

Sunumun İçeriği

1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarlama Kuramına Genel Bakış
2. Dinamik Yükler
3. Deprem-Zemin-Yapı Ortak Davranışını Etkileyen zemin Özellikleri
4. Deprem Hareketinin Parametreleri
 - 4.1. Pik Yatay İvme-Pik Yatay Hız-Pik Yer Değiştirme
 - 4.2. Depremin Süresi
5. Spektrum ve Çeşitleri
 - 5.1. Zemin Davranış Spektrumu
 - 5.2. Yapı Davranış Spektrumu
 - 5.3. Tepki Spektrumu ile Tasarım Spektrumu Arasındaki Farklar
6. PSA (ω^2SD) ve Elastik Deprem Yük Değerlerinin Elde Edilmesi
7. Yapı Yüksekliği - Sönüm Oranı (Damping) - Periyot - Yapı Taban İvme Değerleri Arasındaki İlişki
8. Periyot Duyarlılık Bölgeleri

Temel Kavramlar ve Varsayımlar

- Enerjinin Korunumu Yasası:** Deprem kaynağından çıkan sismik enerji, enerjinin korunumu gereği, tabaka ara sınırlarında oluşan sismik empedans oranı değerlerine bağlı olarak içinden geçtiği tabaka sınırlarından etkilenerek zemin yüzeyine ulaşır.
- Zemin Büyütmesi:** Zemin tabakaları, sismik enerjiyi içinden geçirirken, bu enerjinin frekans-genlik değerlerinde, zemini oluşturan tabakaların kalınlık, derinlik, yoğunluk ile P ve S dalga hız değerlerine bağlı olarak değişimler oluşur.
- zemin özellikleri sismik enerjinin frekans genlik içeriğini değiştirirken aynı zamanda zeminin kendi özellikleri de etkilenir.**
- Sismik enerji zemin yüzeyindeki yapıya ulaştığı zaman yapı davranışı başlar ve yapı özelliklerine bağlı olarak yapı davranışı yapar.**
- Dış ve İç Kuvvetler:** Deprem sırasında, yapıya zemin özelliklerine bağlı olarak ve zamanla değişen kuvvet etki eder. Bu kuvvet dış kuvvet olarak tanımlanır.
- Bu dış kuvvet etkisiyle yapıda karşı kuvvet olarak iç kuvvetler oluşur.**
- Deprem sırasındaki yapısal hasarlar bu iç ve dış kuvvetler arasındaki dengeye bağlı olarak oluşur.**
- Dış kuvvet = Deprem hareketinin yatay bileşeni.**
- İç kuvvet = Eylemsizlik kuvveti+sönüm kuvveti+yapı iç kuvveti**
- Eylemsizlik kuvveti = Yapı toplam kütlesi*yapı hareketinin ivmesi**
- Sönüm kuvveti = Yapı sönüm katsayısı*yapı hareketinin hızı**
- Yapı iç kuvveti = Yapı rijitlik katsayısı*yapının yer değiştirmesi**
- Sonuç; Deprem sırasında, yapı kütlesi, sünekliliği ve rijitliği ile orantılı olarak hareket eder.**

$m \ddot{a}_y(t) + c \dot{V}(t) + kL(t) + m a_d(t) = 0$ denge denklemi olarak kabul edilir.

- Bu denklem T, w ve ξ parametreleri ile tanımlanırsa zaman ortamında**

$$\ddot{a}_y(t) + 2w \xi \dot{V}(t) + w^2 V(t) = -a_d(t) \text{ olur.}$$

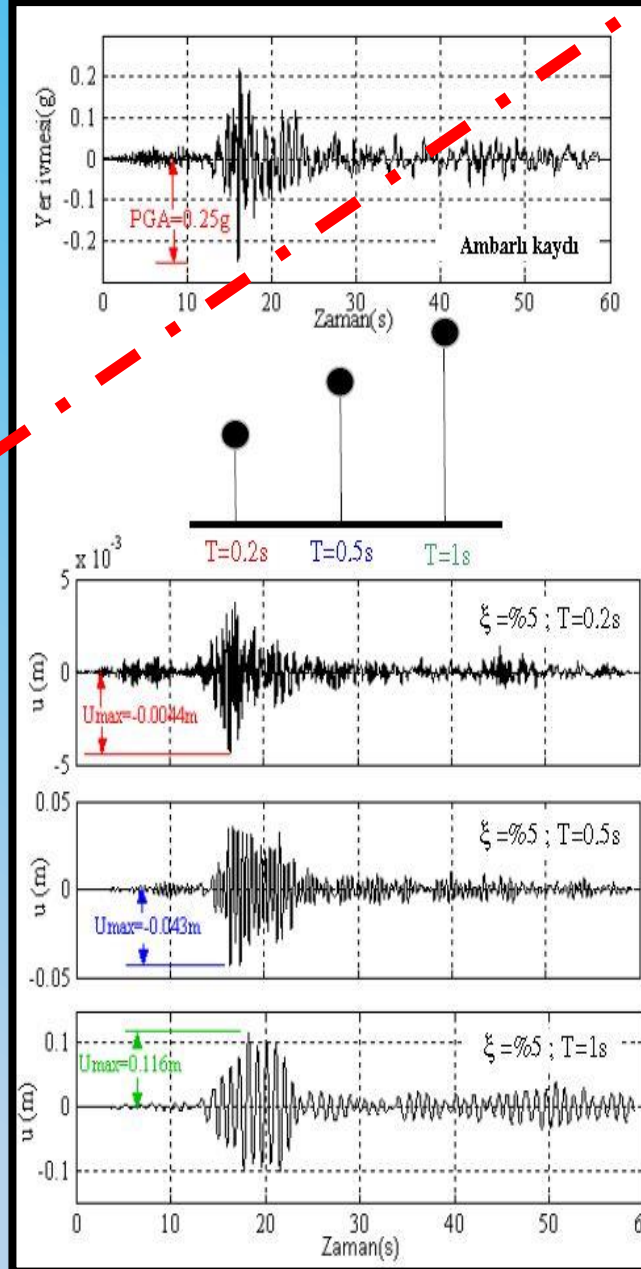
- Bu denklem bize deprem kuvveti (a_d), yapı yüksekliği $W=(2\pi)/T$ (Periyot) ve yapı sönüm oranı ξ arasındaki ilişkiyi tanımlamış olur.**

- Tüm bu matematiksel çözümler ve varsayımlar sırasında yapının yer değiştirmesi ölçülebilen parametre olarak karşımıza çıkar.**

T= Yapının doğal titreşim periyodu olarak tanımlanır. Yapı yüksekliği ile ilişkilidir. Her bir kat için T=0.1 sn. kabul edilir.

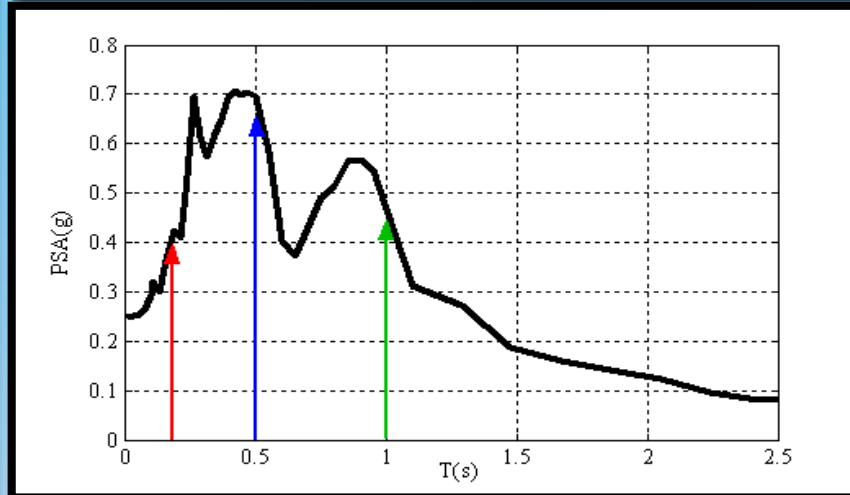
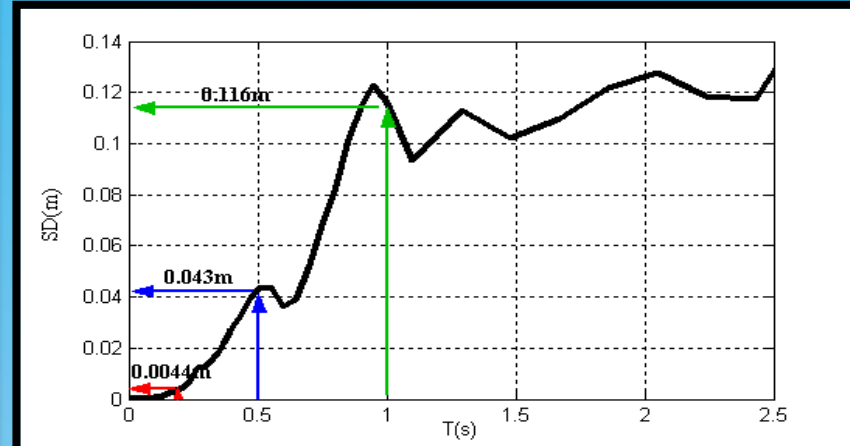
ξ = Sönüm oranı betonarme binalar için %5 kabul edilir.

1. Depreme Dayalı Yapı Tasarlama Kuramına Genel Bakış



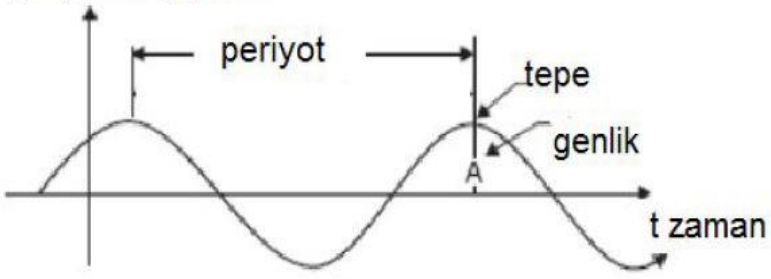
Yapı Yüksekliği ile Periyot Arasındaki İlişki

Depreme dayanıklı yapı tasarımında hesaplamalar yapılırken bu denklem temel alınır. Bu denklem sayısal yöntemlerle çözülmüşse dış kuvvet etkisi (deprem kuvveti) altında zeminle ortak davranış yapan yapacak olan yapının, deprem sırasında yapacağı yer değiştirmeler yüksekliğine (T) bağlı olarak zaman ortamında irdelenmiş olur.

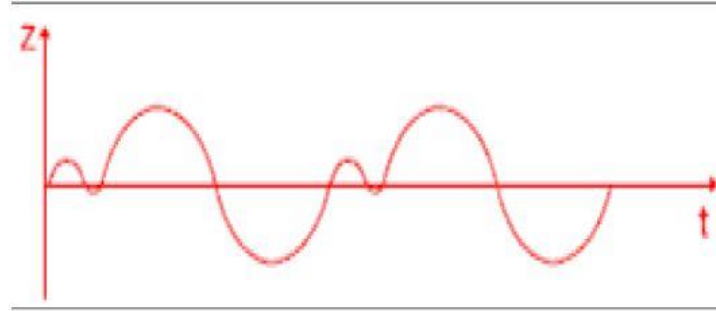


2. DİNAMİK YÜKLER

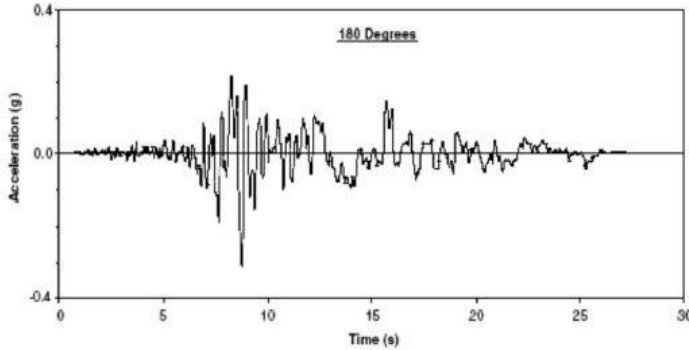
y yer değiştirme



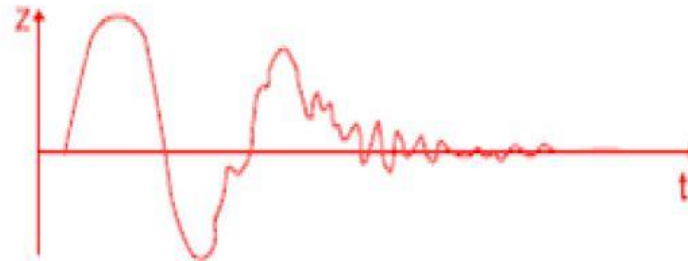
Harmonik hareketler



Periyodik hareketler



Gelişigüzel titreşimler



Geçici titreşimler

Titreşim Hareketi Yaratan Doğal ve Yapay Kökenli Kaynaklar

- Titreşimli makinelerin temelleri, zemine harmonik veya periyodik titreşim dalgaları iletebilirler. Yapay kaynaklı özelliğine sahiptir.
- Doğal kaynak özelliğine sahip depremler, dalgalar, rüzgar gibi doğal olaylar ise zeminde gelişigüzel titreşimler oluştururlar.
- Yapay kaynak özelliğine sahip, darbe yüklemeli makineler (örneğin, presler, zimba makineleri, tokmaklar, ağırlık düşüren makineler) ise temel zeminine geçici titreşimli yükler uygularlar

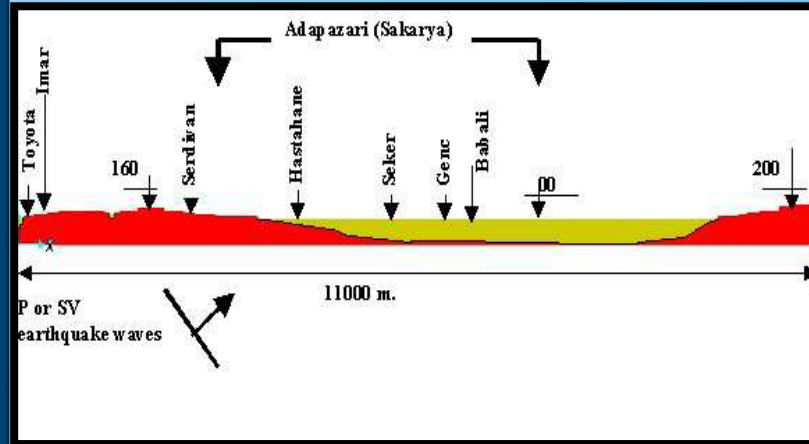
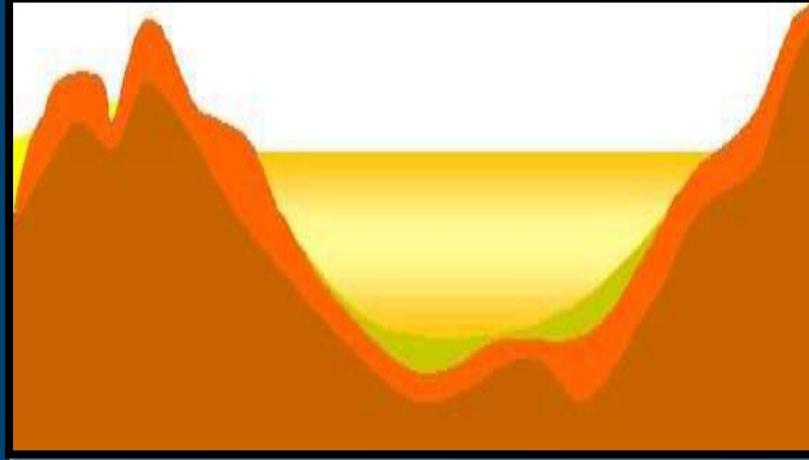
- Tabii frekans = Eğer bir elastik sistem dış kuvvetler olmaksızın sadece iç kuvvetlerin etkisi altında titreşiyorsa, bu titreşim frekansına tabii frekans denir.
 - Rezonans= Eğer titreşimin frekansı sistemin tabii frekansından biri ile çakışırsa rezonans meydana gelir.
- Not: Hareketin genliği rezonansla çok büyüyebilir, bu yüzden tabii frekansın tayini önemlidir.

Deprem-Zemin-Yapı Etkileşiminde Önemli Olan Parametreler

- Deprem kaynağını oluşturan fayların biçimleri (ters/doğru/normal atımlı),
- **Yapı yapılacak noktanın faya uzaklığı (yakın/ırak),**
- Zemini oluşturan katmanların parametreleri (kalınlığı, derinlik, yanal ve düşey yöndeki heterojenlik, V_p , V_s ve yoğunluk değişimleri, gerilme birim şekil değiştirme eğrileri, zemin yapı davranış modelleri, plastisite indisi, yatayda ve düşeyde tabaka düzensizlikleri vd.),
- **Zemin yüzeyinin geometrisine (yamaç, tepe, sırt, vadi gibi topoğrafik etkiler),**
- Yapı yapılacak noktanın bulunduğu bölgenin morfolojik konumu (vadi ortası/basen kenarı, deniz/nehir yatağı/kıyı/eski yatak)
- **Zemin yüzeyine çıkan ve yapıyı etkileyen depremin enerjisinin parametrelerine (dalga özelliği, zaman ortamı genlik (ivme/hız/deplasman) büyüklükleri, frekans/periyot -genlik içeriğindeki değişimler),**
- **Zemin yüzeyine çıkan ve yapıyı etkileyen depremin zaman ortamındaki süresi.**

Zemin yüzeyindeki tepki spektrumu hesaplanırken bu etkiler dikkate alınarak, zemin tepkisi ve yerel etkenlerin büyütmesi gibi üst yapının dinamik analizlerinde kullanılacak önemli bilgiler sağlanmış olur.

3. Deprem-Zemin-Yapı Ortak Davranışını Etkileyen zemin Özellikleri



Deprem Sırasında Zemin Tabakalarının Davranışlarını hangi parametreler etkiler.

- Zeminin ($V_s < 760$ m/sn) kendi davranışı,
- Zeminin yatay ve düşeyde tabakalanma geometrisi
- Tabankaya ($V_s > 760$ m/sn) derinliği,
- Dalga cephelerinin yayılım özellikleri
- P ve S dalga cephelerinin tabaka ara yüzeylerine geliş açıları ile
- Zemin tabakalarının
 - kalınlığı,
 - yoğunluğu,
 - esnekliği,
 - plastisitesi,

Özellikleri zemin yüzeyine ulaşan deprem dalgalarının genlik-frekans değerlerini değiştirir.

Bu olay zemin büyütmesi olarak tanımlanır. Deprem-zemin-yapı ortak davranışı modellenirken, deprem esnasında zemin tabakalarının davranışlarının yukarıda tanımlanan tüm özellikler ve parametreler göz önüne alarak ayrıntılı bir davranış analizi gereklidir.

Zemin yüzeyinde ve/veya zemin tabakaları içinde oluşacak deprem özelliklerine göre hesaplanabilecek deprem kuvvetleri, o bölgede yer alan veya yeni yapılacak mühendislik yapılarına gelecek deprem kuvvetlerinin gerçek bir simülasyon ile elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

4. DEPREM - YER HAREKETİ
PARAMETRELERİ

4.1. Pik Yatay İvme-Pik Yatay Hız-Pik Yer Değişirme

• YER HAREKETİ PARAMETRELERİ

• Deprem-Zemin-Yapı davranışını tanımlamak için yapılacak analizlerinde yer yapı hareketinin tanımlanması için gösterilen çok sayıda karakteristik parametreleri

• genlik parametreleri

I. ivme,

II. hız,

III. yer değiştirme..

• depremin frekans içeriği

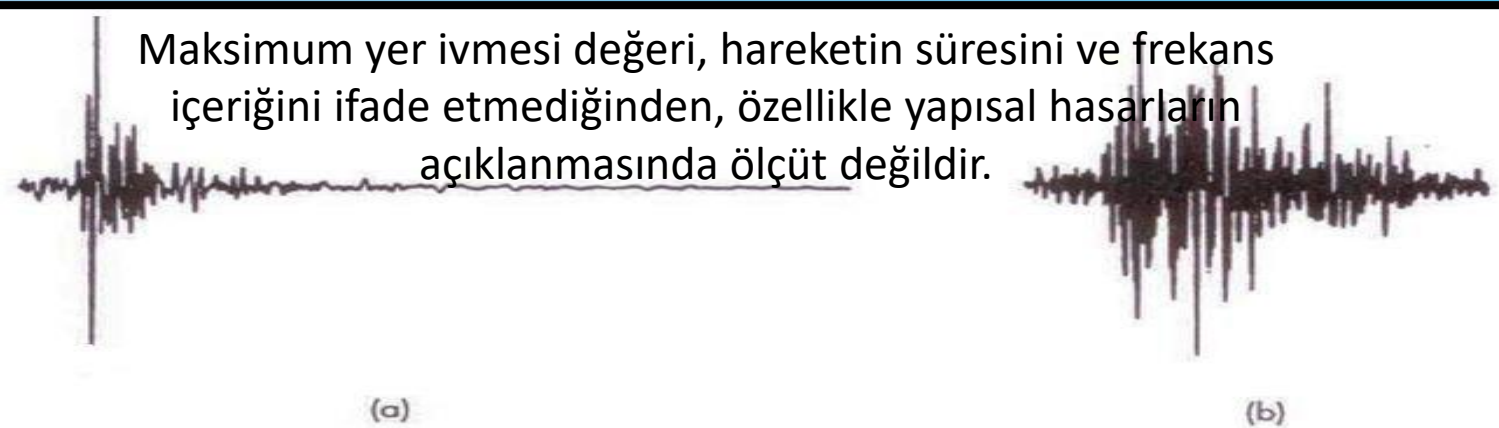
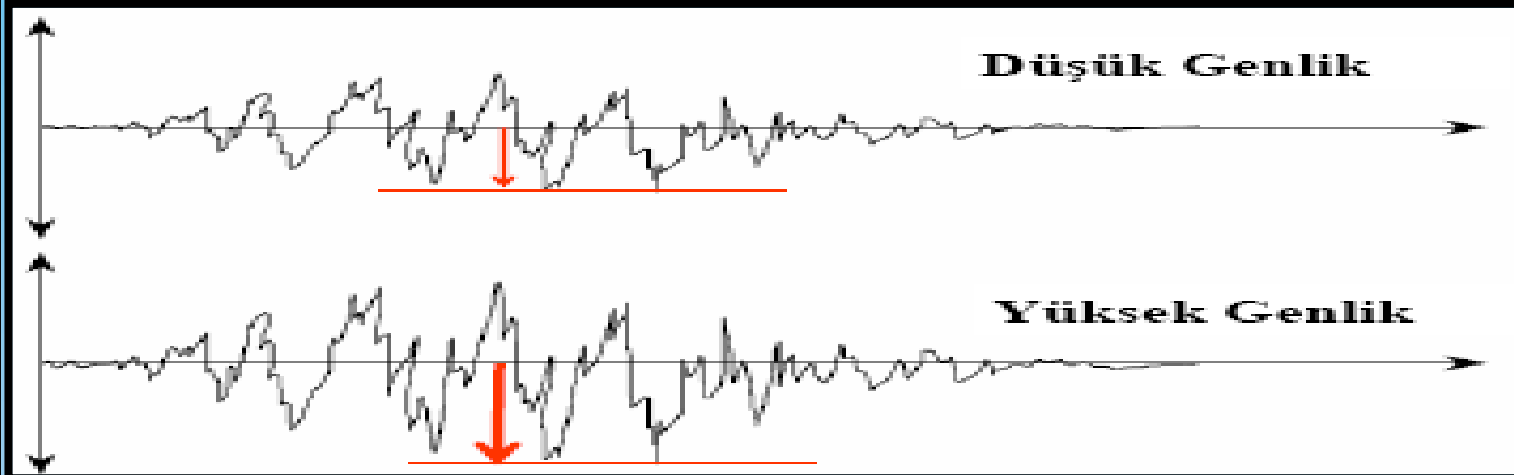
I. tepki spektrumları,

II. baskın (hakim) frekans

III. depremin süresi

Genlik Parametreleri-Pik ivme

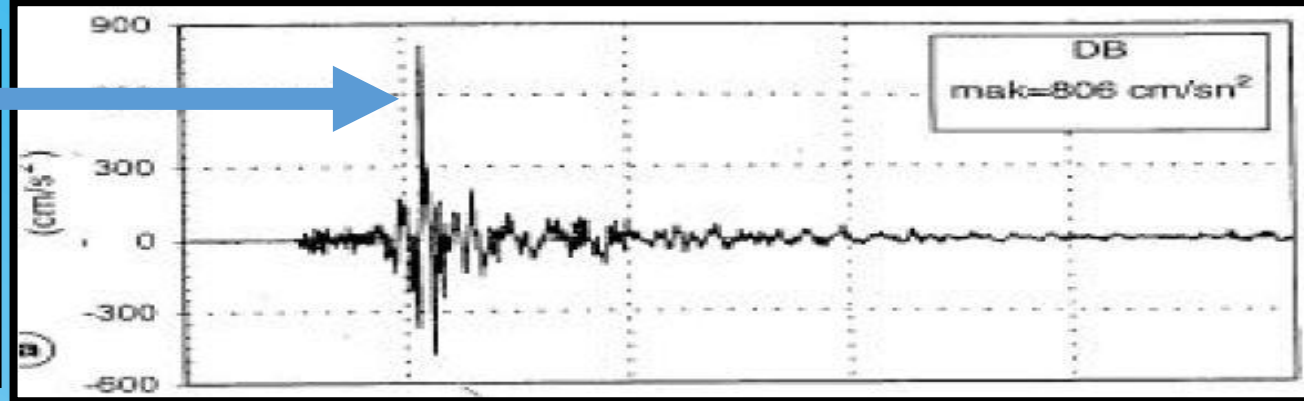
• Maksimum yatay yer ivmesi ya her iki yöndeki bileşene ait maksimum değerlerin geometrik ortalaması ya da yönden bağımsız olarak bunların arasında en büyük olanı alınır.



4.1. Pik Yatay İvme-Pik Yatay Hız-Pik Yer Değişirme

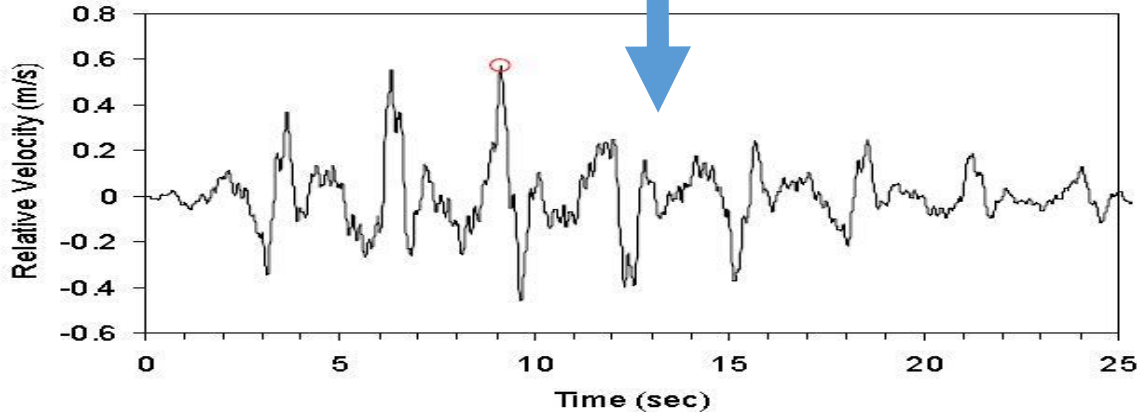
Maksimum Yatay Yer İvmesi

Bu değer ya her iki yöndeki bileşene ait maksimum değerlerinin geometrik ortalaması ya da yönden bağımsız olarak bunların arasında en büyük olanı alınır.



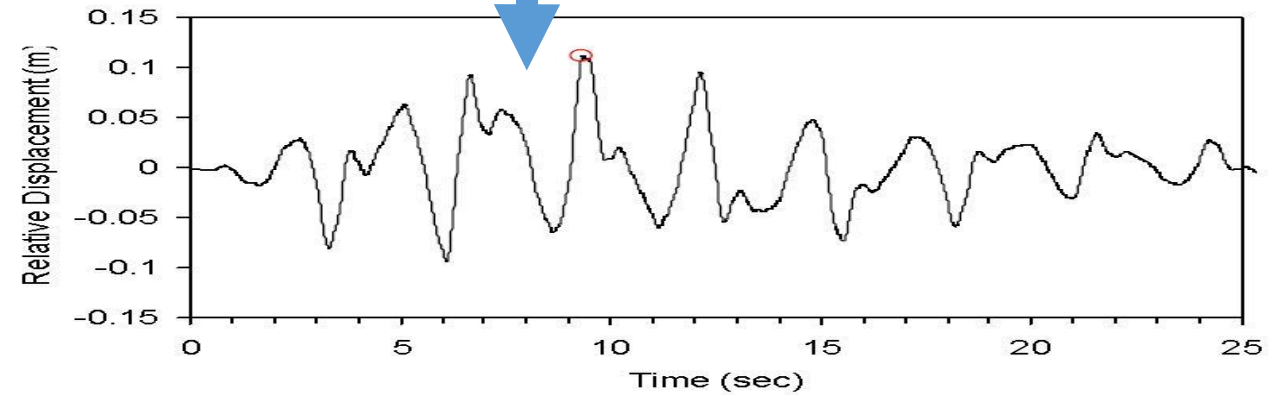
• Pik hız

- Hız, yer hareketinin yüksek frekans içeriğine daha az duyarlı olduğundan orta frekanslardaki yer hareketinin genliğini doğru bir şekilde tanımlama işlemi PHA'ya göre PHV ile daha iyi yapılmaktadır.
- Orta frekans aralığındaki yüklemelere karşı duyarlı yapı ve tesisler (yüksek veya esnek binalar, köprüler vb.) için potansiyel hasarı sağlıklı bir şekilde belirlemede PHV kullanılmaktadır.



Pik yer değişirme

- Pik yer değiştirmeler bir deprem hareketinin genellikle düşük frekanslı bileşenleri ile ilişkilidir.
- Ancak, filtreleme ve akselerogramların integrali sırasındaki sinyal proses hataları ve uzun periyotlu gürültüden dolayı doğru bir şekilde tanımlanmaları genellikle zor olmaktadır (Campbell, 1985; Joyner ve Boore, 1988).
- Yer değişirme yer hareketinin bir ölçüsü olarak pik ivme veya pik hıza göre daha az kullanılmaktadır.



4.1. Pik Yatay İvme-Pik Yatay Hız-Pik Yer Değişirme

Pik İvme (PHA)

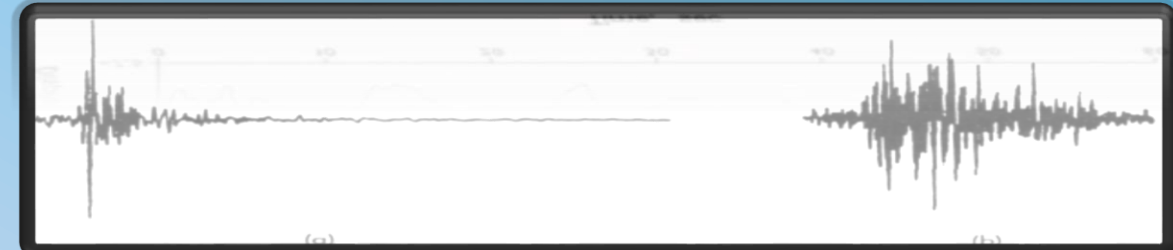
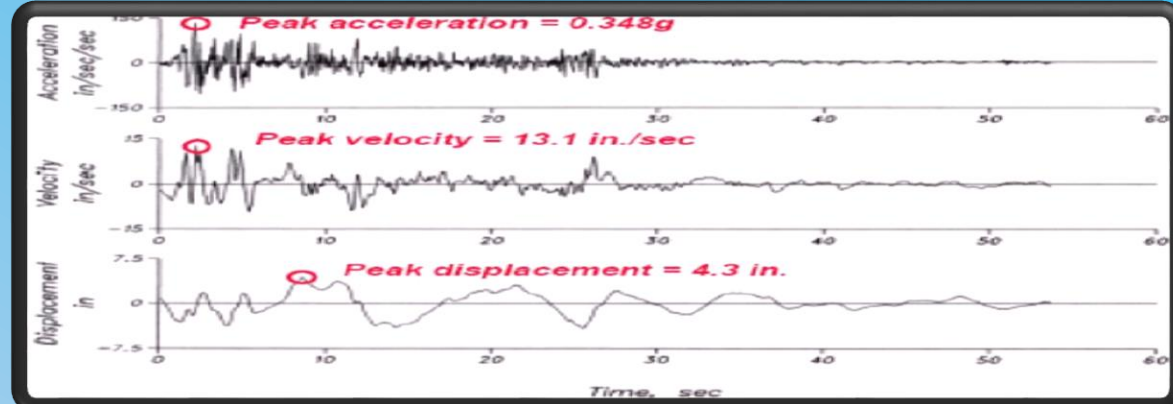
- Belirli bir yer hareketinin genliğini belirlemede en yaygın ölçü olarak pik yatay ivme (PHA) alınmaktadır. Bir hareket bileşeni için PHA, çok basit olarak o bileşenin akselerogramından elde edilen yatay ivme (mutlak) değerinin en büyüğüdür. Veya iki ortogonal bileşenin vektör toplamını alarak maksimum PHA bileşkesi elde edilebilir.
- Yatay ivmeler atalet kuvvetleri ile olan doğal ilişkilerinden dolayı yer hareketini tanımlamada sıkça kullanılmaktadır. Gerçekte, bazı yapılarda (sözelimi çok rijit yapılarda) oluşan en büyük dinamik kuvvetler PHA ile yakından ilişkilidir. PHA deprem şiddeti ile de (correlated) ilişkilendirilebilir. Bu her ne kadar sağlıklı olmaktan uzak ise de, kuvvetli yer hareketi
- Tarihsel depremlerde olduğu gibi, sadece şiddet verileri mevcut olduğu zaman PHA'yı tahmin etmede çok faydalı olabilir. Şiddet-ivme ilişkisi üzerinde çok sayıda ampirik yöntem öne sürülmüştür. Şiddet-ivme ilişkileriyle ayrıca tarihsel depremlerin eşşiddet haritalarından pik ivmenin alansal dağılımını belirlemek de mümkün olabilmektedir
- Düşey ivmeler deprem mühendisliğinde yatay ivmelerden daha az ilgi çekmiştir. Yapılarda yerçekiminin neden olduğu statik düşey kuvvetlerin depremler sırasındaki düşey ivmelerin neden olduğu dinamik kuvvetlere karşı emniyet payı Yüksekler.
- Yüksek pik ivmeler içeren yer hareketleri her zaman olmamakla beraber genellikle düşük pik ivmeli hareketlerden daha yıkıcı olmaktadır. Çok kısa süren yüksek pik ivmeler çok değişik yapı türlerinde az hasara neden olabilir.
- Pik ivmeler çok yüksek frekanslarda olduğundan ve deprem süresi de uzun olmadığından, çok sayıda deprem 0.5g'den daha büyük pik ivmeler ürettiği halde yapılarda önemli bir hasara yol açmamıştır.
- Pik ivme çok yararlı bir parametre olsa da, hareketin frekans içeriği ve süresi hakkında herhangi bir bilgi içermez; bir yer hareketini doğru şekilde karakterize edebilmesi için ilave bilgi ile birlikte kullanılmalıdır. Bazı kayıtlar diğer devirlere göre çok daha büyük olan tek devirli pik genlikler ile karakterize edilmektedir. Stone Canyon kaydı buna bir örnektir.
- Genellikle yüksek frekanslarda oluşan bu tek devirlerin düşük doğal frekanslı yapılar üzerinde önemli bir etkisi yoktur.. İki kaydın zaman ve ivme ölçekleri özdeşdir. Birbirine çok yakın olan pik ivmeler kuvvetli yer hareketinde tek ölçüt olarak pik genliğin tek başına kullanılmasındaki kısıtlamaları ortaya koymaktadır

Pik Yatay Hız (PHV)

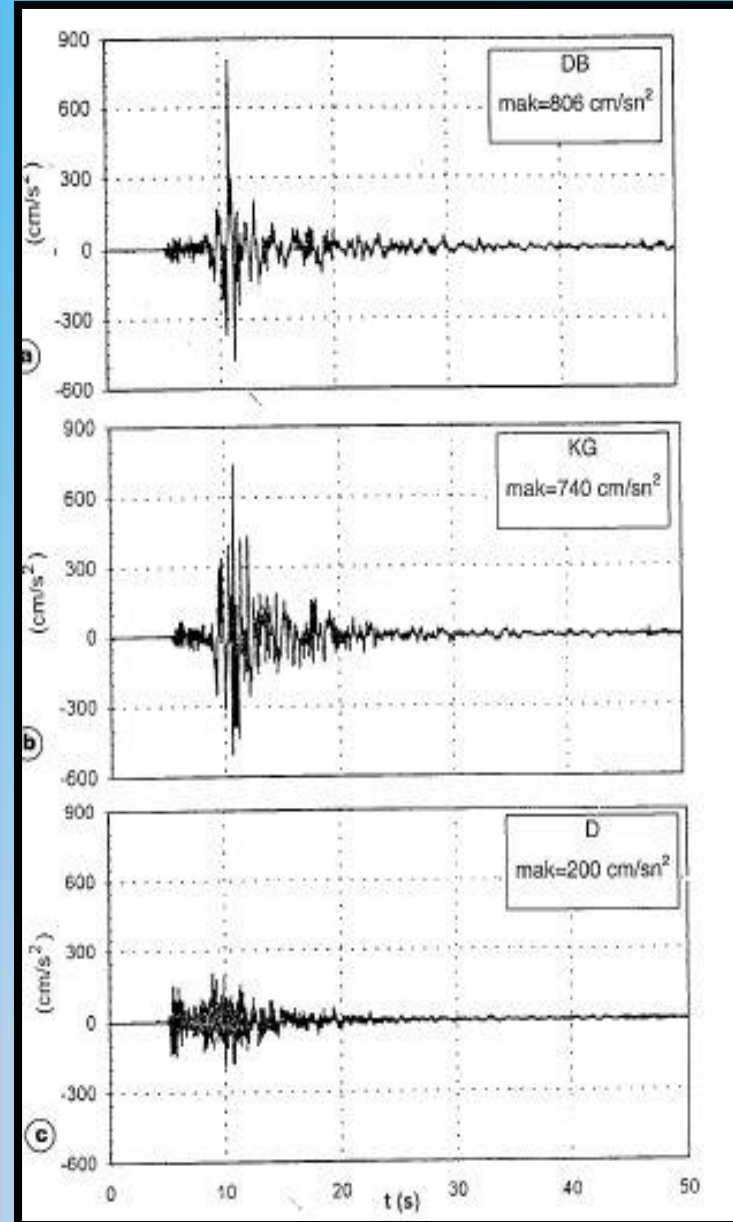
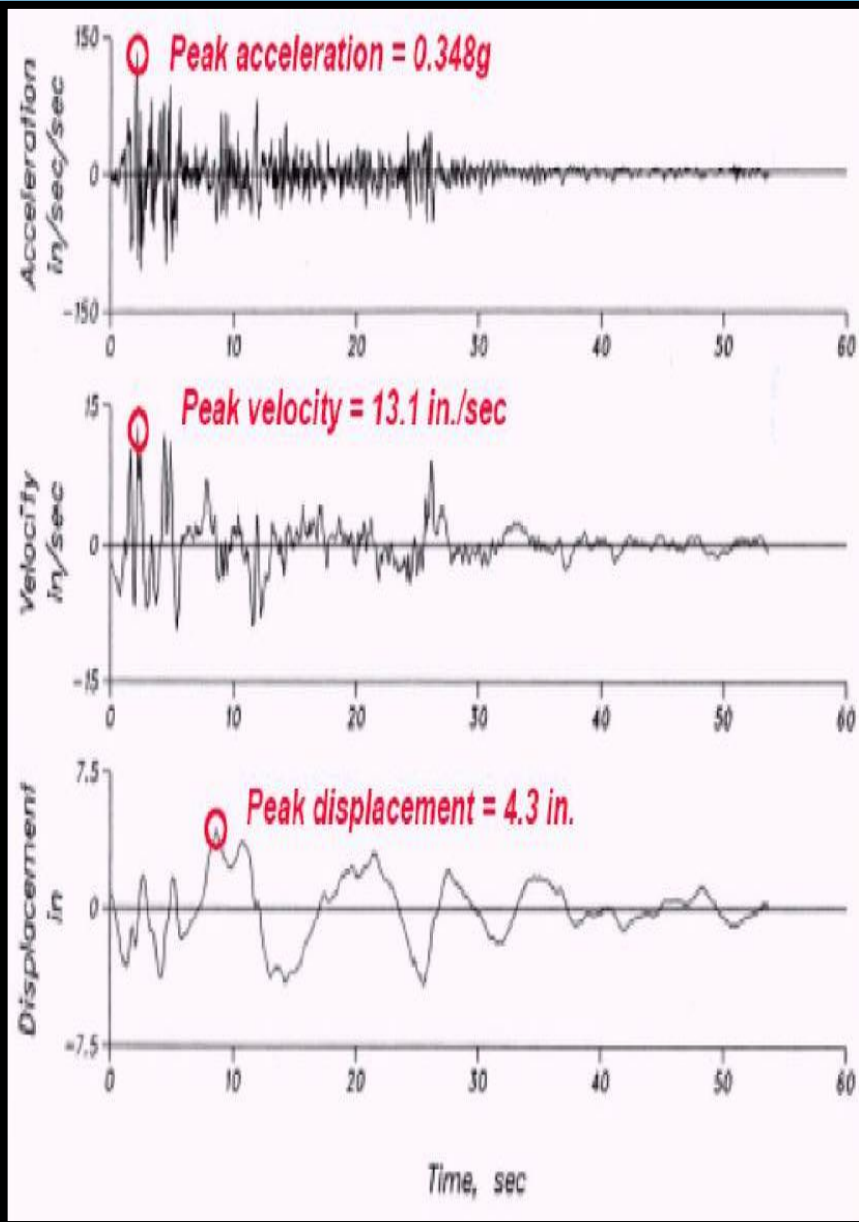
Yer hareketi genliğinin tanımlanmasında bir diğer faydalı parametre de pik yatay hızdır (PHV). Hız, yer hareketinin yüksek frekans içeriğine daha az duyarlı olduğundan, orta frekanslardaki yer hareketinin genliğini doğru bir şekilde tanımlama işlemi PHA'ya göre PHV ile daha iyi yapılmaktadır. Bu orta frekans aralığındaki yüklemelere karşı duyarlı yapı ve tesisler (örnek; yüksek veya esnek binalar, köprüler vb.) için potansiyel hasarı sağlıklı bir şekilde belirlemede PHV çok daha üstündür.

Pik Yerdeğişirme

Pik yer değiştirmeler deprem hareketinin genellikle düşük frekanslı bileşenleri ile ilişkilidir. Ancak, filtreleme ve akselerogramların integrali sırasındaki sinyal proses hataları ve uzun periyota sahip gürültüden dolayı doğru bir şekilde tanımlanmaları genellikle zor olmaktadır. Yer değiştirme sonuçta yer hareketinin bir ölçüsü olarak pik ivme veya pik hızla göre daha az kullanılmaktadır



4.1. Pik Yatay İvme-Pik Yatay Hız-Pik Yer Değişirme



Pik İvme Değerlerinden Örnekler 1999 13 Kasım Düzce Depreminin (Mw=7.1)

- a) Doğu-Batı (D-B)
- b) Kuzey-Güney (K-G)
- c) Düşey bileşen ivme
(İstasyon yırtılan düzce fayından yaklaşık 20 km dik uzaklıktadır,

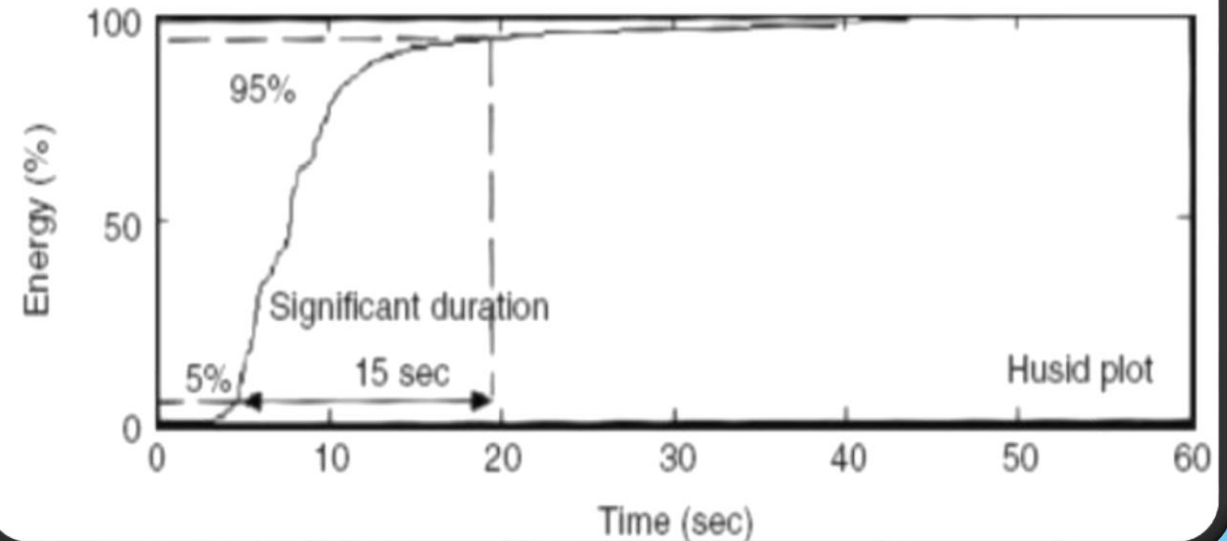
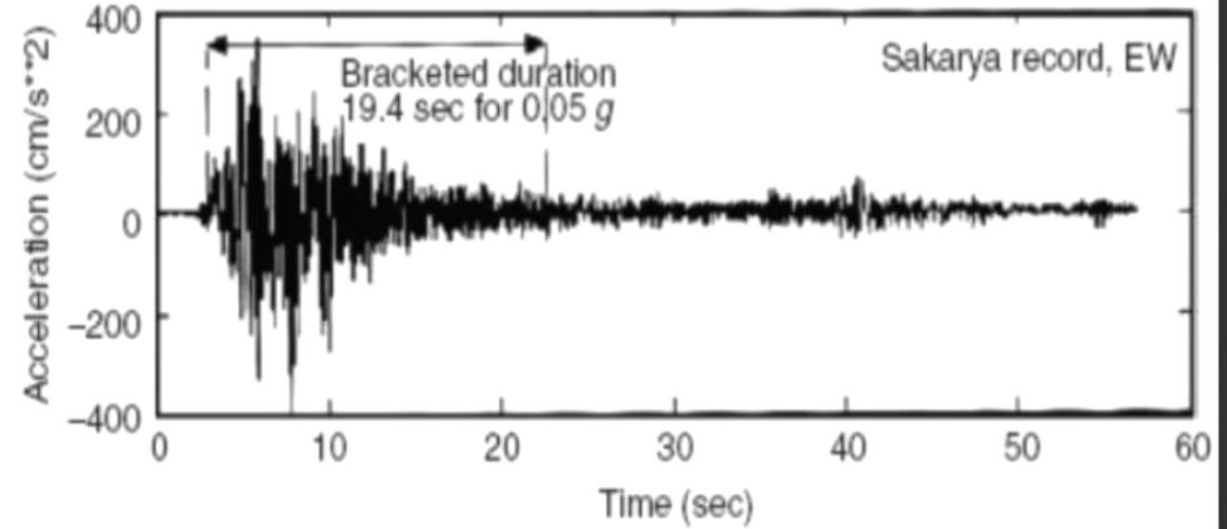
İstasyon zemininin kayma dalgası hızı
 $V_s = 290 \text{ m/s}$ 'dir.

- Son yıllara kadar, göz ardı edilen düşey ivme değerlerinin daha ayrıntılı değerlendirilmesi, gerek sismoloji gerekse deprem mühendisliği literatüründe yaygınlaşmaya başlamıştır.
- Mühendislik tasarımlarında pik düşey ivme (PVA-Peak Vertical Acceleration) genellikle PHA-Peak Horizontal Acceleration'nın üçte ikisi kadar kabul edilmektedir (Newmark ve Hall, 1982).

4.2. Deprem Süresi

- Kuvvetli yer hareketinin zaman ortamındaki süresi, bir fay boyunca biriken deformasyon enerjisinin yırtılma ile boşalması için gerekli olan zaman ile ilişkilidir.
- Yırtılan fayın uzunluğu veya etki alanı büyürken, yırtılma süresi uzar ve artan deprem büyüklüğü ile beraber oluşacak kuvvetli hareketin süresi de uzar.
- Mühendislik gözlemleri açıkça göstermiştir ki kuvvetli yer hareketlerinin süresi “deprem hasarları” üzerinde çok etkilidir.
- Bu durumda, sismik dalgaların taşıdığı enerjinin etkili olabilmesi bakımından hareketin uzun olması gerekmektedir.
- Zaman ortamında büyük genliği sahip bir yer hareketinin çok kısa süreli olması durumunda oluşan hasarın düzeyi hafif olabilir. Veya orta genlikteki bir yer hareketi uzun süre etkiliyorsa, yapıda yıkıcı özellikte hasarlar oluşturabilir (Kramer,1996)
- Fiziksel olarak zamansal süre yırtılan fayın uzunluğu ve yırtılma hızı ile yakından ilişkilidir.
- Diğer bir deyişle süre “deprem büyüklüğü” ile ilişkilidir.
- Aynı deprem büyüklüğünde yırtılan faya yakın yumuşak zeminlerde sürenin, kaya zemine kıyasla daha büyük olduğu yönünde bulgular vardır
- Kuvvetli yer hareketinin süresi, bir fay boyunca biriken deformasyon enerjisinin yırtılma ile boşalması için gerekli olan zaman ile ilişkilidir.
- Yırtılan fayın uzunluğu veya alanı büyürken, yırtılma süresi uzar ve artan deprem büyüklüğü ile beraber kuvvetli hareketin süresi de uzar.
- Mühendislik gözlemleri kuvvetli yer hareketi süresinin “deprem hasarları” üzerinde çok etkili olduğunu göstermiştir.
- Literatürde sürenin analitik olarak tanımlanmasında genellikle iki yöntem tercih edilir.
 1. Birincide, 0.05g eşik ivme değerinin ilk aşıldığı zaman T1 ile son aşıldığı zaman T2 ile gösterilerek aralarındaki fark ($T=T_2-T_1$) olarak tanımlanmaktadır.
 2. İkincisi ise toplam enerjinin %5'i ile %95'inin kaydedildiği noktalar arasındaki zaman olarak tanımlanmıştır.

August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, $M_w = 7.4$



4.2. Deprem Süresi

10 Km'den Küçük Dışmerkez Uzaklıkları İçin Tipik Deprem Süreleri

Magnitüd	Süre (s)	
	Kaya alanlar	Zemin alanlar
5.0	4	8
5.5	6	12
6.0	8	16
6.5	11	43
7.0	16	32
7.5	22	45
8.0	31	62
8.5	43	86

Kuvvetli yer hareketinin süresinin deprem hasarı üzerindeki etkisi çok kuvvetli olabilir. Bazı tür yapıların rijitliğinin ve dayanımının azalması ve gevşek, doygun kumlardaki boşluk suyu basınç artışı gibi birçok fiziksel süreçler, depremler sırasında oluşan çok sayıdaki yüklemeye veya gerilme çevrilmesine karşı oldukça hassastırlar.

Genliği yüksek fakat süresi kısa bir hareket bir yapıda yıkıcı düzeyde tepkilerin birikmesine yol açabilecek yeterlikte yük çevrilmeleri oluşturmayabilir. Diğer taraftan, genliği orta düzeyde, fakat uzun süreli bir hareket, yeterli miktarda yük çevrilmeleri oluşturarak, önemli derecede yıkıcı hasara neden olabilir.

Bir kuvvetli yer hareketinin süresi, bir fay boyunca biriken deformasyon enerjisinin yırtılma ile boşalması için gerekli olan zaman ile ilişkilidir. Fay yırtılmasının uzunluğu veya alanı büyürken, yırtılma için gerekli zaman da uzar. Sonuçta, artan deprem büyüklüğü ile beraber kuvvetli hareketin süresi de uzar. Bu ilişki uzun bir süre ampirik ilişkilerle desteklenmiştir. Kaynak mekanizması modellemesinde kaydedilen gelişmeler sürenin, sismik momentin küp köküyle orantılı olduğu şeklinde teorik destek sağlamıştır. Çift yönlü yırtılma [yani, odaktan birbirine zıt yönlere doğru ilerleyen yırtılma (1989 Loma Prieta depremi buna örnektir)] meydana geldiğinde kuvvetli hareket süresi önemli ölçüde kısalmaktadır

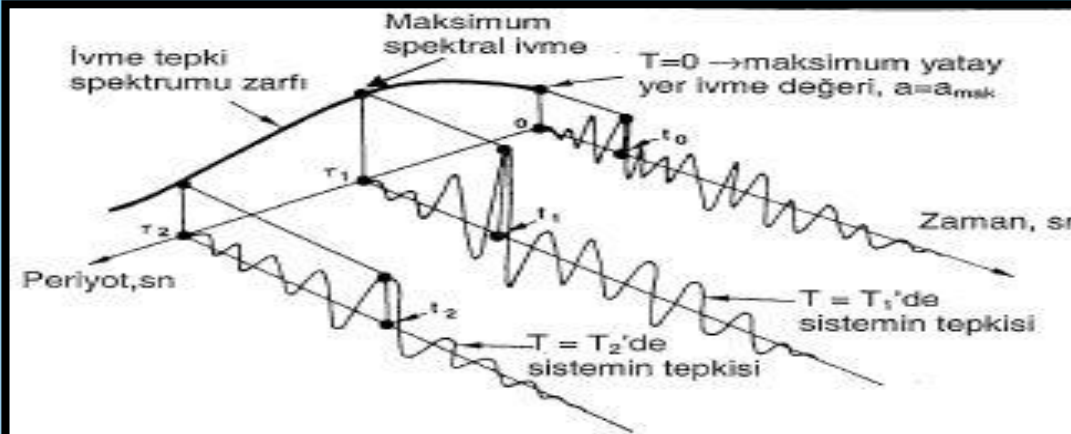
5. Spektrum Çeşitleri Ve Spektrum Nedir

Fourier Spektrum

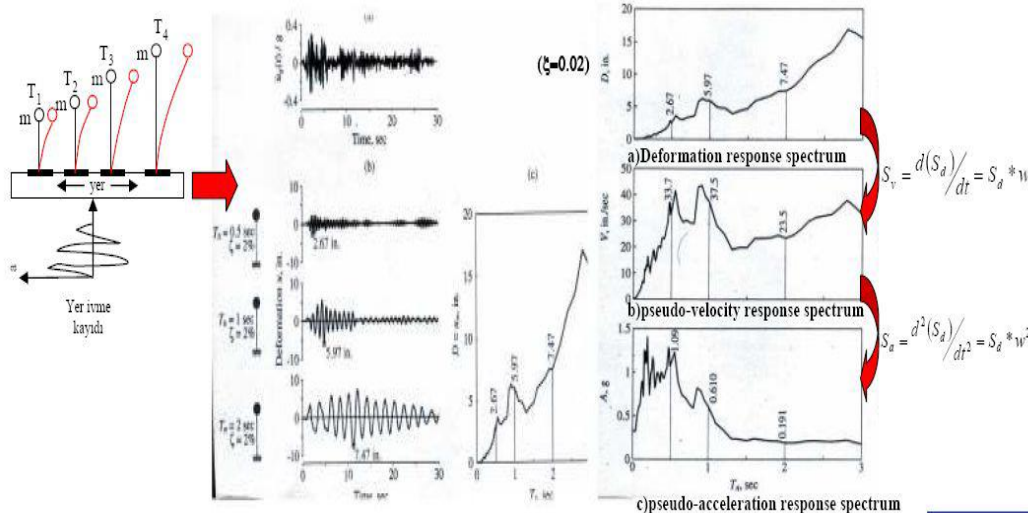
- Deprem dalgasının hangi frekans bileşenlerini içerdiğini, hangi bileşenin genliğinin büyük olduğunu göstermek bakımından, o deprem dalgasının yapılara yapacağı etkinin kestirilmesinde yararlı olabilir.
- Bu kestirim yapılırken frekans ortamındaki periyot değişimleri ile yapı yüksekliği arasındaki ilişki kullanılır.
- Yapıdaki her kat için 0.1 sn. kullanılır. 10 kat= 1 sn. olur.
- Kuvvetli yer hareketinin Fourier genlik spektrumu, zaman ortamında hareketin genliğinin frekansa (veya periyoda) göre nasıl dağıldığını göster.
- Hakim genlik değerlerinin hangi frekanslarda oluştuğu hakkında bize bilgi verir.

Tabii frekans

Eğer bir elastik sistem dış kuvvetler olmaksızın sadece iç kuvvetlerin etkisi altında titreşirse, bu titreşim frekansına tabii frekans denir.



maksimumlarının oluşturdukları eğri tepki spektrumunu oluşturmaktadır.



Tepki Spektrumları

- a_{max} , v_{max} , $d_{max} = f$ (periyot, zemin türü, sönüm) şeklinde ifade edilen zarfa "tepki spektrumu" denir
- İvme, hız ve yer değiştirme tepki spektrumlarının hepsine birden genel bir terim olarak "Tepki (response) Spektrumu" denir.
- İvme Tepki Spektrumu, yapılara etkien kuvveti, yani zeminden
- yapıya deprem girişini verir.
- Mühendislik yapısının doğal periyoduyla sönüm oranına göre, ivme
- tepki spektrumundan okunan maksimum tepki değeri, yapıya etkien mutlak ivme değeri olup, bununla yapının "m" kütlesi çarpılırsa deprem esnasında yapıda oluşan maksimum kesme kuvveti elde edilir.
- Hız tepki Spektrumu, depremde hareketle oluşan enerjinin bir kısmı yapılar tarafından absorbe edilir.
- Bu spektrum bize yapılara geçen maksimum enerjiyi verir.
- Yerdeğiştirme Tepki Spektrumu, yerdeğiştirmenin veya şekil değiştirmenin büyüklüğünü göstermekte olup yapı içindeki gerilmelerle ilişkilidir.

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.

5. Spektrum Çeşitleri Ve Spektrum Nedir

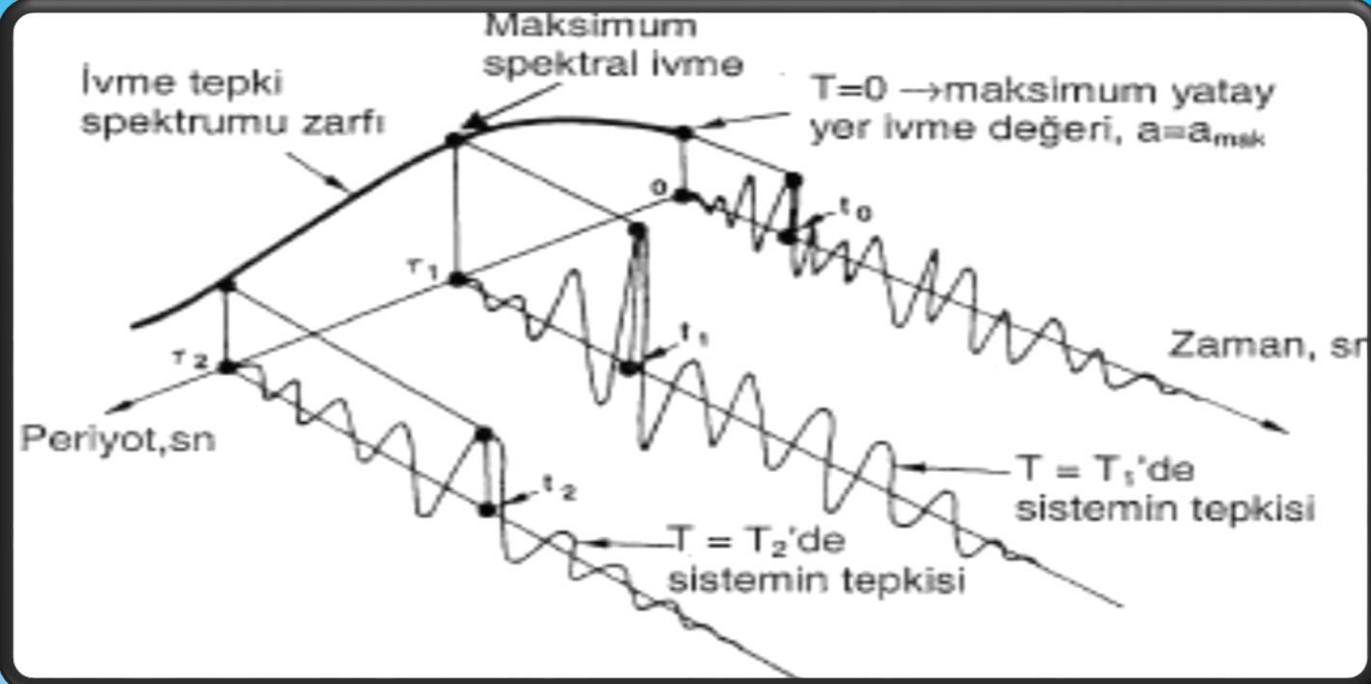
Tepki Spektrumları

- İvme, hız ve yer değiştirme tepki spektrumlarının hepsine birden genel bir terim olarak "Tepki (response) Spektrumu" denir.
- İvme Tepki Spektrumu, yapılara etkileyen kuvveti, yani zeminden yapıya deprem girişini verir. Mühendislik yapısının doğal periyoduyla sönüm oranına göre, ivme tepki spektrumundan okunan maksimum tepki değeri, yapıya etkileyen mutlak ivme değeri olup, bununla yapının "m" kütlesi çarpılırsa deprem esnasında yapıda oluşan maksimum kesme kuvveti elde edilir.
- Hız tepki Spektrumu, depremde hareketle oluşan enerjinin bir kısmı yapılar tarafından absorbe edilir. Bu spektrum bize yapılara geçen maksimum enerjiyi verir.
- Yerdeğiştirme Tepki Spektrumu, yerdeğiştirmenin veya şekil değiştirmenin büyüklüğünü göstermekte olup yapı içindeki gerilmelerle ilişkilidir.

- Sonsuz rijit bir yapıda-hakim periyodun $T=0$ olması durumunda, spektral ivme değeri maksimum yatay yer ivmesine eşittir.
- Diğer bir deyişle, $T=0$ anında sistemin kütle merkezine yatay yönde etkileyen eylemsizlik kuvveti

$$F = a_{\max} \frac{W}{g}$$

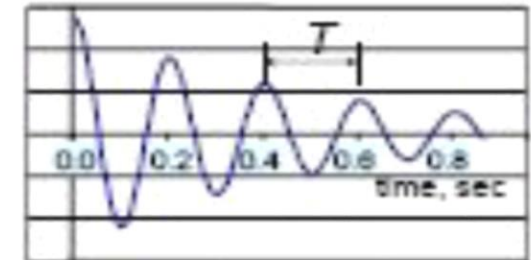
- W = Yapının statik ağırlığı
- g = Yerçekimi ivmesi (9.81 m/S^2)
- a_{\max} = Maksimum yatay yer ivmesi



Belli bir zemin türü ve enerji sönümlenme oranında öyle bir periyot ($T=T_1$) vardır ki sisteme etki eden spektral ivme değeri maksimum olur

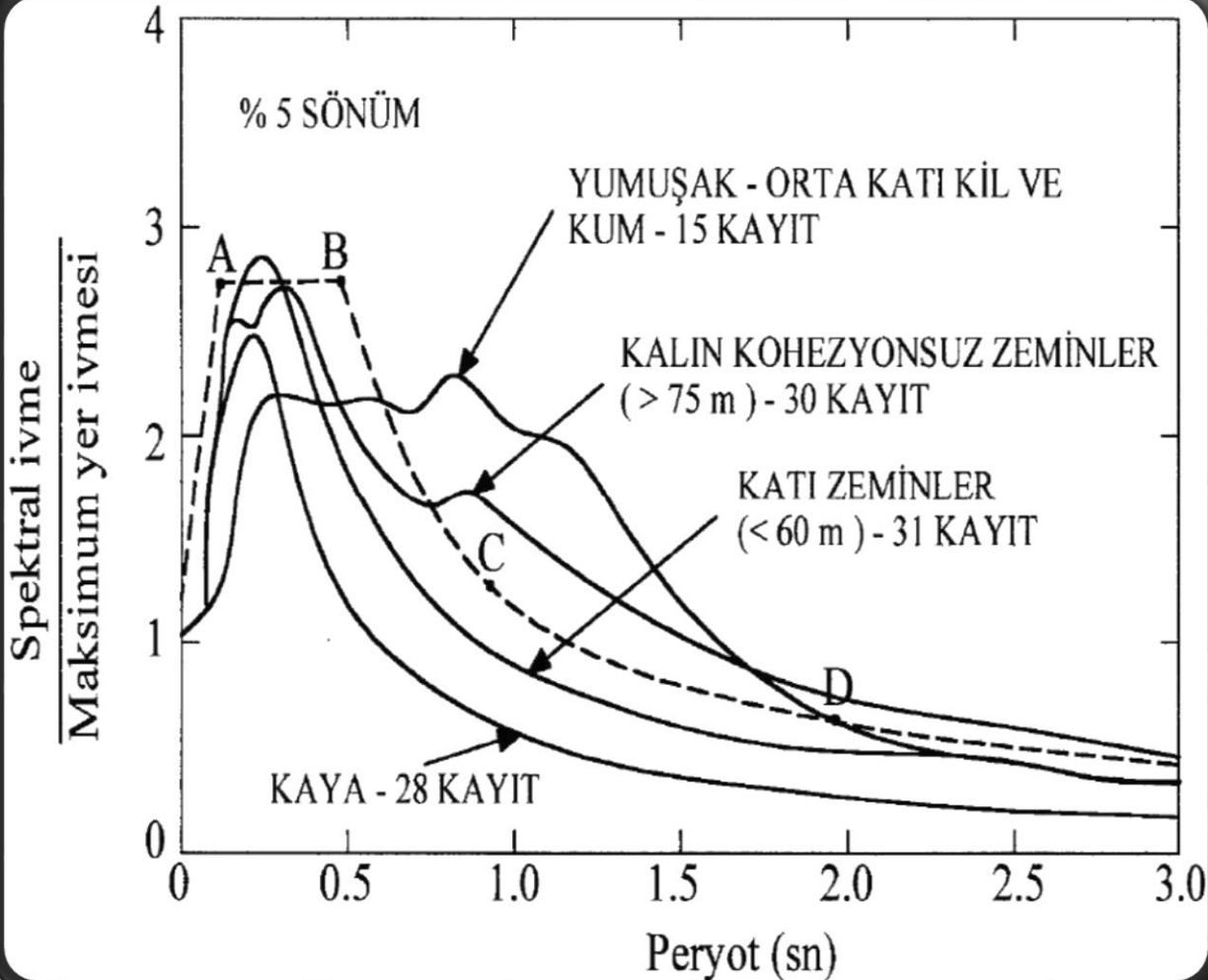


$$\text{Vibration Period } T = 2\pi \sqrt{\frac{W/g}{K}}$$



5. Spektrum Çeşitleri Ve Spektrum Nedir

Farklı Zemin Özellikleri ve Koşulları ile %5 Sönüm için Tanımlanmış Ortalama İvme Spektrumları
(Seed ve Idriss, 1983)
(zemin kalınlığı, deprem kayıt sayısı, zemin cinsi)



Spektral İvme, Hız ve Yer Değiştirme

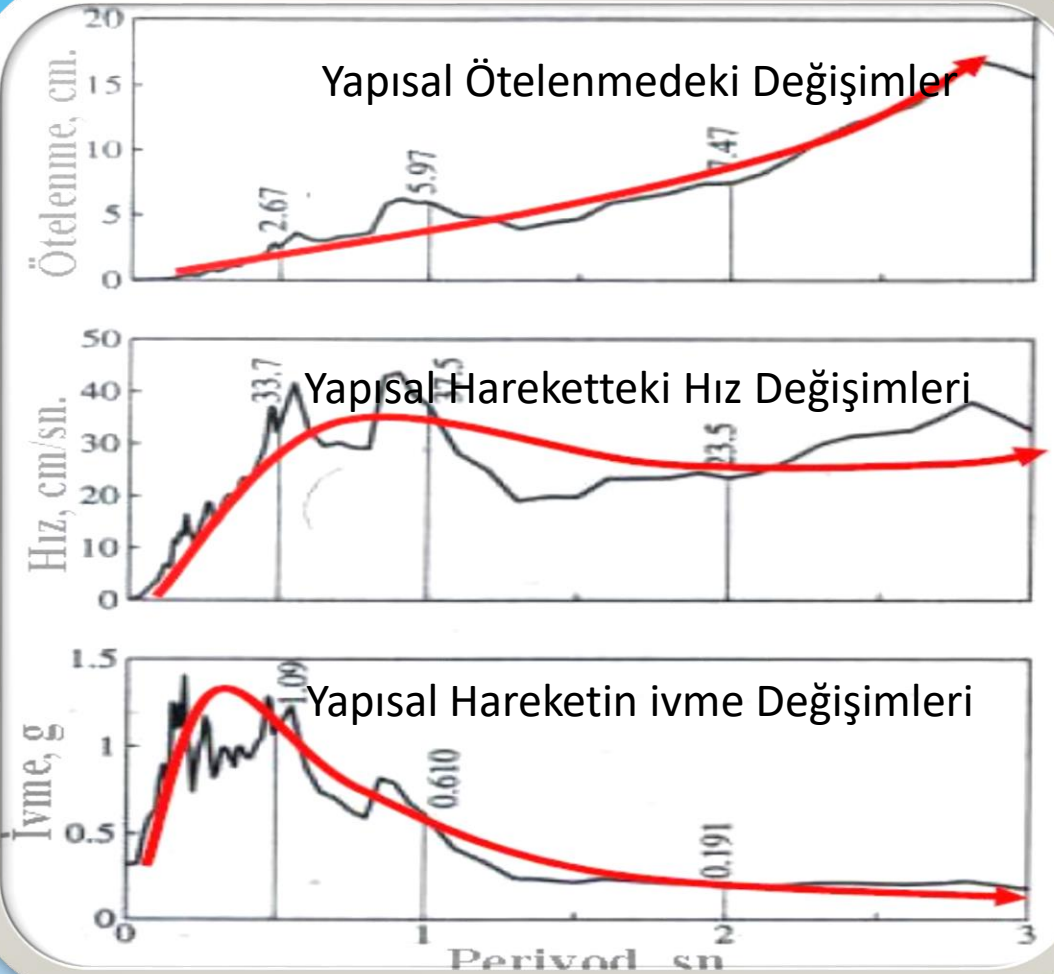
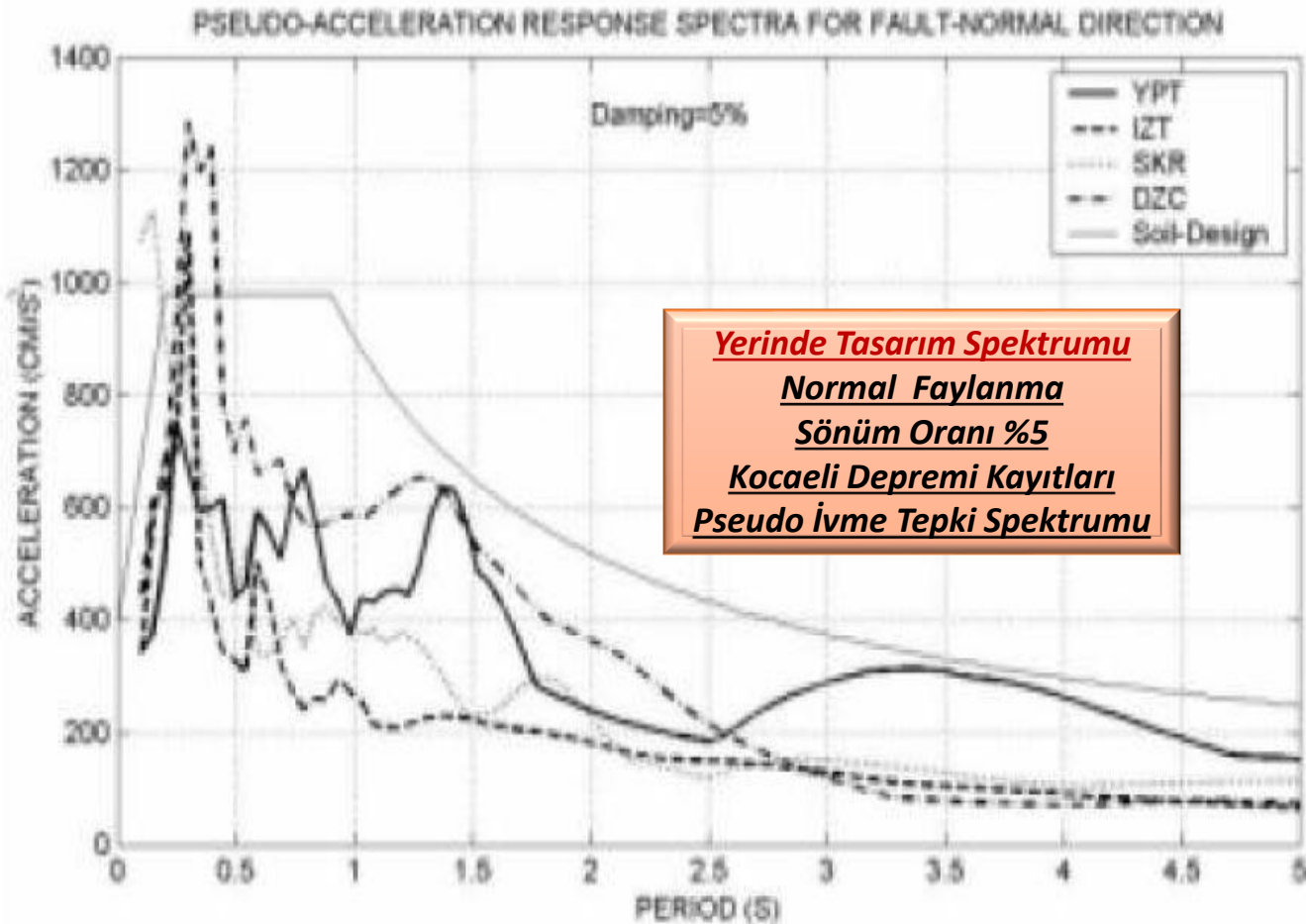
- Tepki spektrumları, ivme, hız veya yer değiştirme cinsinden ifade edilebilir.
- Bu parametrelerin her birinin maksimum değerleri (belirli bir girdi hareketi için) TSD sistemin sadece doğal frekansı ve sönümlenme oranına bağlıdır.
- İvme, hız ve yer değiştirmenin maksimum değerleri sırayla spektral ivme (S_a), spektral hız (S_v) ve spektral yer değiştirme (S_d) olarak ifade edilir.

Yorum

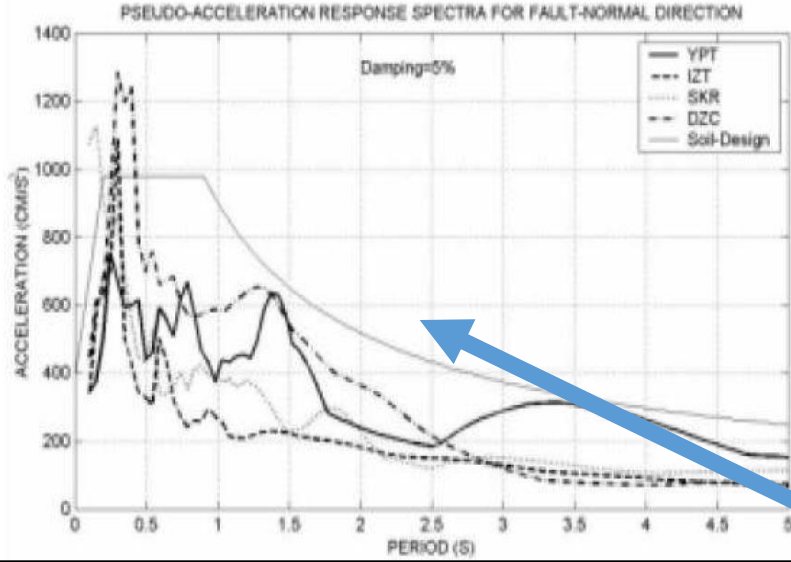
- Zemin türü spektral ivme büyüklüğünü önemli ölçüde etkilemektedir.
- Etkime derecesi özellikle zeminin/yapının doğal hakim periyodu tarafından denetlenmektedir.
- Katı zeminler için küçük periyotlu yapılarda ($T=0.25-0.30$ s) maksimum spektral ivmenin büyüklüğü yaklaşık ($3 \times$ maksimum yatay yer ivmesi) olmaktadır.
- Kaya zeminde ise hemen hemen aynı periyotta ($2.5 \times$ maksimum yatay yer ivmesi) şiddetinde oluşmaktadır. $T > 0.25-0.30$ s durumunda ise spektral ivme azalmaktadır.
- Yumuşak - orta katı kil ve kum zeminlerde spektral ivme maksimum değerini yaklaşık ($2.2 \times$ maksimum yatay yer ivmesi) daha geniş bir periyot aralığı ($0.25 < T < 1.1$ s) içinde sürdürmektedir.
- Büyük periyotlu yapılar (çok katlı binalar, köprüler, kuleler vb) için kaya türü zeminler eylemsizlik kuvvetinin boyutu açısından en elverişli ortamı oluşturmaktadır.
- yumuşak-orta katı kil koşullarında ise $T=1$ s 'de yapının maruz kalacağı spektral ivme değerleri kaya zemindeki değerine kıyasla çok daha büyüktür.
- Yani, bu zemin ve periyot koşullarında yapısal hasar oluşumunun olasılığı "ivme büyüme" olgusundan dolayı daha yüksektir.

5. Spektrum Çeşitleri Ve Spektrum Nedir

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



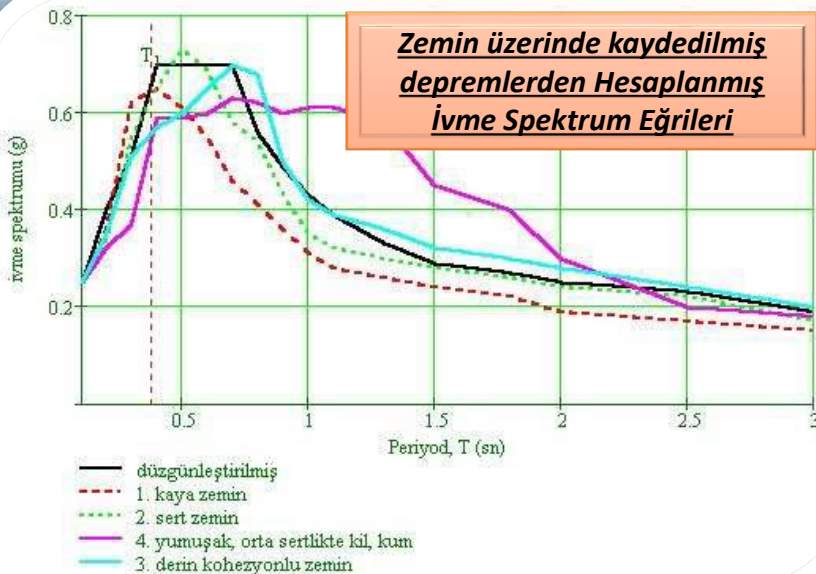
Tepki Spektrumu ile Tasarım Spektrumu Arasındaki Farklar



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

- **Tepki Spektrumu TSD'li değişik periyotlara sahip yapıların belirli bir sönüm özelliği ile belirli bir yer hareketine gösterdikleri tepki hikayesinin maksimumlarıdır.**
- **Oysa Tasarım Spektrumu benzer bir ekilde değişen periyotlar ve belirli bir sönümün özelliği (%5) ile belirli bir sismik aktiviteli bölgenin farklı depremlerinden oluşmuş bir koleksiyon depremlerine (50 yıl dönüşümlü asılma olasılığı %10 olan depremlere) verilen tepkilerin maksimum değerlerinin istatistiki bir değerlendirme sonucu elde edilen sonuçlarına uydurulan bir zarf ile oluşturulmuştur**

Zemin üzerinde kaydedilmiş depremlerden Hesaplanmış ivme Spektrum Eğrileri



TASARIM DEPREM

- **Binaların tasarımı tek bir deprem tehlike seviyesi için yapılır.**
- **Şiddetli depreme karşılık gelen bu deprem Tasarım depremi, olarak tanımlanır.**
- **Tasarım depremi, önem katsayısı $I=1$ olan binalar için, dönüş periyodu 475 yıl ve 50 yılda asılma olasılığı % 10 olan "seyrek deprem" olarak tanımlanır.**
- **Tasarım depremi, Deprem Tasarım Spektrumu ile ifade edilir.**
- **Deprem tasarım spektrumu binayı etkileyen deprem karakteristiklerini yansıtır.**
- **Bu karakteristikler; Deprem kaynak özellikleri, büyüklüğü ve süresi ile Zemin özelliklerine bağlıdır.**

DEPREM TASARIM SPEKTRUMU

- **Deprem bölgeleri için olasılıksal ve/veya deterministik yaklaşımlar kullanılarak belirlenen gerçek ve/veya suni (üretilmiş) deprem ivme kayıtları özelliklerine göre gruplandırılmış ivme spektrumları ile elde edilir.**
- **Her bir spektrum grubu için en elverişsiz spektral değerlerini içeren bir zarf spektrum belirlenir.**

5.3. Tepki Spektrumu ile Tasarım Spektrumu Arasındaki Farklar

TASARIM SPEKTRUMU

Değişik yapıları temsil eden Tek Serbestlik Dereceli (TSD) farklı periyodu fakat eşit kütleli yapıların aynı depremin bir bileşenine karşı gösterdikleri tepkilerin maksimumlarının oluşturdukları **eğri tepki spektrumunu** oluşturmaktadır

Spektrumların, belirli bir yer hareketi etkisinde, sabit bir sönüm oranı için, tek serbestlik dereceli sistemlerin, o yer hareketine verdiği tepkinin (ivme, hız, yer değiştirme) en büyük değerini gösterir.

Tasarım spektrumları ise yeni yapıların tasarımında kullanılacak deprem yükünü belirlemede kullanılır.

Başka bir deyişle, tasarım spektrumu, kaydedilmiş bir deprem için değil, gelecekte ortaya çıkması olası depremler için belirlenir.

Tasarım Spektrumu; benzer bir şekilde değişen periyodlar ve belirli bir sönüm özelliği (%5) ile belirli bir sismik aktiviteli bölgede oluşmuş farklı depremleri kapsayan koleksiyon depremlerine (50 yıl dönüşümlü asılma olasılığı %10 olan depremlere) verilen tepkilerin maksimumlarının istatiksel olarak değerlendirmesinden elde edilen bir zarf eğrisindedir.

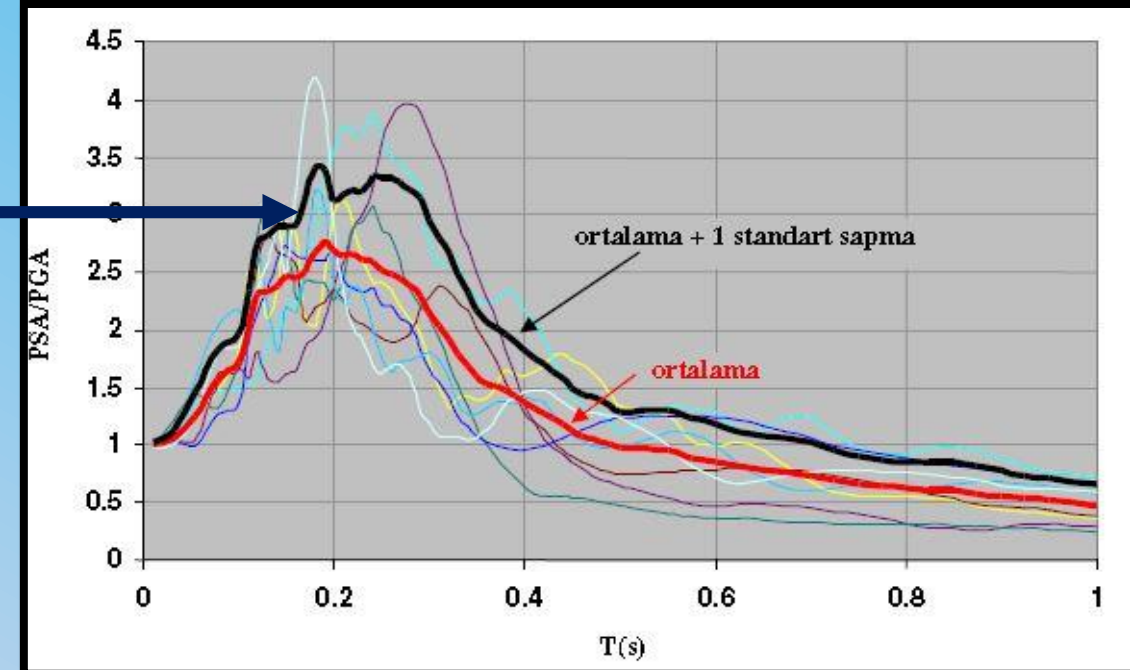
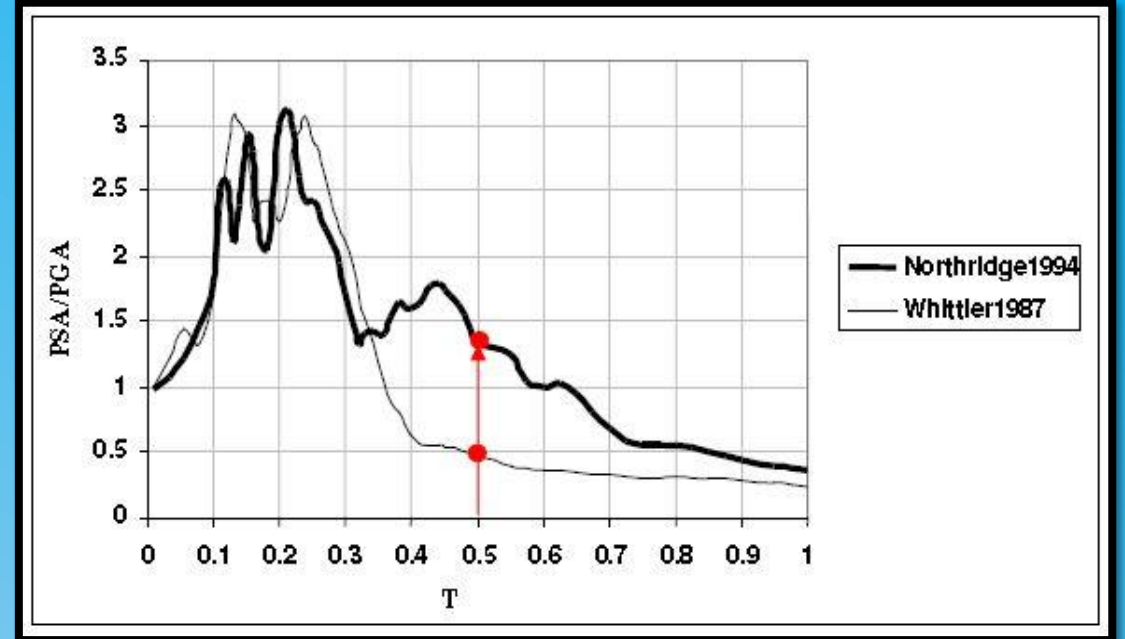
Doğaldır ki, bir bölgede, gelecekte ortaya çıkması olası depremlere ilişkin bir tasarım spektrumu hazırlamak için, aynı bölgede geçmişte ortaya çıkmış depremlerden yararlanır.

Eğer, o bölgede, geçmişte yeteri kadar kayıt elde edilememişse, bu durumda benzer özelliklere sahip (deprem odağının kayıt yerinden olan uzaklığı, fay mekanizması, sismik dalgaların yayıldığı zemin cinsi ve yerel zemin koşulları gibi) başka bir bölgede elde edilmiş kayıtlardan yararlanır.

Yandaki şekilde görüldüğü gibi, tek bir yer hareketi için çizilmiş ivme spektrumu kırıklı bir yapıya sahiptir.

Aynı bölgede, farklı zamanlarda kaydedilmiş yer hareketleri için çizilecek spektrumlarda benzer şekilde kırıklı olacaktır.

Şekilde Los Angeles Obregon Park istasyonunda, 1987 Whittier ve 1994 Northridge depremlerinde alınmış kayıtlara ait spektrumlar görülmektedir.



5.3. Tepki Spektrumu ile Tasarım Spektrumu Arasındaki Farklar

Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY98), Depreme dayanıklı yapıyı "Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının her hangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabilir düzeyde olması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi" olarak tanımlar.

Hasar yaratacak şiddetli deprem olarak, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremidir. Bu tasarım deprem tanımı konut ve işyeri gibi binaların tasarımında kullanılacak olan depremi tanımlar. Ancak, halkın yoğun olarak bulunduğu sinema, tiyatro, okul, spor tesisleri gibi binalar ile depremden hemen sonra kullanılması gereken bina tasarımlarında (hastaneler, itfaiye, sağlık ocakları, ulaşım istasyonları, enerji tesisleri vb.) ise bina önem katsayısı kullanılır. Bu katsayı ile söz konusu tasarım depremi büyütülerek kullanılmış olur.

Tanım olarak depreme dayanıklı yapı demek, yeterli dayanım (kapasite), yeterli rijitlik ve yeterli sünekliliğe sahip olan yapı demektir.

Spektral Displacement (SD) = Yer değiştirme spektrumları, belirli bir yer hareketi etkisinde (deprem), sabit bir sönüm oranına (ξ olarak tanımlanır ve yapı yapımında kullanılan malzemenin özelliğine bağlıdır) sahip farklı yükseklikteki yapılar (farklı T değerleri için tanımlanan tek serbestlik dereceli sistem) için tanımlanır.

$k=mw^2$ ile, $U_{max} = T$ periyot değerine sahip tek serbestlik dereceli sistemin maksimum yer değiştirme değeri olarak tanımlanırsa $F=k(U_{max}) = k(SD)=(mw^2)(SD)$ olur.

$F=$ Yapı Yer değiştirmesinin en büyük değerine ulaştığı anda yapıya geçen kuvvetin eylemsizlik kuvveti cinsinden tanımıdır ve böylece $F= m.a = m.(w^2(SD))$ olarak elde edilir.

Tasarım Spektrumları

Spektrumların, belirli bir yer hareketi etkisinde, sabit bir sönüm oranı için, tek serbestlik dereceli sistemlerin, o yer hareketine verdiği tepkinin (ivme, hız, yer değiştirme) en büyük değerini gösterir.

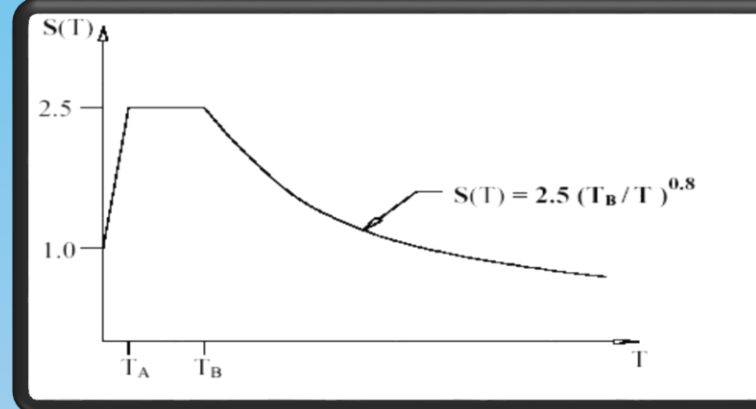
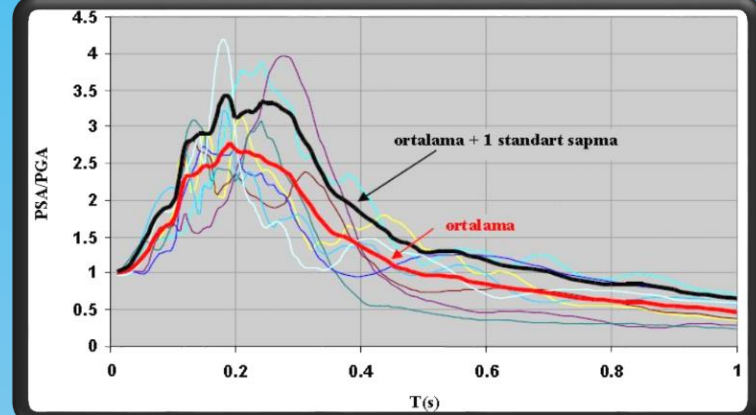
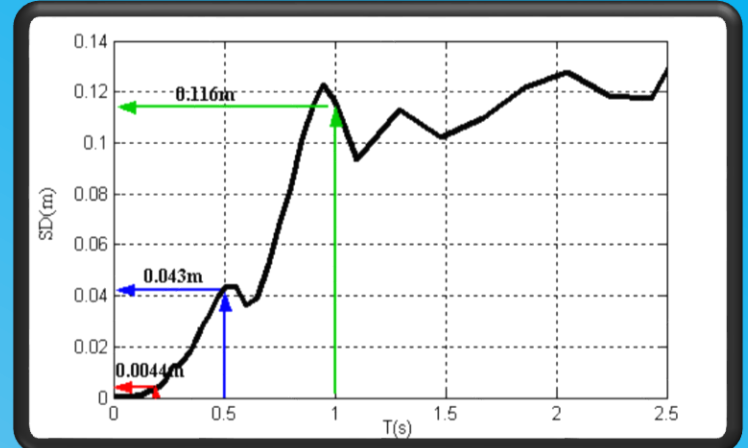
Tasarım spektrumları ise yeni yapıların tasarımında kullanılacak deprem yükünü belirlemede kullanılır. Başka bir deyişle, tasarım spektrumu, kaydedilmiş bir deprem için değil, gelecekte ortaya çıkması olası depremler için belirlenir.

Doğaldır ki, bir bölgede, gelecekte ortaya çıkması olası depremlere ilişkin bir tasarım spektrumu hazırlamak için, aynı bölgede geçmişte ortaya çıkmış depremlerden yararlanır.

Eğer, o bölgede, geçmişte yeteri kadar kayıt elde edilememişse, bu durumda benzer özelliklere sahip (deprem odağının kayıt yerinden olan uzaklığı, fay mekanizması, sismik dalgaların yayıldığı zemin cinsi ve yerel zemin koşulları gibi) başka bir bölgede elde edilmiş kayıtlardan yararlanır.

Yapı yapılacak noktaya ait tanımlanacak tasarım spektrumları, yapı yapılacak bölgede kaydedilmiş çok sayıda deprem için çizilmiş spektrumların istatistik yöntemlerle değerlendirilmesi sonucu elde edilirler.

Göz önüne alınan yer hareketi sayısı arttıkça, istatistik değerlendirmeye elde edilen eğrilerin kırıklığı azalır. Bu nedenle, yönetmelikler de verilen spektrumlar, tek bir yer hareketi için çizilmiş spektrumlara göre çok daha düzgündür.



6. PSA (ω^2SD) ve Elastik Deprem Yük Değerlerinin Elde Edilmesi

İç kuvvetlerin eylemsizlik kuvveti cinsinden hesabında toplam ivmenin en büyük değeri yerine kullanılan bu ivmeye PSA (ω^2SD) **sözde ivme** veya **yalancı ivme (pseudo acceleration)**, periyotları farklı tek serbestlik dereceli sistemlerin sözde ivme değerlerini gösteren spektruma da **sözde ivme davranış spektrumu (pseudo acceleration spectra)** adı verilir.

Yer değiştirme spektrumu elde edildikten sonra, her bir periyot değeri için (ω^2SD) değeri hesaplanarak sözde ivme davranış spektrumu elde edilir.

Bu spektrumdan, belirli bir periyot için okunacak ivme değeri de **sözde spektral ivme (pseudo spectral acceleration-PSA)** olarak adlandırılır. Sözde spektral ivmeyle spektral yer değiştirme arasındaki ilişki **PSA = (ω^2SD)** Olarak tanımlanır. Normalize ivme=PSA/PGA olarak hesaplanır.

Örnek: Farklı T değerleri için normalize ivmelerin elde edilmesi.

$T=0.2$ sn, $\xi=0.05$, $PGA=0.25$ g. için L (yapı yer değiştirmesi) =0.0044m

$\omega^2=986.96$ ($1/sn^2$) $PSA=4.34$ (m/sn^2) =0.434 g. $PSA/PGA=0.434/0.25$

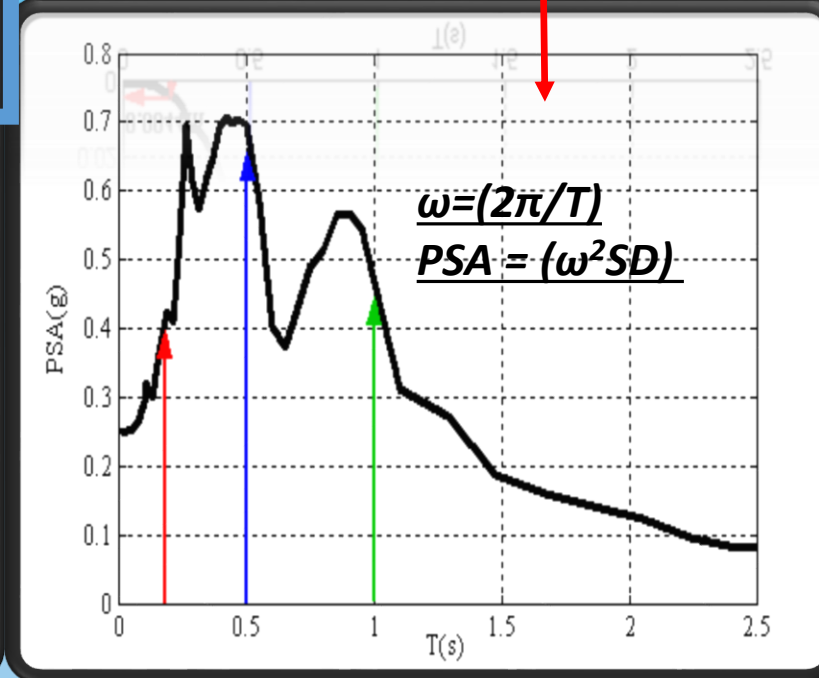
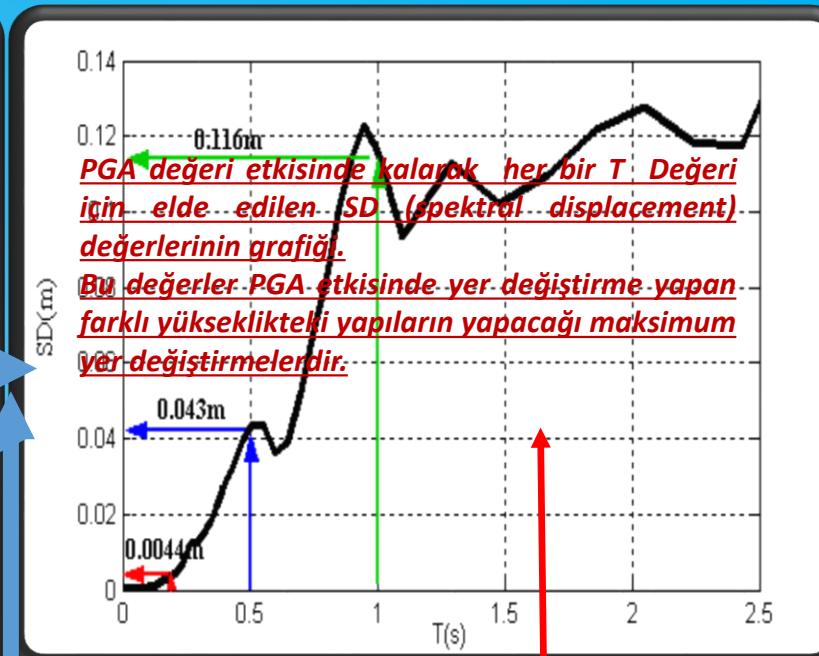
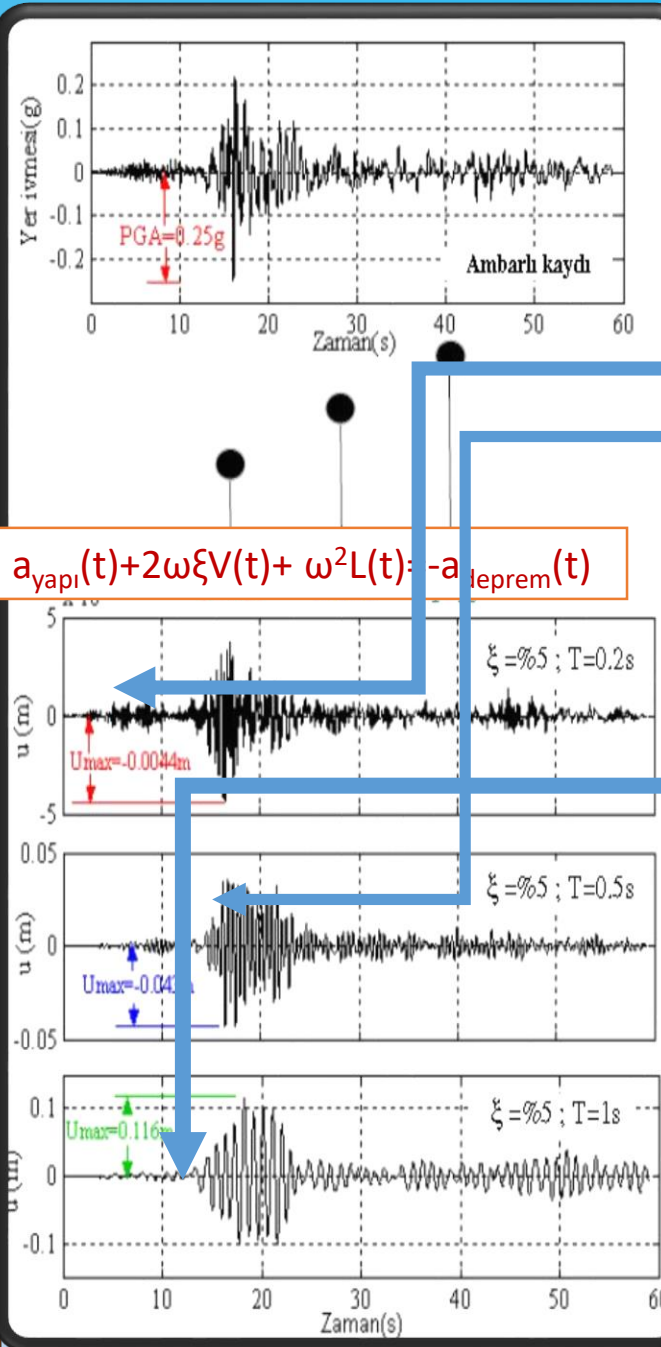
$T=0.5$ sn, $\xi=0.05$, $PGA=0.25$ g. için L (yapı yer değiştirmesi) =0.043m

$\omega^2=157.75$ ($1/sn^2$) $PSA=6.78$ (m/sn^2) =0.678 g. $PSA/PGA=0.678/0.25$

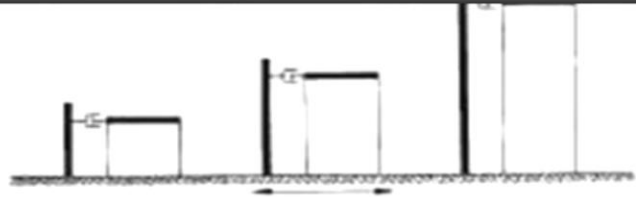
$T=1.0$ sn, $\xi=0.05$, $PGA=0.25$ g. için L (yapı yer değiştirmesi) =0.116m

$\omega^2=39.478$ ($1/sn^2$) $PSA=4.57$ (m/sn^2) =0.4578 g. $PSA/PGA=0.457/0.25$

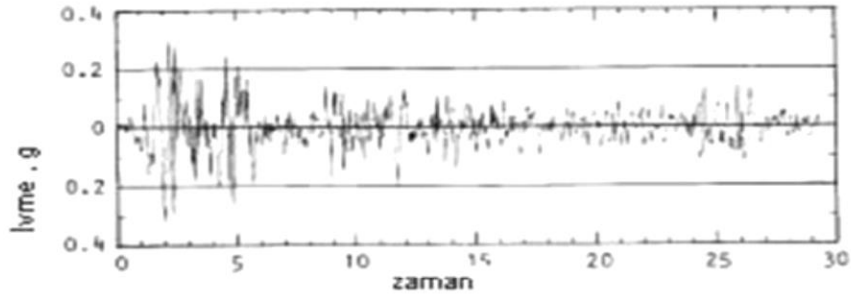
Elastik Deprem Yükü $F_{el} = m(PSA)$ olarak hesaplanır.



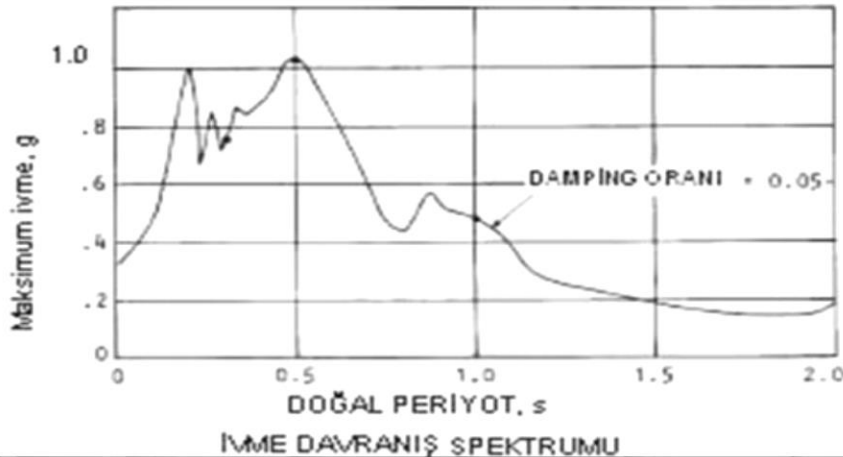
7. Yapı Yüksekliği Sönüm (Damping) Oranı Periyot ve Yapı Taban İvme Değerleri Arasındaki İlişki



Doğal periyot	$T = 0.3 \text{ s}$	$T = 0.5 \text{ s}$	$T = 1.0 \text{ s}$
Damping Oranı	$\lambda = 0.05$	$\lambda = 0.05$	$\lambda = 0.05$
\ddot{u}_{max}	0.75 g	1.02 g	0.48 g



B CENTRO DEPREMİ, 18 MAYIS 1940
N-S BİLEŞENİ



İVME DAVRANIŞ SPEKTRUMU

Yapı doğal periyotları sırasıyla

- 0.3 s (basitçe 3 katlı)
- 0.5 s (basitçe 5 katlı)
- 1.0 s (basitçe 10 katlı)

Doğal periyot değerleri farklı olan bu 3 yapının aynı deprem nedeniyle (ivme davranış spektrumu) beklenen taban ivme değerleri hesaplanıp deprem sırasında yapıya gelecek deprem yükünün hesabı için kullanılması gerekir.

- Yapılan hesaplamalar sonucunda bu üç yapının doğal periyotlarına bağlı olarak aynı deprem etkisi altında farklı maksimum ivme (0.75g, 1.02g ve 0.48g) etkisinde kalacağı saptanmıştır.
- Bu sonuca göre, depremin şiddetinin aynı olmasına rağmen, bu üç yapının her birinin deprem sırasında farklı derecede depremden etkilenecektir.
- Taban ivmenin sayısal değerlerine dikkat edilirse, bu üç yapının, deprem nedeniyle etkisinde kalacağı deprem yük değerinin, birbirlerine göre 2-3 kat kadar fazla olabileceği görülmektedir.
- Bu nedenle bir depremin şiddetini tanımlamak amacıyla kullanılan maksimum ivme değerinin yanı sıra, deprem yer hareketinin frekans içeriğinin de bir depremi tanımlamada son derece önemli bir karakteristik olduğu açıktır.

TEPKİ (MUKABELE) SPEKTRUMU, YAPININ YANITI, YANIT SPEKTRUMU, TEPKİ SPEKTRUMU, DAVRANIŞ SPEKTRUMU

He concept of elastic response spectrum was introduced by Maurice A. Biot (Biot 1933, 1934, 1941).

The technique is now a fundamental method in earthquake engineering (Housner 1941; Housner et al., 1953; Hudson, 1962).

The elastic response spectrum represents The maximum response (over time) of a linear elastic SDF system versus its natural period (or frequency) when excited by a ground acceleration time history.

The reponse quantity of the SDF system can be one of the following:

$S_d = \text{max. deformation of the SDF system relative to the ground}$

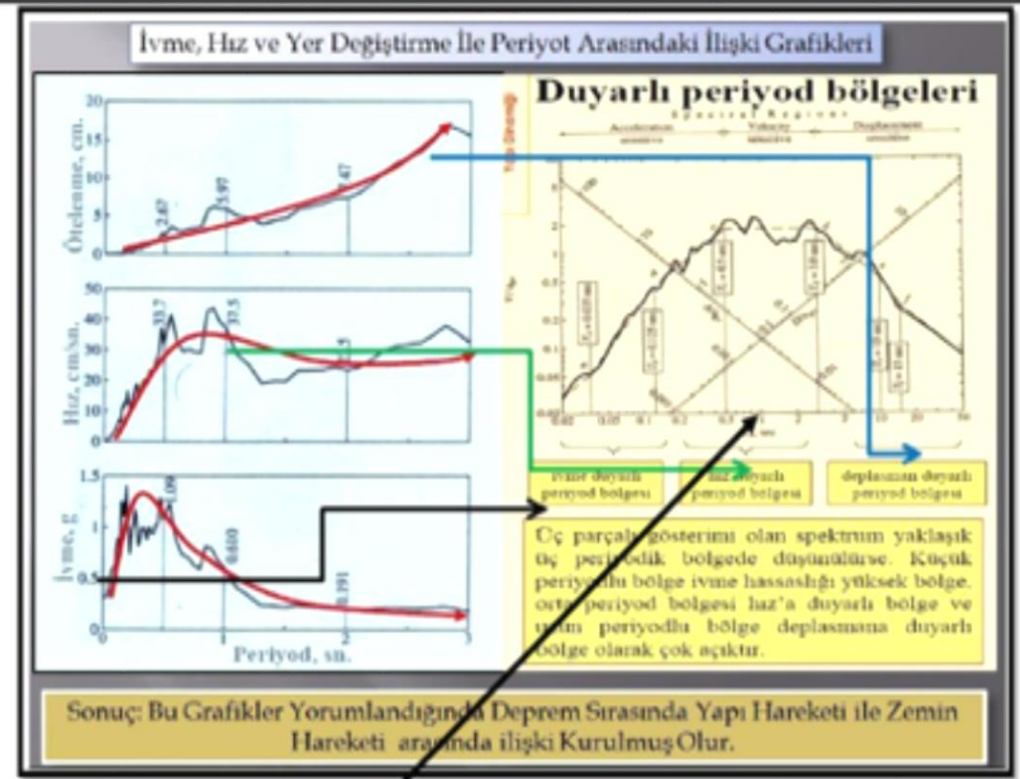
$S_v = \text{max. velocity of the SDF system relative to the ground}$

$S_a = \text{max. absolute (total) acceleration of the SDF system}$

$S_v \text{ (or PSV)} = \text{pseudo-velocity} = \omega \cdot S_d$

$S_a \text{ (or PSA)} = \text{pseudo-acceleration} = \omega^2 \cdot S_d$

For response spectra, the absolute values of these quantities are used. The maximum elastic restoring force (or the base shear) in the SDF system is $F_e = k \cdot S_d = m \cdot \omega^2 \cdot S_d = m \cdot S_a$



İzmir Metropol Alanı genelinde saptanan $T_0 > 1$ sn sonucu deplasmana duyarlı periyot bölgesini tanımlamaktadır. Bunun anlamı; mevcut ve yeni yapılacak yapılarda yüksek deplasman (yer değiştirme) etkisi beklenmelidir. Bu sonuca göre yapı rijitliği ve yüksekliği tasarlanırken bu olgu dikkate alınmalıdır.

8. Zemin Pik Periyot Kullanılarak Tanımlanacak Periyot Duyarlılık Bölgeleri İçin 3 Bölge Tanımlanır.

- 1. $T_0 < 0.5$ sn. = İvme duyarlı bölge**
- 2. $0.5 < T_0 < 3$ sn. = Hız duyarlı bölge.**
- 3. $T_0 > 3$ sn. = Yer değiştirme duyarlı bölge.**