

DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIM İLKELERİ

1. Depreme Dayanıklı Yapı Ne Demek? Depremi En Az Hasarla Atlatan ve Deprem Sonunda Yıkılmadım Ayakta Kaldım Diyebilen Yapıdır.
2. Böyle Bir Yapının Özellikleri Ne Olmalı? Depreme Hareketini Karşılamaya Uygun Derecede Kütlesi, Sünekliği ve Rijitliği Olan Yapı Bu Tanıma Girer.
3. Bu Durumda Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Önemli Olan Yapının Kütlesi ile Süneklik ve Rijitlik Katsayılarına Karar Vermektir.
4. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Genel İlkesinde Yapının Deprem Sırasında Zeminle Beraber Yer Değiştirmesi Temel Alınır. Bunun Anlamı Deprem Sırasında Yapı Yıkılmadan Yer Değiştirmelidir.
5. Bu bağlamda Araştırmanın Konusunu, Yapı Maksimum Yer Değiştirmesinin Yapı Salınım Periyodu İle İlişkisi Oluşturur.
6. Yapı Deprem Sırasında Yapacağı Salınım ve Yer Değiştirme Hareketine Göre Deprem Sırasında Hasar Alır.
7. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Bilinen Parametreler Depremin Maksimum İyeme Değeri (PGA), Yapı Sönüm Katsayısı (ζ), Yapı Salınım Periyodu ($T=2\pi/w$) ve Yapı Kütlesi (m) Olarak Kabul Edilir.
8. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Matematiksel Model Olarak Belirli Bir Yer Hareketi Etkisinde, Sabit Bir Sönüm Oranı İçin, Periyotları Farklı Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Yapacağı En Büyük Yer Değiştirme Değerleri Kullanılır.
9. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Çözülmesi İstenen Diferansiyel Denklem Tek Serbestlik Dereceli Sistemin, Yer Hareketi Etkisinde Yaptığı Kabul Edilen Sönümlü Zorlanmış Titreşimine Ait Hareket Denklemidir.
10. Bu Hesaplarda Deprem Sırasında Zeminde Oluşabilecek Deformasyonun Kalıcı Olmadığı kabul edilir. Bunun Anlamı Zemin Yüzeyi Deprem Sırasında Yatay Konumda Kabul Edilir.
11. Yapının Deprem Sırasında Alacağı Hasar, Maksimum Yer Değiştirmesine Bağlıdır. Ne Fazla Yer Değiştirirse Yapının Devrilme Riski Artar.
12. Sonuçta Yapıyla İlgili Parametrelere (m , c ve k) Karar Vermek İçin Yapı Maksimum Yer Değiştirme - Periyot Grafiğine bakılır.
13. Yapıda En Büyük Yer Değiştirmeyi Yaratacak Yapı iç Kuvveti Dengelenmek Zorundadır.

GERÇEĞE UYGUN KOŞULLARDA DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

1. Yapının Deprem Sırasındaki Hareketi, $P(t)$ Kuvveti Etkisinde Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Zorlanmış Sönümlü Hareketine Benzetilir (Şekil 1)
2. Sistemin $P(t)$ Kuvveti Etkisinde Yapacağı Hareket Bağıntı (1) İle Tanımlıdır.
3. Bağıntı (1) Nasıl Çözülür ve Ne Elde Edilir?
 - a. Bağıntı (1) deki $P(t)$ Kuvvetini Tanımlı Hale Dönüştürmek İçin Sistem önce m Kütlesi Üst Uçta Toplanmış, Alt Ucu Zemine Sabitlenmiş, c Sönüm Katsayılı ve k Rijitli Bir Çubuk Olarak Kabul Edilir (Şekil 2)
 - b. Bu Sistem, Deprem Sırasında Yer Hareketi Etkisi İle Önce (Yapı İç hareketi Oluşmadan) U_g Değeri Kadar Zeminle Ortak Hareket Eder (Bu Durumu, Yapının Zemin Yüzeyi Üzerinde Kayması Anlamında Değil Zemindeki Bir Noktanın Yer Çekim İvmesi Nedeni İle Uzayda Yer Değiştirmesi Anlamında Düşünelim), Daha Sonra Yapı İç Hareketi Başlar Ve Yapı Tek Başına (U) Miktarında Yer Değişimini Yapar. Toplam Yer Değiştirme de (U_g+U) Olur. Sistemin Statik Olarak Dengede Kalabilmesi İçin Bu Toplam Hareket Olayının Sonucu Kuvvetler Toplamı Sıfıra Eşit Olmalıdır (Bağıntı 2). (Bunun Anlamı Sistem Hareketi Bittiği Zaman Denge Durumuna Dönebilmelidir)
 - c. Bağıntı (2) ve (1) Özdesliği Yapılırsa Yapıyı Hareket Ettiren Kuvvetin Değeri $P(t) = -(Yapı Kütlesi) m * a$ (Yer Çekim İvmesi) Olur. Bu aşamada P Kuvveti Zamana Bağlı Olarak Bulunmuş Oldu. Buradaki Yer Çekim İvmesi O Noktadaki Deprem Maksimum İvmesine (PGA) Eşit Olur.
 - d. Yapının Hareketini Zamana Göre Değilde Periyoda Göre İrdelemek İstersek İlave Bazı Matematiksel Yaklaşımlar Daha Yapılır. Ayrıca M Kütlesinden de Kurtulmak İstersek Değişken Dönüşümleri de Yapılır ve Bağıntı (3) Elde Edilir. Bu Bağıntının Çözümü Bize Sistemin Sabit Bir T Periyodu İçin Zamana Göre Yer Değiştirme Grafiğini Verir. Bu Grafikten Maksimum Yer Değiştirme Değeri Sabit Bir T Periyot Değeri için Bulunmuş Olur.
 - e. Aynı Çözümler Farklı T Değerleri İçinde Yapılarak Her Bir T Çözümü İçin Maksimum Yer Değiştirme Değerleri Elde Edilir.
 - f. Her Bir Periyot İçin Bulunan Bu Maksimum Yer Değiştirmeler Periyoda Göre Grafiklenirse, O Noktada Kaydedilmiş PGA Değerli Bir Tek Deprem İçin Maksimum Yapı Yer Değiştirme Spektrumu (SD) Elde Edilmiş olur.
 - g. SD değerleri elde edildikten sonra her bir periyot değeri için ($w2SD$) değeri hesaplanır ve çizilirse PSA-Periyot değişimi elde edilir (Şekil 7).
 - h. PSA (Sözde veya Psedue İvme) Yapı Maksimum Yer Değiştirme Değerine Karşılık Gelen Deprem İvme Değeridir.

- i. Bu Spektrumun Anlamı Deprem Sırasında Yapının Hangi Periyot Değerinde ve Hangi Değerde Yer Değiştirmeyi Yapacağıdır. Periyotun Sayısal Değerleri İçinde Yapıya Ait m (kütle), k (rijitlik Kts) ve c (Sönüm Kts.) Parametreleri Olduğu İçin Bu Spektrum Yapı Tasarımında da Kullanılır.
- j. Uygulamada, Önce Spektrumdan Hangi Periyotun Uygun Olduğuna Karar Verilir. Sonra Bu Periyot Değeri İçinde Kalacak Şekilde Yapı Kütleli, Sönüm Katsayısı ve Rijitlik Değerlerine Karar Verilir. Diğer Bir Değişle Periyot Değerini Seçmekle Yapı Tanımlanmış Olur (Şekil 3).

SONUÇLAR

- a. Çözümüm Kabulünü Oluşturan PGA Değerinin Yapı Yapılacak Noktaya Uygun Olması Gerekir. Bu Değerin O Noktaya Ait Olması Gerekir.
- b. Yapı Yapılacak Noktadaki Zeminin Deprem Sırasında Yüzeyi Yatay Kabul Ediliyor (Zemin Deformasyonu Yok).

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = P(t) \quad (1)$$

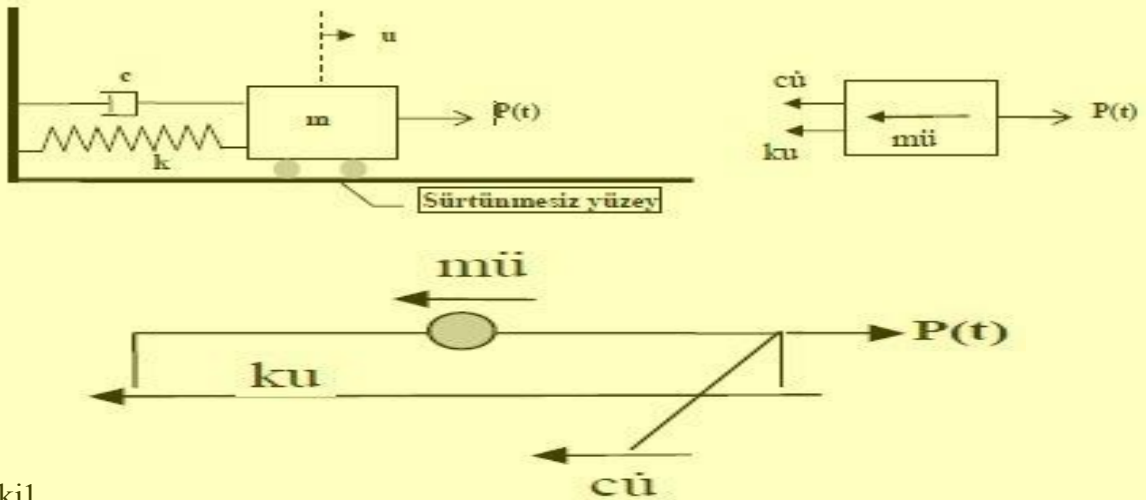
$$m[\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t)] + c\dot{u}(t) + ku(t) = 0$$

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2)$$

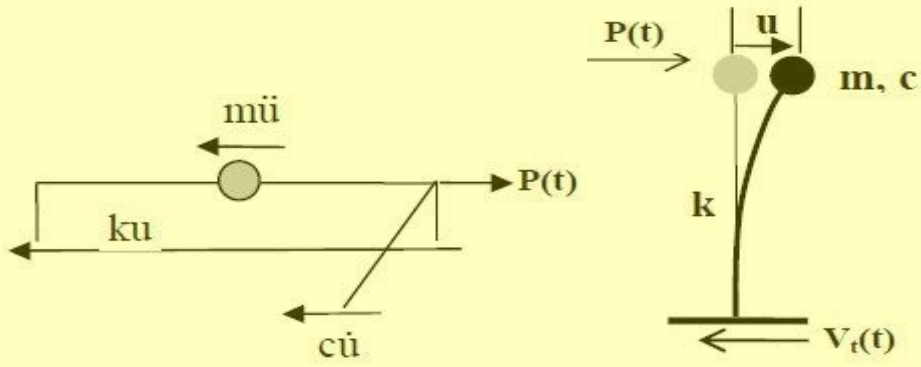
$$c = 2m\omega\xi$$

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

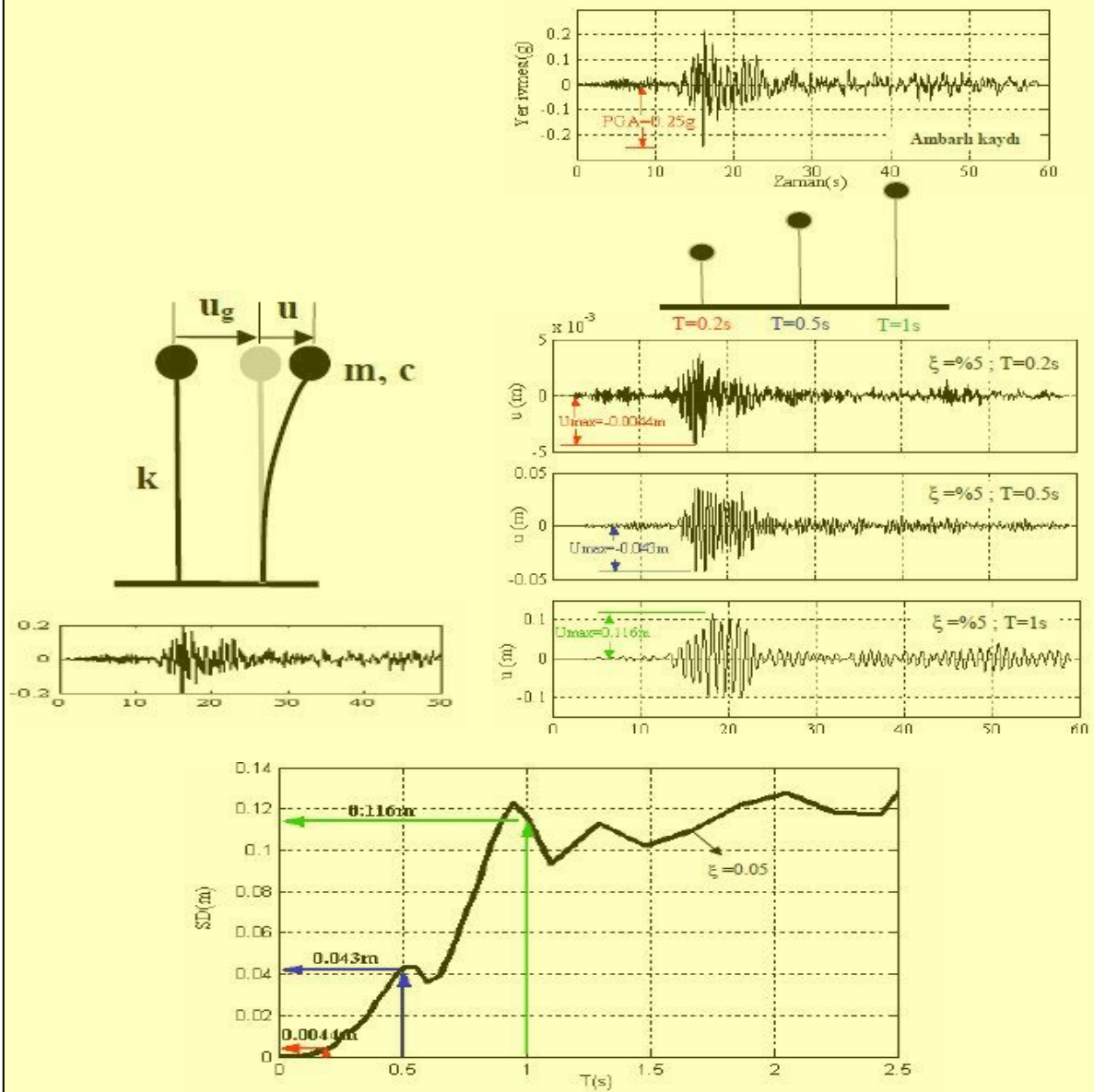
$$\ddot{u}(t) + 2\omega\xi\dot{u}(t) + \omega^2u(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad (3)$$



Şekil.



Şekil 2.



Şekil 3.

Aşama A. Yapının Oturacağı Zeminde Yapı-Deprem Hareketi Sırasında Oluşabilecek Deformasyonunun Kontrol Altına Alınması

Zemin deprem sırasında, yapı kütlesi nedeniyle oluşacak zemin içi gerilmelere ilave olarak depremde yer ivmesi değişimi etkisiyle de yeni bir gerilim etkisinde daha kalır.

A.1. Tüm bu gerilimleri karşılamak için zeminde iç kuvvetler oluşmak zorundadır.

A.2. Bu iç kuvvetler deprem sırasında zamana ve zemin özelliklerine bağlı olarak değişebilir.

A.3. Bu iç kuvvetler zeminde bazı deformasyonlar (oturma, göçme, kayma) yaratabilir.

A.4. Zeminde, deprem sırasında oluşabilecek bu deformasyonun elastik özellikte olması istenir.

A.5. Zemin plastik özelliğe kavuşmadan yapıyı taşıyabilmelidir.

A.6. Bu deformasyonu deprem olmadan önce kontrol edebilmek için zeminin elastik parametreleri olarak tanımlanan, young (elastisite), bulk (sıkışmazlık), ve rijitide (kayma) modülleri araştırılmak zorundadır.

A.7. Örneğin, çok sağlam bir zeminde,

$$V_s > 700 \text{ m/sn}, \quad \text{young} > 30000 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{rijitite} > 3000 \text{ kg/cm}^2 \text{ olur.}$$

A.8. Gevşek zeminlerde ise

$$V_s < 200 \text{ m/sn} \quad \text{young} < 2000 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{rijitide} < 600 \text{ kg/cm}^2 \text{ olur.}$$

A.9. Young, bulk ve rijitite modüllerinin sayısal değerleri, zeminin elastik-plastik sınırlarını temsil edecek şekilde saptanması için uygun koşullar (araştırma derinliği, genişliği ve örnekleme aralığı) ve yöntemler kullanılır ve çalışma sonuçları da üç boyutlu (3D) haritalar olarak elde edilebildiği konumlarda deformasyonlar kontrol edilebilir.

A.10. Ayrıca, deprem sırasında zamana bağlı kuvvetler hem zemini hem de yapıyı etkiler.

Aşama B. Zemine Oturacak Yapıda Deprem Hareketi Sırasında Oluşabilecek Deformasyonun Kontrol Altına Alınması (Zeminde göçme, çökme, kayma yoksa) İlkeleri

B.1. Yapı deprem sırasında, zeminle beraber hem ortak olarak hem de zamana bağlı yer değiştirme hareketi yapar (Şekil 4).

B.2. Yapı bu yer değiştirme sırasında deprem etki kuvvetine karşı iç tepki kuvvetleri (eylemsizlik kuvveti $F=m*a$, sönüm kuvveti $(c*v)$ ve iç kuvvet $(k*u)$ ortak etkisi) oluşturmak zorundadır.

B.3. Yapı deprem sırasında kütle, süneklik ve rijitlik özelliklerine bağlı olarak üç adet iç tepki kuvveti oluşturur (Bağıntı (1)). Yapı depreme karşı bu üç kuvvetin toplamı ile ortak hareket eder.

1. Yapı eylemsizlik kuvveti = $m.a$ = yapı kütle * ivmeye

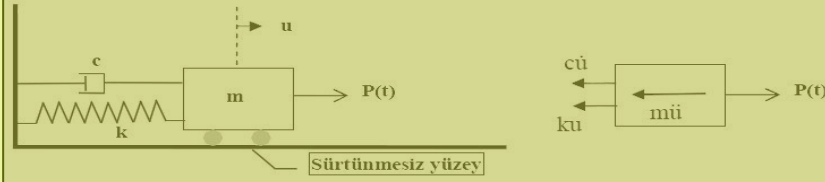
2. Yapı sönüm kuvveti = $c.v$ = sönüm katsayısı * yapı hareket

3. yapı iç kuvveti = $k.u$ = rijitite katsayısı * yapı yer değiştirme miktarı

- B.4. Bu durumda (Bağıntı (1)) depreme dayanıklı yapıların genel özellikleri;
- Zeminde göçme, oturma ve çökme oluşturmayacak değerde kütlesi olan
 - Yeterli derecede süneklığe sahip
 - Uygun rijitide özelliklerine sahip olmalıdır.

B.5. Yapıya bu özellikleri (depreme dayanıklı özellik) katabilmek için bir dizi kuramsal modelleme ve matematiksel hesaplama işlemleri yapılır. Bu işlemler aşağıda verilmiştir

- Yapı tek serbestlik dereceli bir model ile tanımlanır (Şekil 1).



Şekil 1

- Bu model matematiksel olarak (1) bağıntısı ile tanımlanır. (1) bağıntısı, m kütleli ve k sabitli yay ile sabit tutturulmuş bu sisteme P(t) kuvveti etki ettiği durumda sistemin bu kuvvete karşı koyma hareketini (kuvvetlerini) tanımlar.

$$m\ddot{U}(t) + c\dot{U}(t) + kU(t) = P(t) \quad (1)$$

Bağıntıda m= yapının kütlesi, c= yapının sönüm katsayısı ve k=yapının rijitliği olarak tanımlanır. Bağıntı aşağıda ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

- P(t) kuvveti (Bağıntının sağ tarafında tanımlanan) nedeniyle yapıda (bağıntının sol tarafı) 3 bileşene sahip bir hareket oluşur. Bu bileşenler

$$\begin{aligned} \text{Yapının eylemsizlik momenti} &= m\ddot{U}(t) = \text{kütle} \cdot \text{ivme} \\ \text{Yapının sönüm kuvveti} &= c\dot{U}(t) = \text{sönüm kts.} \cdot \text{hız.} \\ \text{Yapının rijitliği} &= kU(t) = \text{rijitlik kts.} \cdot \text{yer değiştirme} \end{aligned}$$

- Şekil 1 deki modeli tek serbestlik dereceli bir sistem olarak şekil 3 deki gibi tanımlayalım (m kütlesi üst ucunda toplanmış, alt ucu sabit bir noktaya sabitlenmiş ve k rijitlik katsayısına sahip bir çubuğun üst ucundan çekerek sağlanan hareketi temel alınacak)

- Bu modelin yapı ile benzerliğini kuralım. Şekil 2 ve 3. Deki model, zemine oturtulmuş ve yüksekliği olan bir yapı olsun. Bu yapı tabanından zemine tutturulmuştur. Ayrıca bu sistemde kuvvetler toplamı da sıfır olmalıdır.



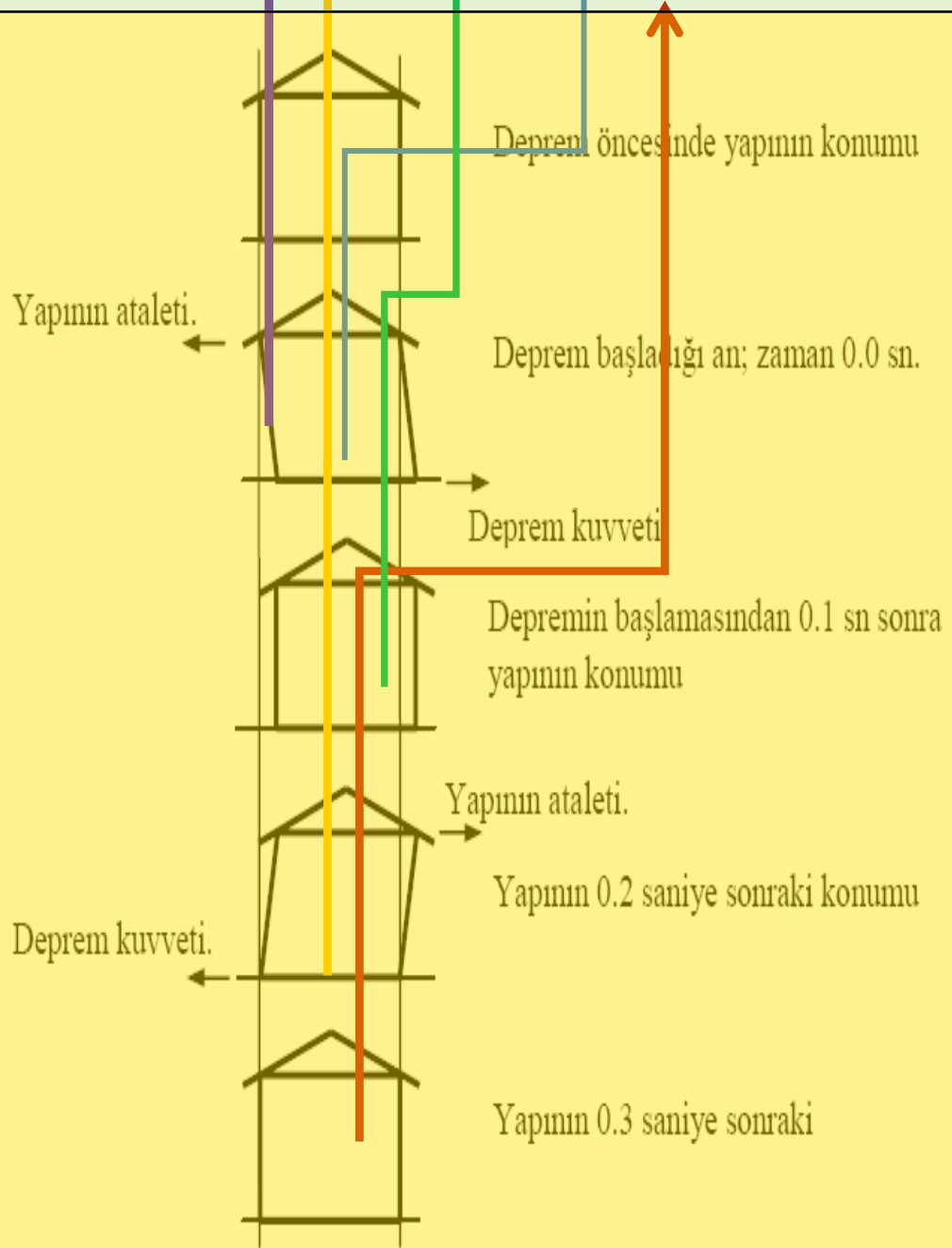
Şekil 2



Şekil 3

c . Yapı hareketini deprem sırasında etkiyi zeminden alır. Yapı zemine temeli ile tutturulduğu için yapıyı hareket ettirecek kuvvet yapıya zeminden etki eder (Şekil 3 ve 4). Bu etki sırasında hem yapı hem de zemin yer değiştirme yapar (Şekil 4). Ayrıca yapı tek başına da yer değiştirme yapar. Şekil 4 irdelendiğinde bu tanımlamalar açıkça izlenebilir.,

- 1.deprem sırasında zemin hareket edeceği için yapının da hareket eder.
- 2.İlk hareket sonucu deprem kuvvet yönüne ters yönde yapı sallanmış olur.
- 3.Daha sonrada eski konumuna döner.
- 4.Daha sonra da yapı ters yönde hareket eder (sallanır).
- 5.Son aşamada tekrar ilk harekete başlamış olduğu eski konumuna döner.



Şekil 4. Yapı -Deprem -Yer Değiştirme Şematik Gösterim.

d. Şekil 3 ve 4 de tanımlanan hareketin denklemi (yapı ile zeminin birlikte hareket etmesi koşulunda oluşacak olan ortak hareketin (Şekil.2) denklemi) aşağıda verilmiştir (Bağıntı (2) ve (3)).

e. Bu hareket sonucu yapı ve zeminin yer değiştirmelerinin toplamı olan toplam yer değiştirme olarak tanımlanır. Bu yer değiştirmeler nedeniyle oluşacak yapıdaki iç kuvvetler de yapı eylemsizlik kuvveti + sönüm kuvveti + yapı iç kuvveti toplamına eşit olur. Bu durumda oluşacak zemin ve yapı ortak hareket denklemi (2) ve (3) te tanımlanmıştır.

U_g = zemin yer değiştirmesinin m kütlelerini ötelemesi

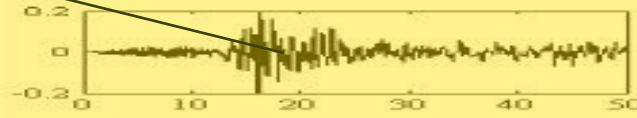
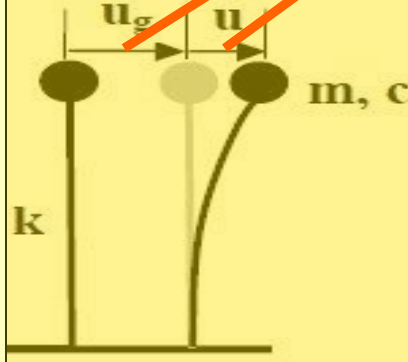
U = yapı yer değiştirmesi

m = yapı kütlesi

k = yapı rijitide katsayısı

c = Yapı süneklik Katsayısı

Toplam yer değiştirme grafiği



Şekil 3.a.

$$m[\ddot{U}(t) + \ddot{U}_g(t)] + c\dot{U}(t) + kU(t) = 0 \quad (2)$$

(2) bağıntısına göre deprem etkisi ile oluşan zemin ve yapı toplam kuvvetler sıfıra eşittir.

$$m\ddot{U}(t) + c\dot{U}(t) + kU(t) = -m\ddot{U}_g(t) \quad (3)$$

(3) bağıntısına göre yapı ile ilgili kuvvet toplamı = - zemin hareketi ile ilgili kuvvet

*(2) nolu bağıntı zemin ve yapının ortak hareketini tanımlar.

*(3) nolu bağıntı, tek serbestlik dereceli bir sistemin (zemin hareketi etkisi ile yapının yapacağı sönümlü zorlanmış titreşimine ait) hareket denklemi olarak tanımlanır..

*.Bu aşamadan sonra 2 ve 3 nolu bağıntının çözülebilir duruma dönüştürülme işlemleri başlatılır.

f. (3) nolu bağıntının her iki tarafı önce m (yapı kütlesi) değerine bölünür ve daha sonrada aşağıdaki değişken dönüşümleri (bağıntı 4) yapılırsa denklem (5) bağıntısı elde edilir.

$$c = 2m\omega\xi \quad \text{ve} \quad \omega^2 = k/m \quad (4.a \text{ ve } b)$$

$$\begin{aligned} \ddot{U}(t) + \ddot{U}_g(t) &= -2\omega\xi\dot{U}(t) - \omega^2U(t) \\ \ddot{U}(t) + 2\omega\xi\dot{U}(t) + \omega^2U(t) &= -\ddot{U}_g(t) \end{aligned} \quad (5)$$

ξ = Yapı sönüm katsayısı ve ortalama % 5 alınır.

ω = Açılal frekans (yapı yüksekliğine bağlıdır ve $T = 2\pi/\omega$)

$\ddot{U}_g(t)$ = Zemin hareket ivmesini tanımlar, $\ddot{U}(t)$ = Yapı hareket ivmesini tanımlar.

$\dot{U}(t)$ = Yapı hareket hızı., $U(t)$ = Yapı yer değiştirmesi.

g. Ulaşılan bu noktada bizi bekleyen (5) nolu diferansiyel denkleminin çözümüdür.

1. (5) nolu bağıntının matematiksel çözümü sonucunda elde edilen nedir.? Elde edilen zamana bağlı değişen yer ivmesi ($\ddot{U}_g(t)$) etkisinde oluşacak yapı yer değiştirmesinin ($U(t)$) sabit sönüm oranı (ξ) ve yapı salınım periyodu ($T=2\pi/w$) için elde edilmesi olur.
2. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için (5) bağıntısının kullanılması gerekir.
3. Bu bağıntıyla yapı iç kuvvetleri ve bu kuvvetleri oluşturacak deprem kuvvetlerini modellememiz gerekir.
4. Bu bağıntıdan görüldüğü gibi, yapı sönüm katsayısı (c), rijitliği (k), kütlesi (m), yüksekliğine bağlı periyot (T) bizim kontrolümüzde olmasına karşın yer değiştirme hareketini başlatacak olan kuvvet doğanın kontrolündedir (Deprem ivmesi).
5. Ayrıca yapı salınım periyodu (T) yapının hem kütlesi ve yüksekliği hem de rijitliğine bağlı bir parametredir.
6. Uygulamada hareketi başlatacağı kabul edilen deprem ivme değeri (PGA) nın bulunması için gerekli olan çalışmalar;

6.1 Ya yapı yapılacak noktayı tanımlayacak özelliklere sahip geçmiş depremlerin kullanılması ile elde edilir. Bunun için gerekli olanlar;

- a. Yapı yapılacak noktaya yakın kuvvetli yer hareketi istasyonu verileri
- b. Bölgeye özgün oluşturulmuş azalım ilişki fonksiyonları
- c. Yapı yapılacak noktadaki ana kaya derinliği
- d. Yapı yapılacak noktadaki zemin yüzeyi ile ana kaya arasında kalan zemin tabakalarının V_s hızları ile kalınlıkları

6.2. Yada yapı yapılacak noktaya kuvvetli yer hareketi deprem kayıtlarının kurulması ile gelecekte olacak depremlerden elde edilir. Bunun için uygun büyüklükte depremlerin olması ve uzun süreli veri toplanması gerekir.

6.3. Yada bölgeye özgün parametreler kullanılarak tasarım depremi oluşturulur.

h. Bu 3 seçeneğin biri uygulanarak yapı yapılacak noktada deprem sırasında yapıyı hareket ettirecek olan deprem kuvveti elde edilmiş olur.

i. Bu çalışmalar sonucunda spektral **yer değiştirme spektrumları (SD) elde edilir. SD grafikleri belirli bir yer hareketi etkisinde, sabit bir sönüm oranı için, periyotları farklı tek serbestlik dereceli sistemlerin (yapının) yapacağı en büyük yer değiştirme değerlerini zamana göre gösterirler.**

j. Deprem hareketi ile yapı hareketi arasında ilişki zamana göre kurulmuş olur.

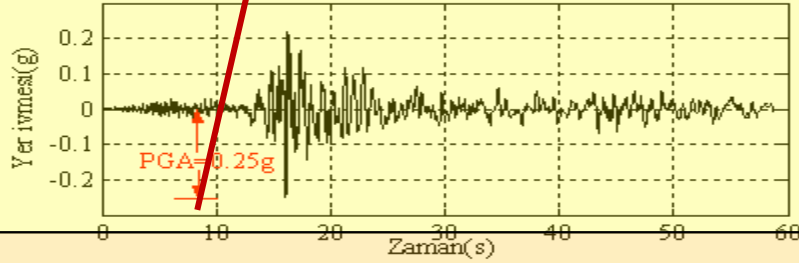
k. Spektrumlar çiziler ve hangi frekans (periyot) değerinde hangi ivme, yer değiştirme veya hız değerlerinin oluşacağı bulunabilir. Önemli olan bu spektrumların örnekleme aralığıdır. Örnekleme aralığı grafiklerin duyarlılığını artırır.

l. Tekrar hatırlatmak gerekirse yapının deprem etkisinde yapabileceği maksimum yer değiştirme miktarı, deprem sırasında yapının yıkılmasını etkilemiş olacaktır.

m. Deprem sırasında hasar olması kaçınılmaz bir sonuçtur. Ancak yapının ayakta kalması önemlidir.

Örnek: Yapı yapılacak noktada kayıt edilmiş geçmiş depremlerin kullanıldığı bir çalışma

1. Geçmiş depremden pik ivme değeri (PGA) elde edilir.



2. Daha sonra bu ivme değeri (5) bağıntısında model olarak seçilen farklı periyot değerleri (0.2, 0.5 ve 1.0 sn) kullanılarak çözümler yapılır ve yapı yer değiştirme grafikleri zamana göre bulunur (Şekil 5).

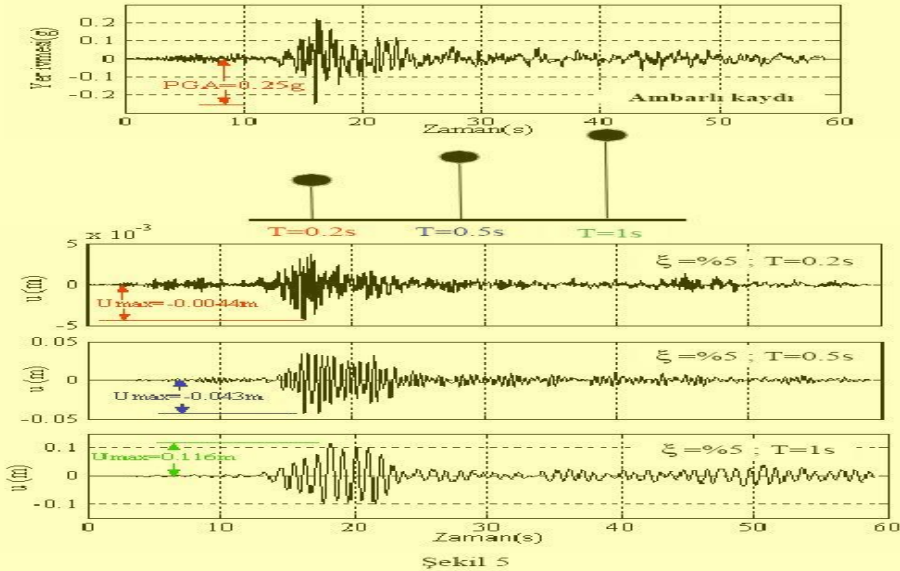
3. Şekil 5. Ve bağıntı (5) ortak değerlendirildiğinde çıkan sonuçlar olarak önce bilinen parametrelere bakalım.

*. (5) bağıntısında bilinen parametre PGA değeri olan \ddot{u}_g değeri (bağıntının sağ tarafı) deprem kayıtlarında okunur

*. Yapı salınım periyodu $T(w)$ değerleri

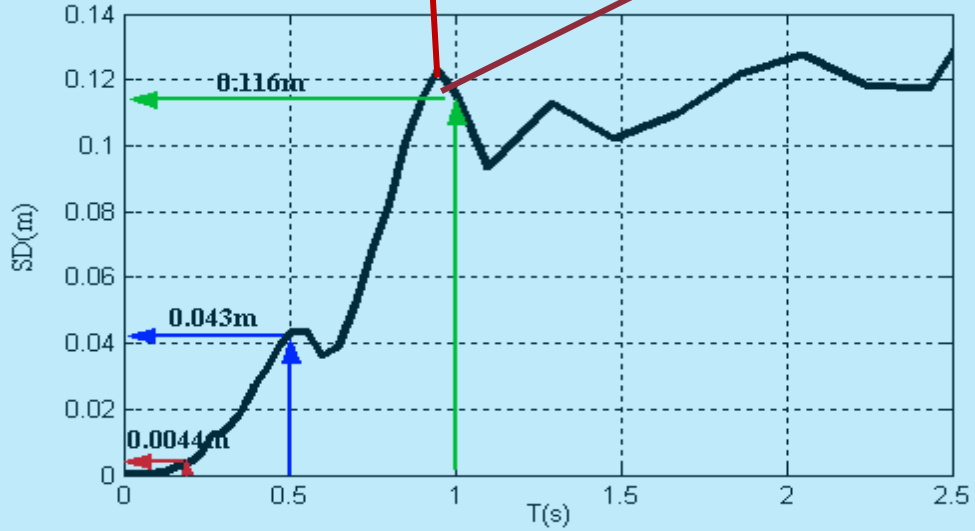
*. Yapı sönüm katsayısı (ξ) değeri

4. Daha sonra bu bilinenlere göre (5) denkleminin çözümü yapılır ve yapının yer değiştirme değerleri zamana göre elde edilir. Bunun anlamı depreme dayanıklı yapıda ulaşılan çözüm yapının zamana göre yer değiştirme değerleri olur.



5. Bu aşamada bir kabul yapılmıştır. Bu kabule göre deprem etkisi ile oluşacak hareketin hesaplamaları yapılırken deprem süresi hesaba katılmamıştır. Sadece zamana bağlı oluşan deprem hareketinin maksimum ivme değeri (PGA) kullanılmıştır. Bunun anlamı yapının yapacağı en büyük ivme değerindeki yer değişim değerine ulaşmaya çalışmıştır,

6.Yapı yer değiştirmesinin en büyük değerine ulaşmak için (5) nolu denklemde, yapı salınım periyodunun değerini 0.01 ile 2.5 sn arasında 0.05 sn. örnekleme aralığı kullanılarak hesaplar yapılır ve her çözüm için bulunmuş olan maksimum yer değiştirme değerleri kullanılarak yapı yer değiştirme – yapı periyot grafiği çizilir (Şekil 6). Bu grafik yapının maksimum yer değiştirme etkisini ayrıntılı (hangi periyotlarda oluştuğunu) tanımlamış olur.



Şekil 6 Yer değiştirme spektrumu (1999-Kocaeli depremi-Ambarlı yer kaydı)

7.Bu grafikte, spektral yer değiştirmenin (SD) periyoda göre değişimi elde edilmiş olur (yer değiştirme spektrumları, belirli bir yer hareketi etkisinde, sabit bir sönüm oranı için, periyotları farklı tek serbestlik dereceli sistemlerin (yapının) yapacağı en büyük yer değiştirme değerlerini gösterirler).

8.Bu grafikten yapıdaki en büyük yer değiştirme değeri bulunarak, yapının bu değeri aldığı andaki iç kuvvetlerini irdeleme şansı elde edilir.

Aşama C. Yapıda En Büyük Yer Değiştirme Oluştuğu Anda Yapıda Olusan İç Kuvvetlerin (Deprem Kuvveti) Araştırılması

C.1. Yapıdaki en büyük değiştirmeye karşılık gelen yapı iç kuvvet (6) bağıntısıyla elde edilebilir. Bulunmak istenirse F kuvvetidir. F kuvveti deprem sırasında yapıyı etkileyebilecek en büyük deprem kuvveti olarak tanımlanır. Bunun için statik yöntemler kullanılır. (1) bağıntısına göre yapı iç kuvveti (kU(t)) ile ifade edilmişti. Bu duruma göre yapı iç kuvveti SD grafiği de kullanılarak (6) bağıntısı ile bulunur.

$$F = k(U_{max}) = k(SD) \quad (6)$$

C.2. Bazı matematiksel kolaylıklar sağlamak için (4.b) bağıntısı ile (6) bağıntısı arasında değişimler ($k=w^2 \cdot m$) yapılarak (7) bağıntısı elde edilir. Görüldüğü gibi (7) bağıntısı içerisinde yapı kütlesi (m) ve yapı periyodu ($T=2\pi/w$) değerleri vardır.

$$F = mw^2 (SD) \quad (7)$$

C.3. (7) bağıntısı tanım olarak yer değiştirmenin en büyük değerine ulaştığı anda yapıya geçecek kuvveti eylemsizlik kuvveti cinsinden tanımlar.

C.4. Gelinen bu aşamada deprem sırasında oluşacak yapı iç kuvvetini eylemsizlik kuvveti cinsinden elde ederek Newton kanunu kullanmayı sağlamış olduk

C.5. Newton Kanununa göre, bir cisme etkiyen kuvvet, (7) nolu bağıntıda tanımlanan F kuvveti, cismin kütlesi ile yer çekim ivmesinin çarpımına eşit olur. Sonuç olarak Newton Kanununa göre yapıda deprem sırasında oluşan yapı içi kuvvetin ivme değeri spektral yer değiştirme (SD) ile yapının periyoduna bağlı olarak değişir.

$$F=m.a \text{ olduğundan } mw^2 (SD) = m. a \text{ ve } a = (w^2 (SD)) \text{ olur.}$$

C6. Bu aşamada yapıyı deprem sırasında etkileyecek F kuvvetinin bulunması için gerekli olan ivme değeri (a) nasıl bulunur sorusu karşımıza çıkar. Bu sorunun 2 yanıtı vardır.

Yanıt 1. Eğer yapının spektral yer değiştirme ve açısal frekans (periyod) değerleri biliniyorsa en büyük yer değiştirmeyi oluşturacak yapı iç kuvvetinin ivme bileşeni bulunabilir.

Yanıt 2. Yapıda en büyük yer değiştirmeyi oluşturacak ivme değeri (5) nolu bağıntının çözümü ile de bulunur. (5) denklemin çözümü sonucunda toplam ivme (yer ve yapı hareket toplam ivmesi)

$$\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t) = -2\omega\xi\dot{u}(t) - \omega^2 u(t) \quad (8)$$

C.7. Yine varsayımlara başvurmak zorundayız.

1. Olayı zamana (t) göre irdelersek $t=t_i$ koşulunda yer değiştirme maksimum değerine ulaşır.

2. Bu durumda (8) denklemin (9) denklemine dönüşür.

$$\ddot{u}(t_i) + \ddot{u}_g(t_i) = -2\omega\xi\dot{u}(t_i) - \omega^2 u_{\max} = -2\omega\xi\dot{u}(t_i) - \omega^2 SD \quad (9)$$

3. Fizik ve matematik ilkelerine göre yer değiştirmenin maksimum olduğu durumda hız değeri sıfır (0) olur. Bu durumda (9) nolu bağıntıdaki hız değerini veren **bileşen sıfır olur (9) bağıntısı bu koşulda (10) bağıntısı olur.**

$$\begin{aligned} -2\omega\xi\dot{u}(t_i) &= 0 \\ \ddot{u}(t_i) + \ddot{u}_g(t_i) &= -\omega^2 (SD) \end{aligned} \quad (10)$$

4. (10) bağıntısına göre elde edilen toplam ivme değeri, sistemin spektral yer değiştirmesi ile açısal frekans değerinin karesinin çarpımına eşit olan ivme değerine mutlak değerce eşit yani $-\omega^2 (SD) = \omega^2 (SD)$ olur.

5. Bu koşul ancak yer değiştirmenin en büyük değerine ulaştığı anda geçerli olur. Yer değiştirmenin maksimum olmadığı değerlerde hız sıfır olamayacağı için (9) ve (10) değerleri geçerli olmaz.

6. Bu durumda da (yer değiştirme max. değil konumu) bulunacak ivme ($w^2(SD)$), yer ve yapı ivmesinin toplamına oluşturan ivmeye ($\ddot{U}(t_i) + \ddot{U}_g(t_i)$) eşit olmaz. Bu durumda da toplam ivme değeri $t=t_i$ değerindeki değil başka bir t anındaki ivmeye eşit olur. Başka (t) değerinde ulaşılan ivme değeri yer değiştirmenin en bryyk değerine ulaşıldığı konumdur. Ancak sonymsyz sistemlerde ($\xi = 0$) hız daima sıfır olduğu iwin (10) bağıntısı her koşulda geiwerli olur.

7. Depreme dayanıklı yapı hesabında bulunmak istenen ivme toplam ivmenin (yapı ve yer ivme toplamı) maksimum değerine eşit olmaz. İstlenen ivme değeri yer değiştirmenin maksimum olduğu andaki ivme değeridir.

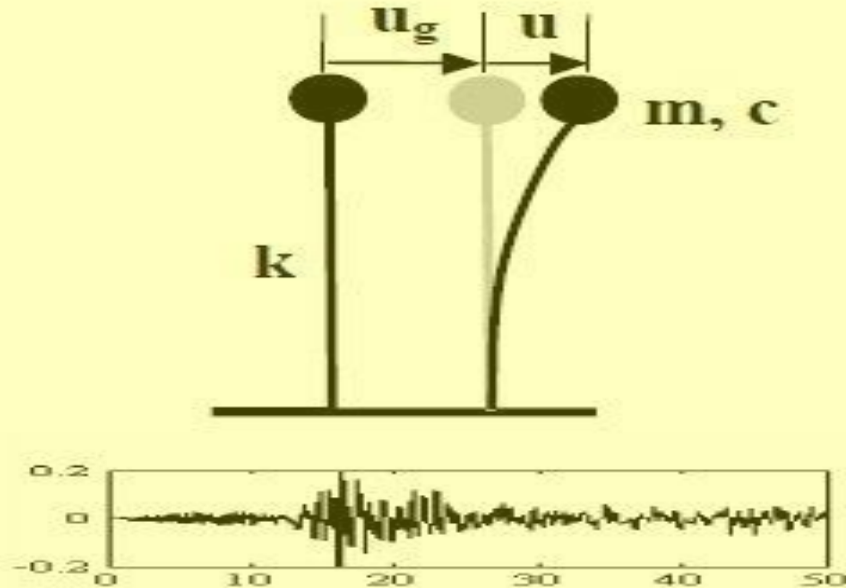
8. Ara sonuç : Şekil 3.a. açıklamasını (toplam yer değiştirmeyi) tekrar yapalım.

8.1. Yapının (m kytlesi) tabanı önce zeminle beraber yer değiştirir (U_g). Bu aşamada sadece kytle ve yer iwinisi etkili olur (c ve k etkisi yok).

8.2. Yapı bu yer değişimini tamamladıktan sonra periyot (T) değerine bağlı olarak ikinci bir yer değiştirme daha yapar (U). Bu durumda yer değiştirme üzerinde m , c ve k etkisi de vardır.

8.3. Oluşan toplam yer değiştirme (U_g+U) olur.

8.4. Depreme dayanıklı yapı tasarımında bu toplam yer değiştirme araştırılır (yapı iç kuvvetleri). Periyot değeri ile de yapı parametrelerine (m , c ve k) karar verilir.



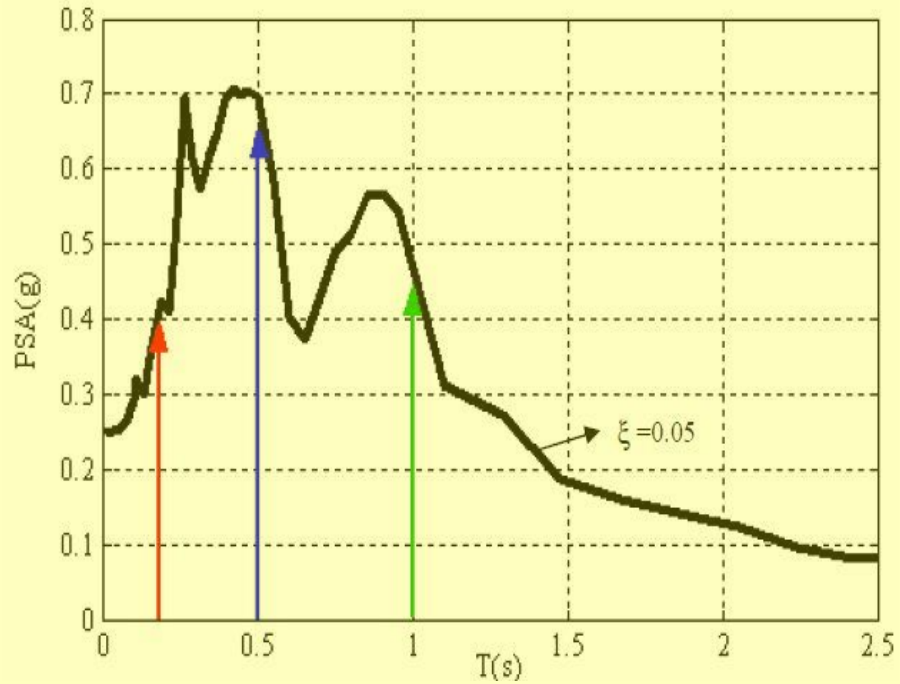
Şekil 3.a. Toplam Yer Değiştirme

9. Tanım: Yer Değiştirme Spektrumu Nedir. Deprem etkisinde zemin yüzeyi hareket ettiği için yapıda hareket eder ve bu hareketi sırasında oluşacak yer değiştirme, hız ve ivme değerlerinin değişimini ve maksimum değerlerini spektrum eğrileri verir (Periyota göre değişimler).

10. Tanım: İvme Spektrumu Nedir: İvme spektrumlarının elde edilmesi ile farklı periyot değerli tek serbestlik dereceli sistemleri (yapıların) zeminle beraber hareketi sonucu oluşan toplam ivme (yapı ve yer hareket ivme toplamı) değerlerinin frekansa (periyoda) göre değişimi bulunur. Bu spektrumda bulunacak en büyük ivme değeri yapıda oluşabilecek eylemsizlik kuvvetlerinin hesabında kullanılamaz. İstenilen ivme yapıda en büyük değiştirmeye karşılık gelen ivme değeridir.

11. Tanım: Yapı İç Kuvvetlerinin Hesabı Newton kanuna göre yapı eylemsizlik kuvvetlerinin (yapı iç kuvvetleri) hesabı için gerekli olan ivme değeri yer değiştirmenin en büyük değeri gösterdiği andaki ivme değeridir.

12.PSA (Pseudo) Yer değiştirmenin maksimum değerine karşılık gelen ivme (w_2SD) değerine sözde veya yalancı ivme (PSA) adı verilir. Toplam ivme yerine bu ivme değeri kullanılır. PSA değerleri T değerlerine göre çizdirildiğinde PSA spektrumları elde edilmiş olur (Şekil 7).



Şekil 7 PSA (Sözde ivme) nın Periyota Bağlı Davranış Spektrumu (1999-Kocaeli depremi-Ambarlı yer kaydı kullanılmıştır). Bu grafik çizilirken her bir periyot değerine karşılık gelen SD değeri Şekil 6 dan okunur ve yine her bir periyot değeri için $w^2(T)$ hesaplanır ve SD (T) ile çarpılır. Bu grafik bize en büyük yapı yer değiştirmelerinin hangi ivme değerinde oluşabileceğini ifade eder. Önemli olan periyot değerini kullanarak yapı hakkında karar vermektir.

13. Bağıntı (7) bize yer değiştirmenin maksimum olduğu (t_i) anda yapıya geçecek olan depreme dayalı kuvvetin eylemsizlik kuvveti cinsinden elde edilmesini sağlar.

14. Yine (7) bağıntısına göre, eylemsizlik kuvveti $F = m \cdot w^2 \cdot SD$ olur.

15. Yapı yer değiştirmesinin maksimum olduğu konumda, yapı ve zemin hareketinin toplam ivme değeri $(\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t)) = -(w^2(SD))$ olur.

16. SD değerleri elde edildikten sonra her bir periyot değeri için (w^2SD) değeri hesaplanır ve çizilirse PSA-Periyot değişimi elde edilir (Şekil 7).

17. Şekil 7 bize yatay eksen tek serbestlik dereceli sistemlere ait periyotları, düşey eksen de yer çekimi ivmesi (g) cinsinden sözde spektral ivmeleri göstermektedir. Ancak şekil 7'de tanımlanan sözde ivme davranışı spektrumunun sadece bir depremin, belirli bir bölgeden alınmış bir tek kayıt için elde edilmiştir. Başka kayıt kullanılırsa başka bir PSA grafiği elde edilir ve bu grafik sadece o noktada kaydedilmiş yer kaydı için geçerlidir.

18. Bu durumun giderilmesi için normalize edilme yoluna gidilir ve elde edilen PSA değerleri PGA değerleri ile normalize edilir. PGA değerleri seçilirken PSA değerleri için kullanılmış olan kayıt kullanılır.

19. Bunun anlamı deprem tasarımında kullanılan ivme değerinin normalize edilmiş ivme değeri olduğudur.

20. Sayısal örneğimize devam edersek, 1999-Kocaeli depremi-Ambarlı yer kaydı için PGA değeri $0.25 \text{ g (m/sn}^2\text{)}$ olarak elde edilmişti.

21. Önce PSA değerini 0.5 sn için aşağıdaki gibi elde edelim.

a.) bağıntı (7) den $W^2 = (2\pi/0.5)^2 = 157.75$

b) Şekil 6 dan 0.5 sn. için $SD = 0.043$

c) $PSA = 157.75 \cdot 0.043 = 0.678 \text{ g (m/sn}^2\text{)}$ olur.

22. PSA / PGA değerini elde edelim. Normalize ivme = $PSA/PGA = (0.678/0.25) = 2.712$ olur.

23. Bu işlem tüm periyot değerleri için hesaplandığında PSA/PGA grafiği elde edilmiş olur.

Ara Sonuç: PGA , PSA, SD ve normalize ivme değerlerini inceledik.

24. Yapılan kabuller

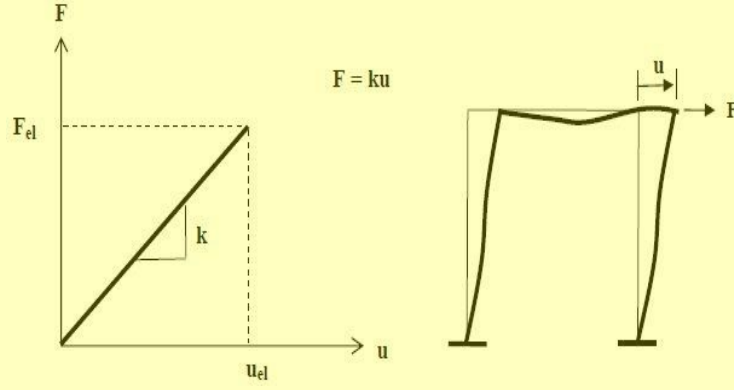
a) Yapı doğrusal elastik davranış gösterir. Bunun anlamı deprem sonunda yapı ilk durumuna geri döner (Şekil 8).

b) Şekil 8 bize kuvvet (F_d) ile yer değiştirme (U_d) arasında doğrusal ilişki olduğunu tanımlıyor.

c) Bu durumda doğrusal elastik davranış kabulüne dayanılarak çizilecek olan spektrumlardan elde edilen

$$F_d = m \cdot (w^2) \cdot SD = PSA \cdot m$$

bağıntısı da deprem sırasında yapıyı etkileyecek olan elastik deprem kuvveti olur.



Şekil 8. Doğrusal Elastik Davranış

TEKRAR ÖZETLERİ

TÖ.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Matematiksel Modeller Kullanılarak İşlemler Yapılır.

TÖ.2. Model Olarak Tek Serbestlik Dereceli Bir Sistem (sönüm oranı ve rijitide katsayısı sabit olan) Kullanılır.

TÖ.3. Bu modellerin Çözümü Sonucunda Spektrum Grafikleri (PGA, PSA, SD) Elde Edilir.

TÖ.4. Bu Spektrumlar Tek Serbestlik Dereceli Bir Sistem Kabul Edilen, Sabit Rijitite, Kütle ve Sönüm Katsayısı Olan Bir Yapının Deprem Nedeni İle Hareket Eden Zemin Hareketine Tepki Olarak Vereceği Hareketin İvme, Hız ve Yer Değiştirmesini İncelemek İçin Kullanılır

TABLO DEĞERLERİNDEN TASARIM DEPREM YÜKÜNÜN HESABI ÖZETİ

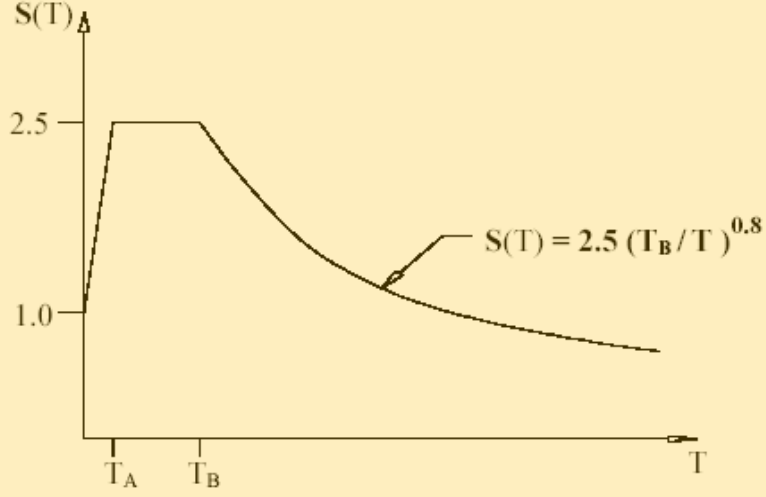
1. İlk aşamada yapı ağırlığı ve yapı periyodu bulunur.

2. İkinci aşamada elastik deprem yükü hesaplanır

- a. A_0 katsayısı bulunur. Bunun için tablo değeri kullanılır.
- b. $S(T)$ değeri bulunur. Yerel zemin sınıfı ve yapı periyot değeri ile bulunur
- c. I değeri Yapı kullanım amacına göre yapı önem katsayısı tablodan bulunur.
- d. Spektral ivme katsayısı bulunur $A(T)=A_0S(T)I$
- e. Elastik deprem yükü u hesaplanır $F_{el} = WA(T)$

3. Son aşamada tasarım deprem yükünün hesabı yapılır

- a. R = Taşıyıcı sistem davranış katsayısı yapı taşıyıcı sistem tipine bağlı seçilir.
- b. R_0 = Deprem yükü azaltma katsayısı, taşıyıcı sistem davranış katsayısı, yerel zemin sınıfı ve yapı periyoduna bağlı olarak seçilir.
- c. Sonuç olarak tasarım deprem yükü $F_{el} = WA(T)$ olur



<i>Deprem Bölgesi</i>	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

<i>Tablo 12.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı</i>	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

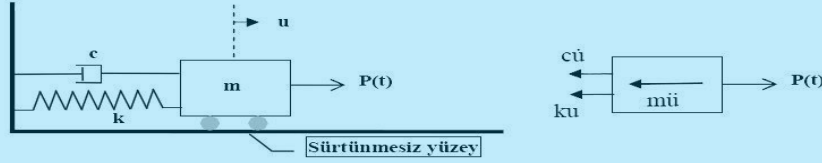
<i>Binanın Kullanım Amacı veya Türü</i>	<i>Bina Önem Katsayısı (I)</i>
<u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u> a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler,dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminaleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
<u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
<u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
<u>4. Diğer binalar</u> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

m : Kütle $\omega = (k/m)^{1/2}$ Doğal açısal frekans [rad/s]
 k : Rijitlik katsayısı $T = 2\pi/\omega$ Doğal titreşim periyodu [s]
 c : Sönüm katsayısı $\xi = c/(2m\omega)$ Sönüm oranı
 $u^g(t)$: Deprem yer hareketi (Yerin yerdeğiştirilmesi)
 $u(t)$: Yapısal yerdeğiştirme (Görelî yerdeğiştirme)
 $u^t(t) = u^g(t) + u(t)$: Toplam yerdeğiştirme
 $\ddot{u}^t(t) = \ddot{u}^g(t) + \ddot{u}(t)$: Toplam ivme
 $S_{de}(T) = \max |u(t)|$: Spektral yerdeğiştirme [m] (Belirli bir ξ için)
 $S_{ae}(T) \approx \max |\ddot{u}^t(t)|$: Spektral ivme [m/s^2] (Belirli bir ξ için)
 $S_{ae}(T) = \omega^2 S_{de}(T)$

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(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
(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar	3	6
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsalı tek katlı çerçevelerle taşındığı 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
(3) ÇELİK BİNALAR		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsalı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar	4	6
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	3	—
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	7
(c) Betonarme perde 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.....	4	—
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	8
(c) Betonarme perde durumu.....	4	7

Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Tanımlar

1. Tek serbestlik dereceli sistem ve tek serbestlik dereceli sistemin zorlanmış sönümlü hareketi



Şekil 1

2. Sönüm oranı : $\xi = c/(2m\omega)$
3. Sönüm katsayısı : c
4. Rijitlik katsayısı : k
5. Kütle : m
6. Eylemsizlik Kuvveti = $m \cdot a$ = yapı kütlesi * yapı yer değiştirme hızı
7. Sönüm Kuvveti = $c \cdot V$ = sönüm katsayısı * yapı yer değiştirme hızı
8. Yapı iç kuvveti = $k \cdot L$ =Rijitlik katsayısı * yapı yer değiştirme miktarı
9. Yer değiştirme : $F = k (U_{max}) = k (SD) = m\omega^2(SD)$
10. Max. Yer değiştirme = Yapının yer değiştirme miktarının maksimum değeri
11. $F = m\omega^2(SD)$: Yapı yer değiştirmesinin en büyük değere ulaştığı anda yapıya geçen Kuvvetin eylemsizlik kuvveti cinsinden ifadesi
12. $\omega^2(SD) = a$: Yapı Yer Değiştirmesinin en büyük değeri için ivme değeri
13. PSA = Maksimum yapı yer değiştirmesinin olduğu ivme
14. Spektrum = (Genlik(ivme, hız, yer değiştirme)) – (periyot) grafiği
15. PGA = Deprem maksimum ivme değeri
16. Elastik deprem yükü = Deprem sırasında yapıyı etkileyecek elastik deprem yükü
17. $F_{el} = PSA \cdot a$ = Deprem sırasında yapıyı etkileyecek olan elastik deprem kuvveti
18. $S(T) = (PSA/PGA)$ = Zemin tipine göre grafik değeri
19. A_0 = Etkin yer ivme katsayısı = PGA = Maksimum yer ivmesi
20. $PGA = A_0 g$ = Maksimum yer ivmesi ile etkin yer ivmesi arasındaki ilişki.
21. $PSA = S(T) A_0 g$ = Tablolardan zemin tipine göre bulunan sözde ivme değerleri
22. Tasarım deprem yükü = Yapının elastik olmayan deprem yükü.
23. I = Bina Önem Katsayısı
24. R = Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (taşıyıcı sistem tipine göre seçilir)
25. R_a = R ye bağlı deprem yükü azaltma katsayısı (yerel zemin sınıfına bağlı)

26. Sayısal Örnek: Bir Yapının Deprem Elastik Yükü ve Tasarım Yükünü Tablo Değerleri İle Hesabı

Ağırlığı	=	2000 KN.
Periyodu	=	0.5 sn
Yapı yapılacak zemin tipi	=	4 sınıf
Yapı yapılacak deprem bölgesi	=	1 derece
A_0 (1 derece deprem bölgesi)	=	0.4
Bina Önem Katsayısı (konut)	=	1
Elastik deprem yükü	=	$WS(T)A_0I = (2000)(2.5)(0.4)(1)=2000 KN$
Tasarım Deprem yükü	=	$W (A(T)/R_a) =$

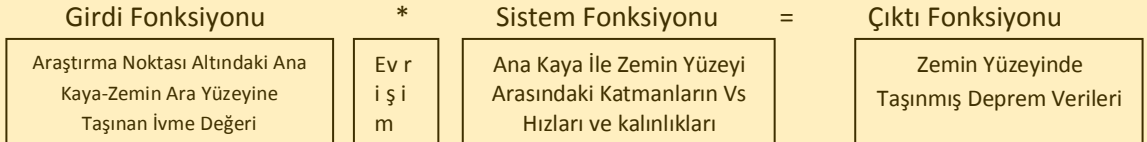
Soru : Zeminlerin Deprem sırasındaki Davranışları Nasıl Analiz Edilir?

Cevap . Bu sorunun yanıtı bir dizi işlemin yapılmasını kapsar. Ancak sorunun yanıtına iki pencereden bakmak gerekir.

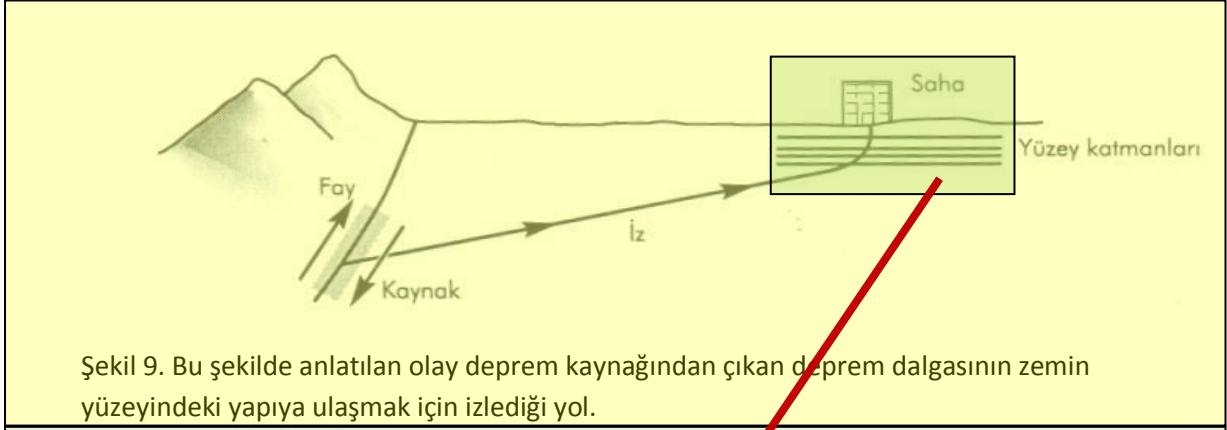
Pencere 1. Yapı yapılacak noktada kurulu bir kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonunun olduğu koşul. Bu koşulda yapı yapılacak noktada kuvvetli yer hareketi istasyonu varsa ve bu istasyonda kayıt edilen uygun deprem kayıtları da varsa bu kayıtlar o noktadaki zemin özelliklerini vurulamak için doğrudan (ara işlemlere gerek kalmadan PGA değerleri doğrudan okunarak) kullanılabilir.

Pencere 2. Yapı yapılacak noktada kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonu yok buna karşın yapı yapılacak zeminin altında olduğu kabul edilen ana kayanın üzerinde kuvvetli yer hareketi istasyonu olması koşulu. Bu koşulda deprem sırasında zeminde oluşabilecek davranışları irdelemek istersek ana kaya üzerindeki deprem istasyonu tarafından kaydedilmiş kayıtları yapı yapılacak noktadaki zemin yüzeyine taşıma işlemlerinin yapılması gerekir. Aşağıda bu taşıma işleminin aşamaları verilecektir. Bu işlem bir boyutlu zemin davranış analizi olarak tanımlanır

- Önce araştırılan noktanın altındaki ana kayanın üzerinde deprem istasyonu seçilir.
- Yöreye uygun azalım ilişkisi fonksiyonları seçilir.
- Azalım ilişkisi fonksiyonları kullanılarak ana üzerindeki istasyondaki deprem kaydı, araştırılan nokta altındaki ana kaya-zemin ara yüzeyine taşınır (şekil 10).
- Araştırılan noktanın altındaki ana kaya ile zemin yüzeyi arasında kalan tabakaların Vs hız değerleri ve kalınlıkları belirlenir (Şekil 11).
- Evrişim (konvolusyon) işlemi ile ana kaya üzerindeki deprem verileri zemin yüzeyine taşınmış olur.



- Yukarıda tanımlanan işlemin en az hata ile yapılabilmesi sistem fonksiyonu ile girdi fonksiyonun en uygun koşullarda belirlenmesine bağlıdır.
- Deprem dalgaları ana kaya olarak tanımlanan ortam içinde km bazında yol alırken parametrelerini (süre, genlik, periyot vd) değiştirmedeği kabul edilir.
- Buna karşın zemin olarak tanımlanan katmanlar içinde yol alırken bazen metre bazında bile yanal ve düşey yönlü deprem parametre değişimleri (zemin büyütmesi, sıvılaşma riski, zemin deformasyonu vd) oluşabilir.
- Bu işlem yapılırken bazı varsayımlar yapılır. Bu varsayımlar ;
 - Zemin-ana kaya ara yüzeyinden yüzeye gelen dalga düşey yayılır.
 - Zemin-ana kaya arasında kalan katmanlar sismik özellikleri yönünden (yoğunluk, hız, kalınlık, tane dağılımı ve jeolojik özellikleri gibi) yatay yarı sonsuz homojen yapıdadır.
 - Zemin yüzeyini etkileyen deprem dalgalarında SH dalgaları baskındır.
 - Araştırma yapılan noktada ana kaya üzerinde zemin katmanları varsa şekil 12.
 - Araştırma yapılan noktada ana kaya üzerinde zemin tabakaları yoksa şekil 13.



Yapı-Zemin-Deprem İlişkisi

Bina Temeli-Zemin İlişkisi Kapsamında Jeofizik Yöntemlerle Hesaplanabilecek Parametreler:

- Vp, Vs Hızları
- Zemin Taşıma Gücü
- Dinamik Zemin Emniyet Gerilmesi
- Düşey Yatak Katsayısı
- Zemin Hakim Titreşim Periyodu
- Zemin Büyütmesi
- İçsel Sürtünme Açısının Depremle Değişimi
- Zemin Sivilaşma Riski
- Vp/Vs Oranı ile Güvenlik Faktörü
- Poisson Oranı
- Kayma Modülü
- Kesme Modülü
- Yogunluk
- Bulık Modülü
- Zemin Sökülebilirlik Derecesi

Varsayımlar:

- Çoklu Katlı Yer Hareketi İstasyonu Analizinde Olacak
- Bölge Özel Olup Olmadığı İvme Azaltım İlişkisi (A-B Arası)
- Yerden Sürünme, Homojen, İzotrop, Sabit Vs Hızı ve Katsayısı
- 1 Tabakalılar (B-C Arası)

GERÇEK KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYONU

İvme Azaltım İlişkileri

İstenilen Vs Hız Değerleri ve Tabaka Kalınlıkları

Nedeni= Ana kaya İvme değerinden Yüzey İvme Değeri Elde Edilmesi

Sismik Kırılma (P-S)

Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)

Sismik Yansıma

Özdirenç Yöntemi

Doç.Dr. Mustafa A Hz.Özkan Cevdet ÖZD

Şekil 10. Zemin – Ana kaya – Yapı ilişkisi

A bölgesinin Depremle İlişkisi

1. Bu bölge için önemli olan bina temeli zemin ilişkisinde yapı eğriliğinden dolayı zemine düşey yönde kuvvet uygular.
2. Bu kuvvet uygulandığında zeminin bu yüke karşı davranışı araştırılır.
3. Zemine uygulanan bu kuvvet bina taban alanı ile ilişkilidir.
4. Depreme dayalı bina tasarımında zemin taşıma gücünün depremle ilişkisi ayrıca irdelenmelidir.
5. Bu bağlamda zemin taşıma gücü, zemin emniyet gerilmesi, kesme modülü, poisson oranı

A bölgesinde Jeofizikte İlgili Temel Kavramlar

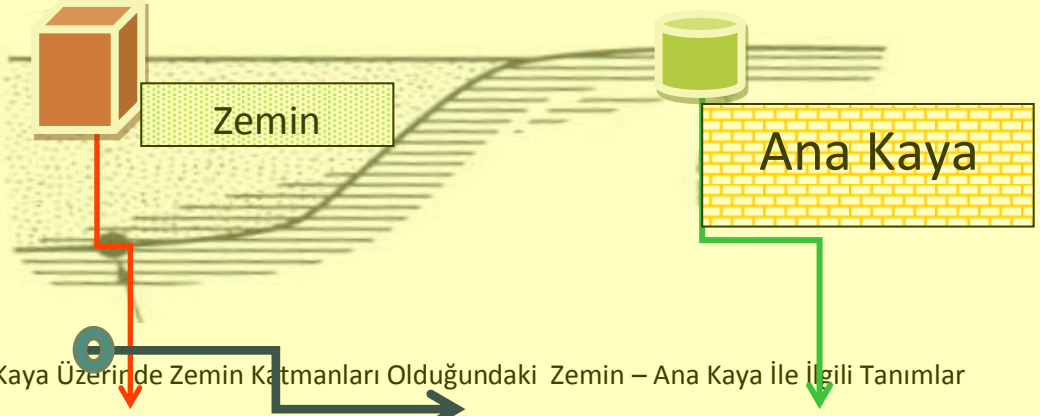
1. Vp ve Vs hızları
2. Vp/Vs oranı
3. Zemin taşıma gücü
4. Zemin emniyet gerilmesi
5. Zemin hakim periyodu
6. Zemin büyütmesi
7. İçsel Sürtünme açısının depremle değişimi
8. Zemin sivilaşma riski
9. Poisson oranı
10. Kayma modülü
11. Kesme modülü
12. Bulık modülü
13. Zemin sökülebilirlik derecesi

Bina Temeli

Bina temelinden etkilenen alan

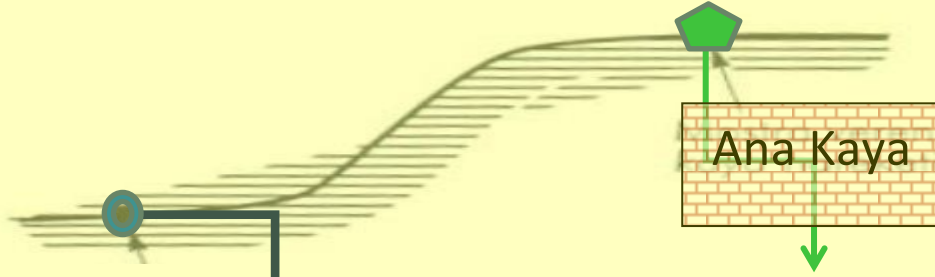
A

Şekil 11. Zemin – Yapı Temeli ilişkisi



Şekil 12. Ana Kaya Üzerinde Zemin Katmanları Olduğundaki Zemin – Ana Kaya İle İlgili Tanımlar

zemin yüzeyindeki harekete serbest yüzey hareketi (free surface motion) denir.	Ana kayanın üst yüzeyindeki harekete ana kaya hareketi (bedrock motion) denir	Rock outcropping motion (yüzlek vermiş ana kaya üzerindeki hareket)
--------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

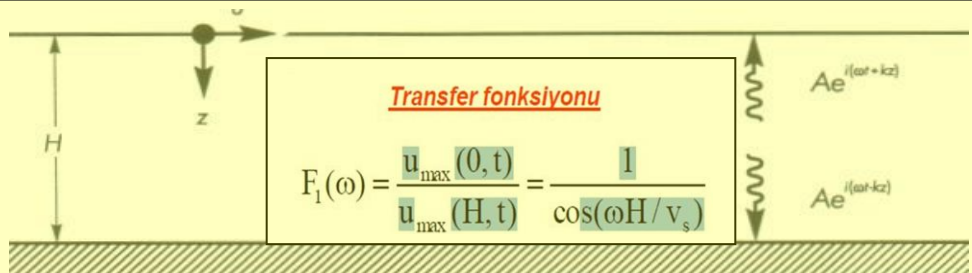


Şekil 13. Ana Kaya Üzerinde Zemin Katmanları Yoksa İlgili Tanımlar

Bedrock outcropping Motion

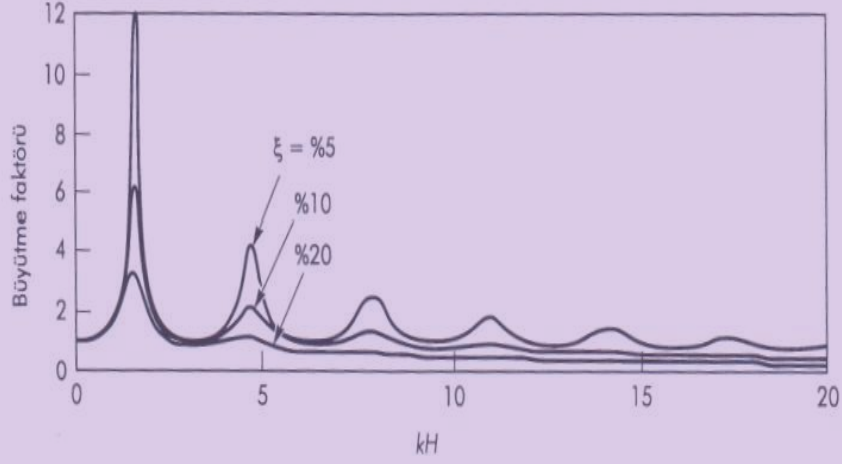
Rock outcropping motion (yüzlek vermiş ana kaya üzerindeki hareket)

- j. Sistemin giriş fonksiyonu azalım ilişkileri ile ana kaya üzerindeki deprem kaydının araştırma noktası altına ana kaya - zemin ara yüzüne taşınmış halidir.
- k. Transfer fonksiyonu bazı kabullerle oluşturulur. Bu kabuller aşağıda verilmiştir.
 - a. Rijit bir ana kaya üzerinde uniform ve sönümsüz bir zemin tabakası olma durumunda ana kayanın harmonik hareketleri zemin içinde düşey olarak yayılan S dalgaları üretir Şekil 14.



Şekil 14.

b. Rijit bir ana kaya üzerinde uniform ve sönümlü bir zemin tabakası olma durumunda

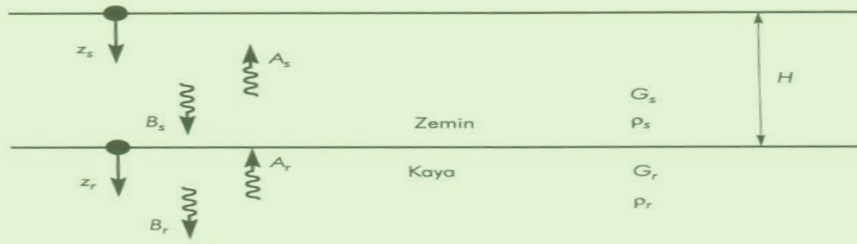


$$F_2(\omega) = \frac{1}{\cos(\omega H / v_s^*)}$$

Kompleks kayma dalgası hızı; $v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}} = \sqrt{\frac{G(1+i2\xi)}{\rho}} \approx \sqrt{\frac{G}{\rho}}(1+i\xi) = v_s(1+i\xi)$

$$F_2(\omega) = \frac{1}{\cos(\omega H / v_s(1+i\xi))} \quad \xi = \text{Sönüm oranı}$$

c. Elastik kaya üzerinde tabakalı sönümlü uniform bir tek zemin tabakası olması şekil 15.



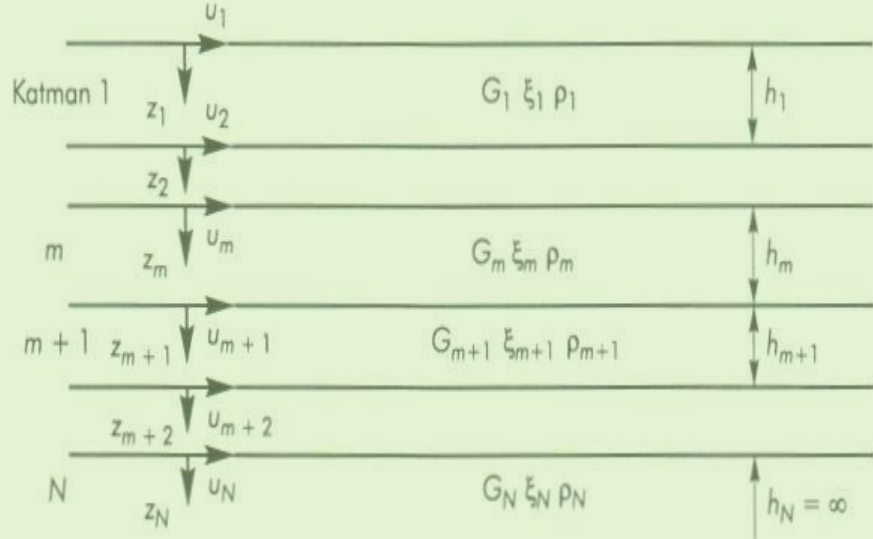
Şekil 15.

$$F_3(\omega) = \frac{1}{\cos(\omega H / v_{ss}^*) + i\alpha_z^* \sin(\omega H / v_{ss}^*)}$$

Kompleks impedans oranı; $\alpha_z^* = \frac{\rho_s v_{ss}^*}{\rho_r v_{sr}^*}$

V_{ss}^* ve V_{sr}^* = zemin ve kayanın kompleks kayma dalgası hızları.

Elastik kaya üzerinde tabakalı sönümlü zemin tabakaları olması durumunda, Üniform, elastik tabaka modelleri çeşitli yer hareketi özellikleri üzerinde yerel zemin şartlarının etkisini göstermek için faydalı olsalar da; bunlar pratik zemin davranışı problemlerinin analizi için nadiren uygundur. Gerçek zemin davranışı problemleri, farklı rijitlik ve sönüm karakteristiklerine sahip tabakalar içeren zeminleri kapsamaktadır ve bu tabaka sınırlarında elastik dalganın enerjisi geri yansır ve/veya sınırdan geçerek ilerleyecektir (Şekil 16)



Şekil 16.