

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM HAREKETİNE MARUZ
DOĞRUSAL OLMAYAN TEK SERBESTLİK
DERECELİ SİSTEMLERİN GÖÇME
OLASILIKLARI

Onur KILIÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM YAPI BİLİMLERİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2006

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM HAREKETİNE MARUZ
DOĞRUSAL OLMAYAN TEK SERBESTLİK
DERECELİ SİSTEMLERİN GÖÇME
OLASILIKLARI

Onur KILIÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM YAPI BİLİMLERİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Bülent AKBAŞ

GEBZE
2006

ÖZET

TEZ BAŞLIĞI : Deprem Hareketine Maruz Doğrusal Olmayan Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Göçme Olasılıkları

YAZAR ADI: Onur KILIÇ

Yapı, deprem hareketine maruz kaldığında enerji girişi olur. Yapı, bu enerjiyi dağıtamazsa göçme meydana gelir. Bu tezin amacı: a)farklı zeminlerde kaydedilmiş yer hareketlerine maruz doğrusal olmayan tek serbestlik dereceli sistemlerde (TSDS) oluşacak histeretik enerji talebini, doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemiyle belirlemek; b)histeretik enerji dağıtma kapasitesini deneysel verilere dayanarak değerlendirmek; c)sistemin göçme olasılığını tahmin etmektir. Çalışmada, üç farklı zemin grubundan elde edilmiş değişik özelliklere sahip doksan farklı deprem kaydı kullanılmıştır. Yer hareketinin histeretik enerji talebi ve yapının histeretik enerji kapasitesi arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelenmiştir. Üç farklı bina grubu üzerinde çalışılmıştır. BISPEC programı kullanılarak yer hareketlerine ait histeretik enerji taleplerinin istatistiki verileri elde edilmiş, verilerin ortalamaları ve standart sapmaları bulunarak talep ve kapasite ilişkisinden yaklaşık emniyet aralığı grafikleri ve tabloları oluşturulmuştur. Üç farklı zemin grubu ve üç ayrı bina grubuna ait değerlendirme ve öneriler sunulmuştur.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS: Failure probabilities of Inelastic Single Degree of Freedom Systems subject to earthquake Ground Motion

AUTHOR: Onur KILIÇ

Energy input is imparted into a structure when subjected to an earthquake ground motion (EQGM). Structural failure will occur if the structure cannot not dissipate this energy. The purpose of this study is: a) to determine the hysteretic energy demand of the inelastic single-degree-of-freedom (SDOF) systems subject to an ensemble of EQGMs recorded on different soil conditions through nonlinear dynamic analysis; b) to evaluate the hysteretic energy dissipation capacity through experimental data; and c) to estimate the failure probability of the system. 90 EQGMs having various characteristics recorded on three different soil conditions were used in this study. The relation between the hysteretic energy demand due to the EQGMs and the hysteretic energy capacity of the structure was examined statistically. The analytical study was carried out on three different building groups. The statistical data of the hysteretic energy demand due to the EQGMs was obtained by using BISPEC. Figures and tables for approximate confidence intervals were constructed for the hysteretic energy demand using the mean and standard deviation values. Finally, evaluations and recommendations for the failure probability of SDOF systems for three different soil conditions and three different building groups were presented.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçimi ve tez hazırlama aşamasındaki değerli katkılarından dolayı hocam ve tez danışmanım olan Yrd.Doç.Dr. Bülent Akbaş' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLOLAR DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
1.1.Genel	1
1.2.Tezin Amacı	2
2.TSD SİSTEMLERDE HİSTERETİK ENERJİYE DAYALI GÖÇME OLASILIĞI	3
2.1.İstatistiki Kavramlar	3
2.1.1.Ortalama Değer	3
2.1.2.Standart Sapma	3
2.2.Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Histeretik Enerjiye Dayalı Olasılıksal Değerlendirilmesi	4
2.3.Çelik Moment Birleşimlerinin Histeretik Enerji Dağıtma Kapasitesi	5
2.4.Histeretik Enerji Talebi	7
2.5.Histeretik Enerjiye Dayalı Göçme Olasılığı	9
3.ANALİTİK ÇALIŞMA	11
3.1.Histeretik Enerjiye Dayalı Göçmenin Belirlenmesi	11
3.2.Histeretik Enerji İçin Güvenlik Aralıklarının Belirlenmesi	21
3.3.Histeretik Enerjiye Dayalı Göçme Olasılığının Tahmini	32

4.SONUÇ ve ÖNERİLER	35
4.1.Sonuç	35
4.2.Öneriler	36
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	40

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C_y	Akma dayanım katsayısı
E_{ED}	Histeretik enerji talebi
E_{EC}	Histeretik enerji kapasitesi
F_y	Yapının akma dayanımı
m	Kütle
$m_{E_{ED}}$	Histeretik Enerji talebinin örnek ortalaması
M_p	Kesitin plastik momenti
P_f	Yapının göçme olasılığı
$S_{E_{ED}}$	Histeretik Enerji talebinin standart sapması
$\ddot{u}_{g,max}$	Yer hareketinin en büyük ivmesi
W	Yapının ağırlığı
Θ_E	Enerji oranı
η	Norlmalleştirilmiş mukavemet indisi
COV	Varyasyon katsayısı
TSDS	Tek Serbestlik Dereceli Sistem
TSD	Tek Serbestlik Dereceli
YG	Yapı grubu
YH	Yer hareketi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Deprem hareketine maruz inelastik TSDS ve enerji parametreleri	5
2.2. Çelik kiriş-kolon birleşimlerinin histeretik enerji dağıtma kapasitelerinin frekans dağılımı	7
2.3. E_{EC} ve E_{ED} ' nin frekans dağılımı ve Z fonksiyonunun olasılık yoğunluğu	10
3.1. A&B grubu zeminlerde kaydedilen depremler için normalleştirilmiş mukabele spektrumları	16
3.2. C grubu zeminlerde kaydedilen depremler için normalleştirilmiş mukabele spektrumları	17
3.3. D grubu zeminlerde kaydedilen depremler için normalleştirilmiş mukabele spektrumları	18
3.4. A&B grubu zeminlerde PGA=0.3g için (CI) E_{ED}/m ' nin yaklaşık emniyet aralığı	26
3.5. A&B grubu zeminlerde PGA=0.6g için (CI) E_{ED}/m ' nin yaklaşık emniyet aralığı	27
3.6. C grubu zeminlerde PGA=0.3g için (CI) E_{ED}/m ' nin yaklaşık emniyet aralığı	28
3.7. C grubu zeminlerde PGA=0.6g için (CI) E_{ED}/m ' nin yaklaşık emniyet aralığı	29
3.8. D grubu zeminlerde PGA=0.3g için (CI) E_{ED}/m ' nin yaklaşık emniyet aralığı	30
3.9. D grubu zeminlerde PGA=0.6g için (CI) E_{ED}/m ' nin yaklaşık emniyet aralığı	31

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Zemin sınıflarının tanımı	12
3.2. A&B zemin grubuna ait depremlemlin özellikleri	13
3.3. C zemin grubuna ait depremlemlin özellikleri	14
3.4. D zemin grubuna ait depremlemlin özellikleri	15
3.5. Yapıların ve zemin gruplarının sınıflandırılması ve örnek sayıları	19
3.6. Birim kütle başına histeretik enerji talebinin istatıksel değeriendirilmesi	19
3.7. A&B zemin grubu için E_{ED} / m' nin istatıksel değeri	23
3.8. C zemin grubu için E_{ED} / m' nin istatıksel değeri	24
3.9. D zemin grubu için E_{ED} / m' nin istatıksel değeri	25
3.10. En kötü göçme olasılığı	34

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Tüm dünyanın kabul ettiği depreme dayanıklı yapı tasarımında uygulanan ilke; yapının servis süresi boyunca kaşılaşabileceği; a) sık tekrarlanan küçük şiddetli yer sarsıntılarında, yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi; b) arasıra meydana gelen orta şiddetteki yer sarsıntılarında yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda meydana gelebilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması; c) nadir olarak meydana gelen büyük yer sarsıntılarında ise can kaybını önlemek amacı ile kalıcı hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır. [Bertero-Bertero, 1994].

Performansa dayalı depreme dayanıklı tasarım, düşük performans seviyeleri (can güvenliği, göçmeye yakın, göçme) için elastik olmayan kabul edilebilirlik kontrollerine gereksinim duyar ve yapı mühendisinin binanın daha önceden tanımlanmış bir yer hareketine göre performansını tahmin ettiğini kabul eder. Bu tahmin etmeyle ilgili sorulardan birisi, daha önceden belirlenen bir yer hareketine göre yapının enerji tüketmesi ve dağıtma kapasitesi ile hasar seviyesini belirlemektir [Vision 2000, 1995; Chou ve Uang, 2000; Riddell ve Garcia, 2001; Bertero ve Bertero, 1999; Hamburg, 1997; Akbaş et. Al. 2001; ATC-40, 1996; FEMA-273, 1997; IBC-2000, 2000]. Bu performans seviyeleri için, enerjiye dayalı parametreler (enerji girişi, histeretik enerji, vs.), hasarın iyi bir belirtisi olduğuna inanıldığı için son yıllarda oldukça fazla önem kazanmıştır.

Sismik bölgelerde bulunan yapıların, sismik enerji girişini, kontrollü doğrusal olmayan deformasyonlar ile dağıtması beklenmektedir. Performans seviyelerinin belirlenmesi ve orta şiddetli veya şiddetli depremlere maruz yapıların tasarımı için en cazip parametreler enerji parametreleridir [Bertero ve Uang, 1992; Bertero ve Teran-Gilmore, 1994]. Yapılara, yer hareketinin etki etmesi sonucunda bir enerji girişi olacaktır. Eğer yer hareketi küçük ise, bu enerji girişi sönüm ve doğrusal birim şekil değiştirme yoluyla; orta şiddetli veya şiddetli ise, sönüm ve doğrusal birim şekil değiştirme yoluyla

veya tüm yapısal elemanlardaki doğrusal olmayan şekil değiştirmeler (histeretik enerji) yoluyla tüketilecektir.

Enerji kavramı, ilk olarak Housner tarafından Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin (TSDS) sismik mukabelesinde ortaya konmuştur [1956]. Enerji girişinin, genellikle yer hareketinin karakteristiklerine dayandığı ve yapısal özelliklerden, özellikle orta ve uzun periyod aralığında etkilenmediği düşünülmektedir [Akiyama, 1985; Fajfar and Vidic. 1989]. TSDS'ler, maksimum deplasman, taban kesme kuvveti, vb. gibi yapısal mukabeleleri oldukça iyi tahmin edebilmektedir, fakat bazı durumlarda, TSDS'ler, çerçeve sistemlerdeki enerji girişini oldukça fazla tahmin etmektedir [Shen and Akbaş, 1999]. Eşdeğer TSDS'ler, az katlı binalardaki enerji girişini tahmin etmede kullanılabilir; fakat yüksek yapılardaki enerji girişini, yüksek frekans içeriğine sahip depremler için önemli olabilen, yüksek modların katkısından dolayı gerçek değerinin altında gösterebilirler [Bertero and Teran-Gilmore, 1994].

Yapısal göçme, depremin bir yapı için sebep olduğu histeretik enerji talebi, yapının histeretik enerji dağıtma kapasitesinden daha büyük olduğu zaman meydana gelecektir. [Bertero and Bertero 1999], dayanıma, deplasmana ve enerjiye dayalı tasarımı dikkate alan farklı güvenilirlik derecesine sahip sistemlerin göçme olasılıkları üzerinde çalışmıştır.

1.2. Tezin Amacı

Yapı, deprem hareketine maruz kaldığında enerji girişi olur. Yapı, bu enerjiyi dağıtamazsa göçme meydana gelir. Bu tezin amacı; farklı zeminlerde kaydedilmiş yer hareketlerine maruz doğrusal olmayan tek serbestlik dereceli sistemlerde (TSDS) oluşacak histeretik enerji talebini, doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemiyle belirlemek, histeretik enerji dağıtma kapasitesini deneysel verilere dayanarak değerlendirmek, sistemin göçme olasılığını tahmin etmektir. Bu çalışmada, çelik birleşimli tek serbestlik dereceli sistemler üzerinde göçme olasılıkları hesaplanacaktır.

2. TSD SİSTEMLERDE HİSTERETİK ENERJİYE DAYALI GÖÇME OLASILIĞI

2.1. İstatistiki Kavramlar

2.1.1. Ortalama Değer (m)

Ortalama değer, bir takımın değerlendirilmesini sağlayan bir sayıdır. Bir merkezdeki, -bir değer dolayındaki- yığılmanın ölçüsünü belirtir. Örnekten hesaplanan ortalama değer, m sembolü ile ifade edilir. Ortalama değer hesaplanmasında sayısal değerler ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) tek tek toplanır. Bulunan toplam değer hesaplanan sayısal değer adedine bölünür. Hesaplama aşağıdaki formül kullanılır [Gündüz 1996].

$$m = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (2.1.)$$

Yukarıdaki formülde;

m : ortalama değeri,

X_i : sayısal değerleri,

N : sayısal verilerin adedini ifade etmektedir.

2.1.2. Standart Sapma (σ)

Standart sapma yayılma ölçüleri arasında en hassas olanı ve en sık kullanılanıdır. Standart ayrılış ölçüsü olarak da tanımlanır. Standart sapma, bir frekans dağılımında,

verilerin ortalamadan uzaklıklarını tipik olarak belirleyen bir değişim ölçüsüdür. σ ile ifade edilir. Aşağıdaki ifadeye göre bulunur [Gündüz 1996]:

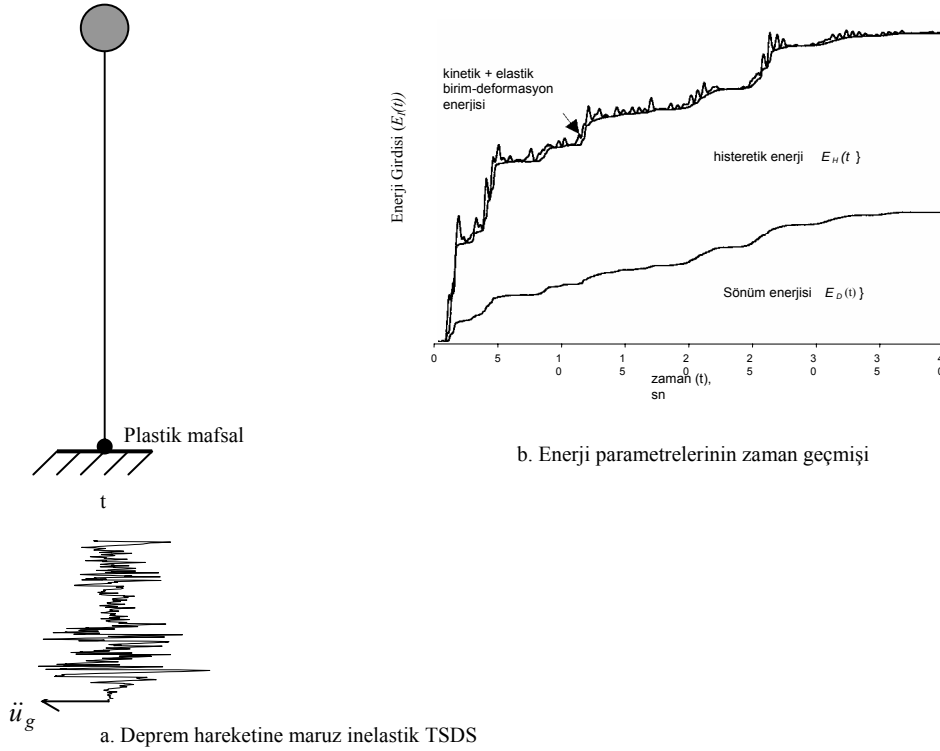
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (m - X_i)^2}{N - 1}} \quad (2.2.)$$

2.2. TSD Sistemlerin Histeretik Enerjiye Dayalı Olasılıksal Değerlendirilmesi

TSD bir sistem için, sistemin enerji dağıtma kapasitesi, sistemin tabanındaki tek plastik mafsalin enerji dağıtımına ve akmasına bağlıdır (Şekil 2.1.). Yapı, depremin sebep olduğu plastik deformasyondan kaynaklanan histeretik enerji talebi (E_{ED}), yapının histeretik enerji dağıtma kapasitesinden (E_{EC}) büyük olduğu zaman yıkılır [Bertero and Bertero 1999]. Plastik mafsalin histeretik enerji dağıtma kapasitesi (E_{EC}) ve histeretik enerji talebi (E_{ED}), sırasıyla $N(\mu_{E_{EC}}, \sigma_{E_{EC}})$ ve $N(\mu_{E_{ED}}, \sigma_{E_{ED}})$ istatistiksel olarak bağımsız normal rasgele değişkenler kabul edilebilir. Burada $\mu_{E_{EC}}, \mu_{E_{ED}}$ sırasıyla plastik mafsalin, deformasyonun en yüksek değerindeki enerji dağıtım kapasitesinin ve histeretik enerji talebinin popülasyon ortalama değeridir. $\sigma_{E_{EC}}, \sigma_{E_{ED}}$ sırasıyla plastik mafsalin, deformasyonunun en yüksek değerindeki enerji dağıtım kapasitesinin ve histeretik enerji talebinin popülasyon standart sapmasıdır. Histeretik enerji talebinin ve kapasitesinin, popülasyon ortalaması ve standart sapmasını tespit etmek pratik olarak imkansız olduğu için, bunun yerine örnek ortalamalar ($m_{E_{ED}}, m_{E_{EC}}$) ve standart sapmalar ($S_{E_{ED}}, S_{E_{EC}}$) kullanılabilir. Burada $m_{E_{ED}}, S_{E_{ED}}$, sırasıyla E_{ED} 'in örnek ortalaması ve standart sapması; $m_{E_{EC}}, S_{E_{EC}}$, sırasıyla E_{EC} 'in örnek ortalaması ve standart sapmasıdır.

TSD sistemlerin göçme olasılığını tespit etmek için, ilk olarak, deneysel çalışmalardan elde edilen çelik moment birleşimlerinin histeretik enerji dağıtım kapasitesinin değerlendirilmesi gerekir. İkinci olarak, histeretik enerji talebinin

analitik çalışmayla araştırılması gerekir. Üçüncü olarak, histeretik enerji talebine ($\bar{E}_{ED}$) ve dağıtma kapasitesine ($\bar{E}_{EC}$) dayalı göçme riski tespit edilir.



Şekil 2.1. Deprem hareketine maruz inelastik TSDS ve enerji parametreleri [Akbaş, Nadar and Shen, 2006].

2.3. Çelik Moment Birleşimlerinin Histeretik Enerji Dağıtma Kapasitesi

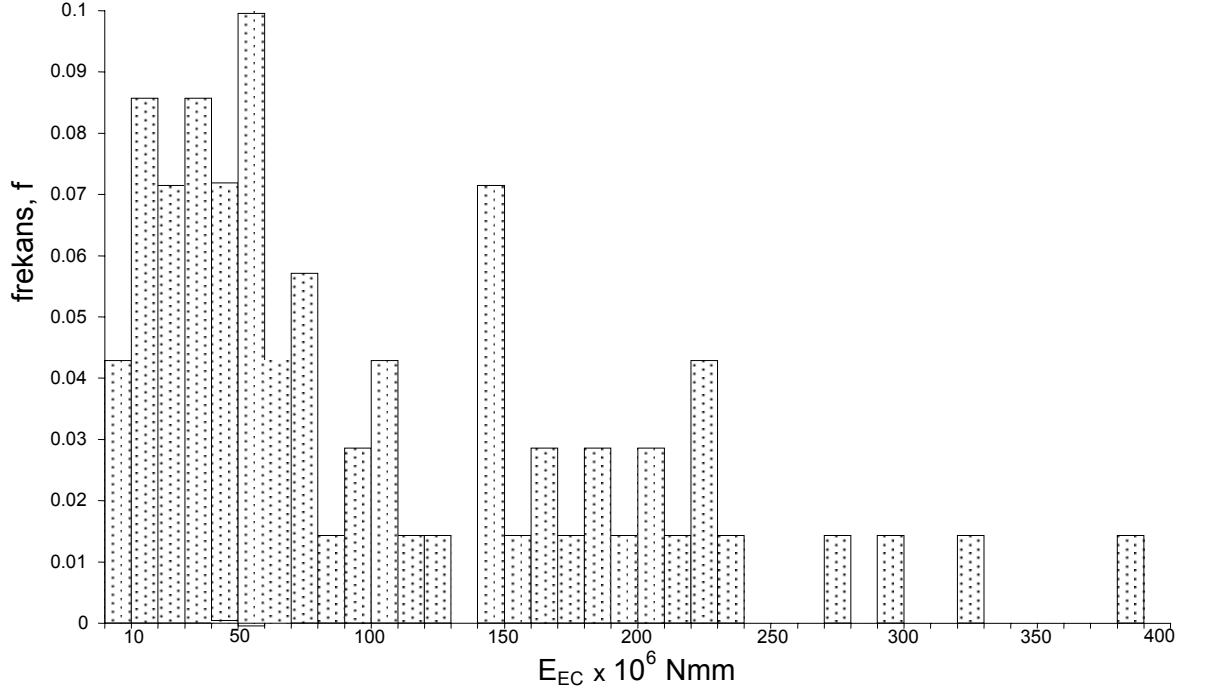
Çelik moment birleşimleri, birçok çelik binada sıkça yanal yüke dayanıklı sistemler olarak kullanılan, çelik moment çerçevelerin parçasıdır. Bir çelik moment birleşimi, şiddetli bir yer hareketi tarafından yapıya giren histeretik enerjiyi, kısmi yada tümünden göçmeye karşı korumak amacıyla dağıtmak zorundadır. Bir çelik moment birleşimli sistemin histeretik enerji dağıtma kapasitesi şu şekilde ifade edilebilir [Uang and Bertero 1988]:

$$E_{EC} = M_p (\theta_{pa}^+ + \theta_{pa}^-) = (F_y Z_f) \theta_{pa} \quad (2.3.)$$

Burada; M_p kesitin plastik momentini, θ_{pa}^+ kümülatifpozitif deformasyonu, θ_{pa}^- kümülatifnegatif deformasyonu, F_y elemanın akma dayanımını, Z_f elemanın başlık kısmının plastik kesit modülünü, θ_{pa} , kümülatif plastik dönme kapasitesini göstermektedir.

Denklem 2.3.' de, Z_f , Z (tüm kesitin plastik modülü) yerine hesaplamada kullanılmıştır, çünkü histeretik enerjinin sadece kiriş başlık kısmı tarafından dağıtıldığı kabul edilmiştir. Kiriş başlık kısmı, kiriş gövdesi kesme kuvvetine göre boyutlandırılırken, eğilme momentine göre boyutlandırılır. E_{EC} , sabit bir değer değildir ve deformasyona ve/veya yükleme şekline bağlıdır [Shen and Akbas, 1999, Uang and Bertero 1988].

Shen and Akbas [1999], enerjiye dayalı depreme dayanıklı yapı tasarımını daha güvenilir bir temele oturtmak için, özellikle θ_{pa} 'ı saptamak amacıyla daha çok deneysel çalışmanın yapılması gerektiğine işaret etmişlerdir. Bunun için ağırlıklı olarak başlık kaynaklı-gövde bulonlu/kaynaklı tip çelik moment birleşimlerindeki histeretik enerji kapasitesini araştırmışlardır. Çalışmalarının bir özeti Şekil 2.2.' de verilmiştir. Şekil 2.2.' den anlaşılabacağı üzere histeretik enerji kapasitesi (E_{EC}), $9,74 \times 10^6$ Nmm' den 383.73×10^6 Nmm' ye değişim göstermektedir. Birleşimlerin çoğunda, E_{EC} $0-130 \times 10^6$ Nmm aralığında değişmektedir ve bir birleşim için, onarılmadıysa veya performansı artırılmadıysa, 400×10^6 değerine ulaşması muhtemel değildir (Şekil 2.2.). İstatistiksel değerler $m_{E_{EC}}$, $S_{E_{EC}}$, sırasıyla 101.625×10^6 Nmm ve 85.72×10^6 Nmm olarak bulunmuştur [Akbaş, Nadar and Shen, 2006].



Şekil 2.2 Çelik kiriş-kolon birleşimlerinin histeretik enerji dağıtma kapasitelerinin frekans dağılımı [Akbaş, Nadar and Shen, 2006].

2.4. Histeretik Enerji Talebi

TSD inelastik bir sistemdeki histeretik enerji talebi, E_{ED} , ortalaması $\mu_{E_{ED}}$ ve standart sapması $\sigma_{E_{ED}}$ olan istatistiksel olarak bağımsız rastgele değişken olarak gözönüne alınabilir. Histeretik enerji talebinin populasyon ortalaması ($\mu_{E_{ED}}$) bilinmediğinden, E_{ED} için $(1-\alpha)\%$ emniyet aralığı (ya da istatistiksel aralık) oluşturularak $\mu_{E_{ED}}$ tahmin edilebilir. Bunun için, histeretik enerji talebinin örnek ortalaması ($m_{E_{ED}}$) ve standart sapması ($S_{E_{ED}}$), bir yer hareketi bütününden elde edilebilir. Dağılımla ilgili bir kabulün yapılmadığını düşünürsek, geniş örnek büyüklükleri için yaklaşık $(1-\alpha)\%$ emniyet aralığı şu şekilde oluşturulabilir [Wadsworth, 1998];

$$m_{E_{ED}} - t_{\alpha/2} \frac{\sigma_{E_{ED}}}{\sqrt{n}} < \mu_{E_{ED}} < m_{E_{ED}} + t_{\alpha/2} \frac{\sigma_{E_{ED}}}{\sqrt{n}} \quad (2.4.)$$

Burada; α küçük bir kesir ve $t_{\alpha/2}$, $\alpha/2$ ' lik bir alan kadar aşılacak standart normal dağılım değeridir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta; histeretik enerji talebinin populasyon standart sapması ($\sigma_{E_{ED}}$) bilinmediği zaman, yeteri kadar geniş örnekleme büyüklüğü varsa $S_{E_{ED}}$ ile değiştirilebilir. Bu durumda yaklaşık $(1-\alpha)\%$ emniyet aralığı;

$$m_{E_{ED}} - t_{\alpha/2} \frac{S_{E_{ED}}}{\sqrt{n}} < \mu_{E_{ED}} < m_{E_{ED}} + t_{\alpha/2} \frac{S_{E_{ED}}}{\sqrt{n}} \quad (2.5.)$$

α , 0.05 ve 0.10 olarak alındığında, buna karşılık gelen $t_{\alpha/2}$ değerleri, sırasıyla 1.96 ve 1.65 olacaktır [Akbaş, Nadar and Shen 2006]. Bu nedenle, yaklaşık 90% ve 95% emniyet aralıkları şu şekilde ifade edilebilir;

$$m_{E_{ED}} - 1.65 \frac{S_{E_{ED}}}{\sqrt{n}} < \mu_{E_{ED}} < m_{E_{ED}} + 1.65 \frac{S_{E_{ED}}}{\sqrt{n}} \quad (2.6a.)$$

$$m_{E_{ED}} - 1.96 \frac{S_{E_{ED}}}{\sqrt{n}} < \mu_{E_{ED}} < m_{E_{ED}} + 1.96 \frac{S_{E_{ED}}}{\sqrt{n}} \quad (2.7b.)$$

Denklem 2.6a ve 2.7b kullanılarak, inelastik TSD bir sistem için histeretik enerji talebinin, E_{ED} , %90 ve %95 yaklaşık emniyet aralıkları kolaylıkla elde edilebilir.

2.5. Histeretik Enerjiye Dayalı Göçme Olasılığı

TSD sistemin göçme olasılığı şu şekilde hesaplanabilir (Şekil 2.3a.) :

$$P_f = P(E_{EC} \leq E_{ED}) = P(E_{EC} - E_{ED} \leq 0) \quad (2.8.)$$

Güvenlik sınırı, $Z = E_{EC} - E_{ED}$, $f_z(z)$ ile rasgele bir değişken olacaktır. Burada $f_z(z)$, olasılık yoğunluk fonksiyonudur (Şekil 2.3b.) [Gündüz, 1996]. Göçme bu durumda ($Z < 0$) olduğu zaman oluşur. Böylece, göçme olasılığı:

$$P_f = \int_{-\infty}^0 f_z(z) dz = F_z(0) \quad (2.9)$$

olacaktır. Denklem 2.9' daki P_f , $Z = 0$ ' ın sol tarafında kalan alana eşittir (Şekil 2.3b' deki taralı alan). Böylece, $(Z - \mu_Z) / \sigma_Z$ ' in dağılımı, $N(\mu_z, \sigma_z) = N(0,1)$ ile yaklaşık standart normal bir dağılım gösterecektir. Burada, μ_z, σ_z , sırasıyla, Z 'nin popülasyon ortalama değeri ve standart sapmasıdır. $\mu_z = \mu_{E_{EC}} - \mu_{E_{ED}}$ ve $\sigma_z = \sqrt{\sigma_{E_{EC}}^2 + \sigma_{E_{ED}}^2}$ olarak tanımlanırsa, denklem 2.9. şu hale gelir:

$$P_f = F_z(0) = \Phi\left(-\frac{\mu_z}{\sigma_z}\right) = \Phi\left(-\frac{\mu_{E_{EC}} - \mu_{E_{ED}}}{\sqrt{\sigma_{E_{EC}}^2 / n_{E_{EC}} + \sigma_{E_{ED}}^2 / n_{E_{ED}}}}\right) \quad (2.10.)$$

Burada, $\Phi(.)$, standart normal kümülatif fonksiyondur. Denklem 2.10., örnek ortalamaları ve standart sapmaları kullanılarak tekrar şöyle yazılabilir [Wadsworth, 1997]:

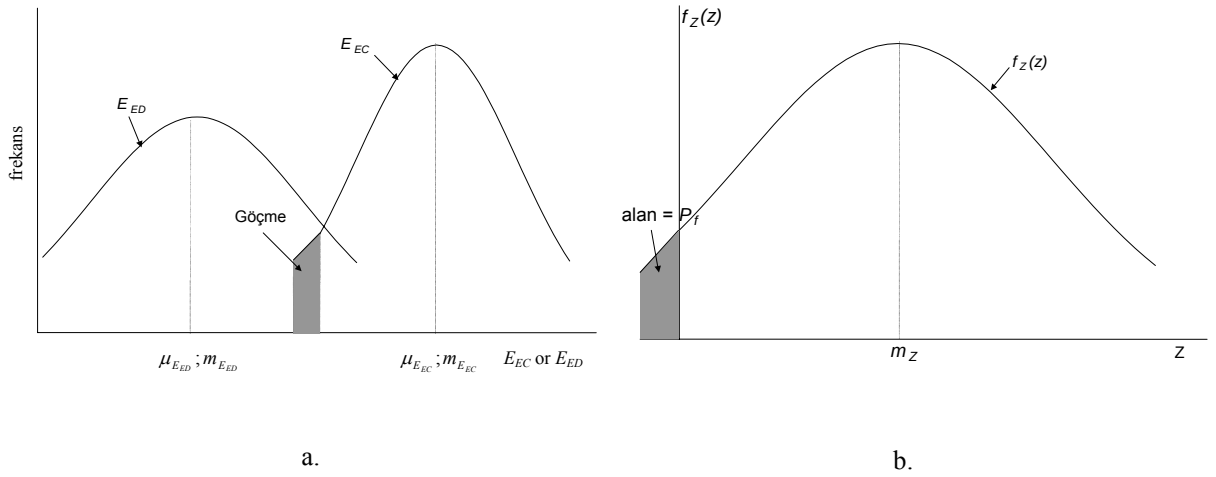
$$P_f = F_z(0) = \Phi\left(-\frac{m_z}{S_z}\right) = \Phi\left(-\frac{m_{E_{EC}} - m_{E_{ED}}}{\sqrt{S_{E_{EC}}^2 / n_{E_{EC}} + S_{E_{ED}}^2 / n_{E_{ED}}}}\right) \quad (2.11.)$$

Burada, m_z, S_z, Z 'in sırasıyla örnek ortalama değeri ve standart sapması; $n_{E_{EC}}, n_{E_{ED}}$, sırasıyla $E_{E_{EC}}$ ve $E_{E_{ED}}$ için örnek sayısıdır. P_f ' i daha rasyonel incelemek için, histeretik enerji dağıtma kapasitesi ve histeretik enerji talebinin örnek ortalama

değerleri arasındaki oran olarak tanımlanabilecek bir fazla enerji oranı aşağıda şekilde yazılabilir [Bertero ve Bertero, 1999]:

$$\Theta_E = \frac{m_{E_{EC}}}{m_{E_{ED}}} \quad (2.12.)$$

Denklem 2.12.'nin P_f 'nin hesaplanmasında kullanılması, sistemlerin tasarım için gerekenden daha büyük tasarlanması durumunda, P_f 'deki değişim hakkında önemli verebilir.



Şekil 2.3 E_{EC} ve E_{ED} 'nin frekans dağılımı ve Z fonksiyonunun olasılık yoğunluğu.

3. ANALİTİK ÇALIŞMA

3.1. Histeretik Enerjiye Dayalı Göçmenin Belirlenmesi

TSDS’de histeretik enerji talebinin (E_{ED}) tespit edilmesi için BISPEC v1.55 [University of California at Berkeley] kullanılarak doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için, 0.1sn’ lik aralıklarla, 0.1sn’ den 3.0sn’ e kadar doğal periyoda sahip bir dizi TSDS dizayn edilmiştir. Bu sistemler için pekleşmesiz bilineer inelastik davranış kabul edilmiştir. Analizlere P- Δ etkisi dahil edilmemiştir. Sönüm oranının (ζ), kritik sönümün %5’si olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada rijitlik orantılı sönüm kullanılmıştır.

Analizler, 3 farklı normalleştirilmiş mukavemet indeksi için yürütülmüştür: $\eta = 0.5, 1.0, 1.5$.

$$\eta = \frac{F_y}{m \cdot \ddot{u}_{g,\max}} = \frac{F_y \cdot g}{W \cdot \ddot{u}_{g,\max}} = \frac{F_y}{W} \cdot \frac{1}{\ddot{u}_{g,\max} / g} \quad (3.1.)$$

Normalleştirilmiş mukavemet indeksi (η), yapının akma dayanımının (F_y), sonsuz rijit bir sistemin yer hareketi sırasında maruz kalacağı maksimum atalet kuvvetine ($m\ddot{u}_{g,\max}$) oranını ifade eder.

$$C_y = \frac{F_y}{W} = \frac{C_y}{\ddot{u}_{g,\max} / g} \quad (3.2)$$

Burada; C_y , akma dayanım katsayısını, W , yapının ağırlığını ifade eder.

Analizlerde kullanılan normalleştirilmiş mukavemet indekslerine (η) karşılık gelen akma dayanımı katsayıları (C_y), $\ddot{u}_{g,\max}=0.3g$; için sırasıyla 0.3, 0.6, 0.45; $\ddot{u}_{g,\max}=0.6g$ için sırasıyla 0.3, 0.6 ve 0.9’ dur.

Bu bölümde, TSDS' lerin histeretik enerjiye dayalı göçme olasılığının (P_f) araştırılmasında temsilen farklı zemin gruplarından elde edilmiş doksan adet yer hareketi kullanılmıştır. Bu yer hareketlerinin karakteristikleri Tablo 3.2., Tablo 3.3., Tablo 3.4.' te verilmiştir [Sarı 2003].

Bu yer hareketlerinin normalleştirilmiş mukabele spektrumları Şekil 3.1., Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.' te çizilmiştir. Seçilen yer hareketleri üç farklı zemin grubundan elde edilmiş ve farklı maksimum zemin ivmelerine, frekans içeriğine, güçlü yer hareketi süresine, uzaklığa ve büyüklüğe sahiptirler. Orta ve şiddetli yer hareketlerine maruz kalan TSDS' lerin histeretik enerji talebini değerlendirmek için yer hareketlerinin maksimum yer ivmeleri ($\ddot{u}_{g,max}$) $0.3g$ ve $0.6g$ ' ye ölçeklendirilmiştir.

Farklı zemin gruplarındaki yer hareketlerine maruz kalmış TSDS' lerin histeretik enerji talebinin daha iyi anlaşılabilmesi için, TSDS, doğal periyodlarına (T) göre sınıflandırılmışlardır. Doğal periyodları $0 < T < 0.7$ sn (çok kısa ve kısa periyodlu sistemler), $0.7 \leq T \leq 1.0$ sn (orta periyodlu sistemler) ve $1.0 < T \leq 2.0$ sn (uzun ve çok uzun periyodlu sistemler) olan TSDS' ler, sırasıyla Yapı Grupları (YG) I, II ve III' ü temsil etmektedir. Tablo 3.5.' te hücre numaraları ve her hücredeki toplam örnek sayısı parantez içinde verilmiştir.

Tablo 3.1. Zemin sınıflarının tanımı [Sarı, 2003].

Zemin Sınıfı	V_{s30}
A	> 750 m/sn
B	360 m/s to 750 m/sn
C	180 m/s to 360 m/sn
D	< 180 m/sn

Tablo 3.2. A&B zemin grubuna ait depremlerin özellikleri [Sarı, 2003].

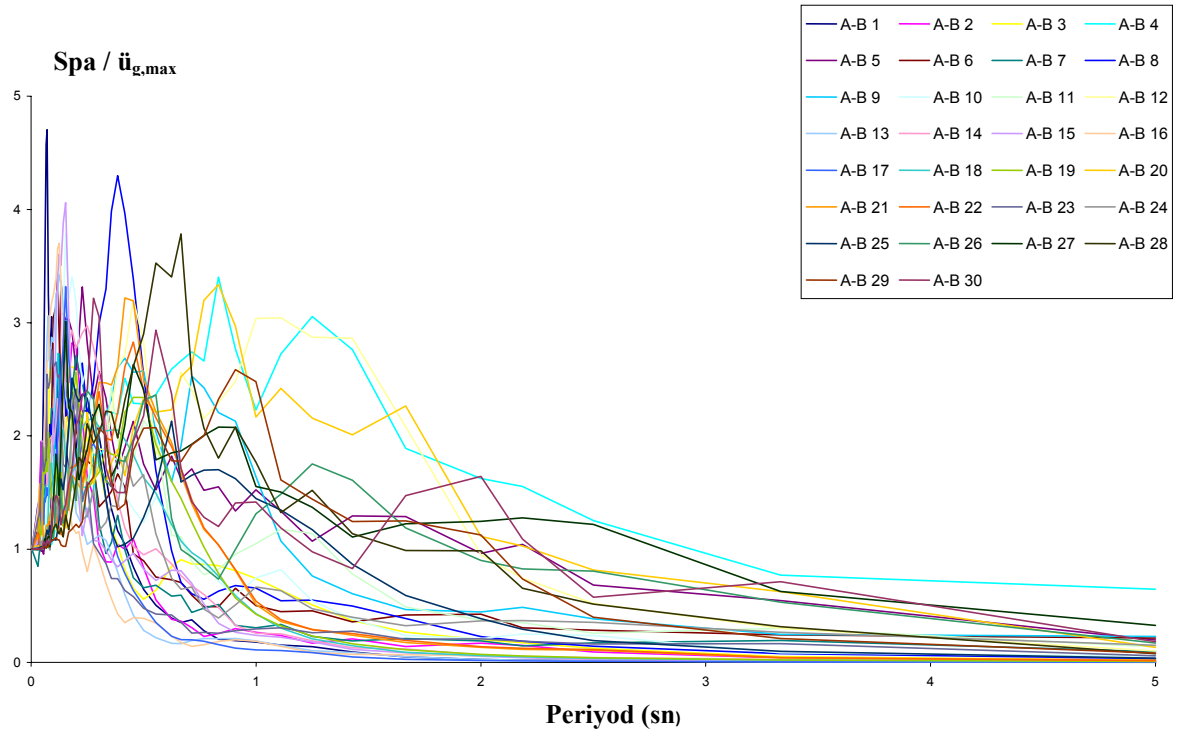
No	Deprem	Uzaklık	Tarih	Kayıt	$\ddot{U}_{g,max}$	Sınıf
1	Anza (Horse Canyon)	12.1	02/25/1980	AZF315	0.066	A
2	Morgan Hill	16.2	04/24/1984	G01320	0.098	A
3	Coyote Lake	9.3	08/06/1979	C0132	0.132	A
4	<u>Landers</u>	141.6	06/28/1992	GRN180	0.041	A
5	<u>Landers</u>	69.2	06/28/1992	<u>ABY090</u>	0.146	A
6	<u>Landers</u>	51.7	06/28/1992	SIL000	0.05	A
7	<u>Landers</u>	42.2	06/28/1992	29P000	0.08	A
8	<u>Loma Prieta</u>	11.2	10/18/1989	G01090	0.473	A
9	<u>Loma Prieta</u>	30.6	10/18/1989	SGI360	0.06	A
10	<u>Loma Prieta</u>	44.8	10/18/1989	MCH000	0.073	A
11	<u>Loma Prieta</u>	78.3	10/18/1989	PJH045	0.084	A
12	<u>Loma Prieta</u>	88.6	10/18/1989	PTB297	0.072	A
13	<u>Lytle Creek</u>	20.6	09/12/1970	CSM095	0.071	A
14	<u>N. Palm Springs</u>	46.7	07/08/1986	AZF225	0.099	A
15	<u>N. Palm Springs</u>	45.6	07/08/1986	ARM360	0.129	A
16	<u>N. Palm Springs</u>	57.6	07/08/1986	H02090	0.093	A
17	<u>Whittier Narrows</u>	20.4	10/01/1987	B-MTW000	0.158	A
18	Anza (Horse Canyon)	40.6	02/25/1980	BAR225	0.047	B
19	Anza (Horse Canyon)	19.6	02/25/1980	RDA045	0.097	B
20	<u>Borrego Mtn</u>	203.0	04/09/1968	A-PAS270	0.090	B
21	<u>Coyote Lake</u>	17.2	08/06/1979	SJ3337	0.124	B
22	<u>Coyote Lake</u>	17.2	08/06/1979	SJ5337	0.114	B
23	<u>Imperial Valley</u>	8.3	10/15/1979	H-CPEDWN	0.116	B
24	<u>Imperial Valley</u>	14.2	10/15/1979	H-PTS315	0.204	B
25	Hollister	14.9	11/28/1974	<u>D-SG3295</u>	0.339	B
26	<u>Cape Mendocino</u>	44.6	04/25/1992	EUR090	0.178	B
27	<u>Cape Mendocino</u>	23.6	04/25/1992	FOR000	0.116	B
28	<u>Kern County</u>	127.0	07/21/1952	PAS180	0.045	B
29	<u>Kern County</u>	87.0	07/21/1952	SBA132	0.127	B
30	Loma Prieta	46.9	10/18/1989	A09137	0.113	B

Tablo 3.3. C zemin grubuna ait depremlerin özellikleri [Sarı, 2003].

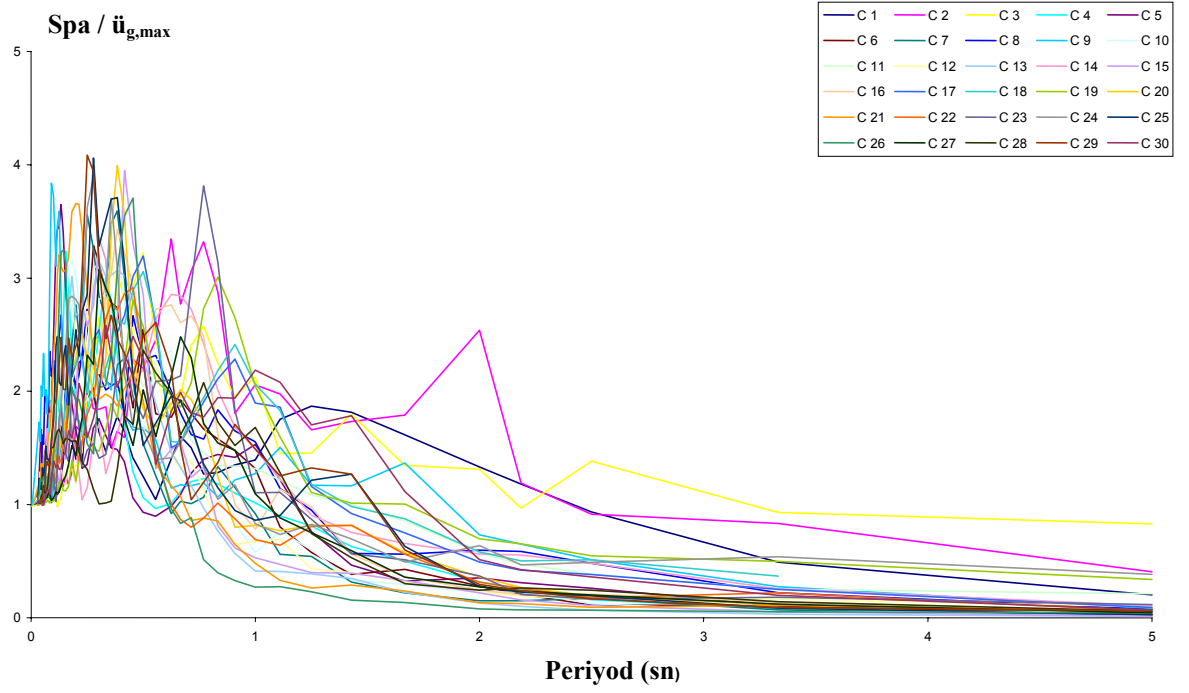
No	Deprem	Uzaklık	Tarih	Kayıt	$\ddot{U}_{g,max}$	Sınıf
1	<u>Borrego Mtn</u>	46.0	04/09/1968	A-ELC180	0.13	C
2	<u>Borrego Mtn</u>	217.4	04/09/1968	A-PEL090	0.012	C
3	<u>Borrego Mtn</u>	195.0	04/09/1968	A-TLI249	0.01	C
4	Coyote Lake	7.5	08/06/1979	G02140	0.339	C
5	Coyote Lake	6.0	08/06/1979	G03050	0.272	C
6	Coyote Lake	4.5	08/06/1979	G04270	0.248	C
7	Coyote Lake	31.2	08/06/1979	HVR150	0.039	C
8	<u>Imperial Valley</u>	8.3	05/19/1940	I-ELC180	0.313	C
9	<u>Imperial Valley</u>	8.5	05/19/1940	H-AEP045	0.327	C
10	<u>Imperial Valley</u>	2.5	05/19/1940	H-BCR230	0.775	C
11	<u>Imperial Valley</u>	8.5	10/15/1940	H-BRA315	0.220	C
12	<u>Imperial Valley</u>	10.6	10/15/1979	H-CX0225	0.275	C
13	Hollistr	10.0	11/28/1974	A-HCH271	0.177	C
14	<u>Cape Mendocino</u>	9.5	04/25/1992	PET090	0.662	C
15	<u>Coalinga</u>	47.3	05/02/1983	H-C05270	0.147	C
16	<u>Coalinga</u>	50.7	05/02/1983	H-C08000	0.098	C
17	<u>Kern County</u>	120.5	07/21/1952	HOL180	0.057	C
18	<u>Kern County</u>	120.5	07/21/1952	PEL180	0.058	C
19	<u>Loma Prieta</u>	28.2	10/18/1989	HCH090	0.247	C
20	<u>Loma Prieta</u>	12.7	10/18/1989	G02000	0.367	C
21	<u>Loma Prieta</u>	14.4	10/18/1989	G03000	0.555	C
22	<u>Loma Prieta</u>	16.1	10/18/1989	G04000	0.417	C
23	<u>Loma Prieta</u>	31.6	10/18/1989	HVR000	0.134	C
24	<u>Loma Prieta</u>	28.2	10/18/1989	AGW000	0.172	C
25	<u>Loma Prieta</u>	14.5	10/18/1989	CAP000	0.529	C
26	<u>Loma Prieta</u>	24.2	10/18/1989	GMR090	0.323	C
27	<u>Loma Prieta</u>	64.4	10/18/1989	SFO090	0.329	C
28	<u>Loma Prieta</u>	75.2	10/18/1989	NAS180	0.268	C
29	<u>Loma Prieta</u>	57.4	10/18/1989	A2E000	0.171	C
30	<u>Loma Prieta</u>	77.4	10/18/1989	TIB270	0.244	C

Tablo 3.4. D zemin grubuna ait depremlerin özellikleri [Sarı, 2003].

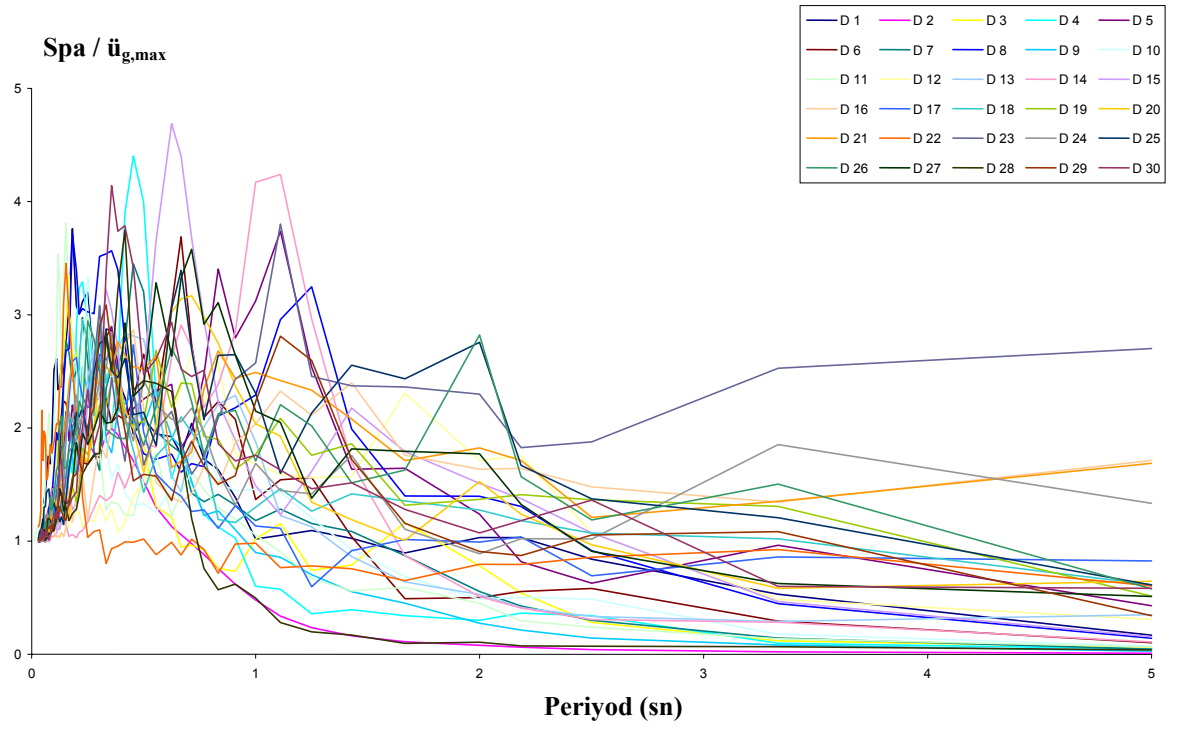
No	Deprem	Uzaklık	Tarih	Kayıt	$\ddot{U}_{g,max}$	Sınıf
1	<u>Imperial Valley</u>	9.3	10/15/1979	H-E03140	0.266	D
2	<u>Imperial Valley</u>	17.9	10/15/1979	A-E03140	0.179	D
3	<u>Kobe</u>	26.4	01/16/1995	KAK090	0.345	D
4	<u>Kobe</u>	11.1	01/16/1995	NIS000	0.509	D
5	<u>Kobe</u>	8.5	01/16/1995	OSA000	0.079	D
6	<u>Kobe</u>	15.5	01/16/1995	SHI000	0.243	D
7	<u>Kobe</u>	1.2	01/16/1995	TAZ090	0.694	D
8	<u>Kobe</u>	0.3	01/16/1995	TAK090	0.616	D
9	Morgan Hill	54.1	04/24/1984	A01310	0.068	D
10	<u>Superstitt Hills(B)</u>	27.1	11/24/1987	B-WLF315	0.167	D
11	<u>West Morland</u>	10.1	04/26/1981	WLF225	0.199	D
12	<u>Duzce, Turkey</u>	193.3	11/12/1999	ATS030	0.038	D
13	Kocaeli, Tukey	78.9	8/17/1999	ATS000	0.249	D
14	<u>Loma Prieta</u>	47.9	10/18/1989	A02043	0.274	D
15	<u>Loma Prieta</u>	82.9	10/18/1989	TRI090	0.159	D
16	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	26.81	09/20/1999	CHY002-E	0.117	D
17	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	50.89	09/20/1999	CHY004-E	0.099	D
18	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	45.31	09/20/1999	CHY008-E	0.13	D
19	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	64.23	09/20/1999	CHY022-N	0.063	D
20	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	71.92	09/20/1999	CHY016-N	0.105	D
21	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	64.44	09/20/1999	CHY017-N	0.056	D
22	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	18.79	09/20/1999	CHY025-V	0.165	D
23	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	29.25	09/20/1999	CHY026-W	0.076	D
24	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	44.13	09/20/1999	CHY027-W	0.057	D
25	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	39.34	09/20/1999	CHY032-W	0.088	D
26	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	48.2	09/20/1999	CHY033-W	0.068	D
27	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	36.72	09/20/1999	CHY039-W	0.114	D
28	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	25.96	09/20/1999	CHY041-W	0.639	D
29	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	60.23	09/20/1999	CHY044-W	0.077	D
30	<u>Chi-Chi, Taiwan</u>	53.83	09/20/1999	CHY054-W	0.097	D



Şekil 3.1. A&B grubu zeminlerde kaydedilen depremler için normalleştirilmiş mukabele spektrumları.



Şekil 3.2. C grubu zeminlerde kaydedilen depremler için normalleştirilmiş mukabele spektrumları.



Şekil 3.3. D grubu zeminlerde kaydedilen depremleri için normalleştirilmiş mukabele spektrumları.

Tablo 3.5. Yapıların ve zemin gruplarının sınıflandırılması (Parantez içindeki sayılar gruptaki örnek sayısını ifade etmektedir).

Zemin Grubu (ZG)	Yapı Grubu (YG)	I	II	III
	Örnek Sayısı ↓ →	6	4	10
A&B	30	A&B-I (180)	A&B-II (120)	A&B-III (300)
C	30	C-I (180)	C-II (120)	C-III (300)
D	30	D-I (180)	D-II (120)	D-III (300)

Her bir hücrede, farklı normalize edilmiş mukavemet indisleri için inelastik zaman geçmişi analizlerinden elde edilen istatistiki değerler Tablo 3.6.' da verilmiştir.

Tablo 3.6. Birim kütle başına histeretik enerji talebinin istatistiksel değerlendirilmesi, $(\text{cm/sn})^2$

$\ddot{U}_{g,\max}$ (g)	η	Yapı Grubu Zemin Grubu	I		II		III	
			$m_{E_{ED}}$ (x1000)	$S_{E_{ED}}$ (x1000)	$m_{E_{ED}}$ (x1000)	$S_{E_{ED}}$ (x1000)	$m_{E_{ED}}$ (x1000)	$S_{E_{ED}}$ (x1000)
0.3	0.5	A&B	1.948	3.188	3.425	6.030	3.435	6.244
		C	2.354	2.524	3.626	4.443	2.807	4.712
		D	5.119	5.411	10.435	10.933	14.663	20.685
	1.0	A&B	1.036	1.748	2.550	4.470	2.831	5.619
		C	1.436	1.616	2.784	3.088	2.304	4.190
		D	2.115	2.278	5.925	5.260	8.615	10.145
	1.5	A&B	0.685	1.083	1.899	3.133	2.455	4.662
		C	1.032	1.202	2.211	2.027	2.075	3.770
		D	1.215	1.467	3.993	3.905	6.249	6.830
0.6	0.5	A&B	7.775	12.751	13.682	24.035	13.866	25.124
		C	7.985	12.675	14.516	23.992	15.230	25.465
		D	20.478	21.642	44.352	49.882	53.852	70.888
	1.0	A&B	4.109	7.011	10.394	18.744	11.101	21.795
		C	4.186	6.984	10.854	18.680	12.096	21.975
		D	8.463	9.113	26.036	25.825	30.768	33.637
	1.5	A&B	2.706	4.343	8.069	14.028	9.586	18.496
		C	2.770	4.326	8.445	13.984	10.457	18.662
		D	4.861	5.870	18.499	20.115	22.148	22.444

Her bir hücrede, farklı normalleştirilmiş mukavemet indisleri için inelastik zaman geçmişi analizlerinden elde edilen istatistiki değerler Tablo 3.6.' da verilmiştir.

$\ddot{u}_{g,max} = 0.3g$ için; ZG-A&B ve -D' deki yer hareketlerine maruz kaldığı zaman, YG-III' deki TSD sistemler, herhangi bir η için en yüksek $m_{E_{ED}}$ 'e sahip olmaktadır. Bununla birlikte, $\eta = 1.0$ ve 1.5 için, ZG-C' deki yer hareketlerine maruz kaldığında YG-II' deki sistemler en yüksek $m_{E_{ED}}$ 'e sahip olmaktadır. YG-I' deki sistemler herhangi bir η için en düşük $S_{E_{ED}}$ 'ye sahip olurken, YG-III' deki sistemler, genelde en yüksek $S_{E_{ED}}$ 'ye sahip olmaktadır. $m_{E_{ED}}$, genellikle, $\eta = 0.5$ için en yüksektir ve η yükseldikçe dikkat çekici bir düşüş gösterir. Bununla birlikte, $S_{E_{ED}}$ 'deki değişim o kadar kuvvetli değildir ve yükselme veya düşme gibi üniform bir eğilimi takip etmemektedir.

$\ddot{u}_{g,max} = 0.6g$ için, ZG-A&B, -C ve -D' deki yer hareketlerine maruz kaldığı zaman, YG-III' teki TSD sistemler, herhangi bir η için en yüksek $m_{E_{ED}}$ 'ye sahiptirler. Herhangi bir η değeri için YG-III' teki sistemler, en yüksek $S_{E_{ED}}$ değerine sahip olurken, BG-I' deki sistemler en küçük $S_{E_{ED}}$ 'ye sahip olmaktadır. $m_{E_{ED}}$, bütün yapı gruplarında, $\eta = 0.5$ için en yüksektir ve η yükseldikçe dikkat çekici bir düşüş gösterir. $S_{E_{ED}}$ 'deki değişim de çok kuvvetlidir; η yükseldikçe dikkat çekici bir düşüş gösterir. Ayrıca; D-II hücresi hariç bütün hücrelerde $m_{E_{ED}}$ 'i dahi aşmaktadır.

3.2. Histeretik Enerji İçin Güvenlik Aralıklarının Belirlenmesi

Bu bölümde TSD inelastik bir sistemdeki histeretik enerji talebi (E_{ED}) için güvenlik aralıklarının belirlenmesi ve istatistiki değerlendirme sunulacaktır. Bu amaçla doğal periyodu 0.1' den 3.0sn' ye kadar 11 adet TSD sistem göz önünde bulundurularak parametrik bir inelastik zaman geçmişi analizi yapılmıştır. Kullanılan TSDS' lerin özellikleri bölüm 3.1.' de anlatılanla aynıdır. Seçilen TSD sistemler, çok kısa periyod aralığındaki ($T \leq 0.2$ sn), kısa periyod aralığındaki ($0.2 \text{ sn} \leq T \leq 0.5$ sn), orta periyod aralığındaki ($0.5 \text{ sn} \leq T \leq 1.0$ sn), uzun periyod aralığındaki ($1.0 \text{ sn} \leq T \leq 2.0$ sn) ve çok uzun periyod aralığındaki ($2.0 \text{ sn} \leq T \leq 3.0$ sn) yapıları temsil etmektedir. Bölüm 3.1.' deki yer hareketleri analizlerde kullanılmıştır.

Örnek ortalama ve standard sapma değerleri Tablo 3.7., 3.8. ve 3.9.' da verilmiştir. Tüm yapılar arasında çok kısa ve kısa periyodlu yapılar en küçük varyasyon katsayısına (COV) (0.52 - 1.53) sahiptirler (Tablo 3.7., 3.8., 3.9.). Bu aynı zamanda bu tür yapılarda E_{ED} 'nin daha az değiştiği anlamına da gelir. COV, örnek standard sapmasının ($S_{E_{ED}}$) örnek ortalamasına ($m_{E_{ED}}$) oranı olarak tanımlanır. Çok uzun periyodlu yapılar ise en yüksek COV' ye (2.54 - 2.60) sahiptirler, yani E_{ED} bu tür yapılarda daha çok değişmektedir. En yüksek $m_{E_{ED}}$, beklenildiği gibi kısa, orta ve uzun periyodlu yapılarda gözlenmiştir (Tablo 3.7., 3.8., 3.9.). Çok kısa ve çok uzun periyodlu yapılarda ise $m_{E_{ED}}$ 'de oldukça önemli düşüşler görülmüştür.

Şekil 3.4., 3.5., 3.6., 3.7., 3.8. ve 3.9., yaklaşık güvenlik aralıklarını grafik üzerinde görmek amacıyla verilmiştir. E_{ED} için en yüksek yaklaşık güvenlik aralığı kısa ve orta periyod aralığında oluşmuş, en düşük yaklaşık güvenlik aralığı ise çok uzun periyod aralığında oluşmuştur (Şekil 3.4., 3.5., 3.6., 3.7., 3.8., 3.9.). Yaklaşık güvenlik aralıkları η arttıkça $\ddot{u}_{g,max} = 0.3g$ için düşmekte $\ddot{u}_{g,max} = 0.6g$ için artmaktadır. Bu, yapı şiddetli bir yer hareketine maruz kaldığı zaman, yapının mukavemeti arttıkça histeretik enerji talebinin de artacağı anlamına gelir. Fakat, bir yapı orta şiddetli bir yer hareketine maruz kaldığı zaman, yapının mukavemeti

arttıkça yapının akamayabileceğinden dolayı yapıdaki histeretik enerji talebi de azalacaktır.

Tablo 3.7. A&B grubu zeminler için E_{ED} / m 'nin istatistiksel değerleri.

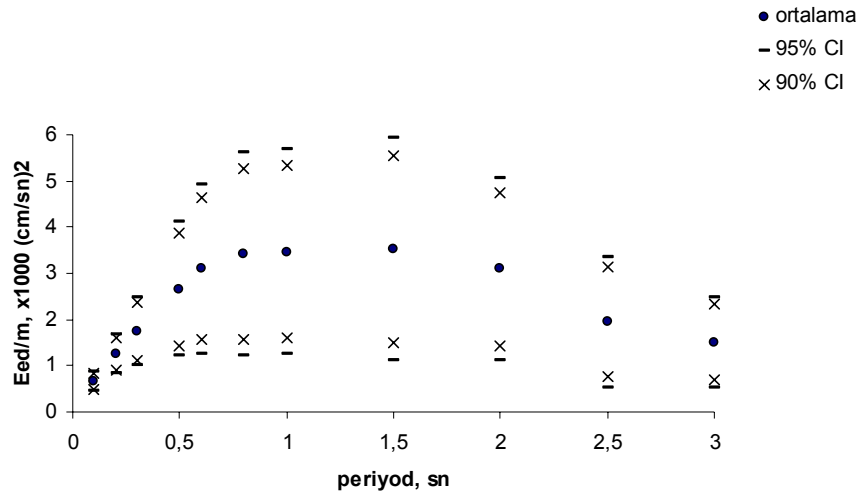
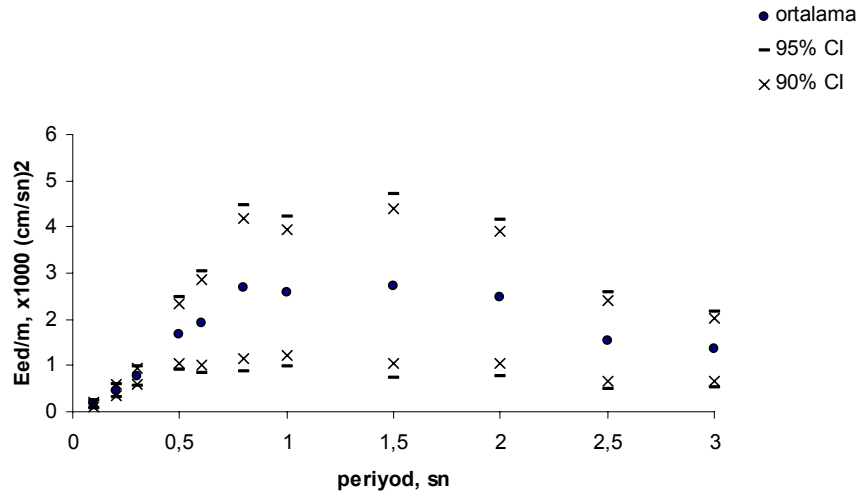
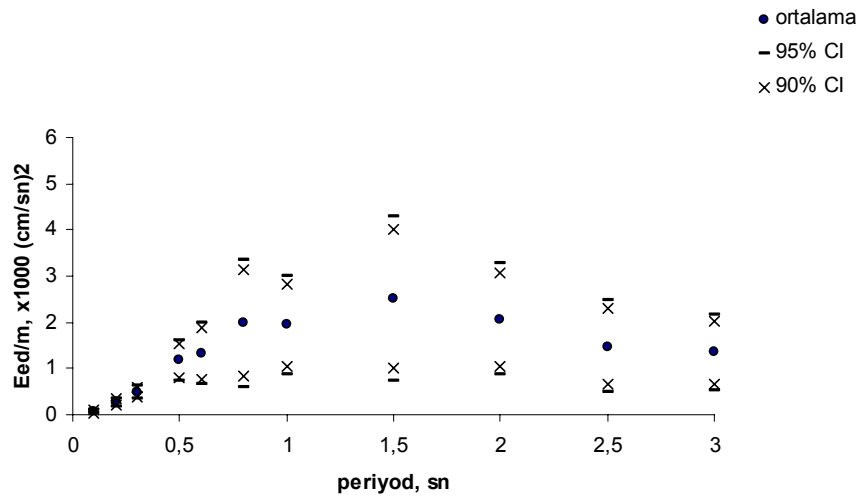
$\ddot{u}_{g,max}$ (g)	T (sn)	$\eta = 0.5$			$\eta = 1.0$			$\eta = 1.5$		
		$m_{E_{ED}} / m$	$S_{E_{ED}} / m$	COV	$m_{E_{ED}} / m$	$S_{E_{ED}} / m$	COV	$m_{E_{ED}} / m$	$S_{E_{ED}} / m$	COV
		x1000 (cm/sn) ²	x1000 (cm/sn) ²		x1000 (cm/sn) ²	x1000 (cm/sn) ²		x1000 (cm/sn) ²	x1000 (cm/sn) ²	
0.3	0.1	0.65	0.59	0.91	0.16	0.21	1.33	0.08	0.11	1.38
	0.2	1.26	1.20	0.96	0.46	0.41	0.89	0.27	0.23	0.88
	0.3	1.74	2.08	1.20	0.77	0.62	0.81	0.48	0.37	0.77
	0.5	2.66	4.06	1.53	1.69	2.18	1.29	1.18	1.21	1.03
	0.6	3.09	5.09	1.76	1.93	3.05	1.75	1.32	1.88	1.63
	0.8	3.42	6.14	1.80	2.67	5.01	1.87	1.98	3.85	1.94
	1.0	3.47	6.16	1.78	2.59	4.54	1.76	1.94	2.96	1.53
	1.5	3.51	6.72	1.91	2.72	5.55	2.04	2.51	4.96	1.97
	2.0	3.09	5.53	1.79	2.47	4.73	1.92	2.07	3.37	1.62
	2.5	1.95	3.94	2.02	1.53	2.92	1.91	1.48	2.74	1.85
	3.0	1.51	2.74	1.81	1.35	2.29	1.69	1.35	2.29	1.69
0.6	0.1	2.61	2.35	0.90	0.64	0.84	1.31	0.31	0.42	1.36
	0.2	5.05	4.81	0.95	1.85	1.64	0.89	1.07	0.93	0.87
	0.3	6.96	8.33	1.20	3.11	2.49	0.80	1.91	1.46	0.76
	0.5	10.65	16.23	1.52	6.79	8.71	1.28	4.73	4.85	1.02
	0.6	12.37	20.35	1.64	7.74	12.19	1.58	5.31	7.54	1.42
	0.8	13.70	24.58	1.79	10.70	20.02	1.87	7.94	15.42	1.94
	1.0	13.88	24.65	1.78	10.36	18.17	1.75	7.78	11.81	1.52
	1.5	14.04	26.88	1.91	10.88	22.15	2.03	10.03	19.74	1.97
	2.0	12.37	22.14	1.79	9.89	18.97	1.92	8.31	13.51	1.62
	2.5	7.82	15.78	2.02	6.12	11.68	1.91	5.92	10.97	1.85
	3.0	6.06	10.98	1.81	5.41	9.15	1.69	5.41	9.15	1.69

Tablo 3.8. C grubu zeminler için E_{ED} / m 'nin istatistiksel değerleri.

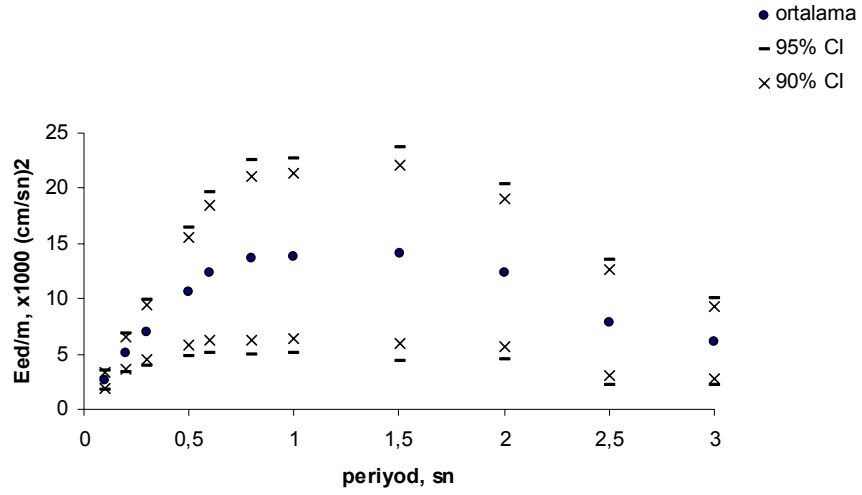
$\ddot{u}_{g,max}$ (g)	T (sn)	$\eta = 0.5$			$\eta = 1.0$			$\eta = 1.5$		
		$m_{E_{ED}} / m$	$S_{E_{ED}} / m$	COV	$m_{E_{ED}} / m$	$S_{E_{ED}} / m$	COV	$m_{E_{ED}} / m$	$S_{E_{ED}} / m$	COV
		x1000 (cm/sn) ²	x1000 (cm/sn) ²		x1000 (cm/sn) ²	x1000 (cm/sn) ²		x1000 (cm/sn) ²	x1000 (cm/sn) ²	
0.3	0.1	0.57	0.30	0.52	0.08	0.07	0.87	0.04	0.04	0.96
	0.2	1.50	0.93	0.62	0.51	0.37	0.74	0.26	0.18	0.70
	0.3	2.34	1.70	0.72	1.35	0.75	0.56	0.87	0.54	0.62
	0.5	3.31	3.03	0.92	2.42	1.89	0.78	1.79	1.32	0.74
	0.6	3.51	3.74	1.07	2.27	2.27	1.00	1.72	1.66	0.96
	0.8	3.64	4.33	1.19	2.92	3.15	1.08	2.48	2.41	0.97
	1.0	3.53	4.77	1.35	2.72	3.28	1.21	2.18	2.08	0.95
	1.5	2.80	4.35	1.55	2.38	3.45	1.45	2.20	2.89	1.31
	2.0	2.22	4.84	2.18	2.20	5.58	2.54	2.22	5.76	2.60
	2.5	1.77	4.12	2.33	1.44	2.90	2.01	1.40	2.71	1.93
	3.0	1.38	2.72	1.97	1.07	1.66	1.55	1.07	1.66	1.55
0.6	0.1	2.29	1.19	0.52	0.30	0.26	0.87	0.15	0.14	0.96
	0.2	6.00	3.71	0.62	2.03	1.50	0.74	1.05	0.74	0.70
	0.3	9.38	6.79	0.72	5.40	3.01	0.56	3.47	2.17	0.62
	0.5	13.27	12.14	0.91	9.69	7.59	0.78	7.18	5.29	0.74
	0.6	14.04	14.95	1.06	9.08	9.07	1.00	6.91	6.63	0.96
	0.8	14.59	17.32	1.19	11.68	12.58	1.08	9.91	9.65	0.97
	1.0	14.13	19.07	1.35	10.88	13.12	1.21	8.73	8.32	0.95
	1.5	11.20	17.40	1.55	9.54	13.79	1.45	8.80	11.55	1.31
	2.0	8.86	19.36	2.18	8.80	22.33	2.54	8.87	23.05	2.60
	2.5	7.07	16.49	2.33	5.77	11.60	2.01	5.61	10.83	1.93
	3.0	5.51	10.88	1.97	4.28	6.66	1.55	4.28	6.66	1.55

Tablo 3.9. D grubu zeminler için E_{ED} / m 'nin istatistiksel değerleri.

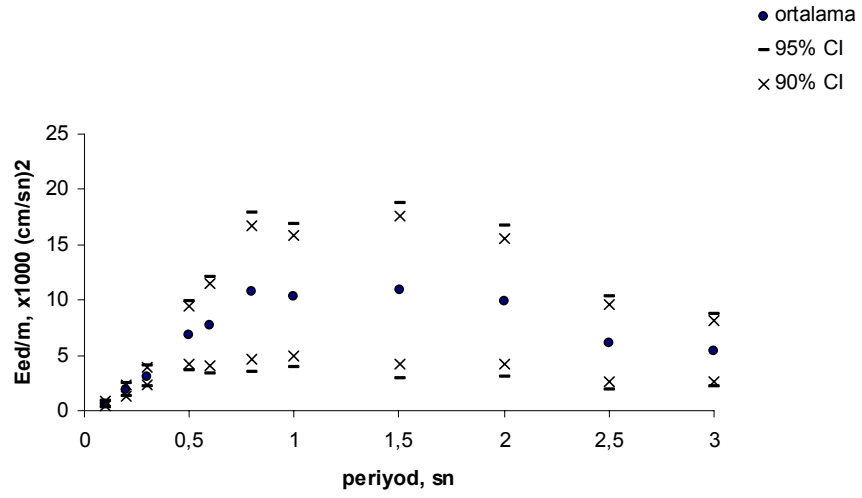
$\ddot{u}_{g,max}$ (g)	T (sn)	$\eta = 0.5$			$\eta = 1.0$			$\eta = 1.5$		
		$m_{E_{ED}} / m$	$S_{E_{ED}} / m$	COV	$m_{E_{ED}} / m$	$S_{E_{ED}} / m$	COV	$m_{E_{ED}} / m$	$S_{E_{ED}} / m$	COV
		x1000 (cm/sn) ²	x1000 (cm/sn) ²		x1000 (cm/sn) ²	x1000 (cm/sn) ²		x1000 (cm/sn) ²	x1000 (cm/sn) ²	
0.3	0.1	1.26	1.24	0.98	0.06	1.24	1.53	0.02	0.02	0.90
	0.2	2.97	2.62	0.88	0.71	2.62	0.66	0.30	0.23	0.77
	0.3	4.59	3.82	0.83	1.66	3.82	0.68	0.85	0.49	0.58
	0.5	7.39	6.15	0.83	3.47	6.15	0.68	1.94	1.33	0.68
	0.6	8.53	7.60	0.89	4.35	7.60	0.70	2.77	2.19	0.79
	0.8	10.09	10.22	1.01	5.88	10.22	0.84	3.63	3.05	0.84
	1.0	11.55	13.00	1.13	6.80	13.00	0.97	4.83	5.33	1.10
	1.5	14.43	19.88	1.38	7.47	19.88	1.06	5.00	4.52	0.90
	2.0	16.99	26.67	1.57	10.80	26.67	1.29	7.87	9.49	1.21
	2.5	18.30	34.31	1.88	9.54	34.31	1.86	6.51	8.16	1.25
	3.0	19.50	37.75	1.94	13.51	37.75	2.19	10.50	19.36	1.84
0.6	0.1	5.06	4.96	0.98	0.26	0.40	1.53	0.10	0.09	0.90
	0.2	11.87	10.46	0.88	2.83	1.87	0.66	1.20	0.92	0.77
	0.3	18.38	15.29	0.83	6.64	4.54	0.68	3.40	1.97	0.58
	0.5	29.55	24.62	0.83	13.86	9.38	0.68	7.77	5.31	0.68
	0.6	34.11	30.38	0.89	17.39	12.15	0.70	11.07	8.77	0.79
	0.8	40.35	40.89	1.01	23.53	19.66	0.84	14.50	12.20	0.84
	1.0	46.19	52.01	1.13	27.21	26.53	0.97	19.31	21.34	1.10
	1.5	57.74	79.52	1.38	29.89	31.65	1.06	20.02	18.09	0.90
	2.0	67.95	106.67	1.57	43.22	55.75	1.29	31.47	37.94	1.21
	2.5	73.19	137.25	1.88	38.15	70.84	1.86	26.04	32.63	1.25
	3.0	78.00	151.01	1.94	54.05	118.40	2.19	42.00	77.42	1.84

a. $\eta=0.5$ b. $\eta=1.0$ c. $\eta=1.5$

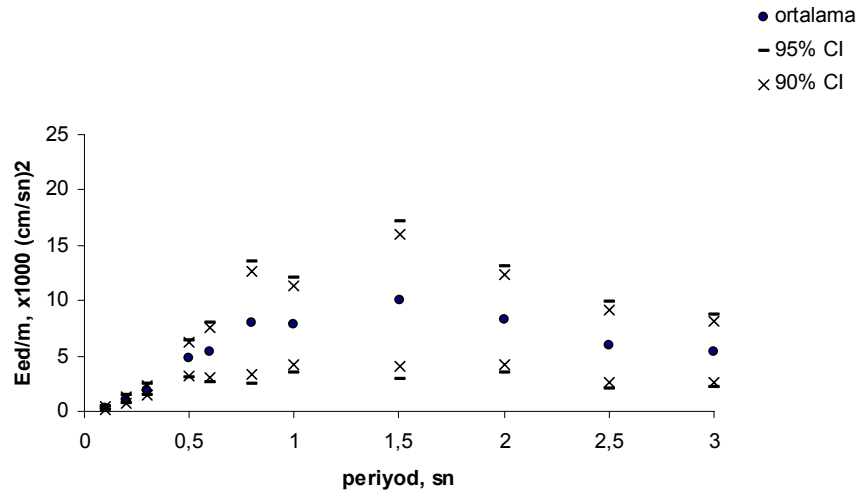
Şekil 3.4 A&B grubu zeminlerde PGA=0.3g için (CI) E_{ED}/m' nin yaklaşık emniyet aralığı.



a. $\eta=0.5$

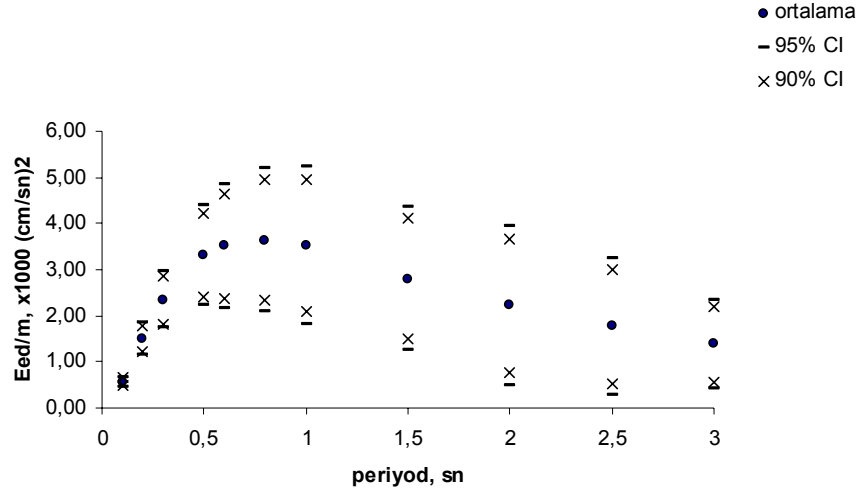
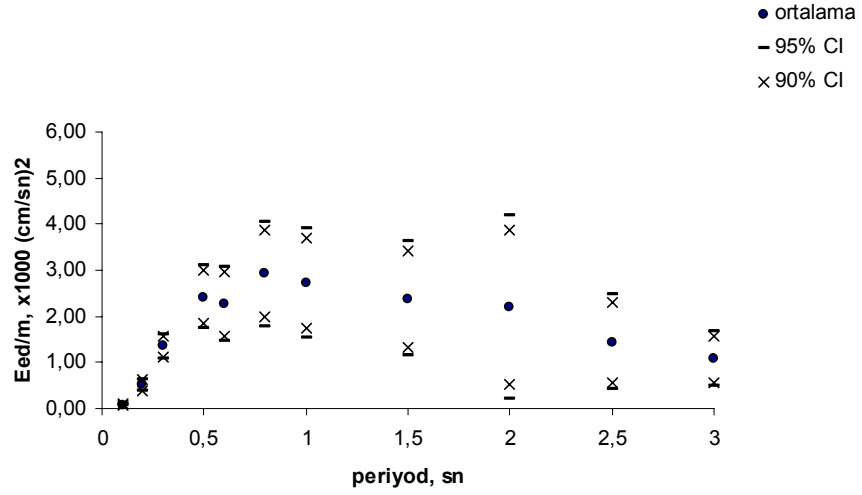
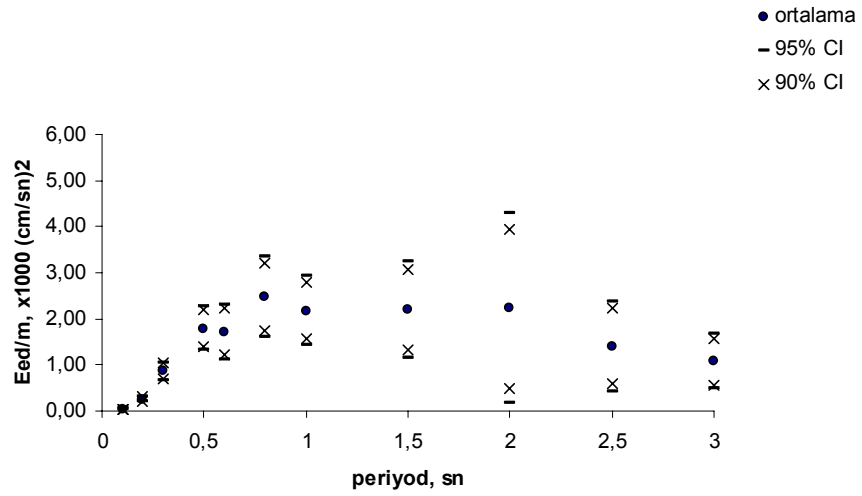


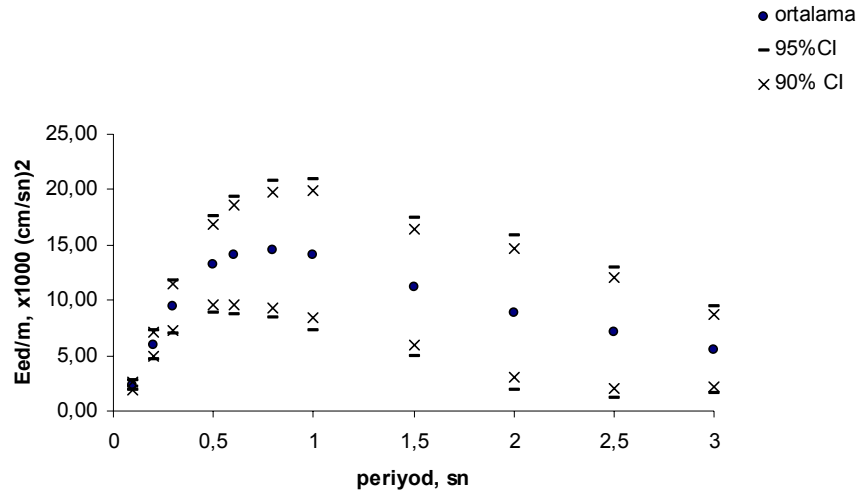
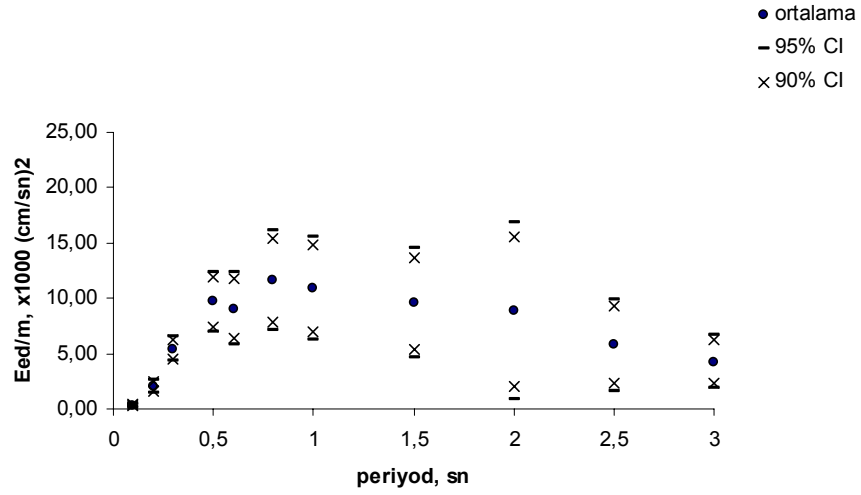
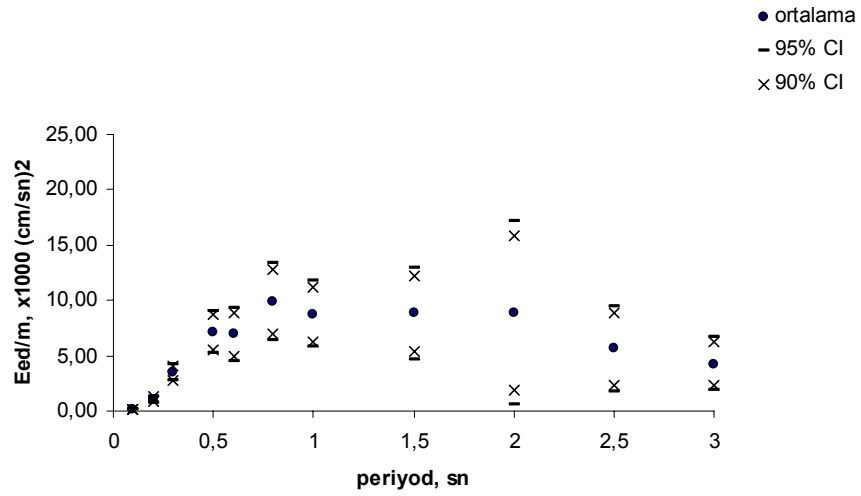
b. $\eta=1.0$

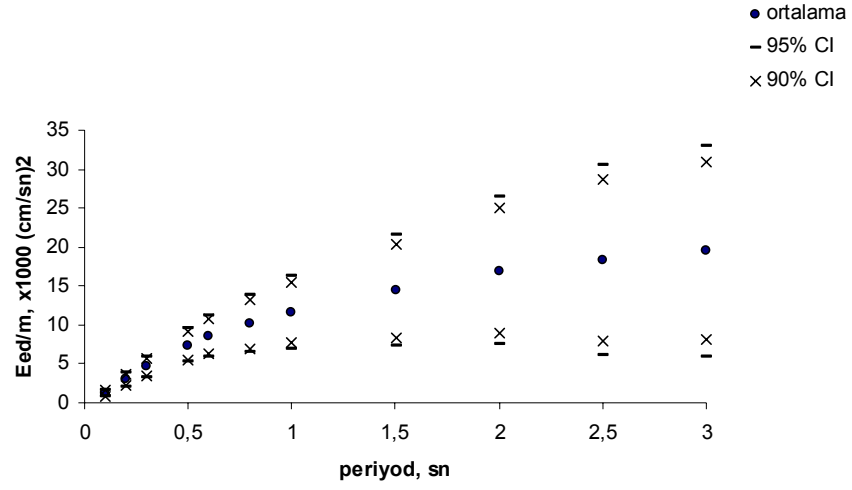
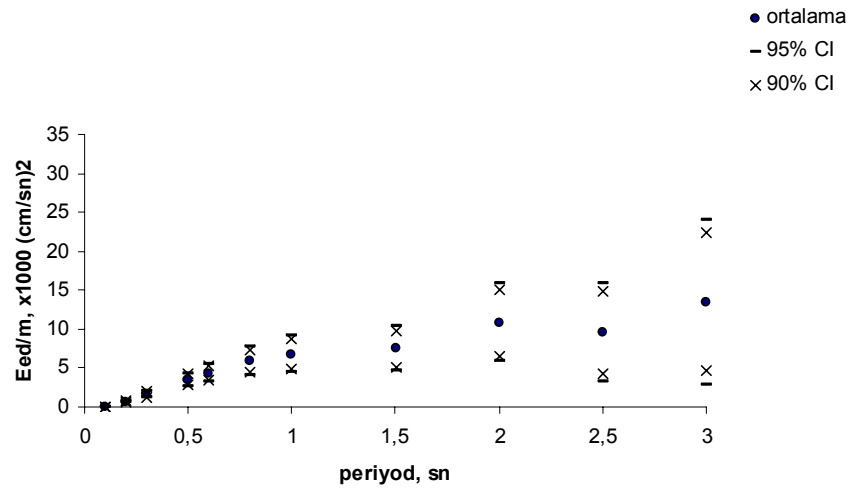
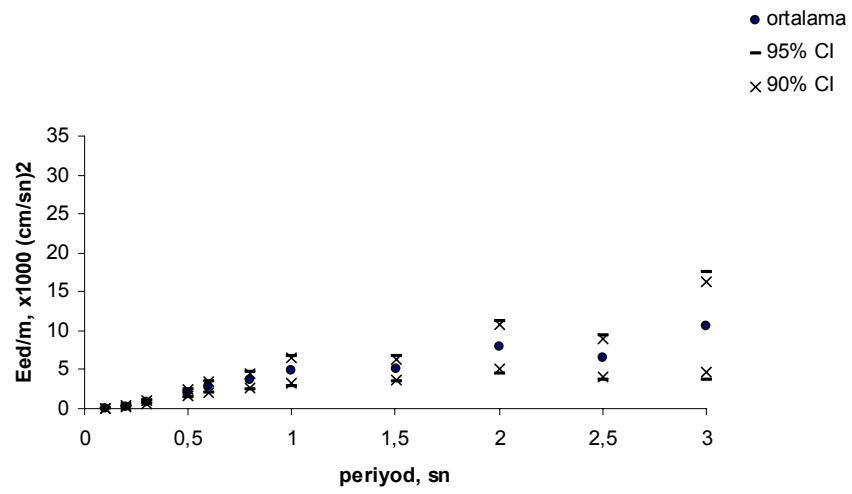


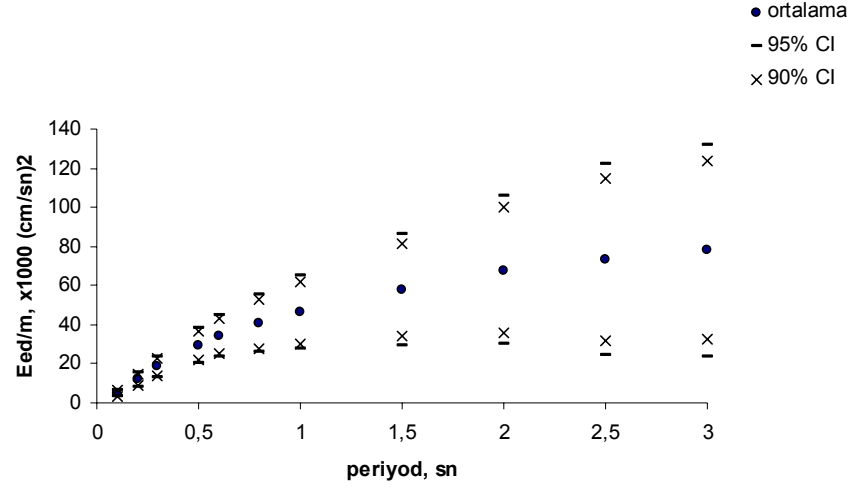
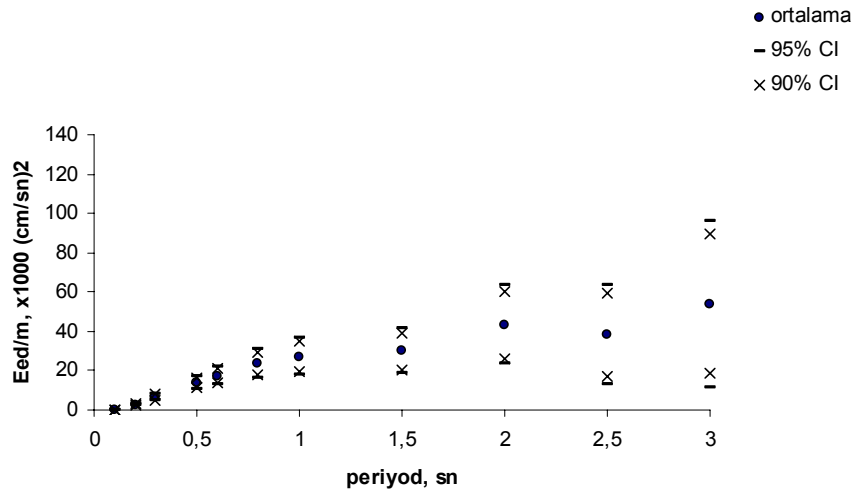
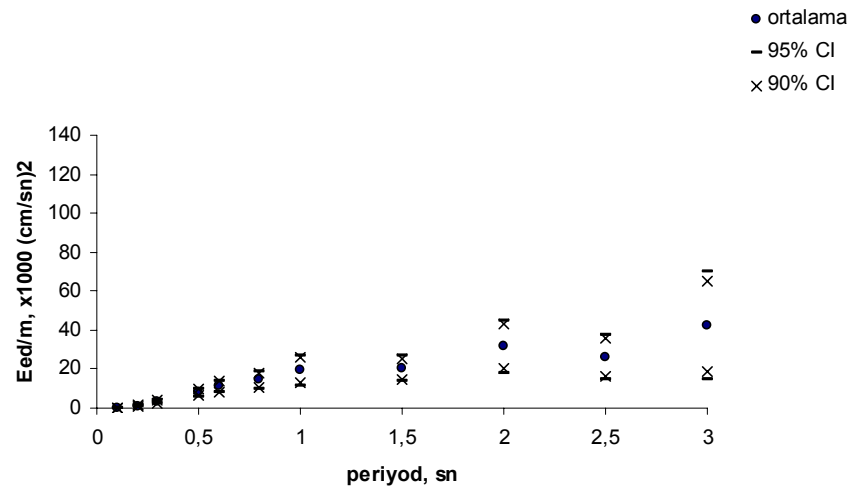
c. $\eta=1.5$

Şekil 3.5 A&B grubu zeminlerde PGA=0.6g için (CI) E_{ED}/m' nin yaklaşık emniyet aralığı.

a. $\eta=0.5$ b. $\eta=1.0$ c. $\eta=1.5$ Şekil 3.6 C grubu zeminlerde $PGA=0.3g$ için (CI) E_{ED}/m ' nin yaklaşık emniyet aralığı.

a. $\eta=0.5$ b. $\eta=1.0$ c. $\eta=1.5$ Şekil 3.7 C grubu zeminlerde $PGA=0.6g$ için (CI) E_{ED}/m ' nin yaklaşık emniyet aralığı.

a. $\eta=0.5$ b. $\eta=1.0$ c. $\eta=1.5$ Şekil 3.8 D grubu zeminlerde $PGA=0.3g$ için (CI) E_{ED}/m ' nin yaklaşık emniyet aralığı.

a. $\eta=0.5$ b. $\eta=1.0$ c. $\eta=1.5$ Şekil 3.9 D grubu zeminlerde $PGA=0.6g$ için (CI) E_{ED}/m ' nin yaklaşık emniyet aralığı.

3.3. Histeretik Enerjiye Dayalı Göçme Olasılığının Tahmini

Pratik olarak; daha önce de belirtildiği gibi histeretik enerjinin talep ve kapasitesinin populasyon ortalamasını ve standart sapmasını saptamak mümkün değildir. Bununla beraber; örnek olarak bir $(1-\alpha)\%$ güvenlik aralığı kullanılarak $\mu_{E_{EC}} - \mu_{E_{ED}}$ tahmin edilebilir. $\mu_{E_{EC}} - \mu_{E_{ED}}$ için $(1-\alpha)\%$ güvenlik aralığı;

$$m_{E_{EC}} - m_{E_{ED}} - t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{S_{E_{EC}}^2}{n_{E_{EC}}} + \frac{S_{E_{ED}}^2}{n_{E_{ED}}}} \leq \mu_{E_{EC}} - \mu_{E_{ED}} \leq m_{E_{EC}} - m_{E_{ED}} + t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{S_{E_{EC}}^2}{n_{E_{EC}}} + \frac{S_{E_{ED}}^2}{n_{E_{ED}}}} \quad (3.1.)$$

Daha sonra, uç göçme olasılıkları, $P_{f,lb}$ ve $P_{f,ub}$ denklem 3.1.' den güvenli bölgenin sınır değerleri kullanılarak bulunabilir. $P_{f,lb}$ ve $P_{f,ub}$ en kötü (Denklem 3.1.' in sol tarafı) ve en iyi (Denklem 3.1.' in sağ tarafı) olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmada, en kötü göçme olasılığı ($P_{f,lb}$) özellikle incelenecektir.

$P_{f,lb}$, aşağıdaki yer hareketi durumları için tasarlanmış TSD sistemler için değerlendirilecektir;

Durum 1, YH (PGA = 0.3g)' ye karşı tasarlanmış ve aynı seviyedeki YH' ye maruz (D-I),

Durum 2, şiddetli YH (PGA = 0.6g)' ye karşı tasarlanmış, fakat YH (PGA = 0.3g)' ye maruz (D-II),

Durum 3, YH (PGA = 0.6g)' ye karşı tasarlanmış ve aynı seviyedeki YH' ye maruz (D-III),

α ve uygun $t_{\alpha/2}$ değeri sırasıyla 0.05 ve 1.96 olarak alınmıştır. Θ_E oranı 1.25, 1.50, 2.0 olarak alınmıştır. Sırasıyla Durum 1, Durum 2 ve Durum 3' e karşılık gelen PGA=0.3g, 0.6g(a) ve 0.6g(b)' ye ait sonuçlar Tablo 3.10.' da sunulmuştur. Tablo 3.10.' dan görüleceği üzere $\Theta_E = 1$ için, $P_f 0.5'$ e (ya da %50) eşittir ve $\Theta_E \leq 1$ için,

P_f teorik olarak 0.5' ten büyüktür, ancak 0.5 olarak kabul edilir, çünkü histeretik enerji dağıtma kapasitesinden büyük histeretik enerji talebi durumları için göçme olasılığını tartışmak mantıklı değildir. Her durum, Tablo 3.5.' te belirtilen hücre sayılarına karşılık olarak farklı normalleştirilmiş mukavemet indeksi ($\eta = 0.5, 1.0, 1.5$) için değerlendirilmiştir.

Durum 1 ve 3' te $\Theta_E = 1.25$ için, $P_{f,lb}$, her hangi bir η değeri için %50 göçme olasılığını göstermektedir. $\Theta_E = 1.50$ için, Durum 1' de, $\eta = 0.5$ için; $P_{f,lb}$, %34 ile hücre D-II' en yüksek değere sahipken, %12.9 ile hücre D-III' te en düşük değere sahiptir. Aynı durumda, $\eta = 1.0$ için; $P_{f,lb}$, %38 ile hücre D-II' en yüksek değere sahipken, %7.7 ile hücre C-III' te en düşük değere sahiptir. Bununla beraber $\eta = 1.5$ için; $P_{f,lb}$, %38 ile hücre D-II' en yüksek değere sahipken, %8.4 ile hücre C-III' te en düşük değere sahiptir. $\Theta_E = 2.0$ için, Durum 1' de, tüm η değerleri için; $P_{f,lb}$ değerleri tüm hücrelerde sıfıra yakındır. $\Theta_E = 1.50$ için, Durum 3' te, $\eta = 0.5$ için; $P_{f,lb}$, %33.8 ve %33.2 ile hücre D-II ve C-II' de en yüksek değere sahipken, %9.1 ile hücre A&B-III' te en düşük değere sahiptir. Aynı durumda, $\eta = 1.0$ için; $P_{f,lb}$, %38 ile hücre D-II' en yüksek değere sahipken, %8.5 ile hücre C-III' te en düşük değere sahiptir. Bununla beraber $\eta = 1.5$ için; $P_{f,lb}$, %37.1 ile hücre D-II' en yüksek değere sahipken, %8.7 ile hücre D-III' te en düşük değere sahiptir. $\Theta_E = 2.0$ için, Durum 3' te, tüm η değerleri için; $P_{f,lb}$ değerleri tüm hücrelerde sıfıra yakındır. Durum 2 için, tüm Θ_E ve η değerleri için $P_{f,lb}$, %0' dır.

Tüm durumlarda η arttıkça, $P_{f,lb}$ ' nin de artması ilgi çekicidir. Bu durum mantıksız gözükabilir, çünkü yüksek mukavemete sahip sistemlerde göçme olasılığının, düşük mukavemete sahip sistemlerden daha düşük göçme olasılığına sahip olması yönünde bir sezgi mevcuttur. Çalışmadaki bu sonucun sebebi, yapının mukavemeti arttıkça, COV azalması gerçeğidir (Tablo 3.6., 3.7., 3.8., 3.9.

Tablo 3.10. En kötü göçme olasılığı ($P_{f,lb}$)

$\ddot{U}_{g,max}$			$\Theta_E = 1.25$			$\Theta_E = 1.50$			$\Theta_E = 2.0$		
Hücre No (Tablo 3.6)			$\eta=0.5$	$\eta=1.0$	$\eta=1.5$	$\eta=0.5$	$\eta=1.0$	$\eta=1.5$	$\eta=0.5$	$\eta=1.0$	$\eta=1.5$
			$P_{f,lb}$	$P_{f,lb}$	$P_{f,lb}$	$P_{f,lb}$	$P_{f,lb}$	$P_{f,lb}$	$P_{f,lb}$	$P_{f,lb}$	$P_{f,lb}$
D-I	0.3g	A&B-I	0.500	0.500	0.500	0.240	0.252	0.227	0	0.001	0.001
		A&B-II	0.500	0.500	0.500	0.170	0.183	0.193	0	0	0
		A&B-III	0.500	0.500	0.500	0.091	0.092	0.105	0	0	0
		C-I	0.500	0.500	0.500	0.269	0.267	0.243	0.002	0.001	0.001
		C-II	0.500	0.500	0.500	0.209	0.179	0.134	0	0	0
		C-III	0.500	0.500	0.500	0.090	0.077	0.084	0	0	0
		D-I	0.500	0.500	0.500	0.283	0.323	0.302	0.002	0.004	0.003
		D-II	0.500	0.500	0.500	0.340	0.380	0.380	0.005	0.009	0.009
		D-III	0.500	0.500	0.500	0.129	0.102	0.094	0	0	0
D-II	0.6g (a)	A&B-I	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		A&B-II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		A&B-III	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C-I	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C-II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C-III	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		D-I	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		D-II	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		D-III	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D-III	0.6g (b)	A&B-I	0.500	0.500	0.500	0.241	0.256	0.233	0.001	0.001	0.001
		A&B-II	0.500	0.500	0.500	0.313	0.337	0.306	0.003	0.005	0.003
		A&B-III	0.500	0.500	0.500	0.091	0.092	0.106	0	0	0
		C-I	0.500	0.500	0.500	0.268	0.279	0.264	0.002	0.002	0.002
		C-II	0.500	0.500	0.500	0.332	0.352	0.333	0.004	0.006	0.005
		C-III	0.500	0.500	0.500	0.097	0.085	0.093	0	0	0
		D-I	0.500	0.500	0.500	0.281	0.318	0.310	0.002	0.004	0.003
		D-II	0.500	0.500	0.500	0.338	0.380	0.371	0.005	0.009	0.008
		D-III	0.500	0.500	0.500	0.118	0.094	0.087	0	0	0

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, doğrusal olmayan TSD sistemlerin göçme olasılığının değerlendirilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen yöntem, dinamik zaman geçmişi analizleri kullanılarak doğrusal olmayan TSD sistem üzerinde uygulanmıştır. En kötü göçme olasılığına karşılık gelen %95 oranlı güvenlik seviyesi için göçme olasılıkları saptanmış ve %95 ve %90 oranlı güvenlik seviyeleri için histeretik enerji talebi için yaklaşık güvenlik aralıkları bulunmuştur.

4.1. Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan, aşağıdaki gözlemler elde edilmiştir:

- a. Kapasitenin talebe oranı arttıkça, göçme olasılığı azalmaktadır. Eğer bu oran çok düşükse, göçme kaçınılmazdır.
- b. TSD sistemlerde histeretik enerji talebi orta ve şiddetli yer hareketine maruz sistemlerde yapının dayanımına karşı oldukça hassastır.
- c. Bu çalışmada, histeretik enerjinin talebinin tahmin edilmesinde doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi kullanılmıştır. Histeretik enerji talebinin performansa dayalı tasarımda kullanılabilmesi için daha basit yöntemlere ihtiyaç vardır.

4.2. Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara dayanarak, aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur.

- a. Çelik moment birleşimlerinin histeretik enerji dağıtma kapasitesi için istatistiksel değerler, sistemin dayanımından bağımsız olduğu kabul edilmiştir, yani herhangi deney sonuçlarından alınan istatistiksel değerler bütün η 'lar için aynıdır. Deneyler, yapının dayanımını dikkate almadığından dolayı, bu kabulün geçerliliğinin, hem deneysel hemde analitik olarak ayrıca araştırılması gerekmektedir.
- b. Bu çalışmada TSD sistemler için elde edilen yaklaşık güvenlik aralıkları mühendise sadece yapıya enerji girişi hakkında bir bilgi verebilir. Enerjiye dayalı depreme dayanıklı yapı tasarımı için, sadece histeretik enerji talebi değil yapıların ve yapısal elemanların histeretik enerji dağıtma kapasitelerinin de bilinmesi ve tam olarak araştırılması gereklidir.
- c. TSD sistemlerin göçme olasılığı oldukça karmaşıktır. TSD sistemler için elde edilen göçme olasılıkları bazı kabullerin tartışılabilirliğine rağmen genelde rasyonel sonuçlar vermiştir.
- d. Sistemin deprem güvenlik (redundancy) derecesinin etkisine bağlı olarak ÇSD sistemlerde P_f ' in dikkate değer bir değişiklik göstereceği aşıkardır. Farklı yapısal konfigirasyonlarla, ÇSD sistemlerde P_f 'in, güvenliğin (redundancy) etkisi gözönünde bulundurularak araştırılması gerekmektedir (örneğin, çok varyasyonlu normal dağılım) ve sonuçlar TSD sistemlerinkiyle karşılaştırılmalıdır.
- e. Önerilen yöntem betonarme birleşimler için de uygulanabilir.

KAYNAKLAR

Akbas, B., Shen, J., and Hao, H. (2001), "Energy Approach in Performance-Based Seismic Design of Steel Moment Resisting Frames for Basic Safety Objective," The Structural Design of Tall Buildings 10, 193-317.

Akbas, B., Shen, J., (2001), "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı ve Enerji Kavramı", İMO Teknik Dergi, 2003 2877-2901, Yazı 192

Akbas, B., Nadar, M. and Shen, J., (2006) "A Metedology to Estimate Earthquake Induced Worst Failure Probability of Inelastik Systems"

ATC 40 (1996), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Volume 1, Applied Technology Council.

Bertero, V.V. (2005), "Performance-Based Earthquake Hazard Reduction - Its Application to Performance-Based Seismic Design of RC Buildings," Earthquake Engineering: Essentials and Application Seminar Series, Middle East Technical University, July 18-20, Turkey.

Bertero, R.D. and Bertero, V.V. (1999), "Redundancy in Earthquake Resistant Design," Journal of Structural Engineering 125(1), 81-88.

BISPEC, Version 1.55, University of California at Berkeley

Chai, Y.H. and Fajfar, P. (2000), "A Procedure for Estimating Input Energy Spectra For Seismic Design," Journal of Earthquake Engineering 4(4), 539-561.

Choi, B.J. and Shen, J. (2001), "Empirical Hysteretic Energy With Strength, Strength and Drift, And SCWB Designs Using Steel Moment-Resisting Frames," The Structural Design of Tall Buildings 10, 93-106.

Chou, C. and Uang, C. (2000), “Establishing Absorbed Energy spectra – an Attenuation Approach,” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 29, 1441-1455.

Cruz, A.M.F. and Lopez, O.A. (2000), “Plastic Energy During an Earthquake as a Fraction of Structural Properties and Ground Motion Characteristics,” *Engineering Structures* 22, 784-792

FEMA-273 (1997), BSSC Commentary to the NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulation of New Buildings and Other Structures, Federal Emergency Management Agency.

Gündüz, Altay, *Mühendislikte Olasılık, İstatistik, Risk ve Güvenilirlik*, 1996

Hamburger RO. (1997), “A Framework for Performance-Based Earthquake Resistant Design,” EERC-CUREs Symposium in Honor of V.V. Bertero, Berkeley, California. January 31 – February 1.

Leger, P. and Dussault, S. (1992), “Seismic Energy Dissipation in MDOF Structures,” *ASCE Journal of Structural Engineering* 118(5), 1251-1269.

Ott, R.L., *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis*, PWS-Kent Publishing, Belmont, California, 1993.

Prakash, V., Powell, G.H., and Campbell, S. (1993), “DRAIN-2DX: Base Program Description and User Guide, Version 1.10,” Rep. No. UCB/SEMM-93/17, University of California, Berkeley.

Sari, A. (2003), “Energy Consideration in Groun Motion Attenuation & Probabilistic Seismic Hazard Studies,” Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin.

Shen, J. and Akbas, B. (1999), "Seismic Energy Demand in Steel Moment Frames," *Journal of Earthquake Engineering* 3(4), 519-559.

Tso, W.K., Zhu, T.J., and Heidebracht, A.C. (1993), "Seismic Energy Demands on Reinforced Concrete Moment-Resisting Frames," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 22, 533-545.

Uang, C.M. and Bertero, V.V. (1990), "Evaluation of Seismic Energy in Structures," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 19, 77-90.

Uang, C.M. and Bertero, V.V. (1988), "Use of Energy As a Design Criterion in Earthquake-Resistant Design," *Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-88/18*, University of California at Berkeley.

Vision 2000 Committee (1995), *Structural Engineering Association of California (SEAOC)*.

Wadsworth, H.M., ed., *Handbook of Statistical Methods for Engineers and Scientists*, McGrawHill Inc, New York, 1997.

ÖZGEÇMİŞ

01.01.1975' te İstanbul'da doğdu. İlkokulu Kadıköy-Acıbadem' de bulunan Dr. Ahmet Sait Darga İlkokulunda tamamladıktan sonra orta ve lise öğrenimini Özel Doğuş Lisesi' nde yaptı. 1995 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girdi. İnşaat Mühendisliği bölümünü 2000 yılında bitirdikten sonra aynı yıl Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Bilimleri Anabilim Dalı' nda yüksek lisans öğretimine başladı. Halen İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul Ulaşım San. Tic. A.Ş.' de Metro Hat Bakım ve İnşaat Şefi görevini yürütmekte olup, evli ve bir çocuk babasıdır.