç, tepe, sırt, vadi)),
- Bölgenin bulunduğu konuma (vadi ortası/basen kenarı, deniz/nehir yatağı/kıyı/eski yatak)
- Maruz kalınan depremin enerjik özelliklerine (dalga, genlik, ivme/hız/deplasman büyüklükleri, frekans içeriği/periodik değişimler),
- Maruz kalınan depremin etkidiği süreye, gibi tabakalanma, yapı heterojenliği, malzeme dinamik davranış modelleri ve gelen depremin mekanik ve statik parametreleri yerel zemin davranışının sonuçlarına direkt olarak etkimektedir. Bu sonuçların kullanılarak hesaplandığı tepki spektrumu (zemin tepkisi+yerel etkenlerin büyütmesi) ise üst yapının dinamik analizlerinde kullanılabilir önemli bir bilgidir.

# Şehir Yerleşimleri, Jeoloji, Deprem ve Hasar Dağılımı



Bu nedenle, bir bölgenin deprem riski için deprem tasarım özellikleri tanımlanırken o bölgenin tabakaları ve zeminlerinin tekrarlı gerilmeler altındaki davranışları (zemin tabakalarının arazi ve laboratuvar deneyleriyle hesap parametreleri) saptanır. Bölgenin muhtemel bir depreme kaynak olabilecek diri faylarının özelliklerini, geçmiş depremlerini, ilgili bölgesel tektonik yapılarını derleyip; faylanmaya bağlı olarak oluşabilecek mekanizma özellikleriyle yerel zemin analizlerinde taban kayasından etkilenecek muhtemel depremin tahmin edilebilmesi ise analizlerimizde kullanılacak önemli bir girdidir.

Şehirler genellikle yerleşim olarak eski nehir yataklarına, genç aluvial basenlere, aluvial fanlara, topoğrafik yükseltilere, yamaçlarına veya basen kenarlarına kurulmuştur. Eski şehir tarihleri incelendiğinde, deprem ve hasarlar sonucu şehirlerin daha sağlam zeminlerde tekrar kurulması amacıyla vadi içlerinden yamaçlara doğru çekildiğini anlıyoruz. Böyle yerdeğişirmeler örneğin Erzincan, Dinar ve Bingöl gibi şehirlerde tarihi içinde yapılmış ama sonrası imar açılımlarının tekrar eteklerden aşağı düzlüklere yani basen üzerine yürümesi benzer riskleri yeniden o şehirler için gündeme getirmiştir. Kaldığı şehirleşme ve yapılaşma bir mühendislik uygulaması olarak uygulanırsa deprem risklerini bertaraf edecek önlemler projelendirme aşamasında ciddi olarak hesaplanıp, uygulanması aşamasında da ciddi olarak uygulandığı zaman şehirler için çok az deprem risklerinden bahsedilecektir.



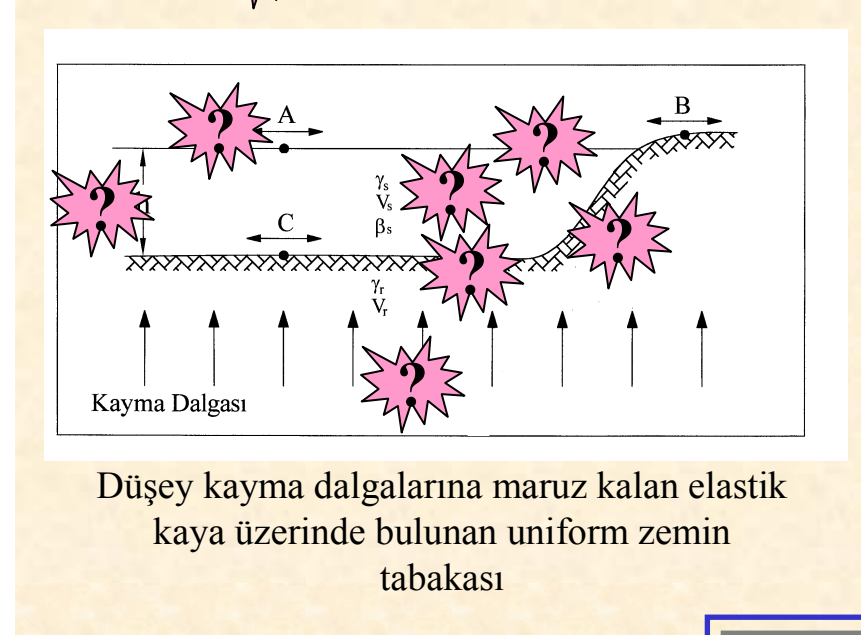
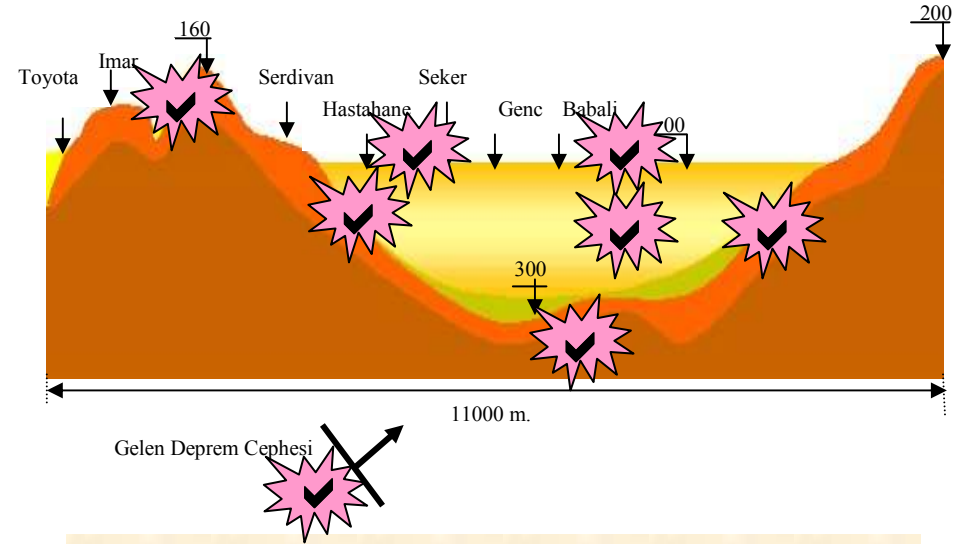
# Depremde Yerel Davranışı

## Zemin Tabakalarının Davranışları :

Zeminin kendi davranışı, arazideki zeminin yatay ve düşeyde tabakalanması, tabankaya derinliği, jeolojik yapı dolayısıyla dalga cephelerinin yayılımı, geliş açıları etki eden davranışlar olarak sonuçları etkiler.

Zemin tabakalarının kalınlığı, yoğunluğu, esnekliği, plastisitesi, zemin büyütmesine neden olabilir. Deprem esnasında zemin tabakalarının davranışlarının sayılan bütün bu unsurları göz önüne alarak ayrıntılı bir davranış analizi gereklidir. Zemin yüzeyinde ve/ya tabaka içlerinde oluşacak deprem özelliklerine göre hesaplanabilecek deprem kuvvetleri, o bölgede yer alan veya inşaa edilecek mühendislik yapılarına gelecek deprem kuvvetlerinin gerçek bir simülasyon ile elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

Yanda iki boyutlu uniform olmayan tabaka, yüzey, düşeyden farklı geliş açısı ve zemin malzeme yapısının yanı sıra basitleştirilmiş kompleks bir yapının bir boyutlu homojen modeli görülmektedir.



Düşey kayma dalgalarına maruz kalan elastik kaya üzerinde bulunan uniform zemin tabakası

## 2B Yerel Zemin Analizi; Topoğrafya, Katman Bilgileri, Analiz ve Yerel Tepki Spektrumları (Mikro Analiz ve Makro ölçekte önerilen)

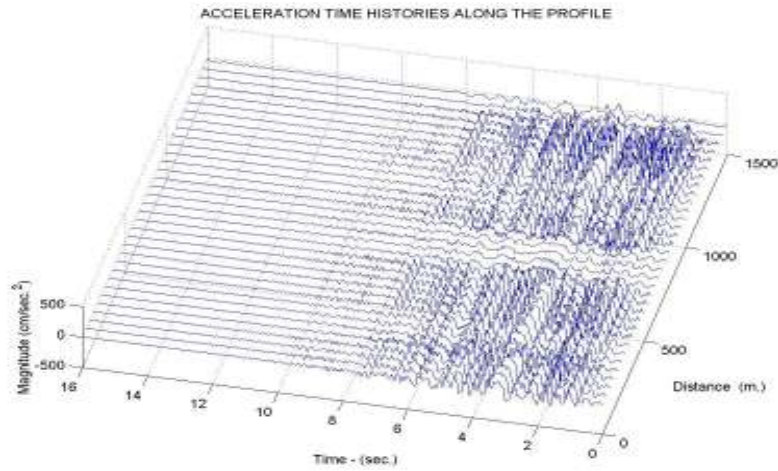
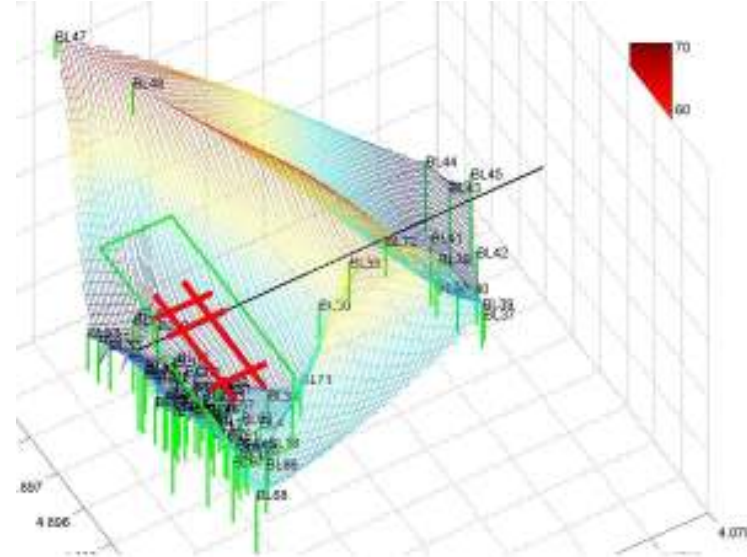
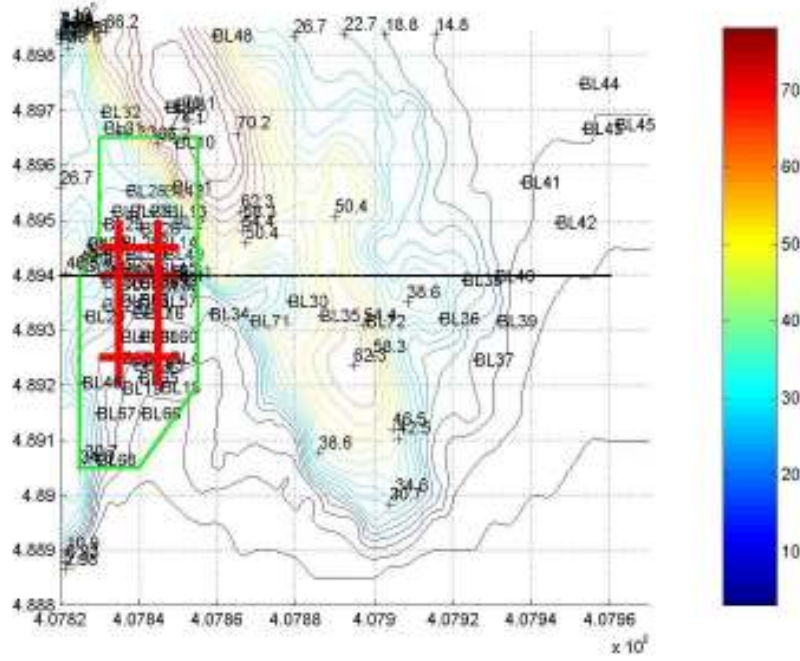


Figure 7.5. Acceleration time histories along the profile.

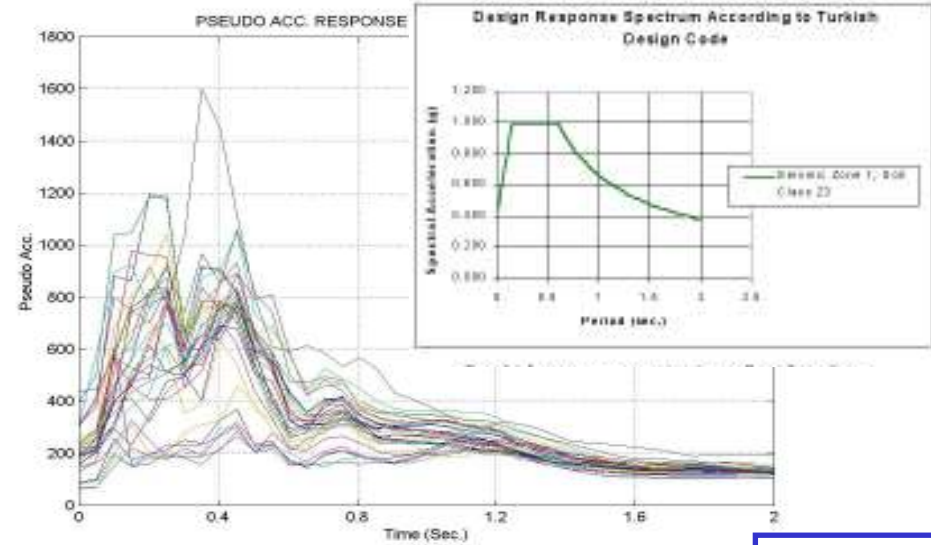
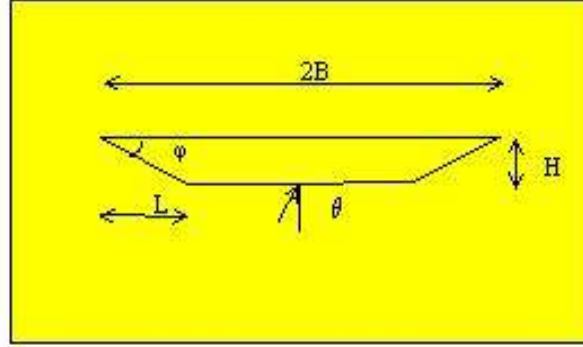


Figure 7.9. Pseudo acceleration response spectra along the profile.

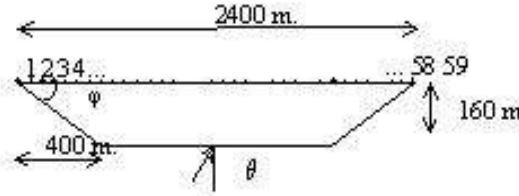
# Yer Altı Düzensizliklerinin Yüzeyde Ürettiği Büyütmeler

**Toplam, 94320 model veri**  
**1. Deprem dalgasının gelişi,**  
**2. Deprem büyüklüğü ve**  
**3. Enerjik yapısının hakim frekansı**  
**gibi değişik parametreler için**  
**tipleştirilmiş bazı basenler için çalışıldı.**

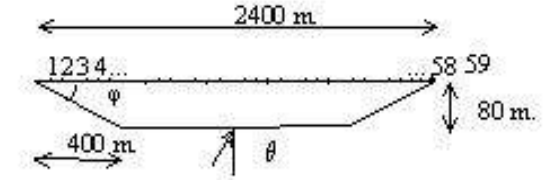
Basın Model's Geometrical Configuration



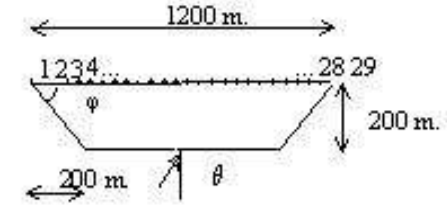
Basın Model 2-B2



Basın Model 1-B1



Basın Model 3-B3



S: Kuvvetli yer hareketi (NL malzeme davranışı)  
 W: zayıf yer hareketi (Linear malzeme davranışı)

Çıktı dosyalarının kodu

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | 1 | S | 1 | H | 0 | A | L |
| D | 2 | W | 2 | V | 1 | 0 | 1 |
|   | 3 |   | 3 |   | 2 | . | . |
|   | 4 |   | 4 |   | 3 | . | . |
|   | 5 |   | 5 |   | 4 | . | . |
|   | 6 |   | 6 |   | 5 | . | . |
|   | 7 |   | 7 |   | . | . | . |
|   | 8 |   | 8 |   | . | . | . |
|   | 9 |   | 9 |   | 9 | 9 |   |
|   | 0 |   |   |   |   |   |   |

B: Basen  
 D: Topoğrafya

H: Yatay bileşen  
 V: Düşey bileşen

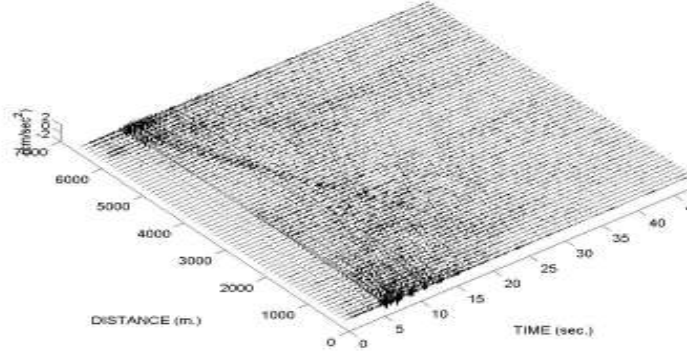
| MODEL NAM | LEFT SLOPE ANGLE | RIGHT SLOPE ANGLE | 2B / H |
|-----------|------------------|-------------------|--------|
| B1-BASIN  | 14.03°           | 14.03°            | 30     |
| B2-BASIN  | 26.56°           | 26.56°            | 15     |
| B3-BASIN  | 45°              | 45°               | 6      |

Geliş açıları : 0°, 15°, 30°, 45°, 60° ve 75° geliş açıları 0 dan 5e kadar kodlandı

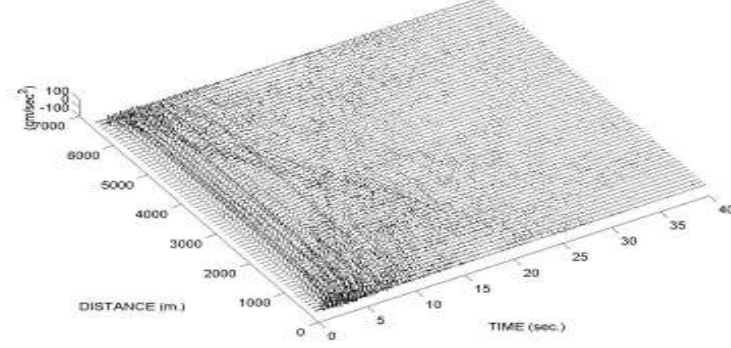
AL: Basen yüzeyindeki bütün hesap istasyonları  
 0 1- 99 : Basen yüzeyindeki sadece istenen hesap noktası

# İki Boyut Analizde Profil Yüzeyinde Deprem Yayılımı

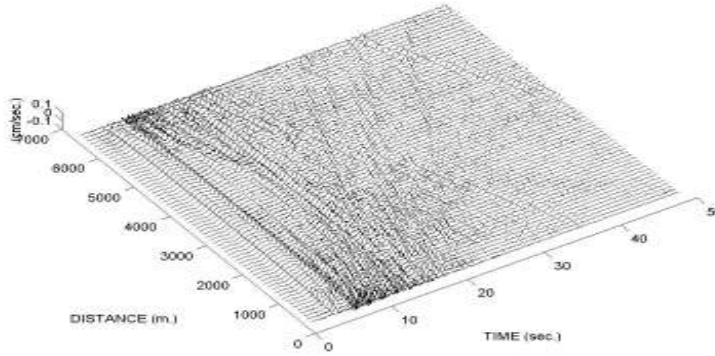
SEPTEMBER 1 (M=3.7) AFTERSHOCK - ACCELERATION TIMEHISTORY



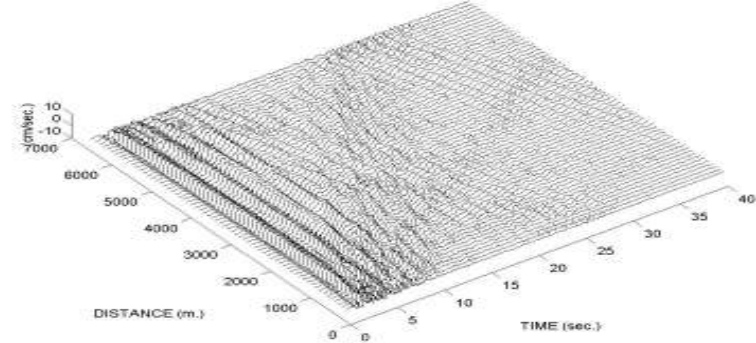
SEPTEMBER 13 (M=5.8) AFTERSHOCK - ACCELERATION TIMEHISTORY



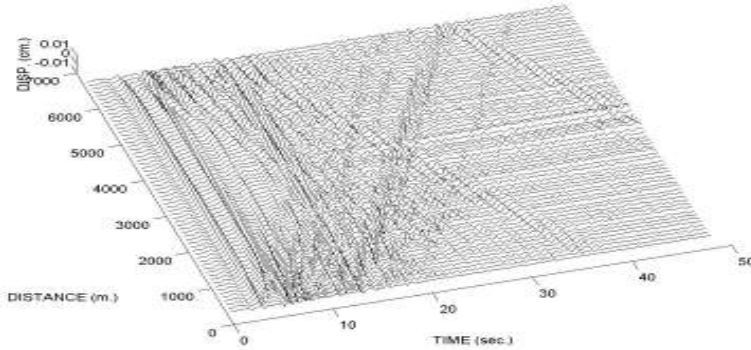
SEPTEMBER 1 (M=3.7) AFTERSHOCK - VELOCITY TIMEHISTORY



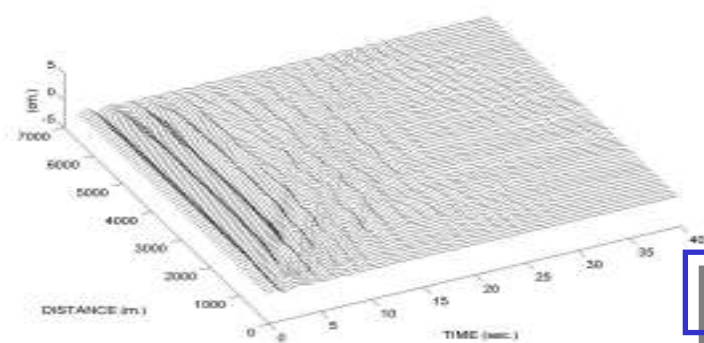
SEPTEMBER 13 (M=5.8) AFTERSHOCK - VELOCITY TIMEHISTORY



SEPTEMBER 1 (M=3.7) AFTERSHOCK - DISPLACEMENT TIMEHISTORY



SEPTEMBER 13 (M=5.8) AFTERSHOCK - DISPLACEMENT TIMEHISTORY





| MODEL NAMI | LEFT SLOPE ANGLE | RIGHT SLOPE ANGLE | 2B / H |
|------------|------------------|-------------------|--------|
| B1-BASIN   | 14.03°           | 14.03°            | 30     |
| B2-BASIN   | 26.56°           | 26.56°            | 15     |
| B3-BASIN   | 45°              | 45°               | 6      |

## Düşük ve yüksek hakim frekans içeriğiyle zayıf ve kuvvetli depremlere karşı basen davranışı (büyütme oranları cinsinden)

Geliş açısı:

- 0°
- 15°
- 30°
- 45°
- 60°
- 75°

**Düş. Hakim Frek.-Zayıf Deprem**

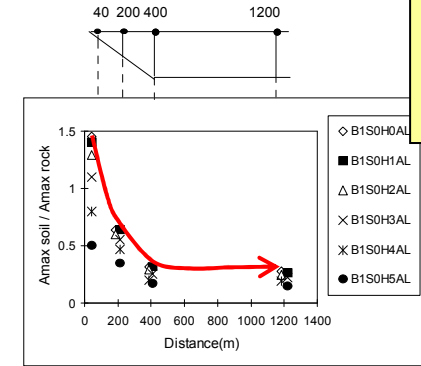
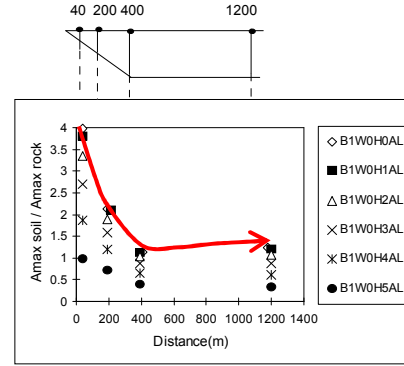
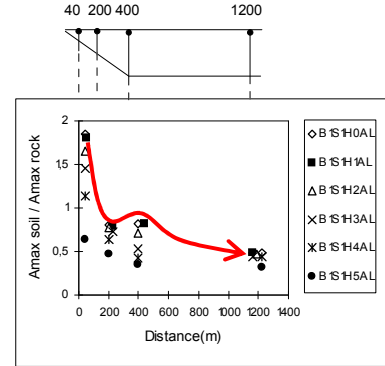
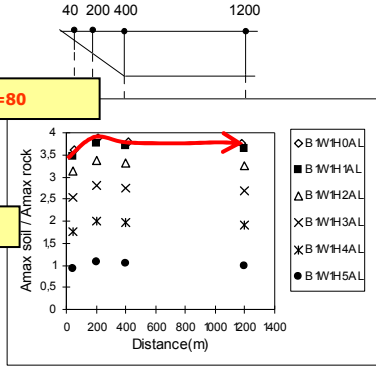
**Düş. Hakim Frek.-Kuvvetli Deprem**

**Yük. Hakim Frek.-Zayıf Deprem**

**Yük. Hakim Frek.-Kuvvetli Deprem**

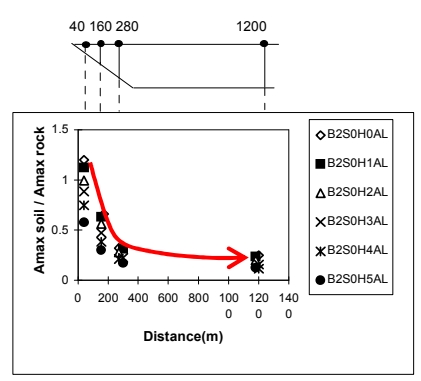
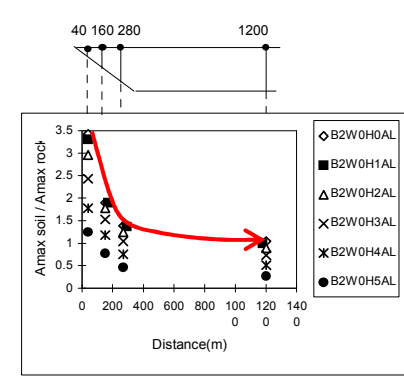
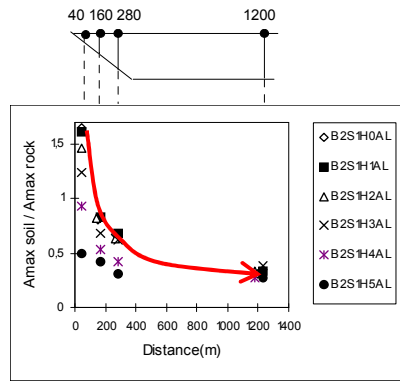
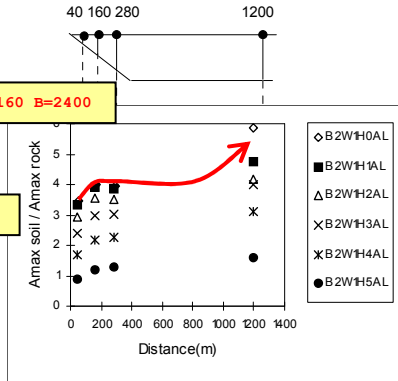
L=400 D=80  
B=2488

B1



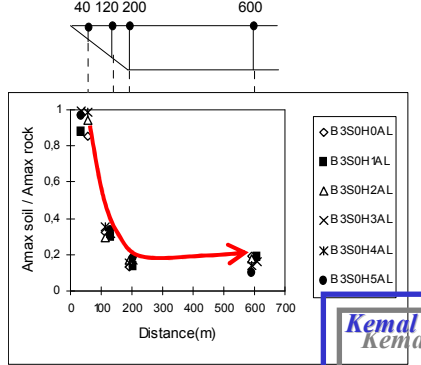
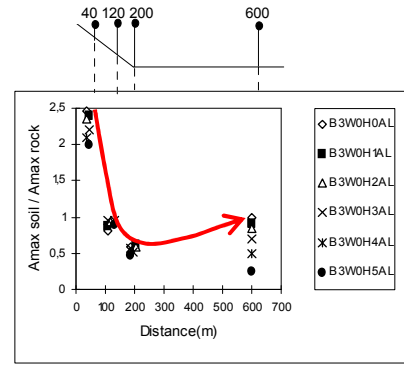
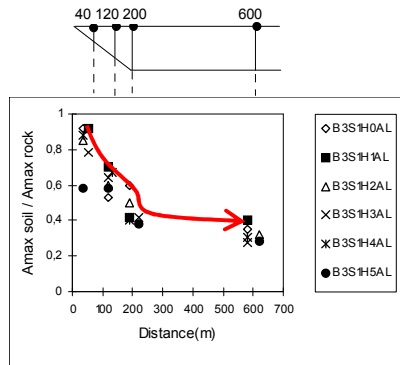
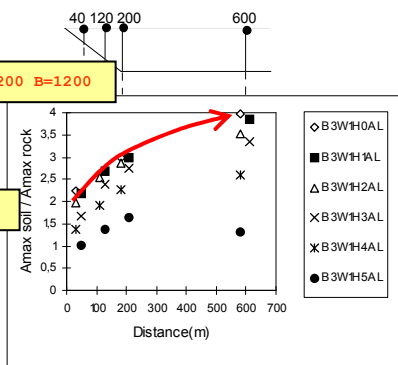
L=400 D=160 B=2400

B2



L=200 D=200 B=1200

B3



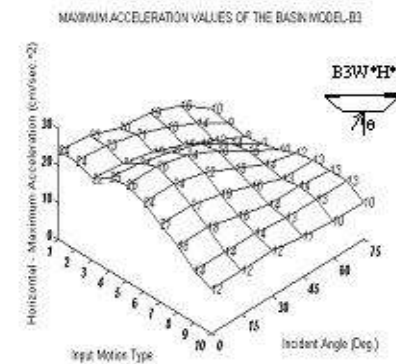
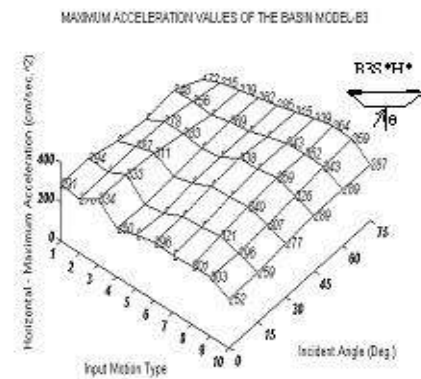
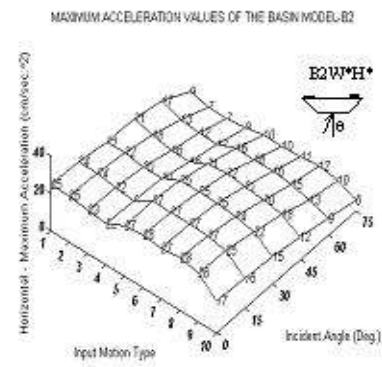
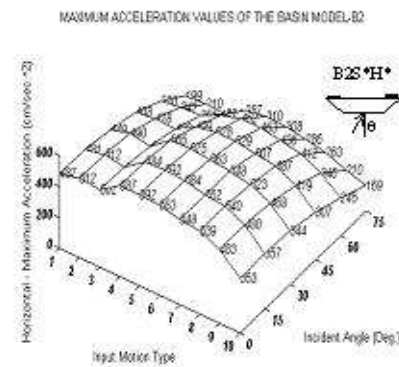
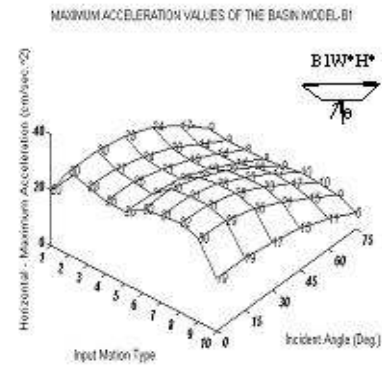
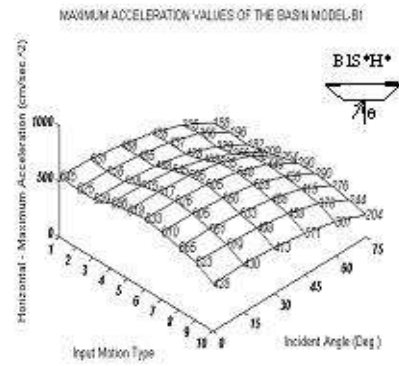


Figure A1 a Maximum horizontal acceleration contour envelopes of the basin models B1, B2 and B3 for strong and weak input motions with varying predominant frequency and incidence angle. Points where maximums occur are indicated in the inset cross-sections.

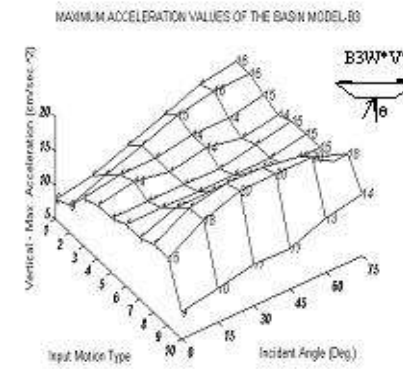
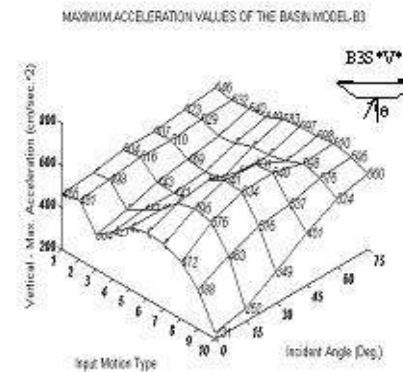
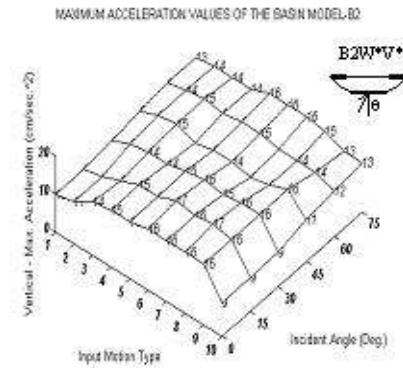
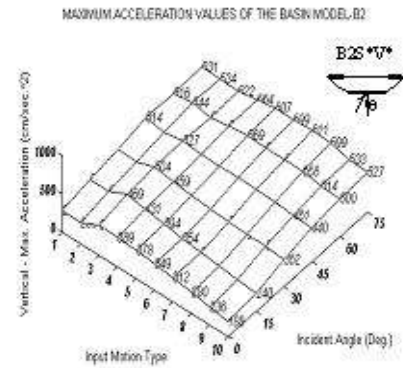
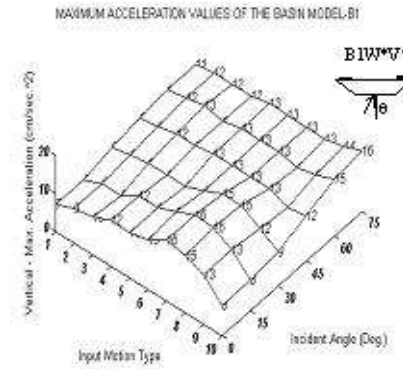
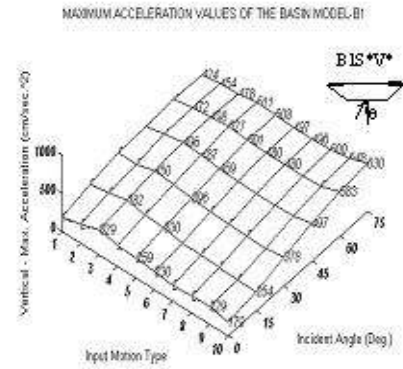
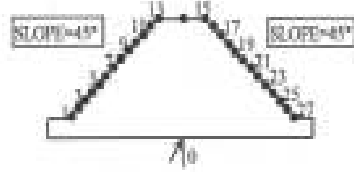


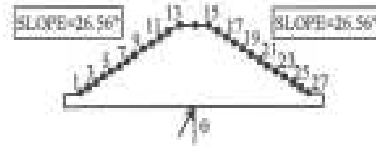
Figure A1.b Maximum vertical acceleration contour envelopes of the basin models B1, B2 and B3 for strong and weak input motions with varying predominant frequency and incidence angle. Points where maximums occur are indicated in the inset cross-sections.

# Yer Üstü Düzensizliklerinin Yüzeyde Ürettiği Büyütmeler

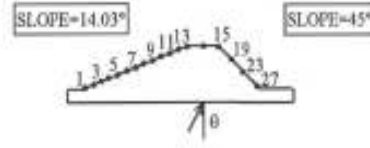
Irregular Surface Model 1-D1



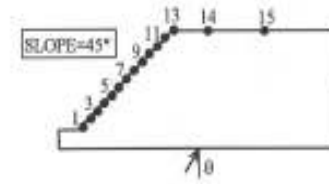
Irregular Surface Model 2-D2



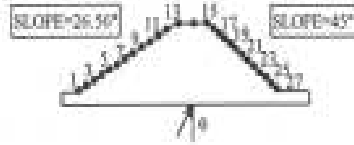
Irregular Surface Model 5-D5



Irregular Surface Model 6-D6



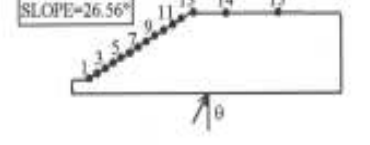
Irregular Surface Model 3-D3



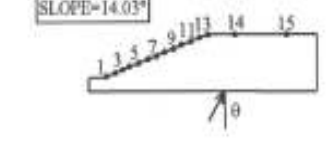
Irregular Surface Model 4-D4



Irregular Surface Model 7-D7



Irregular Surface Model 8-D8



Çıktı dosyalarının kodu

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | 1 | S | 1 | H | 0 | A | L |
| D | 2 | W | 2 | V | 1 | 0 | 1 |
|   | 3 |   | 3 |   | 2 | . | . |
|   | 4 |   | 4 |   | 3 | . | . |
|   | 5 |   | 5 |   | 4 | . | . |
|   | 6 |   | 6 |   | 5 | . | . |
|   | 7 |   | 7 |   |   | . | . |
|   | 8 |   | 8 |   |   | . | . |
|   |   |   | 9 |   |   | 9 | 9 |
|   |   |   | 0 |   |   | 9 | 9 |

Çalışılan Yüzey Şekillerinin Özellikleri

| MODEL ADI | SOL YAMAÇ EĞİMİ | SAĞ YAMAÇ EĞİMİ | H <sub>SOL</sub> /L <sub>SOL</sub> | H <sub>SAĞ</sub> /L <sub>SAĞ</sub> |
|-----------|-----------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| D1-HILL   | 45°             | 45°             | 0,72                               | 0,72                               |
| D2-HILL   | 26.56°          | 26.56°          | 0,46                               | 0,46                               |
| D3-HILL   | 26.56°          | 45°             | 0,46                               | 0,72                               |
| D4-HILL   | 14.03°          | 14.03°          | 0,25                               | 0,25                               |
| D5-HILL   | 14.03°          | 45°             | 0,25                               | 0,81                               |
| D6-CLIFF  | 45°             |                 | 0,72                               |                                    |
| D7-CLIFF  | 26.56°          |                 | 0,46                               |                                    |
| D8-CLIFF  | 14.03°          |                 | 0,25                               |                                    |

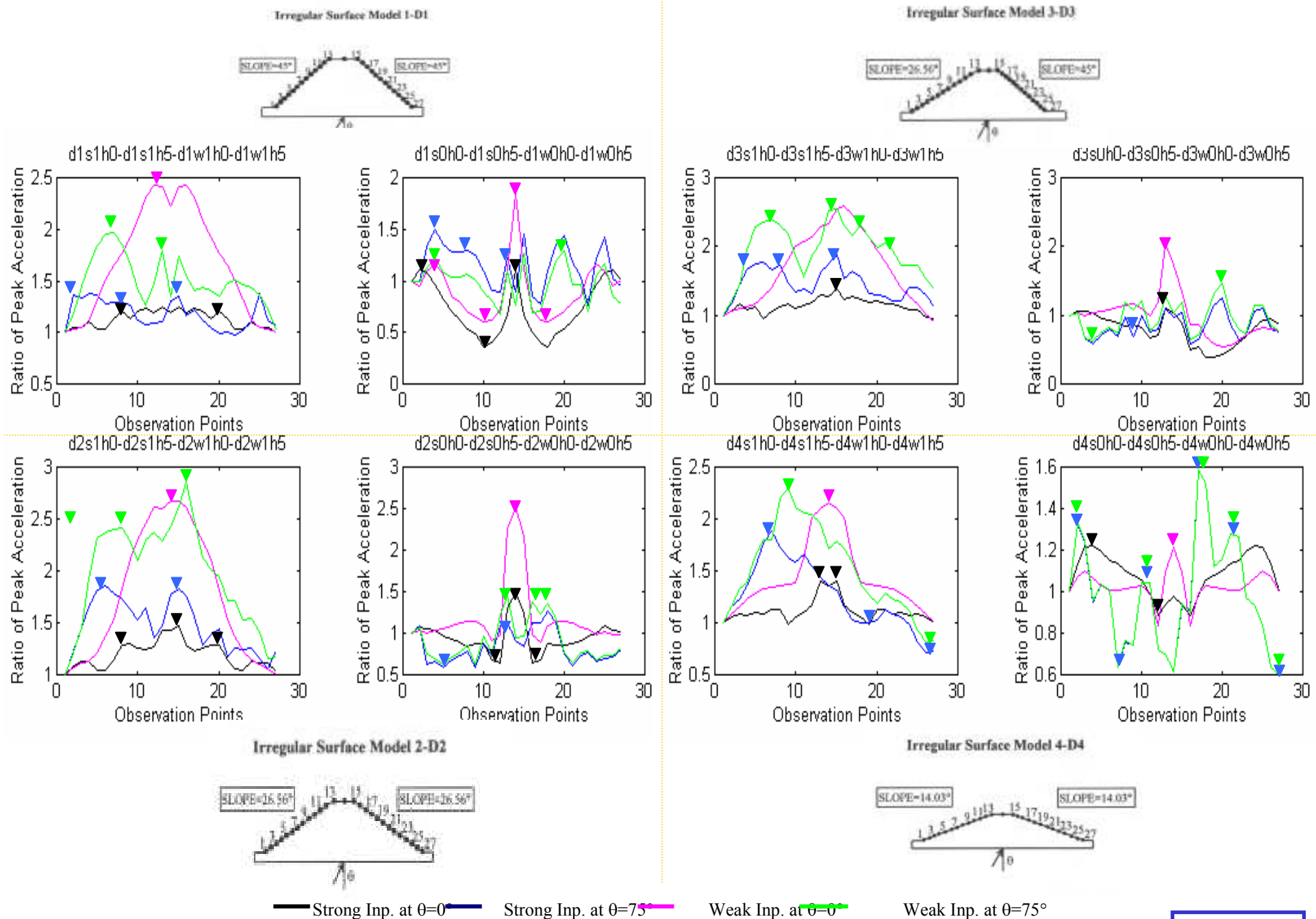
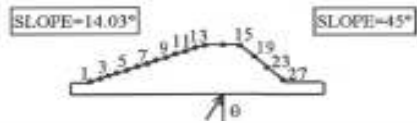
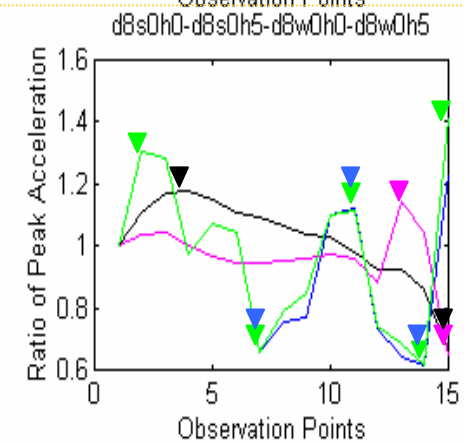
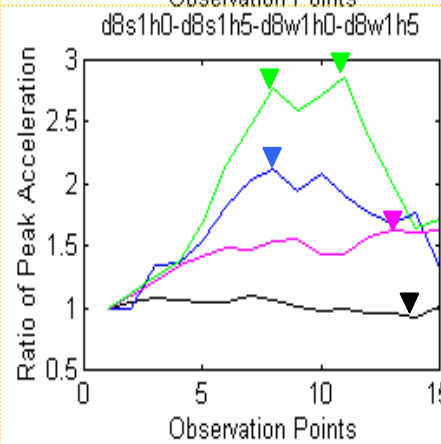
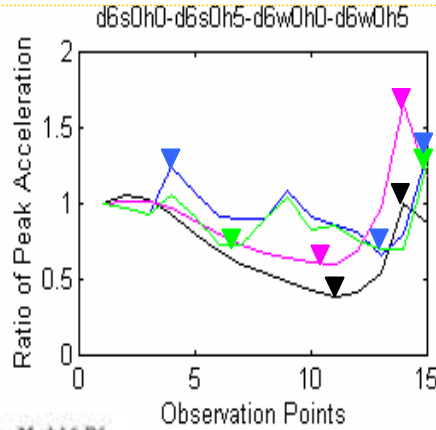
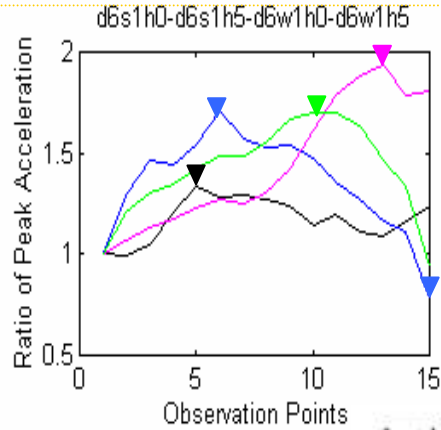
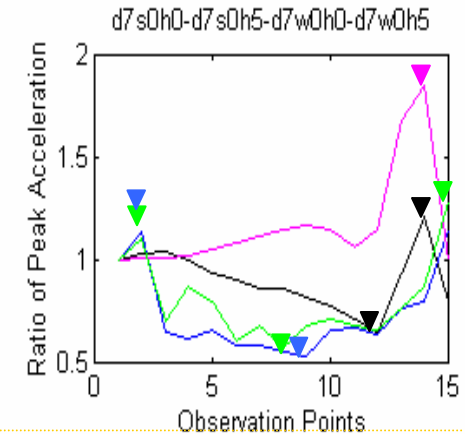
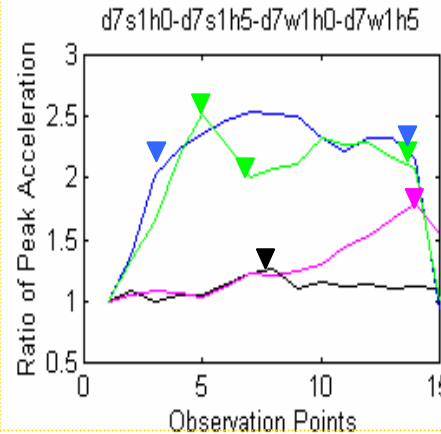
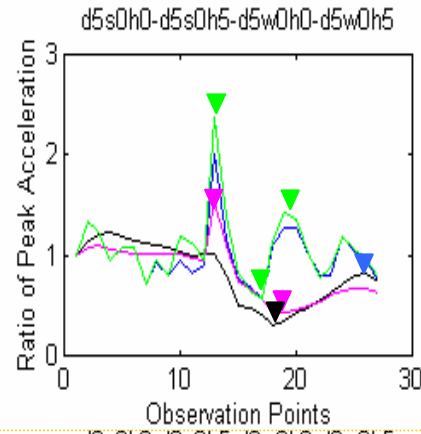
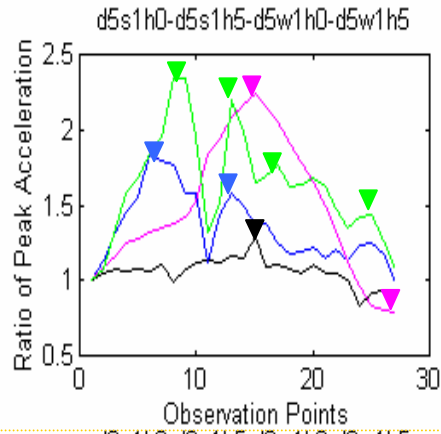
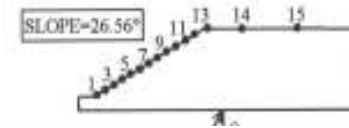


Figure 7.6a Ratio of the peak horizontal accelerations relative to the base acceleration for the irregular surface models D1, D2, D3 and D4 from top to bottom.

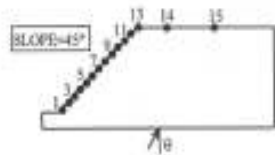
Irregular Surface Model 5-D5



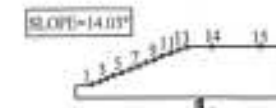
Irregular Surface Model 7-D7



Irregular Surface Model 6-D6



Irregular Surface Model 8-D8



— Strong Inp. at  $\theta=0^\circ$  — Strong Inp. at  $\theta=75^\circ$  — Weak Inp. at  $\theta=0^\circ$  — Weak Inp. at  $\theta=75^\circ$

Figure 7.6b Ratio of the peak horizontal accelerations relative to the base acceleration for the irregular surface models D5, D6, D7 and D8 from top bottom.

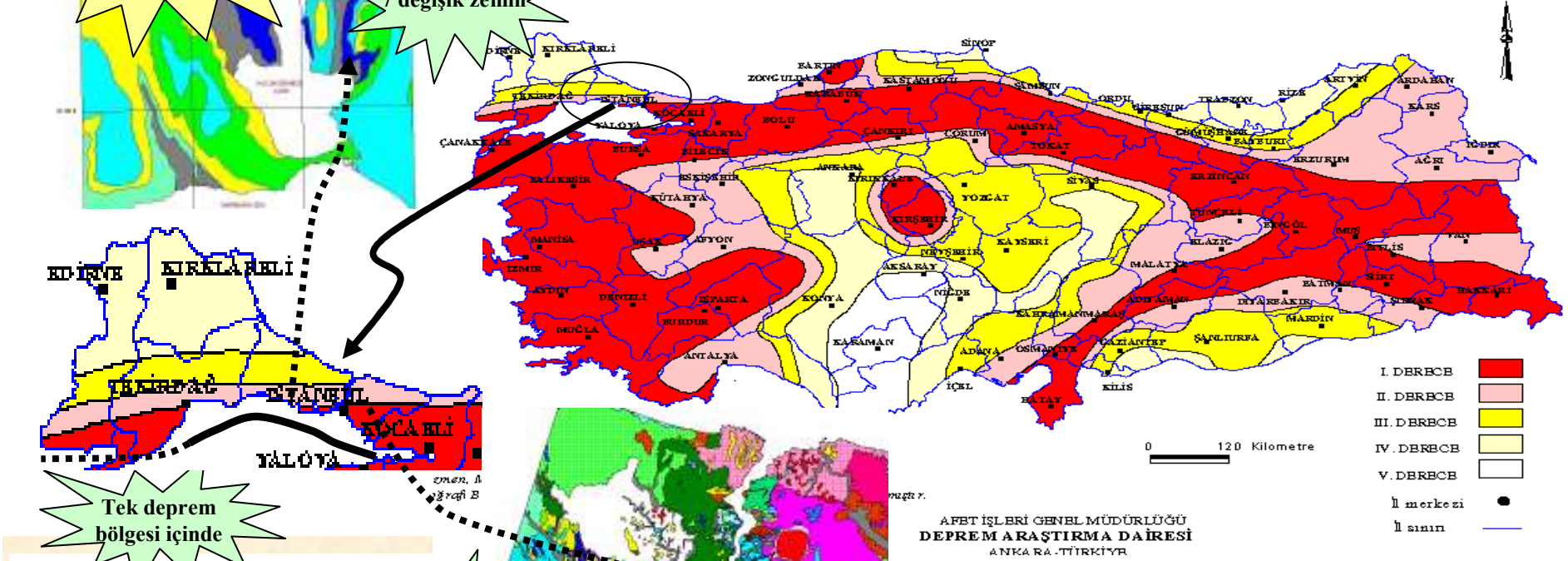
Kemal Beyen  
Kemal Beyen

# 1999 Öncesi Türkiye Makro Deprem Bölgeleri

DEPREM BÖLGELERİ HARİTASI\*

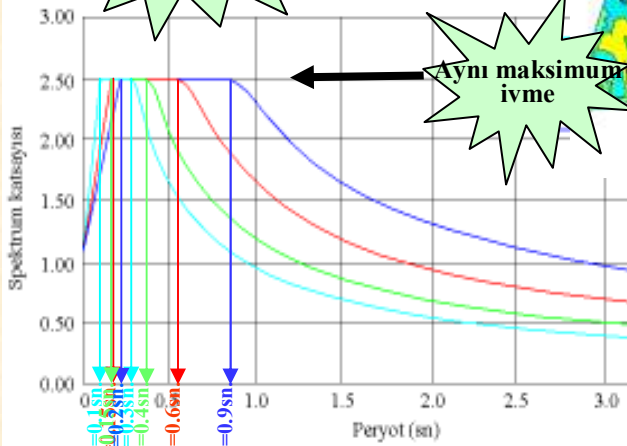
Marmarada Jeoloji ve Topoloji Çok Boyutlu Analiz

7 değişik zemin



Tek deprem bölgesi içinde

Aynı maksimum ivme



Türkiye Deprem Yönetmeliğinde Farklı Zemin Sınıfları İçin Spektral Eğrilerin Karşılaştırılması

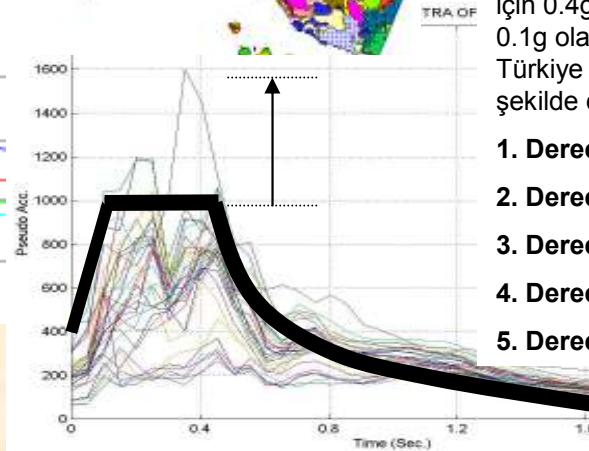


Figure 7.9. Pseudo acceleration response spectra along the profile.

## Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

deprem bölgelerindeki hesap ivmelerini, **1.derece** için 0.4g, **2.derece** için 0.3g, **3.derece** için 0.2g, **4.derece** için 0.1g olarak alır. 5.derece için deprem hesabını zorunlu görmez. Türkiye Deprem Bölgeleri, ivme değerlerine göre aşağıdaki şekilde derecelendirilmiştir. (g: yer çekimi(981 cm/sxs)).

1. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri > 0.4g
2. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.4g - 0.3g
3. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.3g - 0.2g
4. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.2g - 0.1g
5. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri >0.1g

Kemal Beyen  
Kemal Beyen

# Yapı Zemin İlişkisi Yapının Projelendirilmesi Aşamasında Çok Önemli



- Doğru ve detaylı jeofizik bilgiye
- Detaylı çalışılmış Geoteknik rapora ihtiyaç vardır.



# Depremi Üreten Fay Sistemi Civarında Yüzey Deformasyonları



# Depremi Üreten Fay Sistemi Civarında Yüzey Deformasyonları



# Depremde Dayanım Kayıpları

## Yanal Akmlar

Sıvılaşma sonucu temel zemininde yanal akmlar ve temel altında çökmeler oluşabilir. Bu ise üst yapıda ciddi bir yapısal hasar neden olmadan yapıyı döndürebilir veya yatırabilir.



## Şev Kaymaları

Şev üzerinde yer alan binaların zeminleri, depremin tetikleyeceği zemin hareketleri ve kaymalar sonucunda temel zemininde düşey ve yanal yerdeğiştirmelere neden olurlar. Bu ise üst yapıda stabilite problemleri doğurur.

Taşıttırıldığı zeminin kayma mukavemet değerleri temel dizaynının talep ettiği değerlerin altına düşdüğü anlarda taşıma gücü azalması(kayıbı) ve sonuçta temel boyutlarının yetersiz duruma gelmesiyle, yapının yatmasına, dönmesine, göçmesine yol açabilir. Depremlerde killi zeminlerde oluşan drenajsız kayma mukavemetindeki azalım, kumlu zeminlerdeki sıvılaşma, taşıma gücü kaybına neden olabilir.

Depremlerde zeminde ilave düşey/yatay çökmeler meydana gelebilir.

- Rijitlik azalması
- Gevşek kumlarda titreşimlerin hacimsel şekil değiştirmeleri
- Boşluk suyu basınçları ilave konsolidasyon oturmalarına yol açabilir.

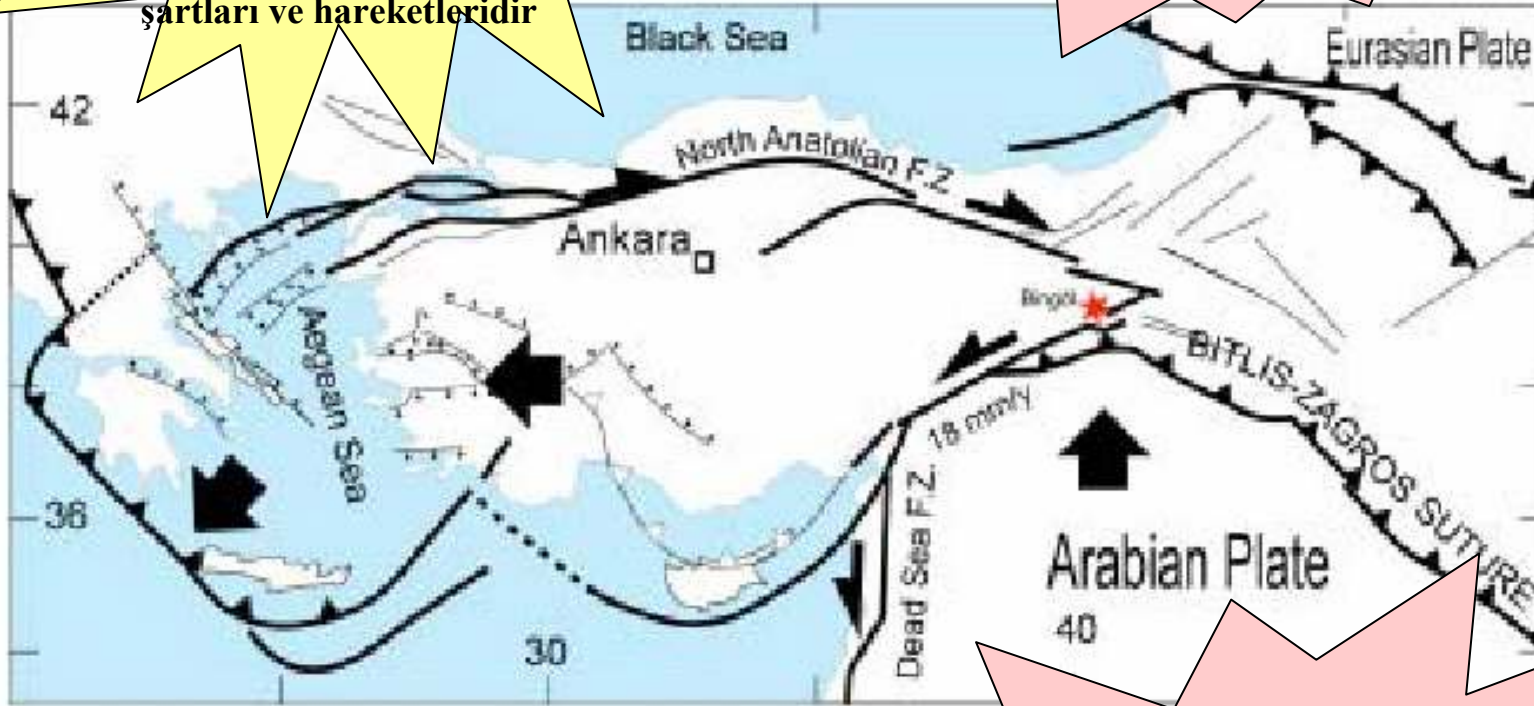


# Deprem Mühendisliğinde Deprem Karakteristik özellikleri, Mühendislik Parametreleri ve Yapı Dinamiği

Kısım - 2

**Biz inşaat mühendislerinin unutmaması gereken Türkiye'nin gerçeği: Bulunduğu plakanın konumu, plakaların sınır şartları ve hareketleridir**

**Anadolu coğrafyasına hakim olan plakalar ve hareketleri**



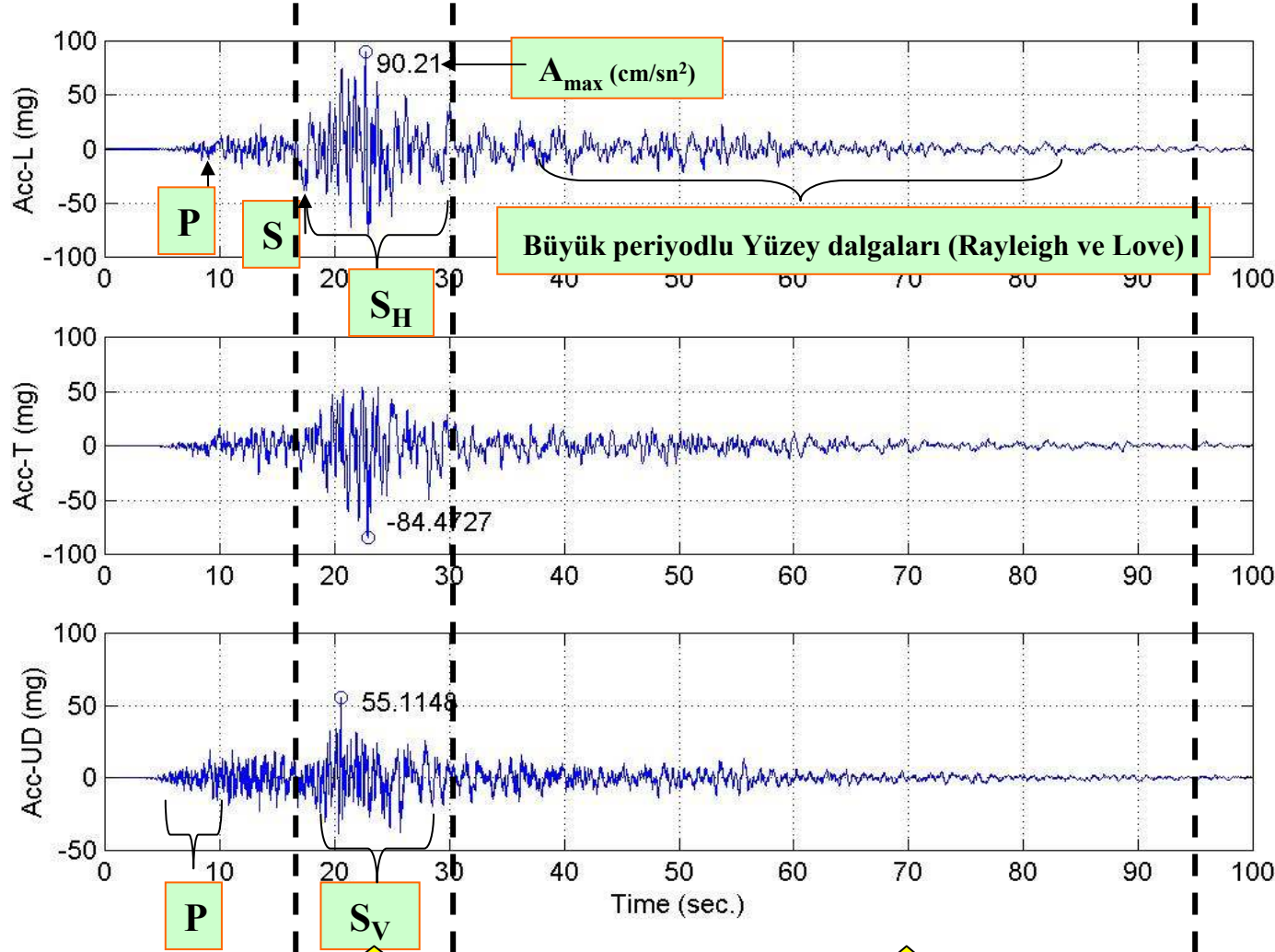
**Sürekli sıkışan ve gerilmeler biriktiren bir tektonik düzen içinde yaşıyoruz, biriken gerilme enerjisi fay geometrisinin dinamik karakteristiğine göre hareketlenerek boşaltılacaktır. Yer yapısı deforme olarak bu enerjiyi karşılarken üst yapı dinamik özellikleri ve kapasitesi oranında etkilenecektir.**

**Kemal Beyen**  
Kemal Beyen

# Deprem ve Yapılara Tesiri

17-08-1999 KOCAELI EARTHQUAKE RECORDED @DHMmainshock.

Deprem Gerçeği



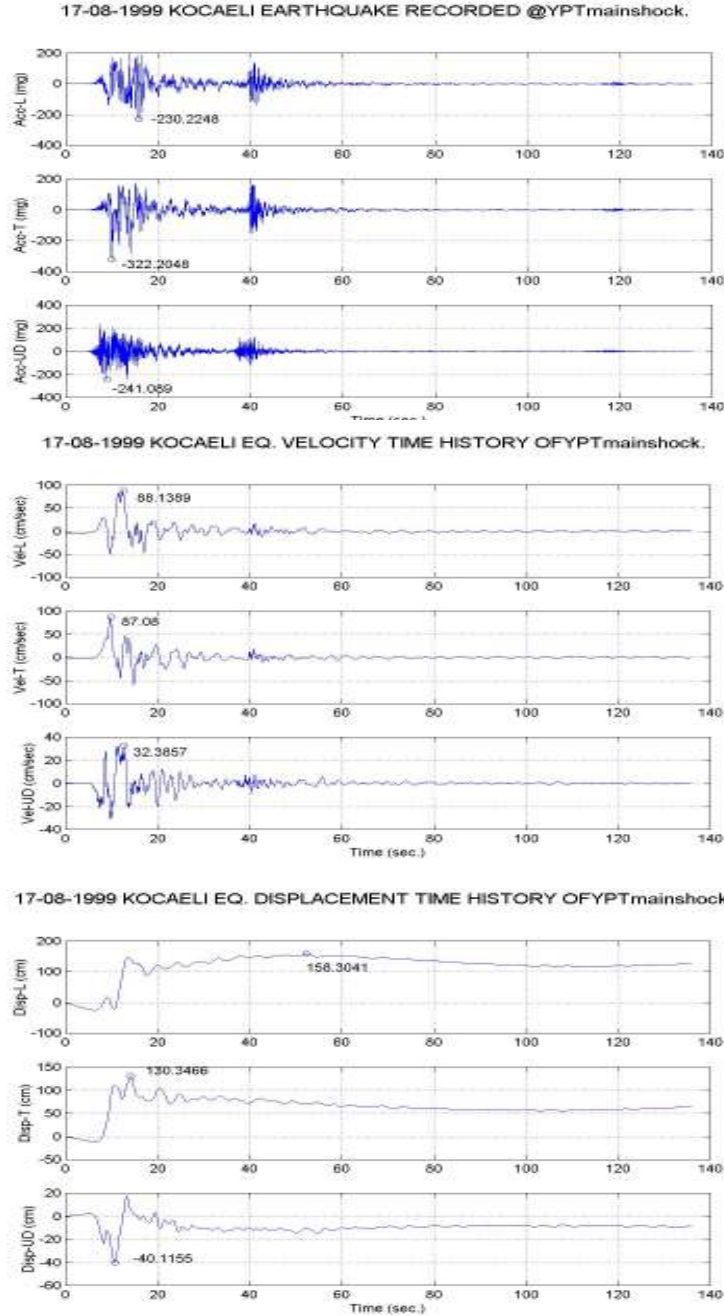
Mühendislik yapılarını yer yapısına eklenmiş yer yapısının doğal bir uzantısı gibi düşünebiliriz. **Yer kabuğunda yayılan deprem dalgaları** yer ve eklentilerini bir bünye olarak görüp yayılacaktır. Yani deprem yapının altında durup yapıyı sallamaz. **Yapının içinde yayılarak ilerler.** Deprem yayılımı sadece yapının geometrik ve malzeme özelliklerine bağlı olarak yapıyı deforme etmeye çalışır, çünkü benzerinde yer yapısına uygulayarak yüzeye ve nihayetinde yüzeydeki yapıya ulaşmıştır. O halde **problem mühendislik yapılarında (deprem) dalga yayılım-yapı dengesizliği** problemidir.

Ciddi hasarlar veren tekrarlı büyük genlikli dinamik yüklemeler

Hasar ile periyodu büyüyen yapı üzerinde büyük periyodlu tekrarlı dinamik yüklemeler ve deprem süresinin uzaması

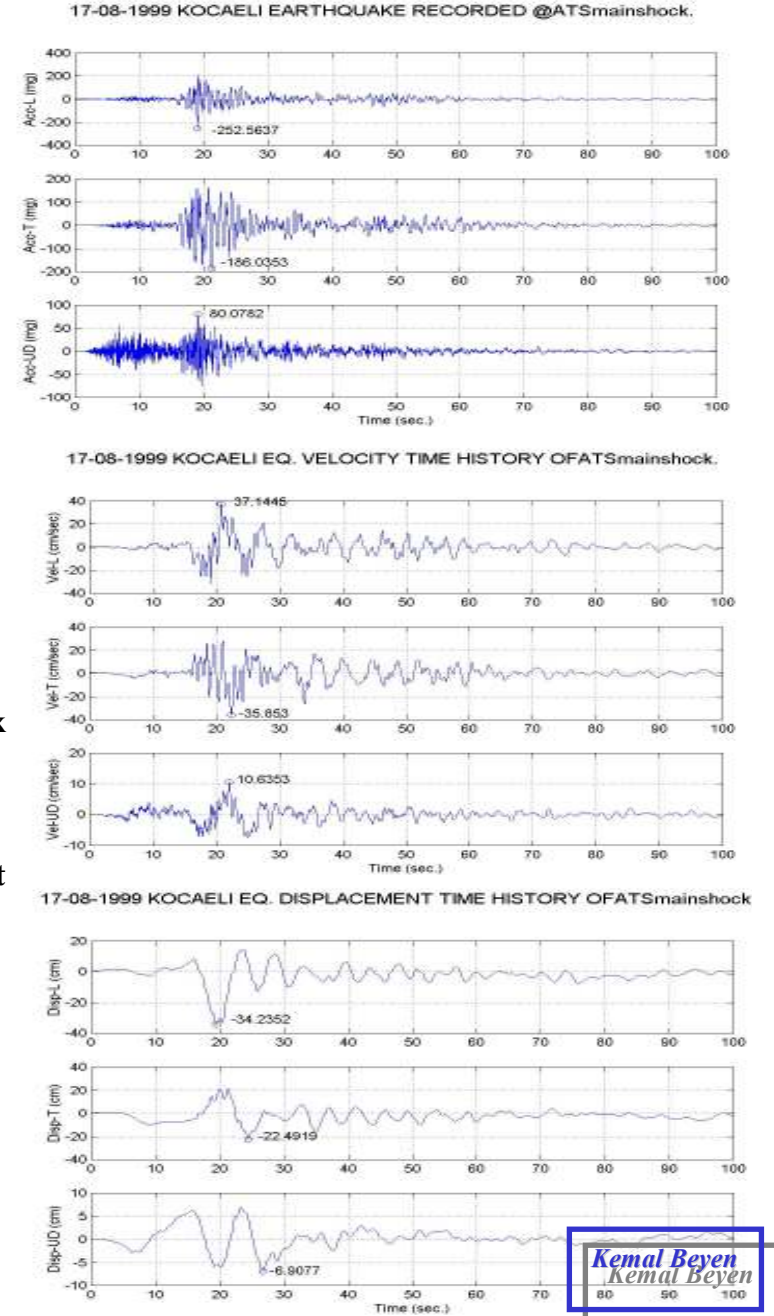
Kemal Beyen  
Kemal Beyen

## Yakın alan kaynaklı deprem



Benzer zemine sahip (muhtemelen Z3) iki istasyon Yarımca Petro Kimya Tesisleri (YPT) faya yakın alan davranışını ve Ambarlı Termik Santralı ise faya uzak alan davranışını temsil eden bölgelerdir. Büyük periyodlu, büyük genlikli hızlar YPT'de görülür. Kalıcı deplasmanlar faydaki yanal atımın üst zemin tabakalarındaki plastik deformasyonlarıdır.

## Uzak alan kaynaklı deprem





# Bir Deprem mesafeler ve yerin alt ve üst formasyonlarının etkisiyle ürettiği kuvvetler ve yönetmeliğin önerdiği elastik ivme spektrumu

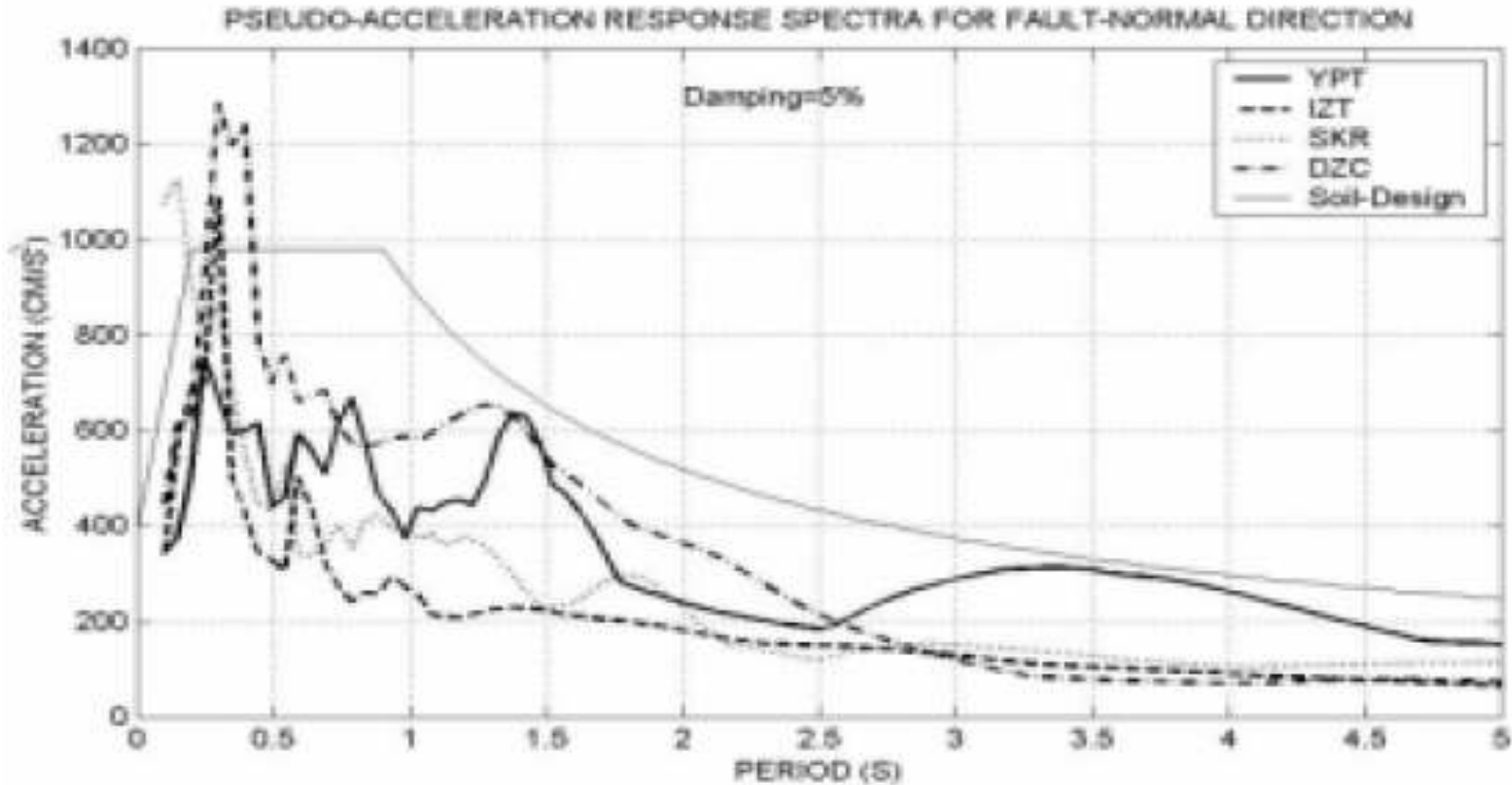
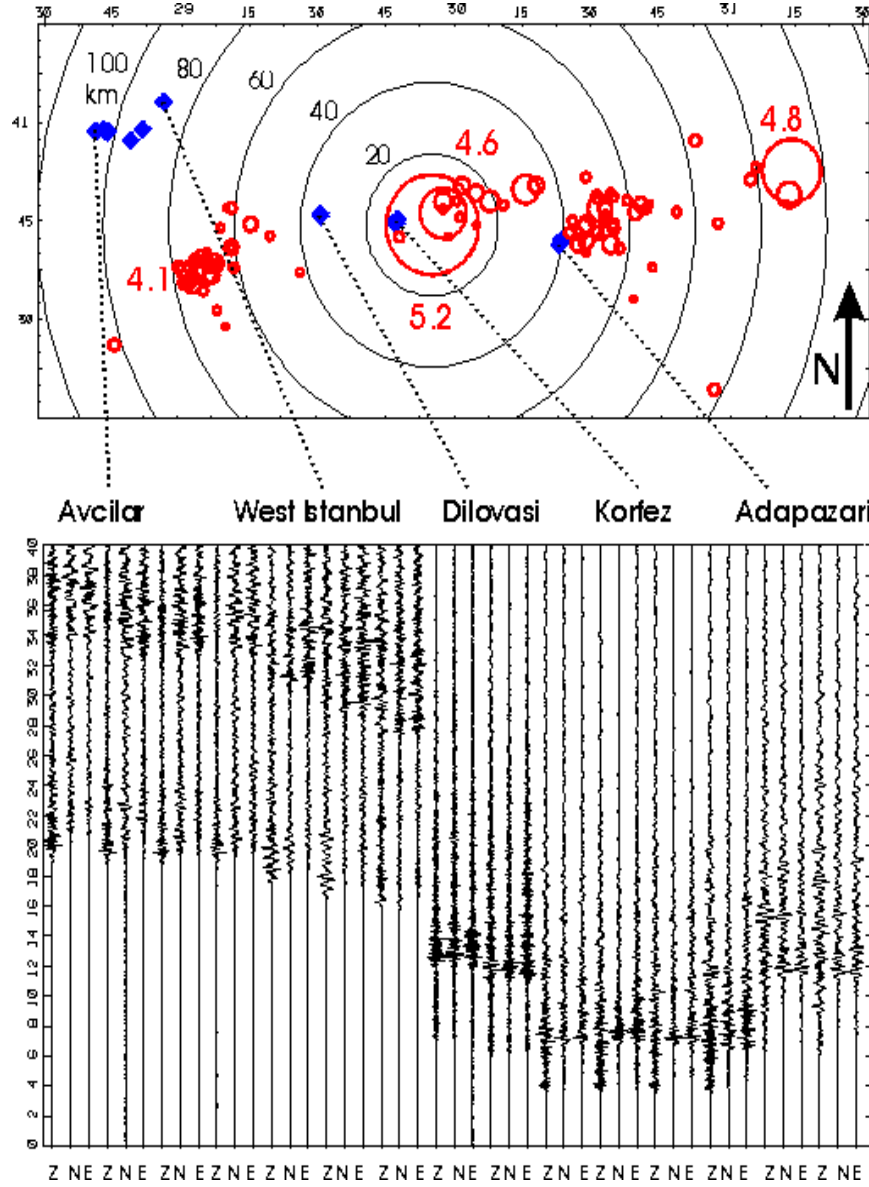


Figure 11. 5% damped linear response spectra for fault normal components of YPT, IZT, SKR and DZC records obtained during Kocaeli Earthquake and comparison with the code-based spectrum.

Zemin yüzey yapıları (Dağ, Tepe, Yamaç, teras, vadi, Kanal, Nehir Yatakları vs..) ve zemin altyapısı (Katmanlar, düzensizlik (heterojen yapı)), deprem dalgalarını, yayılım esnasında değiştirmektedir (büyütme, küçültme, yığma, odaklama, kanalize etme, saçma, dağıtma vs.)



•Avcılar'da 23 000 konut bulunmaktadır. Bunların tamamına yakını iskânsızdır. Sadece 700'ü **imar affıyla !?** ;-( iskân almıştır.

•Depremin merkez üssünden yaklaşık 90 km uzaklıktaki Avcılar'da yaşayan vatandaşlarımızın 273'ü öldü, 630'u yaralandı, 28 bina tamamen yıkıldı, 400 bina kullanılmayacak derecede hasar gördü (Yönelim ve odaklanma etkisi).

# Deprem merkezinden çok uzaklarda yerel zemin davranışı ve üst yapılar

## Bir Vaka Çalışması: AVCILARIN GERÇEKLERİ

•1973 imar planı sırasında Avcılar'ın nüfusu yaklaşık **10 bin** kişi. **17 Ağustos** öncesinde nüfusun **300 bin** olduğu tahmin ediliyor (Sınırlı imar, hızlı ve kontrolsüz yapılaşma mücavir alan tanımı ?).

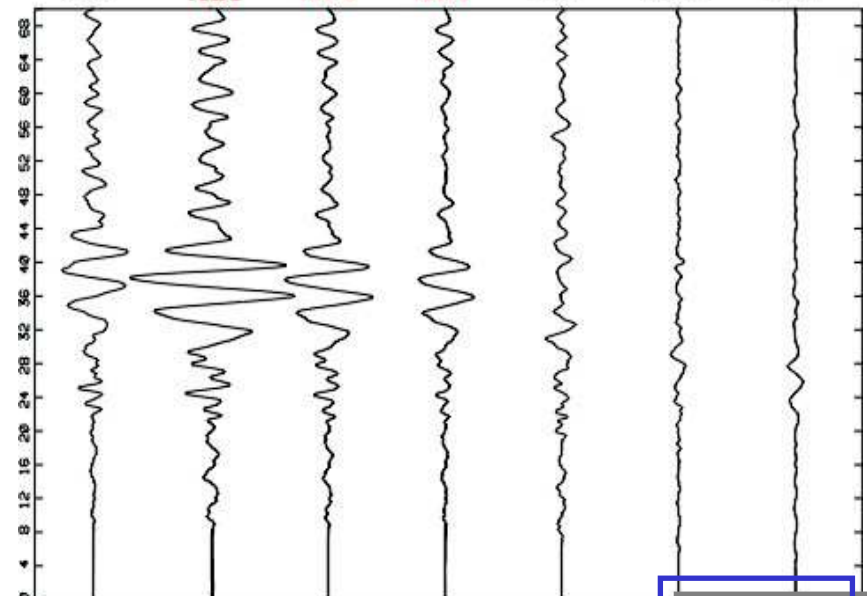
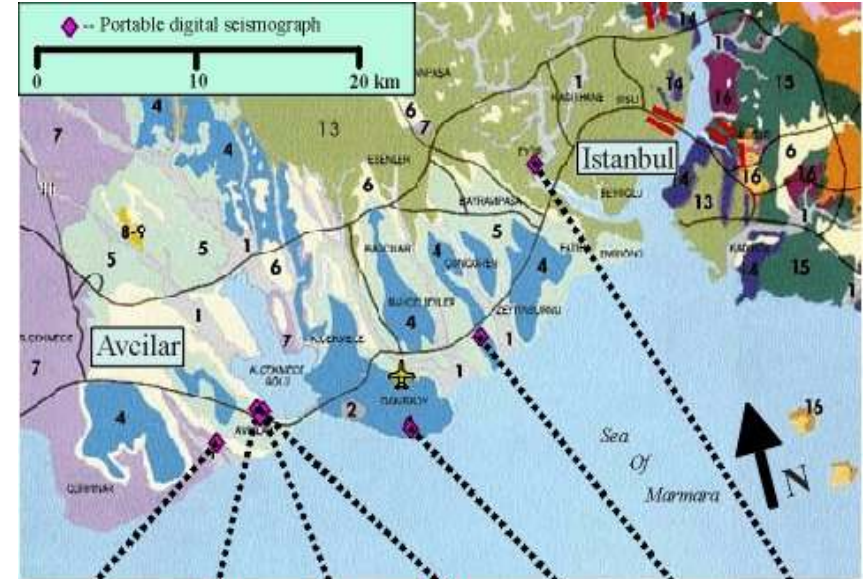
•1997 merkezi ve mahallî seçimlerin yenilenmesi sırasında, artan talep ve baskılarla birlikte **imar planı** üzerinde özellikle yerel yöneticiler güçlerini kullanarak **değişiklikler** yaptılar.

•Avcılar'da **23000 konut** bulunmaktadır. Bunların tamamına yakını iskânsızdır. **Sadece 700'ü imar affıyla iskân** ;-( almıştır.

•Depremde hasar zemini sorunlu (!) alanlarda değil, yerleşime ve yapılaşmaya uygun alanlarda olmuştur . Az hasarlı ve hasarsız binalar arasında yer alan yıkılmış binalar **yapı kalitesinin** mühendislikten inşaata kadar **çok kötü** durumda olduğunu göstermektedir. Avcılar'ın batısında benzer kötü zemin üzerinde inşa edilen bir gökdelen hiçbir hasar almamıştır (**İyi Mühendislik**).

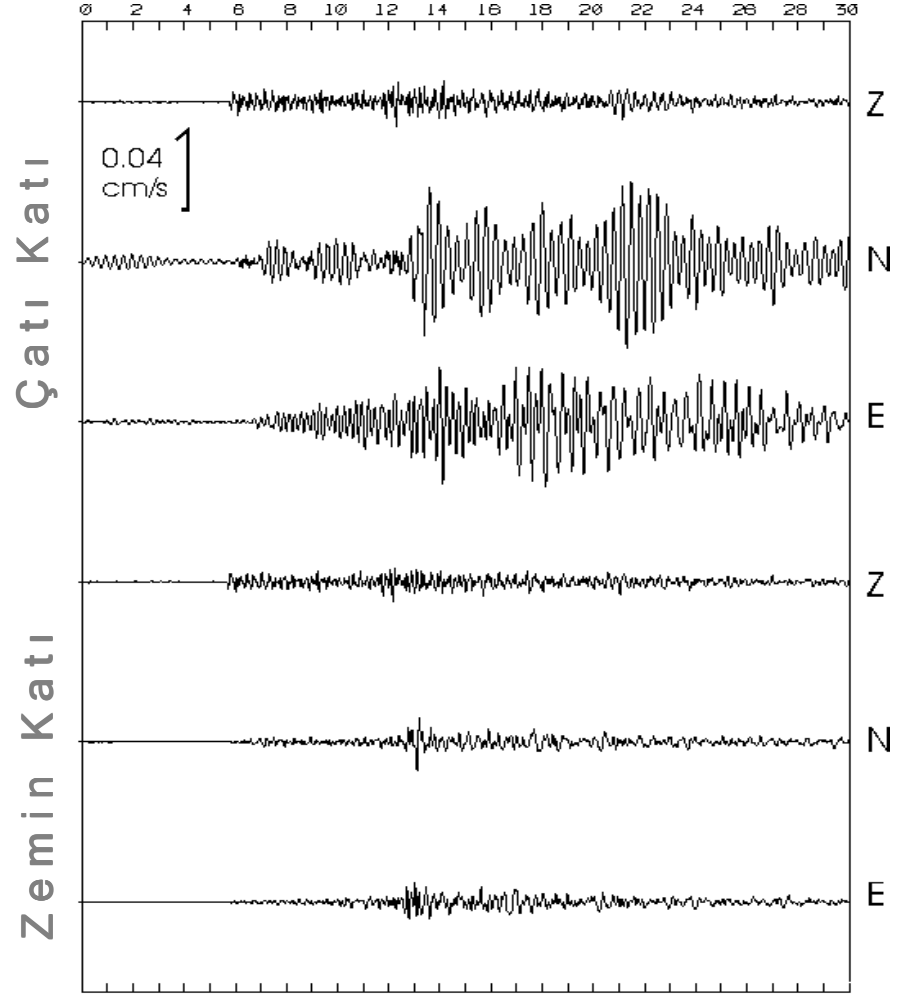
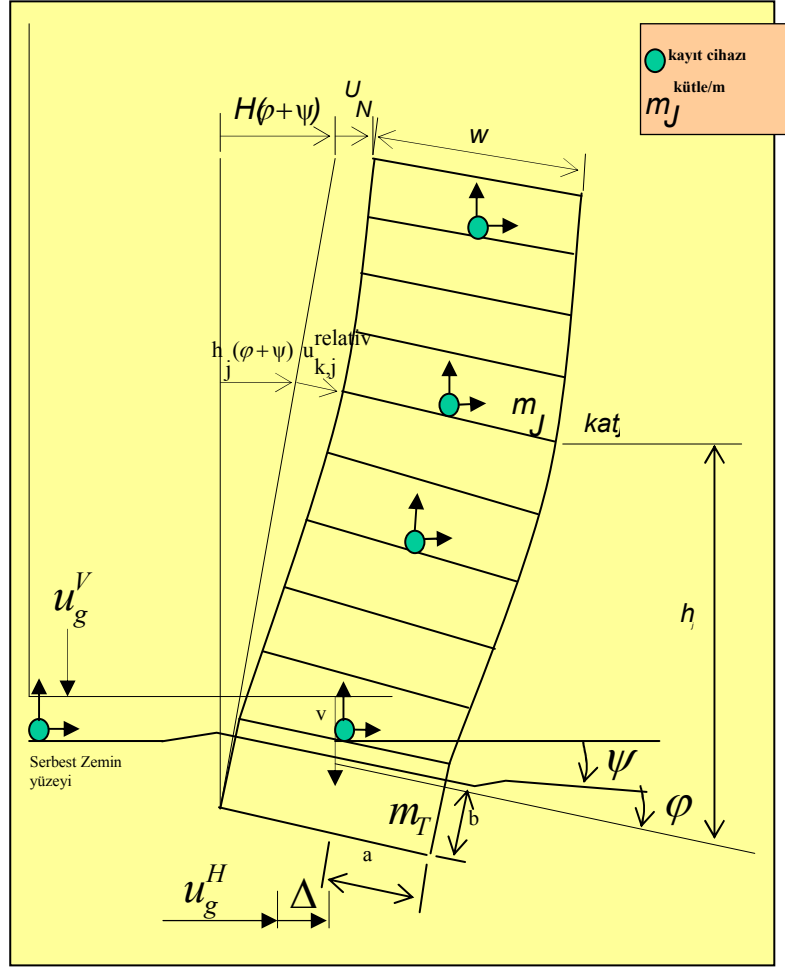
•Avcılar'da depremden zarar gören binaların ve tedbir olarak güçlendirilmesi istenen **binaların iskânları** da **olmaması nedeniyle** yasal olmayan bir biçimde binalarını **ehil olmayan** kişi/kuruluşlara (inşaat kalfalarına/yetersiz inşaat mütehitlerine) **onartarak** başka risklere davetiye çıkartmaktalar.

•17 Ağustos depremi sırasında ivme değerleri Adapazarı'nda 0.41g, Düzce'de 0.37g, Kocaeli'nde 0.32g, Gebze'de 0.26g iken Avcılar'da 0.25g olarak bulunmuştur. Avcılar'daki yüksek ivme değeri Gebze'deki değere yakındır. Zemin büyütmesi vakası var (**Yerel, topografik, odaklanma, yönelim ve adalar arkası fay aktivitesi (!)**).

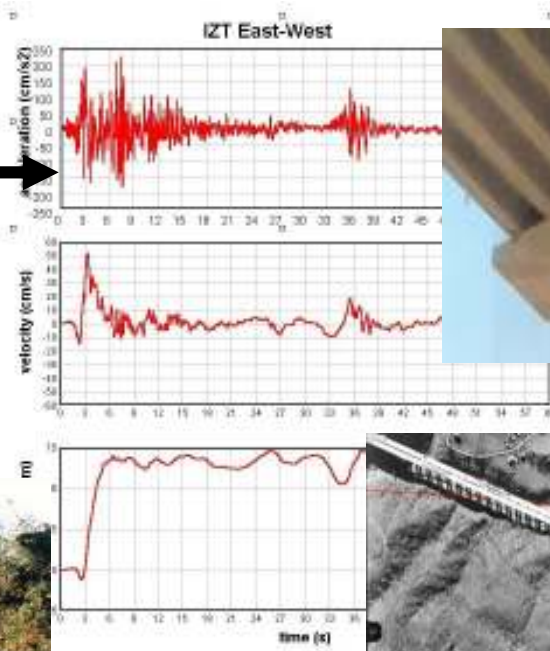


Kemal Beyen  
Kemal Beyen

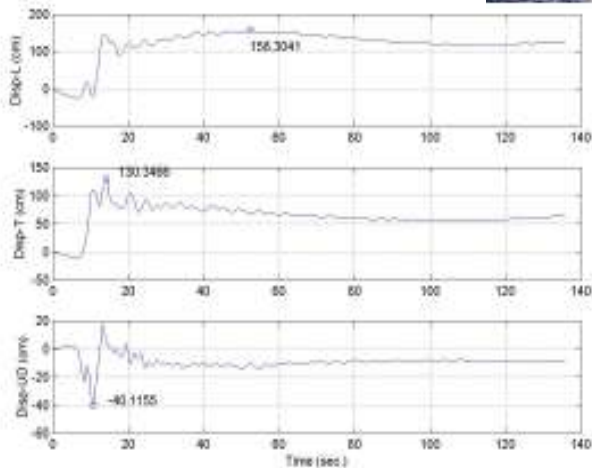
# YAPIDA DEPREME KARŞI DAVRANIŞ



# Merkeze-Yakın Yüzey Hareketleri...ve Ulaşım Yapılarında Oluşan Hasarlar



17-08-1999 KOCAELI EQ. DISPLACEMENT TIME HISTORY OF



# Şehirlerimiz...



# ve Binalar.....





ve ....  
Binalarımız





## ve Binalar ...



## ve Sanayi Tesisleri ...



# Hasarların Beş Temel Nedeni

## HASARLARDA

- 1) **YAPISAL ÖZELLİKLER** (Mimari ve Mühendislik tasarım ve hesap zayıflıkları),
- 2) **MALZEME KALİTESİ** (Yetersiz betonarme),
- 3) **İMALAT** (konstrüktif hatalar, kötü işçilik)
- 4) **KONTROL** (eksikliği),
- 5) **İMAR AFLARI** (zayıf binaların yasallaştırılması, kaçak yapıya teşvik) **BÜYÜK ETKENDİR**



# Hasar Detayları



**Kolonların hiç (çalışmadığı)  
katkı vermediği hasar**



**Perde kesme çatlağı**



**Kot  
kaybederken  
çarpma**



**Kısa kolon**



**Aynı kotda  
çarpma**

## Hasar Detayları



# Yapı Hasarlarının Temel Nedenleri

Yapılan hasar tespit çalışmalarında yapıların göçmesine temel neden olan kusurlar için aşağıdaki gibi bir sıralamaya gidebiliriz;

1- Etriye adım yetersizliği, konstruktif kusurlar

1a- Donatılarda bindirme boylarındaki yetersizlik

2- Kalitesiz beton (not standardized)

2a- Kalitesiz ve yeterli işleme (yıkama) tabi tutulmamış agrega

3- İnşaat işçilik kalitesindeki düşüklük

4- Kolonlarda görülen kesme göçmeleri (dizayn yetersizliği)

4a- Zayıf yada yumuşak kat (zeminde oluşturulan işyerleri sebebiyle meydana gelen büyük açıklıklar yada kolon iptalleri)

5- Yapıların kesme-çerçeve-sistem çalışma eksikliği (lack of frame continuity and redundancy)

6- Döşemelerin rijit diyafram kabulüyle dinamik hesaplarda göz önüne alınmasına ve modellenmesine rağmen nervurlü döşemelerin rijitliği bir yönde bozması ve nervür kiriş mesnetlerinin moment almaması

7- Betonarme de görülen ciddi nemin yol açtığı oksitlenmeyle ortaya çıkan donatı zayıflamaları ve sıyrılmalar (Yıkılmamış deniz kumu ve rutubetin etkileri)

8- Kolon kiriş birleşim noktalarında oluşan göçmeler (Kuvvetli kolon – zayıf kiriş yada tersi zayıf kolon – kuvvetli kiriş davranışları)

9- Perde kolonların kesme göçmeleri (Yetersiz etriye ve sıklaştırma sorunlu, kafa kolon tertibi yok)

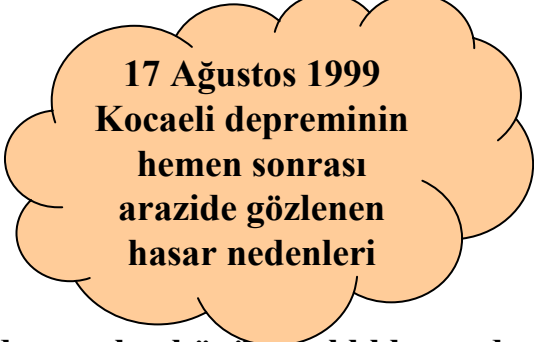
10- Yumuşak çelik (düz donatı) kullanımı (yeni şartname nervurlü St3 torçelik öneriyor)

11- Kirişlerde oluşan kesme göçmeleri sayısı bir katta beklenenin çok üstünde

12- Plan ve kesitte gözlenen simetri bozuklukları

13- Yakın fay etkisinin (Büyük Hız ve Büyük Periyod Etkisi) şartnamelerde henüz tam şekillenmemiş olması

14- Zemin bilgisi eksikliğinin doğurduğu yetersiz temel dizaynları (sıvılaşma, zeminin kesme göçmeleri, farklı oturmalar yada dönmeler ve yamaç etkilerinin tam olarak hesaba katılmaması)



17 Ağustos 1999  
Kocaeli depreminin  
hemen sonrası  
arazide gözlenen  
hasar nedenleri

# 17 Ağustos 1999 Sonrası Uygulamaların Değerlendirilmesi

## Projecilik ve Kontrol

### •Yinelenmekte Olan Yanlışlar:

- Yeterli adette mimari çözümler çalışılmamakta, çalışılanlarda ise mimarın deprem bilgisi yetersizliği tasarımına yansımaktadır. Deprem güvenliği kaygısıyla yapılan değişikliklerde zorluklar vardır. Bir çok yapı ise mimar elinden çıkmamıştır.
- Yeterli Projelendirme olmadan yapı üretilmektedir
- Projeler doğrulanmadan yapı üretimi başlamaktadır
- Yapım yüklenicisinin teknik ve uygulama yeterliliği hala aranmamaktadır.
- Yapımın etkin izlenmesi sağlanamamaktadır.
- Denetleyenlerin etkinlikleri, deneyimlerine ve yetkilerinin iyi tanımlanmasına bağlı olduğundan yetkin ve deneyimli mühendislik yapılmalıdır.

## Tasarım ve Birikim

### Yinelenmekte Olan Yanlışlar:

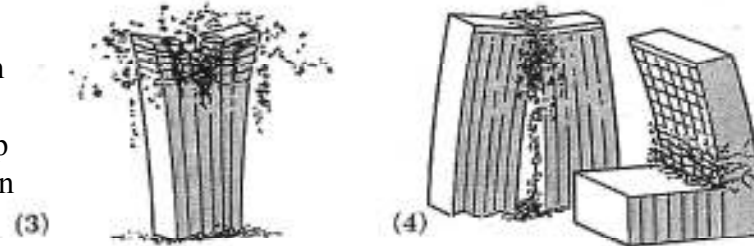
- Benzer mimari düşünceler doğrultusunda hareket edilerek taşıyıcı sistemine yeterli düzeyde özen gösterilmemiş düzensiz çerçeveler oluşturulmuş, uygun kolon-kiriş birleşimleri teşkil edilmemiş ve döşeme süreklilikleri korunmamıştır,
- Taşıyıcı sistemi duvarlar içinde gizlemek endişesi bu elemanların bir boyutunu küçültmüş, çoğunun aynı doğrultuda yerleştirilmesiyle bir yönde zayıf yanal rijidliği olan yapılar üretilmiştir.
- Ticari amaçlı giriş kat düzenleme endişesi zayıf ve esnek katlar ortaya çıkarmıştır.
- Bölme duvarlarının kat yüksekliğince devam ettirilememesi veya uygun tertiplenmemesi sonucu kısa kolonlar oluşturulmuştur.
- Sistemle bütünleştirilemeyen kolonlar, hasarın ortasında elastik kalabilmiş olması, bazılarının tepkiye katılmadığını göstermesi; a) Boyutlandırmanın uygun olmadığını, b) kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki dağılma noktasal göçmeleri tetiklemiş ve bazı kolonlardan hiç yararlanılamamıştır, c) aynı katta kolon uçlarında toplanan kalıcı şekildeğişimler tüm katın yatay kararlılığını yitirmesine yol açmıştır, d) sadece düşey yük taşıması öngörülen bazı düşey elemanların ya da uygun boyutlandırılmamış bazılarının hasar görerek boylarından kaybetmeleri, kırışlerde beklenmeyen önemli mesnet çökmelerine ve bölgesel göçmelere neden olmuştur.
- Binaların birbirine yakın inşa edilmeleri, esnek oluşları farklı titreşim karakteristiklerine sahip oluşları çarpışmalara neden olmuştur, bazı kolonlarda tipik kayma çatlakları ortaya çıkmıştır,
- Bazı prefabrik binaların her iki yönde de yetersiz yatay rijitlikde olmaları, burulmaları ve çatı kırışlerinin konsollara uygun bağlanmamış olması prefabrik çatı kırışlerinin sıyrılarak düşmesine ya da konsol uçlarını ezmesine neden olmuştur,
- Bazı yüksek yada önemli binaların projelendirilmelerinde kolon kesitlerinin uygun ve her iki yanal rijidliği sağlayacak şekilde yerleştirilmiş olması, yapının her iki yönde çerçeve çalışması, projelendirenin deneyimi ve yönetmelik sınırlarında özen gösterilmiş olmasına, işin usulüne biraz daha uygun yapılmasına olanak vermiş ve deprem sonrası hasarın çok büyümesini önlemiştir. Fakat, a) boyutları perdeye yaklaşmış kolon elemanlarda, geniş doğrultularda tek ya da iki yönlü kayma çatlakları, b) kolon ortasında hasar, eleman altlarında yatay içsel sürtünme kaybını gösteren yatay çatlaklar, geniş doğrultudaki eksen etrafında plastikleşme, betonun tamamen dağılması ve düşey donatıda burkulma, çözüm bekleyen sorunlar olarak gözlenmektedir.

# Kuvvetli Yer Hareketinin Değişik Özellikte Yüksek yapılara Etkisi

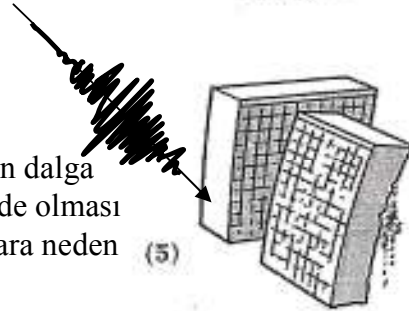
Planda L şekil binanın her bir kanadının farklı tepki üretmesi birleşim noktalarından hasara neden olur.



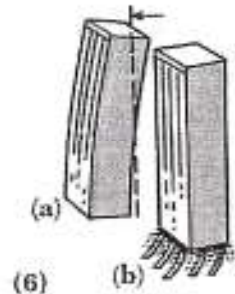
Yapı boyunca çıkan ve inen dalga yayılımının girişimi yapısal deplasmanları artırıp yapısal veya yapısal olmayan hasara neden olabilir.



Plandaki konumun dalga yayılım istikametinde olması veya olmaması hasara neden olabilir.

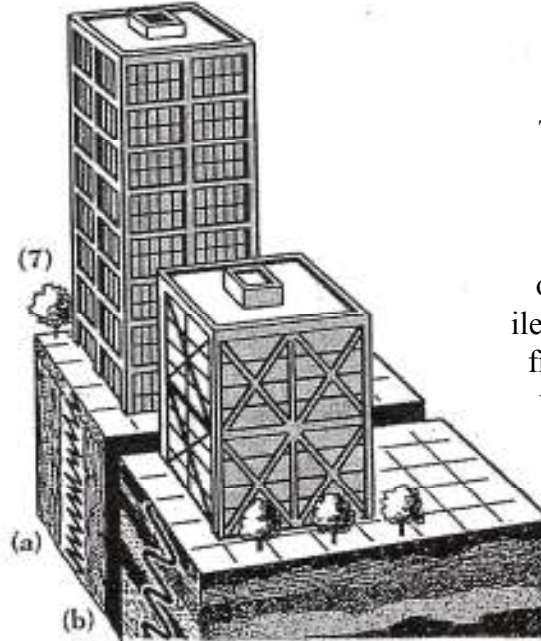


Zemin katın rijit (a) veya (b) elastik olması zemin hareketinin üst yapıya intikalinde ve sonuç davranışında karakteristik farklılıklar gösterir.



Planda küçülerek farklı yüksekliğe ulaşan binada değişimin olduğu döşemede yayılım frekansı ve faz farklılığı daralan geometride döşemede ve üstündeki düşey taşıyıcıda hasara neden olur.

Bitişik nizam yada çok yakın yapılaşmada farklı modal karakteristiğinin ürettiği modal davranış hasara neden olur.



Temel altı zeminin (a) rijit olması üst yapıya yoğun deprem enerjisini yüksek frekansda veya (b) elastik olması ise düşük frekansda iletilmesini sağlar. Yapı hakim frekanslarını bu değerlerden uzak tutmak hasarı azaltır.

# TDY-2007



## Amaç ve kapsam

**MADDE 1-** Bu Yönetmeliğin amacı; 15/5/1959 tarihli ve 7269 sayılı Umumi Hayata Müessir Afetler Dolayısıyla Alınacak Tedbirlerle Yapılacak Yardımlara Dair Kanununun 2 nci maddesine göre tesbit ve ilan olunan deprem bölgelerinde yeniden yapılacak, değiştirilecek, büyütülecek resmi ve özel tüm binaların ve bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı ile mevcut binaların deprem öncesi veya sonrasında performanslarının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için gerekli kuralları ve minimum koşulları belirlemektir.

**1.1.3 –** Bu Yönetmelik hükümleri, betonarme (yerinde dökülmüş ve öngerilmeli veya öngerilmesiz prefabrike), çelik ve yığma binalar ile bina türü yapılar için geçerlidir.

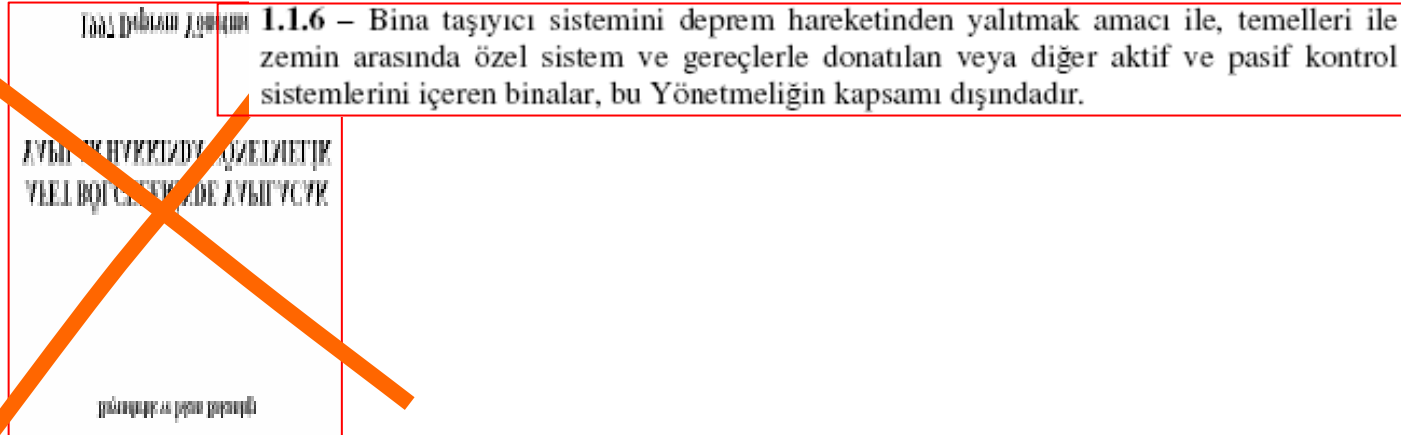
**1.1.4 –** Ahşap bina ve bina türü yapılara uygulanacak minimum koşul ve kurallar, ilgili yönetmelik hükümleri yürürlüğe konuluncaya dek, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından saptanacak ve projeleri bu esaslara göre düzenlenecektir.

**1.1.5 –** Binalar ve bina türü yapılar dışında, tasarımının bu yönetmelik hükümlerine göre yapılmasına izin verilen bina türü olmayan diğer yapılar, **Bölüm 2**'de, **2.12** ile tanımlanan yapılarla sınırlıdır. Bu bağlamda, köprüler, barajlar, kıyı ve liman yapıları, tüneller, boru hatları, enerji nakil hatları, nükleer santraller, doğal gaz depolama tesisleri gibi yapılar, tamamı yer altında bulunan yapılar ve binalardan farklı hesap ve güvenlik esaslarına göre projelendirilen diğer yapılar bu Yönetmeliğin kapsamı dışındadır.

**1.1.6 –** Bina taşıyıcı sistemini deprem hareketinden yalıtılmak amacıyla ile, temelleri ile zemin arasında özel sistem ve gereçlerle donatılan veya diğer aktif ve pasif kontrol sistemlerini içeren binalar, bu Yönetmeliğin kapsamı dışındadır.



**Yönetmelik - 2007**



## 1.2. GENEL İLKELER

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

1.2.2 – Bu Yönetmeliğe göre yeni binaların tasarımında esas alınacak tasarım depremi, 1.2.1'de tanımlanan şiddetli depreme karşı gelmektedir. **Bölüm 2, Tablo 2.3**'te tanımlanan Bina Önem Katsayısı  $I = 1$  olan binalar için, tasarım depreminin 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10'dur. Farklı aşılma olasılıklı depremler, mevcut binaların değerlendirmesi ve güçlendirilmesinde gözönüne alınmak üzere **Bölüm 7**'de tanımlanmıştır.

1.2.3 – Bu Yönetmelikte belirtilen deprem bölgeleri, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nce hazırlanan ve 18/04/1996 tarihli ve 96/8109 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan *Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası*'ndaki birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgeleridir.

1.2.4 – Bu Yönetmeliğe göre deprem bölgelerinde yapılacak binalar, malzeme ve işçilik koşulları bakımından Türk Standartları'na ve Bayındırlık ve İskan Bakanlığı "Genel Teknik Şartnamesi" kurallarına uygun olacaktır.

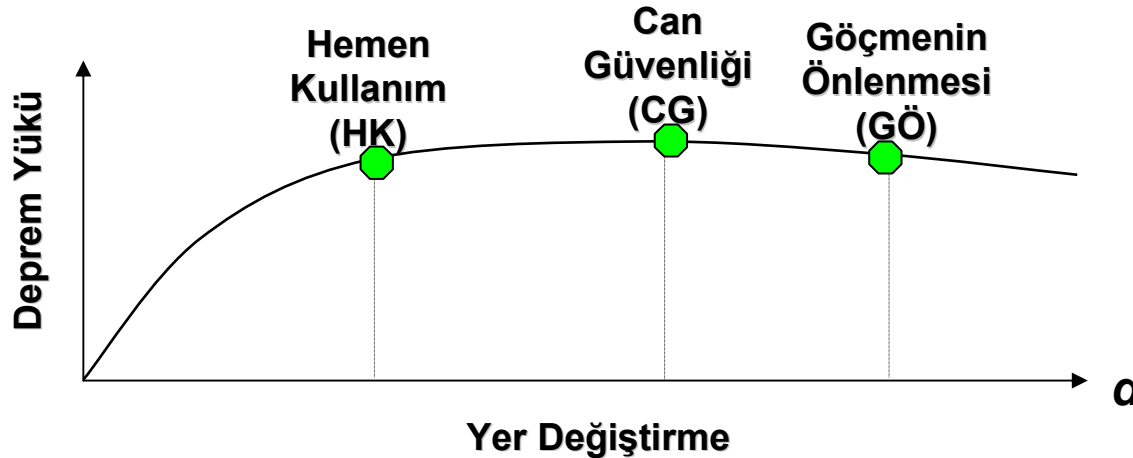
# Yönetmeliğimizde Tasarım Depremi ve Yapı Performansı

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 edilir.

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

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



# TAŞIYICI SİSTEMLER

**ÇERÇEVELİ SİSTEMLER**  
(MOMENT FRAME STRUCTURES)

**PERDE DUVARLI SİSTEMLER**  
(SHEARWALL STRUCTURES)

**KARMA SİSTEMLER**  
(DUAL SYSTEMS)

Taşıyıcı  
elemanlar

**Döşeme + Kiriş + Kolon**

**Döşeme + Perde**

**Döşeme + Çerçeve + Perde**

Taşıma  
kabülleri

**Düşey + Yatay yüklerin  
tamamını çerçeveler alır.**

**Düşey yükü eğer kısmi  
çerçeve çalışan var ise  
alabilir, yatay yüklerin  
tamamını perdeler alır.**

**Çerçeve yatay yükün en az  
%25 ini taşıyabilmelidir.  
Perde-çerçeve etkileşimine  
bakılır.**

Taşıma  
mekanizması  
kabülleri

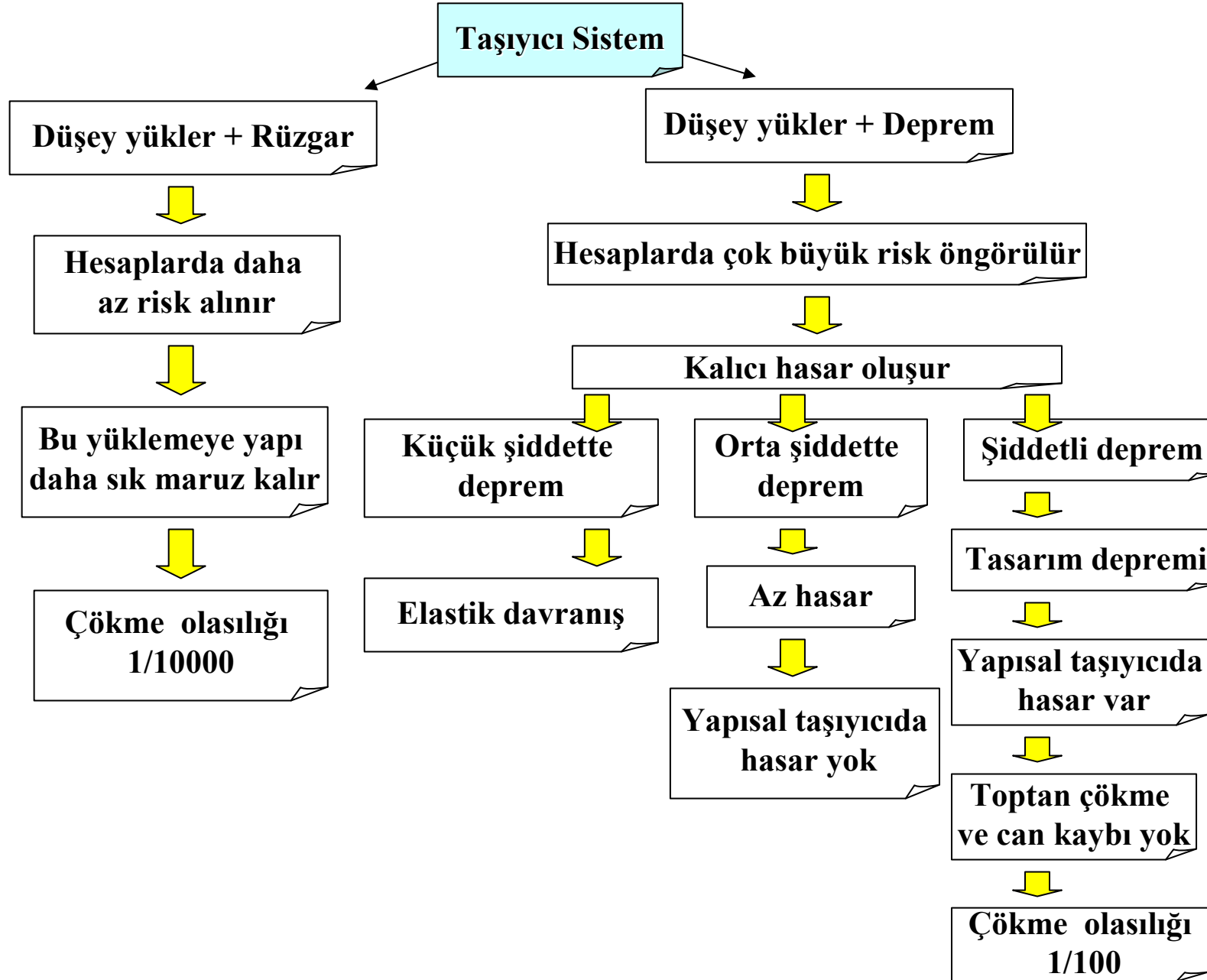
1. Kolon-Kiriş düğüm noktaları rijittir.
2. Kuvvetli kolon-zayıf kiriş davranışı gerçekleşmelidir.
3. Yanal ötelenme rijitliği yeterli oranda sağlanmalıdır.
4. Sünek kırılma sağlanmalı, plastik mafsallaşma kolonlarda oluşturulmamalıdır, yoksa yapıda göçme mekanizması çabuk oluşur.
5. Döşemelere sonsuz rijit plak davranışı mutlaka kazandırılmalıdır.

**Dikkat**

- Yeterli ötelenme rijitliği
- Yeterli eleman dayanımı
- Yeterli süneklik
- Mutlaka çerçeve çalışma (eğer çerçeve sistem ise)

**Sağlanmalı**

# Betonarme Yapıların Deprem Güvenliği



# Deprem Yönetmeliğinde Öngörülen Yapısal Performans

| KRİTERLER                          | HASAR                                       |                                                                                           |                                                                                         |
|------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | Hafif                                       | Orta                                                                                      | Ağır                                                                                    |
| İşlevsellik                        | korunmalı                                   | korunmalı                                                                                 | korunamaz                                                                               |
| Taşıyıcı Olmayan Elemanlarda Hasar | Onarımı gerektermeyecek kadar olur (kılcal) | Onarılabilir seviyede olur (geniş çatlaklar)                                              | Olur (geniş çatlaklar ve dökülmeler)                                                    |
| Taşıyıcı Elemanlarda Hasar         | Olmaz                                       | Onarılabilir 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                                                                                   |

## TDY-2007'de Depreme Karşı Yapısal Davranışta Taşıyıcı Sistem Özelliklerinin Davranışa Etkileri

### RİJİTLİK

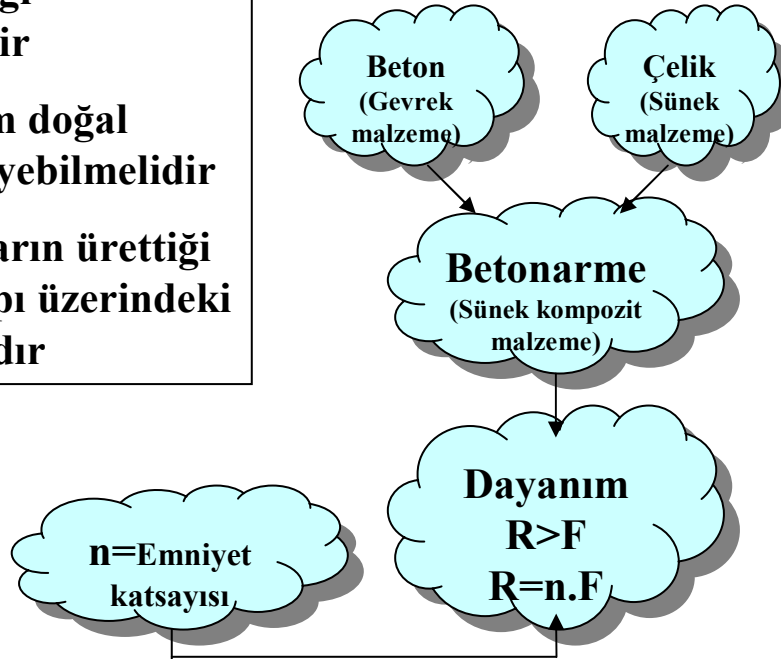
- Hafif ve orta şiddetteki depremler altında yanal ötelenmeler kalıcı (plastikleşme) ve büyük olmamalıdır
- Şiddetli deprem altında ötelenme rijitliği küçülebilmelidir
- Yapının hakim doğal periyodu büyüyebilmelidir
- Sismik dalgaların ürettiği kuvvetlerin yapı üzerindeki etkisi azalmalıdır

### DAYANIM

- Hafif ve orta şiddet depremlerde dayanım genelde aşılmamalıdır
- Bölgesel olarak dayanım aşılımları, bölgesel olduğu için tolere edilebilir.

### SÜNEKLİK

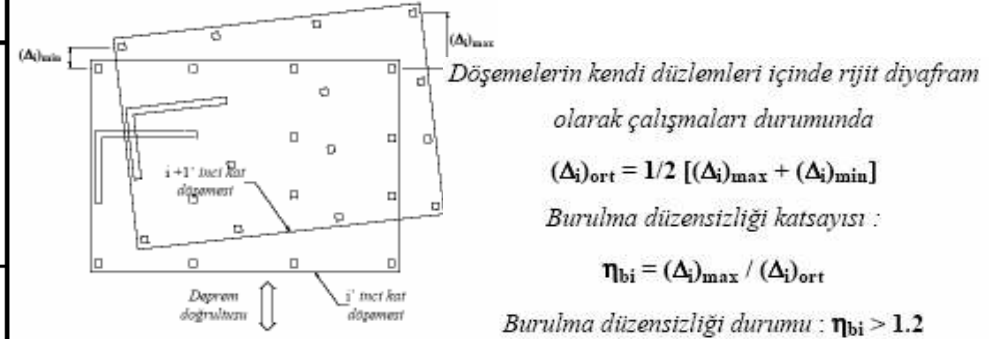
- Ağır şiddet deprem altında dayanım mühendislik tecrübelerine göre önceden belirlenen noktalarda aşılabılır
- Ve plastik mafsall oluşabilir
- Bu plastik mafsallar içinde yoğun elastik ötesi şekil değiştirmeler oluşur (SÜNEKLİK)
- Ve dolayısıyla Rijitlik azalır
- Yapı periyodu büyür
- Yapı üzerine aldığı sismik kuvvetleri işe çevirerek deprem enerjisini azaltır.



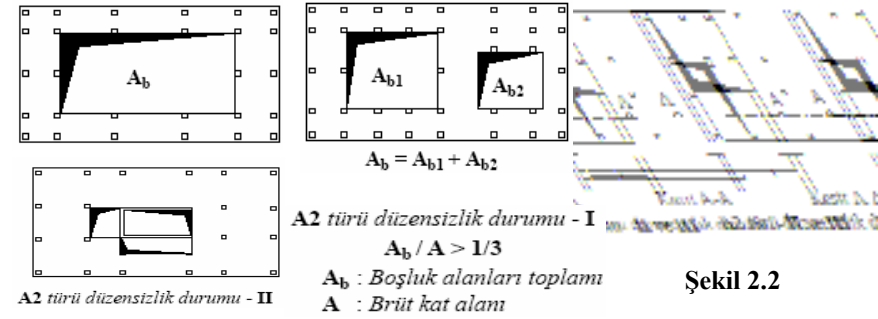
TABLO 2.1 – DÜZENSİZ BİNALAR

| A – PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | İlgili Maddeler |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <p><b>A1 – Burulma Düzensizliği :</b><br/>Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden <i>Burulma Düzensizliği Katsayısı</i> <math>\eta_{bi}</math>'nin 1.2'den büyük olması durumu (Şekil 2.1). [<math>\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} &gt; 1.2</math>]<br/><i>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, <math>\pm</math> %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak, 2.7'ye göre yapılacaktır.</i></p>                                                                                          | 2.3.2.1         |
| <p><b>A2 – Döşeme Süreksizlikleri :</b><br/>Herhangi bir kattaki döşemede (Şekil 2.2);<br/>I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,<br/>II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,<br/>III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu</p>                                                                                                                                                                                               | 2.3.2.2         |
| <p><b>A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması :</b><br/>Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Şekil 2.3).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2.3.2.2         |
| B – DÜŞEY DOĞRULTUDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | İlgili Maddeler |
| <p><b>B1 – Komsu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) :</b><br/>Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki <i>etkili kesme alanı</i>'nın, bir üst kattaki <i>etkili kesme alanı</i>'na oranı olarak tanımlanan <i>Dayanım Düzensizliği Katsayısı</i> <math>\eta_{ci}</math>'nin 0.80'den küçük olması durumu. [<math>\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} &lt; 0.80</math>]<br/><i>Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:</i><br/><math>\sum A_e = \sum A_w + \sum A_p + 0.15 \sum A_k</math> (Simgeler için Bkz. 3.0)</p>                                             | 2.3.2.3         |
| <p><b>B2 – Komsu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) :</b><br/>Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir <i>i</i>'inci kattaki <i>ortalama görelî kat ötelemesi oranının</i> bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan <i>Rijitlik Düzensizliği Katsayısı</i> <math>\eta_{ki}</math>'nin 2.0'den fazla olması durumu. [<math>\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort} &gt; 2.0</math>]<br/><i>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, <math>\pm</math> %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak, 2.7'ye göre yapılacaktır.</i></p> | 2.3.2.1         |
| <p><b>B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği :</b><br/>Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu (Şekil 2.4).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2.3.2.4         |

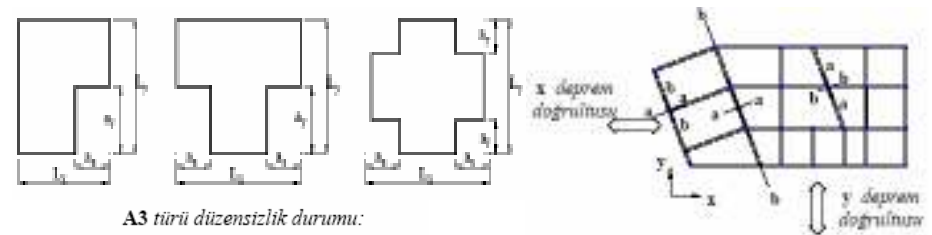
(TDY2007)



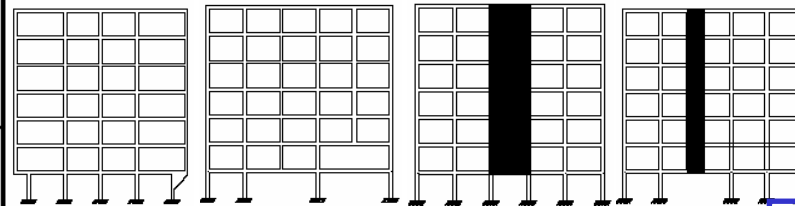
Şekil 2.1



Şekil 2.2



Şekil 2.3



Şekil 2.4



### 2.3.2. Düzensiz Binalara İlişkin Koşullar

Tablo 2.1'de tanımlanan düzensizlik durumlarına ilişkin koşullar aşağıda belirtilmiştir:

**2.3.2.1 – A1 ve B2 türü düzensizlikler, 2.6'da belirtildiği üzere, deprem hesap yönteminin seçiminde etken olan düzensizliklerdir.**

**2.3.2.2 – A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu binalarda, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanacaktır.**

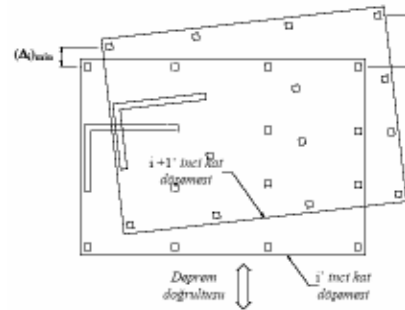
**2.3.2.3 – B1 türü düzensizliğinin bulunduğu binalarda, gözöntüne alınan i'inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise,  $\eta_{ci}$ 'nin hesabında dolgu duvarları gözöntüne alınmayacaktır.  $0.60 \leq (\eta_{ci})_{\min} < 0.80$  aralığında Tablo 2.5'te verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı, 1.25  $(\eta_{ci})_{\min}$  değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanacaktır. Ancak hiçbir zaman  $\eta_{ci} < 0.60$  olmayacaktır. Aksi durumda, zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.**

**2.3.2.4 – B3 türü düzensizliğin bulunduğu binalara ilişkin koşullar, bütün deprem bölgelerinde uygulanmak üzere, aşağıda belirtilmiştir:**

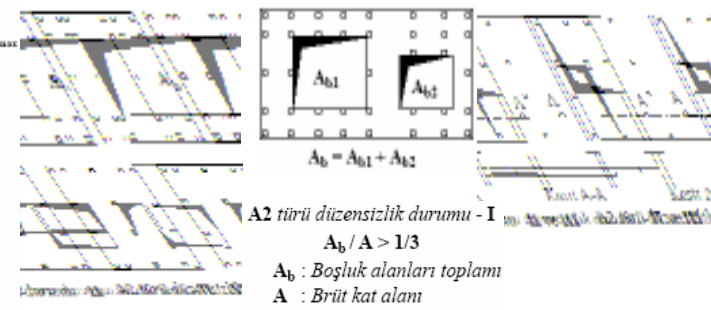
- (a) Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan güselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.
- (b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca gözöntüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır.

(c) Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

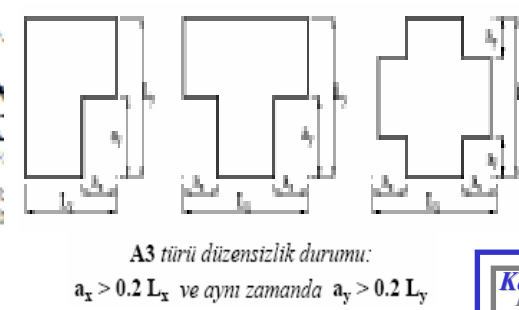
(d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.



A1 Düzensizliği



A2 türü düzensizlik durumu - I  
 $A_b / A > 1/3$   
 $A_b$  : Boşluk alanları toplamı  
 $A$  : Brüt kat alanı  
A2 Düzensizliği



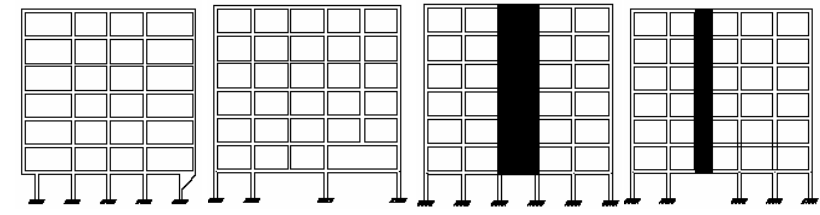
A3 türü düzensizlik durumu:  
 $a_x > 0.2 L_x$  ve aynı zamanda  $a_y > 0.2 L_y$   
A3 Düzensizliği

→ TABLO 2.6 – EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ'NİN UYGULANABİLECEĞİ BİNALAR

| Deprem Bölgesi | Bina Türü                                                                                                                                  | Toplam Yükseklik Sınırı |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1, 2           | Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar                                            | $H_N \leq 25$ m         |
| 1, 2           | Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar | $H_N \leq 40$ m         |
| 3, 4           | Tüm binalar                                                                                                                                | $H_N \leq 40$ m         |

#### B1 – Komsu Katlar Arası Davanım Düzensizliği (Zayıf Kat)

#### B2 – Komsu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

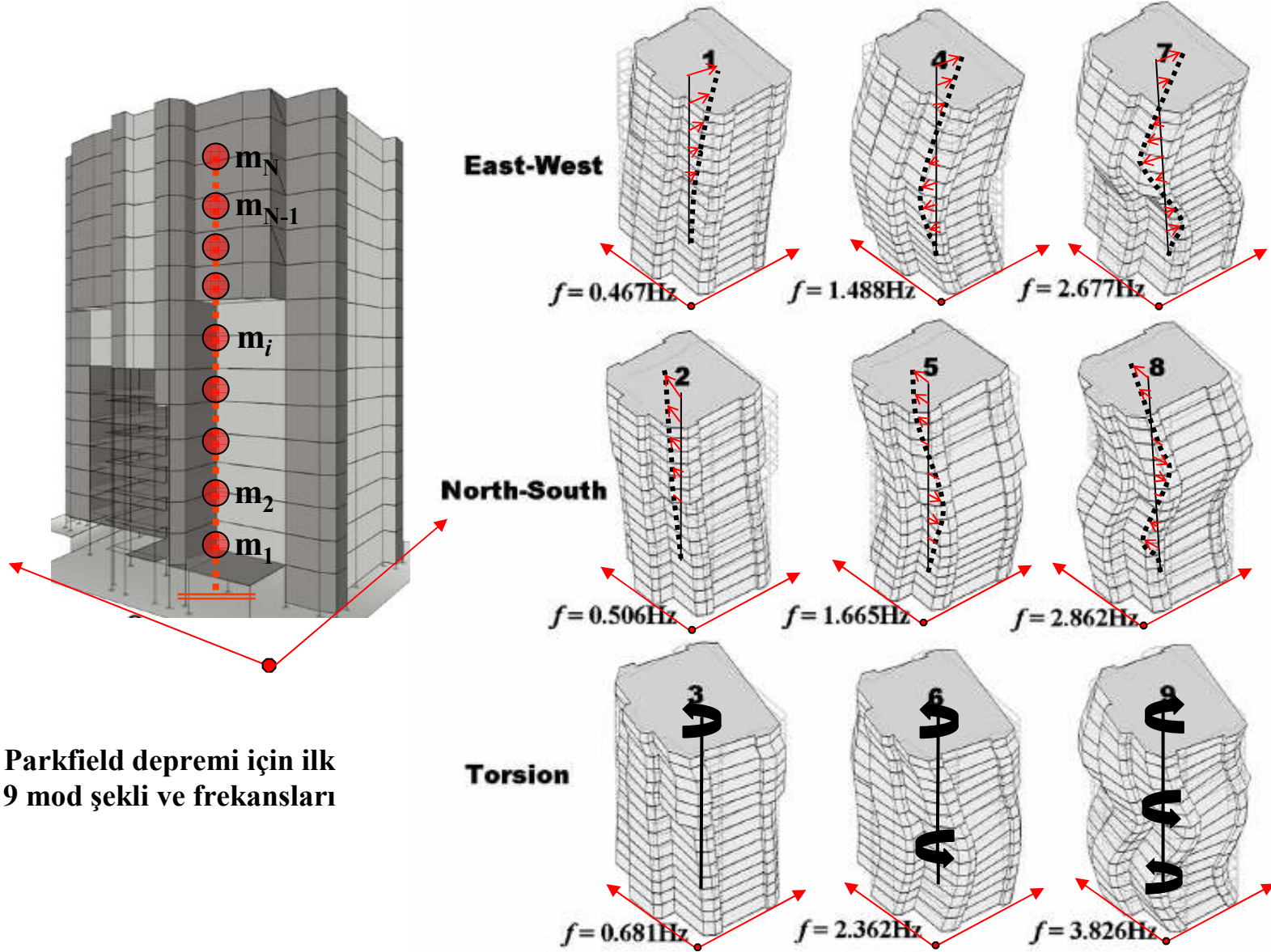


B3 Düzensizliği

# TDY-2007'ye Göre Deprem Hesabı

- (1) *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*
- (2) *Mod Birleştirme Yöntemi (modal spektral analiz )*
- (3) *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*

# Depremde Oluşan Karmaşık Yapı Hareketlerinin Basit Deformasyonların Toplamı Olarak Düşünülmesi



Parkfield depremi için ilk 9 mod şekli ve frekansları

## Ek-0: Matematik

# Davranışın Ayırıklaştırılması

Matematik olarak zaman içinde değişen bir sinüs hareket düşünelim;  $x(t) = X \sin(2\pi f_0 t + \theta)$

$X$ =genlik,

$f_0$ =frekans,

=başlangıç faz açısı

$x(\theta)$ =herhangi bir  $t$  zamanında hareketin değeri

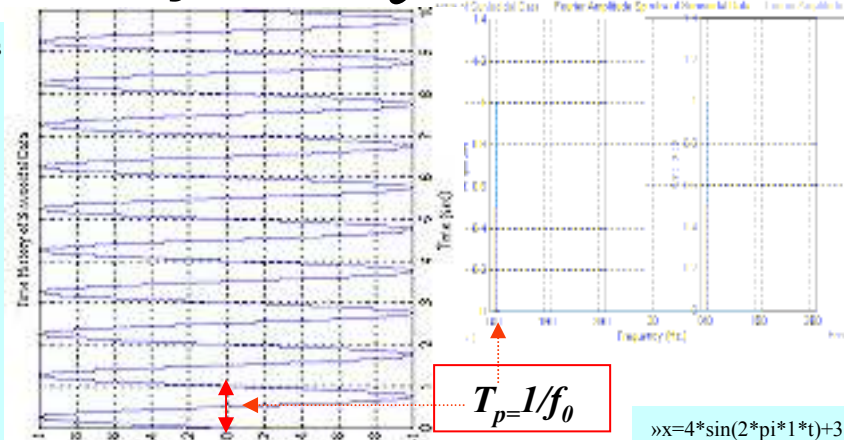
```
>>dt=.01;x=sin(2*pi*1*(0:dt:10));
```

```
>>plot((0:dt:10),x); grid on;
```

```
>>df=1/(length(x)*dt);fnyq=floor(length(x)/2)+1
```

```
>>fh=(1:1:fnyq)*df;xf=abs(fft(x));
```

```
>>plot(fh(1:length(fh)),xf(1:length(fh)));
```



Kompleks Periyodik hareketin aksine, rastgele frekans ve genliklerden oluşan Sinüs (sinüzoidal) hareketlerinin toplamı artık periyodik olmaz

$$x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n \sin(2\pi f_n t + \theta_n)$$

Örneğin bir binanın deprem gibi değişken frekans ve genliklere karşı titreşimleri böyle bir davranış sergileyebilir;

```
>>x=4*sin(2*pi*1*t)+3*sin(2*pi*3.7*t)+7*sin(2*pi*5.3*t)+1.5*sin(2*pi*9.2*t);
```

```
>>xf=fft(x);xf=abs(xf);figure;
```

```
>>plot(fh(1:floor(fnyq/5)),xf(2:floor(fnyq/5)+1));
```

Tipik bir hareketi düzenli olarak sabit bir zaman aralığında tekrar eden kompleks periyodik bir hareketin zaman içindeki seyrini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz;  $x(t) = x(t \pm nT_p)$   $n = 1, 2, \dots$

$T_p$  sürede bir hareketini tamamlayan ve  $n$  defa tekrar eden bu hareketi

**Sinüs** ve **Cosinus** takımından oluşan **Fourier serileri**yle ifade edebiliriz;

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos 2\pi f_n t + b_n \sin 2\pi f_n t)$$

$$f_n = \frac{1}{T_p} \quad a_n = \frac{2}{T_p} \int_0^{T_p} x(t) \cos 2\pi f_n t dt \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$$b_n = \frac{2}{T_p} \int_0^{T_p} x(t) \sin 2\pi f_n t dt \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Anlaşılabacağı gibi kompleks periyodik bir hareket bir statik bileşen ve sonsuz sayıda sinüzoidal hareket bileşenlerinden (harmoniklerden) oluşabilir yada tersden düşünersek kompleks periyodik bir hareket basit harmoniklere ayrıştırılabilir.

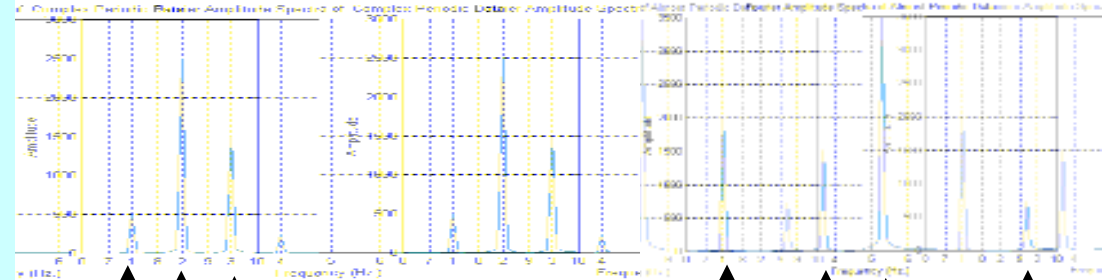
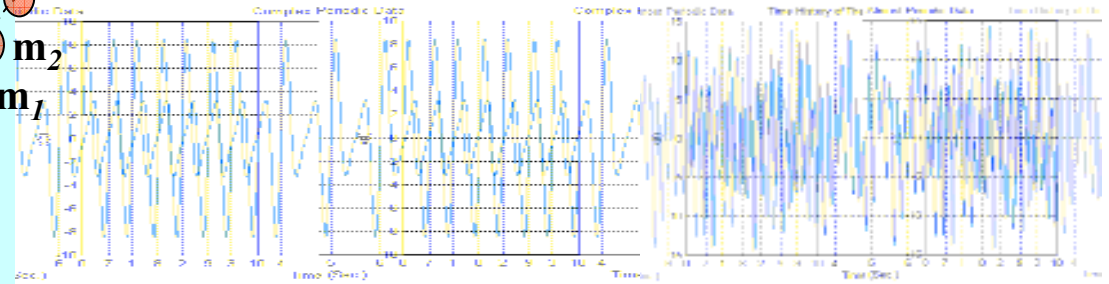
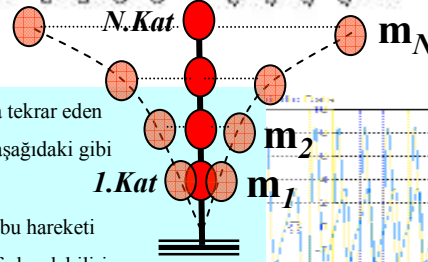
```
>>dt=.01;t=0:dt:10;x=1*sin(2*pi*1*t);
```

```
>>x=500*sin(2*pi*1*t)+2500*sin(2*pi*2*t)+1500*sin(2*pi*3*t)+250*sin(2*pi*4*t);
```

```
>>plot(t,x)
```

```
>>df=1/(length(x)*dt);fnyq=floor(length(x)/2)+1;fh=(1:1:fnyq)*df;
```

```
>>xf=abs(fft(x));figure;plot(fh(1:floor(fnyq/5)),xf(2:floor(fnyq/5)+1));
```



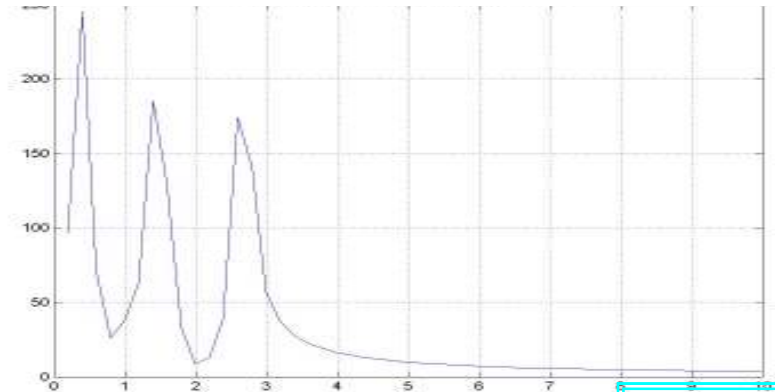
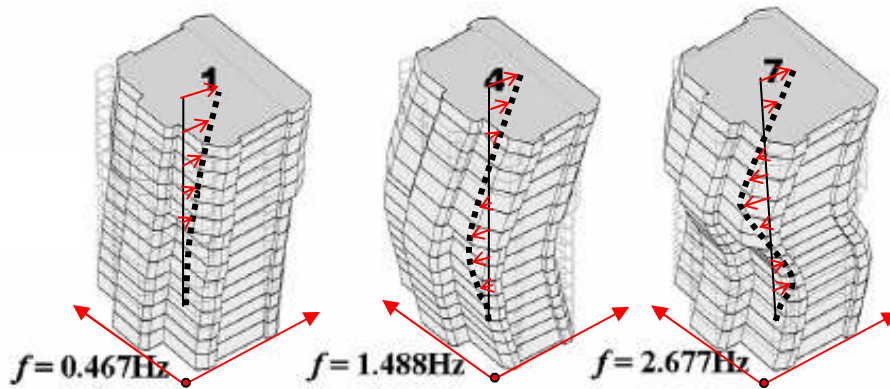
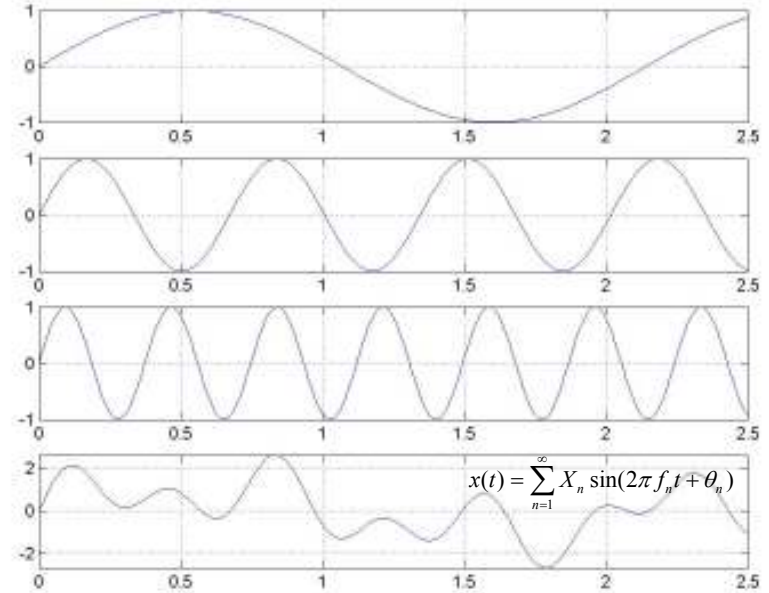
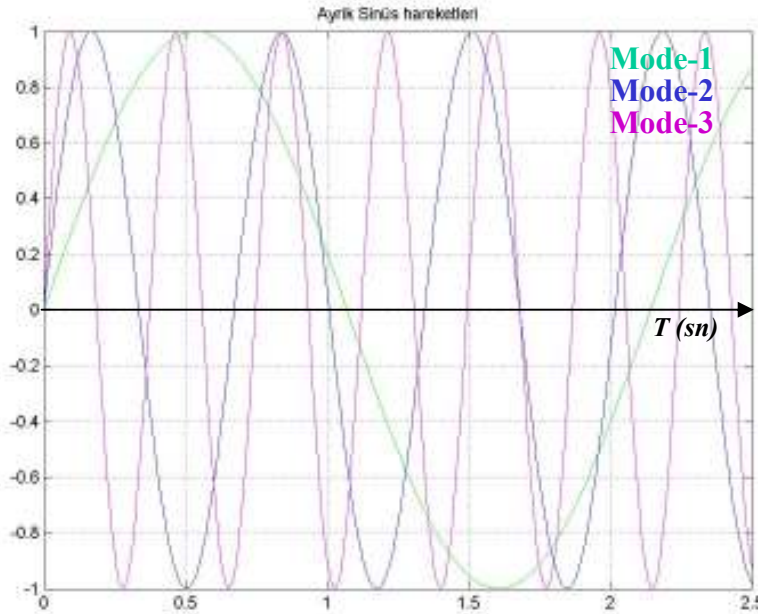
$f_1, 2f_1, 3f_1, 4f_1, \dots$

$f_1, f_2, f_3, f_4, \dots$

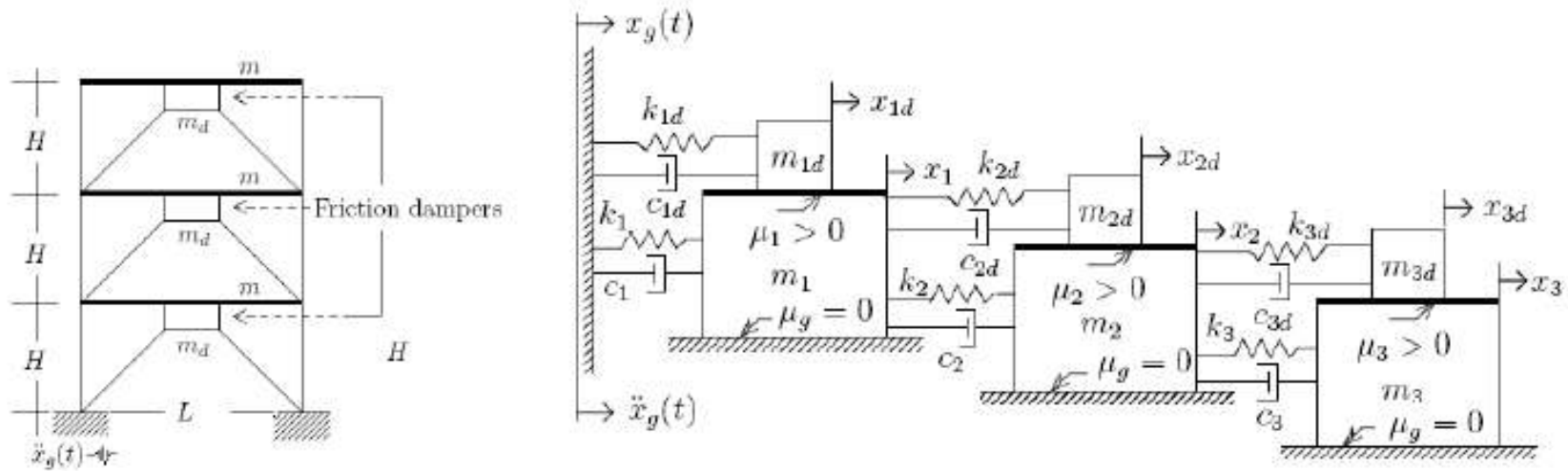
K. BEYEN

# Ayrıklaştırılmış Yapısal Davranış Toplam Davranışı Ne kadar Temsil ediyor

Modal Deplasmanlar (cm)



Yapılar Basit Yay, Söndürücü ve Kütle ile Birbirleriyle ilişkilendirilmiş Mekanik Modeller Olarak Düşünülebilir

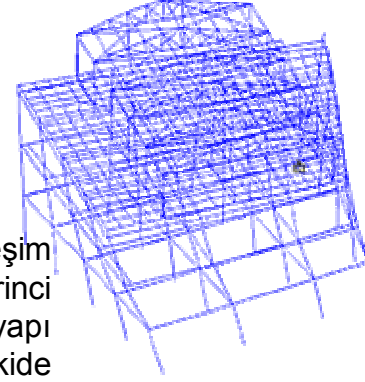
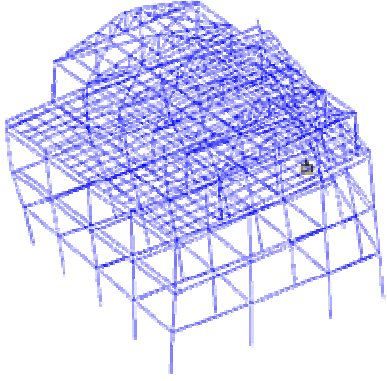


(a) A three-story building with FDs

(b) Mechanical model of a seismically excited three-story building with FDs

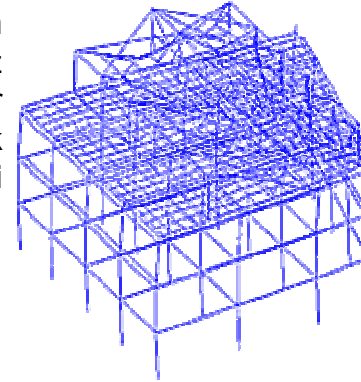
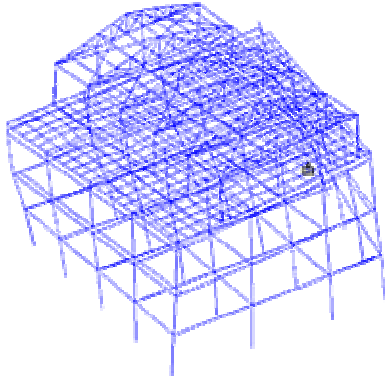
Figure 2. A three-story building with FDs and the corresponding mechanical model





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

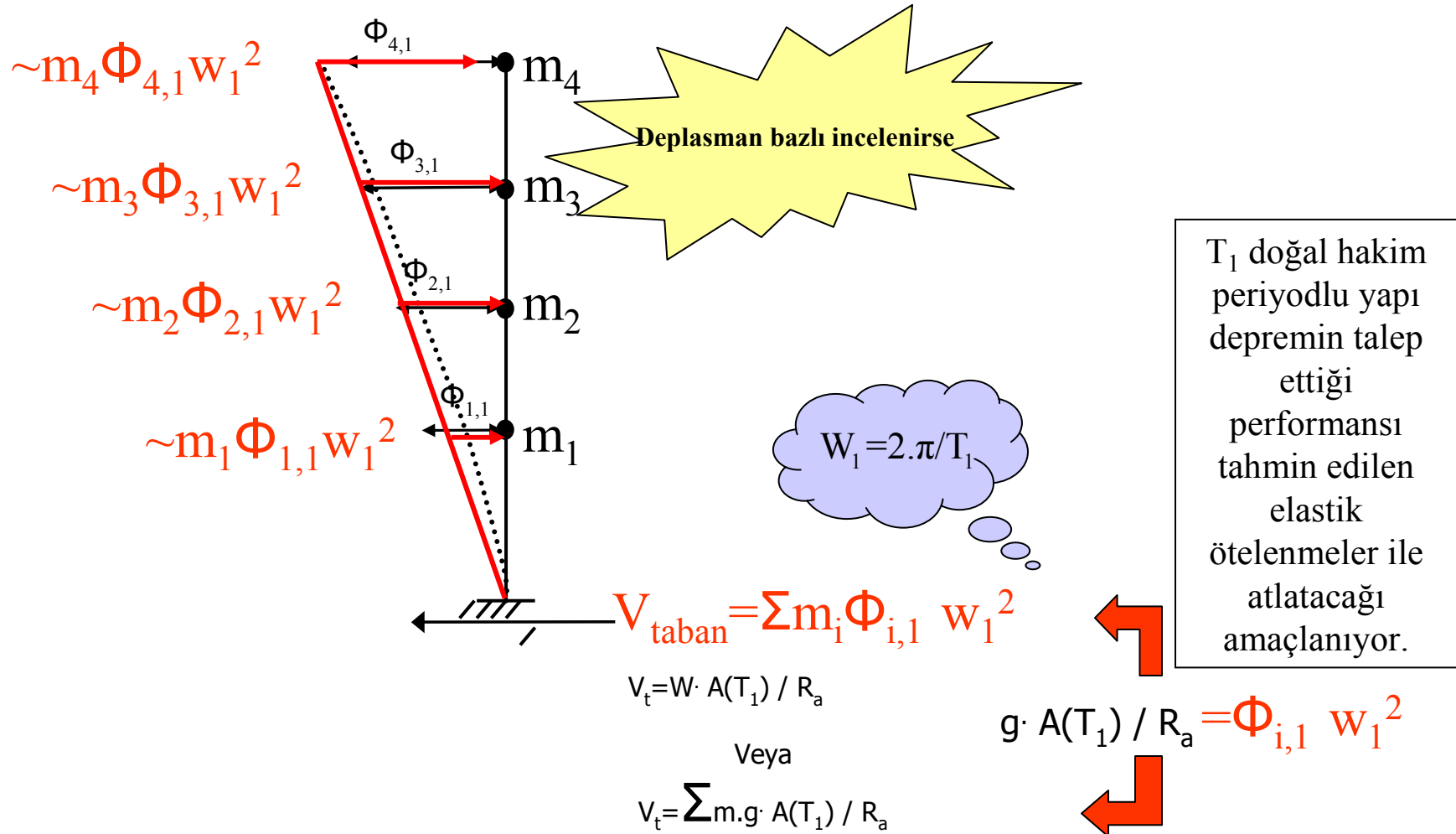
Farklı periyotlarda farklı harmonik titreşimler ve bunlarında yapı üzerinde farklı etkileri olur. Her farklı periyotta oluşan titreşimlerden elde edilen maksimum yerdeğiştirme, hız veya ivme değerleri yeni bir grafik üzerinde işaretlenerek **spektrum grafikleri oluşturulur.**





## EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ

Eşdeğer Yanal Statik deprem yükünün şekli sistemin birinci doğal titreşim modundan basitleştirilerek benzetilmiş üçgen yük şeklindedir. Kat rijitlikleri oranında kat kütle merkezlerine etkittirilerek uygulanan kuvvetler toplamı taban kesme kuvvetine eşittir.



# Eşdeğer Deprem Yükü Uygulanması Koşulları

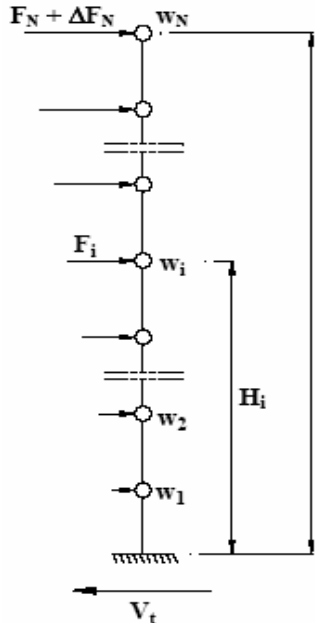
Burulma düzensizliği ve/veya planda düzensizlik barındıran yapılar, yüksek kat sayısı ve deprem bölgesi gibi parametreler, basitleştirilerek kabul edilen deprem yükü ve etkiyeceği kütle merkezinin rijitlik merkezine göre vereceği kabul edilenden fazla sapsmalar vermesi kullanımını sınırlandırılmıştır. DY-2007’de, bu yöntemin kullanılabilceği binalar, Tablo 2.6 ile sınırlandırılmıştır.

## 2.6.2. Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulama Sınırları

2.7’de verilen *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*’nin uygulanabileceği binalar **Tablo 2.6**’da özetlenmiştir. **Tablo 2.6**’nın kapsamına girmeyen binaların deprem hesabında, 2.8 veya 2.9’da verilen yöntemler kullanılacaktır.

**TABLO 2.6 – EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİNİN UYGULANABİLECEĞİ BİNALAR**

| Deprem Bölgesi | Bina Türü                                                                                                                                         | Toplam Yükseklik Sınırı |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1, 2           | Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar                                                   | $H_N \leq 25$ m         |
| 1, 2           | Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca <b>B2</b> türü düzensizliğinin olmadığı binalar | $H_N \leq 40$ m         |
| 3, 4           | Tüm binalar                                                                                                                                       | $H_N \leq 40$ m         |



## Ek Eşdeğer Deprem (Tepe) Yükü Uygulanması

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (6.7)$$

6.7.2.2 -  $H_N > 25$  m için binanın N’inci katına (tepesine) etkiyen *ek eşdeğer deprem yükü*  $\Delta F_N$ ’in değeri, 6.7.4’e göre hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu  $T_1$ ’e bağlı olarak, Denk.(6.8) ile belirlenecektir. **Bütün binalara  $\Delta F_N = 0$  alınacaktır.**

$$\Delta F_N = 0.07 T_1 V_t \leq 0.2 V_t \quad (6.8)$$

6.7.2.3 - Toplam eşdeğer deprem yükünün  $\Delta F_N$  dışında geri kalan kısmı, N’inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına Denk.(6.9) ile dağıtılacaktır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (6.9)$$

**2.7.2.2 – Binanın N’inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü  $\Delta F_N$ ’in değeri Denk.(2.8) ile belirlenecektir.**  
 $\Delta F_N = 0.0075 V_t \quad (2.8)$

## EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ

Yapıların düşünülen yönde depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında binanın tümüne etkileyen **Toplam Eşdeğer Deprem Yükü  $V_t$**  (yapının taban kesme kuvveti) :

$$V_t = W \cdot A(T_1) / R_a \quad \text{Denk. 2.4}$$

W : Toplam yapı ağırlığı

$$W = \sum w_i \quad \text{Denk. 2.5}$$

Kat ağırlıkları her kattaki sabit yüklere azaltılmış hareketli yüklerin eklenmesiyle elde edilir. Hareketli yükün azaltılma nedeni Deprem sırasında katlarda hareketli yüklerin tamamının bulunması olasılığının düşük olmasıdır. Yapı tipine göre hareketli yük azaltma kat sayısı n ile çarpılarak kat sabit yüklerine eklenmesiyle kat yükü oluşturulmuştur.

$$w_i = g_i + n \cdot q_i \quad \text{Denk. 2.6}$$

$A(T_1)$ : Birinci doğal titreşim periyodu  $T_1$ 'e karşı gelen spektral ivme katsayısıdır

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan *Spektral İvme Katsayısı*,  $A(T)$ , **Denk.(2.1)** ile verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan *Elastik İvme Spektrumu*'nun ordinatı olan *Elastik Spektral İvme*,  $S_{ae}(T)$ , Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi  $g$ 'nin çarpımına karşı gelmektedir

$A_0$ : Etkin yer ivmesi katsayısı

I: Bina önem katsayısı

Spektrum Katsayısı:  $S(T)$

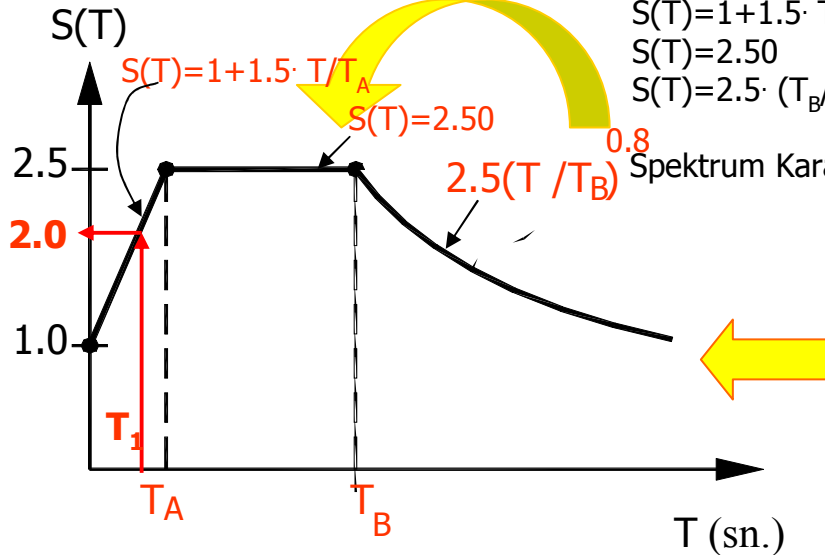
Yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu  $T$ 'ye (sn) bağlı olarak Spektrum katsayıları hesaplanır

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

$$S(T) = 2.50 \quad (T_A \leq T \leq T_B)$$

$$S(T) = 2.5 \cdot (T_B / T)^{0.8} \quad (T > T_B)$$

Spektrum Karakteristik Periyotları ( $T_A, T_B$ )



| Yerel Zemin Sınıfı | $T_A$ (sn) | $T_B$ (sn) |
|--------------------|------------|------------|
| Z1                 | 0.10       | 0.30       |
| Z2                 | 0.15       | 0.40       |
| Z3                 | 0.15       | 0.60       |
| Z4                 | 0.20       | 0.90       |

**Denk.(2.6)**'da yer alan *Hareketli Yük Katılım Katsayısı*,  $n$ , **Tablo 2.7**'de verilmiştir.

Endüstri binalarında sabit ekipman ağırlıkları için  $n = 1$  alınacak, ancak vinç kaldırma yükleri kat ağırlıklarının hesabında gözönüne alınmayacaktır. **Deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak çatı katı ağırlığının hesabında kar yüklerinin %30'u gözönüne alınacaktır.**

TABLO 2.7 - HAREKETLİ YÜK KATILIM KATSAYISI ( $n$ )

| Bina Türü                                                                                     | $n$  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Depo, atölye, vb.                                                                             | 0.80 |
| Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb. | 0.60 |
| Konut, ofis, otel, hastane, vb.                                                               | 0.30 |

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

$R_a$ : Deprem yükü azaltma katsayısı, Taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R$  ve doğal titreşim periyodu  $T$  ile tanımlanmıştır:

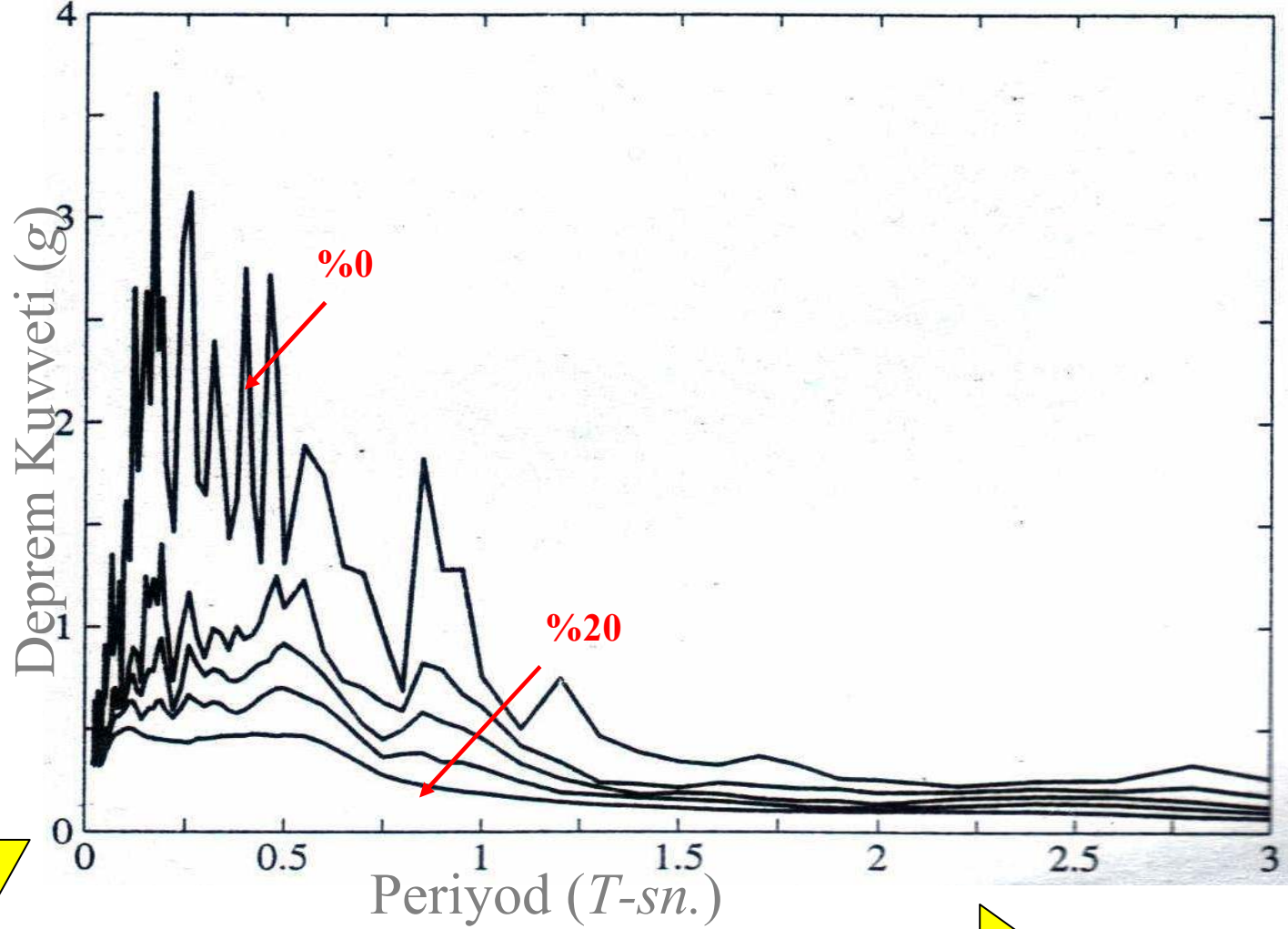
$$R_d(T) = 15 + (R - 15) \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$R_d(T) = R \quad (T > T_A) \quad \text{Denk.(2.3)}$$

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

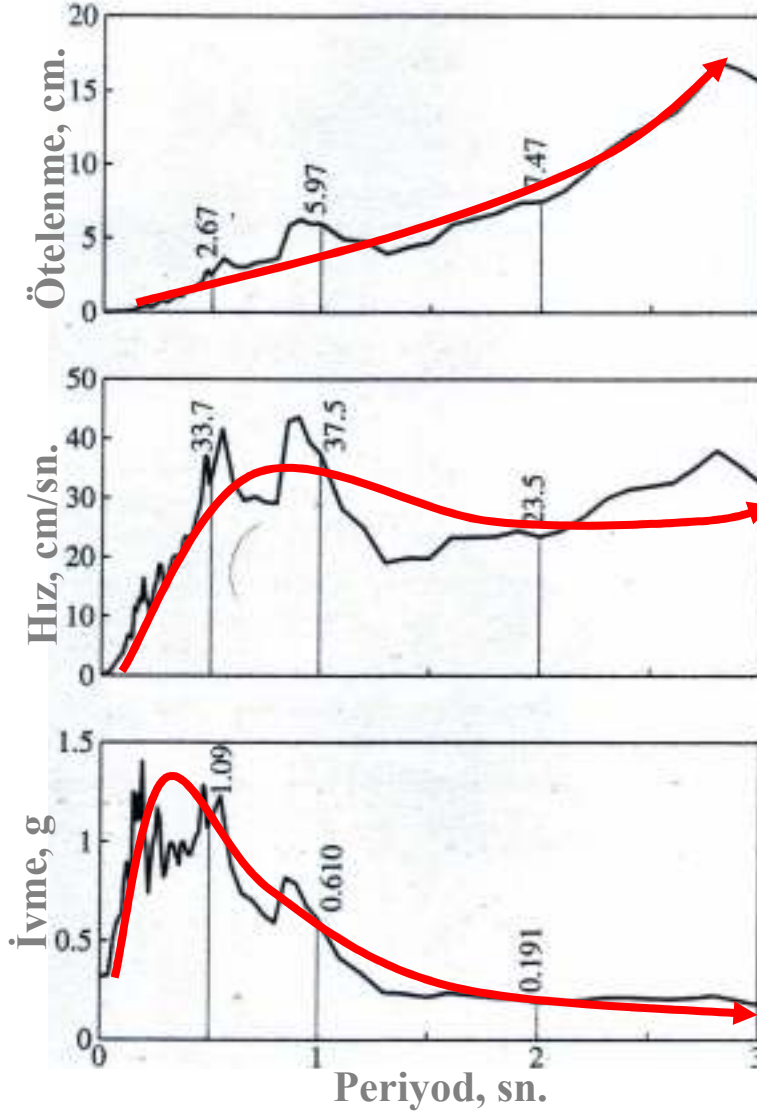
Yapısal Sönüm Çok Önemlidir. Bu elastik bir bünye ve uygun inşaat malzemeleriyle sağlanır.

Yapısal sönüm arttıkça Yapının alacağı Deprem Kuvvetleri azalır.



Yapısal Esneklik arttıkça Yapının alacağı Deprem Kuvvetleri azalır.

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



( $\xi=0.02$ ) %2 Sönüm için

a)Yapısal Ötelenmenin Değişimleri

b)Yapısal Hareketin Hız Değişimleri

c)Yapısal Hareketin İvme Değişimleri

**TABLO 2.5-TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞ KATSAYISI (R)**

| <i>BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ</i>                                                                                                                                                                                | <i>Süneklik Düzeyi Normal Sistemler</i> | <i>Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler</i> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR</b>                                                                                                                                                                  |                                         |                                         |
| (1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar .....                                                                                                                                      | 4                                       | 8                                       |
| (1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....                                                                                                                  | 4                                       | 7                                       |
| (1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....                                                                                                                               | 4                                       | 6                                       |
| (1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar                                                                              | 4                                       | 7                                       |
| (1.5) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar                                                                                       | —                                       | 5                                       |
| <b>(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR</b>                                                                                                                                                                     |                                         |                                         |
| (2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar .....                                                                                         | 3                                       | 6                                       |
| (2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar                                                                                       | —                                       | 5                                       |
| (2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrikte boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....                                                                                                                   | —                                       | 4                                       |
| (2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrikte çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar..... | 3                                       | 5                                       |
| (2.5) Deprem yüklerinin yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından taşındığı, prefabrikte çerçeve bağlantıları mafsallı olan binalar.....                                   | 3                                       | 4                                       |
| <b>(3) ÇELİK BİNALAR</b>                                                                                                                                                                                    |                                         |                                         |
| (3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....                                                                                                                                       | 5                                       | 8                                       |
| (3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar                                                                                       | 4                                       | 6                                       |
| (3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar                                                                                      |                                         |                                         |
| (a) Çaprazların merkezi olması durumu.....                                                                                                                                                                  | 4                                       | 5                                       |
| (b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....                                                                                                                                                                | —                                       | 7                                       |
| (c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....                                                                                                                                                           | 4                                       | 6                                       |
| (3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar                                                         |                                         |                                         |
| (a) Çaprazların merkezi olması durumu.....                                                                                                                                                                  | 5                                       | 6                                       |
| (b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....                                                                                                                                                                | —                                       | 8                                       |
| (c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....                                                                                                                                                           | 4                                       | 7                                       |

## 2.5. ELASTİK DEPREM YÜKLERİNİN AZALTIKMASI: DEPREM YÜKÜ AZALTMA KATSAYISI

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere, 2.4'te verilen spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan *Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı*'na bölünecektir. Bu katsayı, çeşitli taşıyıcı sistemler için aşağıdaki **Tablo 2.5**'te tanımlanan *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R*'ye ve doğal titreşim periyodu, *T*'ye bağlı olarak **Denk.(2.3)** ile belirlenecektir.

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

$$R_d(T) = R \quad (T > T_A)$$

**Denk.(2.3)**

### 2.5.1. Tasıyıcı Sistemlerin Süneklik Düzeylerine İlişkin Genel Kosullar

**2.5.1.1** – Tasıyıcı Sistem Davranış Katsayıları **Tablo 2.5**'te verilen *süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler* ve *süneklik düzeyi normal taşıyıcı sistemler*'e ilişkin tanımlar ve uyulması gerekli kosullar, betonarme binalar için **Bölüm 3**'te, çelik binalar için ise **Bölüm 4**'te verilmiştir.

**2.5.1.2** – **Tablo 2.5**'te *süneklik düzeyi yüksek* olarak gözönüne alınacak taşıyıcı sistemlerde, süneklik düzeyinin her iki yatay deprem doğrultusunda da yüksek olması zorunludur. Süneklik düzeyi bir deprem doğrultusunda yüksek veya karma, buna dik diğer deprem doğrultusunda ise normal olan sistemler, her iki doğrultuda da *süneklik düzeyi normal sistemler* olarak sayılacaktır.

**2.5.1.3** – Süneklik düzeyleri her iki doğrultuda aynı olan veya bir doğrultuda yüksek, diğer doğrultuda karma olan sistemlerde, farklı doğrultularda birbirinden farklı  $R$  katsayıları kullanılabilir.

**2.5.1.4** – Perde içermeyen kirissiz dösemeli betonarme sistemler ile, kolon ve kirisleri **3.3**, **3.4** ve **3.5**'te verilen kosullardan herhangi birini sağlamayan dolgulu veya dolgusuz disli ve kaset dösemeli betonarme sistemler, *süneklik düzeyi normal sistemler* olarak gözönüne alınacaktır.

**2.5.1.5** – Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde;

(a) Tasıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan binalarda *süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler*'in kullanılması zorunludur.

(b) **Tablo 2.3**'e göre Bina Önem Katsayısı  $I = 1.5$  ve  $I = 1.4$  olan tüm binalarda *süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler* veya **2.5.4.1**'de tanımlanan *süneklik düzeyi bakımından karma taşıyıcı sistemler* kullanılacaktır.

**2.5.1.6** – Perde içermeyen *süneklik düzeyi normal taşıyıcı sistemler*'e, sadece üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde, aşağıdaki kosullarla izin verilebilir:

(a) **2.5.1.4**'te tanımlanan betonarme binalar,  $H_N \leq 13$  m olmak kosulu ile yapılabilir.

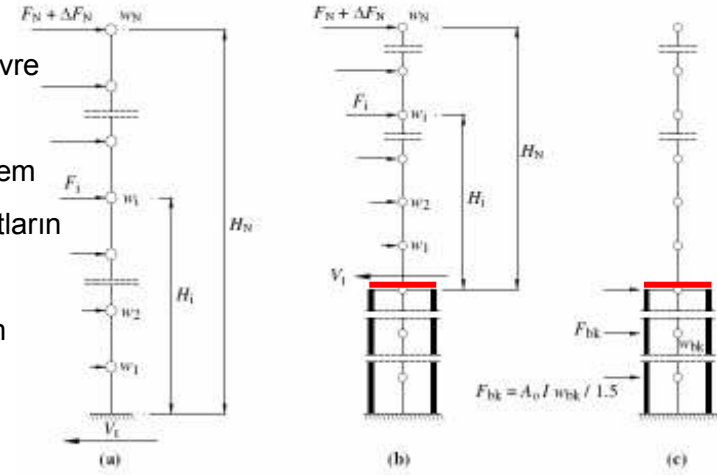
(b) **2.5.1.4**'te tanımlananların dışında, taşıyıcı sistemi sadece süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan betonarme ve çelik binalar,  $H_N \leq 25$  m olmak kosulu ile yapılabilir.

**2.7.2.4** – Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat dösemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, bodrum katlarına ve üstteki katlara etkileyen esdeğer deprem yükleri, aşağıda belirtildiği üzere, ayrı ayrı hesaplanacaktır. Bu yükler, üst ve alt katların birleşiminden oluşan taşıyıcı sisteme birlikte uygulanacaktır.

**(a)** Üstteki katlara etkileyen toplam esdeğer deprem yükünün ve esdeğer kat deprem yüklerinin **2.7.1.1**, **2.7.2.2** ve **2.7.2.3**'e göre belirlenmesinde, bodrumdaki rijit çevre perdeleri gözönüne alınmaksızın **Tablo 2.5**'ten seçilen  $R$  katsayısı kullanılacak ve sadece üstteki katların ağırlıkları hesaba katılacaktır. Bu durumda ilgili bütün tanım ve bağıntılarda temel üst kotu yerine zemin katın kotu gözönüne alınacaktır. **2.7.4.1**'e göre birinci doğal titreşim periyodunun hesabında da, fiktif yüklerin belirlenmesi için sadece üstteki katların ağırlıkları kullanılacaktır (**Sekil 2.6b**).

**(b)** Rijit bodrum katlarına etkileyen esdeğer deprem yüklerinin hesabında, sadece bodrum kat ağırlıkları gözönüne alınacak ve *Spektrum Katsayısı* olarak  $S(T) = 1$  alınacaktır. Her bir bodrum katına etkileyen esdeğer deprem yükünün hesabında, **Denk.(2.1)**'den bulunan spektral ivme değeri ile bu katın ağırlığı doğrudan çarpılacak ve elde edilen elastik yükler,  $R_a(T) = 1.5$  katsayısına bölünerek azaltılacaktır (**Sekil 2.6c**).

**(c)** Üstteki katlardan bodrum katlarına geçişte yer alan ve çok rijit bodrum perdeleri ile çevrelenen zemin kat döşeme sisteminin kendi düzlemi içindeki dayanımı, bu hesapta elde edilen iç kuvvetlere göre kontrol edilecektir.



Şekil 2.6



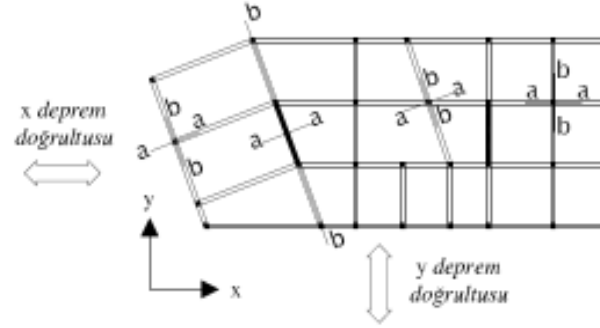
# Düzensizliklere getirilen telafiler

## 2.7.5. Eleman Asal Eksen Doğrultularındaki İç Kuvvetler

Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen x ve y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler, en elverişsiz sonucu verecek şekilde Denk.(2.12) ile elde edilecektir (Şekil 2.10).

$$B_x = \pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay} \quad \text{veya} \quad B_x = \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay}$$

$$B_y = \pm B_{bx} \pm 0.30 B_{by} \quad \text{veya} \quad B_y = \pm 0.30 B_{bx} \pm B_{by}$$
(2.12)



Şekil 2.10

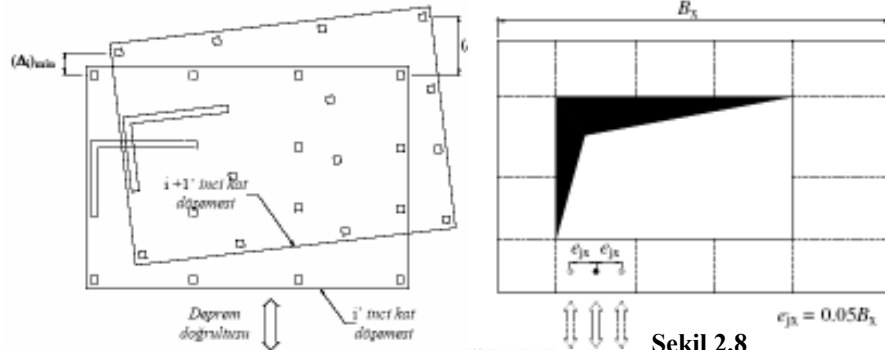
## 2.7.3. Gözönüne Alınacak Yerdeğiştirme Bileşenleri ve Deprem Yüklerinin Etkime Noktaları

2.7.3.1 – Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme bileşeni ile düşey eksen etrafındaki dönme, bağımsız yerdeğiştirme bileşenleri olarak gözönüne alınacaktır. Her katta 2.7.2'ye göre belirlenen eşdeğer deprem yükleri, ek dışmerkezlilik etkisi'nin hesaba katılabilmesi amacı ile, gözönüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ayrıca kat kütle merkezine uygulanacaktır (Şekil 2.7).

2.7.3.2 – Tablo 2.1'de tanımlanan A2 türü düzensizliğin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin yatay düzlemdeki şekildeğiştirmelerinin gözönüne alınmasını sağlayacak yeterlikte bağımsız statik yerdeğiştirme bileşeni hesapta gözönüne alınacaktır. Ek dışmerkezlilik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılacaktır (Şekil 2.8).

2.7.3.3 – Binanın herhangi bir i'inci katında Tablo 2.1'de tanımlanan A1 türü düzensizliğin bulunması durumunda,  $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$  olmak koşulu ile, 2.7.3.1 ve/veya 2.7.3.2'ye göre bu katta uygulanan +%5 ek dışmerkezlilik, her iki deprem doğrultusu için Denk.(2.10)'da verilen  $D_i$  katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.

$$D_i = \left( \frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2$$



Şekil 2.8

Döşemelerin kenar düzensizlikleri içine rijit diyafram

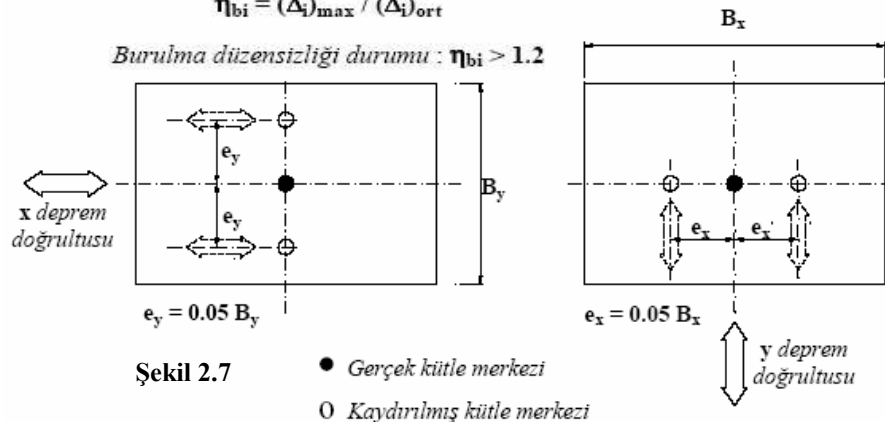
olarak çalışmaları durumunda

$$(\Delta_i)_{ort} = 1/2 [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}]$$

Burulma düzensizliği katsayısı :

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort}$$

Burulma düzensizliği durumu :  $\eta_{bi} > 1.2$



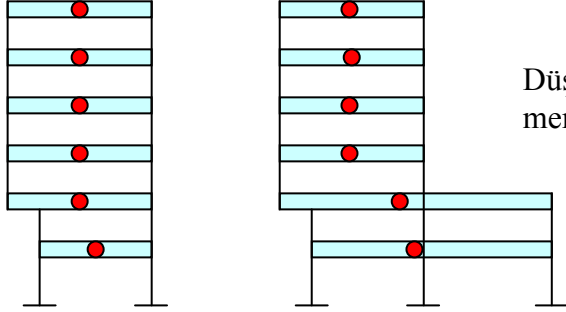
Şekil 2.7

● Gerçek kütle merkezi

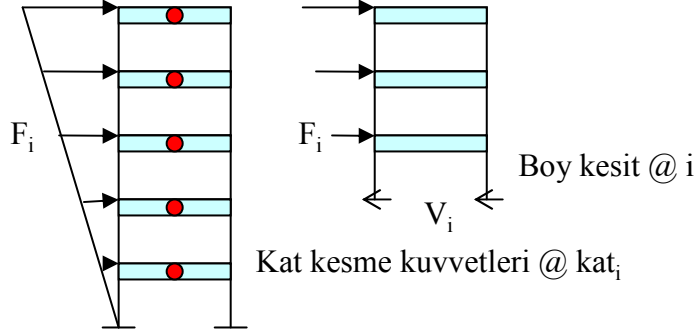
○ Kaydırılmış kütle merkezi

# İlave Eksantriklik

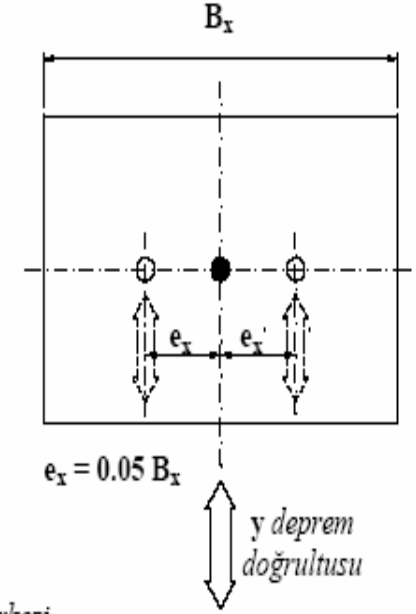
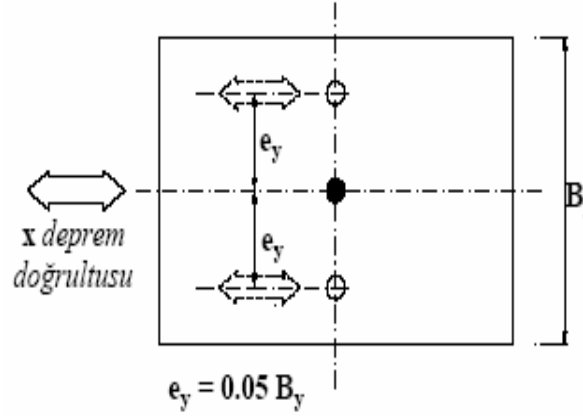
Düşeyde simetri çikmalarla bozulabilir.



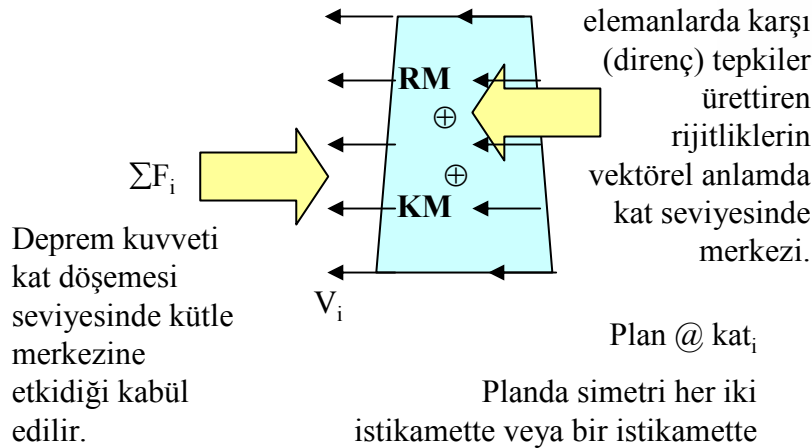
Düşey simetri bozuk yapılarda kütle merkezleri katlarda değişebilir.



Kat kesme kuvvetleri @ kat<sub>i</sub>



- Gerçek kütle merkezi
- Kaydırılmış kütle merkezi



Taşıyıcı elemanlarda karşı (direnç) tepkiler ürettiren rijitliklerin vektörel anlamda kat seviyesinde merkezi.

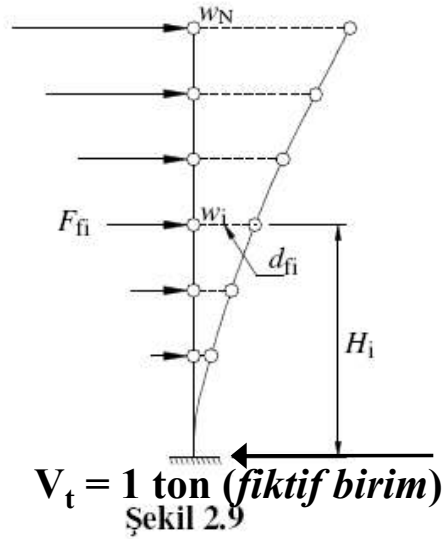
Plan @ kat<sub>i</sub>

Planda simetri her iki istikamette veya bir istikamette olmayabilir.

# YAPININ İLK DOĞAL TİTREŞİM PERİYOD HESABI TDY-2007

## 2.7.4. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

2.7.4.1 – Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanması durumunda, binanın deprem doğrultusundaki hakim doğal periyodu, **Denk.(2.11)** ile hesaplanan değerden daha büyük alınmayacaktır.



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

$$T_1 = 2\pi \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (m_i d_{fi}^2)}{\sum_{i=1}^N (F_{fi} d_{fi})} \right]^{\frac{1}{2}}$$

toplama tüm katlar üzerinde yapılır ( $i = 1, N$ ).  
**Denk.(2.11)**

$m_i$  = Kat toplam kütlesi

$F_{fi}$  = Katlara uygulanan fiktif yatay kuvvetleri

$d_{fi}$  =  $F_{fi}$  kuvvetlerinin ürettiği kat yer değiştirmeleri

i'inci kata etkiyen fiktif yükü gösteren  $F_{fi}$ , **Denk.(2.9)**'da ( $V_t - \Delta FN$ ) yerine herhangi bir değer (*örneğin birim değer*) konularak elde edilecektir (**Sekil 2.9**).

**2.7.4.2 – Denk.(2.11)** ile hesaplanan değerden bağımsız olarak, bodrum kat(lar) hariç kat sayısı  $N > 13$  olan binalarda doğal periyod,  $0.1N$ 'den daha büyük alınmayacaktır.

# Mod Birleştirme Yöntemi ( modal spektral analiz )

## 2.8.1. vme Spektrumu

Herhangi bir n'inci titreşim modunda gözönüne alınacak *azaltılmış ivme spektrumu* ordinatı **Denk.(2.13)** ile belirlenecektir.

$$S_{aR}(T_r) = \frac{S_{ae}(T_r)}{R_a(T_r)} \quad \text{Denk.(2.13)}$$

Elastik tasarım ivme spektrumunun **2.4.4'e** göre özel olarak belirlenmesi durumunda, **Denk.(2.13)**'te  $S_{ae}(T_n)$  yerine, ilgili özel spektrum ordinatı gözönüne alınacaktır.

## 2.8.2. Gözönüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri

**2.8.2.1** – Dösemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi gözönüne alınacaktır. **Her katta modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesaplanacak, ancak ek dışmerkezlilik etkisi'nin hesaba katılabilmesi amacı ile, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve □%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine uygulanacaktır (Sekil 2.7).**

**2.8.2.2** – **Tablo 2.1**'de **A2** başlığı altında tanımlanan döşeme süreksizliğinin bulunduğu ve dösemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, dösemelerin kendi düzlemleri içindeki sekildegistirmelerinin gözönüne alınmasını sağlayacak yeterlikte dinamik serbestlik derecesi gözönüne alınacaktır. Ek dışmerkezlilik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen modal deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve □%5'i kadar kaydırılacaktır (**Sekil 2.8**). Bu tür binalarda, sadece ek dışmerkezlilik etkilerinden oluşan iç kuvvet ve yerdegistirme büyüklükleri **2.7**'ye göre de hesaplanabilir. Bu büyüklükler, ek dışmerkezlilik gözönüne alınmaksızın her bir titreşim modu için hesaplanarak **2.8.4**'e göre birleştirilen büyüklüklere doğrudan eklenecektir.

## 2.8.3. Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı

**2.8.3.1** – Hesaba katılması gereken *yeterli titreşim modu sayısı*,  $Y$ , gözönüne alınan birbirine dik  $x$  ve  $y$  yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan *etkin kütle*'lerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir.

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (2.14)$$

$$\sum_{n=1}^Y M_{yn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i$$

**Denk.(2.14)**'te yer alan  $L_{xn}$  ve  $L_{yn}$  ile modal kütle  $M_n$ 'nin ifadeleri, kat dösemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalar için aşağıda verilmiştir:

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin} \quad ; \quad L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{yin} \quad (2.15)$$

$$M_n = \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{\theta i} \Phi_{\theta in}^2)$$

## Mod Birleştirme Yöntemi ( modal spektral analiz )

Yapıda yeterli sayıda (kütle katılım oranının %90 'nını kapsayan) doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum iç kuvvetler ve yerdeğiştirmelerin katkılarını istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir. Her bir modun maksimum katkılarını değişik birleştirme teknikleriyle hesaplarız. TDY-007, değişik durumlar için değişik birleştirme teknikleri öngörmüştür. Bunlar;

(1)  $T_s < T_r$  olmak üzere, gözönüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima  $T_s / T_r < 0.80$  koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için *Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı* uygulanabilir.

(2) Bir koşulunun sağlanamaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için *Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı* uygulanması öngörülmüştür. Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak *çapraz korelasyon katsayıları*'nın hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır.

A1, B2 ve B3 türü düzensizliklerden en az birinin **bulunması** hâlinde

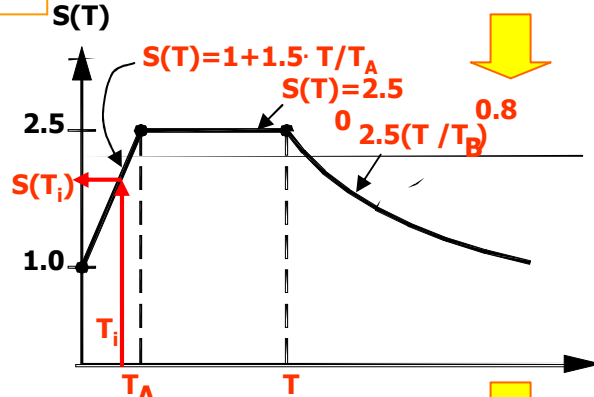
$$\left[ \begin{array}{l} \text{Modal Birleştirme Yöntemi} \\ \text{ile bulunan deprem yükü} \end{array} \right] \leq \%90 \left[ \begin{array}{l} \text{Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi} \\ \text{ile bulunan deprem yükü} \end{array} \right]$$

A1, B2 ve B3 türü düzensizliklerinin **bulunmaması** hâlinde

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Modal Birleştirme Yöntemi} \\ \text{ile bulunan deprem yükü} \end{array} \right] \leq \%80 \left[ \begin{array}{l} \text{Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi} \\ \text{ile bulunan deprem yükü} \end{array} \right]$$

## Türkiye için Makro Tasarım İvme Spektrumu

| Yerel Zemin Sınıfı | $T_A$ (sn) | $T_B$ (sn) |
|--------------------|------------|------------|
| Z1                 | 0.10       | 0.30       |
| Z2                 | 0.15       | 0.40       |
| Z3                 | 0.15       | 0.60       |
| Z4                 | 0.20       | 0.90       |



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

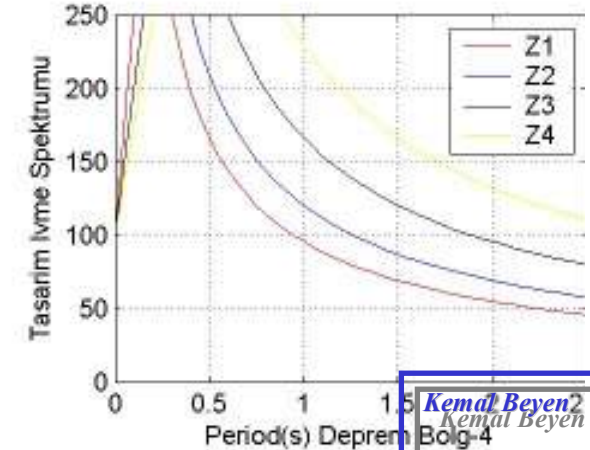
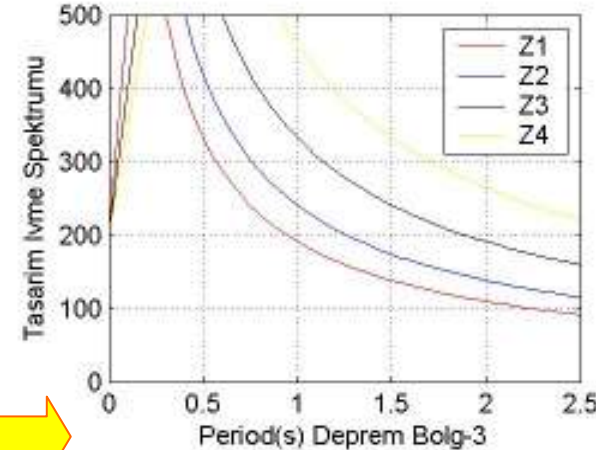
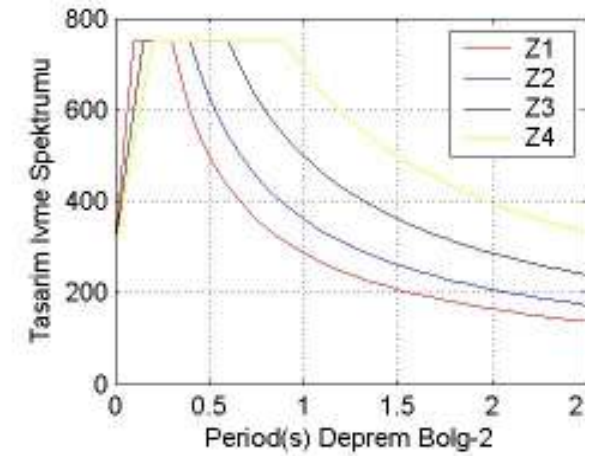
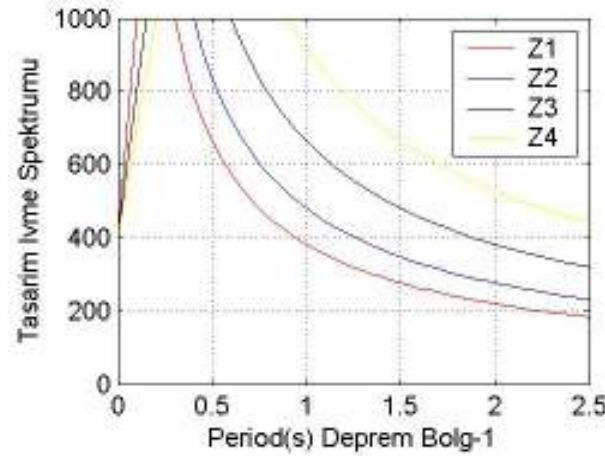
TABLO 2.3 - BİNA ÖNEM KATSAYISI (I)

| Binanın Kullanım Amacı veya Türü                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Bina Önem Katsayısı (I) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>1. Deprem sonrası kullanımını gerektiren binalar ve tehlikeli madde taşıyan binalar</b><br>a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispensarler, 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)<br>b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar | 1.5                     |
| <b>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyaların saklandığı binalar</b><br>a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.<br>b) Müzeler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1.4                     |
| <b>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</b><br>Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1.2                     |
| <b>4. Diğer binalar</b><br>Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türe endüstri yapıları, vb.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1.0                     |

$$A(T_i) = A_0 \cdot I \cdot S(T_i)$$

TABLO 12.2 - YEREL ZEMİN SINIFLARI

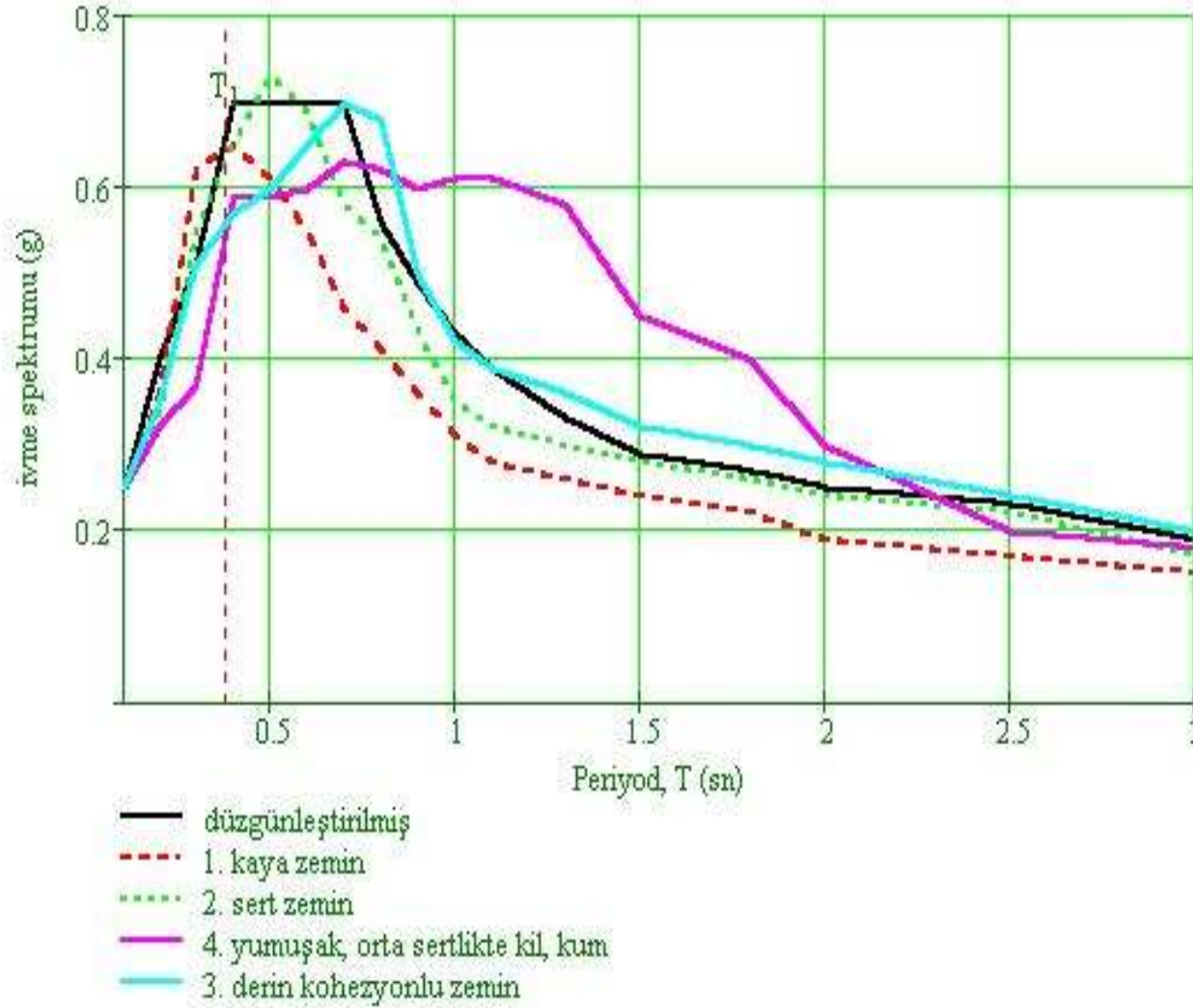
| Yerel Zemin Sınıfı | Tablo 12.1'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı ( $h_1$ )                        |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Z1                 | (A) grubu zeminler<br>$h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler                                     |
| Z2                 | $h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler<br>$h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler                   |
| Z3                 | $15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler<br>$h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler |
| Z4                 | $h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler<br>$h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler                      |



TABLO 12.1 - ZEMİN GRUPLARI

| Zemin Grubu | Zemin Grubu Tanımı                                                                                                | Stand. Penetr. (N/30) | Relatif Sıklık (%) | Serbest Basınç Düzeyi (kPa) | Kayma Dalgası Hızı (m/s) |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------|
| (A)         | 1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar                  | —                     | —                  | > 1000                      | > 1000                   |
|             | 2. Çok sıkı kum, çakıl                                                                                            | > 50                  | 85-100             | —                           | > 700                    |
|             | 3. Sert kil ve siltli kil                                                                                         | > 32                  | —                  | > 400                       | > 700                    |
| (B)         | 1. Tuf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar | —                     | —                  | 500-1000                    | 700-1000                 |
|             | 2. Sıkı kum, çakıl                                                                                                | 30-50                 | 65-85              | —                           | 400-700                  |
|             | 3. Çok katı kil ve siltli kil                                                                                     | 16-32                 | —                  | 200-400                     | 300-700                  |
| (C)         | 1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik                                                 | —                     | —                  | —                           | —                        |

## Zemin üzerinde kaydedilmiş depremlerden Hesaplanmış İvme Spektrum Eğrileri



# ZAMAN TANIM ALANINDA HESAP YÖNTEMLER

## 2.9. ZAMAN TANIM ALANINDA HESAP YÖNTEMLER

Bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında dogrusal elastik ya da dogrusal elastik olmayan deprem hesabı için, *yapay* yollarla üretilen, daha önce *kaydedilmiş* veya *benzestirilmiş* deprem yer hareketleri kullanılabilir.

### 2.9.1. Yapay Deprem Yer Hareketleri

Yapay yer hareketlerinin kullanılması durumunda, asagıdaki özellikleri taşıyan en az üç deprem yer hareketi üretilecektir.

(a) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci dogal titresim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.

(b) Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme degerlerinin ortalaması  $A_{og}$ 'den daha küçük olmayacaktır.

(c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme degerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem dogrultusundaki birinci (hakim) periyod  $T_1$ 'e göre  $0.2T_1$  ile  $2T_1$  arasındaki periyodlar için, 2.4'te tanımlanan  $S_{ae}(T)$  elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır. Zaman tanım alanında *dogrusal elastik analiz* yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme degerleri **Denk.(2.13)** ile hesaplanacaktır.

### 2.9.2. Kaydedilmiş veya Benzestirilmiş Deprem Yer Hareketleri

Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzestirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde gözönüne alınmalıdır. Kaydedilmiş veya benzestirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilecek ve bunlar 2.9.1'de verilen tüm koşulları sağlayacaktır.

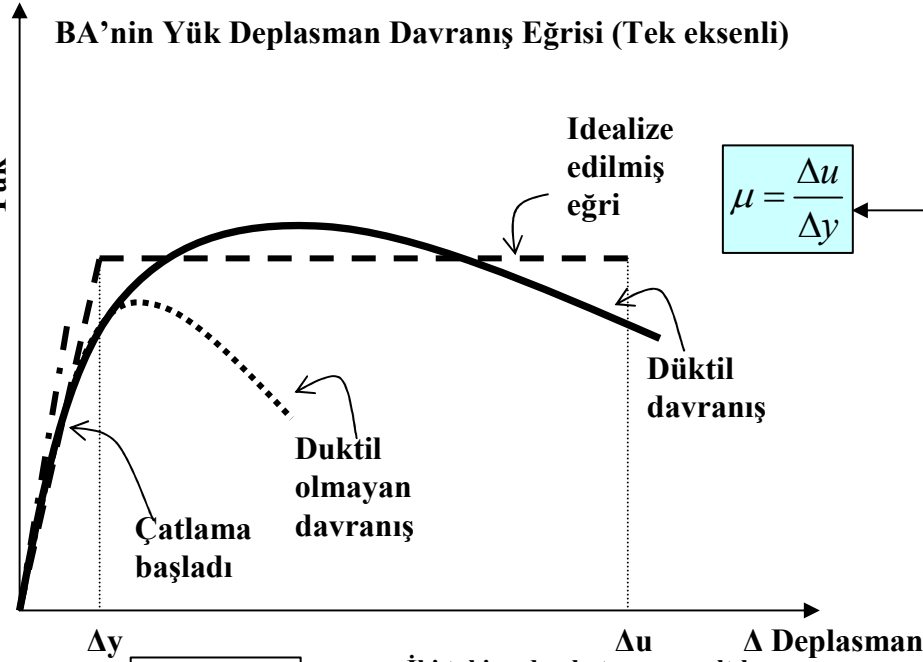
### 2.9.3. Zaman Tanım Alanında Hesap

Zaman tanım alanında dogrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvetsekildegistirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanacaktır. Dogrusal veya dogrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır.



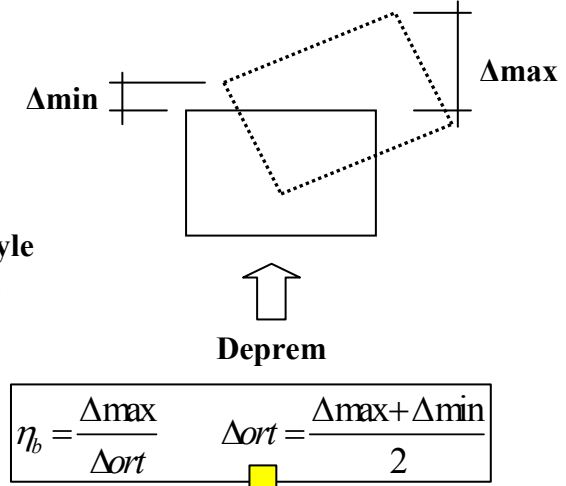
# Düktilite

Mühendislik Parametreleri



$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

R parametresiyle öngörülen düktilite



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

$\Delta_i = d_i - d_{i-1}$  ← İki takip eden kat arası azaltılmış deprem etkisinde görel kat ötelemesi

$\delta_i = R\Delta_i$  ← Etkin görel kat ötelemesi

$(\delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02$  ← i. kat için ötelenme sınırları

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.

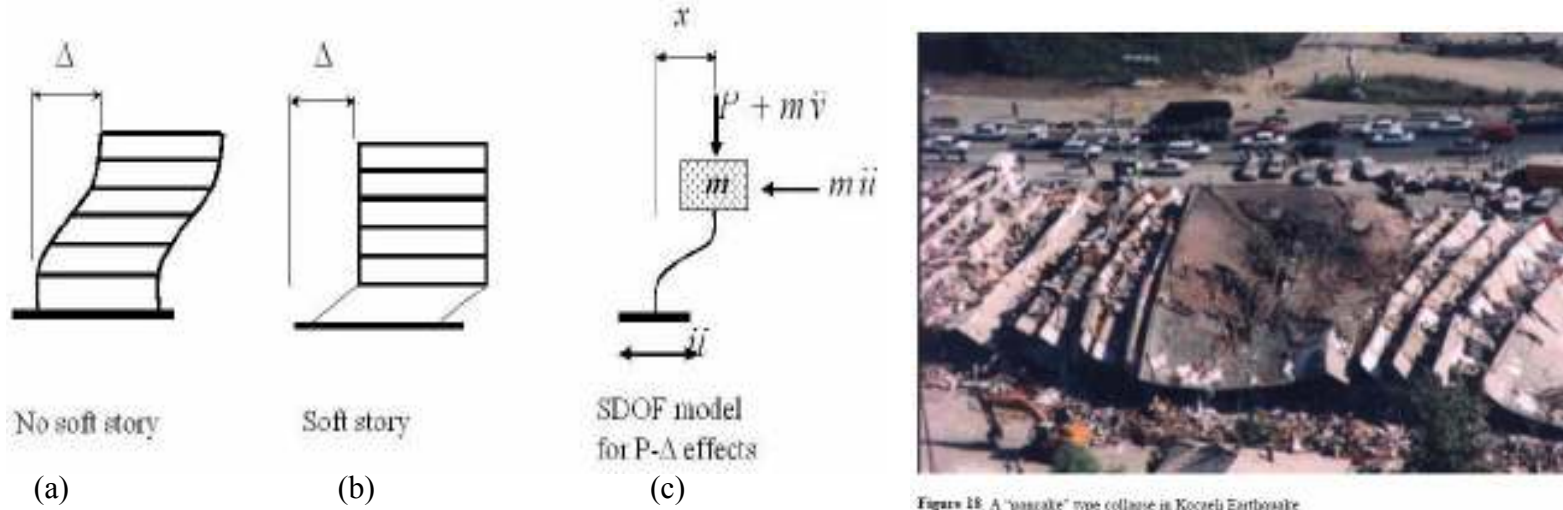


Eksantrikliğin Nedenleri ve Sonuçları :

- 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.

Kemal Beyen  
Kemal Beyen

# P – D Etkisi



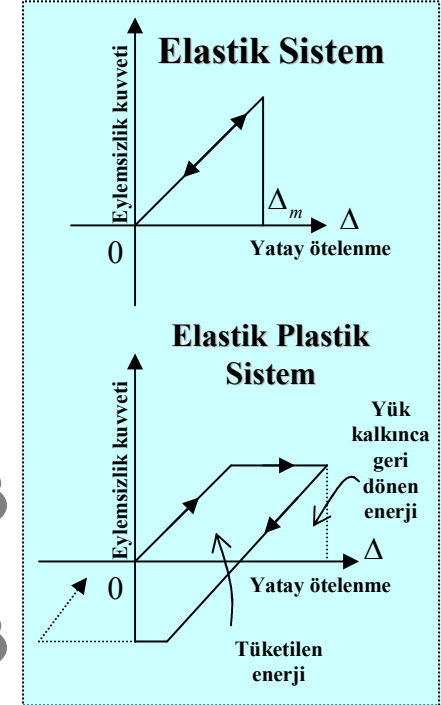
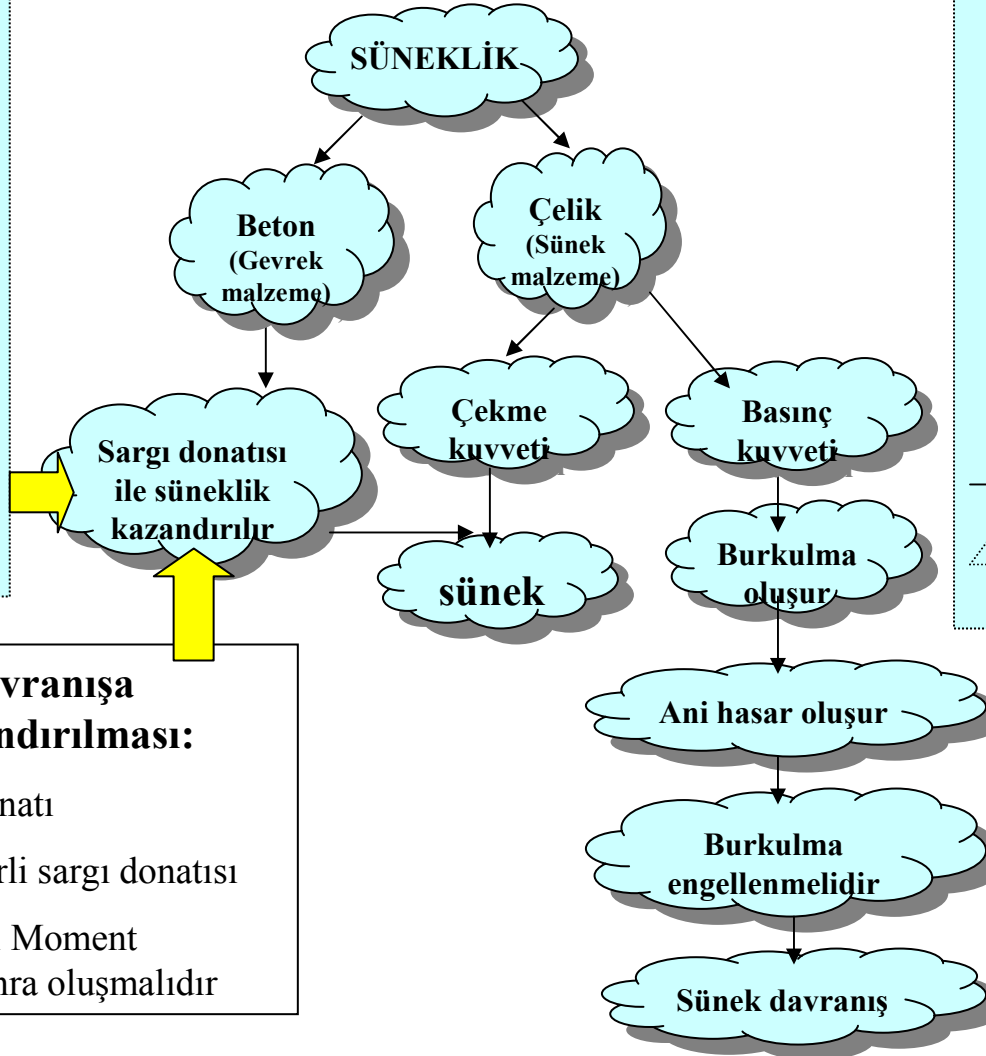
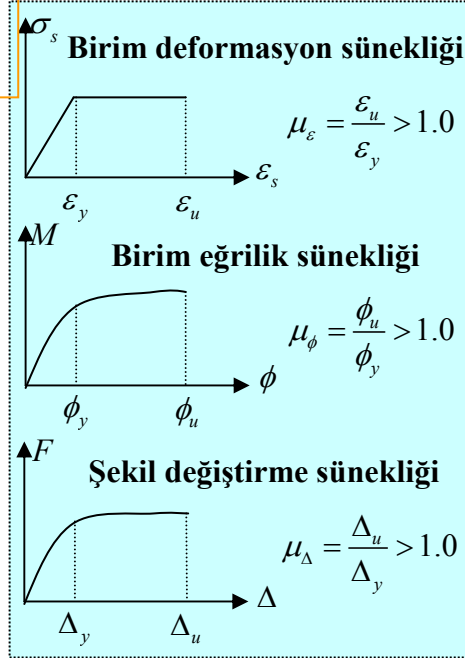
Deprem sonrası saha gözlemleri birçok yapının yumuşak zemin kat göçmeleriyle hasar aldıklarını göstermektedir.

a) Analizlerimizde, yapının tüm katlarının deformasyona rijitlikleri oranında iştirak ederek deprem enerjisini kabüledilebilir sınırlar içerisinde deformasyon işiyle harcarlar.

b) Yumuşak zemin kat yapılarda deprem enerji girdisi, bu kat seviyesinde büyük deformasyonlara uğrayarak sıfırlanmaya çalışılır. Kat rijitliğine katkı veren diğer yapısal olmayan taşıyıcı elemanların eksik olmasının yanı sıra en büyük taban kesme kuvvetine maruz kalan ve en büyük zorlanmalarla karşı karşıya olacak olan bu kat, deprem enerji girdisinin yapı sal yayılım burasıdır. Dolayısıyla en büyük ötelenme ve sonuçta sınırların aşıldığı en büyük hasar ve taşıma gücü kaybı burada oluşur. Üst katlar elastik davranır ve hasar almaz.

c) Gerçekte, yapı düşeyde kendi ağırlığı (P) altında yatay deprem ( $\ddot{u}$ ) etkisinde yanal ötelenmeleri (x) şartnamelerde verilen sınırlar içinde yapar. Yatay ötelenmenin ulaştığı x mesafede, kütle merkezinden x kadar yapı kendi ağırlığını (P) ötelemiştir. Bu x ötelemede düşeyde kendi ağırlığının (P) yanı sıra, düşey deprem hareketinin yapı kütlesiyle oluşturdukları ilave kuvvet ( $m\ddot{u}$ ) yapıya ilave zorlanmalar getirir.

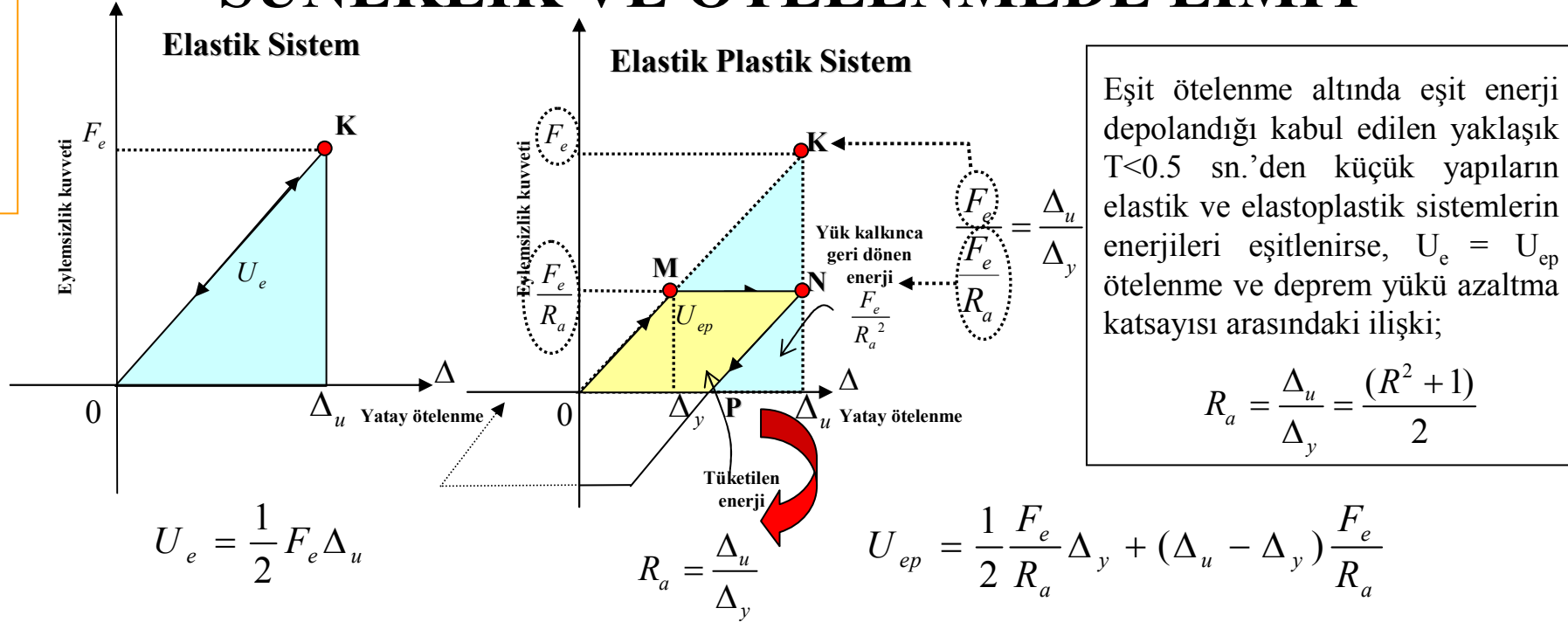
# Deprem güvenliği olan ve dayanıklılığı olan yapı sünek malzemeler kullanılarak ve/ya sünek davranırılacak şartlar oluşturularak sağlanmalıdır



## Betonarme davranışa süneklık kazandırılması:

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

# SÜNEKLİK VE ÖTELENMEDE LİMİT



Elastik dizayn edilmiş periyodu yüksek yapılar (mesela  $T > 0.8$  sn.) deprem kuvvetleri altında artan eylemsizlik kuvvetleriyle kırılma, K durumuna  $\Delta_u$  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 mafsal oluştuğunda yapı üstüne etkiyen depreme karşın eylemsizlik kuvvetini artırmayıp sabit kalır ve sünekleşen yapı ötelenmeler altında N noktasında  $\Delta_u$  değerine yine ulaşılmış olur. Aynı deprem kuvvetleri altında elastik ve elasto-plastik sistemlerin yaklaşık eşit  $\Delta_u$  yatay ötelenme gösterdiği tecrübe edilmiş ve mafsal ile kırılma noktalarındaki ötelenme oranı ötelenme sünekliği veya deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a$  şartnamede tanımlanmıştır. Mesela  $R_a$  4 durumunda yapı nihayi ötelenme  $\Delta_u$  durumuna  $\Delta_y$  nin 4 misli büyümesine müsaade edilerek ama etkiyen deprem kuvvetlerine rağmen sabit eylemsizlik kuvvetleri altında gelecektir.

# YAPI PERİYODU VE YAPI DAVRANIŞ BİLGİSİ

## **$T < 0.5$ 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.

# Elastik Yapının İdealize Edilmiş İvme Spektrumu

Aynı  $m$  kütleli fakat değişik titreşim periyotları olan bir çok (Tek Serbest Dereceli) TSD sistemin depreme maruz kaldığını ve kütlelerinde oluşacak ivmeler taşıyıcı sistemin doğal periyoduna ve yerel zemin ilişkisine bağlı olarak büyüdüğünü veya küçüldüğünü geçmiş deprem kayıtları üzerinde yapılan çalışmadan biliyoruz. Bu değişik titreşim periyotlu TSD fakat eş  $m$  kütleli sistemlerin üzerinde oluşan bu ivmeler ilişkisine istatistiksel teorilerle uydurulan doğrularla basitleştirilmiş zarf eğrisine ivme spektrumu diyoruz (Elastik Dizayin Spektrumu).

Depremin ilk vurduğu anda elastik doğrusal özellikteki yapı üzerinde hissettirdiği ivme

$$F_0 = m \cdot a_0$$

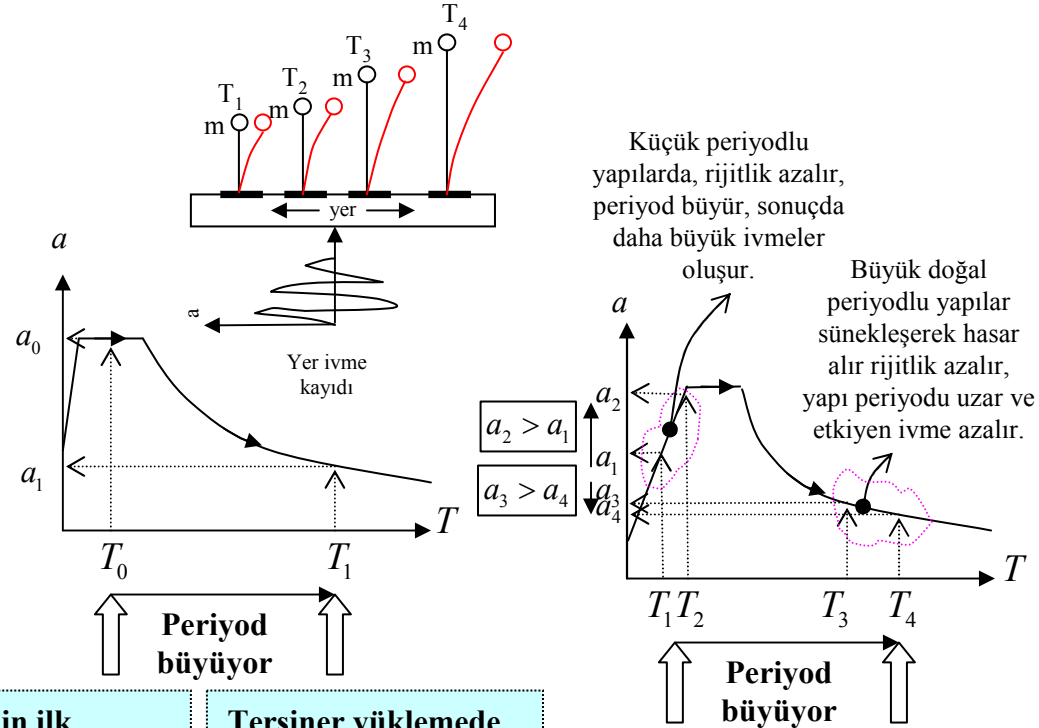
gibi bir kuvveti kütle merkezinde oluşturacaktır. Bu kuvvete direnç olarak (eylemsizlik) yapı taşıyıcı elemanı üzerinde iç kuvvetler oluşur. Şiddetli bir deprem ise beton ezilecek kolon birleşim noktalarında donatı akması ve mafsallaşma olacaktır. Hasarlı yapı deprem kuvvetlerine daha yumuşak davranışa geçer ve tepki periyodu uzar  $T_1$  değerine ulaşır. Bu yumuşamayla üzerine gelen enerji işe dönüşmüş (sönümlenmiş) ve ivme değeri  $a_1$  'e düşmüş, kütle merkezindeki etken kuvvet ise

$$F_1 = m \cdot a_1$$

Değerine gerilemiştir. Yapı bu davranışı süneklik seviyesine bağlı olarak oluşturur.

Depremin ilk vurduğu anda yapı üzerinde hissettirdiği periyod

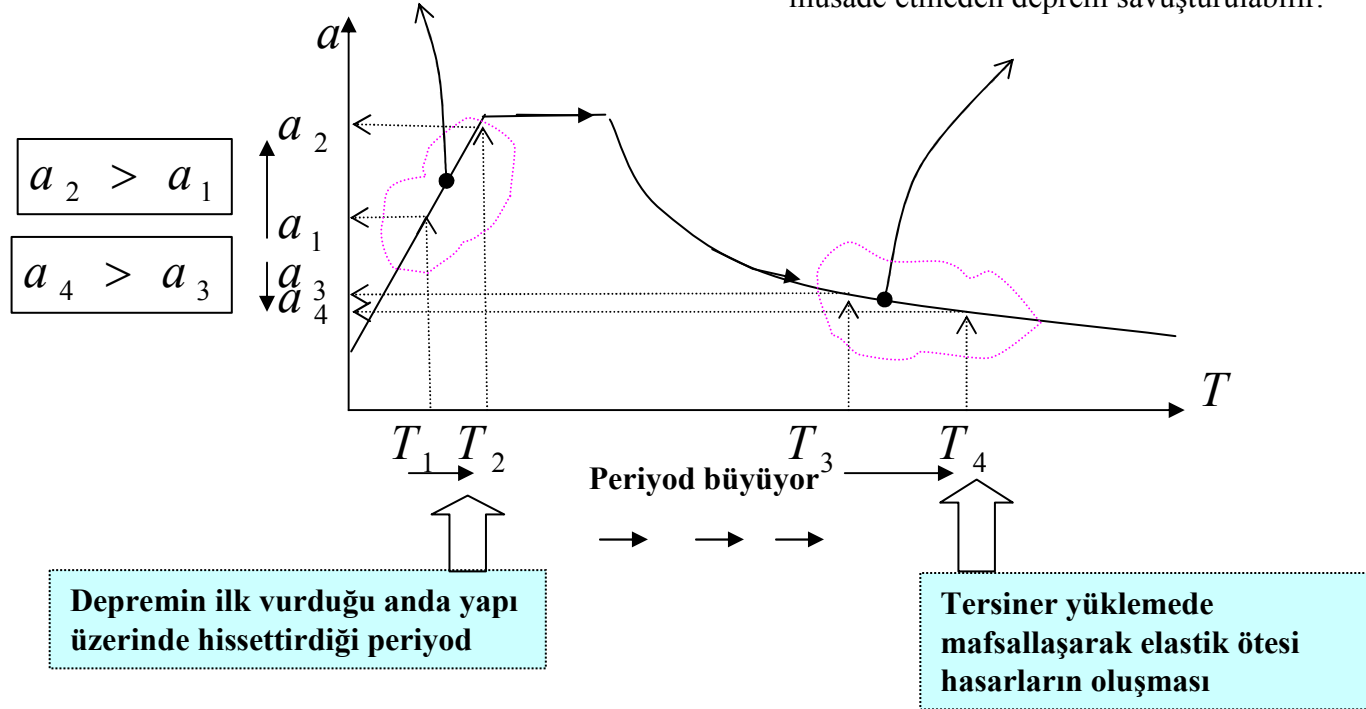
Tersiner yüklemde mafsallaşarak elastik ötesi hasarların oluşması



Küçük periyodlu yapılarda, rijitlik bir şekilde (söndürücülerle (diyagonaller, chevron elemanlar veya güçlendirmelerle (mantolama ilave perdeler vs. ile)) artırılıp, periyod büyütüldüğünde, eğimin oldukça dik olduğu bu bölgede yapı üstüne gelen deprem kuvvetleri orantılı olarak artıp hasar alıp rijitlik kaybına uğrayıp periyodu büyümüş yapıya (yada güçlendirilerek periyodu büyütülmüş yapıya) etkimeye devam etmektedir. Yapı buna karşın tepkisini büyütür. Deprem hakim periyodu ile yapının öz periyodunun uyuşması ise yapının rezonansa girerek tepkisinin (davranışının) uzamasına ve taşıyıcı elemanlarının buna intibak zorluğu yaşamasına neden olur. Bu intibak zorluğu taşıyıcı yapı elemanlarının büyük deplasmanlara (deformasyonlara) bulunduğu fiziki ve malzeme sınır şartları olarak müsaade eder serbestlikte olmamalarındandır. Zaten intibak sağlandığı an yapıda çözülme başlar ve göçmeyi takip eden çökme ile yapı rijitliği sıfırlanmış olur.

## Yapı Rijidliğine Müdahale Ne Kadar Doğru? Nasıl Güçlendirelim ?

Büyük doğal periyodlu yapılar yüksek süneklik özellikleriyle istenen elemanlara hasar aldırılarak rijitlik kaybına uğratılıp, yapı periyodunun uzamasına ve etkiyen ivmenin azalmasıyla göçmeye ve çökmeye müsaade etmeden deprem savuşturulabilir.



# Yüksekliği 25 m'den küçük veya eşit yapılar için hesapta izlenen yol

1. Deprem Katsayısı Ön Hesabı..... $C=A_0IS/R$  ( $S=1$ )
2. Toplam Yatay Yük Hesabı..... $V_t = CW$
3. Deprem Yükleri Hesabı..... $F_i = V_t \frac{w_i H_i}{\sum w_i H_i}$
4. Yatay Yük Analizi (Deprem Hesabı)...Deprem Momentleri ( $M_E$ )  
yerdeğişimler ( $d_i$ )
5. Hakim Periyod Hesabı..... $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum m_i d_i^2}{\sum F_i d_i}}$
6. Spektrum Katsayısı Hesabı..... $S=2.5(T_B/T_1)^{0.8}$  ( $S_{\max} = 2.5$ )
7.  $S < S_{\min} = 0.1R$  ise..... $S=S_{\min}$
8. Deprem Momentlerinin Düzeltilmesi.... $M_E \rightarrow SM_E$

$C$  : Deprem katsayısı

$A_0$ : Etkin yer ivme katsayısı

$I$  : Bina önem katsayısı

$S$  : Spektrum katsayısı

$R$ : Yapı davranış (Deprem yükü azaltma) katsayısı

$W$ : Toplam yapı ağırlığı

$V_t$ : Toplam Yatay Yük (Taban kesme kuvveti)

$w_i$ :  $i$ nci kat ağırlığı

$H_i$ :  $i$ nci kat ile temel kotu arası yükseklik

$m_i$ :  $i$ nci kat kütlesi

$T_B$ : Yerel zemin sınıfına bağlı karakteristik periyod

$T_1$ : Yapının 1. doğal titreşim periyodu

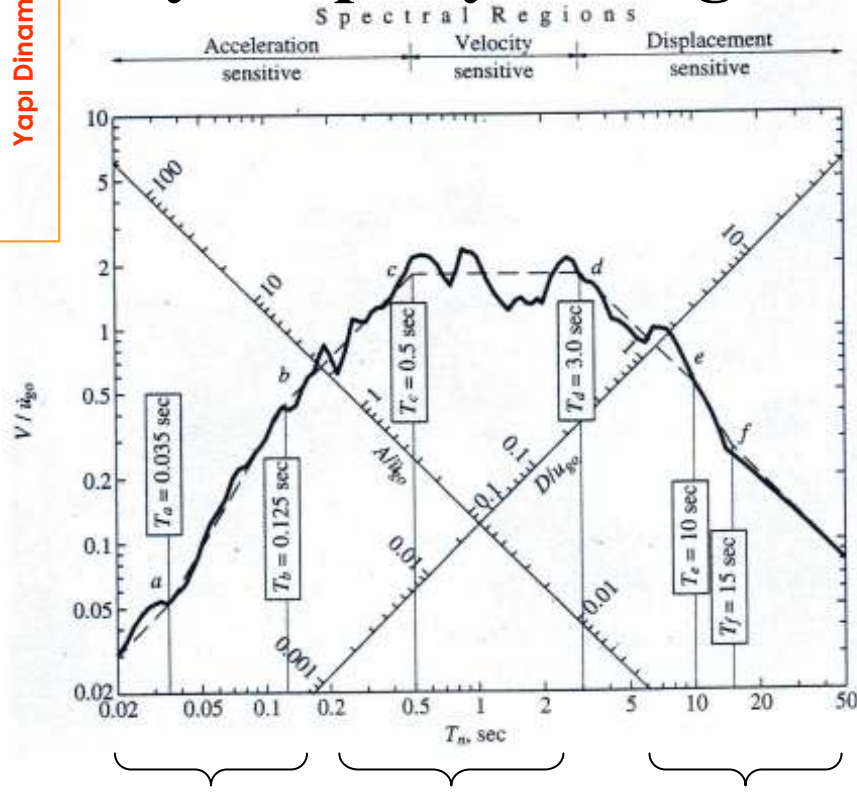


# Yüksekliği 25 m'den büyük yapılar için hesapta izlenen yol

1. Toplam Yatay Yük Ön Hesabı.....  $V_t = 0.1W$
2. Deprem Yükleri Ön Hesabı.....  $F_i = V_t \frac{w_i H_i}{\sum w_i H_i}$
3. Yatay Yük Analizi (Deprem Hesabı)... Yerdeğiştirmeler ( $d_i$ )
4. Hakim Periyod Hesabı.....  $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum m_i d_i^2}{\sum F_i d_i}}$
5. Toplam Yapı Yüksekliği  $H_N > 54m$ .....  $T_{1A} = C_T H_N^{3/4}$   $T_1 > 1.30T_{1A}$  ise  $T_1 = 1.30T_{1A}$
6. Spektrum Katsayısı Hesabı.....  $S = 2.5(T_B / T_1)^{0.8}$  ( $S_{\max} = 2.5$ )
7.  $S < S_{\min} = 0.1R$  ise.....  $S = S_{\min}$
8. Deprem Katsayısı Hesabı.....  $C = A_0 IS/R$
9. Toplam Yatay Yük Hesabı.....  $V_t = CW$
10. Ek Tepe Yüğü Hesabı.....  $\Delta F_N = 0.07T_1 V_t$  ( $\Delta F_N \leq 0.2V_t$ )
11. Deprem Yükleri Hesabı.....  $F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum w_i H_i}$   
 $F_N = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_N H_N}{\sum w_i H_i} + \Delta F_N$
12. Yatay Yük Analizi (Deprem Hesabı).. Deprem Momentleri ( $M_E$ )

# İnşaat Mühendisliği Açısından Spektral Analiz Metodu

# Duyarlı periyod bölgeleri



ivme duyarlı  
periyod bölgesi

hız duyarlı  
periyod bölgesi

deplasman duyarlı  
periyod bölgesi

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 rijid yapısında davranışını açıklayan bir özelliktir, benzer şekilde uzun periyod flaxible (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 Diplacement=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 period bölgesi

Düşük **PGD/PGV** oranı daha uzun deplasman hassas period 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 periyodlu  $T_1$ ) 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.

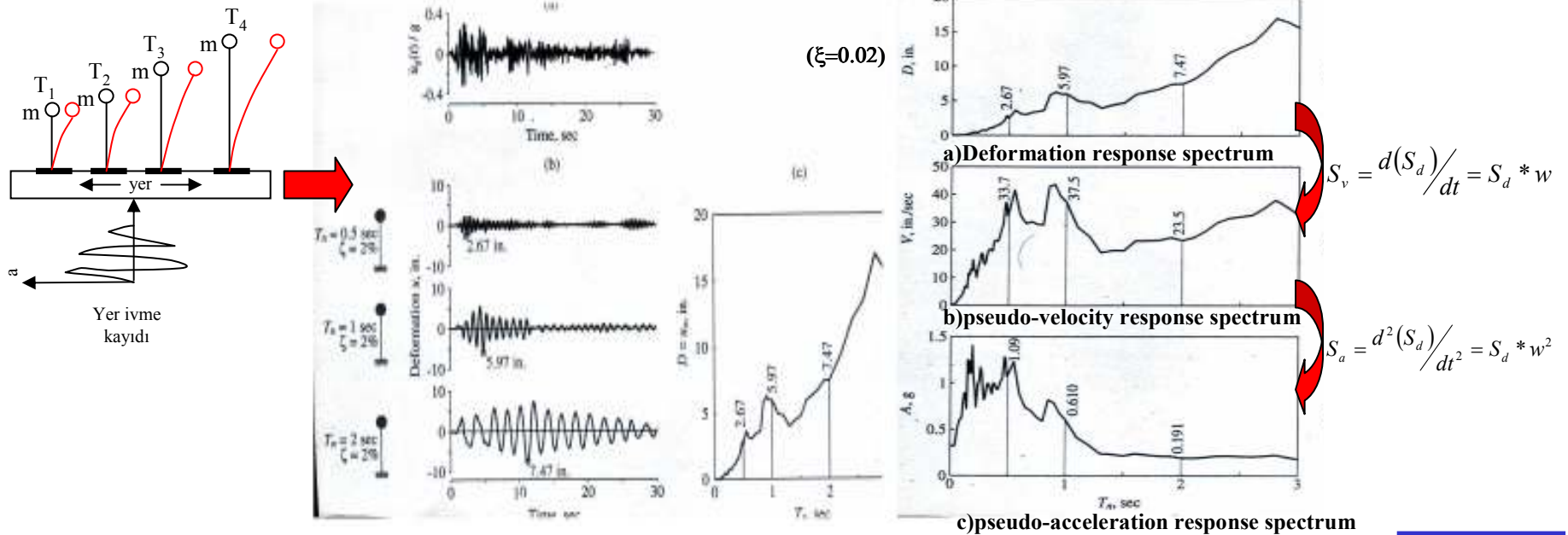
- İkincil mertebedeki sönüm katkılarını azaltacaktır.

- Depremin talep ettiği düktilite bu geniş ivme duyarlı periyod bölgesinde artacaktır.

# Ek-1: Spektrum Üretme

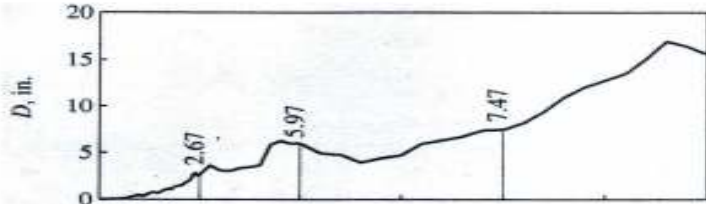
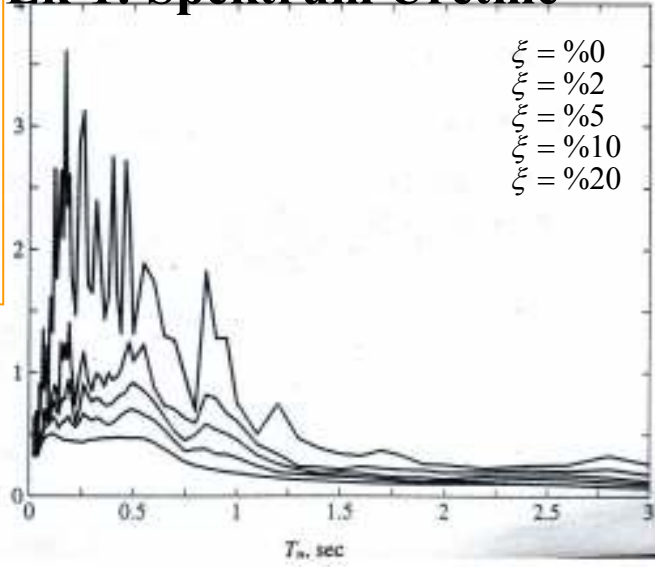
## Tepki Spektrumu

- 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 çözmeye 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.

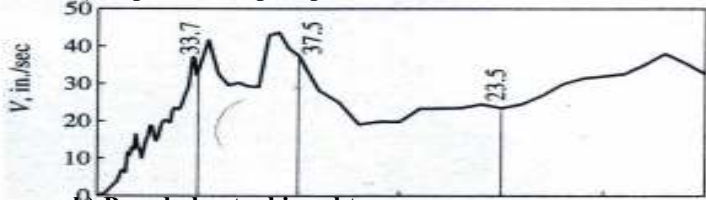


## Ek-1: Spektrum Üretme

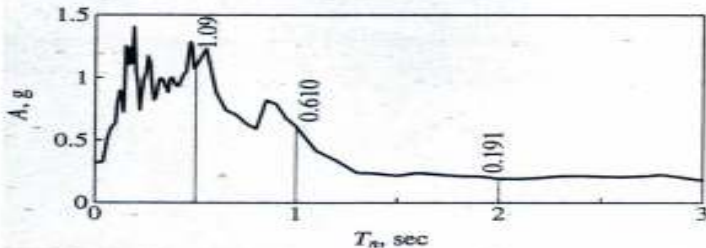
$f_0/w = A$  Yalancı Dinamiği



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.

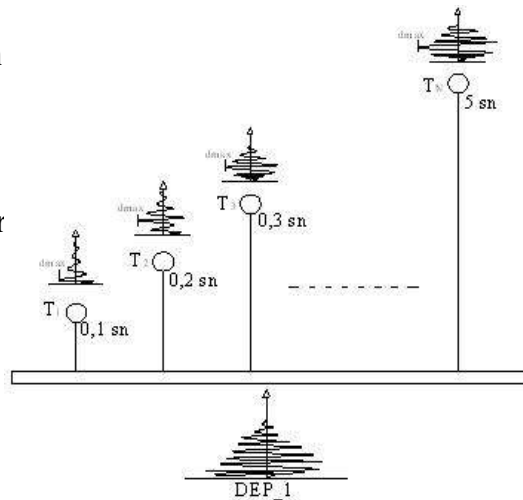
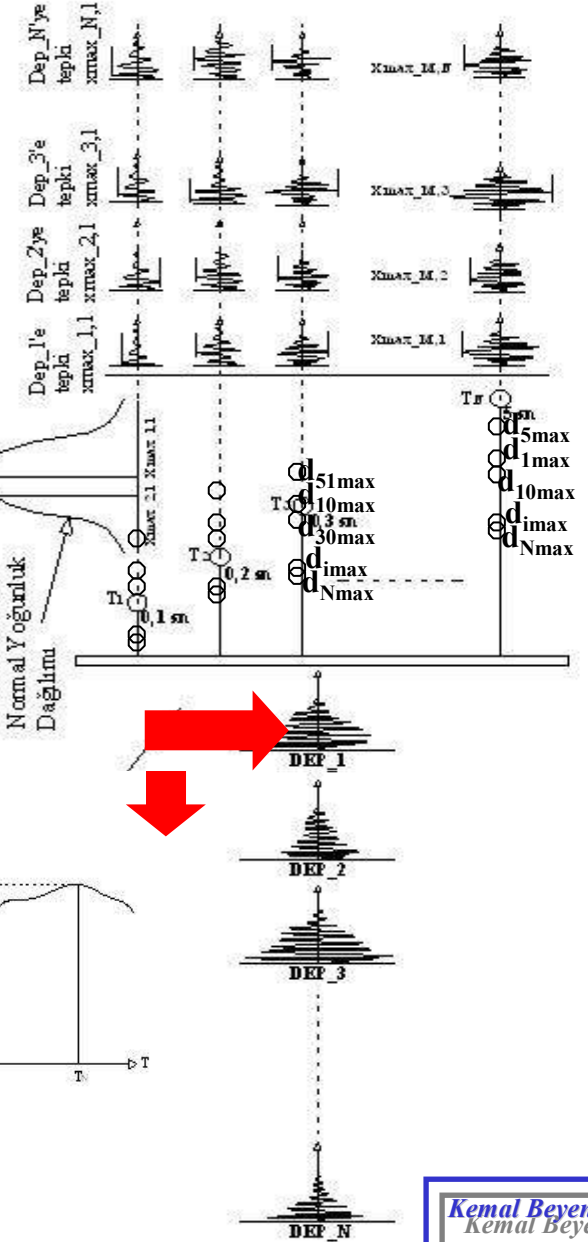
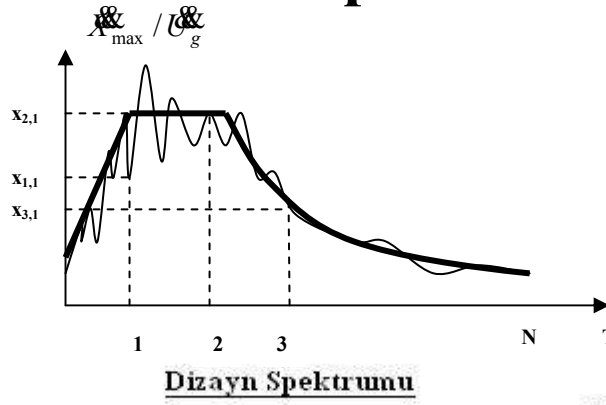
1. İvme spektrumu, TSD yapının hissettiği yapısal ivme olduğu düşünülerek spektrumun başına “pseudo”, “yalancı” anlamında bir sıfat konularak “Yalancı İvme Spektrumu” adını verilir.
2. Çok düşük periyodlu bir yapının ( çok rijit) zeminin yüzeyindeki davranış ile aynı davranışı bire-bir intikal ettirdiği düşünülerek (%0 sönüm) Pseudo İvme Spektrum’undaki çok düşük T’ye tekabül eden ivme, yer ile takriben aynı olduğunu kabul edebiliriz.
3. 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.
4. 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.
5. Çok düşük periyotta çok az deplasman, büyük periyotta ise büyük deplasmanlar gözleniyor.
6. Hızın etkinliği, orta periyot bölgesindedir. Faya yakın yapılarda büyük periyodlu yüksek hızlı deprem dalgaları yine benzer periyodlu yapılar için rezonans şartlarını üretir.
7. Büyük periyotlarda 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 sınırlanmasını kaçınılmaz kılıyor.

# Ek-1: Spektrum Üretme Elastik Tasarım Spektrumu

Yapı Dinamiği

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 zar ile oluşturulmuştur.



## Ek-2: Yapı Dinamiği

Yapı Dinamiği

TSDS Hareket Denklemi (sönümlü sistem):

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = X_g m \quad \text{zorlanmış hareket}$$

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad \text{serbest hareket}$$

Çözüm:

$$x(t) = x_0(t) + x_g(t)$$

$$x = e^{-\omega_d t} (A \cos \omega_d t + B \sin \omega_d t) \quad \text{sönümlü sistem}$$

TSDS Hareket Denklemi (sönümsüz sistem):

$$m\ddot{x} = X_g m \quad \text{zorlanmış hareket}$$

$$m\ddot{x} = 0 \quad \text{serbest hareket}$$

Çözüm:

$$x(t) = x_0(t) + x_g(t)$$

$$x = A \cos \omega t + B \sin \omega t \quad \text{sönümlü sistem}$$

$m$ : TSD sistemin kütlesi,

$c$ : Sönüm katsayısı (viskoz),

$k$ : Rijitlik (yay) katsayısı,

$x, x_g, x_0$ : Hareket, genel (serbest) hareket, özel hareket

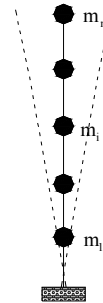
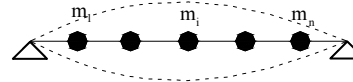
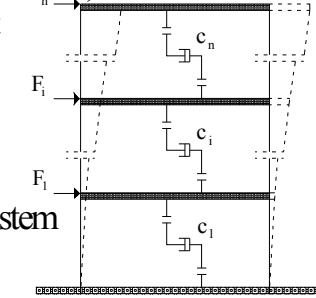
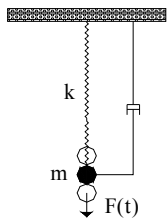
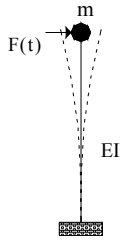
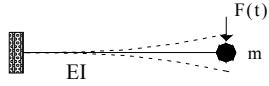
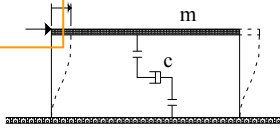
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{Doğal titreşim açısal frekansı}$$

$$q = \omega \xi = \frac{c}{2m} \quad \text{Sadeleştirme amaçlı katsayı}$$

$$c_{cr} = 2\sqrt{km} \quad \text{Viskoz sönüm katsayısının kritik değeri}$$

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{q}{\omega} \quad \text{Sönüm oranı}$$

$$\omega_d = \sqrt{\omega^2 - q^2} = \omega \sqrt{1 - \xi^2} \quad \text{Sönümlü (gerçek) sistemin açısal frekansı}$$



ÇSDS Hareket Denklemi (sönümlü sistem):

$$[m]\ddot{x} + [c]\dot{x} + [k]x = -[m]\{I\} \ddot{x}_g \quad \text{zorlanmış hareket}$$

$$[m]\ddot{x} + [k]x = \{0\} \quad \text{sönümsüz serbest hareket}$$

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \\ & & 0 & m_n \end{bmatrix} = \text{Kütle Matrisi}$$

$$[c] = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} = \text{Sönüm Matrisi}$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} = \text{Rijitlik Matrisi}$$

$$\{x\} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{Bmatrix} = \text{Deplasman vektörü}$$

Sönümsüz Serbest Hareket Denklem Çözümü:

$$\{x\} = \{\phi\} \sin(\omega t + \theta) \quad \text{önerilen sönümsüz hareket}$$

$$\{\dot{x}\} = \{\phi \omega\} \cos(\omega t + \theta) \quad \text{birinci türevi}$$

$$\{\ddot{x}\} = \{-\phi \omega^2\} \sin(\omega t + \theta) \quad \text{ikinci türevi}$$

yerlerine konulur ve sadeleştirilirse

$$[k] - \omega^2 [m] \{\phi\} = \{0\} \quad \text{homojen ve } \{\phi\} \text{ değerleriyle}$$

sıfıra eşit olacak linear cebrik bir denklemdir

Deplasman mutlak olduğu ortamda  $\{\phi\} \neq 0$  olmalıdır.

$$[k] - \omega^2 [m] = \{0\} \quad \text{olmalıdır. } [\delta] \text{ elastik katsayılar}$$

$$[k][\delta] - \omega^2 [m][\delta] = \{0\}[\delta] = 0$$

$$[\delta] = \text{Flexibility matrix} = \frac{1}{[k]} \quad \text{biliniyor.}$$

$$[k][\delta] = [I] \quad \text{ve } [m][\delta] = [a] = \text{Dinamik matris}$$

$$[I] - \omega^2 [\delta][m] = [I] - \omega^2 [a] = 0 \quad \text{Karakteristik denklem}$$

$n$  adet  $+\omega^2$  ve  $-\omega^2$  işaretli kök özel değer (Eigen değer) bulundurulur.

Önerilen deplasman çıkan sonuca göre tekrar şekillendirilirse

$$\{x\} = \sum \{\phi_i\} \sin(\omega_i t + \theta_i) \quad \text{formunda modal genlik vektörüdür.}$$

$$\{x\} = [\phi] \{X\} \quad \text{genelleştirilerek matris formunda yazılabilir.}$$

$$[\phi] = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{21} & \dots & \phi_{n1} \\ \phi_{12} & \phi_{22} & \dots & \phi_{n2} \\ \phi_{13} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \phi_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{genlik matrisi (movektörleri matrisi)}$$

$$\{X\} = \text{Genelleştirilmiş koordinat vektörüdür.}$$

Kemal Beyen  
Kemal Beyen

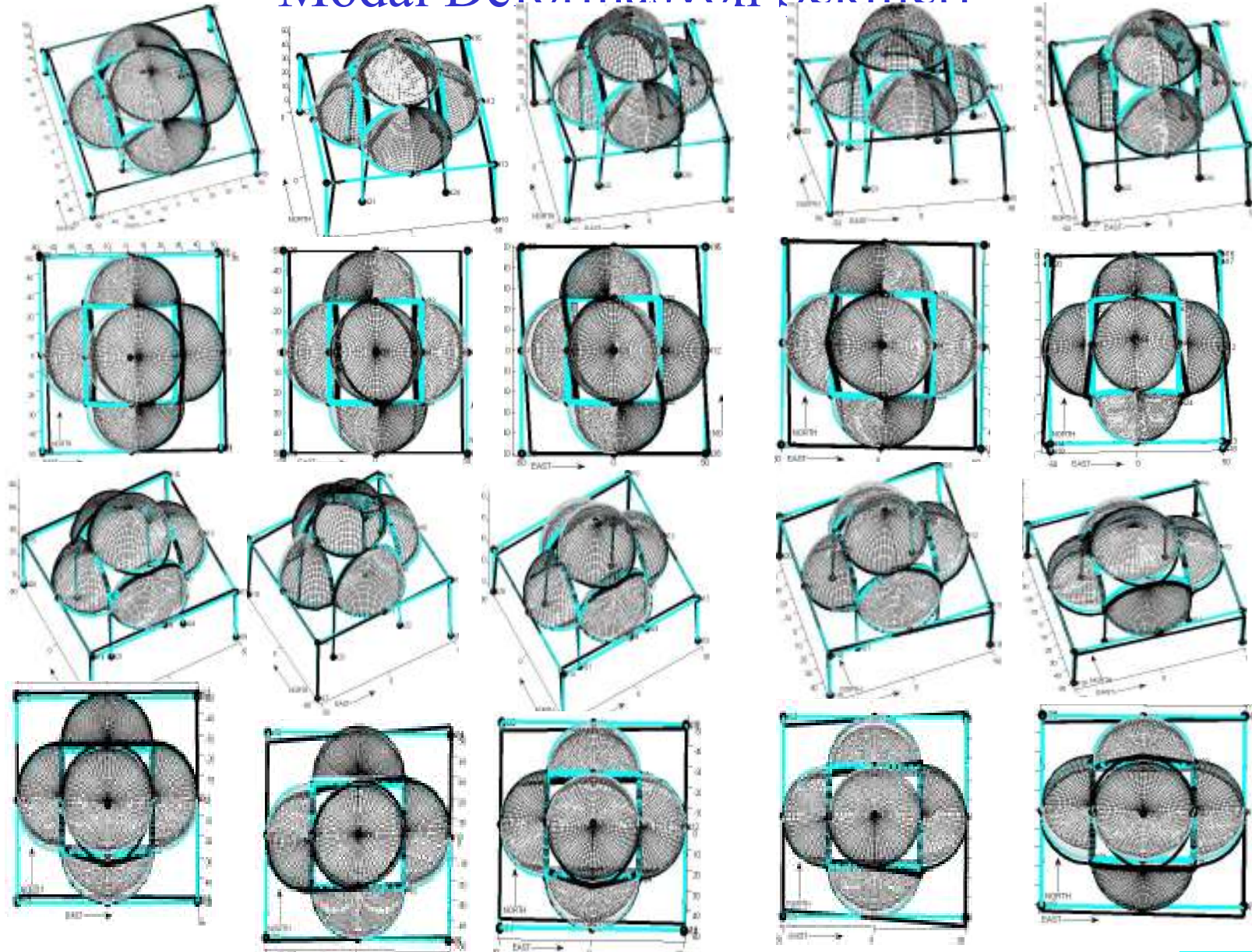
### Ek-3: Yapı Deprem Mühendisliği





# Ek-3: Yapı Deprem Mühendisliği

## Modal Deformasyon Şekilleri

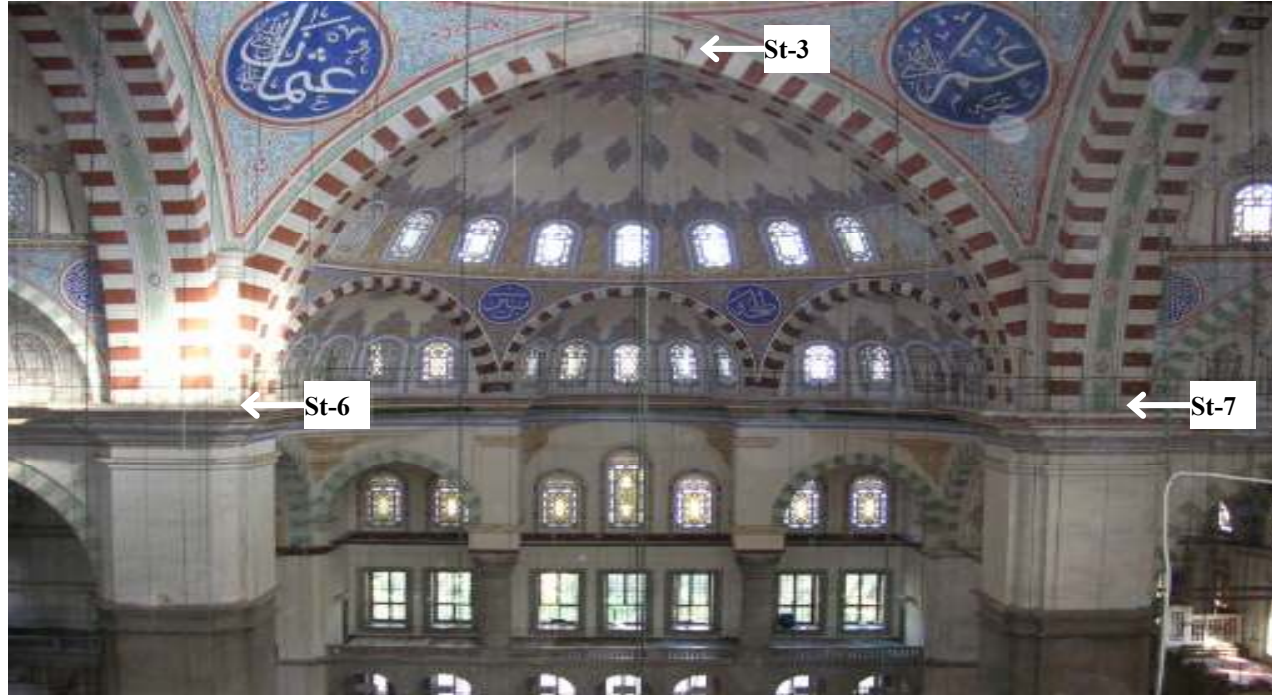


Yapının ilk 5 modunun plan ve izometrik görünüşü, KB-GD (Kible yönü) ilk iki satır, KD-GB son iki satır, deforme olmamış şekil (açık renk) modal deformasyon (koyu renk)

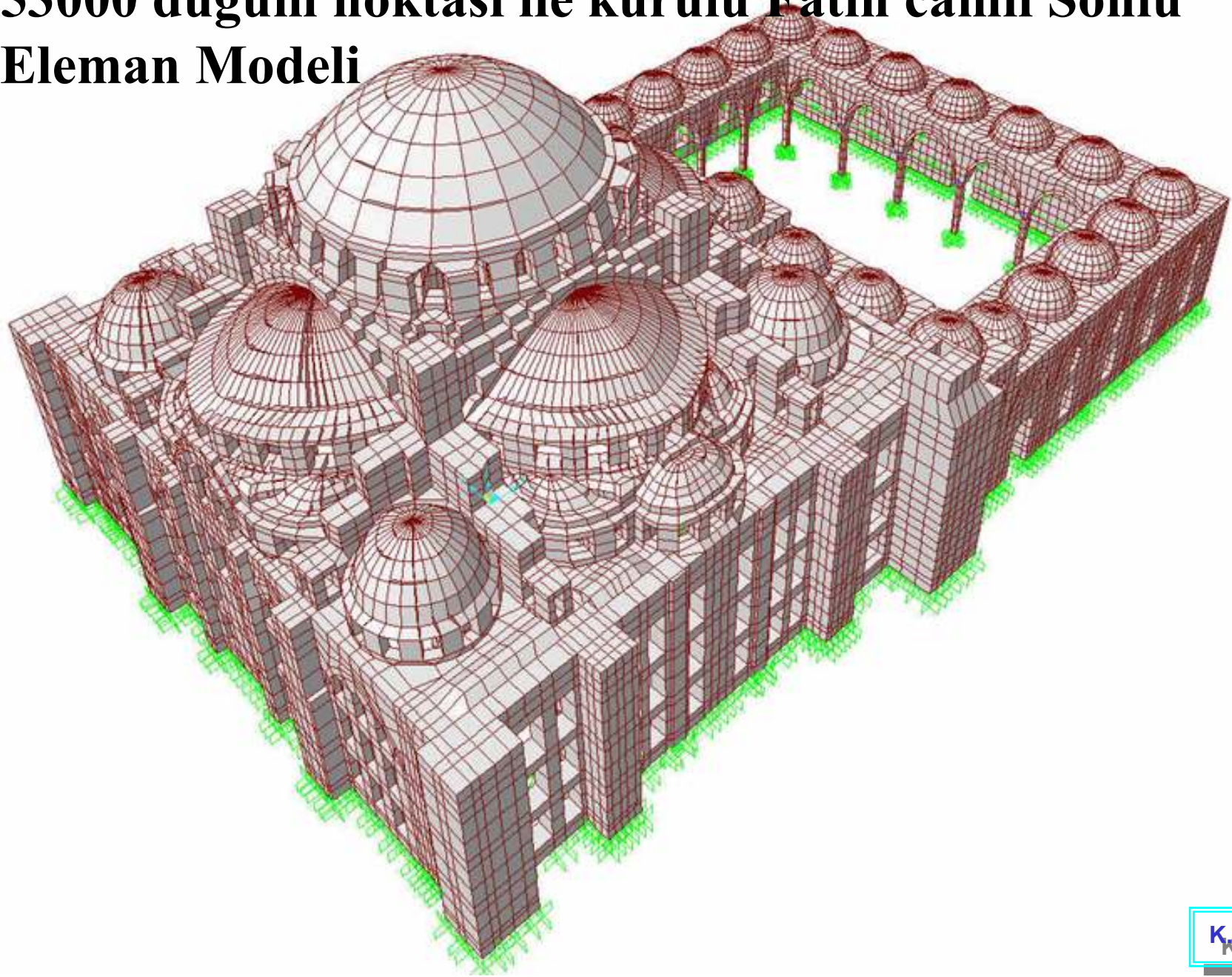
## Ek-3: Yapı Deprem Mühendisliği

# Her İki Yön İçin İlk Beş Modun Davranışı

| Modlar                | KB-GD Yönü                                                                    | KD-GB Yönü                                                                       |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1 <sup>inci</sup> mod | Pilpaye üstü yanal titreşim, ana kubbe altında dışarı doğru açılma @ 2.42 Hz. | Tam yanal titreşim @ 2.31 Hz.                                                    |
| 2 <sup>inci</sup> mod | Pilpaye üstü yanal titreşim, ana kubbe altında içeri doğru açılma @ 3.29 Hz.  | Dışarı açılma @ 3.20 Hz.                                                         |
| 3 <sup>üncü</sup> mod | Makaslama sıkışarak titreşim @ 3.52 Hz.                                       | Makaslama sıkışarak titreşim @ 3.38 Hz.                                          |
| 4 <sup>üncü</sup> mod | Dışarı açılma @ 4.41 Hz.                                                      | Tam yanal titreşim @ 4.04 Hz.                                                    |
| 5 <sup>inci</sup> mod | Antisimetrik sıkışarak titreşme @ 4.59 Hz.                                    | Pilpaye üstü az yanal titreşim, ana kubbe altında dışarı doğru açılma @ 4.47 Hz. |

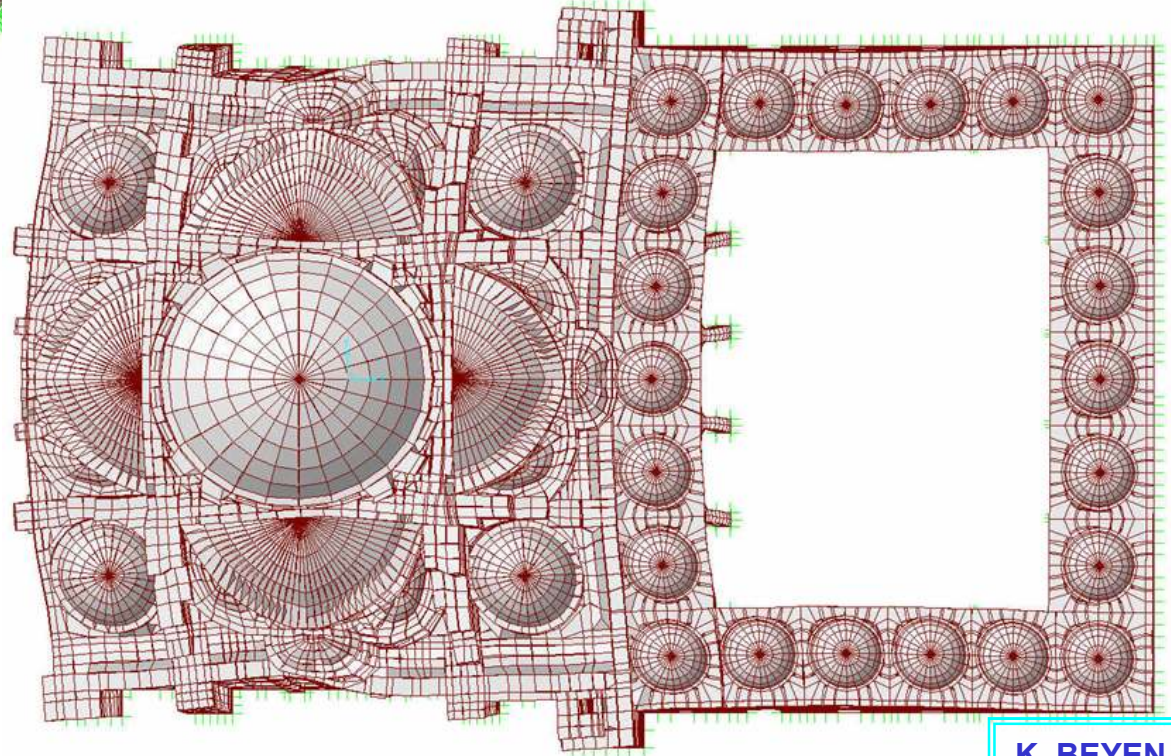
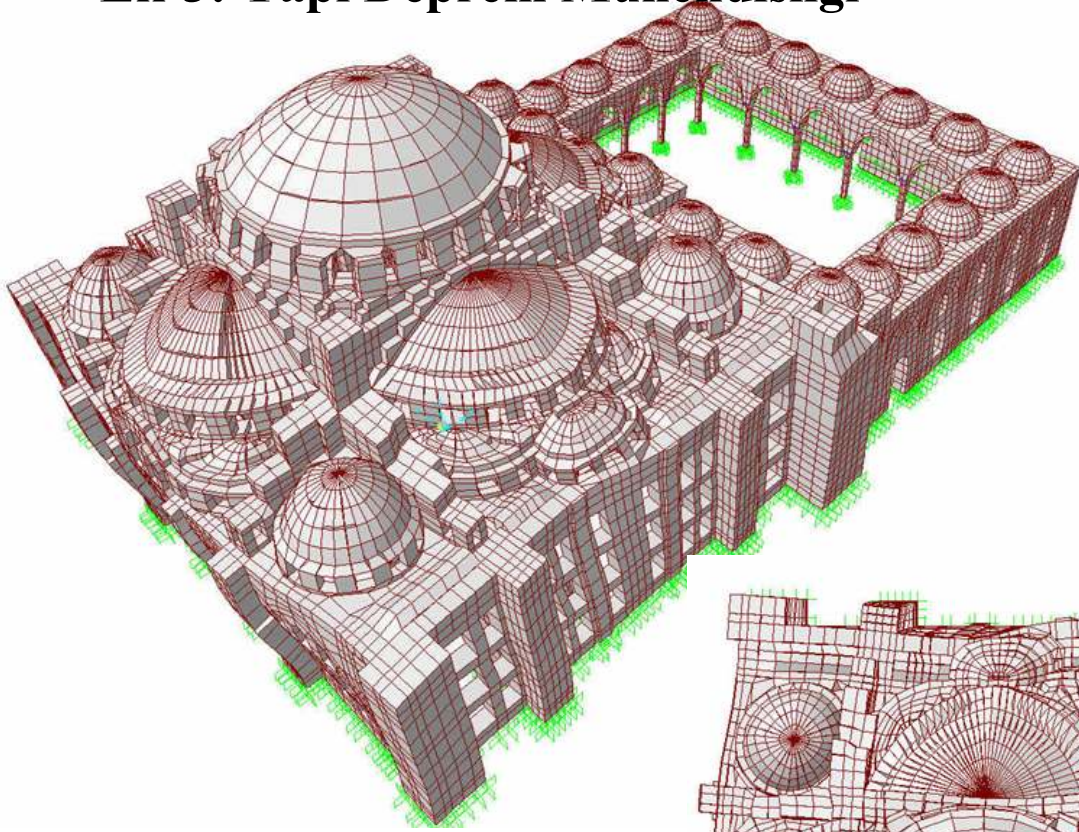


**Ek-3: Yapı Deprem Mühendisliği**  
**53000 düğüm noktası ile kurulu Fatih camii Sonlu**  
**Eleman Modeli**

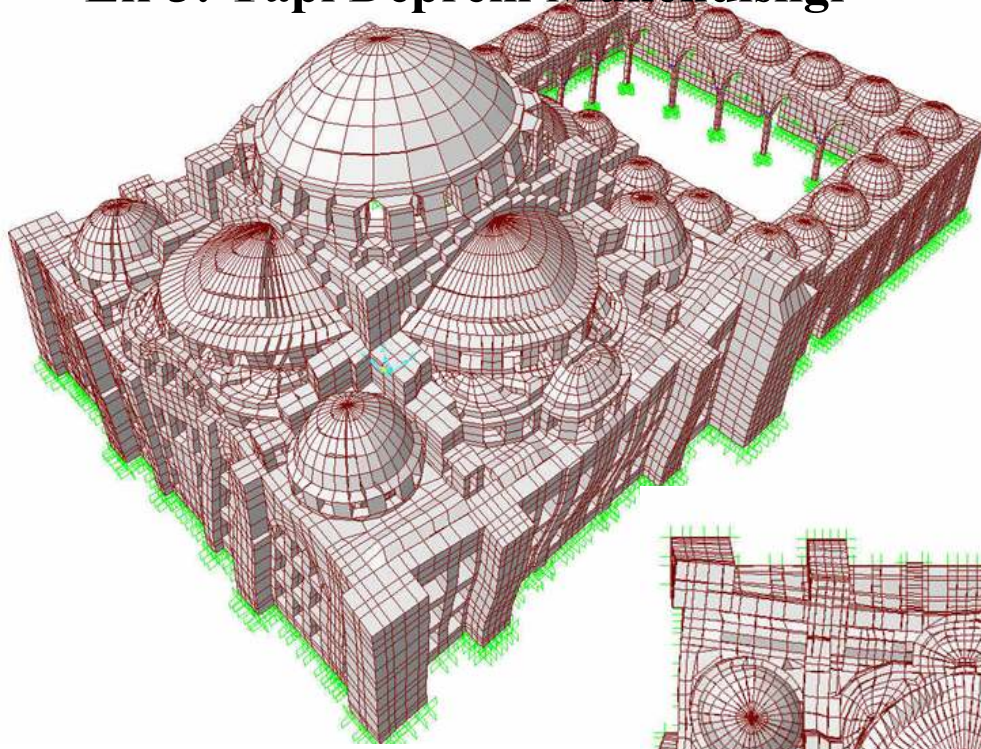


## Ek-3: Yapı Deprem Mühendisliği

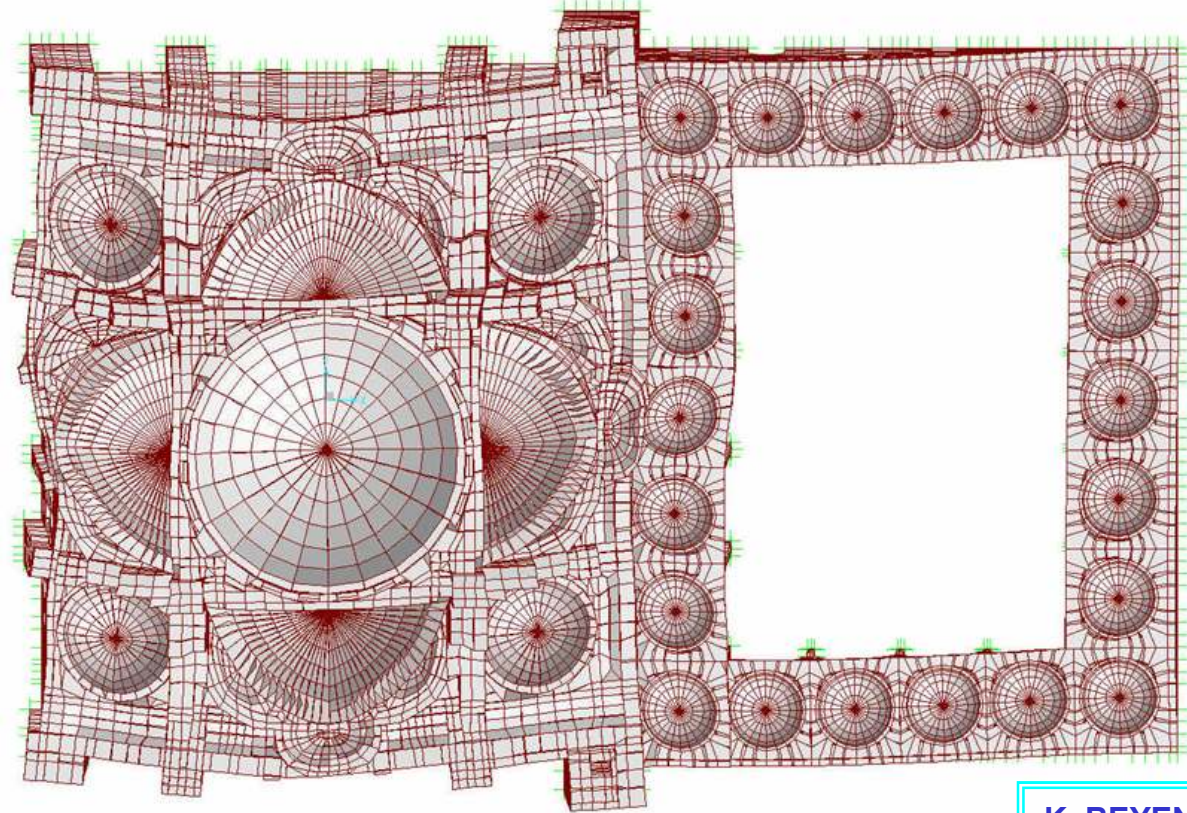
1. MOD 2.1 Hz



## Ek-3: Yapı Deprem Mühendisliği



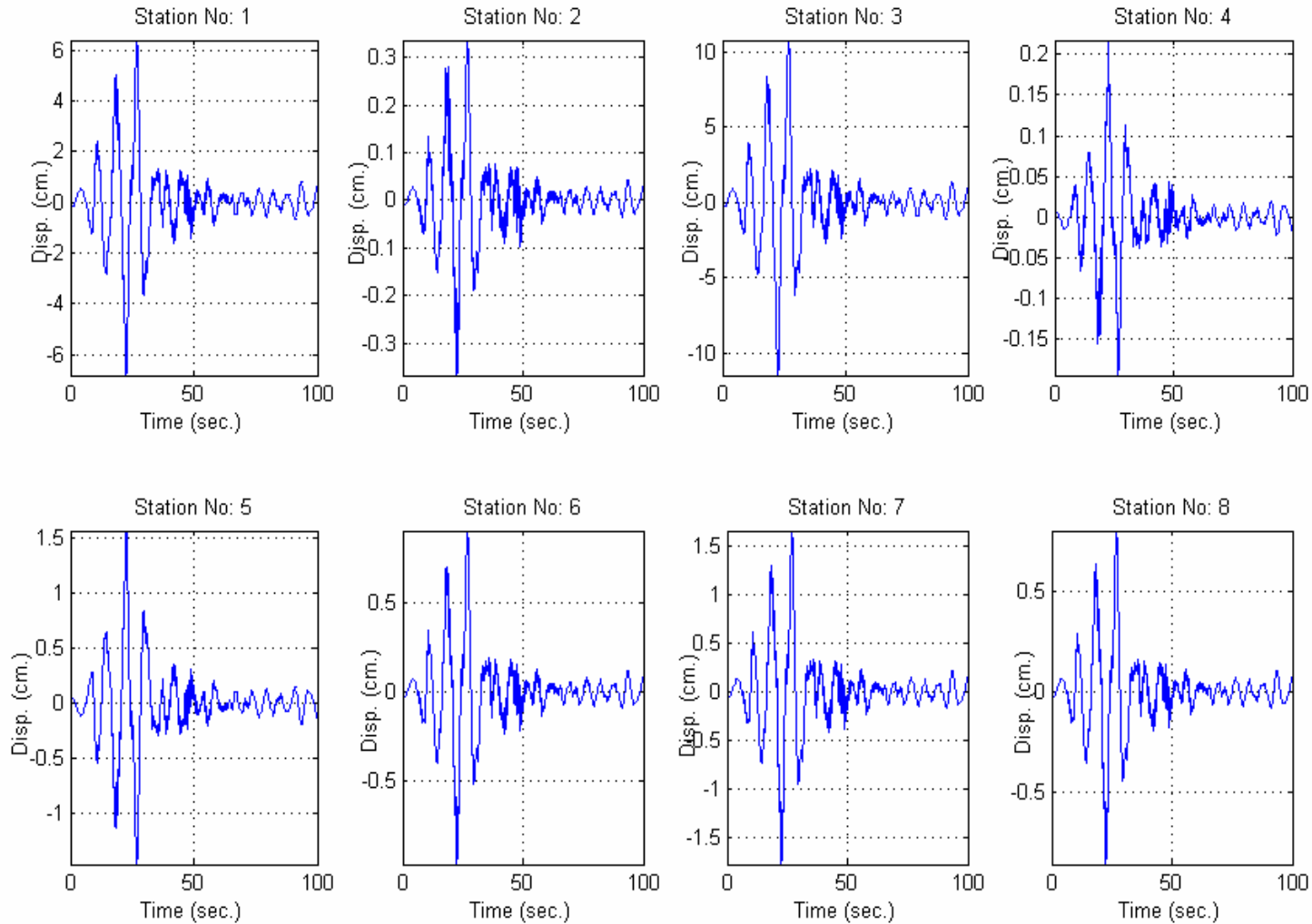
**2. MOD**  
**2.4 Hz**



## Ek-3: Yapı Deprem Mühendisliği

# 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremine Fatih caminin yapısal tepki simülasyon çalışması

Simulated Displacement Responses of the Structural Points to The Kocaeli Earthquake



... bildiklerinizi hatırlattım,  
sabrınız için çok teşekkür  
ediyorum.