

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

139720

YER HAREKETİNE MARUZ
TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLERDE
ENERJİ-PERİYOT-SÜNEKLİK İLİŞKİLERİ

İnşaat Müh. Mustafa Kemal GÜNAY

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı

: Prof. İbrahim EKİZ (YTÜ)

İkinci Tez Danışmanı

: Yrd. Doç. Dr. Bülent AKBAŞ (GYTE)

Doc. Dr. Turgut ÖZTÜRK

Prof. Behiye Polat

30.09.2003

30.09.2003

30.09.2003

İSTANBUL, 2003

Dr. Turgut ÖZTÜRK
İnşaat Mühendisliği

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	15
1.1 Depreme Dayanıklı Tasarımda Karşılaşılan Problemler	18
1.2 Depremlerde Yerel Zemin Davranışları	22
1.2.1 Zeminlerin Tekrarlı Gerilmeler Altında Davranışı	24
1.2.2 Zemin Tabakalarının Davranışları	25
1.2.3 Kaynak Özellikleri	25
1.3 Depreme Dayanıklı Tasarımın Genel Felsefesi	26
2. DEPREME DAYANIKLI TASARIMDAKİ GELİŞMELER	31
2.1 Depreme Dayanıklı Tasarımda Araştırma ve Geliştirme	31
2.2 Enerji Kavramlarının Depreme Dayanıklı Tasarımda Kullanılması	34
2.3 Enerji Tabanlı Depreme Dayanıklı Tasarımda Araştırma ve Geliştirme	37
2.4 Tasarım Parametresi Olarak Enerji	38
3. DEPREM HAREKETİNİN ÖZELLİKLERİ	39
3.1 Temel Hareket Denklemi	39
3.2 Doğrusal Olmayan Sistemler için Hareket Denkleminin Normalleştirilmesi	40
3.3 Enerji Denklemlerinin Elde Edilmesi	41
3.4 Enerji Spektrumu	43
4. ANALİTİK ÇALIŞMA	44
4.1 TSD Bir Sistemin Enerji Mukabelesi	44
4.2 Analizlerde Kullanılan Yer Hareketleri	45
4.3 Doğrusal Olmayan Dinamik Zaman Geçmişi Analizi	45
4.4 Analitik Model ve Analiz Parametreleri	51
4.4.1 Rijitlik-Orantılı Sönüm Parametresi	52
4.4.2 Rijitlik	53
4.4.3 Periyot	53
4.4.4 Atalet Momenti	53

4.4.5	Akmaya Yol Açan Taban Kesme Kuvveti	53
4.4.6	Akma Yer değiştirmesi	54
4.4.7	Yer değiştirme Sünekliği	54
4.4.8	Akma Yüzeyleri	54
5.	SONUÇLAR ve �NER�LER	100
KAYNAKLAR		103
EKLER		106
Ek 1 $\eta=0.1$ için DRAIN-2DX Programında Kullanılan Analiz Parametreleri		107
Ek 2 $\eta=0.3$ için DRAIN-2DX Programında Kullanılan Analiz Parametreleri		108
Ek 3 $\eta=0.5$ için DRAIN-2DX Programında Kullanılan Analiz Parametreleri		109
Ek 4 $\zeta=\%5$ için DRAIN-2DX Programında Kullanılan (β) Parametresi		110
�ZGE�M��		111



SİMGE LİSTESİ

A	Büyütme faktörü
a	En büyük yer ivmesi
A_k	Analitik modelde kullanılan TSD sistemin kesit alanı
c	Viskoz sönüm katsayısı
C_y	Yapının akma dayanımı katsayısı
D	Dinamik katsayı
E	Elastisite modülü
E_D	Sönüm enerjisi
E_H	Histeretik enerji
E_I	Enerji girişi
E_K	Kinetik enerji
E_S	Elastik birim şekil değiştirme enerjisi
f_D	Sönüm kuvveti
f_S	Yay kuvveti
F_f	Çeliğin akma gerilmesi
g	Yerçekimi ivmesi
I	Yapı-zemin etkileşimini temsil eden bir sembol
I_A	Arias şiddeti
I_m	Analitik modelde kullanılan TSD sistemin atalet momenti
k	Başlangıç rijitliği
L	Analitik modelde kullanılan TSD sistemin yüksekliği
m	Kütle
M_L	Depremin büyüklüğü
M_{y-}	Negatif akma momenti
M_{y+}	Pozitif akma momenti
N/A	Bilinmiyor
P	Normal kuvvet
P_{eff}	Etkili yatay dinamik kuvvet
P_{yc}	Basınç akma kuvveti
P_{yt}	Çekme akma kuvveti
R_1	Depremin odak uzaklığı
$R(y)$	Akma dayanımı
T	Periyot
t	Zaman
t_D	Yer hareketinin kuvvetli hareket süresi
T_g	Yer hareketi hakim periyodu
t_0	Yer hareketinin süresi
$t_{0.05}$	Arias şiddeti değerinin %5'i
$t_{0.95}$	Arias şiddeti değerinin %95'i
u	Kütlenin yere göre relatif yer değiştirmesi
u_g	Yer hareketi yer değiştirmesi
u_{max}	Maksimum yer değiştirme
u_t	Kütlenin toplam yer değiştirmesi
u_y	Akma yer değiştirmesi
V_e	Eşdeğer hız
V_y	Akmaya yol açan taban kesme kuvveti
W	Yapının toplam ağırlığı
w	Açısal frekans
X_1	Anakaya hareketi

X_2	Farklı zemin tabakalarının dinamik özellikleri
X_3	Binanın temelindeki yer hareketi
X_4	Şekil değiştirme
β	Rijitlik-orantılı sönüm parametresi
η	Atalet kuvveti indisi
μ	Yer değiştirme sünekliği oranı
$\mu_{\max}$	Maksimum yer değiştirme sünekliği oranı
σ	Normal gerilme
ζ	Sönüm oranı



KISALTMA LİSTESİ

ÇSD	Çok Serbestlik Dereceli
DDT	Depreme Dayanıklı Tasarım
DDTS	Düzeltilmiş Doğrusal Tasarım Spektrumu
DOTMS	Doğrusal Olmayan Tasarım Mukabele Spektrumu
EBYİ	En Büyük Yer İvmesi
EEBİ	Etkili En Büyük İvme
PTDDT	Performans Tabanlı Depreme Dayanıklı Tasarım
SEAOC	Structural Engineers Association of California
TSD	Tek Serbestlik Dereceli
YH	Yer Hareketi
YHS	Yer Hareketi Spektrumu



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Sismik mukabelenin tahmininde karşılaşılan problemlerin gösterimi (Bertero ve Teran-Gilmore, 1994)	18
Şekil 3.1 Yer hareketine maruz TSD bir sistemin matematiksel modeli.....	39
Şekil 4.1 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, El Centro S00E.....	46
Şekil 4.2 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, Northridge New-360	46
Şekil 4.3 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, Olympia N04W	47
Şekil 4.4 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, Parkfield N65E.....	47
Şekil 4.5 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, Miyagi EW	47
Şekil 4.6 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, Miyagi NS	48
Şekil 4.7 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, İzmit NS	48
Şekil 4.8 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, Tüm Depremler	48
Şekil 4.9 İvme-zaman geçmişi, El Centro S00E	49
Şekil 4.10 İvme-zaman geçmişi, Northridge New-360	49
Şekil 4.11 İvme-zaman geçmişi, Olympia N04W	49
Şekil 4.12 İvme-zaman geçmişi, Parkfield N65E.....	50
Şekil 4.13 İvme-zaman geçmişi, Miyagi EW	50
Şekil 4.14 İvme-zaman geçmişi, Miyagi NS	50
Şekil 4.15 İvme-zaman geçmişi, İzmit NS	51
Şekil 4.16 TSD sistemin analitik modeli ve özellikleri	51
Şekil 4.17 TSD sistemin kuvvet-yer değiştirme ilişkisi	52
Şekil 4.18 Çelik-I kirişi tipi için DRAIN-2DX programının kabul ettiği akma yüzeyleri	54
Şekil 4.19 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.1$	57
Şekil 4.20 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.1$	57
Şekil 4.21 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.1$	57
Şekil 4.22 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.3$	58
Şekil 4.23 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.3$	58
Şekil 4.24 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.3$	58
Şekil 4.25 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.5$	59
Şekil 4.26 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.5$	59
Şekil 4.27 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.5$	59
Şekil 4.28 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.1$	60
Şekil 4.29 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.1$	60
Şekil 4.30 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.1$	60
Şekil 4.31 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.3$	61
Şekil 4.32 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.3$	61
Şekil 4.33 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.3$	61
Şekil 4.34 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.5$	62
Şekil 4.35 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.5$	62
Şekil 4.36 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.5$	62
Şekil 4.37 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.1$	63
Şekil 4.38 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.1$	63
Şekil 4.39 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.1$	63
Şekil 4.40 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.3$	64
Şekil 4.41 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.3$	64
Şekil 4.42 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.3$	64
Şekil 4.43 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.5$	65
Şekil 4.44 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.5$	65

Şekil 4.45 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.5$	65
Şekil 4.46 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.1$	66
Şekil 4.47 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.1$	66
Şekil 4.48 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.1$	66
Şekil 4.49 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.3$	67
Şekil 4.50 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.3$	67
Şekil 4.51 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.3$	67
Şekil 4.52 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.5$	68
Şekil 4.53 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.5$	68
Şekil 4.54 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.5$	68
Şekil 4.55 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.1$	69
Şekil 4.56 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.1$	69
Şekil 4.57 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.1$	69
Şekil 4.58 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.3$	70
Şekil 4.59 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.3$	70
Şekil 4.60 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.3$	70
Şekil 4.61 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.5$	71
Şekil 4.62 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.5$	71
Şekil 4.63 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.5$	71
Şekil 4.64 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.1$	72
Şekil 4.65 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.1$	72
Şekil 4.66 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.1$	72
Şekil 4.67 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.3$	73
Şekil 4.68 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.3$	73
Şekil 4.69 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.3$	73
Şekil 4.70 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.5$	74
Şekil 4.71 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.5$	74
Şekil 4.72 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.5$	74
Şekil 4.73 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.1$	75
Şekil 4.74 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.1$	75
Şekil 4.75 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.1$	75
Şekil 4.76 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.3$	76
Şekil 4.77 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.3$	76
Şekil 4.78 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.3$	76
Şekil 4.79 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.5$	77
Şekil 4.80 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.5$	77
Şekil 4.81 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.5$	77
Şekil 4.82 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=2$	78
Şekil 4.83 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=2$	78
Şekil 4.84 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=2$	78
Şekil 4.85 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=4$	79
Şekil 4.86 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=4$	79
Şekil 4.87 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=4$	79
Şekil 4.88 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=6$	80
Şekil 4.89 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=6$	80
Şekil 4.90 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=6$	80
Şekil 4.91 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=8$	81
Şekil 4.92 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=8$	81

Şekil 4.93 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=8$	81
Şekil 4.94 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=10$	82
Şekil 4.95 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=10$	82
Şekil 4.96 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=10$	82
Şekil 4.97 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=2$	83
Şekil 4.98 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=2$	83
Şekil 4.99 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=2$	83
Şekil 4.100 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=4$	84
Şekil 4.101 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=4$	84
Şekil 4.102 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=4$	84
Şekil 4.103 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=6$	85
Şekil 4.104 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=6$	85
Şekil 4.105 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=6$	85
Şekil 4.106 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=8$	86
Şekil 4.107 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=8$	86
Şekil 4.108 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=8$	86
Şekil 4.109 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=10$	87
Şekil 4.110 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=10$	87
Şekil 4.111 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=10$	87
Şekil 4.112 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=2$	88
Şekil 4.113 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=2$	88
Şekil 4.114 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=2$	88
Şekil 4.115 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=4$	89
Şekil 4.116 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=4$	89
Şekil 4.117 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=4$	89
Şekil 4.118 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=6$	90
Şekil 4.119 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=6$	90
Şekil 4.120 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=6$	90
Şekil 4.121 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=8$	91
Şekil 4.122 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=8$	91
Şekil 4.123 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=8$	91
Şekil 4.124 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=10$	92
Şekil 4.125 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=10$	92
Şekil 4.126 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=10$	92
Şekil 4.127 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.1$	93
Şekil 4.128 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.3$	93
Şekil 4.129 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.5$	93
Şekil 4.130 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.1$	94
Şekil 4.131 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.3$	94
Şekil 4.132 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.5$	94
Şekil 4.133 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.1$	95
Şekil 4.134 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.3$	95
Şekil 4.135 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.5$	95
Şekil 4.136 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.1$	96
Şekil 4.137 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.3$	96
Şekil 4.138 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.5$	96
Şekil 4.139 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.1$	97
Şekil 4.140 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.3$	97

Şekil 4.141 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.5$	97
Şekil 4.142 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.1$	98
Şekil 4.143 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.3$	98
Şekil 4.144 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.5$	98
Şekil 4.145 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.1$	99
Şekil 4.146 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.3$	99
Şekil 4.147 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.5$	99



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 Analizlerde kullanılan depremlerin karakteristik özellikleri..... 45



ÖNSÖZ

Bilindiği üzere, Türkiye bir deprem ülkesidir. Yapılar depreme dayanıklı üretilmelidir. Yapıların (özellikle binaların) şiddetli bir depremi tamamen hasarsız olarak atlmasını sağlayacak şekilde projelendirilmesi çoğu zaman ekonomik olmamaktadır. Yapılar şiddetli depremler altında plastik şekil değiştirme yapabilmeli (hasar görebilmeli), orta şiddetli ve hafif şiddetli deprem etkilerine de hasar görmeden karşı koyabilmelidir. Bu durum, “depreme dayanıklı tasarım” kavramını ifade etmektedir.

Ne yazık ki, yakın geçmişte yaşadığımız Erzincan, Dinar, İzmit, Düzce ve Bingöl depremleri ülkemizde birçok can ve mal kaybına yol açmıştır. Bu durum, depreme dayanıklı tasarım ve denetim kavramlarının geçmişte yeterince ciddiye alınamamış olduğunun çok acı ve açık bir ispatıdır. Bugün, gelişen teknolojiye paralel olarak ileri hesap yöntemleri ve deprem hasarlarını azaltacak veya kısmen yok edecek yeni araçlar geliştirilmektedir.

Yer hareketlerinin farklı özellikleri nedeniyle, zemin yapısına da bağlı olarak yapılarda oluşan hasarlar farklı olabilmektedir. Bu durum, depreme dayanıklı tasarım kavramı incelenirken zemin yapısının ve özelliklerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Deprem dalgalarının yapı temeline gelinceye kadar geçtiği zemin tabakalarının yapısı ve özelliklerine bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği bilinir. Aynı yer hareketi, zemin yapısı farklılığına bağlı olarak yapılarda farklı hasarlar meydana getirmektedir.

Son yıllarda, enerji kavramları kullanılarak enerji-tabanlı depreme dayanıklı tasarım üzerine yapılan çalışmalar oldukça yaygınlaşmıştır. Bu amaçla, Tek Serbestlik Dereceli bir sistem üzerinde farklı hedef süneklik değerleri ve dayanıklılık göstergeleri için enerji kavramları incelenmiştir. Yer hareketi nedeniyle oluşan toplam enerjinin ve bu enerjinin hasar veren miktarının bulunması amaçlanmıştır. Böylece, depreme dayanıklı tasarımda sıkça kullanılan ve ülkemizde de yeni yeni yerleşmeye başlayan sismik izolatörlerin ve enerji tüketme araçlarının kullanımı daha etkin olacaktır.

Hayatım boyunca maddi-manevi hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve bana her zaman destek olan aileme en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Ayrıca, bu çalışma sırasında desteğini esirgemeyen ve bana daima yardımcı olan hocalarım, Yrd. Doç. Dr. Bülent AKBAŞ’a ve Prof. İbrahim EKİZ’e teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, yer hareketine (YH) maruz doğrusal olmayan tek-serbestlik-dereceli (TSD) bir sistem için enerji-periyot-süneklik ilişkilerini belirlemektir. TSD sistem frekans içeriği, büyüklük, en büyük yer ivmesi, kuvvetli hareket süresi, zemin hakim periyodu ve farklı zemin yapıları gibi değişik karakteristiklere sahip yedi farklı yer hareketine maruz bırakılmıştır. TSD sistemin enerji taleplerini belirlemek için doğrusal olmayan zaman geçmiş analizi yapılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak, deprem probleminin yapısı ve depreme dayanıklı tasarımda (DDT) karşılaşılan problemler kısaca tartışılmış ve sonra da enerji tabanlı DDT felsefesi anlatılmıştır. Bir grup YH'ye maruz TSD bir sistem için enerji mukabele parametreleri ve yapısal mukabele arasında basit bir ilişki kurmak amacıyla mukabele analizleri yapılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada, üç farklı dayanıklılık göstergesi ve beş farklı hedef yer değiştirme süneklik değeri seçilmiştir. TSD sistemler, 0.1 s – 3.0 s aralığında 0.1 s artımlarla incelenmiştir. Sonuçlar tüm depremler için histeretik enerji, enerji girişi ve ölçeklenmiş en büyük yer ivmesi kullanılarak gösterilmiştir. Ayrıca, eşdeğer hız kavramı kullanılarak enerji spektrumu da elde edilmiştir. Analiz sonuçları DRAIN-2DX bilgisayar programı kullanılarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Enerji talebi, histeretik enerji, süneklik, yer hareketi, TSD sistemler.



ABSTRACT

This study is intended to determine the energy-period-ductility relationships for an inelastic single-degree-of-freedom (SDOF) system subjected to an earthquake ground motion (EQGM). The SDOF system is subjected to seven different EQGMs having different characteristics such as frequency content, magnitude, peak ground acceleration, strong motion duration, predominant ground motion period and different soil conditions. Non-linear time history analyses are carried out to determine the energy demands for SDOF systems. First, the nature of the earthquake problem and the problems encountered in earthquake resistant design (EQ-RD) are briefly discussed and then energy based EQ-RD philosophy is introduced. The response analyses are carried out for a SDOF system subjected to an ensemble of ground motions in an attempt to establish a simple relation between the energy response parameters and structural response. In this study, three different strength indices and five different target displacement ductility values are selected. The SDOF systems with different periods from 0.1 sec to 3.0 sec at 0.1 sec increments are investigated. The results are presented for all EQGMs for the following response measures; hysteretic energy, energy input and scaled peak ground acceleration. Furthermore, an energy spectrum is also obtained by using equivalence velocity concept. Analysis results are determined by using DRAIN-2DX computer program.

Keywords: Energy demand, hysteretic energy, ductility, ground motion, SDOF systems.

1. GİRİŞ

Depremler nadir olarak meydana gelen Yer Hareketleri (YH) olmalarına rağmen, dünyanın birçok bölgesinde yapının servis ömrü boyunca en az bir küçük deprem ile karşılaşma olasılığı çok yüksektir. Aynı zamanda, yapının servis ömrü boyunca şiddetli depremlerle de karşılaşma olasılığı vardır. Bertero (1994) bu durumu şu şekilde ifade etmiştir: “Depremler oldukça nadir görülen ve meydana geldiğinde sonuçları yıkım ve acı ile sonuçlanan doğal hasarların çok özel bir tipidir”. Orta şiddetli veya şiddetli YH’ler, doğal afetler karşısında ayakta kalması beklenen mühendislik yapılarının (özellikle binaların) yıkılmasına veya bu yapıların fonksiyonunu kaybederek can ve mal kayıplarının olmasına neden olabilmektedirler.

Son zamanlarda, bilim adamları ve araştırmacılar dünyanın çeşitli bölgelerinde meydana gelen ciddi depremler nedeniyle (Loma Prieta, 1989; Manjil-Rudbar, İran, 1990; Luson, Filipinler, 1990; Erzincan, Türkiye, 1992) deprem olgusunu yeniden değerlendirmeye başlamışlardır. Bu nedenle depremlerde meydana gelecek hasarların engellenmesi, can ve mal kaybının azaltılması için mevcut analiz yöntemlerinin yenilenmesi ve geliştirilmesi gerekli olmuştur. Bu analiz yöntemleri yeni yapılacak binalar ve onarım ve/veya güçlendirme işlemi yapılacak mevcut tehlikeli yapılar (özellikle binalar) için kullanılabilir olmalıdır. Deprem mühendisliği araştırmaları son yıllarda tüm dünyada hızlanmıştır.

YH’ler yapıların rasgele titreşimlere maruz kalmasına neden olmaktadır. Mevcut bilgiler ile YH’nin ne şiddeti ne de süresi önceden tahmin edilebilmektedir. YH’nin özellikleri yerel zemin durumları, yeraltı su seviyesi, vb. durumları içeren jeolojik parametreler ile tanımlanabilir. Ayrıca, YH’nin belirlenmesinde EBYİ, hız ve yer değiştirme de dikkate alınır. Yapısal elemanlar üzerindeki sismik etkiler sadece yapının yapıldığı zemin özelliklerine bağlı değil, aynı zamanda yapının ve yapısal elemanların özelliklerine (doğal titreşim periyodu, dayanım vb.) de bağlıdır.

YH sırasında yapıların sismik mukabele davranışı, zemin-temel-yapı etkileşimine ve yapısal olmayan sistem davranışına göre belirlenmektedir. Mukabele, sadece binanın nasıl tasarlandığına ve inşaa edildiğine göre ortaya çıkan bir kavram değildir, birçok etkene bağlı olarak belirlenmektedir. Bu etkenlere örnek olarak, binanın meydana gelmiş olan depremlerdeki davranışları ve çevresi ile etkileşimi sayılabilir.

Son otuz yıldır, deprem yönetmelikleri tasarım depremini zemin büyütme katsayısına, deprem bölgesine ve En Büyük Yer İvmesine (EBYİ) bağlı olarak tanımlıyordu. Fakat, yapılan çalışmalar bu parametreler ile hasar arasında doğrudan bir ilişki olmadığını ortaya koymuştur.

Bunun yerine, Etkili En Büyük İvmeye (EEBİ) dayanan Yer Hareketi Spektrumlarını (YHS) ve Düzeltilmiş Doğrusal Tasarım Spektrumlarını (DDTS) kullanan yöntemler tavsiye edilmiştir. Bu durum kavramsal bir ilerleme olmamasına rağmen, EEBİ ve YHS'nin elde edilmesinde bazı belirsizlikler bulunmaktadır. Yer değiştirme sünekliği, yapıların Depreme Dayanıklı Tasarımında (DDT) Doğrusal Olmayan Tasarım Mukabele Spektrumlarının (DOTMS) elde edilmesi için bir kriter olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Bertero ve Teran-Gilmore, 1994).

Sismik yönetmeliklerin birçoğu, maksimum yer değiştirmenin akma yer değiştirmesine oranı olan yer değiştirme sünekliği'ni dikkate almaktadır. Yer değiştirme sünekliği, yapıların doğrusal olmayan performanslarının değerlendirilmesi için yapısal mukabele parametresi olarak sıkça kullanılmaktadır. Fakat, yer değiştirme sünekliği bir yapıya giren enerjinin miktarının ve kuvvetli hareketlere maruz yapıların şekil değiştirme kapasitesinin belirlenmesinde tek başına yeterli olmayabilir. Çünkü, bir yapının gerçek şekil değiştirme kapasitesi kuvvetli YH'ler için histeretik davranışının neden olduğu birikimsel hasar nedeniyle azalır (Bertero ve Bertero, 1994).

Sismik yönetmeliklerin esas amacı, nadir olarak meydana gelen şiddetli yer sarsıntılarında insan hayatını tehlikeye sokabilecek yapısal ve yapısal olmayan hasarı önleyerek, insanların can güvenliğini garanti altına almaktır. Bu nedenle, can güvenliğinin sağlanması bütün sismik yönetmeliklerde dikkate alınmaktadır.

Bina türü yapılarda, %2-10 arasında sönüm oranı dikkate alınır. Sönüm oranı küçük olan bir yapı kuvvetli bir YH'ye maruz kaldığı zaman, doğrusal tasarımda kullanılacak yatay kuvvetin büyüklüğü yapı ağırlığının %50'si veya daha fazlası kadar olabilmektedir. Bu durum, sönüm oranı çok yüksek olan yapılar için de doğrudur (Berg ve Thomaides, 1960). Bunun sebebi, YH sırasında titreşimin şiddetinin yapı tarafından tüketilecek enerjiye bağlı olmasıdır. Doğrusal olarak tasarlanmış bir yapıda enerji tüketimi çok küçük olduğundan, maksimum gerilmeler çok yüksek bir değere ulaşır ve bu gerilmeler tasarım için daha büyük kuvvetler gerektirir. Çoğu zaman, bu yatay kuvvetleri dikkate alan bir yapı tasarlamak ekonomik olmamaktadır. Orta şiddetli veya şiddetli YH'ler için doğrusal olmayan şekil değiştirmelere izin verilmesine rağmen tasarım için doğrusal kuvvetler kullanılır.

Yapı tasarımında diğer bir seçenek ise, orta şiddetli veya şiddetli bir YH sırasında yapıdaki plastik şekil değiştirmelere veya hasara izin veren daha az kuvvetli bir yapı tasarlamaktır. Bu tasarım yöntemi ile yapısal ve yapısal olmayan elemanların doğrusal olmayan şekil

değiştirmeleri sırasında yapıdaki enerji tüketimi kullanılır. Bu yöntem “plastik analiz” veya “limit tasarım” olarak adlandırılır ve yapının ulaşabileceği en son kapasiteyi kullanır (Housner, 1956; Goel ve Berg, 1968).

Yukarıda açıklanmaya çalışılan DDT felsefelerine son yıllarda Performans Tabanlı Depreme Dayanıklı Tasarım (PTDDT) yoluyla ulaşmaya çalışılmaktadır. PTDDT sismik riskin, performans seviyelerinin seçiminin, zeminin uygunluğunun, kavramsal tasarımın, sayısal ön tasarımın, tasarım sırasındaki kabul edilebilirlik kontrollerinin, tasarımın gözden geçirilmesinin, inşaatın kalitesinin ve binanın ömrü boyunca bakımının tanımlanmasının ifade edilmesidir (SEAOC, Vision 2000).

PTDDT’de kabul edilebilirlik kontrolleri, tanımlanan seviyelerdeki YH’ye göre seçilen performans seviyeleri için yapısal mukabele değerlerini kısıtlamaktır. Yapısal mukabele parametreleri olarak; gerilmeler, şekil değiştirmeler, görelî kat ötelemeleri oranı, yapısal ivmeler, süneklik değerleri, hasar indisi ve enerji parametreleri kullanılabilir.

Enerji ve enerji parametreleri, orta şiddetli veya şiddetli depremlere maruz yapıların tasarımı ve performans seviyelerinin belirlenmesi için en umut verici parametrelerdir (Bertero ve Uang, 1992; Bertero ve Teran-Gilmore, 1994). Yapılara, YH’lerin etki etmesi sonucunda bir enerji girişi olacaktır. Eğer YH 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.

Yapıya giren enerjinin miktarı, Housner (1956) tarafından enerji tabanlı DDT üzerine yapılan ilk çalışmalarda bir tasarım kriteri olarak kullanılmıştır. Bu enerji, yapının kütleline ve doğal periyoduna bağlıdır (Akiyama, 1985, 1992). Depreme dayanıklı yapı tasarımında karşılaşılan problemler oldukça karmaşıktır. Daha karmaşık problemlerin (zemin-yapı etkileşimi, temel hareketleri, P-Δ etkileri, burulma etkileri vb.) meydana gelmesini engellemek için yapısal sistemin, yapısal ve yapısal olmayan elemanların seçiminin, ve yapısal malzemelerin iyi belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, TSD sistemlerde enerji-periyot-süneklik ilişkilerini belirlemektir. Bu amaçla, 0.1 s artımlarla $T=0-3$ s aralığındaki bir dizi TSD sistem farklı dayanıklılık göstergeleri ve süneklik değerleri için farklı özelliklerdeki orta şiddetli ve şiddetli YH’lere maruz bırakılmıştır. İstenilen süneklik değerlerine karşılık gelen YH’ler, EBYİ değeri maksimum 1g olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Ayrıca, eşdeğer hız kavramı kullanılarak

İlk problem, binanın temelindeki YH'nin (X_3) güvenli olarak tahmin edilmesidir. Eğer fay tipi biliniyorsa, büyüklüğü M_L ve merkeze uzaklığı R_1 olan bir deprem için ana kaya hareketini belirlemek analitik olarak mümkündür. [$X_1=f(R_1, M_L)$] Fakat X_3 'ün tahmininde, bina çevresindeki ve altındaki zemin tabakalarının etkisinin de hesaba katılması gereklidir. Bu etkiler iki grupta sınıflandırılabilir. Bunların ilki, Şekil 1.1'de gösterildiği gibi X_1 'in bir büyütme faktörü (A) ile serbest yer yüzeyine doğru geçişi sırasında farklı zemin tabakalarının dinamik özellikleri ile ilgilidir. [$X_2=A.X_1$] Diğeri ise, sembolik olarak I ile gösterilen yapı ve zemin arasındaki etkileşime bağlıdır. A ve I 'nin gerçekçi değerleri arasında oldukça büyük belirsizlikler vardır ve mevcut analitik teknikler kullanılarak bu iki faktörün bulunmasında oldukça büyük hatalar oluşabilmektedir. X_1 mühendislik yaklaşımı sınırları içinde kalan bir doğrulukla hesaplanırsa da, X_1 'in, X_2 ve X_3 parametrelerine ulaşan zemin etkilerinin yapısı sebebi ile sonuçlar tahmin edilenden oldukça farklı olabilmektedir. Zemin davranışı, sismik dalgaların şiddetine karşı çok hassas olabilmekte ve şekil değiştirme hızına da etki edebilmektedir. Bu nedenle, analist ve tasarımcı sadece tek bir deterministik analizden elde ettiği sonuçlara güvenmemelidir. A ve I parametrelerinin farklı değerlerindeki sınırlar mutlaka göz önüne alınmalıdır.

İkinci problem, temeldeki sarsıntılardan (X_3) şekil değiştirmenin (X_4) tahmin edilmesidir. X_3 'ün dinamik bir katsayı (D) ile çarpılarak şekil değiştirmenin bulunabileceği Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Bu basit bir ifade olmasına rağmen, X_3 ve D 'nin gerçekçi hesaplamaları belirsizlikler içerir. Bu nedenle, X_4 'ün kesin bir nümerik değerlendirmesinin yapılmasında ciddi zorluklar vardır.

Bir binanın mekanik özelliklerinin belirlenmesi mümkün olsa bile, kritik X_3 değerinin 6 bileşenin hesaplanması için birçok belirsizlik vardır. Bina mukabelesini tahmin etmek için yapılan hesaplar, X_3 'ün dinamik karakteristiklerinin aralık değerlerini veya en azından sınır değerlerini dikkate almalıdır. Bu belirsizlikler nedeniyle, ideal bir çözüm konservatif (tutucu) olabilir. Bu çözümlerden bir tanesi, verilen bina için kritik X_3 değerinin tanımlanmasıdır. Bina maksimum mukabelesini veren kritik X_3 değerini elde etmek kolay olsa da, X_3 'ün değerini tam olarak hesaplamak oldukça zahmetli ve zordur. X_3 değeri doğrusal mukabele için uygun olsa da, doğrusal olmayan mukabele içeren durumlar için karmaşıktır.

Bir yapının herhangi bir noktasındaki X_4 değerinin tam olarak belirlenmesi için, X_4 'ün 3 öteleme ve 3 dönme bileşenin belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, belirli bir bina için X_4 'ün mukabelesini ifade etmek için gerekli olan zemin hareketinin ifadesinde, zemine anlık etki veren $X_3(t)$ parametresinin dinamik karakteristiği ve etkisinin saptanması gerekmektedir.

Genellikle, deprem sırasında bir yapı üzerindeki ana hareketler şunlardır:

- 1) Yapısal malzemelerdeki, özellikle de betondaki sünme nedeni ile oluşan hacimsel değişimlerin yardımcı etkileri ile düşey kuvvetler, $G(t)$
- 2) Çevresel faktörlerdeki değişiklikler (sıcaklık değişimlerinin neden olduğu gerilmeler), $E(t)$
- 3) Temel sarsıntısının ideal olarak 6 bileşeni veya en azından 3 öteleme bileşenleri, $X_3(t)$

Eşitlik (1.1)'de gösterildiği üzere, yapının doğrusal olmayan bölgeye girmesi ile sürekli olarak değişen tüm sistemin dinamik karakteristiği kütle ($M(t)$), sönüm oranı ($\zeta(t)$) ve dayanım fonksiyonu ($R-X_4$)'nun anlık değerleri ile ifade edilebilir. Ayrıca, sistemin dinamik karakteristiği (1.2)'de gösterildiği gibi $M(t)$, periyot ($T(t)$), $\zeta(t)$, akma dayanımı ($R_y(t)$) ve $X_4(t)$ 'nin bir fonksiyonu olan şekil değiştirme sünekliliği ($\mu(t)$) ile enerji yutma kapasitesi ve enerji tüketme kapasitesinin anlık değeri için ifade edilebilir.

$$X_4(t) = F\{[G(t), \Delta E(t), X_3(t)], [M(t), \zeta(t), (R - X_4)(t)]\} \quad (1.1)$$

$$X_4(t) = F\{[G(t), \Delta E(t), X_3(t)], [M(t), T(t), \zeta(t), R_y(t), \mu(t)]\} \quad (1.2)$$

Eşitlik (1.1) ve (1.2)'de verilen parametrelerin analizi, YH'ye karşı mukabelelerin tahminindeki problemlerin büyüklüğünü gösterir. (1.1) ve (1.2) eşitliklerinin sağ tarafındaki ilk terimler hareketlerin dinamik karakteristiklerini, ikinci terimler ise, tüm zemin-yapı sisteminin dinamik karakteristiğini gösterir. İlk problem, X_4 'ün belirlenmesidir. Diğer problem ise, tüm parametrelerin zamanın bir fonksiyonu olmasına rağmen yer çekimi kuvvetlerinin ve çevresel faktörlerin YH süresince sabit kalmasıdır. Dikkat edilmesi gereken husus, $\Delta E(t)$ 'nin değerinin kritik YH (X_3) sırasında meydana gelecek çevresel değişimlerce ortaya çıkan gerilmelerden daha fazlasını ifade etmesidir. Aşağıdaki etkiler gerilme-şekil değiştirme ilişkisinde dikkate alınmalıdır.

- 1) Önceki termal değişimler ve/veya büzülme, yaşlanma ve korozyon etkileri.
- 2) Önceki depremlerin, şiddetli rüzgarların ve yangınların sebep olduğu dayanım ve rijitlik azalmaları.
- 3) Onarım veya güçlendirme sebebi ile ortaya çıkan rijitlik veya dayanımdaki değişimler.

Yukarıdaki etkilerden herhangi birinin değişmesi ile yapısal mukabelede önemli değişiklikler olacaktır. Ayrıca, çevresel faktörlerdeki değişimler de $R-X_4(t)$ ilişkisini etkilemektedir.

Bir diğer zorluk ise, $X_4(t)$ 'nin belirlenmesinde genellikle en büyük YH'lerin ve doğrusal olmayan davranışın hesaplara dahil edilmesidir. Bu sebeple, süperpozisyon ilkesini uygulamak mümkün değildir. İşte bu sebepler yüzünden tasarımcılar pratikte bir yapının

sismik mukabelesinin tahminini basitleştirmeyi tercih etmektedirler.

Depreme dayanıklı yapı tasarımındaki en temel problem, YH'nin yapılar üzerindeki etkisinin anlaşılmasıdır. YH'lerin hasara yol açma kapasitesinin ölçümü için literatürde birkaç parametre önerilmiştir (Arias, 1970; Akiyama, 1985; Rodriguez, 1994; Nurtuğ ve Sucuoğlu, 1995). Bu parametrelerin birçoğu farklı YH'lerin şiddetini karşılaştırmak için geliştirilmiştir (Bertero, 1986; Rodriguez, 1994).

Bu parametreler içinde geliştirilmiş Mercalli ölçeği ve EBYİ, bir depremin şiddetinin ölçülmesinde oldukça kaba ve güvensiz sonuçlar vermektedir.

Arias (1970), sismik hasarın ölçülmesi için doğrusal bir Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sistem üzerinde YH tarafından yapılan işe dayanan ve aşağıdaki şekilde ifade edilebilen bir yöntem önermiştir.

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_0} \ddot{u}_g dt \quad (1.3)$$

burada $\ddot{u}_g$: yer ivmesi, t_0 : yer hareketinin süresi, g : yerçekimi ivmesi'dir.

Zahrah ve Hall (1984), eşdeğer akma çevrimleri sayısını kullanarak sismik hasarın bir ölçümü olarak histeretik enerjinin boyutsuz bir formunu tanımlamışlardır. Eşdeğer akma çevrimleri sayısı; birim kütle için deprem sırasında TSD bir sistem tarafından tüketilen enerjinin, deprem hareketi ile aynı maksimum yer değiştirmeyi içeren monotonik kuvvet-yer değiştirme eğrisinin altındaki alana bölünmesi olarak ifade edilebilir.

McCabe ve Hall (1989), eşdeğer şekil değiştirme histeretik çevrimleri ve düşük devirli yorulma teorisine dayanan iki hasar ölçümü önermişler ve doğrusal olmayan şekil değiştirme mukabelesinin tekrarlı çevrimini dahil ettikleri için bu parametreleri oldukça güvenli bulmuşlardır.

Daha yakınlarda Rodriguez (1994), sismik hasar kapasitesinin ölçümü için bir parametre tanımlamıştır. Rodriguez (1994) bir yapıdaki yapısal toplam görelî kat ötelemelerini ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerdeki enerji tüketimini kullanmış ve YH'lerdeki bina hasarı ile uygun sonuçlar bulmuştur. Rodriguez (1994) sismik hasarın azaltılması için yer değiştirme kontrolünün önemine dikkat çekmiştir.

1.2 Depremlerde Yerel Zemin Davranışları

Deprem dalgaları, zemin tabakaları içinden geçerken depremin özelliklerinin değişmesi bir yana, bu dalgalar zemin tabakalarının özelliklerini de etkilemekte, bir yumuşama ve dayanım (mukavemet) yitimine yol açabilmektedir. Bu nedenle, bir bölge için deprem tasarım özellikleri tanımlanırken en önemli adımlardan biri, o bölgedeki zemini oluşturan tabakaların tekrarlı gerilmeler altındaki davranışlarının belirlenmesidir. Aynı biçimde, bölgede oluşabilecek bir depremin kaynak özelliklerini de önceden tahmin edebilmek için, kapsamlı bir çalışma gerekmektedir. Geçmişte olmuş depremler, her depremin bölgesel tektonik yapıya ve faylanmaya bağlı olarak farklı tekil özellikleri olabileceğini göstermiştir (Ansal, 1999).

Düşey ölçüm ağlarında alınmış kayıtlar, zemin tabakalaşmasının ve zemin tabaka özelliklerinin zemin yüzeyinde oluşan deprem hareketinin özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiğini göstermiştir. Ayrıca, yakın mesafelerde alınmış çok sayıda deprem ivme kaydı, bir noktadan diğerine deprem özelliklerinin, depremin kaynak özelliklerine ve yerel geoteknik özelliklere bağlı olarak önemli derecelerde farklı olabileceğini de göstermiştir. Depreme dayanıklı yapı üretiminde, araştırmalara dayalı daha güvenli tasarım ilkelerinin belirlenmesi ve bu bulgulara bağlı olarak yerleşim politikaları ve imar planlarının oluşturulması deprem hasarlarını büyük ölçüde azaltacaktır. Depreme dayanıklı yapılaşma için izlenen yaklaşımda, yakın zamana değin, bölgenin sismik özelliklerinin ve kabaca sınıflandırılmış zemin türüyle yapıya ait bazı özelliklerin bilinmesinin yeterli olduğu düşünülüyordu. Fakat, son yirmi yıl içinde karşılaşılmış ve yorumlanabilmiş hasar türleri ve dağılımları, daha ayrıntılı çalışmalar yapılması gereğini ortaya çıkarmıştır.

Depremlerde oluşan hasarlar bir noktadan diğerine büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Oluşan hasar bazı bölgelerde çok fazla olurken, bazı bölgelerde çok daha azdır. Bu durum, zemin tabakalarının davranışları açısından önemli farklılıklar olabileceğini göstermektedir. Bu gözlemler ve son depremlerde elde edilen aletsel verilerle de açıkça ortaya çıkan bu yerel farklılıkların, yapı tasarım ve üretim sürecinde göz önüne alınması gerekmektedir. Bu nedenle, sadece sismik verilere ve tektonik yapıya bağlı olarak oluşturulan sismik makro bölgelendirmenin ötesinde (Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası) çok daha ayrıntılı çalışmalara gereksinim vardır (Ansal, 1999). Bu bağlamda yerel geoteknik özelliklere ve oluşabilecek deprem kaynak özelliklerine bağlı bir sismik mikro bölgelendirme ve noktasal olarak mühendislik uygulamalarına yönelik çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışmalarda, inceleme konusu olan bölgede olması beklenen depremin kaynak özellikleri belirlenmeli, yerel zemin koşullarına bağlı olarak farklı alanlarda uyulması gerekli tasarım kuralları ve buna bağlı

olarak yapılaşma yönlendirilmelidir. Depremlerde yapısal hasara etki eden etkenler üç grup altında; deprem, yerel zemin ve yapı özellikleri, olarak toplanabilir. Zemin tabakalarının tür, kalınlık, yeraltı su seviyesi gibi özelliklerinin kısa mesafeler içinde çok değişebilmesi, farklı bölgelerde yapılmış aynı tip yapılarda farklı derecelerde hasar oluşmasına yol açacaktır. Dolayısıyla, yapısal hasarın azaltılabilmesi için deprem sırasında farklı davranış gösterecek bölgelerin belirlenmesi gerekmektedir.

Zemin, içinden geçen deprem dalgalarının özelliklerini etkilediği kadar, deprem dalgaları da, örneğin sıvılaşma ve şev kaymalarında gözlemlendiği gibi, zemin tabakalarının dayanım (mukavemet) ve şekil değiştirme özelliklerini etkiler. Böyle durumlarda, bu tabakalar üzerinde yer alan yapılar, sadece zemin özelliklerinin değişmesi sonucu bile büyük hasar görebilirler. Yerel zemin koşullarının yapılarda hasar oluşturacak etkilerini; zemin koşullarının deprem özelliklerini büyütmesi, zemin tabakalarında göçmeler ve oturmalar, zemin tabakalarının sıvılaşması (akışkanlaşması), yamaçlarda stabilitenin bozulması olarak sınıflandırabiliriz.

Depremler sırasında belirli bir bölgedeki YH; buna neden olan faylanmanın türü, özellikleri ve oluşan dalgaların içinde yayıldığı ortamın özelliklerinden etkilenir. Bölgesel jeolojik ve topoğrafik koşullar deprem dalgalarının özelliklerini önemli ölçüde değiştirerek, aynı sismik hareketlerden etkilenen birbirine yakın bölgelerde, aynı tip yapılarda farklı derecelerde hasara yol açabilir. Depremlere yol açabilecek fayların olası konumları ve özellikleri, bunlara bağlı olarak deprem hareketinin özellikleri ancak ayrıntılı jeolojik ve jeofizik incelemelerin sonucunda belirlenebilir. Bu durum, depreme dayanıklı yapı tasarım ve üretim sürecinin ilgili mühendislik dallarını içine alan bir ekip çalışması olduğunu çok açık olarak göstermektedir. Depremlere karşı hazır olmak, korunmak ve zararları en aza indirmek için temel araştırmalar şu sorulara yanıt verebilecek yönde gelişmelidir.

- Depremler nerede olabilir?
- Hangi büyüklüklerde ve hangi zaman aralıklarında oluşabilir?
- Deprem kaynağına yakın alanlarda ne tür kalıcı yer değiştirmeler görülebilir?
- Yapının bulunduğu noktada oluşacak bu yer hareketlerinin özellikleri ne olabilir (genlik, frekans ve süre özellikleri)?
- Bu özellikler deprem kaynağından uzaklaştıkça nasıl değişir?
- Bu özellikler incelenen bölgelerin jeomorfolojik, jeolojik, jeofiziksel ve geoteknik özellikleriyle nasıl bir ilişki gösterir?

Bu sorulara gerçekçi bir biçimde yanıt verebilmek için yeterli sayıda gözlemsel ve aletsel veriler bulunmalıdır. Aletsel veriler olarak depremlerde alınmış kuvvetli YH kayıtları başka bir deyişle deprem ivme kayıtları ve bu kayıtların alındığı noktalarda geoteknik ve jeolojik özelliklerin bilinmesi gereklidir. 1932 yılından bu yana kaydedilmeye başlanan kuvvetli YH kayıtlarının ortaya koyduğu bir sonuç, depremler nedeniyle oluşan YH'lerin beklenenden daha karmaşık olduğudur. Geçmiş çalışmalar aynı büyüklükteki depremlerin, aynı uzaklıkta çok farklı yer hareketi ivmesi oluşturabileceğini göstermiştir (Ansal, 1999). Bu olgu, depremin algılandığı alandaki depremin frekansı ve süresi için de geçerlidir. Bunun nedeni, depremden dolayı bir noktada algılanan YH'lerin bir çok unsura bağımlı olmasıdır. Bunlar deprem kaynağının kırılma özellikleri, sismik dalgaların geçip geldikleri ortamın jeolojisi, yapının altındaki jeolojik yapı ve zemin yapısı olarak sıralanabilir.

Depremler sırasında yerel zemin tabakalarının dinamik davranış özelliklerinin, yapısal hasar üzerindeki etkisi de önemlidir. Yapıların deprem kuvvetlerine karşı tasarımında, üzerinde bulundukları zemin tabakalarının hakim periyot, büyütme düzeyi, sıvılaşma riski gibi dinamik özelliklerinin dikkate alınması gereklidir. Bunun yanında, yeni yerleşime açılacak olan alanlarda yapılacak mikro bölgelendirme çalışmaları ile bölgelerin deprem sırasında gösterecekleri olası davranış özellikleri belirlenebilir. Ayrıca mevcut yerleşim alanlarında yapılacak çalışmalarla da, olası bir depremde hasarın ve can kaybının yoğunlaşacağı alanlar belirlenerek gerekli önlemlerin alınması sağlanabilir. Son yıllarda olan depremlerde meydana gelen hasarlar ve bu konuda yapılmakta olan araştırmalardan elde edilen sonuçlar, deprem özellikleriyle yerel zemin koşulları arasındaki karşılıklı etkileşimin önemli olduğunu göstermiştir.

1.2.1 Zeminlerin Tekrarlı Gerilmeler Altında Davranışı

Zemin tabakaları depremin özelliklerini, deprem dalgaları da zemin tabakalarının gerilme-şekil değiştirme ve kayma dayanımı özelliklerini değiştirmektedir. Depremler, zemin tabakaları üzerinde düzensiz tekrarlı kayma gerilmelerine yol açar. Zemin elemanlarının tekrarlı gerilmeler altında davranışlarını incelerken iki konu önem kazanır. Bunlardan ilki, tekrarlı kayma gerilmeleri altında kayma dayanımı, diğeri ise gerilme-şekil değiştirme özellikleridir. Diğer önemli bir inceleme konusu ise, deprem sonrası kayma dayanımı ve gerilme-şekil değiştirme özelliklerinde meydana gelen değişimlerdir.

Zeminlerin tekrarlı gerilmeler altında davranışlarını etkileyen önemli etkenlere örnek olarak, deprem süresi ve meydana gelen deprem titreşimlerinin frekans içeriği gösterilebilir.

Zeminlerin tekrarlı gerilmeler altında gerilme-şekil değiştirme özellikleri tanımlanırken, dinamik kayma modülü ve sönüm oranının değişimleri incelenmektedir. Tekrarlı gerilmeler altında kaba taneli zeminlerde karşılaşılan önemli bir olay da, sıvılaşma olarak adlandırılan, akışkan hale geçme, yani kayma dayanımının kısa bir süre için sıfır olması olayıdır. Tekrarlı gerilmeler sonucunda taneler arasında bulunan suyun (boşluk suyunun) basıncının artması, tanelerin birbirinden uzaklaşmasına ve zemin elemanının kısa bir süre için viskoz bir sıvı gibi davranmasına yol açar. Bunun sonucunda binada dönmeler ve oturmalar oluşabilir.

1.2.2 Zemin Tabakalarının Davranışları

Geoteknik yerel zemin koşullarının etkisini incelerken, yukarıda özetlenen zemin davranışlarının yanı sıra, arazideki zemin tabakalaşması, ana kaya derinliği, jeolojik yapı ve yeraltı su seviyesi de önemlidir. Zemin tabakalarının kalınlığı, kıvam ve esnekliği, plastisitesi, zemin büyütmesi olarak tanımlanan, zemin yüzeyindeki deprem özelliklerinin büyümesine yol açabilen etkenlerdir. Zemin tabakalarının depremler sırasında gösterecekleri bu etkilerin belirlenmesinde, bu etkenlerin ayrıntılı bir biçimde incelenmesi gereklidir. Diğer yandan, daha basit ve daha kolay bazı yöntemler de geliştirilmiştir. Bunlar arasında, zemin tabakalarının üst 30 m içinde kalan bölümünde ölçülen kayma dalgası hızlarının ağırlıklı ortalaması olarak tanımlanan eşdeğer kayma dalgası hızlarının kullanılması da vardır (Ansal, 1999).

Bir başka yaklaşım ise, çok hassas sismograflarla alınan mikrotremor kayıtlarından yararlanmaktır. Arazide zemin tabakalarının özelliklerinin belirlenmesinde, kayma dalgası hızlarının ölçülmesi için farklı yöntemler uygulanır. Bu yöntemler uygulanarak, zemin türleri ve mühendislik özellikleri yeterli sayıda sondaj ve laboratuvar deneyleri ile belirlenerek, zemin yüzeyinde oluşacak deprem özellikleri tahmin edilebilir. Böyle bir inceleme sonucunda zemin tabakaları üzerinde yer alan veya alacak olan mühendislik yapılarına gelecek deprem kuvvetlerinin daha doğru ve gerçekçi bir biçimde tahmin edilmesi mümkündür.

1.2.3 Kaynak Özellikleri

Kaynak özellikleri; tektonik yapı, fay doğrultusu, fayın yeri ve tipi, kırılma hızı, fay yüzeyi pürüzlülüğü, kırılma biçimi, gerilme düşüşü ve yönlenme etkileri olarak düşünülebilir. Aynı depremde farklı istasyonlarda alınan ivme kayıtlarında en büyük değerlerin doğrultuya göre de farklılaşabildiği gözlenmiştir. Öte yandan, aynı istasyonda benzer büyüklükteki farklı depremlerde alınmış kayıtlardan bulunmuş en büyük ivme değerleri karşılaştırıldığında da farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Bu farklılıklar, yerel zemin koşulları kadar deprem

özelliklerinin ve deprem özellikleri ile yerel zemin özelliklerinin karşılıklı etkileşiminin önemini göstermektedir.

Yukarıda da bahsedildiği gibi, depremler sırasında oluşan yapısal hasarlarda ve hasar dağılımlarında, yapısal özelliklerin yanı sıra deprem kaynak özelliklerinin ve yerel geoteknik koşulların önemli derecede etkili olduğu görülmektedir. Yalnızca deprem özelliklerinin incelenmesi yapısal hasarda gözlenen yerel farklılıkları açıklamakta yeterli olmadığından, tabaka kalınlıkları ve zemin tabakalarının dinamik özelliklerine bağlı olarak farklılık gösteren yerel zemin özellikleri, hasar dağılımında gözlenen farklılıkların nedenlerinden biri olarak ortaya çıkmaktadır (Ansal, 1999). Dolayısıyla, inşaat mühendisliği uygulamalarında, yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımında yerel zemin koşullarının gerçekçi bir biçimde belirlenmesinin yanı sıra, meydana gelebilecek bir depremin özellikleri konusunda da kapsamlı bir çalışma yapılması gereği ortaya çıkmaktadır.

1.3 Depreme Dayanıklı Tasarımın Genel Felsefesi

Deprem güvenliği olan yapıların tasarımı gerçekte bir belirsizlikler dizisidir. Belirsizliklerin iki önemli kaynağı vardır. Birinci derecede önemli belirsizlik kaynağı, depremin neden olduğu YH'nin kendisidir. YH'nin yapı üzerindeki etkilerinin ve tasarım YH'lerinin belirlenmesi önemlidir. YH'ler her deprem için farklılıklar göstermektedir. İkinci derecede önemli belirsizlik ise, mevcut yapıların deprem etkileri altında gösterdiği gerçek dayanım ve yapının deprem etkilerine karşı tasarımıdır. Analitik olarak hesaplanan yapı dayanımı ile gerçek yapı dayanımı arasında önemli farkların bulunmasına yol açan pek çok belirsizlik vardır.

DDT'nin genel felsefesi, Amerika'da ilk defa 1967 yılında SEAOC tarafından yayınlanan ve "Blue Book" olarak adlandırılan kitabın yorumlanması ile başlamıştır. Bu DDT felsefesi, aşağıdaki amaçları sağlayacak şekilde yeterli bir sismik tasarım yapılmasını hedeflemektedir.

- 1) Yapının servis ömrü boyunca sık sık tekrarlanan küçük şiddetli yer sarsıntılarında, yapısal olmayan hasarın önlenmesi.
- 2) Ara sıra meydana gelen orta şiddetli yer sarsıntılarında, yapısal elemanlardaki hasarı önlemek ve yapısal olmayan hasarı azaltmak.
- 3) Nadir olarak meydana gelen şiddetli yer sarsıntılarında, yıkılmayı veya ciddi hasarı önlemek.

DDT yukarıda da belirtildiği üzere, yapıların düşük şiddetli depremlere karşı hiç hasarsız (yapısal ve yapısal olmayan), orta şiddetli depremlere karşı onarılabılır seviyede yapısal veya

yapısal olmayan hasarlarla ve şiddetli depremlere karşı hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanlarla tamamen veya kısmen yıkılmadan direnmesi için tasarlanması gerektiğini ifade etmektedir. Yukarıdaki açıklanan DDT felsefesine rağmen, mevcut yönetmelikler sadece tek seviyeli tasarım felsefesini (can güvenliği ve yıkılmaya karşı güvenlik) kullanmaktadır (Bertero ve Teran-Gilmore, 1994; Hamburger, 1997).

Etkin bir DDT gereken rijitliği, dayanımı ve enerji tüketme kapasitesini sağlayarak, yapıların yukarıda açıklanan amaçlarını yerine getirebilmelidir. Bu tasarım felsefesi, bazı plastik şekil değiştirmelerin olmasına rağmen yapının yıkılmasını önleyebilecek derecede rijitliği sağlayan en uygun tasarım felsefesidir.

Sismik bina yönetmeliklerinin birçoğu, yapıların bölgenin depremselliği ve yapının özellikleri ile ilgili olan statik yatay kuvvetlere karşı koyacak şekilde tasarlanmasını ister. Yapının doğal titreşim periyodunun belirlenmesine dayanan formüller, binanın yüksekliği boyunca etkiyen yatay yük dağılımına ve taban kesme kuvvetine göre belirlenir. Bu kuvvetler için binanın statik analizi, farklı katlar için kesme kuvvetleri ve devrilme momentlerini içeren tasarım kuvvetlerini belirler. Geleneksel olarak, yapılar kuvvetli YH'lerin meydana getireceği kuvvetlerden daha küçük yatay kuvvetler dikkate alınarak elastik olarak tasarlanmaktadır. Ekonomik sebeplerden dolayı, orta şiddetli ve şiddetli bir YH sırasında plastik şekil değiştirmelerin olmasına izin verilen daha az kuvvetli bir yapı tasarlanır. Bu yolla, yapısal ve yapısal olmayan elemanların doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri sırasında yapılarıdaki enerji tüketimi kullanılır.

Mevcut sismik yönetmeliklerde yapıların DDT'si, taban kesmesinin elde edildiği elastik sismik katsayılarla dayanır. Bu yöntem, eşdeğer statik yöntem olarak adlandırılır. Kütle ve rijitlik dağılımının üniform olduğu düzenli yapılar için doğrudur. Sismik yönetmelikler, mukabele spektrumu analizi ve zaman geçmişi analizinin her ikisini de içeren dinamik analiz yöntemlerine olanak tanır. Mukabele spektrumu analizinde, mukabele spektrumu elasto-plastik bir sistem için benzer bir elastik sistemden elde edilebilir (Veletsos ve Newmark, 1960). Zaman geçmişi analizinde ise, YH'ye karşı yapısal mukabele YH'nin bütün süresi için elde edilebilir.

İdeal bir sismik yönetmelik aşağıdaki temel adımları içermelidir (Bertero, 1994).

- Yapı yerinin seçilmesi.
- YH'lerin seçilmesi.
- Yapısal konfigürasyon (yapının şekli ve boyutu, yapısal elemanların ve sistemin boyutu).

- Yapı seçilen YH'lere maruz kaldığında ön tasarım yöntemlerinin sağlanması.
- Son tasarım, detaylandırma.

Yapıların DDT'sinde yukarıdaki adımları kapsayan birçok belirsizlikler ve zorluklar vardır. Bu belirsizlikler üç grupta sınıflandırılabilir (Newmark ve Hall, 1973; Uang ve Bertero, 1988).

- 1) Tasarım depreminin veya enerji girişinin belirlenmesi.
- 2) Yapı üzerindeki taleplerin (rijitlik, dayanım ve enerji tüketimi) belirlenmesi.
- 3) Yapının kapasitesinin belirlenmesi.

Bu zorluklar, yapıların DDT'sini karmaşık bir hale getirmektedir. Kapasiteler ve talepler; rijitliğin, dayanımın, stabilitenin, enerji yutma ve tüketme kapasitesinin mekanik özellikleri ile ilgilidir.

Kapasitelerin (rijitlik, dayanım, stabilite, enerji yutma ve enerji tüketme kapasitesi) ve taleplerin belirlenmesi, tüm zemin-yapı sistemini dikkate alan matematik modellerin kullanılması ile nümerik analizlerden elde edilebilir. Dinamik bir problemde, talep ve kapasite birbirine bağlıdır. Taleplerin belirlenmesi ve kapasitelerin tahmini çok basit yöntemler değildir. Dünyanın çeşitli bölgelerinde süre, frekans içeriği ve EBYİ bakımından farklı özellikler içeren YH'ler kaydedilmektedir.

Yapılar sismik yönetmeliklere göre tasarlandıkları kuvvetlerden daha büyük sismik kuvvetlere maruz kaldığında, yeterli doğrusal olmayan şekil değiştirme kapasitesiyle tasarlanmadıkça bu kuvvetler yapının yıkılmasından sorumlu olacaktır. Araştırmacılar, yapıların YH'ye karşı mukabelelerini elde edilebilmek ve tasarım kesme kuvvetlerini yapıların mukabeleleri üzerinde aynı parametreyle tanımlayabilmek için çok çalışmışlardır. Geçmişte birkaç parametre önerilmiş fakat bu parametreler aşağıdaki sorular üzerine olan görüş eksikliği nedeniyle başarısız olmuştur (Akiyama, 1985).

- DDT için gerçek YH'ler nelerdir?
- Depremler karşısında binaların gerçek dayanımı nedir?

Yukarıdaki soruların cevabı açık olarak yanıtlandığında, yapıların depreme karşı davranışları daha iyi anlaşılacaktır.

DDT'de önemli olan ve zemin yapısına bağlı olarak büyük değişiklik gösterebilen YH'lerin temel karakteristikleri şunlardır (Naeim ve Anderson, 1993):

- 1) EBYİ, en büyük yer hızı, en büyük yer değiştirme.

- 2) Kuvvetli hareket süresi.
- 3) Frekans içeriği.

YH'ler genellikle EBYİ değeri esas alınarak değerlendirilir. Fakat, yapılan çalışmalar EBYİ ile hasar arasında doğrudan bir ilişki olmadığını göstermiştir (Zahrah, 1982; Uang ve Bertero, 1988; Zhu vd., 1988; Bertero ve Teran-Gilmore, 1994).

Mekanik titreşim teorisinin ilk olarak ortaya atıldığı zamanlardan itibaren, dinamik bir hareketin süresinin herhangi bir mekanik sistemin mukabelesinde önemli bir rol oynadığı kabul edilmektedir. Doğrusal sınırlar içinde davranan binalar için de, hareket süresinin sistemin mukabelesini oldukça önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. YH'lerin süresinin yapıların doğrusal mukabeleleri üzerine olan etkisi araştırılmış ve araştırma sonucunda yapıların doğrusal sınırları içindeki durumları için YH'nin toplam süresinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır (Bertero, 1988). Bu nedenle, gerçek bir YH kaydının iki ucunda kısaltma yapılmasının ve sadece kuvvetli hareket olarak tanımlanan bölümün alınmasının, kaydın atılan bölümünün frekans analizi yapılmadan mukabelelenin önemli derecede eksik tahminine neden olacağı sonucuna da ulaşılmıştır (Bertero, 1988).

Bir YH için gerekli olan minimum veri sadece frekans içeriği değildir. Kuvvetli YH süresinin etkilediği E_I spektrumu, E_H spektrumu ve DOTMS'nin de bilinmesi gereklidir. Bu bilgilerin hepsi, kritik YH'lerin zaman geçmişi ve yapının dinamik karakteristikleri arasındaki etkileşime bağlıdır. Bu nedenle, verilen herhangi bir yapı yeri için yapı mühendislerinin vereceği kritik YH'lerin zaman geçmişlerine (en şiddetli YH ve kuvvetli yer hareketlerinin en uzun süresi ile beraber) ve bunların tekrarlanma periyotlarına geoteknik mühendislerinin ihtiyaçları vardır. Bu bilgiler sayesinde, uzman yapı mühendisleri yukarıda verilen gerekli spektrumları geliştirebileceklerdir. Aslında, DDT bir ekip işidir ve ilgili mühendislik dallarının ortak çalışmasına dayanmaktadır.

Fajfar ve Fischinger (1990), yapıların DDT'si için YH'lerin süresini dikkate alan bir yöntem önermişlerdir. Önerilen bu yöntem, azaltma faktörleri kullanılarak DEOTMS'nin elde edilmesi için Newmark ve Hall (1973) yönteminin geliştirilmiş ve genişletilmiş bir halidir (Newmark ve Hall, 1973, 1982). Bu faktörler YH'lerin süresine bağlı olan azaltılmış süneklik katsayısının, dayanım fazlalığı katsayısı ile çarpımını göstermektedir. Azaltılmış süneklik faktörleri, E_I ve E_H 'nin etkilerini dikkate almakta ve böylece bu problemin güvenilir bir sonucunun bulunmasında bir adım ileri gitmektedir.

Bir YH'nin kuvvetli hareket süresi, Trifunac ve Brady (1975) eşitliği ile aşağıdaki şekilde

tanımlanabilir.

$$t_D = t_{0.95} - t_{0.05} \quad (1.4)$$

Burada, $t_{0.05}$ ve $t_{0.95}$ sırasıyla Arias (1970) şiddeti, I_A , değerinin %5'i ve %95'idir. Yapıların mukabeleleri için, kuvvetli YH süresi, t_d , hareketin toplam süresinden daha önemlidir. Doğrusal olmayan davranış içerisinde ve hasar derecesinde kuvvetli YH süresinin önemi yıllardır kabul edilmektedir.

Bertero ve Bertero (1994), Amerika'daki mevcut sismik yönetmeliklerin son yıllara kadar DDT felsefesinin amaç ve hedeflerini gerçekleştirmede istenilen sonuca ulaşamamasının temel nedenleri olarak aşağıdaki maddeleri ifade etmişlerdir.

- Son yönetmelikler, depremselliği yüksek bir bölge içerisinde (yüksek şiddet ve uzun süreli YH) verilen bir yerde çok şiddetli YH'lerin olma ihtimalini kabul etmektedir. İnşaat teknolojisinde önemli değişikliklerin (uzun ve daha narin binaların yapımı) olmasına rağmen, tasarım yöntemlerinde çok küçük değişiklikler olmuştur.
- Yönetmeliklerde, sismik kuvvetler ve bu kuvvetlerin doğrusal elastik analizlerinin etkileri üzerine kurulmuş dayanım tabanlı tasarımlar vurgulanmaktadır.
- Ekonomik ve politik baskılar nedeniyle, tasarımcılar minimum gereksinimleri içeren yönetmelikler hazırlamak zorunda kalmaktadırlar.
- Bir yapının elemanlarının optimal tasarımına dayanan bilgisayar programlarının geliştirilmesi ve kullanılması çok az dayanım fazlası olan tasarımların yapılmasına neden olmaktadır.
- Yapısal olmayan çok hafif ve zayıf elemanların binalarda kullanımı, dayanım ve rijitlik bakımından sadece boş bir çerçeve davranışına neden olmaktadır.
- Bazı durumlarda mevcut sismik yönetmelikler frekans, akma dayanımı, hareket süresi, ve enerji yutma kapasitesi gibi mukabelede önemli rol oynayan parametrelerin bilinmesine rağmen; EBYİ, maksimum yer değiştirme veya sünekliği deprem etkilerinin temel tanımlayıcısı olarak kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı, Bertero (1994) mevcut durumu şu şekilde ifade etmiştir: "Eğer, gerçek bina sistemlerinin (zemin-temel-yapı ve yapısal olmayan elemanlar) rijitlik, dayanım, enerji yutma ve enerji tüketme kapasitelerinin önceden tahmin edilmesinde gelişmeler yoksa; yeni yapıların DDT'sinde, mevcut binaların sismik performanslarının değerlendirilmesinde veya tehlikeli binaların hasar değerlendirmesi ve güçlendirilmesinde de gelişmeler olmayacaktır."

2. DEPREME DAYANIKLI TASARIMDAKİ GELİŞMELER

2.1 Depreme Dayanıklı Tasarımda Araştırma ve Geliştirme

DDT kavramının açıklanabilmesi için yapılan araştırmalardan, literatürde yayınlanan analiz sonuçlarından ve önceki bölümlerde anlatılanlardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir (Zahrah, 1982; Zahrah ve Hall, 1984; Akiyama, 1985; Ohi vd., 1992; Bertero ve Teran-Gilmore, 1994; Bertero, 1994; Sucuoğlu vd., 1994).

- 1) Yer değiştirme sünekliği, çevrimsel doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin bir sonucu olarak oluşabilecek toplam hasarı dikkate almamaktadır (Zahrah, 1982; Zahrah ve Hall, 1984).
- 2) Düzenli Çok Serbestlik Dereceli (ÇSD) sistemler için, bu sistemlerin temel periyotları kullanılarak TSD sistemlerin enerji girişinden yeterli güvenilirlikte ÇSD sistemlerin enerji girişleri tahmin edilebilir (Akiyama, 1985).
- 3) YH'lerin yapılarıdaki hasar kapasitesini ölçmek için literatürde önerilen hasar parametrelerinin birçoğu, depremlerin oluşumundan sonra gözlenen bina hasarlarını içermemektedir (Akiyama, 1985).
- 4) Tasarım depremlerinin belirlenmesinde, yapı yerinde meydana gelebilecek farklı YH'lerin hasar potansiyelinin güvenilir bir değerlendirmesi gereklidir. Sismik yönetmeliklerde, bir YH'nin hasar potansiyelini yetersiz hesaplayan farklı parametreler (EBYİ, maksimum şekil değiştirme, süneklik vb.) kullanılmaktadır. Oysa ki enerji girişi, talebi en yüksek depremin belirlenmesinde daha güvenilir ve umut verici bir parametredir. Fakat, bu parametre sismik tasarım için tek başına yeterli değildir (Akiyama, 1985; Bertero, 1994).
- 5) Enerji girişi (toplam enerji), YH'nin hasar potansiyelini tanımlamak için en mantıklı ve en güvenilir yollardan birisidir (Bertero ve Teran-Gilmore, 1994).
- 6) Seçilen yapı zemininde meydana gelebilecek olası tüm depremleri kapsayan tasarım YH'lerinin seçimi için enerji girişi ve histeretik enerji en iyi parametrelerdir.
- 7) Tasarım, bir yapıdaki sismik enerji talebi ile bu yapının enerji tüketme kapasitesi arasındaki dengeyi dikkate almalıdır.
- 8) Sadece, bir yapıya giren enerji girişinin bulunması önemli değildir. Bu enerjinin süresi, miktarı, ve hangi frekanslarda yapıya gireceği de önemlidir.
- 9) Verilmiş olan zemin için yer sarsıntısının şiddetini ifade etmekte oldukça yaygın bir şekilde kullanılmakta olan EBYİ, YH'nin hasar potansiyelinin ve bir yapıya giren enerji miktarının bulunmasında oldukça zayıf kalmaktadır (Bertero ve Teran-Gilmore, 1994).
- 10) Mukabele spektrumunda kullanılan hareket parametreleri ile tüm sistemin etkilerini anlamak ve yeteri derecede anlatmak için, yeni spektral formların geliştirilmesi gerekmektedir (Sucuoğlu vd., 1994).

Elasto-plastik bir yapıdan beklenen, YH'ye karşı elastik yapıdan daha düşük bir dayanımda, ancak plastik şekil değiştirme yaparak tepki vermesidir. Bir veya birkaç farklı YH kullanarak, tasarım kuvvetleri önermek pek güvenilir olamaz. Eğer, aynı tür zeminlerde kaydedilmiş pek

çok YH kullanılır ve bunların sonuçları istatistiksel güvenlik sınırlamaları gözetilerek birleştirilirse, basit deprem tasarım spektrumları elde edilebilir.

Yapıların dinamik analizlerinin yapılması için, önceki depremlerde kaydedilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Fakat, bu durum ümit verici bir çaba değildir. Öncelikle, bu YH kayıtlarının daha sonra olabilecek depremlerdeki hareketleri ne kadar doğru temsil edeceği belirsizdir. Ayrıca, herhangi bir yapının ayrıntılı olarak modellenmesi ve dinamik analizinin yapılması, sadece o yapıyla ilgili sınırlı bilgilerin elde edilmesine olanak tanır. Yapıların genel karakterlerinin tasarıma yansıtılması gerekir.

Deprem yönetmeliklerinde tanımlanan ve elastik deprem kuvvetlerinin belirlenmesinde etkili olan azalım oranları (R katsayısı), sadece basit elasto-plastik yapı modelindeki süneklik değerine bağlı değildir. Gerçek yapılar salt yapısal elemanlarının plastik davranışıyla değil, yapısal olmayan elemanlarının enerji tüketimine katkısı, zemin-temel etkileşimi gibi farklı nedenlerle de enerji tüketebilmektedirler. Ayrıca, yapıların gerçek yatay yük dayanımları, taşıyıcı olmayan elemanların katkısı, tasarımda kullanılan yük ve malzeme etkenleri, minimum boyut sınırlamaları gibi nedenlerle, hesaplanan dayanımlarından daha fazladır. Deprem yönetmeliklerindeki R faktörü, kolay olarak hesaplanamayan bu öğelerin tümünün ortak katkısının teknik olarak ifadesidir. Yapı türüne göre, yapıların enerji tüketme özellikleri arttıkça R katsayısı artar ve tasarım kuvvetleri azalır. Ters durumda ise, R katsayısı azalır ve tasarım kuvvetleri artar. Aslında, R değerinin seçimi tasarımcıya büyük bir sorumluluk getirmektedir. Eğer, tasarımda yapının plastik şekil değiştirme yapabileceği kabulü ile tasarım kuvvetleri azaltılıyor ise (R değeri yüksek), yapının esnek davranabilmesi için gerekli olan koşulların tasarıma ve uygulamaya yansıtılması ve bazı özel detayların uygulanması gibi gereksinimlerin yerine getirilmesi gerekir. Yani, uygulamadaki özelliklerin tasarım parametrelerini sağlaması gerekir. Tasarımcı bu özel ayrıntıları göz ardı ettiği takdirde büyük risk aldığını bilmelidir. Bu, gerçekten önemli bir ayrıntıdır.

Aslında, gerçek bir ÇSD yapı sistemi elastik dayanım sınırını aşp, plastik duruma geçtiğinde yapıda hasar meydana gelmeye başlar. Yapıda kuvvet dağılımları da doğrusal elastik analiz araçlarıyla hesaplanamaz duruma gelir. Bu durumda yapılacak olan, artan yükler altında hasarın kontrollü biçimde dağılmasını sağlamaktır. Artık doğrusal elastik analiz araçları bir kenara bırakılmalı, hasarın kontrolü için kapasiteler dikkate alınmalıdır. Yapıdaki elemanların belirli hiyerarşik (aşamalı) bir düzen içinde ve en fazla süneklik göstereceği kırılma modunda kapasitelerine ulaşmaları istenir. Bu durum, kapasite tasarımı yöntemi ile mümkündür (Sucuoğlu, 1999).

Kapasite tasarımı yöntemi, yapı düşey ve yatay yükler altında kararlılığını yitirmeden, plastik şekil değiştirmelerin tüm elemanlara olabildiğince yayılmasını hedeflemektedir. Böylece, yapıya yapabileceği en fazla yatay ötelenme olanağı sağlanmış olur. Kapasite tasarımında, eleman düzeyinde en fazla şekil değiştirmeye olanak veren sünek kırılma modu eğilmedir. Kesme ya da basınç kırılması ise çok gevrekli. Eleman kapasitelerinin tasarımında basınç ve kesme kapasiteleri, eğilme kapasitesinin üstünde tutularak eğilme kırılmasına öncelik verilir.

Betonarme elemanlarda, eğilme kırılmasının veya kesit akmasının daha da sünek olabilmesi için sargı donatısı kullanılır. Özellikle kolonlarda sargı donatısı çok önemlidir. Yapı sistemi düzeyinde ise, artan yatay yükler altında kırılma hiyerarşisinin sağlanması gereklidir. Bir çerçeve sisteminde bunun yolu, eksenel yük taşımayan ve yapının kararlılığında etkisi az olan kirişlerin daha önce akmasını, sonra sıranın kolonlara gelmesini sağlamaktır. Kolonların da üst katlardan başlayarak alt katlara doğru akması tercih edilir, ancak alt kat kolonları her zaman daha fazla zorlandığı için bu pek mümkün değildir. Kapasite tasarımında kirişlerin kolonlardan önce akmasını sağlamanın bir yolu, düğüm noktalarında toplam kolon akma kapasitelerini toplam kiriş akma kapasitelerinden yüksek tutmaktır. Eğer çerçeve sistemi yerine perde-çerçeve sistemi kullanılırsa, bu durumda daha olumlu plastik şekil değiştirme özellikleri elde edilir. Perde-çerçeve sistemlerinin kırılma hiyerarşisinde önce kirişlerde, sonra da perde elemanlarında akma olur. Kolonlar daha esnek olduğu için perde aktığında elastik kalırlar ve düşey yükü rahatlıkla taşımaya devam ederler. Böylece kararlılık ve denge kaybına ancak büyük ötelenmelerde ulaşılır. Bu sistemlerde perdenin kesme ya da ezilme kırılması moduna girmesi mümkündür. Dolayısıyla, perdenin sünek kırılma sağlaması için yapılacak detaylandırma çok önemlidir (Sucuoğlu, 1999).

Etkin bir DDT yapılabilmesi ve deprem sırasında meydana gelecek can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi için mühendislerin aşağıda verilen hususlara dikkat etmesi gerekmektedir.

- Gereksiz kütlelerden kaçınılmalı ve düzenli bir kütle dağılımı sağlanmalıdır.
- Simetri sağlanmalı ve önemli burulma hareketlerinden kaçınılmalıdır.
- Mümkün olduğu kadar basit bir yapısal sistem kullanılmalıdır. Yük aktarımının tam ve doğru bir şekilde sağlandığından emin olunmalıdır.
- Mümkün olduğu kadar birbirlerinin yerini alan yedek taşıyıcı sistemler kullanılmalıdır. Yani, bir eleman hasar gördüğü zaman diğer elemanlar yapısal sistemin güvenliğini sağlamalıdır.
- Yapı, yatayda ve düşeyde (plan ve kesit) düzgün ve sürekli olmalıdır. Yatayda düzensizliği olan ve düşeyde aşırı derecede narin olan yapılardan kaçınılmalıdır.

- Rijitliğin ve dayanımın, sürekli ve düzenli bir dağılımı sağlanmalıdır. Taşıyıcı eleman boyutlarında ani değişikliklerden kaçınılmalıdır.
- Sadece, kritik olmayan sünek elemanlarda (kolonlardan ziyade kirişlerde) doğrusal olmayan davranışlara (hasara) izin verilmelidir.
- Elemanlar, ani ve gevrek kırılma oluşmayacak şekilde detaylandırılmalıdır. İstenmeyen kesme kuvveti, eksenel kuvvet veya düğüm noktası hasarlarından kaçınmak için kapasite tasarımı yöntemleri kullanılmalıdır.
- Bitişik veya çok yakın binaların birbirine yapacağı çekiçleme etkisinden kaçınılmalıdır. Bu nedenle, yapısal tasarımdan elde edilecek çatı kotu yer değiştirmeleri uygulamada da sağlanmalıdır.
- Tüm yapısal elemanlarda sargı donatısı kullanılmalıdır. Düşme veya yıkılma tehlikelerine karşı yapısal olmayan elemanlar sabitlenmelidir.
- Kaliteli ve yüksek dayanımlı yapısal malzemeler kullanılmalıdır.
- Projelendirme aşamasına dikkat edilmeli, hesaplar büyük bir titizlikle yapılmalıdır. Bulunan sonuçlar mühendislik yaklaşımı ile doğru bir şekilde yorumlanmalıdır.
- Projenin gereksinimleri uygulamada da sağlanmalıdır.

2.2 Enerji Kavramlarının Depreme Dayanıklı Tasarımda Kullanılması

Yapılar çoğu zaman, servis süreleri boyunca çok seyrek olarak karşılaşılabilecekleri şiddetli YH'lere karşı doğrusal olmayan biçimde davranacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu yapıldığında yapılar, şiddetli depremler karşısında yıkılmadan ve fonksiyonunu kaybetmeden sadece onarılabilecek düzeyde hasar görerek işlerliğini devam ettirebileceklerdir (Jennings, 1965; Ohi ve Kondo, 1992).

Housner (1956), geleneksel sismik tasarım yöntemlerine seçenек bir yöntem olarak enerji tabanlı bir tasarım yöntemi önermiştir. Hesaplar, TSD sistemlere (Berg ve Thomaidis, 1960) hatta ÇSD sistemlere (Anderson ve Bertero, 1969) giren enerjinin tahmin edilmesine dayanmaktadır. Housner (1956) tarafından ortaya atılan enerji kavramı depreme dayanıklı yapı tasarımı için bir temel teşkil edebilir.

Bu tasarım yöntemi, bir YH süresince oluşan enerji talebini tahmin etmeye ve yapının ve yapısal elemanların enerji tüketme kapasitelerini belirlemeye dayanmaktadır. Bir yapının sismik tasarımı basit olarak enerji kapasitesinin, enerji talebinden daha büyük olmasına dayanmaktadır. Aslında enerji tüketimi, kuvvetli YH'ye maruz yapılar için mühendisler tarafından kullanılan bir anahtar faktör olarak kabul edilmektedir.

Yapılar, deprem sırasında yapıya giren bütün enerjiyi tüketmek zorundadırlar. Bu enerjinin bir kısmı doğrusal şekil değiştirme enerjisi ve kinetik enerji olarak depolanmakta diğer kısmı ise, yapısal ve yapısal olmayan elemanlar tarafından sönüm ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeler yoluyla tüketilmektedir (Berg ve Thomaides, 1960).

Depremler oldukça düzensiz YH'ler olmalarına karşın, yapıya giren enerji oldukça kararlı bir değerdir. Enerji girişi, YH'nin özelliklerinin (kütle, yapının doğal periyodu) bir fonksiyonudur ve yapının dayanımından dağılım olarak çok az etkilenir (Akiyama, 1985). Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının sahip olması gereken minimum dayanım (veya yatay yük taşıma kapasitesi) DOTMS'ye göre belirlenir.

Zemin-temel-yapı modellerinin belirlenebilmesi için doğrusal ve doğrusal olmayan davranışın tam olarak ifade edilmesi gereklidir. Analiz ve tasarım arasındaki farkın ortaya konması ve aynı zamanda yapıların DDT'sindeki problemlerin tanımlanması için temel tasarım denklemi olarak ifadelendirilen adımın tam olarak analiz edilmesi gereklidir. Enerji kavramlarına dayanan bir tasarım yöntemi aşağıda verilen temel tasarım denklemi ile ifade edilebilir.

$$Talep \leq Kapasite \quad (2.1)$$

Eşitlik (2.1), YH'nin yapı üzerindeki etkisini yapıya giren enerji (talep) olarak ve yapının buna karşılık dayanımını da enerji yutma kapasitesi (kapasite) olarak tanımlamaktadır. (2.1) eşitliği tüm limit durumları için sağlanmalıdır. Enerji talebinin, enerji tüketme kapasitesine küçük veya eşit olması gerekir. Eğer, enerji tüketme kapasitesi enerji talebinden büyükse DDT sağlanmış demektir. Diğer bir deyişle, bir YH süresince enerji talebinin tahmin edilmesi ve buna uygun enerji tüketme kapasitesine sahip yapıların tasarlanması gerekmektedir. Özellikle depreme dayanıklı yapılar için, talebin değerlendirilmesi ve kapasitenin tahmini basitçe yapılmamaktadır. Enerji yutma kapasitesi ve enerji tüketme kapasitesi arasında kavramsal bir fark vardır (Powell ve Allahabadi, 1988). Bir yapının veya yapısal elemanın enerji tüketme kapasitesi, onun histeretik davranış yoluyla bu enerjiyi tüketebilme yeteneğidir.

Gerçek yapıların kapasitelerinin belirlenmesinde iyi bir modelleme yapabilme eksikliği sebebi ile depreme dayanıklı yapıların tasarımında çok önemli bir gelişme sağlanmamıştır. Gerçek yapıların matematiksel modellemesinde iyileştirmelere acil olarak ihtiyaç vardır. Yapısal eleman boyutları genellikle ampirik formüller veya mekanik teoriden elde edilen denklemler ile elde edilmektedir. Güvenilir denklemler ile yapısal elemanların enerji yutma ve tüketme kapasiteleri gerçek binalar için oldukça iyi bir yaklaşıklıkla elde edilebilir.

Housner (1956), doğrusal sistemdeki hız mukabelesi spektrumunu kullanarak yapının mukabelesine katkısını etkileyen toplam enerjiyi tahmin etmiştir ve doğrusal olmayan sistemde hasara yol açan enerji girişinin doğrusal sistemdeki enerji girişi ile aynı olduğunu kabul etmiştir. Bu limit tasarım yaklaşımı yapıya, enerji girişine ve yapının bu enerjiyi tüketme yeteneğine bağlıdır. Ayrıca, Housner (1956) bir yapıya giren toplam enerji miktarını kütlelerin yarısıyla yere göre relatif hızın karesinin çarpımı olarak tahmin etmiştir. Relatif hız belirli bir ζ ve T 'ye bağlı olarak hız mukabele spektrumundan bulunabilir.

Veletsos ve Newmark (1960), TSD doğrusal olmayan sistemler üzerinde yaptıkları çalışmada doğrusal olmayan sistemlerdeki maksimum yer değiştirmenin doğrusal sistemdeki maksimum yer değiştirmeye oranını elde etmişlerdir. Ayrıca, birim şekil değiştirme enerjisini tahmin ederek bu orana bir üst sınır verilebilme ihtimalini araştırmışlardır.

Akiyama (1985), Housner'in (1956) yöntemini geliştirerek tek katlı yapılardan çok katlı yapılara kadar düzgün bir şekilde uygulanabilecek DDT yöntemi geliştirmiştir.

Kuvamura ve Galambos (1989), yapının ve YH'nin dinamik özellikleri ve deprem riski potansiyeline göre bir maksimum enerji girişini göz önüne alarak bir limit durum kriteri geliştirmişlerdir.

Fajfar vd. (1991), TSD sistemlere maksimum enerji girişini bulmak için bir formül önermiştir. Ayrıca, Kuvamura ve Galambos'un (1989) formülünü değiştirerek diğer çalışmalarla karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, enerji girişinin depremin şiddetiyle oldukça yakın ilişkili olduğu gözlenmiştir.

Kuvamura vd. (1992), düzleştirilmiş fourier spektrumundan, sönümlü doğrusal TSD sistemlerin enerji girişini tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, sönüm oranındaki artışın TSD sistemlerde daha düzgün spektrumlara yol açtığı, ÇSD sistemlerde ise yüksek modların katkısından dolayı düzleştirme etkisinin sönümden dolayı olan düzleştirme etkisinden daha az önemli olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ÇSD sistemlerde birinci modun hakim olmasındandır.

Tso vd. (1993), az katlı sünek moment çerçevelerde enerji girişi ve histeretik enerji talebini tahmin etmek için eşdeğer TSD sistemler üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, çok katlı sünek moment çerçevelerde yüksek modların katkısının önemli olduğu ve eşdeğer TSD sistemlerin bu tip yapılardaki enerji talebini daha düşük tahmin edebileceği sonucunu çıkarmışlardır. Bu sonuç, özellikle yüksek frekans içeriğine sahip olup yüksek modların

katkısını arttıran deprem hareketleri için geçerlidir.

Fajfar ve Vidic (1994) ise, histeretik enerji ve toplam enerjiye bağlı olarak bir doğrusal olmayan tasarım spektrumu önermişlerdir.

Nurtuğ ve Sucuoğlu (1995), doğrusal bir TSD sistemde tüketilen enerjiyi hesaplamak için YH'nin spektral hızı, etkili mukabele süresi ve mukabele yer değiştirmelerinin genliklerinin dağılımına bağlı bir analitik yöntem önermişlerdir.

Shen ve Akbaş (1999) az, orta ve çok katlı çelik moment çerçevelerde enerji girişini ve histeretik enerjiyi tahmin ederek çelik moment çerçeveler için bir enerjiye dayalı deprem tasarımı yöntemi önermişlerdir. Ayrıca, çalışmada TSD sistemlerdeki enerji girişini tahmin etmek için yapılan çalışmalarla karşılaştırmalar yapılmış ve TSD sistemlerin ÇSD sistemlerdeki enerji girişini tahmin etmek için kullanılmasının doğru bir yaklaşım olmadığı sonucuna varılmıştır.

2.3 Enerji Tabanlı Depreme Dayanıklı Tasarımda Araştırma ve Geliştirme

Enerji tabanlı DDT yapabilmek ve aşağıdaki sorunları daha iyi kavrayabilmek için farklı araştırmacılar tarafından birkaç çalışma yapılmıştır (Akiyama, 1985; Uang ve Bertero, 1988; Surahman ve Merati, 1992; Bertero, 1994; Nurtuğ ve Sucuoğlu, 1995; Akbaş ve Shen, 1996).

- Bir yapıdaki tüm yapısal elemanların enerji yutma kapasiteleri.
- TSD ve ÇSD sistemlerin enerji tüketme kapasiteleri.
- Bir YH'nin hasar potansiyelinin yapıya giren enerji kullanılarak tespit edilmesi.

Enerji kavramlarının depreme dayanıklı yapı tasarımında bir kriter olarak kullanılmasında aşağıdaki üç temel soru halen açıklığa kavuşturulamamıştır (Akiyama, 1985).

- 1) YH nedeniyle yapıya girecek enerjinin miktarı ile yapının mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi.
- 2) Yapıya giren enerjinin yapı tarafından nasıl tüketileceği.
- 3) Bir yapının enerji yutma kapasitesinin anlaşılması.

Yukarıdaki problemlerin cevabı bulunduğunda, bir deprem sırasında yapıya girecek enerji miktarı ile yapının enerji yutma kapasitesini karşılaştırmak mümkün olacak ve böylece yapının depreme karşı dayanıklılığı hesaplanabilecektir.

2.4 Tasarım Parametresi Olarak Enerji

Son yıllarda, enerji kavramının depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılması büyük ilgi görmüştür. YH nedeniyle oluşacak hasar, enerji kavramları ve hasar göstergeleri kullanılarak tanımlanabilir. Doğrusal olmayan şekil değiştirme hasar içerdiğine göre, yapının doğrusal olmayan davranışının hasar tahmininde dikkate alınması gerekmektedir.

Bir yapının hasar tahmininde en gerçekçi ve güvenilir yol, binanın bir YH'ye maruz kaldığı zamandaki enerji miktarını belirlemektir. Bu toplam enerji girişi, E_I , olarak bilinir. Toplam enerjinin bir kısmı histeretik enerji, E_H , olarak adlandırılır. Histeretik enerji, plastik şekil değiştirmeler tarafından yapılan iş olarak bilinir ve bu enerji histeretik davranış içerisinde dağılmıştır. Çünkü yapılarıdaki hasar, yapının dağıttığı histeretik enerji ile ilişkilidir. Histeretik enerji, yapısal özelliklerin ve zemin hareket karakteristiğinin fonksiyonu olarak incelenebilir ve özellikle hasarın belirli limitleri aşmayacağı beklendiği zaman bir tasarım parametresi olarak kullanılabilir (Bertero ve Teran-Gilmore, 1994).

Genel olarak toplam enerji girişi, genellikle zemin hareketlerinin özelliğine bağlıdır ve yapısal özelliklerden (özellikle orta ve uzun periyotlarda) bağımsızdır (Akiyama, 1985; Fajfar ve Vidic, 1989).

Yapılan çalışmalar da, enerji ve zemin hareketlerinin karakteristiği arasındaki ilişkiler üzerine önemli bilgiler sağlamıştır. Fakat, bazı sebeplerden dolayı enerji kavramlarının deprem mühendisliğinde pratikte uygulanmaları kısıtlıdır.

Bu sebeplerden ilki, enerji konusunun doğrusal olmayan bir özelliğe sahip olmasıdır. Gerçek bir yapı (genellikle ÇSD sistem) ve idealleştirilmiş TSD sistemler doğrusal olmayan mukabelede önemli ölçüde farklılıklar gösterir. Eşdeğer TSD sistemler, yüksekliği az olan binalardaki anlık direnme çerçevesinde enerji girişini tahmin için kullanılabilir. Ancak, TSD sistemler yüksek frekanslı YH'ler için önemli hale gelebilir ve daha yüksek modlar yüzünden yüksek binalarda enerji girişini vermede hatalı olabilirler (Bertero ve Teran-Gilmore, 1994).

İkinci olarak, yapısal elemanların plastik şekil değiştirmeleri ile doğrudan ilgili ve yapısal unsurlardaki hasarda sorumluluğu olan histeretik enerjidir. Histeretik enerji dağılımı, zemin hareketlerine olduğu kadar yapısal sistemlere de bağlıdır.

3. DEPREM HAREKETİNİN ÖZELLİKLERİ

3.1 Temel Hareket Denklemi

Yatay bir YH etkisindeki viskoz sönümlü TSD bir sistemin (Şekil 3.1) hareket denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Chopra, 1995).

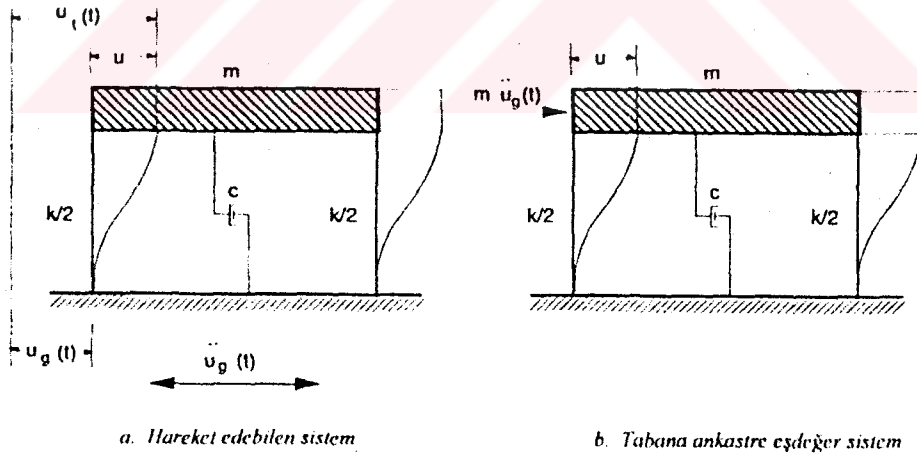
$$m\ddot{u}_t + c\dot{u} + f_s = 0 \quad (3.1)$$

burada m : kütle, c : viskoz sönüm katsayısı, f_s : yay kuvveti (doğrusal bir sistem için $f_s = ku$, k = rijitlik), u_t : kütlein mutlak (veya toplam) yer değiştirmesi, u : kütlein yere göre relatif yer değiştirmesidir. Kütlein mutlak yer değiştirmesi, u_t aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$u_t = u + u_g \quad (3.2)$$

burada u_g : YH yer değiştirmesidir. Buna göre (3.1) eşitliği yeniden yazılırsa,

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u, \dot{u}) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (3.3)$$



Şekil 3.1 Yer hareketine maruz TSD bir sistemin matematiksel modeli

ifadesi elde edilir. (3.3) eşitliğinden görüleceği gibi Şekil 3.1a'daki sistem, Şekil 3.1b'deki gibi tabana ankastre ve büyüklüğü $-m\ddot{u}_g(t)$ olan etkili bir yatay dinamik kuvvet (P_{eff}) etkisindeki bir sisteme dönüşmektedir.

3.2 Doğrusal Olmayan Sistemler için Hareket Denkleminin Normalleştirilmesi

Eşitlik (3.3), doğrusal olmayan sistemlerde doğrusal olmayan davranışı etkileyen belirli parametreleri tanımlamak için normalleştirilmiş bir formda düzenlenebilir (Mahin ve Lin, 1983). Dış yükleme durumunda, normalleştirme aşağıda tanımlanan parametrelere göre yapılabilir:

$$\mu(t) = \frac{u(t)}{u_y} \quad (3.4)$$

$$\rho(t) = \frac{R(t)}{R_y} \quad (3.5)$$

burada u_y : akma yer değiştirmesi, R_y : akma kuvvetidir. $\mu(t)$ değeri genellikle yer değiştirme sünegliği olarak adlandırılır. Yer değiştirme sünegliğinin maksimum değeri, $\mu_{\max}$, yapının tasarımında dikkate alınması gereken bir parametredir. Eşitlik (3.3), u_y ile bölünürse;

$$\frac{\ddot{u}(t)}{u_y} + 2\omega\zeta \frac{\dot{u}(t)}{u_y} + \frac{R(t)}{m.u_y} = -\frac{\ddot{u}_g(t)}{u_y} \quad (3.6)$$

şekline dönüşür. Burada ω : açısal frekanstır. (3.6) eşitliğini daha uygun bir forma sokmak için aşağıdaki dönüşümler tanımlanabilir:

$$\frac{R(t)}{m.u_y} = \frac{k}{m} \frac{R(t)}{k.u_y} = \omega^2 \frac{R(t)}{R_y} = \omega^2 \rho(t) \quad (3.7)$$

$$\frac{\ddot{u}_g(t)}{u_y} = \frac{k}{k} \frac{\ddot{u}_g(t)}{u_y} = \frac{\omega^2 m \ddot{u}_g(t)}{R_y} \quad (3.8)$$

Eşitlik (3.6) yeniden yazılırsa,

$$\ddot{\mu}(t) + 2\omega\zeta \dot{\mu}(t) + \omega^2 \rho(t) = -\omega^2 \left(\frac{m}{R_y} \right) \ddot{u}_g(t) \quad (3.9)$$

şekline dönüşür. (3.9) eşitliğinin sağ tarafını basitleştirmek için bir parametre, η , tanımlanabilir:

$$\eta = \frac{R_y}{m u_{g,\max}} \quad (3.10)$$

Burada η , bir sistemin akma dayanımının sonsuz rijit bir sistemin yer hareketi sırasında maruz kalacağı maksimum atalet kuvvetine oranını ifade eder ve atalet kuvveti indisi olarak adlandırılır. η parametresi yapının akma dayanımı katsayısı (C_y) cinsinden yazılarak da ifade edilebilir:

$$R_y = C_y W = C_y mg \quad (3.11)$$

$$\eta = \frac{C_y}{\ddot{u}_{g,\max} / g} \quad (3.12)$$

burada W : yapının ağırlığı, g : yerçekimi ivmesidir. (3.10) ve (3.12) kullanılarak (3.9) eşitliği yeniden yazılırsa:

$$\ddot{\mu}(t) + 2\omega\zeta \dot{\mu}(t) + \omega^2 \rho(t) = -\frac{\omega^2}{\eta} \frac{\ddot{u}_g(t)}{\ddot{u}_{g,\max}} \quad (3.13)$$

ifadesi bulunur.

3.3 Enerji Denklemlerinin Elde Edilmesi

Enerjiye dayalı yöntemlerin oluşturulabilmesi için enerji denklemlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Yapısal sistemler gerçekte ÇSD sistemlerdir, fakat enerji kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için kinetik enerji, sönüm enerjisi, doğrusal birim şekil değiştirme enerjisi, histeretik enerji ve toplam enerji gibi farklı enerji terimleri kullanılarak enerji denklemleri bu bölümde TSD sistemler için çıkarılacaktır.

Doğrusal olmayan bir sisteme YH sırasında giren enerji, viskoz sönüm ve akma yoluyla tüketilmektedir. Doğrusal olmayan bir sistem için değişik enerji terimleri hareket denklemi olan (3.3) eşitliği integre edilerek aşağıdaki gibi elde edilebilir (Chopra, 1995).

$$\int_0^u m \ddot{u}(t) du + \int_0^u c \dot{u}(t) du + \int_0^u f_s(u, \dot{u}) du = - \int_0^u m \ddot{u}_g(t) du \quad (3.14)$$

(3.14) eşitliğinin sağ tarafı yapıya giren toplam enerjiyi, E_I , göstermektedir.

$$E_I(t) = - \int_0^u m \ddot{u}_g(t) du \quad (3.15)$$

(3.14) eşitliğinin sol tarafındaki ilk terim kütlenin yere göre relatif hareketiyle ilişkili olan kinetik enerjiyi, E_K , göstermektedir.

$$E_K(t) = \int_0^u m \ddot{u}(t) du = \int_0^u m \dot{u}(t) d\dot{u} = \frac{m \dot{u}^2}{2} \quad (3.16)$$

(3.14) eşitliğinin sol tarafındaki ikinci terim viskoz sönüm yoluyla tüketilen enerjiyi, E_D , göstermektedir.

$$E_D(t) = \int_0^u f_D(t) du = \int_0^u c \dot{u}(t) du \quad (3.17)$$

(3.14) eşitliğinin sol tarafındaki üçüncü terim ise sistemin akması sonucu oluşan histeretik enerjiyi, E_H , ve doğrusal şekil değiştirme enerjisinin, E_S , toplamını göstermektedir. Doğrusal birim şekil değiştirme enerjisi, E_S , :

$$E_S(t) = \frac{[f_s(t)]^2}{2k} \quad (3.18)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada k , doğrusal olmayan sistemin başlangıç rijitliğini göstermektedir. Sistemin akması sonucu tüketilen histeretik enerji, E_H , :

$$E_H(t) = \int_0^u f_s(u, u) du - E_S(t) \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu enerji terimleri dikkate alınarak TSD bir sistemin enerji dengesi yeniden yazılabilir.

$$E_I(t) = E_K(t) + E_D(t) + E_S(t) + E_H(t) \quad (3.20)$$

Viskoz sönüm enerjisi, E_D , ve histeretik enerji, E_H , integraller zamana göre yeniden yazılarak daha uygun bir forma sokulabilir.

$$E_D(t) = \int_0^t c \left[\dot{u}(\tau) \right]^2 d\tau \quad (3.21)$$

$$E_H(t) = \left[\int_0^t u f_s(\tau) d\tau \right] - E_S(t) \quad (3.22)$$

Herhangi bir t anındaki kinetik enerji, E_K , ve birim şekil değiştirme enerjisi, E_S , sırasıyla (3.16) ve (3.18) eşitliklerinden kolaylıkla hesaplanabilir.

Bu bölümdeki değişik enerji terimleri, tabana ankastre ve büyüklüğü $-m\ddot{u}_g(t)$ olan etkili bir yatay dinamik kuvvete (P_{eff}) maruz bir sistem için yapılmıştır. Bu sebeple, (3.20) eşitliğindeki enerji terimleri toplam hareket sonucu oluşan değil, kütlelerin yere göre relatif hareketi sonucu oluşan hareket enerjisini ifade etmektedir. Toplam enerji, E_I , yer hareketi sonucu yapının temelinde oluşan toplam kesme kuvvetinin yaptığı işe göre de mutlak enerji şeklinde ifade edilebilir (Uang ve Bertero, 1988). Fakat, bir yapıda iç kuvvetlere yol açan etkilerin relatif yer değiştirmeler ve hızlar olduğu göz önüne alındığında, relatif harekete göre yazılan enerji terimlerinin mutlak hız ve yer değiştirmelere göre yazılan enerji terimlerinden daha anlamlı olduğu görülmektedir (Chopra, 1995).

3.4 Enerji Spektrumu

YH sırasında bir yapıya giren enerji miktarı eşdeğer hız, V_e , cinsinden ifade edilerek enerji spektrumu çizilebilir (Akiyama, 1985).

$$V_e = \sqrt{\frac{2E_I}{m}} \quad (3.23)$$

Bu ifade, belirli bir deprem için birim kütle enerjisinin tek olduğunu gösterir. EBYİ her deprem için farklı olduğundan V_e 'nin maksimum yer ivmesi standardize edilerek elde edilmesi daha uygundur (Uang ve Bertero, 1988). Enerji spektrumu, değişik μ ve η değerlerine bağlı olarak değişik depremler için elde edilebilirler.

4. ANALİTİK ÇALIŞMA

Bu çalışmanın amacı, TSD sistemlerde enerji-periyot-süneklik ilişkilerini belirlemektir. Bu amaçla, TSD bir sistemin analitik bir modeli kurulmuş ve $T=0-3$ s aralığında üç farklı dayanıklılık göstergesi için hedef süneklik değerlerini elde edebilmek amacıyla bir dizi analiz gerçekleştirilmiştir. Hedeflenen süneklik değerini sağlayacak olan maksimum yer değiştirme bulununcaya kadar yer hareketinin ölçek faktörü iterasyon yapılarak bulunmuştur. Daha sonra bu ölçek faktörlerinin karşılık geldiği eşdeğer yer ivmesi bulunmuş ve sonuçlarda “Eşdeğer a” şeklinde gösterilmiştir. Ölçek faktörlerine karşılık gelen eşdeğer yer ivmesinin üst değeri 1g değeri ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca, 0.1 s artımlarla $T=0-3$ s aralığındaki periyot değerlerine karşılık gelen histeretik enerji talepleri, enerji girişleri ve eşdeğer hız değeri kullanılarak enerji spektrumları; η ve μ parametrelerinin farklı değerleri için elde edilmiştir.

Çalışmada sunulan sonuçların elde edilebilmesi için DRAIN-2DX (Prakash vd., 1993) programı ile toplam 18000 analiz yapılmıştır.

4.1 TSD Bir Sistemin Enerji Mukabelesi

Enerji terimleri dikkate alınarak TSD bir sistemin enerji dengesi bir önceki bölümde (3.20) eşitliği ile elde edilmişti. (3.20) eşitliğinin sağ tarafındaki 4 terim yapının enerji mukabelesi olarak düşünülebilir ve temel tasarım denkleminin kapasite tarafı olarak görülebilir. $E_K(t)$, sadece t zamanında yapının anlık tepkisi ile ilgilidir. $E_D(t)$, birikimsel bir değerdir hatta titreşim sürecince yükselir. $E_S(t)$, t anındaki geçerli doğrusal şekil değiştirme seviyesine bağlıdır. $E_H(t)$, tüm titreşim süresince olan plastik şekil değiştirme üzerinde toplam bir niceliktir ve eğer yapı elastik kalırsa sıfır değerini alacaktır.

Eşitlik (3.20)’den bulunan $E_I(t)$, şekil değiştirmiş yapının toplam enerji girişidir. Yapısal şekil değiştirme üzerinde etkili deprem kuvvetiyle yapılan iş olarak tanımlanır. Anlık kinetik enerji ve doğrusal şekil değiştirme enerjisi, herhangi bir zamanda sarsıntı süresindeki enerji girişinin küçük bir parçasıdır ve titreşimin geçmesinden sonra gözden kaybolmaktadır. Toplam sönüm enerjisi ve histeretik enerji bu yüzden enerji girişinin tüketilmesinde en önemli iki parametredir.

$E_H(t)$, yapısal elemanın doğrusal olmayan şekil değiştirmesiyle ve yapısal birleşimlerin şekil değiştirme kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. $E_S(t)$, $E_H(t)$ ile karşılaştırıldığında; $E_S(t)$, küçük kalmaktadır. Bu yüzden, $E_K(t)$ ve $E_S(t)$ doğrusal olmayan bir mukabelede

önemsizdirler ve ihmal edilebilirler. Böylece, (3.20) eşitliği yeniden düzenlenerek aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$E_I(t) = E_D(t) + E_H(t) \quad (4.1)$$

4.2 Analizlerde Kullanılan Yer Hareketleri

Eşitlik (4.1)'deki enerji terimlerini belirlemek ve enerji mukabele parametreleri ile yapısal mukabele arasında basit bir ilişki kurabilmek için 7 adet farklı özelliklerde (zemin tipi, EBYİ, frekans içeriği, kuvvetli hareket süresi, uzaklık ve büyüklük) kaydedilmiş YH kayıtları kullanılmıştır. Seçilen YH'lere ait özellikler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Analizlerde kullanılan depremlerin karakteristik özellikleri

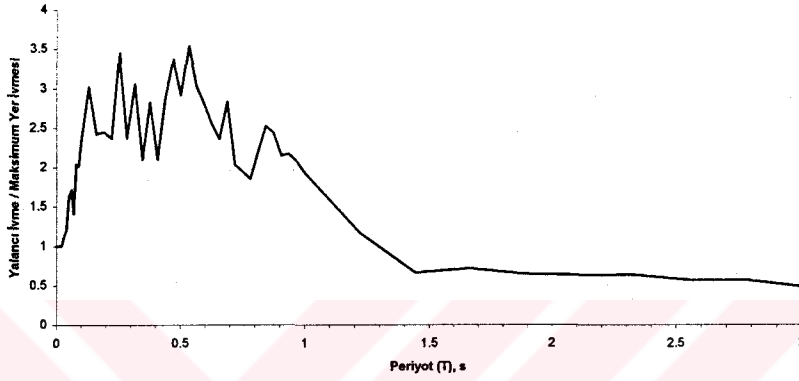
Deprem İsmi	Doğrultu	M _L	Odak Derinliği (Km)	İstasyonun Merkez Üssüne Uzaklığı (Km)	EBYİ (g)	T _g (s)	t _D (s)	Zemin Yapısı
El Centro 18.05.1940	S00E	7.0	16	12	0.3483	0.97	24.46	30 m sert kil, volkanik kaya
Northridge 17.01.1994	NEW-360	6.4	19	19.2	0.5894	0.68	5.50	6 m'den sonra organik kaya
Olympia 13.04.1949	N04W	7.1	N/A	39	0.1647	1.18	21.64	N/A
Parkfield 27.05.1966	N65E	6.1	N/A	7	0.4889	0.68	6.44	Kaya
Miyagi 12.05.1978	EW	7.4	30	100	0.2063	1.12	24.78	Alüvyon
Miyagi 12.05.1978	NS	7.4	30	100	0.2631	0.95	17.75	Alüvyon
İzmit 17.08.1999	NS	7.2	18	10	0.1745	1.00	34.08	N/A

Çizelge 4.1'de verilen depremlerin, normalleştirilmiş mukabele spektrumları (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8) ve zaman geçmişleri (Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15) sırasıyla verilmiştir.

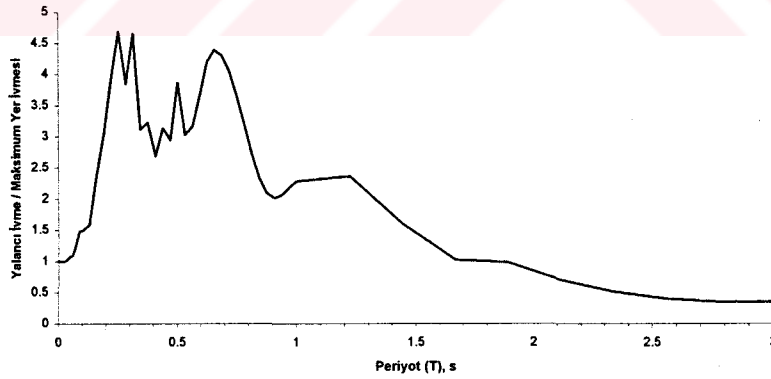
4.3 Doğrusal Olmayan Dinamik Zaman Geçmişi Analizi

Eşitlik (4.1)'deki enerji terimlerini belirlemek için, TSD sistemlerde doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizi DRAIN-2DX (Prakash vd., 1993) programı kullanılarak

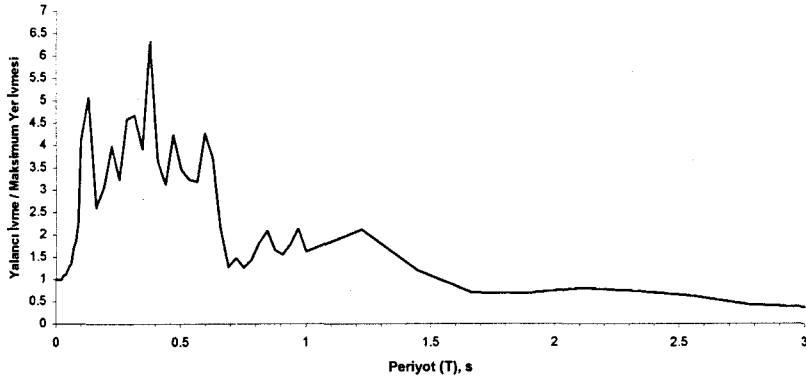
yapılmıştır. Bu çalışmada, pekleşme oranı sıfır olarak kabul edilmiş ve P- Δ etkisi dikkate alınmamıştır. Analizlerde kiriş-kolon elemanlar kullanılmıştır. Düzenli bir çevrimsel şekil değiştirme kabul edilmiştir. Rijitlik orantılı sönüm kullanılmış ve sönüm oranı %5 olarak alınmıştır. Mukabele parametreleri olarak; histeretik enerji, E_H , toplam enerji girişi, E_I , eşdeğer hız, V_e , süneklik değeri, μ , ve dayanıklılık göstergesi, η , seçilmiştir. Enerji girişleri, birim kütle için elde edilmiştir.



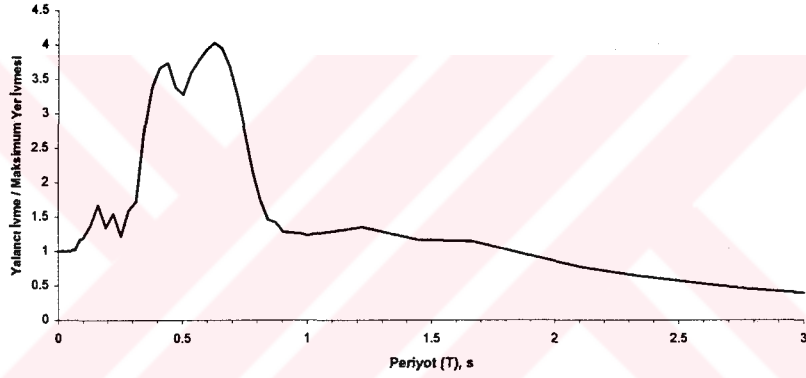
Şekil 4.1 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, El Centro S00E



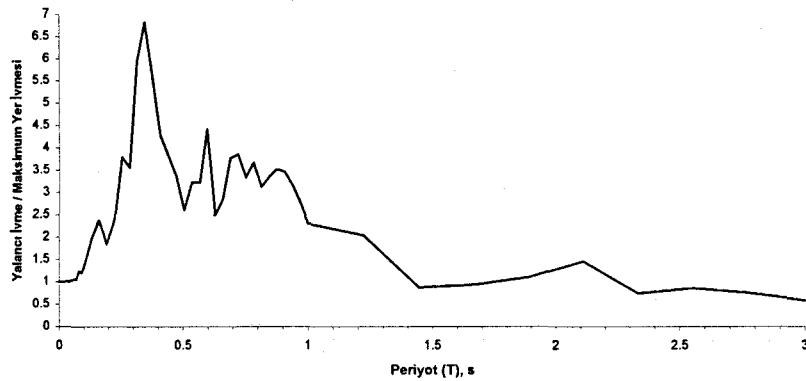
Şekil 4.2 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, Northridge New-360



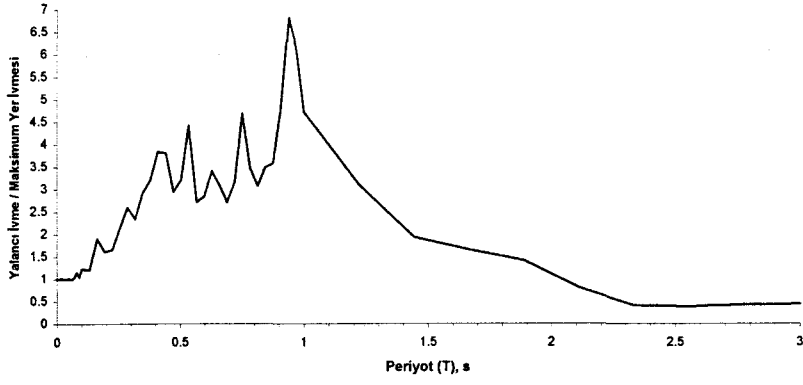
Şekil 4.3 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, Olympia N04W



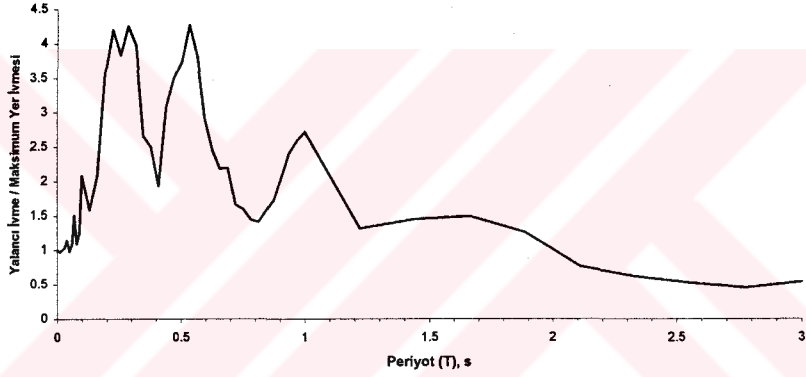
Şekil 4.4 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, Parkfield N65E



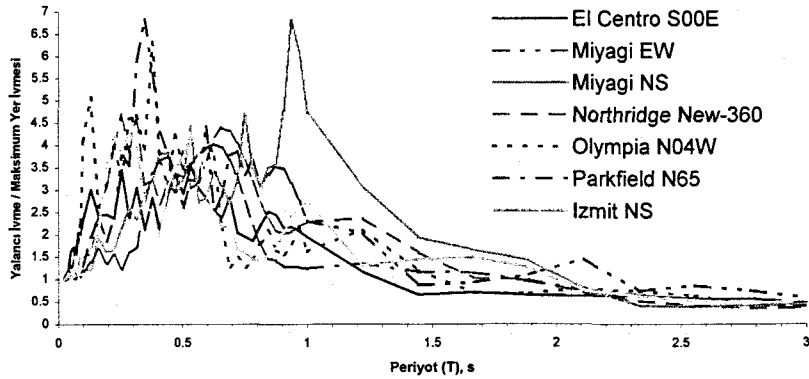
Şekil 4.5 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, Miyagi EW



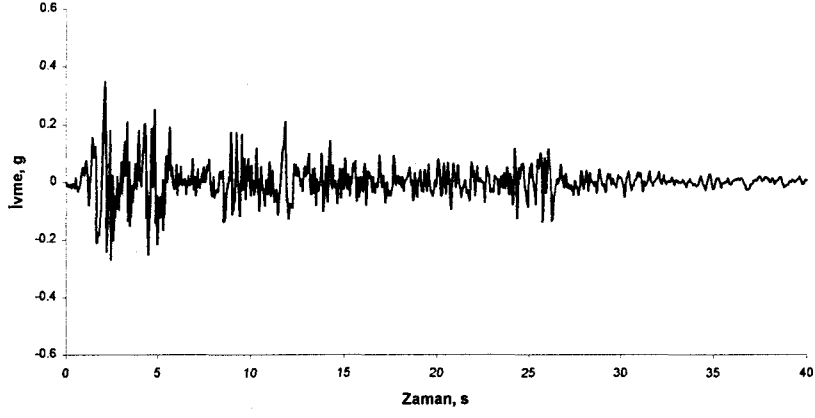
Şekil 4.6 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, Miyagi NS



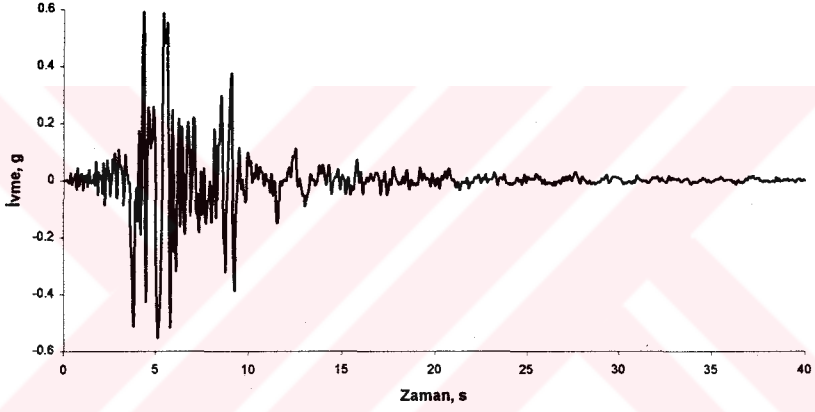
Şekil 4.7 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, İzmit NS



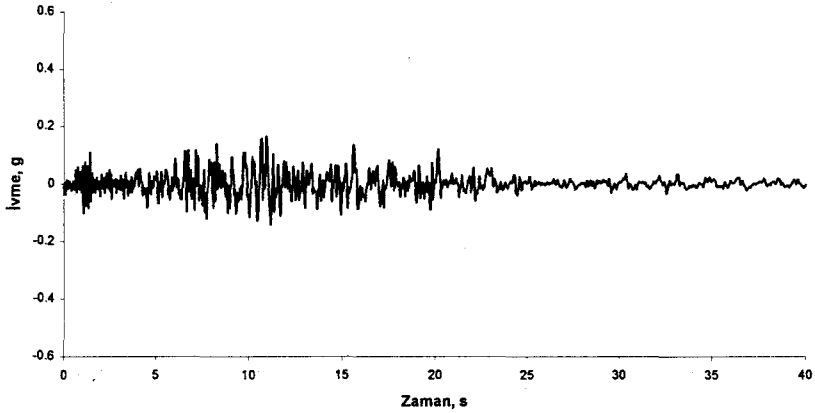
Şekil 4.8 Normalleştirilmiş mukabele spektrumu; $\zeta=5\%$, Tüm Depremler



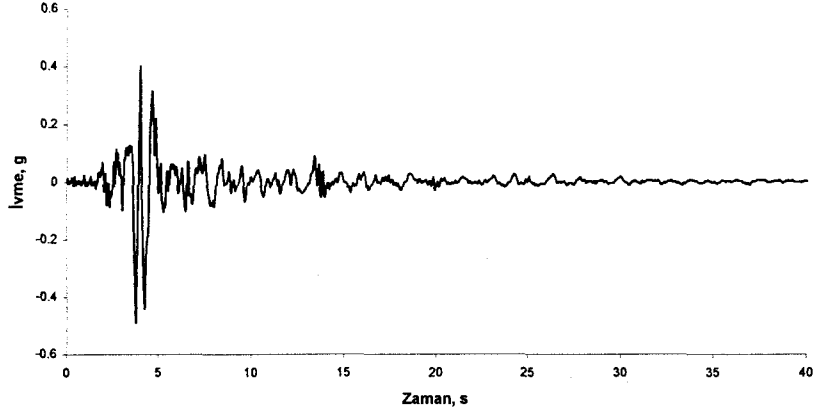
Şekil 4.9 İvme-zaman geçmişi, El Centro S00E



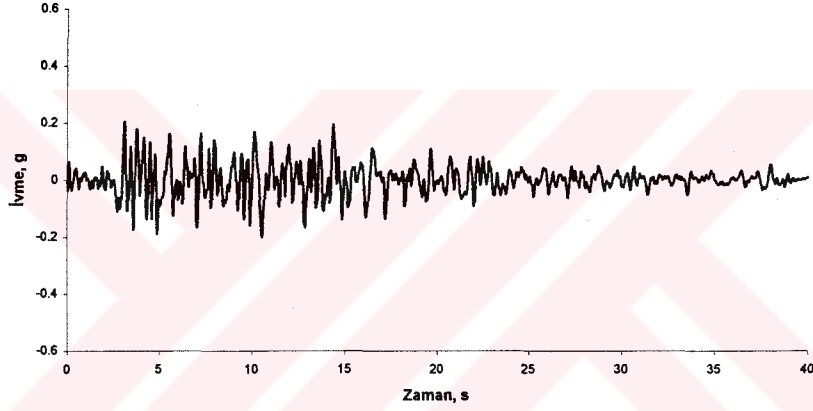
Şekil 4.10 İvme-zaman geçmişi, Northridge New-360



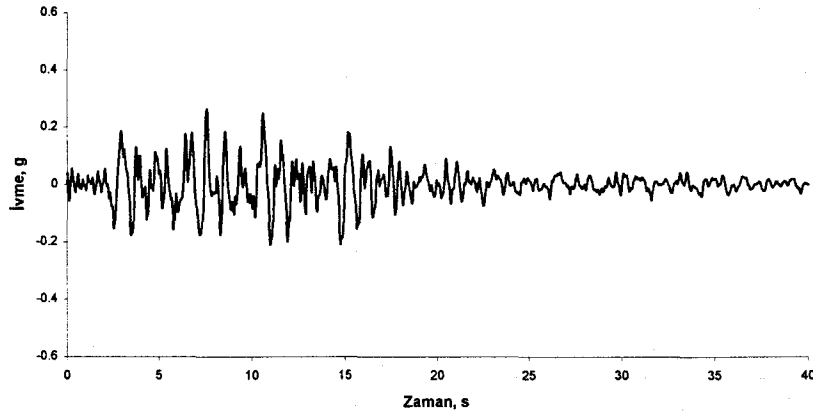
Şekil 4.11 İvme-zaman geçmişi, Olympia N04W



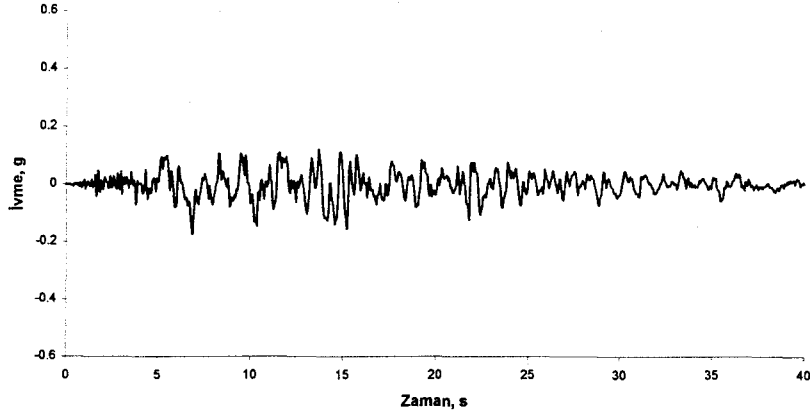
Şekil 4.12 İvme-zaman geçmişi, Parkfield N65E



Şekil 4.13 İvme-zaman geçmişi, Miyagi EW



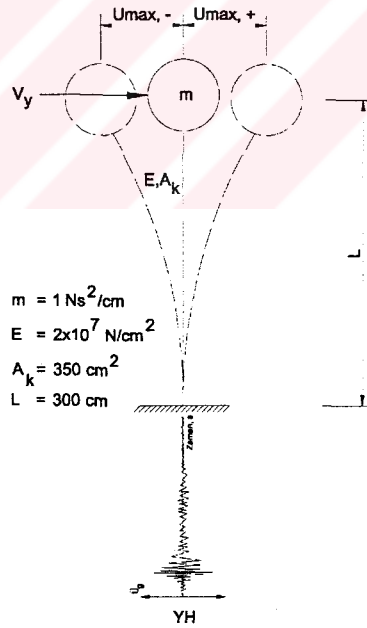
Şekil 4.14 İvme-zaman geçmişi, Miyagi NS



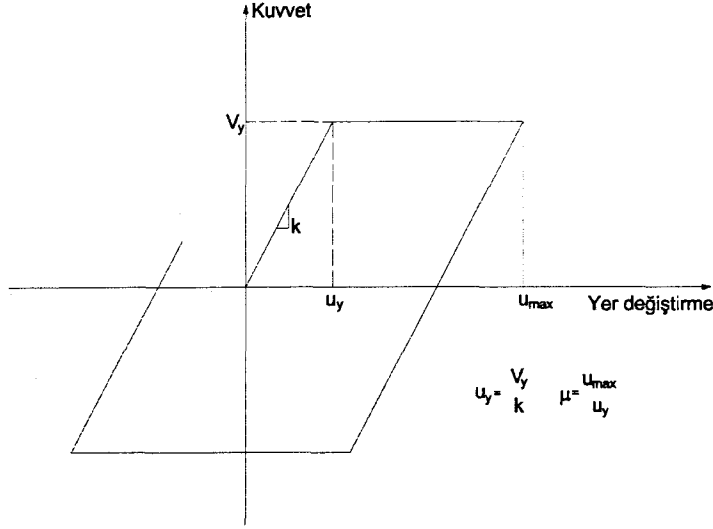
Şekil 4.15 İvme-zaman geçmişi, İzmit NS

4.4 Analitik Model ve Analiz Parametreleri

Eşitlik (4.1)'de verilen enerji terimlerini elde etmek amacıyla TSD bir sistemin analitik modeli kullanılmıştır. Analitik model ve bu modele ait kuvvet-yer değiştirme ilişkisi sırasıyla Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.16 TSD sistemin analitik modeli ve özellikleri



şekil 4.17 TSD sistemin kuvvet-yer değiştirme ilişkisi

Aşağıda, DRAIN-2DX (Prakash vd., 1993) programının veri dosyasında kullanılmış olan parametreler verilmiştir. Ayrıca, dayanıklılık göstergelerine göre değişen bu parametreler Ek 1, Ek 2, Ek 3 ve Ek 4’de verilmiştir.

4.4.1 Rijitlik-Orantılı Sönüm Parametresi

Bu çalışmada, rijitlik-orantılı sönüm kullanılmıştır. Viskoz sönüm matrisi eleman rijitlikleriyle orantılıdır. Rijitlik-orantılı snmın kullanıldığı sönüm matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$c = \beta k \quad (4.2)$$

burada c : sönüm matrisi, k : başlangıç rijitliği, β : rijitlik-orantılı sönüm parametresidir. Bu parametre aşağıdaki gibi tanımlanır (Chopra, 1995).

$$\beta = \frac{2\zeta}{\omega} \quad (4.3)$$

burada ζ : sönüm oranı, ω : açısal frekans’dır. $\omega = 2\pi/T$ değeri (4.3)’de yerine yazılırsa;

$$\beta = \frac{\zeta}{\pi} T \quad (4.4)$$

eşitliği elde edilir. $\zeta = 0.05$ alınarak (4.4) aşağıdaki gibi yazılır.

$$\beta = 0.0159T \quad (4.5)$$

4.4.2 Rijitlik

Şekil 4.16'da verilen bir sistemin rijitliği,

$$k = \frac{3EI_m}{L^3} \quad (4.6)$$

olarak alınır. Burada E : elastisite modülü, I_m : atalet momenti, L : TSD sistemin yüksekliğidir. Bu rijitlik değeri sabittir. (4.6) eşitliğinde de görüldüğü gibi atalet momenti azaldıkça, rijitlik değeri de azalmaktadır.

4.4.3 Periyot

TSD bir sistemin periyodu,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (4.7)$$

olarak tanımlanır.

4.4.4 Atalet Momenti

Eşitlik (4.6) , (4.7) eşitliğinde yerine yazılıp gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra,

$$I_m = \frac{mL^3}{\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 3E} \quad (4.8)$$

olarak bulunur. Yukarıda da görüldüğü gibi, sistemin rijitliği kullanılarak atalet momenti bulunmuştur. Diğer parametreler sabit olduğundan, atalet momenti (4.8) 'de görüldüğü gibi T 'ye bağlı olarak değişmektedir. Yani, periyot arttıkça, atalet momenti azalmaktadır.

4.4.5 Akmaya Yol Açan Taban Kesme Kuvveti

Dayanıklılık göstergesi, η , yapının elastik olmayan şekil değiştirmeler yapmasına başladığı andaki taban kesmesi değeri (akma mukavemeti)'nin yapının sismik ağırlığına (W) oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\eta = \frac{V_y}{W} \quad (4.9)$$

burada V_y : akmaya yol açan taban kesme kuvveti, W : yapı ağırlığı'dır. $W = mg$ değeri (4.9)'de yerine yazılırsa,

$$V_y = \eta mg \quad (4.10)$$

olarak bulunur. (4.10) eşitliğinden de görüldüğü gibi dayanıklılık göstergesi arttıkça, akmaya yol açan taban kesme kuvveti de artmaktadır.

4.4.6 Akma Yer değişirmesi

Şekil 4.17'den de görüleceği üzere, sistemin akma anında yapacağı yer değiştirme,

$$u_y = \frac{V_y}{k} \quad (4.11)$$

olarak alınır. (4.6) eşitliği, (4.11)'de yerine yazılırsa,

$$u_y = \frac{V_y L^3}{3EI_m} \quad (4.12)$$

olarak bulunur. (4.12) eşitliğinden de görüldüğü gibi akmaya yol açan taban kesme kuvveti arttıkça, akma yer değiştirmesi de artacaktır.

4.4.7 Yer değiştirme Sünekliği

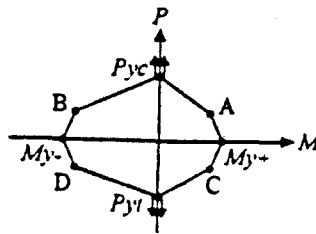
Yer değiştirme sünekliği,

$$\mu = \frac{u_{\max}}{u_y} \quad (4.13)$$

olarak tanımlanır. Burada $u_{\max}$:maksimum yer değiştirme, u_y : akma yer değiştirmesidir.

4.4.8 Akma Yüzeyleri

DRAIN-2DX (Prakash vd., 1993) programının, analitik modeli Şekil 4.16'da tanımlanan bir sistem için kabul ettiği akma yüzeyleri ve Normal Kuvvet-Moment etkileşimi Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18 Çelik-I kirişi tipi için DRAIN-2DX programının kabul ettiği akma yüzeyleri

Şekil 4.18’de bulunan A ve B noktalarının tanımlanabilmesi için, DRAIN-2DX (Prakash vd., 1993) programında aşağıda verilen oranların veri dosyasında belirtilmiş olması gerekmektedir (Powell, 1993).

A noktası için:

$$\frac{P}{P_{yc}} \quad (4.14)$$

$$\frac{M}{M_y +} \quad (4.15)$$

B noktası için:

$$\frac{P}{P_{yc}} \quad (4.16)$$

$$\frac{M}{M_y -} \quad (4.17)$$

Analitik modelde kullanılan çeliğin akma gerilmesi olarak, $F_y = 220$ MPa alınmıştır. Mukavemet’ten bilinen,

$$\sigma = \frac{P}{A_k} \quad (4.18)$$

eşitliği yardımıyla,

$$P = \sigma \cdot A_k \quad (4.19)$$

eşitliği yazılabilir. $\sigma = F_y = 22000$ N/cm² alınarak, (4.14) ve (4.16) eşitliklerinde verilen P_{yc} değeri aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$P_{yc} = 22000 \times 350 = 770 \times 10^4 \text{ N}$$

olarak bulunur. Şekil 4.18’de tanımlanan P_{yt} değeri ise,

$$P_{yt} = 0.9 P_{yc} \quad (4.20)$$

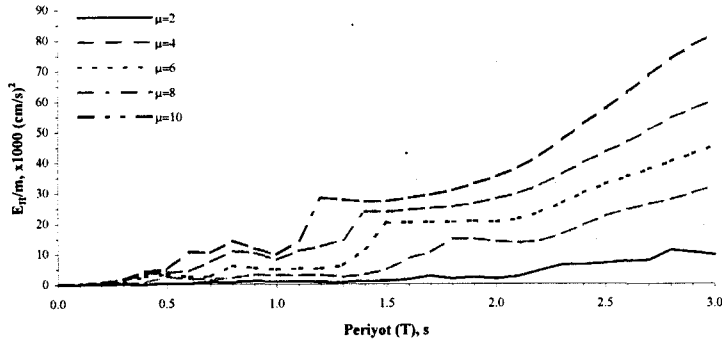
eşitliği kullanılarak,

$$P_{yt} = 0.9 \times 770 \times 10^4 = 693 \times 10^4 \text{ N}$$

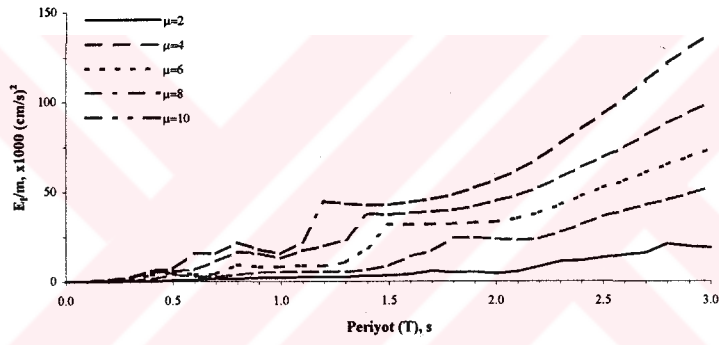
olarak bulunur. Analizlerde, (4.14) ve (4.16) eşitlikleri için 0.9; (4.15) ve (4.17) eşitlikleri için ise 0.2 değeri alınmıştır.

Yukarıda anlatılan parametrelerin DRAIN-2DX (Prakash vd., 1993) programında kullanılması ile elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi aşağıda sunulmuştur. Sunuş sırasında kolay anlaşılabilmesi için, mukabele parametrelerinin her deprem için dayanıklılık göstergesine bağlı olarak verilmesi tercih edilmiştir. Daha önce de açıklandığı gibi mukabele parametreleri; birim kütle için histeretik enerji talebi, birim kütle için toplam enerji girişi, istenilen süneklik değerlerini sağlayan ölçek faktörlerinin karşılık geldiği eşdeğer en büyük yer ivmesi ve eşdeğer hız değeridir.

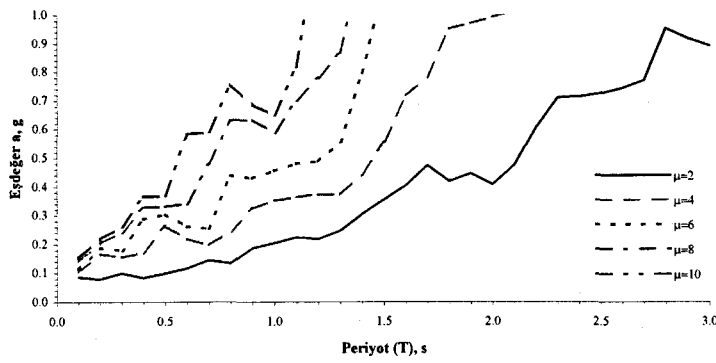




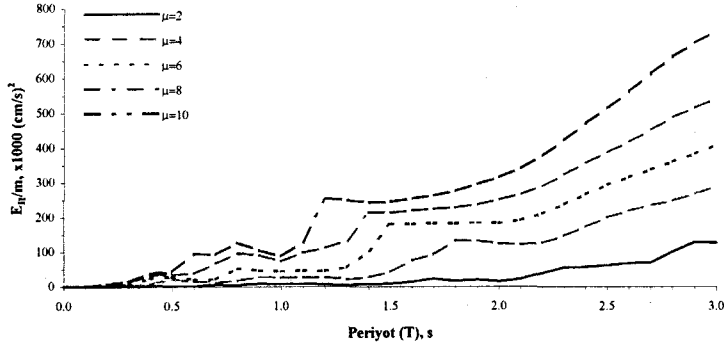
Şekil 4.19 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.1$



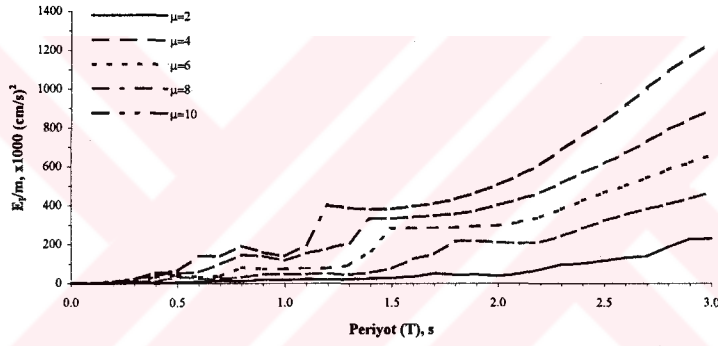
Şekil 4.20 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.1$



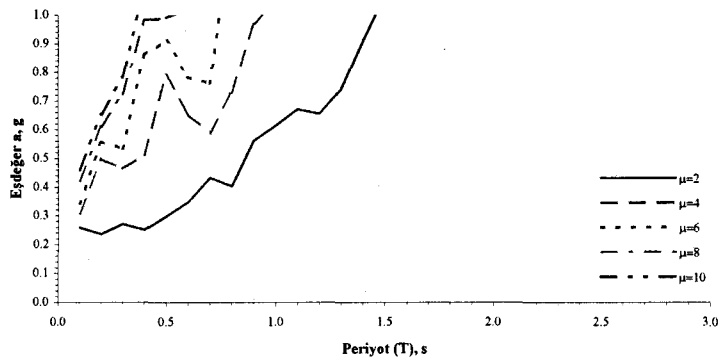
Şekil 4.21 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.1$



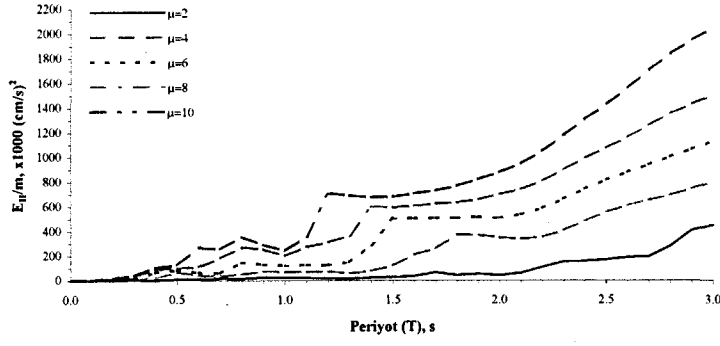
Şekil 4.22 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.3$



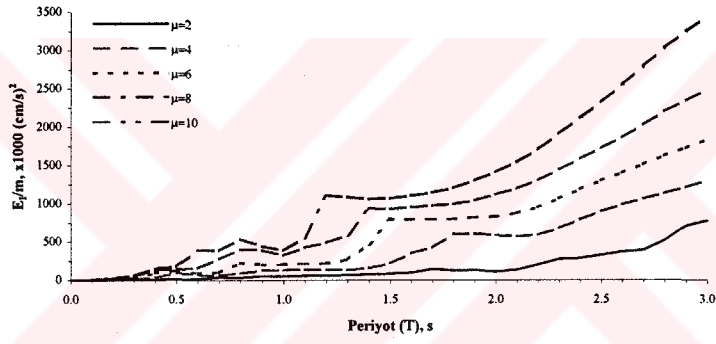
Şekil 4.23 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.3$



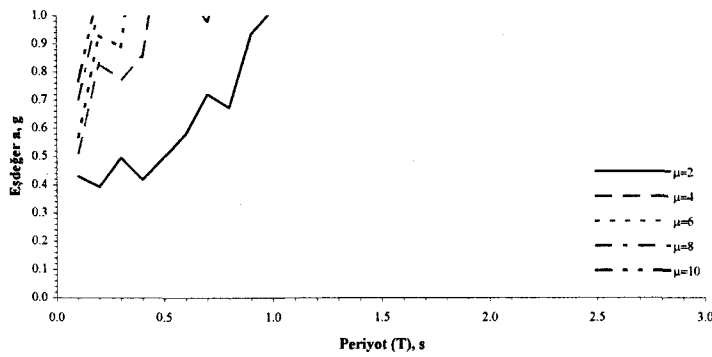
Şekil 4.24 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.3$



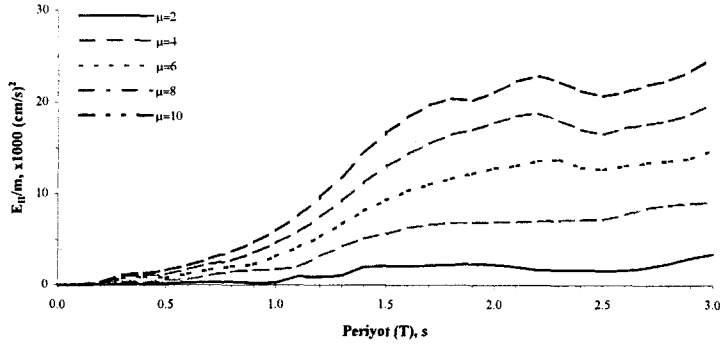
Şekil 4.25 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.5$



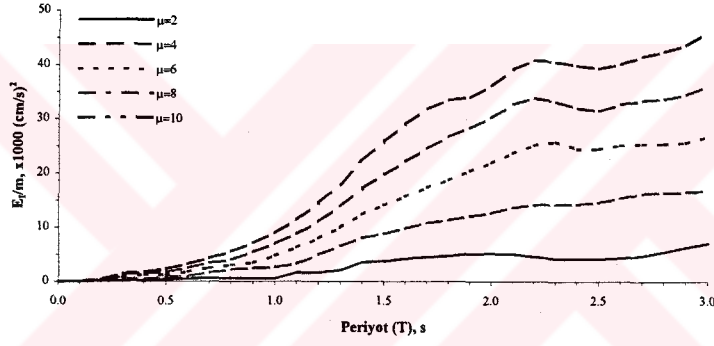
Şekil 4.26 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.5$



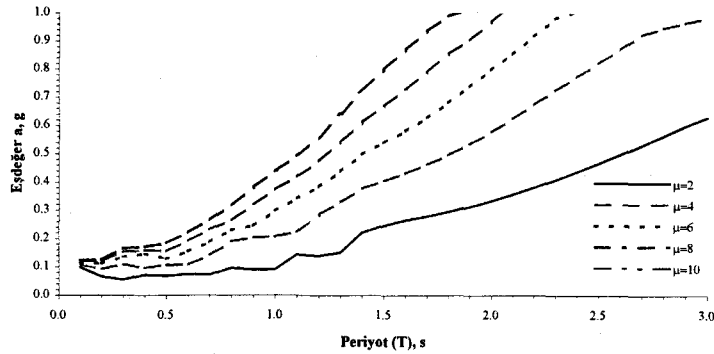
Şekil 4.27 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.5$



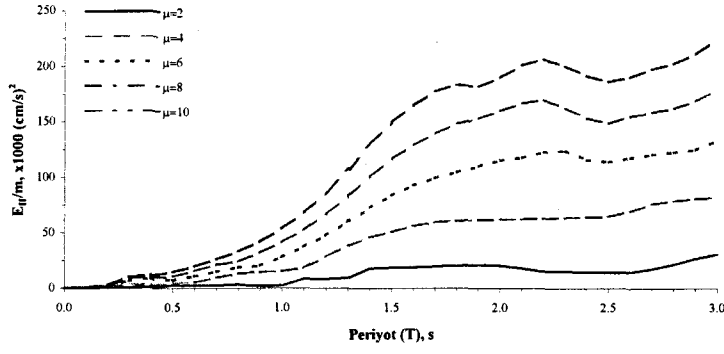
Şekil 4.28 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.1$



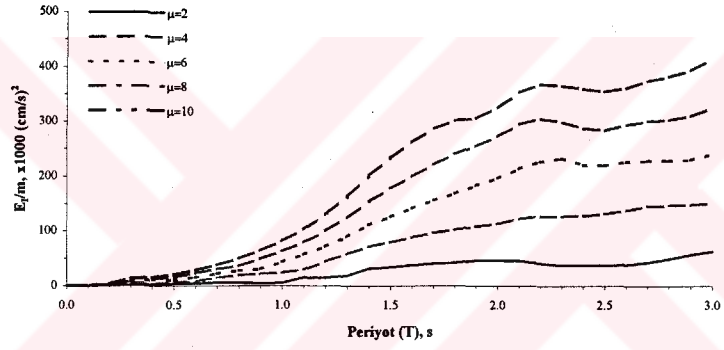
Şekil 4.29 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.1$



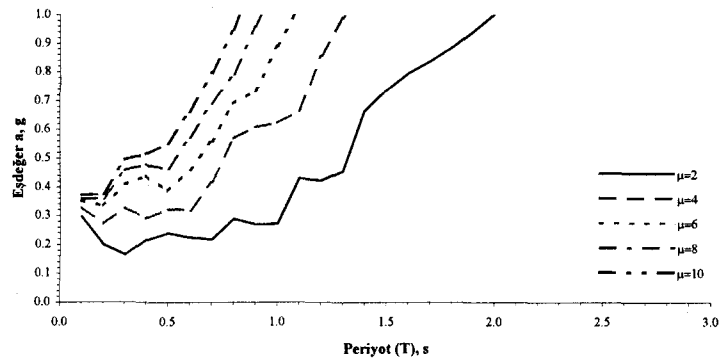
Şekil 4.30 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.1$



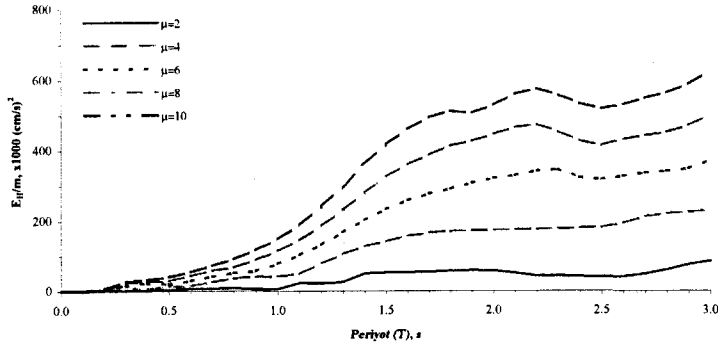
Şekil 4.31 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.3$



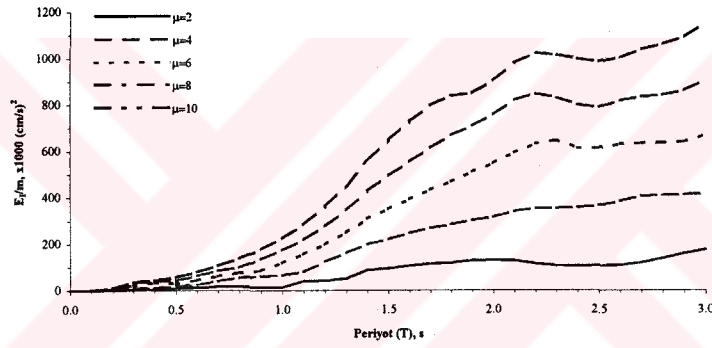
Şekil 4.32 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.3$



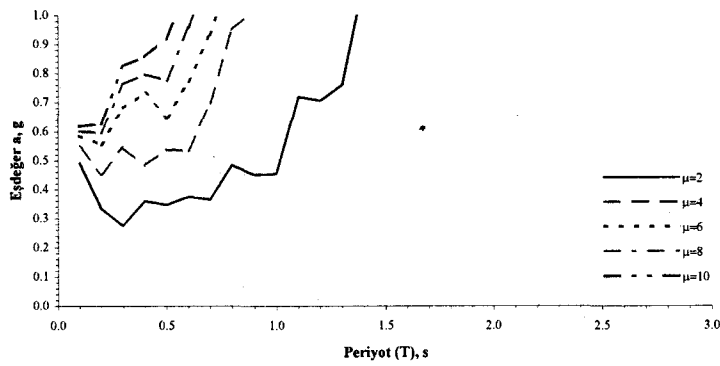
Şekil 4.33 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.3$



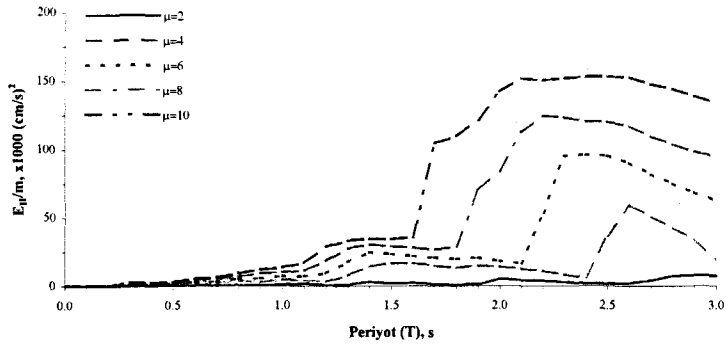
Şekil 4.34 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.5$



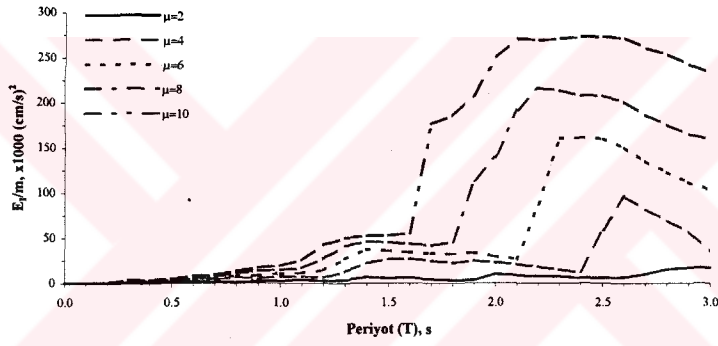
Şekil 4.35 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.5$



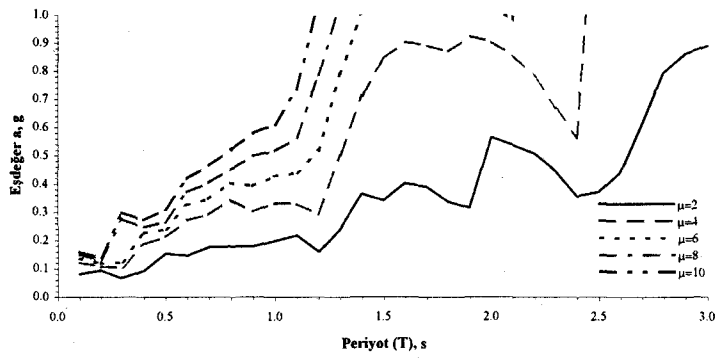
Şekil 4.36 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.5$



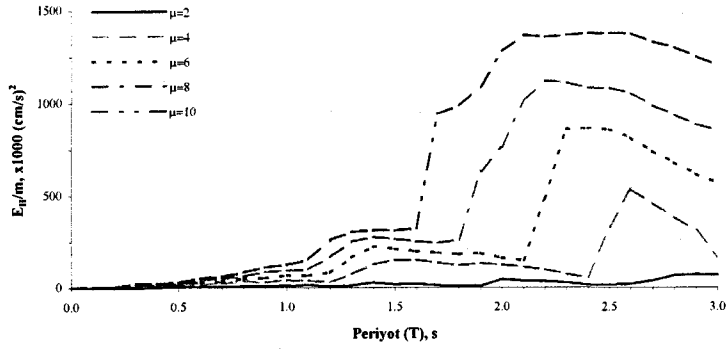
Şekil 4.37 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.1$



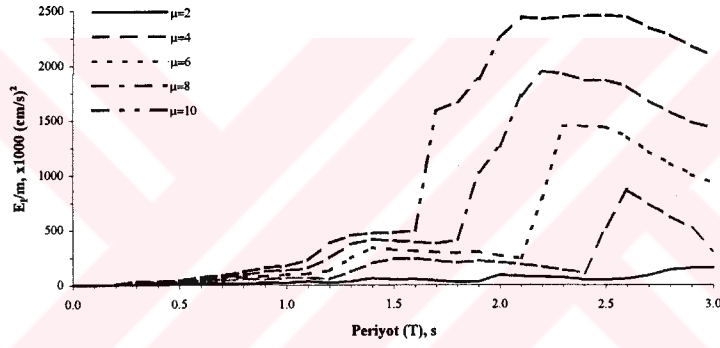
Şekil 4.38 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.1$



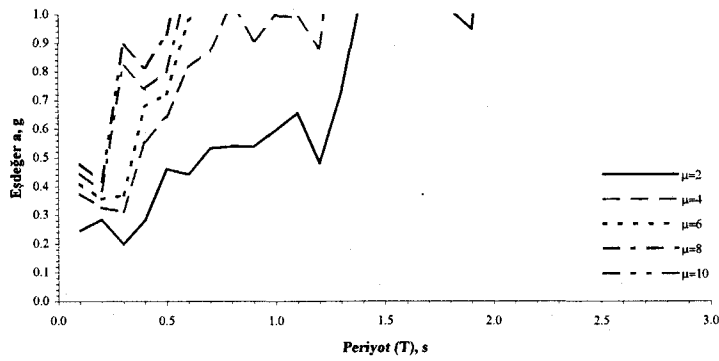
Şekil 4.39 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.1$



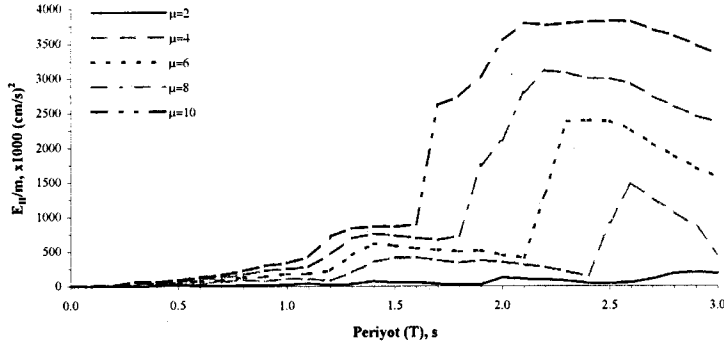
Şekil 4.40 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.3$



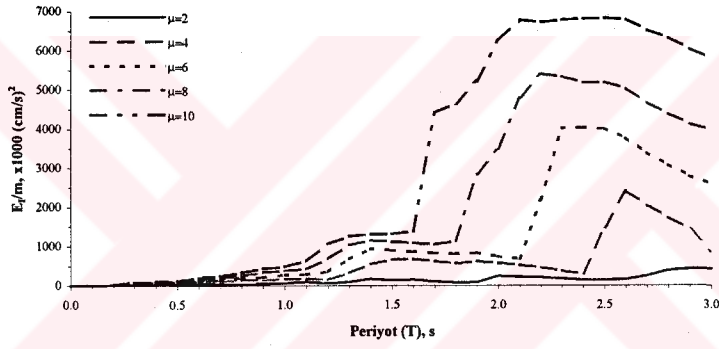
Şekil 4.41 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.3$



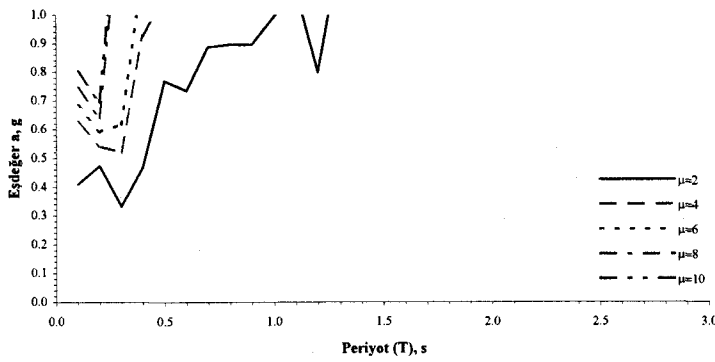
Şekil 4.42 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.3$



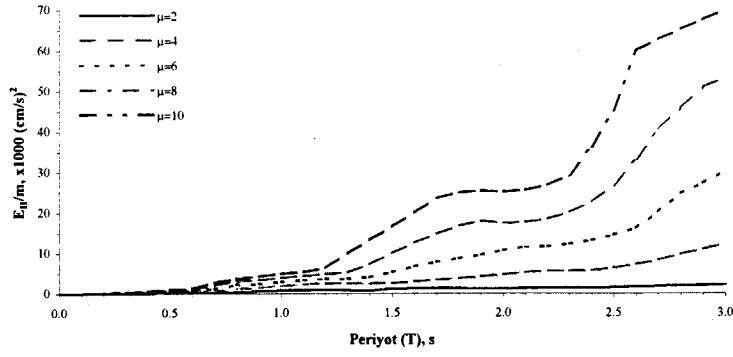
Şekil 4.43 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.5$



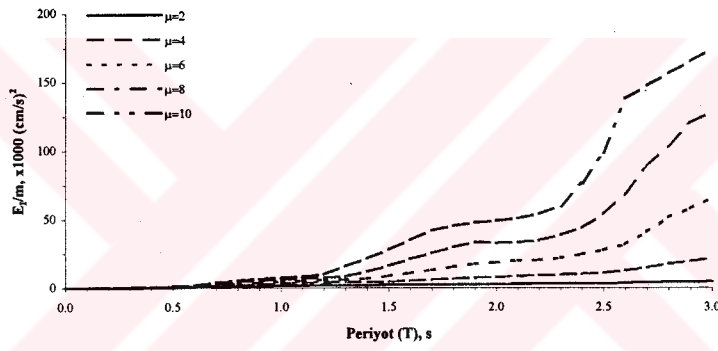
Şekil 4.44 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.5$



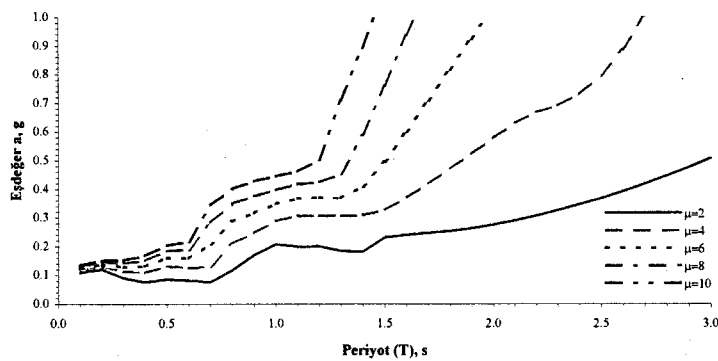
Şekil 4.45 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.5$



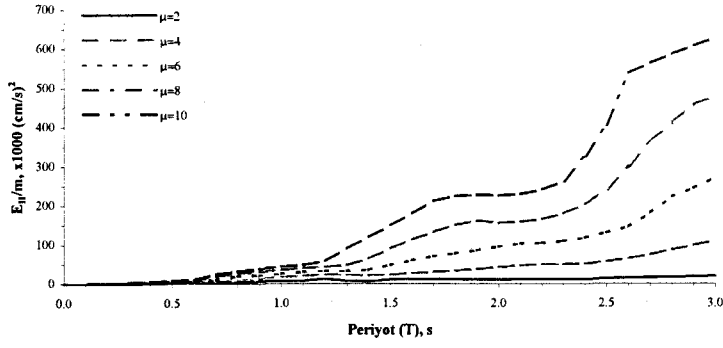
Şekil 4.46 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.1$



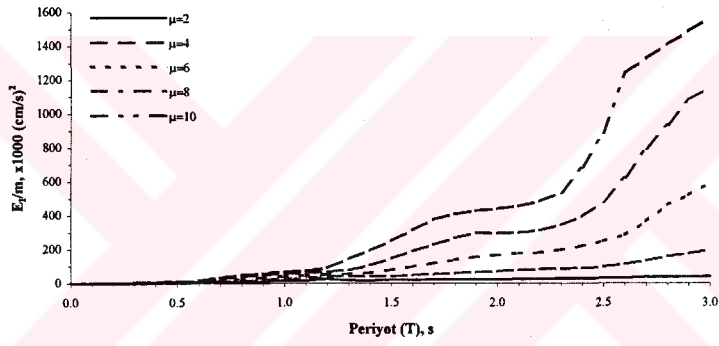
Şekil 4.47 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.1$



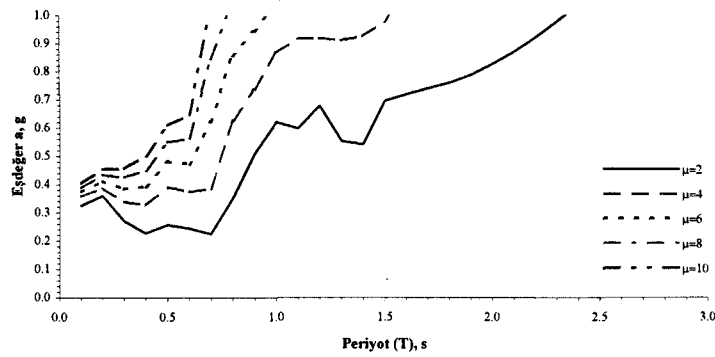
Şekil 4.48 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.1$



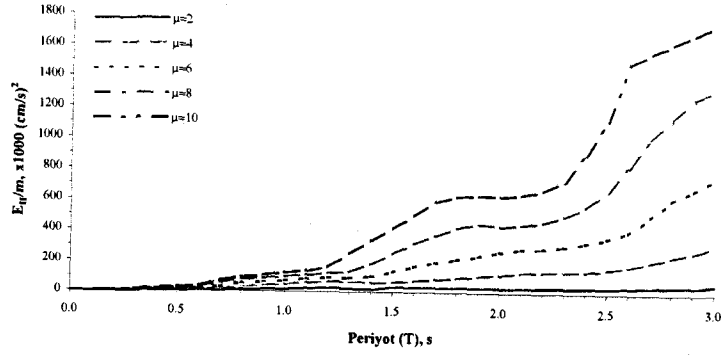
Şekil 4.49 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.3$



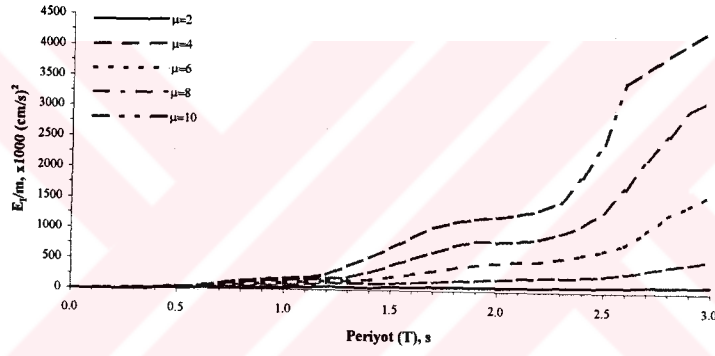
Şekil 4.50 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.3$



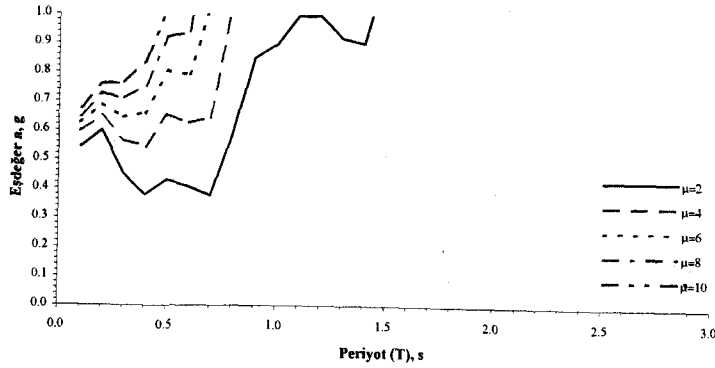
Şekil 4.51 Eşdeğer α -periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.3$



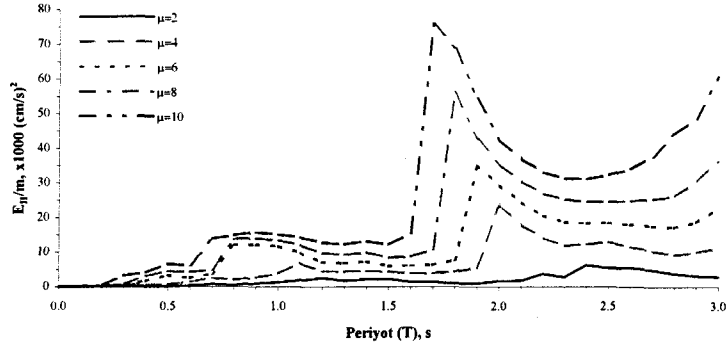
Şekil 4.52 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.5$



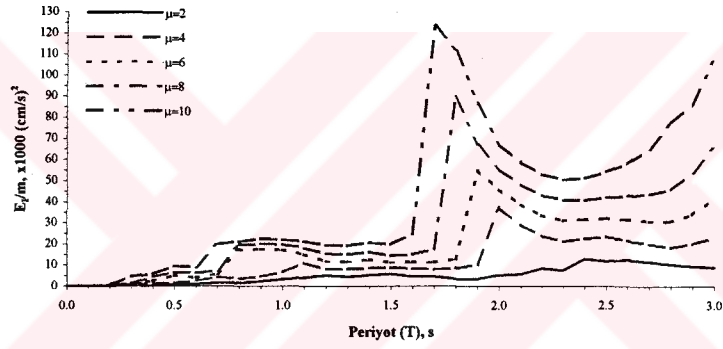
Şekil 4.53 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.5$



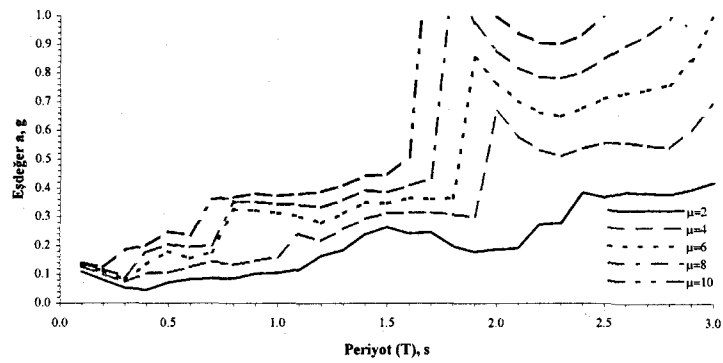
Şekil 4.54 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.5$



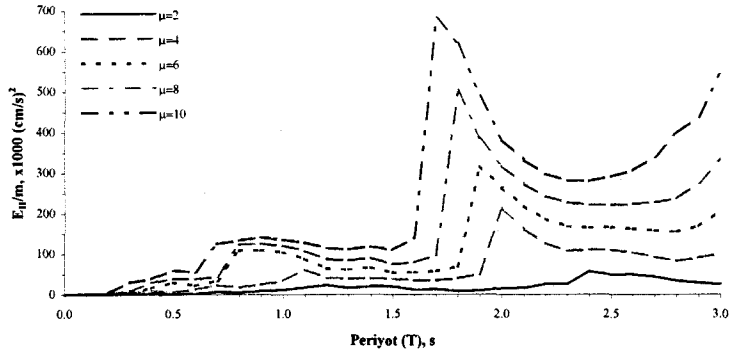
Şekil 4.55 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.1$



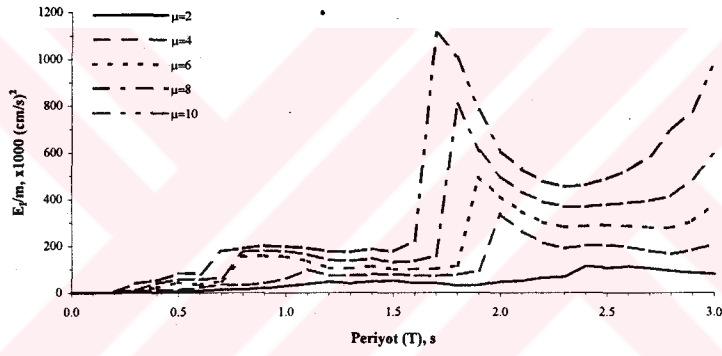
Şekil 4.56 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.1$



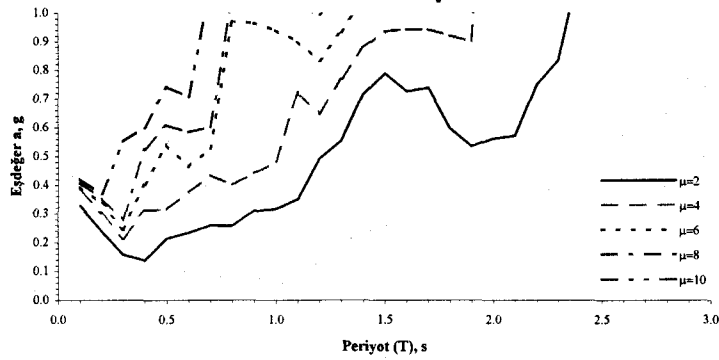
Şekil 4.57 Eşdeğer a -periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.1$



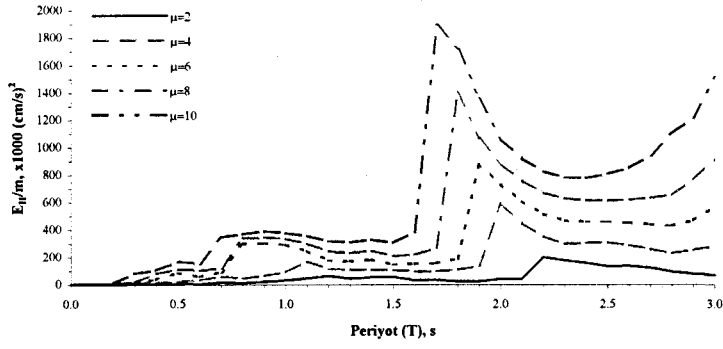
Şekil 4.58 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.3$



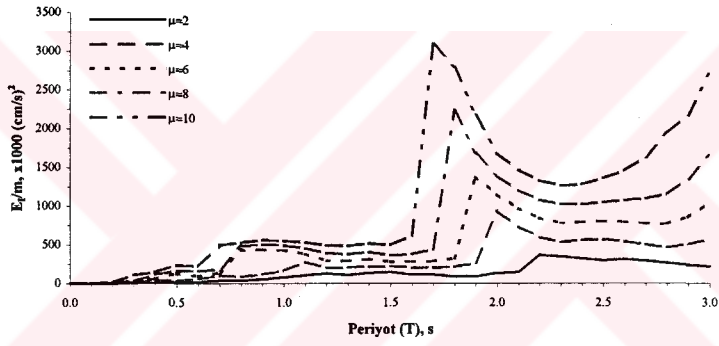
Şekil 4.59 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.3$



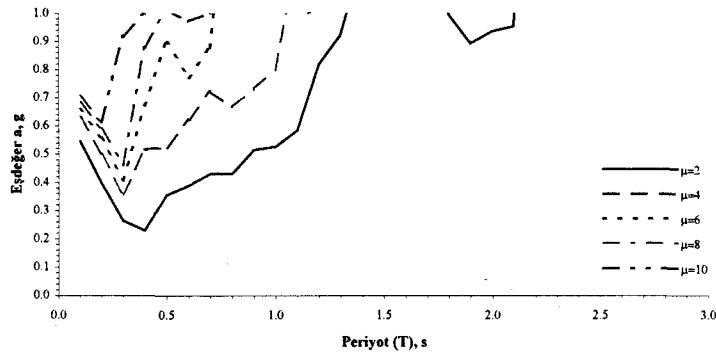
Şekil 4.60 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.3$



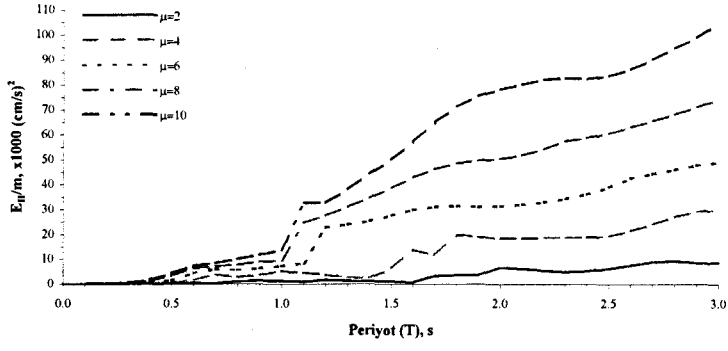
Şekil 4.61 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.5$



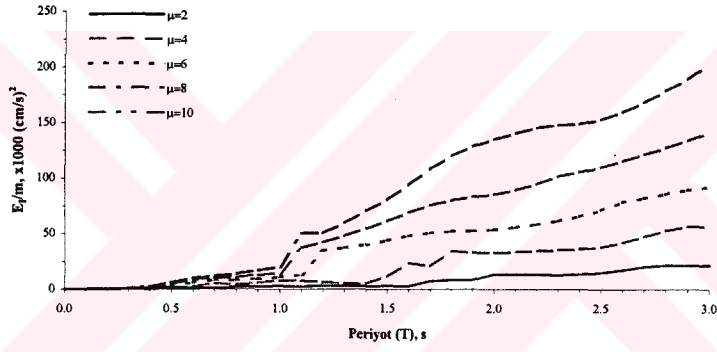
Şekil 4.62 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.5$



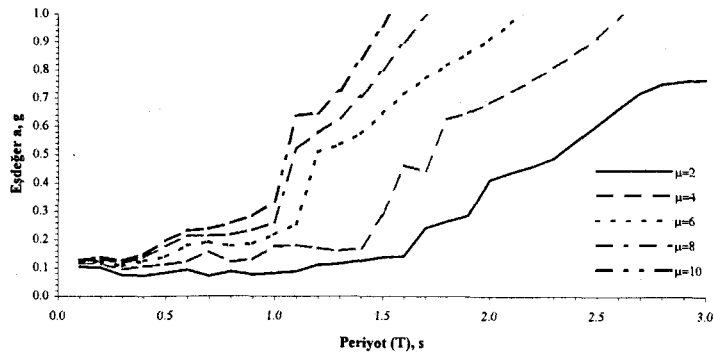
Şekil 4.63 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.5$



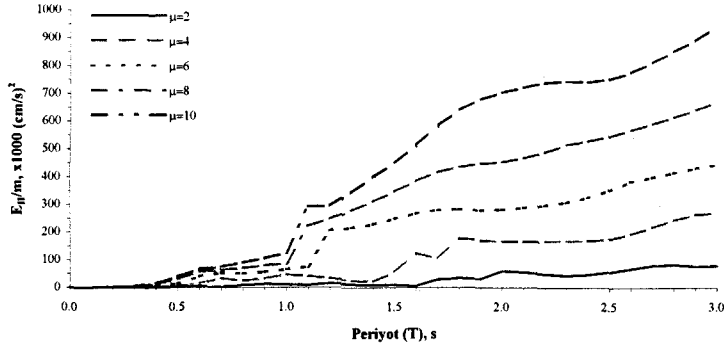
Şekil 4.64 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.1$



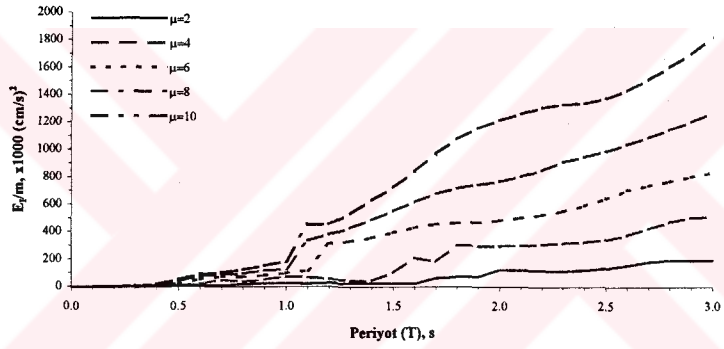
Şekil 4.65 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.1$



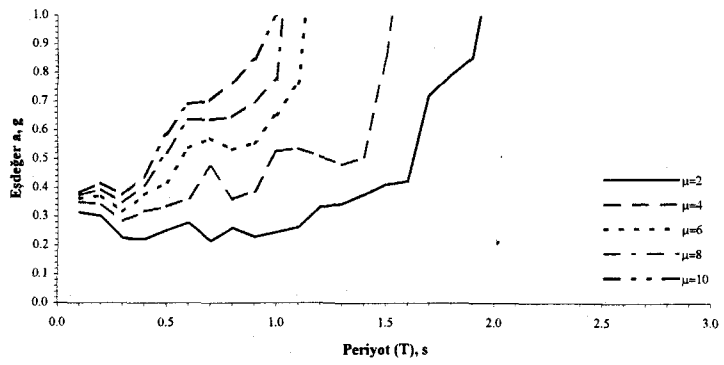
Şekil 4.66 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.1$



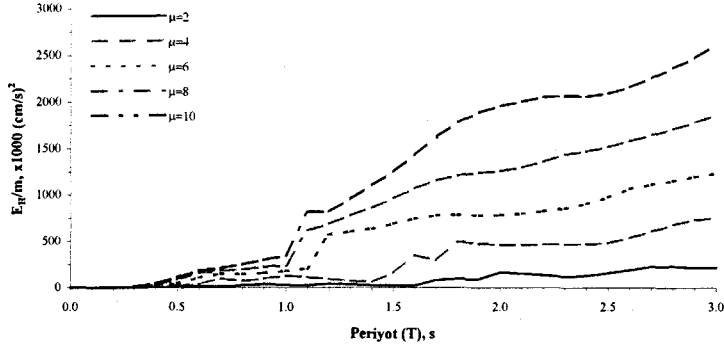
Şekil 4.67 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.3$



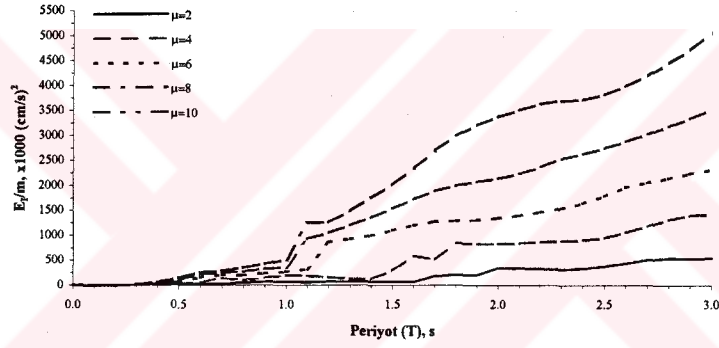
Şekil 4.68 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.3$



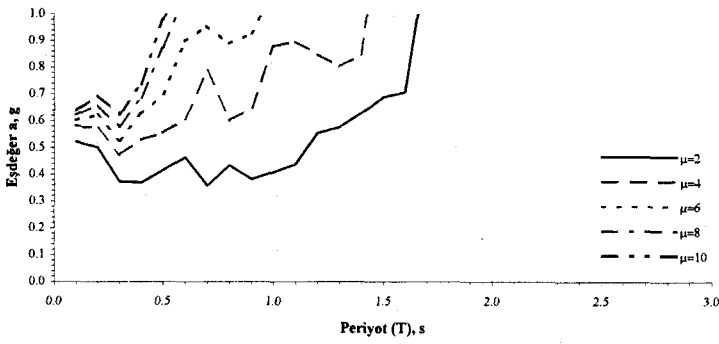
Şekil 4.69 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.3$



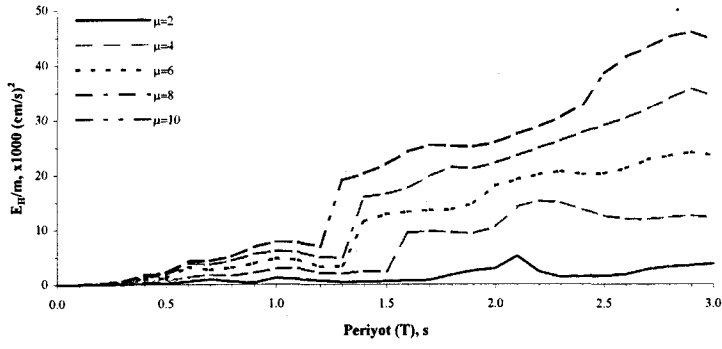
Şekil 4.70 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.5$



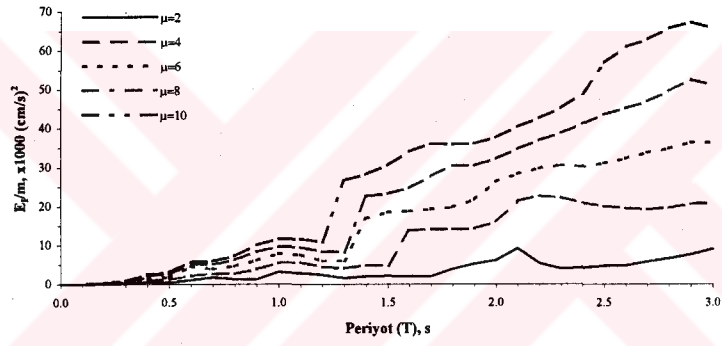
Şekil 4.71 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.5$



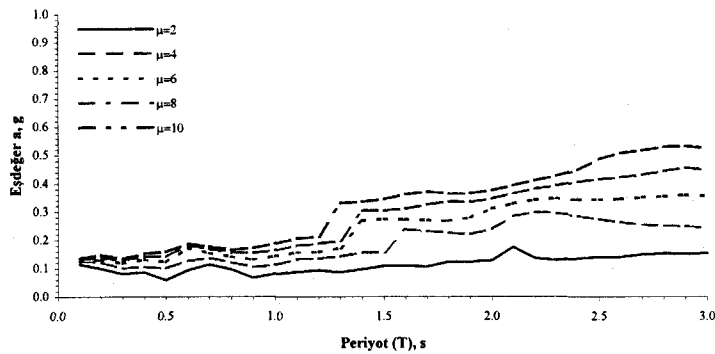
Şekil 4.72 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.5$



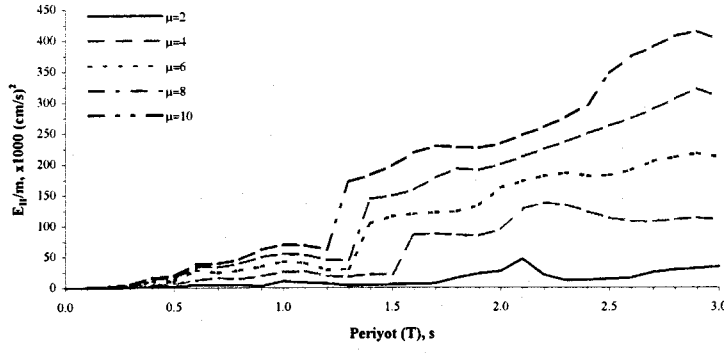
Şekil 4.73 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.1$



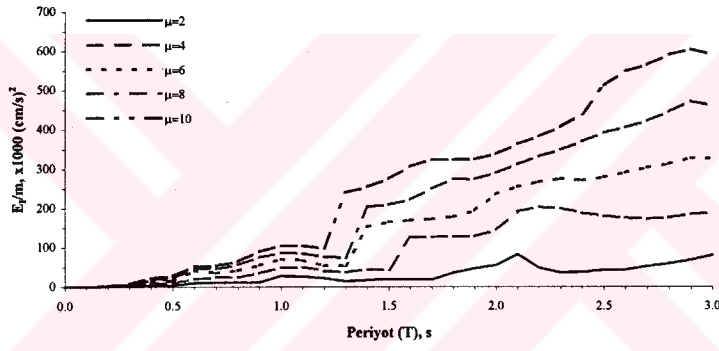
Şekil 4.74 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.1$



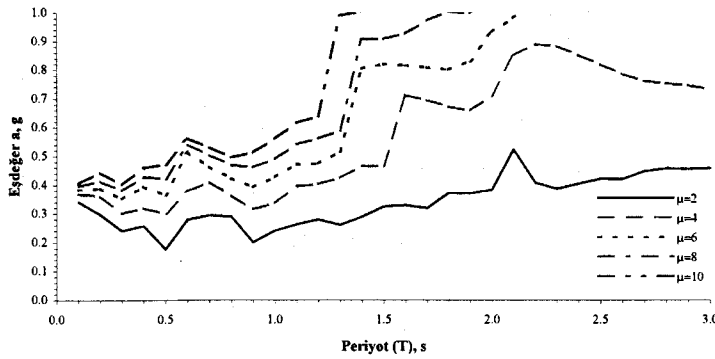
Şekil 4.75 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.1$



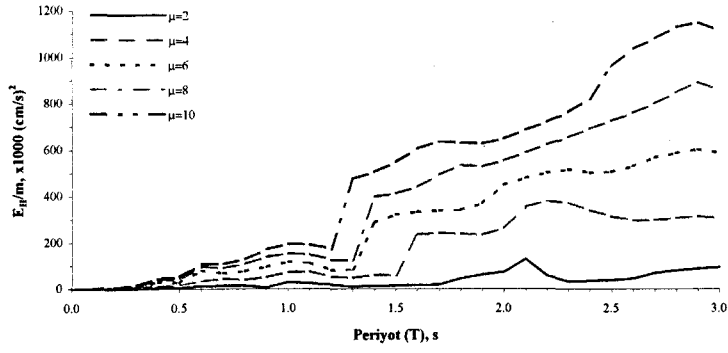
Şekil 4.76 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.3$



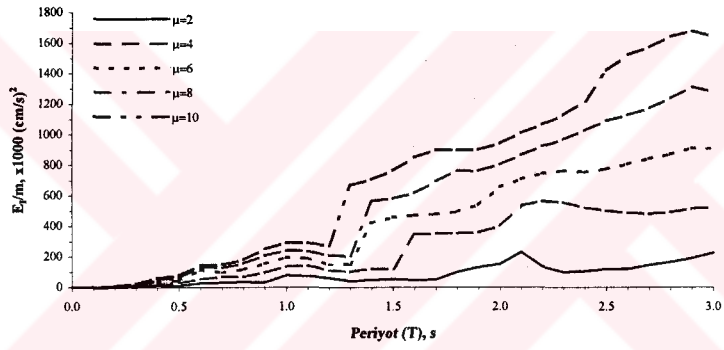
Şekil 4.77 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.3$



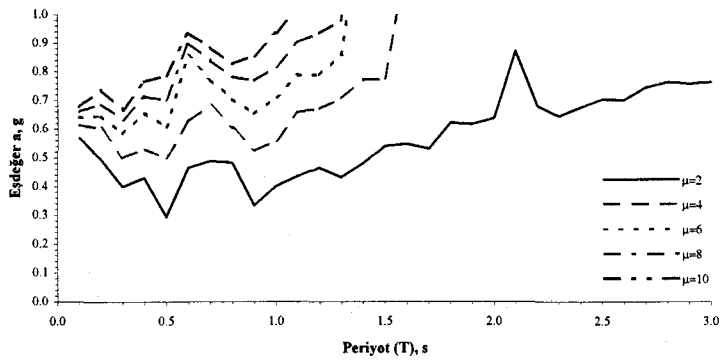
Şekil 4.78 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.3$



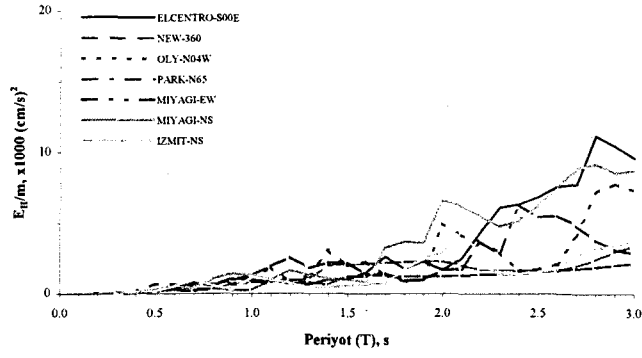
Şekil 4.79 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.5$



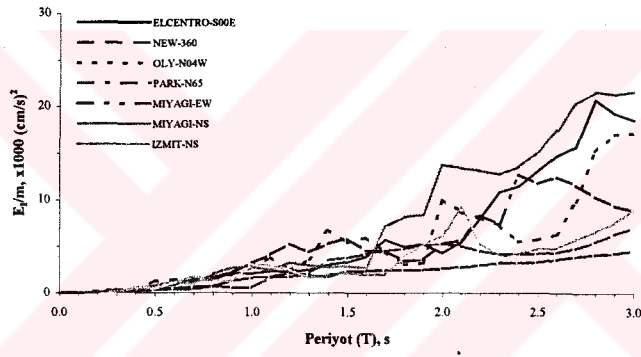
Şekil 4.80 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.5$



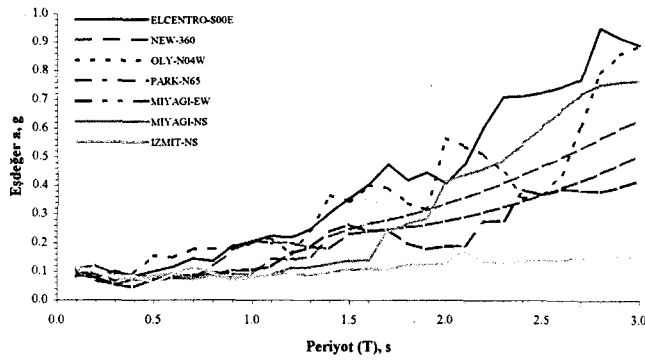
Şekil 4.81 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.5$



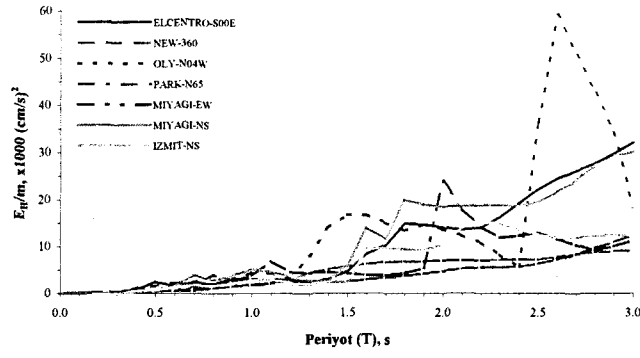
Şekil 4.82 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=2$



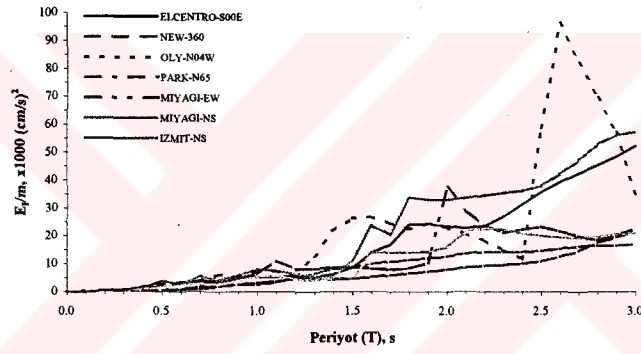
Şekil 4.83 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=2$



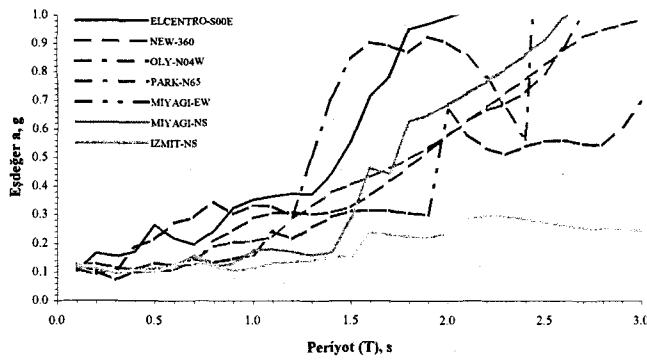
Şekil 4.84 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=2$



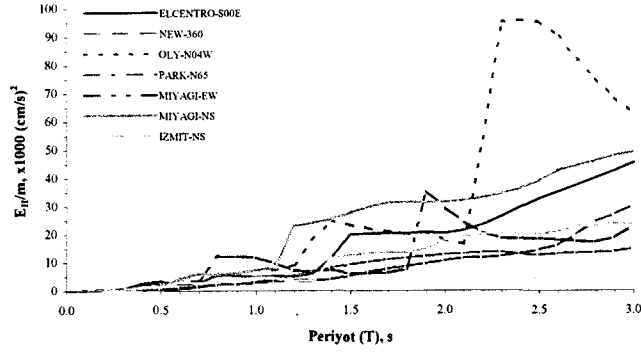
Şekil 4.85 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=4$



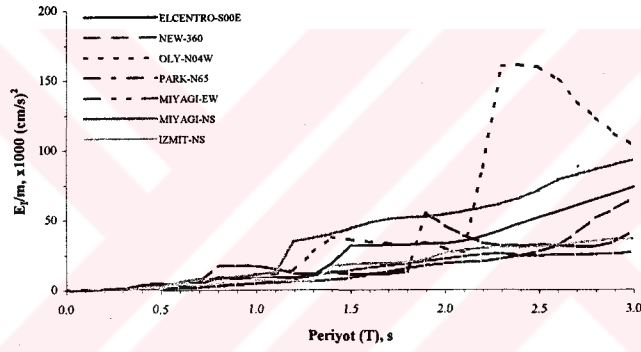
Şekil 4.86 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=4$



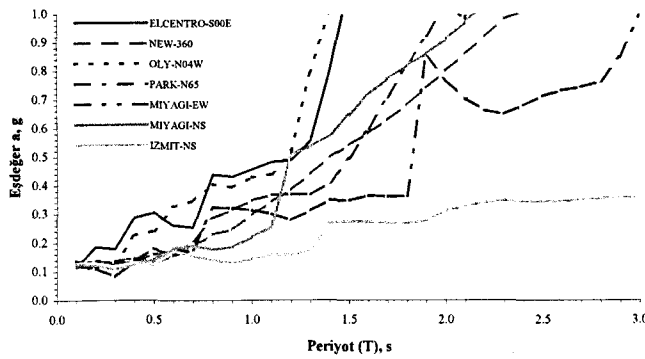
Şekil 4.87 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=4$



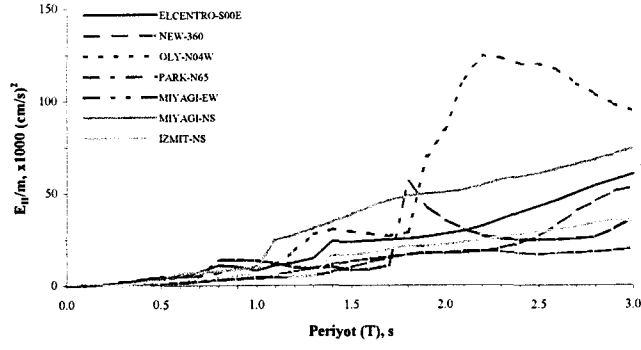
Şekil 4.88 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=6$



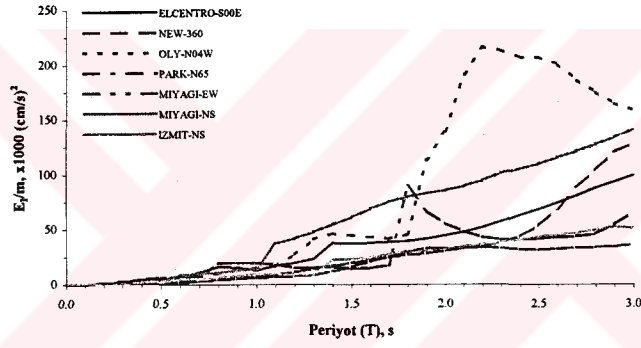
Şekil 4.89 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=6$



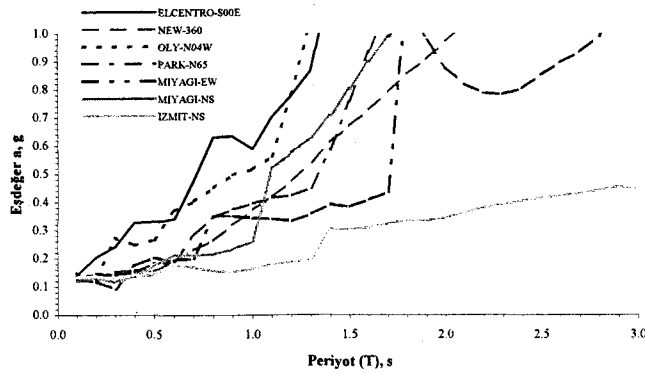
Şekil 4.90 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=6$



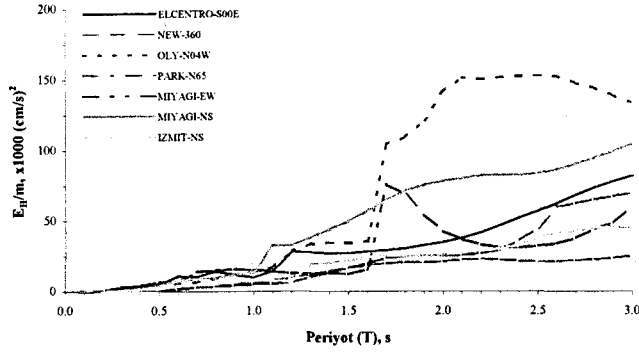
Şekil 4.91 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=8$



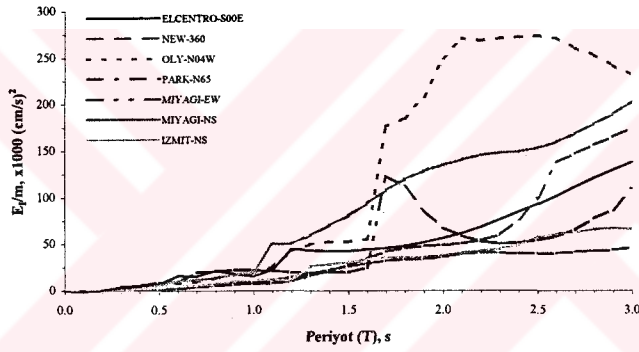
Şekil 4.92 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=8$



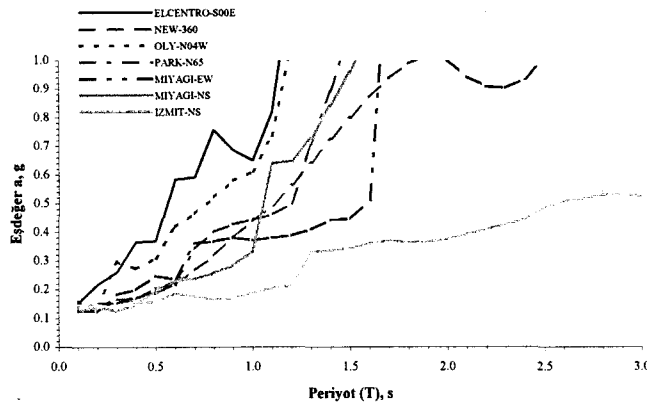
Şekil 4.93 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=8$



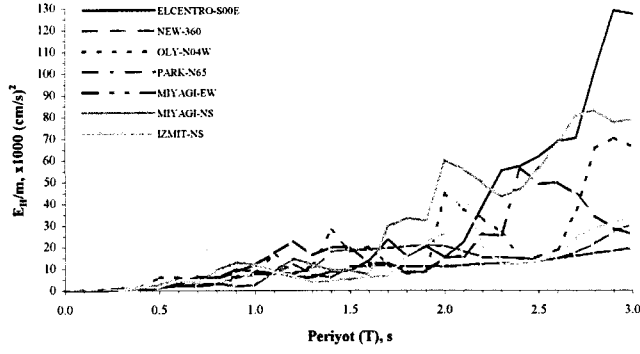
Şekil 4.94 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=10$



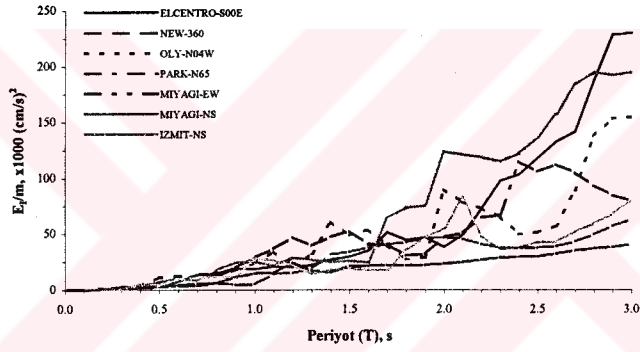
Şekil 4.95 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=10$



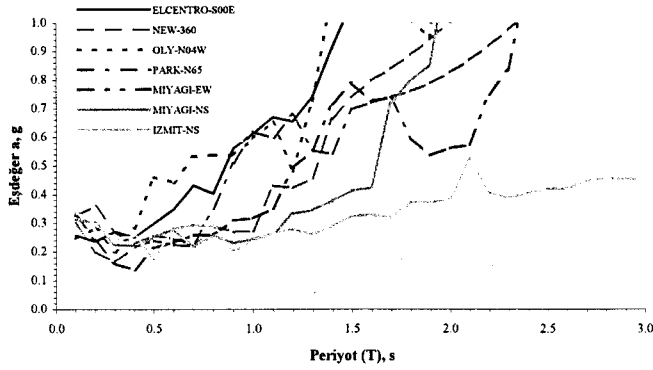
Şekil 4.96 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.1$, $\mu=10$



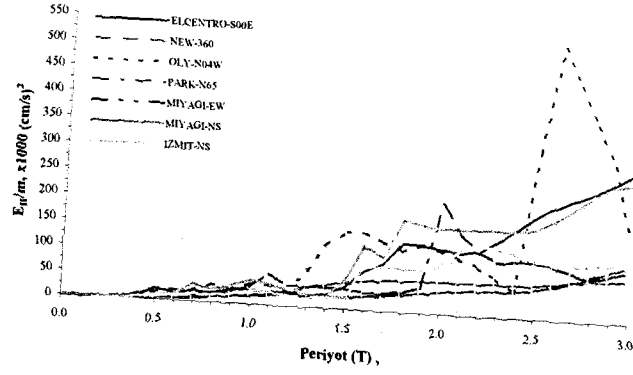
Şekil 4.97 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=2$



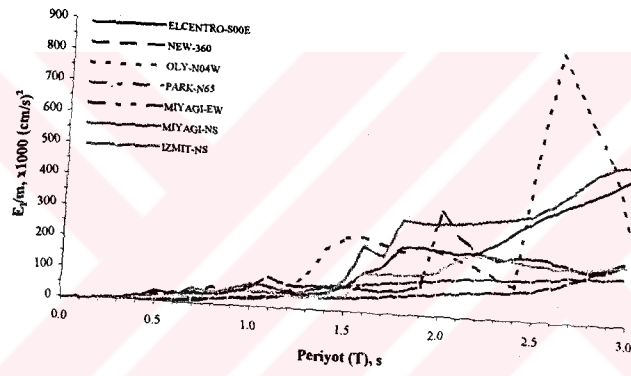
Şekil 4.98 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=2$



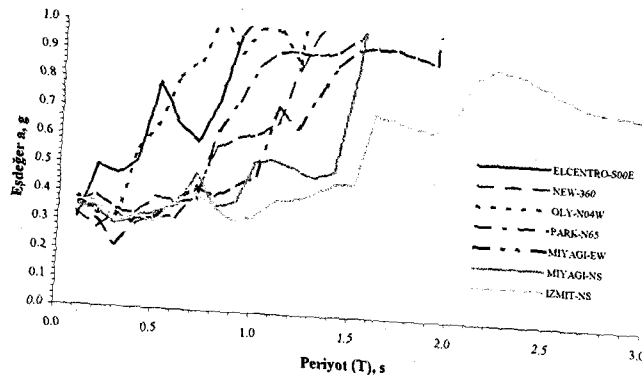
Şekil 4.99 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=2$



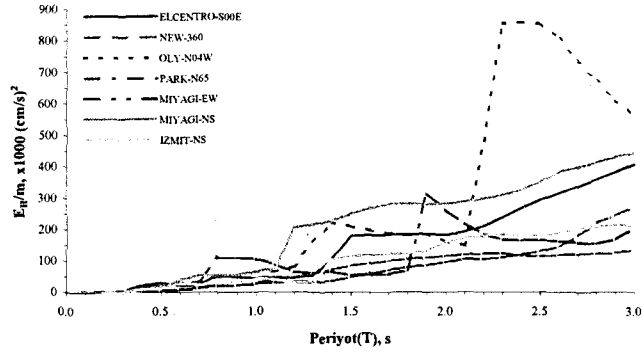
Şekil 4.100 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=4$



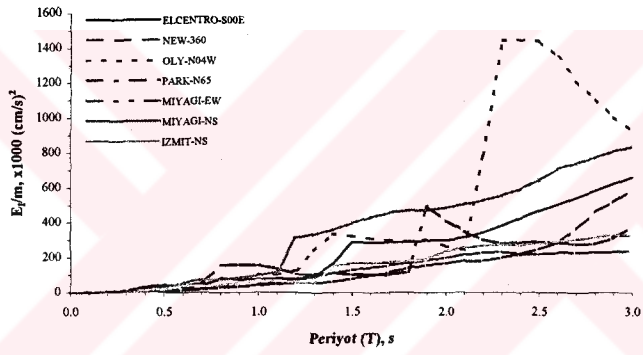
Şekil 4.101 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=4$



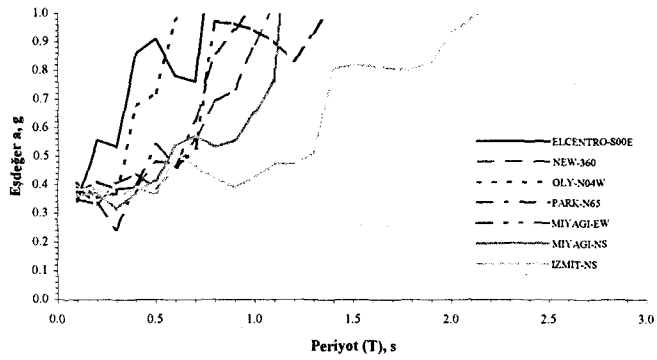
Şekil 4.102 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=4$



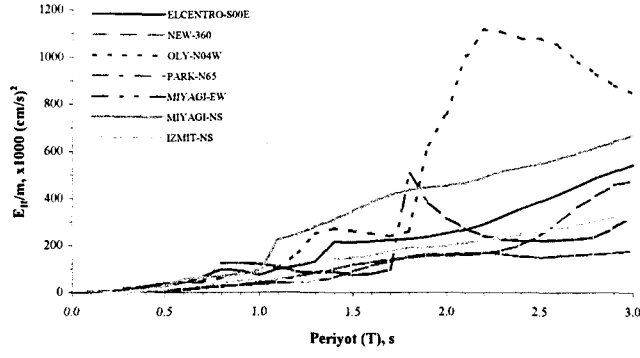
Şekil 4.103 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=6$



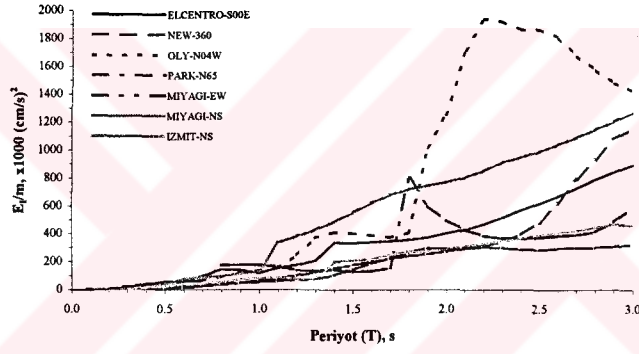
Şekil 4.104 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=6$



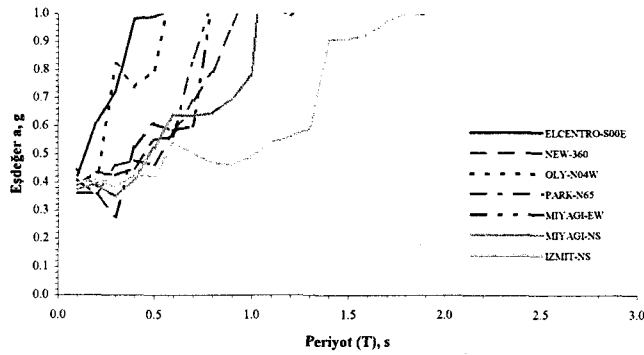
Şekil 4.105 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=6$



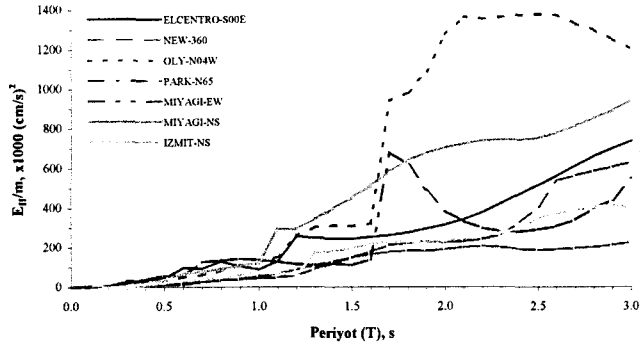
Şekil 4.106 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=8$



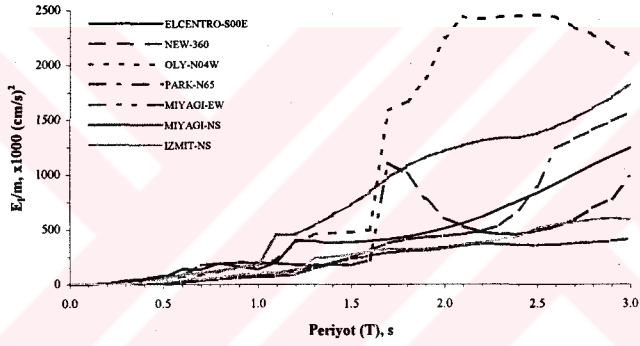
Şekil 4.107 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=8$



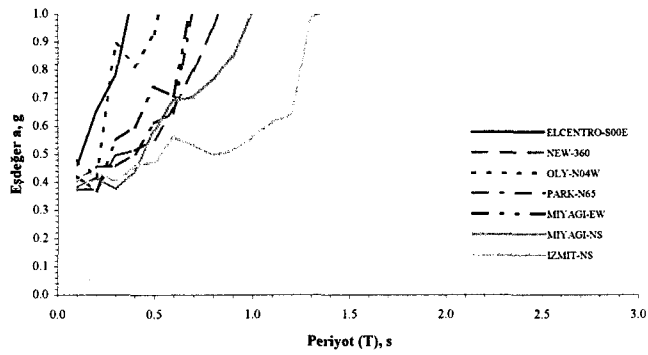
Şekil 4.108 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=8$



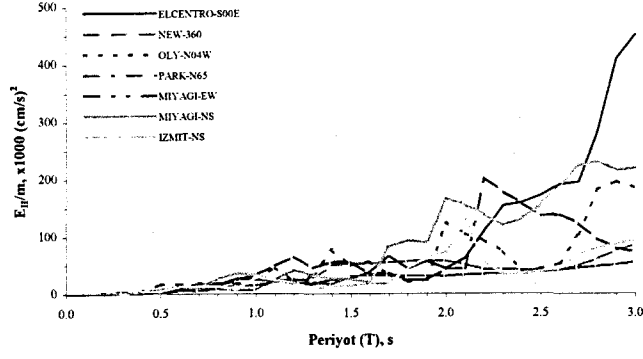
Şekil 4.109 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=10$



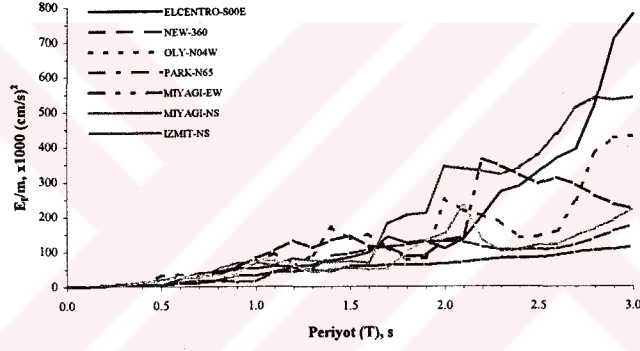
Şekil 4.110 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=10$



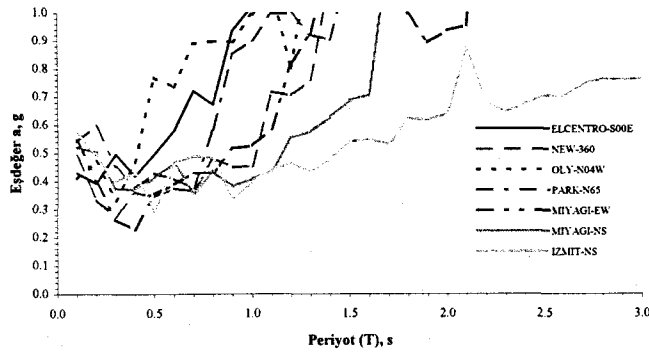
Şekil 4.111 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.3$, $\mu=10$



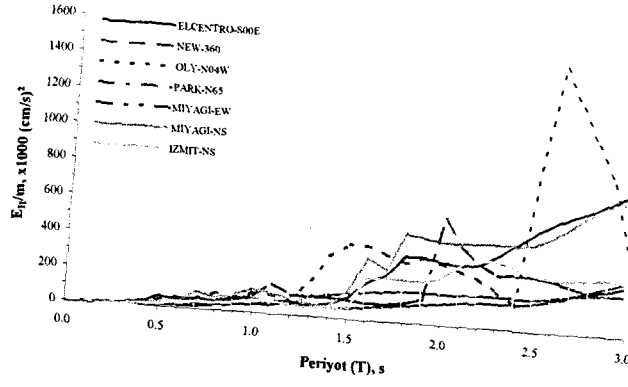
Şekil 4.112 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=2$



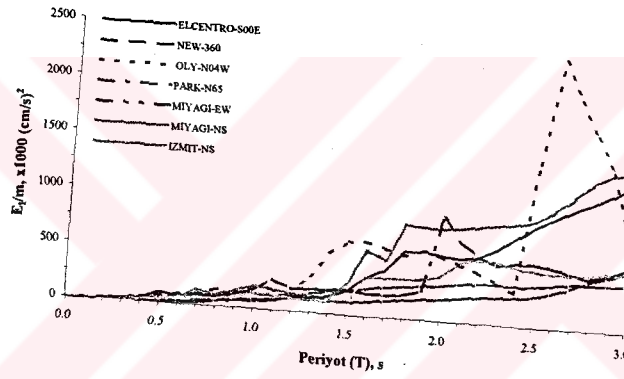
Şekil 4.113 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=2$



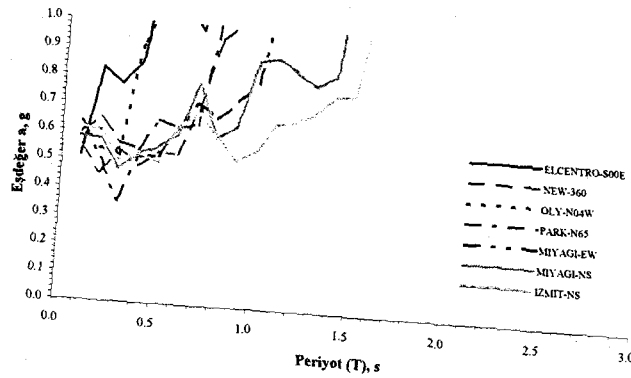
Şekil 4.114 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=2$



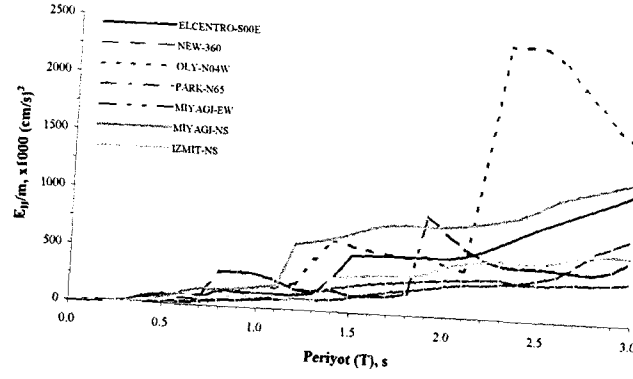
Şekil 4.115 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=4$



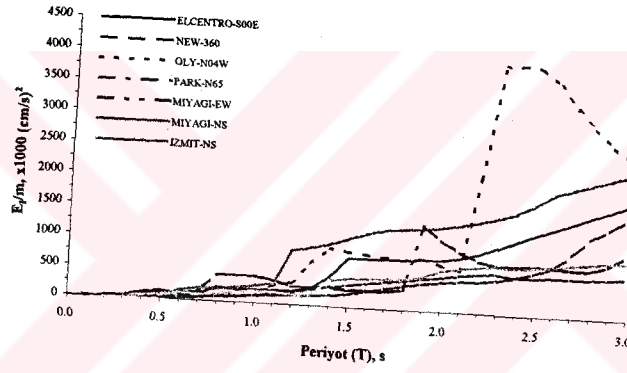
Şekil 4.116 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=4$



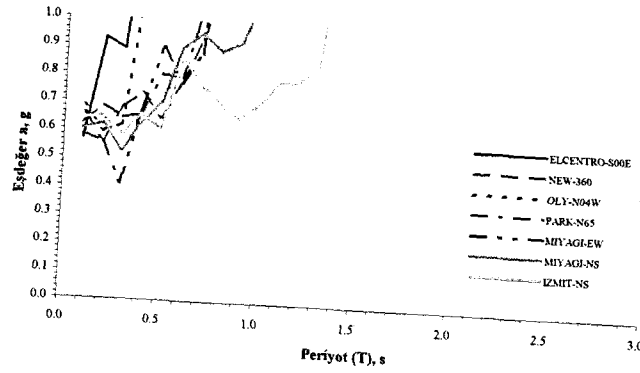
Şekil 4.117 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=4$



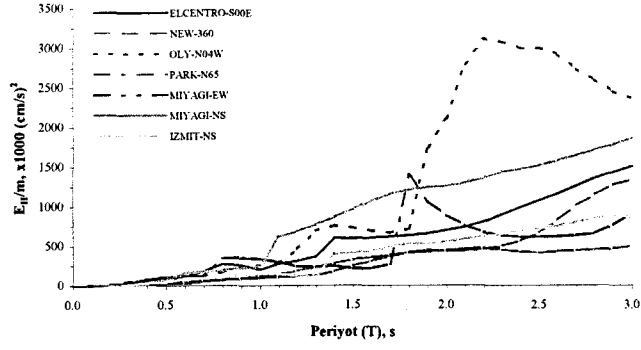
Şekil 4.118 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=6$



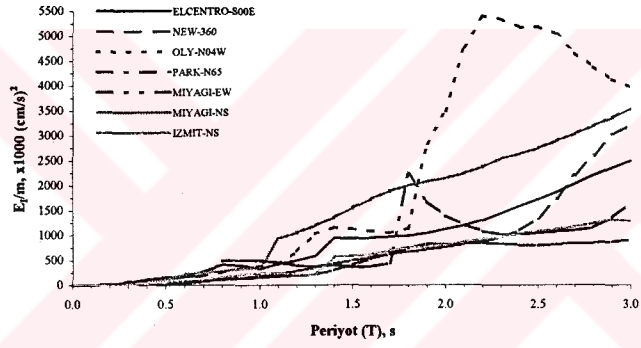
Şekil 4.119 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=6$



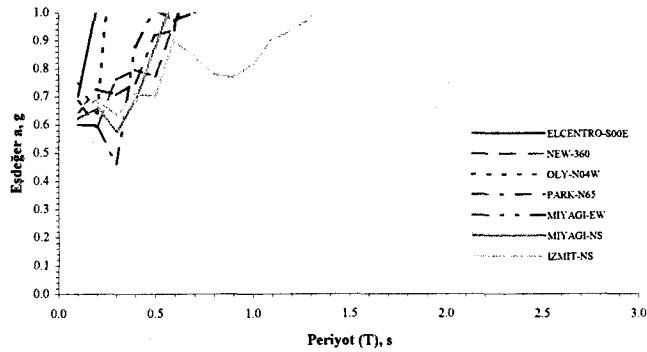
Şekil 4.120 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=6$



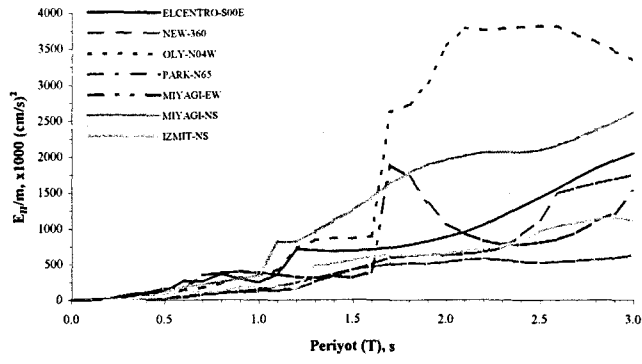
Şekil 4.121 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=8$



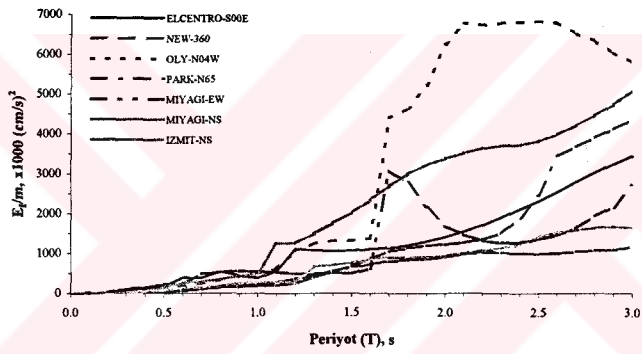
Şekil 4.122 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=8$



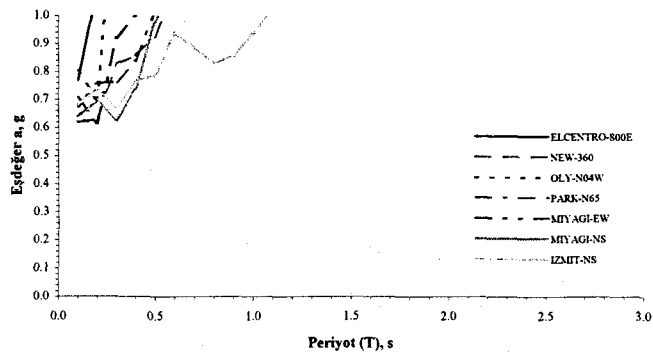
Şekil 4.123 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=8$



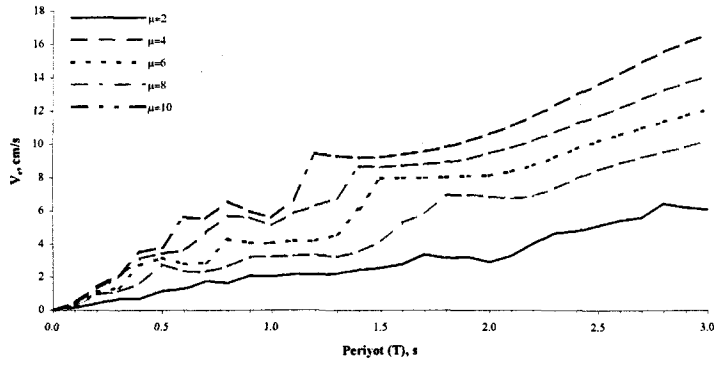
Şekil 4.124 Histeretik enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=10$



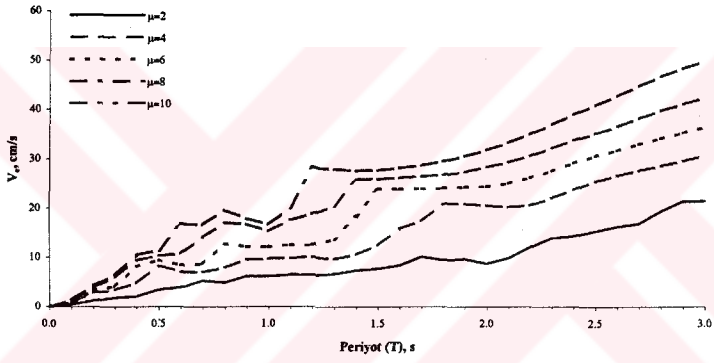
Şekil 4.125 Toplam enerji-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=10$



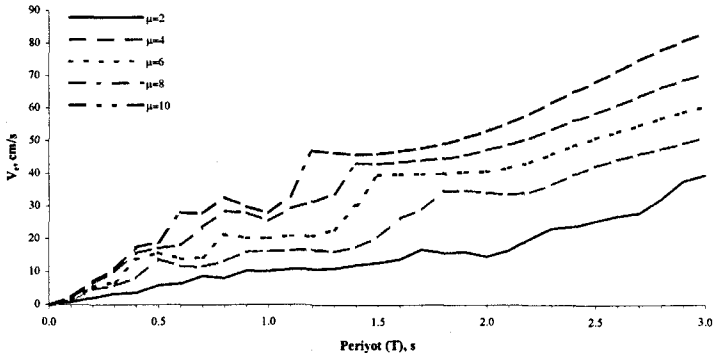
Şekil 4.126 Eşdeğer a-periyot-süneklik ilişkileri; $\eta=0.5$, $\mu=10$



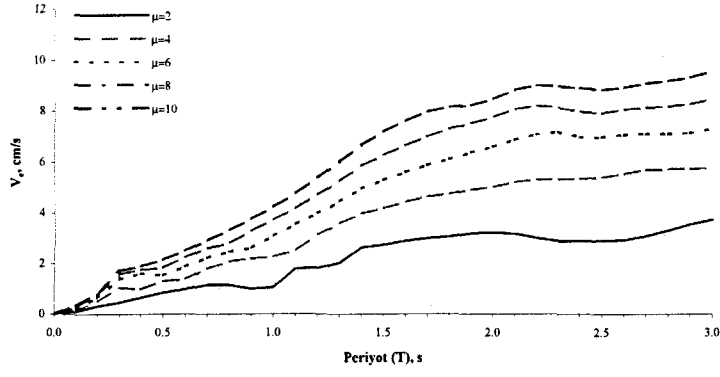
Şekil 4.127 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.1$



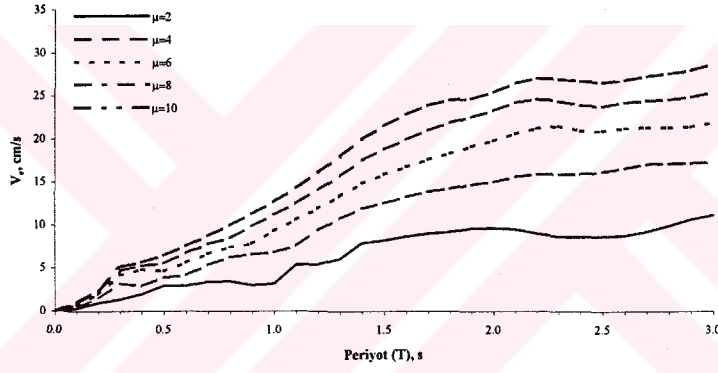
Şekil 4.128 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.3$



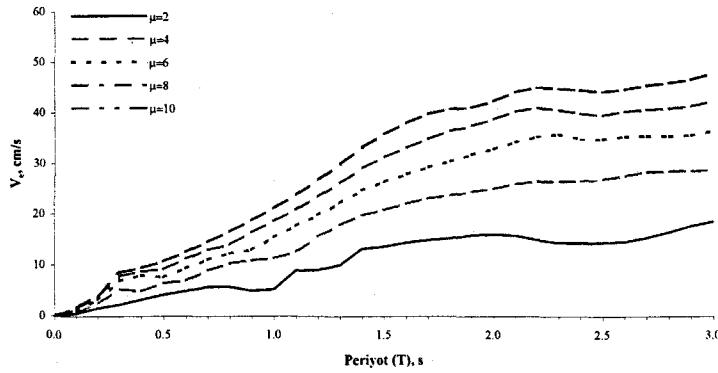
Şekil 4.129 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; El Centro S00E, $\eta=0.5$



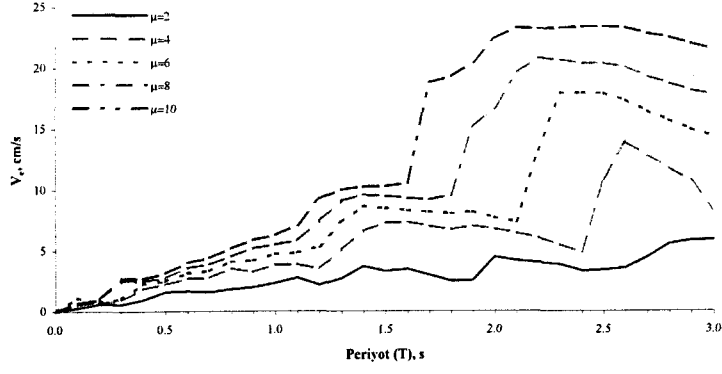
Şekil 4.130 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.1$



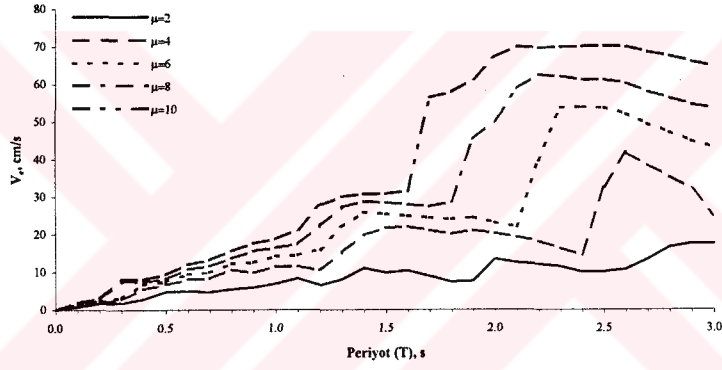
Şekil 4.131 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.3$



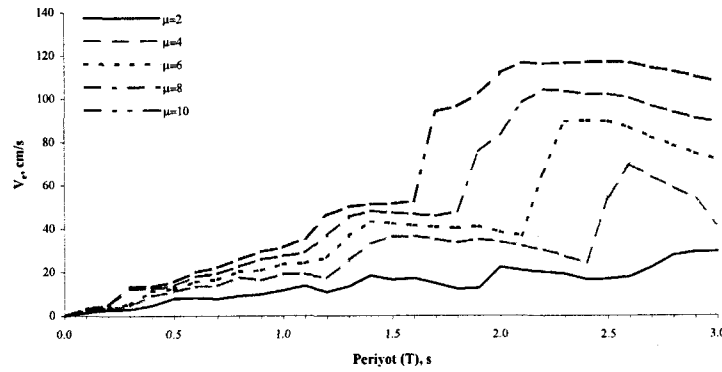
Şekil 4.132 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Northridge New-360, $\eta=0.5$



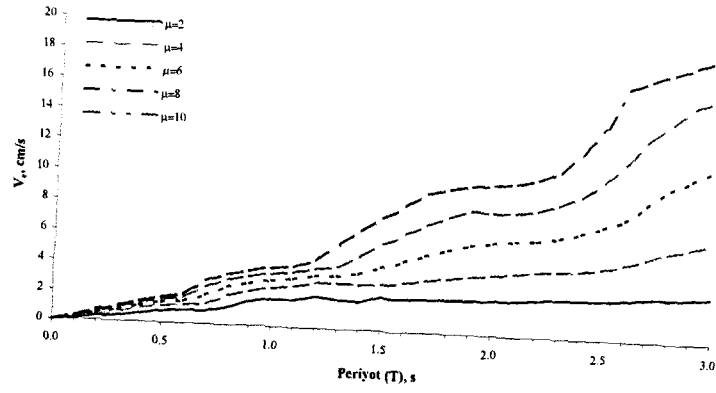
Şekil 4.133 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.1$



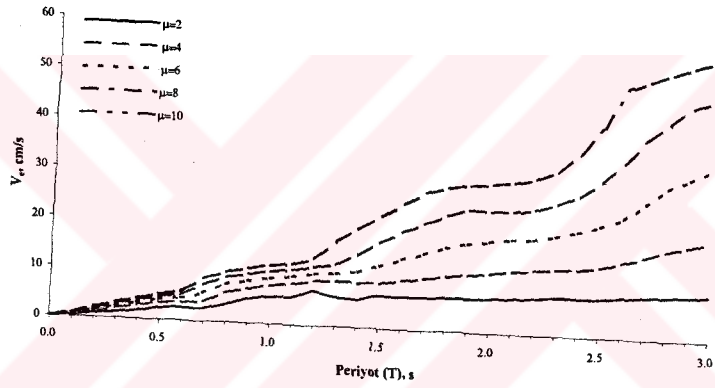
Şekil 4.134 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.3$



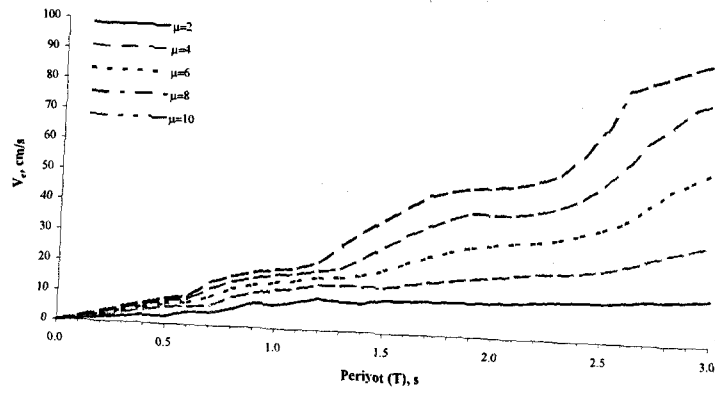
Şekil 4.135 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Olympia N04W, $\eta=0.5$



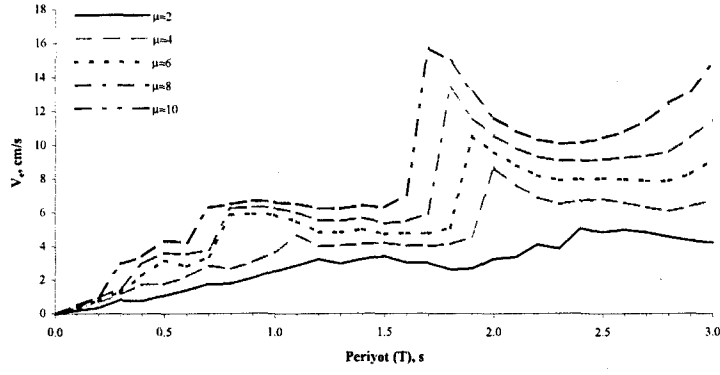
Şekil 4.136 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.1$



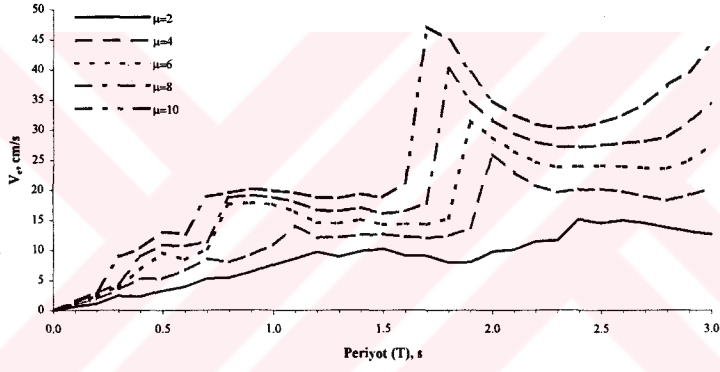
Şekil 4.137 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.3$



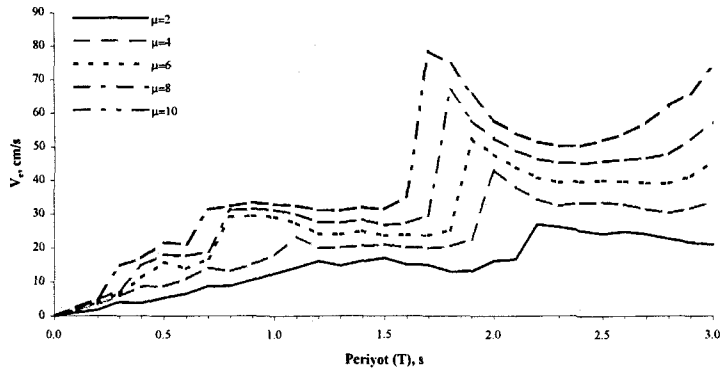
Şekil 4.138 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Parkfield N65E, $\eta=0.5$



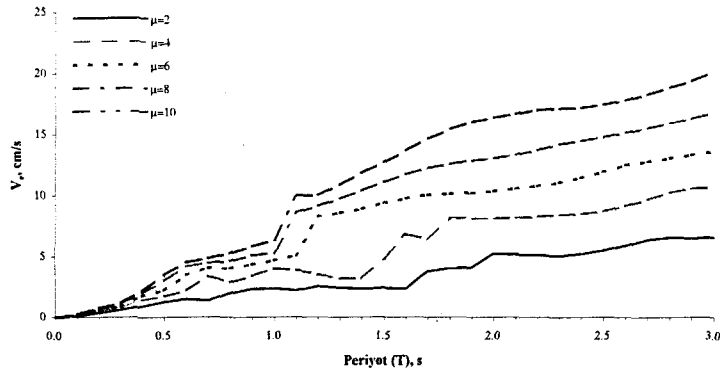
Şekil 4.139 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.1$



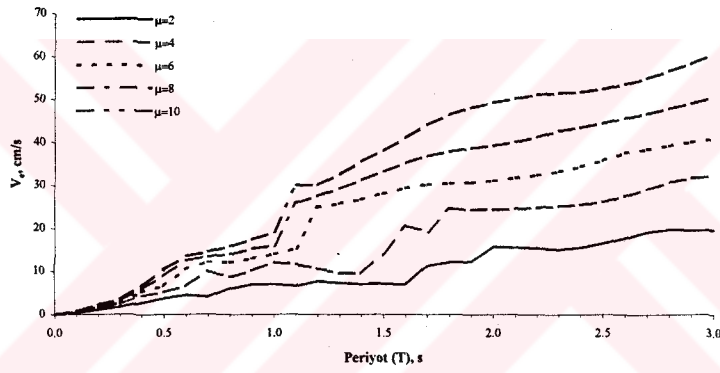
Şekil 4.140 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.3$



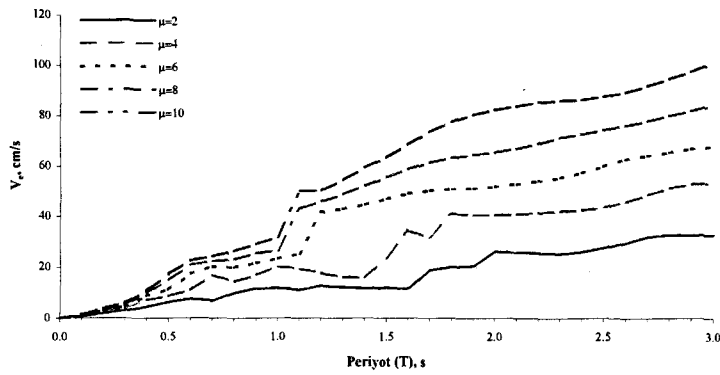
Şekil 4.141 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Miyagi EW, $\eta=0.5$



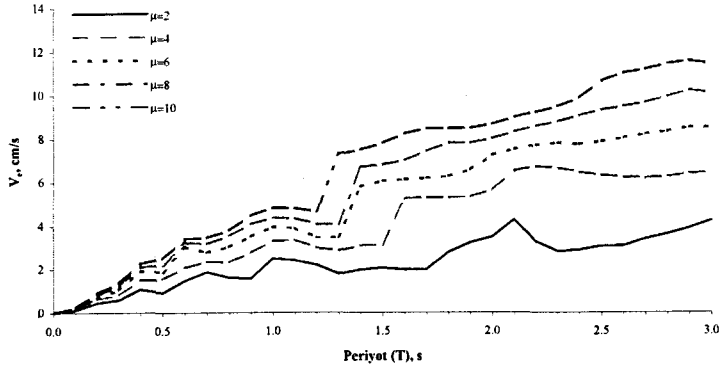
Şekil 4.142 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.1$



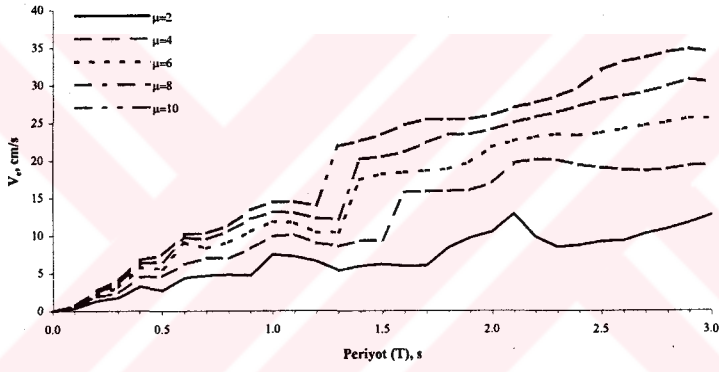
Şekil 4.143 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.3$



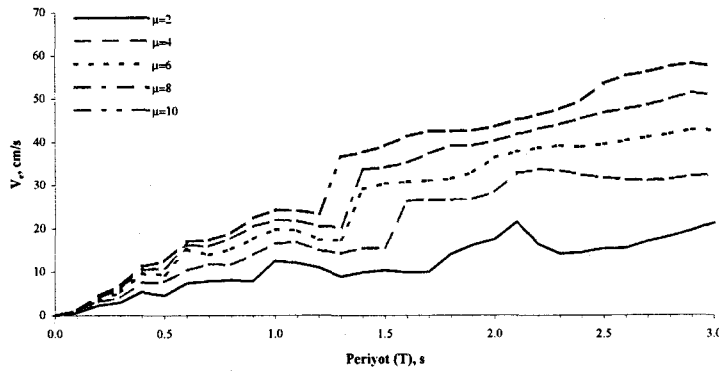
Şekil 4.144 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; Miyagi NS, $\eta=0.5$



Şekil 4.145 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.1$



Şekil 4.146 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.3$



Şekil 4.147 Eşdeğer hız-periyot ilişkileri; İzmit NS, $\eta=0.5$

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, daha önce de belirtildiği gibi YH'ye maruz doğrusal olmayan TSD sistemlerin $T=0-3.0$ s arasındaki enerji talepleri incelenmiştir. Bir önceki bölümde verilen, yapılan analiz sonuçlarının grafiksel gösterimleri incelendiğinde aşağıdaki değerlendirmeler elde edilmiştir.

- Seçilen depremler içerisinde histeretik enerji talepleri en küçük olan depremler; Northridge New-360 ve Parkfield N65E depremleridir (Şekil 4.28 ve Şekil 4.46). Çizelge 4.1'den de görüleceği üzere bu iki depremin kuvvetli hareket süresi oldukça kısadır.
- $\mu = 2$ için tüm depremler $T=0-3$ s arasında oldukça düzenli bir enerji dağılımı göstermişlerdir. Fakat, hedef süneklik değeri arttıkça histeretik enerji taleplerinde artımlar ve periyoda bağlı olan dağılımlarda ani değişimler görülmüştür (Şekil 4.19, Şekil 4.28, Şekil 4.37, Şekil 4.46, Şekil 4.55, Şekil 4.64 ve Şekil 4.73).
- Çok düşük periyotlarda ($T \leq 0.3$ s) histeretik enerji talebi oldukça azdır.
- Hedeflenen süneklik değerine bağlı olarak, seçilen depremler içerisinde histeretik enerji talebi en yüksek olan deprem farklı periyot değeri için değişebilmektedir. Olympia N04W depreminin $\mu = 2$ için histeretik enerji dağılımı düzenli iken, artan hedef süneklik değerleri için ani pikler gözlenmiştir (Şekil 4.85, Şekil 4.88, Şekil 4.91 ve Şekil 4.94).
- Bilindiği üzere yer değiştirme sünekliği, maksimum yer değiştirme değerine bağlıdır ve artan süneklik değeri için daha fazla yer değiştirme olmalıdır. Bu çalışmada da, YH'nin ölçek faktörü değiştirilerek hedeflenen süneklik değerini sağlayan maksimum yer değiştirme elde edilmiş ve böylece istenilen süneklik değeri sağlanmıştır. Bu maksimum yer değiştirme, YH'nin karakteristik özelliğinden dolayı pozitif veya negatif yönde olabilir. Bu durum grafiklerde de görüldüğü gibi, histeretik enerji taleplerinde belli bir periyot değerinde ani artışlara sebep olur. Çünkü, hedeflenen süneklik değerinin sağlanması için sistem ters yönde yer değiştirme yapmıştır. Ani artışların karşılık geldiği periyot değeri, süneklik değeri arttıkça azalmaktadır.
- Dayanıklılık göstergesi olan η değerinin artması ile akmaya yol açan taban kesme kuvveti ve akma yer değiştirmesi arttığından, histeretik enerji talepleri de artış göstermektedir (Şekil 4.22, Şekil 4.25, Şekil 4.31, Şekil 4.34, Şekil 4.40, Şekil 4.43, Şekil 4.49, Şekil 4.52, Şekil 4.58, Şekil 4.61, Şekil 4.67, Şekil 4.70, Şekil 4.76 ve Şekil 4.79). Seçilen depremlerin histeretik enerji talepleri, farklı hedef süneklik değeri ve artan dayanıklılık göstergesi için periyot değerine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 4.82, Şekil 4.85, Şekil 4.88, Şekil 4.91, Şekil 4.94, Şekil 4.97, Şekil 4.100, Şekil 4.103, Şekil 4.106, Şekil 4.109, Şekil 4.112, Şekil 4.115, Şekil 4.118, Şekil 4.121 ve Şekil 4.124).

- Enerji girişi (toplam enerji) dağılımları da, histeretik enerji dağılımları ile aynı değişimleri göstermişlerdir. Daha önce de belirtildiği gibi enerji girişi, histeretik enerji talebi ve sönüm yoluyla dağılan enerji miktarının toplamıdır.
- η değerinin artmasıyla beraber, hedef süneklik değerlerine karşılık gelen ve maksimum 1g ile sınırlandırılan EBY  değeri de artmaktadır. YH'lerin karakteristikleri ve kaydedildikleri zemin yapısı farklı olduğundan, bu değişim her YH için farklı olmaktadır (şekil 4.21, şekil 4.24, şekil 4.27, şekil 4.30, şekil 4.33, şekil 4.36, şekil 4.39, şekil 4.42, şekil 4.45, şekil 4.48, şekil 4.51, şekil 4.54, şekil 4.57, şekil 4.60, şekil 4.63, şekil 4.66, şekil 4.69, şekil 4.72, şekil 4.75, şekil 4.78 ve şekil 4.81).
- Hedef süneklik değeri ve dayanıklılık göstergesi arttı a, maksimum 1g'ye karşı gelen periyot değeri azalmaktadır. Seçilen tüm depremle, düşük dayanıklılık göstergesi ve süneklik değeri ($\eta = 0.1$ ve $\mu = 2$) için $T=0.3$ s aralığında maksimum 1g değerini sağlamıştır (şekil 4.84, şekil 4.87, şekil 4.90, şekil 4.93, şekil 4.96, şekil 4.99, şekil 4.102, şekil 4.105, şekil 4.108, şekil 4.111, şekil 4.114, şekil 4.117, şekil 4.120, şekil 4.123 ve şekil 4.126).
- Periyot değerine bağlı olarak eşdeğer hız cinsinden elde edilen enerji spektrumları düzenli bir dağılım göstermiştir. Ara sıra görülen değişimler, doğrudan ve tamamı ile YH'nin karakteristiğine ve kaydedildiği zemin yapısına bağlıdır. Eşdeğer hız dağılımlarının düzenli olması, yapıya giren enerjinin oldukça kararlı olduğunu göstermektedir. Hedef süneklik değeri arttı a yapıya giren enerji artacak, dolayısıyla eşdeğer hız da artmış olacaktır (şekil 4.127, şekil 4.130, şekil 4.133, şekil 4.136, şekil 4.139, şekil 4.142 ve şekil 4.145).
- η değeri arttı a, eşdeğer hız değerleri de artış göstermiştir (şekil 4.128, şekil 4.129, şekil 4.131, şekil 4.132, şekil 4.134, şekil 4.135, şekil 4.137, şekil 4.138, şekil 4.140, şekil 4.141, şekil 4.143, şekil 4.144, şekil 4.146 ve şekil 4.147). Özellikle, $\mu = 2$ için enerji girişleri oldukça kararlı ve düzenlidir.

Yukarıdaki değerlendirmeler dikkate alınarak, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

- 1) YH'nin kuvvetli hareket süresi, histeretik enerji talebi ve enerji girişini etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Kuvvetli hareket süresi az olan bir deprem sonucu yapıya girecek olan enerji, kuvvetli hareket süresi fazla olan bir deprem sonucu yapıya girecek olan enerjiden daha azdır. Genel olarak bu çalışmada bir YH'nin kuvvetli hareket süresinin fazla olması, yapıya girecek olan enerjinin de fazla olabileceğini göstermiştir.
- 2) Düşük süneklik değeri, $\mu = 2$, için enerji dağılımları oldukça düzenli iken, süneklik değeri arttı a enerji dağılımları değişmektedir.

- 3) Dayanıklılık göstergesi, η , ve süneklik değeri, μ , arttıkça; enerji girişi ve histeretik enerji talebi de artmaktadır.
- 4) η değeri arttıkça, süneklik değerleri daha küçük periyot değerlerinde sağlanmaktadır.
- 5) YH'lerin karakteristik özellikleri ve kaydedildikleri zemin yapıları birbirinden çok farklıdır. Histeretik enerji talebi ve enerji girişi, YH'lerin karakteristik özelliklerine ve zemin yapılarına bağlı olarak çok farklı değişim göstermektedir.

Yukarıdaki sonuçlar da dikkate alınarak, meydana gelebilecek depremlerde can ve mal kayıplarını azaltabilmek ve etkin bir DDT gerçekleştirebilmek için aşağıda öneriler verilmiştir.

- 1) DDT kavramı, bir ekip işidir. Ancak, ilgili mühendislik dallarının ortak çalışması ile verimli olacaktır. Zemin ve üstyapı parametreleri, ayrıntılı çalışmalar sonucunda elde edilmelidir.
- 2) Yerel zemin koşulları ve zemin yapısı, DDT'de çok önemli kavramlardır. Çünkü, YH'ler bu durumlara göre oldukça büyük değişiklikler ve etkiler göstermektedir. Bu nedenle, sismik makro bölgeleme çalışmalarının yanında sismik mikro bölgeleme çalışmalarına da önem verilmelidir. Özellikle, zemin büyütmesi ve sıvılaşma potansiyeli dikkatli bir şekilde incelenmelidir.
- 3) Projelendirme-Malzeme-Uygulama-Denetim konularında tam bir uyum sağlanmalıdır. Yani yapı iyi ve güvenli bir şekilde projelendirilmeli, kaliteli ve yüksek dayanımlı yapısal malzemeler kullanılmalı, inşaat aşamaları projeye uygun yapılmalı ve bütün bu işlemler ciddi ve titiz bir şekilde kontrol edilmelidir.
- 4) Tasarımcılar, yeni ve ileri hesap yöntemlerine uyum sağlamalı ve dünyadaki gelişmeleri takip etmelidirler.
- 5) Enerji kavramlarının, DDT'de kullanılması son yıllarda büyük ilgi görmüştür ve bu konu ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Hâlen, yönetmeliklerimizde enerji tabanlı tasarım yöntemleri mevcut değildir. Ülkemizde de bu konu ile ilgili yapılan çalışmaların artırılması gerekmektedir. Gelecek neslin hesap yöntemleri olarak adlandırılan, PTDDT ve enerji-tabanlı DDT yöntemleri analizlerde kullanılmalıdır.
- 6) Bu çalışmada kullanılan YH'ler rasgele seçilmiştir. Aynı tip zeminlerde kaydedilen çok sayıdaki YH için bu çalışma tekrarlanarak, istatistiki bir çalışma yapılması faydalı olacaktır.
- 7) Bu çalışma TSD sistemler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçların ÇSD sistemlere uygulanabilirliği için benzer bir çalışmanın ÇSD sistemlerde yapılması gerekmektedir.
- 8) Enerjiye dayalı DDT'deki üç temel problemin; (a) yapıya girecek olan enerjinin belirlenmesi, (b) enerjinin yapı içerisindeki dağılımı, (c) yapısal elemanların enerji tüketme kapasitelerinin net bir şekilde çözülmesi gerekmektedir.

Bu çalışma, sadece yapılara girecek olan enerjinin belirlenmesine yöneliktir. Enerjiye dayalı DDT'nin deprem yönetmeliklerinde yer alabilmesi için (b) ve (c) deki soruların yanıtları için analitik ve deneysel çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Akbaş, B. ve Shen, J., (1996), Energy-Based Earthquake Resistant Design, Report No: IIT-CAE-96/005, Department of Civil and Architectural Engineering, Illinois Institute of Technology.
- Akiyama, H., (1985), Earthquake-Resistant Limit-State Design for Buildings, University of Tokyo Press.
- Akiyama, H., (1992), "Earthquake-Resistant Limit-State Design for Cylindrical Liquid Storage Tanks", Proc. of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, 9:5001-5004.
- Anderson, J.C. ve Bertero, V.V., (1969), Seismic Behaviour of Multi-Story Frames Designed by Different Philosophies, Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-69/11, University of California, Berkeley.
- Ansal, A., (1999), Depremlerde Yerel Zemin Davranışları, Bilim ve Teknik Dergisi, TÜBİTAK, 384:64-68.
- Arias, A., (1970), "A Measure of Earthquake Intensity", Seismic Design of Nuclear Power Plants, Massachusetts Institute of Technology Press, 438-468.
- Berg, G.V. ve Thomaides, S.S., (1960), "Energy Consumption by Structures in Strong-Motion Earthquakes", Proc. of the Second World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo ve Kyoto, 681-697.
- Bertero, V.V., (1986), Implications of Recent Earthquakes and Research on Earthquake-Resistant Design and Construction of Buildings, Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-86/03, University of California, Berkeley.
- Bertero, V.V., (1988), "Structural Engineering Aspects of Seismic Zonation", Proc. of the Fourth International Conference on Seismic Zonation, Stanford University, Stanford, 1:261-321.
- Bertero, V.V., (1994), "Nature of the Earthquake Problem: Seismic Risk Reduction", Advances in Earthquake Engineering Practice: Series 2, University of California, Berkeley.
- Bertero, V.V., Bertero, R.D., (1994), "Earthquake-Resistant Design of Structures: Conceptual Numerical Earthquake-Resistant Design of Tall Reinforced Concrete Buildings", Advances in Earthquake Engineering Practise: Series 2, University of California, Berkeley.
- Bertero, V.V. ve Teran-Gilmore, A., (1994), "Use of Energy Concepts in Earthquake-Resistant Analysis and Design: Issues and Future Directions", Advances in Earthquake Engineering Practice: Series 2, Short Course in Structural Engineering, Architectural and Economic Issues, University of California, Berkeley, 1-36.
- Bertero, V.V., Uang, C.M., (1992), "Issues and Future Directions in the Use of Energy Approach for Seismic-Resistant of Design Structures", Nonlinear Seismic Analysis and Design of Reinforced Concrete Buildings, Elsevier Applied Science, 3-22.
- Chopra, A.K., (1995), Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

- Fajfar, P., ve Fischinger, M., (1990), "Earthquake Spectra Considering Duration of Ground Motions", Proc. of the Fourth National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, II:15-24.
- Fajfar, P. ve Vidic, T., (1989), "Seismic Demand in Medium- and Long-period Structures", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18:513-537.
- Fajfar, P. ve Vidic, T., (1994), "Consistent Inelastic Design Spectra: Hysteretic and Input Energy", Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 23:523-537.
- Fajfar, P., Vidic, T., ve Fischinger, M., (1991), "On the Energy Input Into Structures", Proc. of the Pacific Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 1:81- 92.
- Goel, S.C., Berg, G.V., (1968), "Inelastic Earthquake Response of Tall Steel Frames", Journal of the Structural Division, Proc. of the American Society of Civil Engineers, 94(ST8):1907-1934.
- Hamburger, R.O., (1997), "A Framework for Performance-Based Earthquake Resistant Design", EERC-CUREs Symposium in Honor of V.V. Bertero, Berkeley, California. January 31 - February 1.
- Housner, G.W., (1956), "Limit Design of Structures to Resist Earthquakes", Proc. of the First World Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, California, 5:1-13.
- Jennings, P.C., (1965), "Earthquake Response of a Yielding Structure", Journal of the Engineering Mechanics Division, Proc. of the American Society of Civil Engineering, 91(4):41-68.
- Kuwamura, H., Akiyama, H., ve Kirino, Y., (1992), "Prediction of Earthquake Energy Input from Smoothed Fourier Amplitude Spectrum", Journal of Construction Engineering: Transaction of AIJ. 442:53-60.
- Kuwamura, H. ve Galambos, T.V., (1989), "Earthquake Load for Structural Reliability", Journal of Structural Engineering, 115(6).
- Mahin, S.A. ve Lin, J., (1983), Construction of Inelastic Response Spectra for Single-Degree-of-Freedom Systems, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. UCB/EERC-83/17.
- McCabe, S.L. ve Hall, W.J, (1989), "Assessment of Seismic Structural Damages", Journal of Structural Engineering, 115(9).
- Naeim, N.M. ve Anderson, J.C, (1993), Classification and Evaluation of Earthquake Records for Design, Earthquake Engineering Research Institute, The NEHRP Professional Fellowship Report
- Newmark, N.M. ve Hall, W.J, (1973), "Procedures and Criteria for Earthquake Resistant Design", Building Practises for Disaster Mitigation, Building Science Series 46, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standarts, Washington, D.C.
- Newmark, N.M. ve Hall, W.J, (1982), Earthquake Spectra and Design, Earthquake Engineering Institute Monograph, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.
- Nurtuğ, A. ve Sucuoğlu, H., (1995), Prediction of Seismic Energy Dissipation in SDOF Systems", Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 24:1215-1223.

Ohi, K. ve Kondo, H., (1992), "Energy Input Rate Spectra of Earthquake Ground Motions", Proc. of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, 641-644.

Powell, G.H., (1993), DRAIN-2DX: Element Description and User Guide for Element Type01-Type02-Type04-Type06-Type09 and Type15, Version 1.10. Rep. No. UCB/SEMM-93/18, University of California, Berkeley.

Powell, G.H. ve Allahabadi, R., (1988), "Seismic Damage Prediction by Deterministic Methods: Concepts and Procedures", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 16:719-734.

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

Rodriguez, M., (1994), "A Measure of the Capacity of Earthquake Ground Motions to Damage Structures", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 23:627-643.

SEAOC, (1995), Vision 2000: Performance Based Seismic Engineering of Buildings, San Francisco.

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

Sucuoğlu, H., (1999), Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Bilim ve Teknik Dergisi, TÜBİTAK, 384:58-62.

Sucuoğlu, H., Dicleli, M., ve Nurtuğ, A., (1994), "An Analytical Assessment of Elastic and Inelastic Response Spectra", Canadian Journal of Civil Engineering, 21:386-395.

Surahman, A. ve Merati, M., (1992), "Input Energy Based Seismic Design Code", Proc. of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, 5887-5890.

Trifunac, M.D., Brady, A.G., (1975), "A Study on the Duration of Strong Earthquake Ground Motion", Bulletin of the Seismological Society of America, 65(3):581-626.

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

Uang, C.M. ve 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, Berkeley.

Veletsos, A.S. ve Newmark, N.M., (1960), "Effect of Inelastic Behavior on the Response of Simple Systems to Earthquake Engineering", Proc. of the Second World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo and Kyoto, 895-912.

Zahrah, T.F., (1982), Seismic Energy Absorbtion in Simple Structures, Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois.

Zahrah, T.F. ve Hall, W.J., (1984), "Earthquake Energy Absorbtion in SDOF Structures", Journal of Structural Engineering, ASCE, 110(8):1757-1773.

Zhu, T.J., Heidebracht, A.C., ve Tso, W.K., (1988), "Effect of Peak Ground Acceleration to Velocity Ratio on Ductility Demand of Inelastic Systems", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 16:63-79.

EKLER

- Ek 1 $\eta=0.1$ için DRAIN-2DX Programında Kullanılan Analiz Parametreleri
Ek 2 $\eta=0.3$ için DRAIN-2DX Programında Kullanılan Analiz Parametreleri
Ek 3 $\eta=0.5$ için DRAIN-2DX Programında Kullanılan Analiz Parametreleri
Ek 4 $\zeta=\%5$ için DRAIN-2DX Programında Kullanılan (β) Parametresi



Ek 1 $\eta=0.1$ için DRAIN-2DX Programında Kullanılan Analiz Parametreleri

T	V _y	I _m	M _{y+}	M _{y-}	u _y
(s)	(N)	(cm ⁴)	(N.cm)	(N.cm)	(cm)
0.1	98.10	1776.53	29430	29430	0.02485
0.2	98.10	444.13	29430	29430	0.09940
0.3	98.10	197.39	29430	29430	0.22364
0.4	98.10	111.03	29430	29430	0.39758
0.5	98.10	71.06	29430	29430	0.62123
0.6	98.10	49.35	29430	29430	0.89456
0.7	98.10	36.26	29430	29430	1.21760
0.8	98.10	27.76	29430	29430	1.59034
0.9	98.10	21.93	29430	29430	2.01277
1.0	98.10	17.77	29430	29430	2.48490
1.1	98.10	14.68	29430	29430	3.00673
1.2	98.10	12.34	29430	29430	3.57826
1.3	98.10	10.51	29430	29430	4.19948
1.4	98.10	9.06	29430	29430	4.87041
1.5	98.10	7.90	29430	29430	5.59103
1.6	98.10	6.94	29430	29430	6.36135
1.7	98.10	6.15	29430	29430	7.18137
1.8	98.10	5.48	29430	29430	8.05108
1.9	98.10	4.92	29430	29430	8.97050
2.0	98.10	4.44	29430	29430	9.93961
2.1	98.10	4.03	29430	29430	10.95842
2.2	98.10	3.67	29430	29430	12.02693
2.3	98.10	3.36	29430	29430	13.14513
2.4	98.10	3.08	29430	29430	14.31304
2.5	98.10	2.84	29430	29430	15.53064
2.6	98.10	2.63	29430	29430	16.79794
2.7	98.10	2.44	29430	29430	18.11494
2.8	98.10	2.27	29430	29430	19.48163
2.9	98.10	2.11	29430	29430	20.89803
3.0	98.10	1.97	29430	29430	22.36412

Ek 2 $\eta=0.3$ için DRAIN-2DX Programında Kullanılan Analiz Parametreleri

T	V _y	I _m	M _{y+}	M _{y-}	u _y
(s)	(N)	(cm ⁴)	(N.cm)	(N.cm)	(cm)
0.1	294.30	1776.53	88290	88290	0.07455
0.2	294.30	444.13	88290	88290	0.29819
0.3	294.30	197.39	88290	88290	0.67092
0.4	294.30	111.03	88290	88290	1.19275
0.5	294.30	71.06	88290	88290	1.86368
0.6	294.30	49.35	88290	88290	2.68369
0.7	294.30	36.26	88290	88290	3.65281
0.8	294.30	27.76	88290	88290	4.77101
0.9	294.30	21.93	88290	88290	6.03831
1.0	294.30	17.77	88290	88290	7.45471
1.1	294.30	14.68	88290	88290	9.02019
1.2	294.30	12.34	88290	88290	10.73478
1.3	294.30	10.51	88290	88290	12.59845
1.4	294.30	9.06	88290	88290	14.61122
1.5	294.30	7.90	88290	88290	16.77309
1.6	294.30	6.94	88290	88290	19.08405
1.7	294.30	6.15	88290	88290	21.54410
1.8	294.30	5.48	88290	88290	24.15325
1.9	294.30	4.92	88290	88290	26.91149
2.0	294.30	4.44	88290	88290	29.81882
2.1	294.30	4.03	88290	88290	32.87525
2.2	294.30	3.67	88290	88290	36.08078
2.3	294.30	3.36	88290	88290	39.43540
2.4	294.30	3.08	88290	88290	42.93911
2.5	294.30	2.84	88290	88290	46.59191
2.6	294.30	2.63	88290	88290	50.39381
2.7	294.30	2.44	88290	88290	54.34481
2.8	294.30	2.27	88290	88290	58.44490
2.9	294.30	2.11	88290	88290	62.69408
3.0	294.30	1.97	88290	88290	67.09235

Ek 3 $\eta=0.5$ için DRAIN-2DX Programında Kullanılan Analiz Parametreleri

T	V _y	I _m	M _y +	M _y -	u _y
(s)	(N)	(cm ⁴)	(N.cm)	(N.cm)	(cm)
0.1	490.50	1776.53	147150	147150	0.12425
0.2	490.50	444.13	147150	147150	0.49698
0.3	490.50	197.39	147150	147150	1.11821
0.4	490.50	111.03	147150	147150	1.98792
0.5	490.50	71.06	147150	147150	3.10613
0.6	490.50	49.35	147150	147150	4.47282
0.7	490.50	36.26	147150	147150	6.08801
0.8	490.50	27.76	147150	147150	7.95169
0.9	490.50	21.93	147150	147150	10.06385
1.0	490.50	17.77	147150	147150	12.42451
1.1	490.50	14.68	147150	147150	15.03366
1.2	490.50	12.34	147150	147150	17.89129
1.3	490.50	10.51	147150	147150	20.99742
1.4	490.50	9.06	147150	147150	24.35204
1.5	490.50	7.90	147150	147150	27.95515
1.6	490.50	6.94	147150	147150	31.80675
1.7	490.50	6.15	147150	147150	35.90683
1.8	490.50	5.48	147150	147150	40.25541
1.9	490.50	4.92	147150	147150	44.85248
2.0	490.50	4.44	147150	147150	49.69804
2.1	490.50	4.03	147150	147150	54.79209
2.2	490.50	3.67	147150	147150	60.13463
2.3	490.50	3.36	147150	147150	65.72566
2.4	490.50	3.08	147150	147150	71.56518
2.5	490.50	2.84	147150	147150	77.65319
2.6	490.50	2.63	147150	147150	83.98969
2.7	490.50	2.44	147150	147150	90.57468
2.8	490.50	2.27	147150	147150	97.40816
2.9	490.50	2.11	147150	147150	104.49013
3.0	490.50	1.97	147150	147150	111.82059

Ek 4 $\zeta=5\%$ için DRAIN-2DX Programında Kullanılan (β) Parametresi

Sönüm Oranı	Periyot (s)	β Parametresi
$\zeta=0.05$	0.1	0.00159
	0.2	0.00318
	0.3	0.00477
	0.4	0.00637
	0.5	0.00796
	0.6	0.00955
	0.7	0.01114
	0.8	0.01273
	0.9	0.01432
	1.0	0.01592
	1.1	0.01751
	1.2	0.01910
	1.3	0.02069
	1.4	0.02228
	1.5	0.02387
	1.6	0.02546
	1.7	0.02706
	1.8	0.02865
	1.9	0.03024
	2.0	0.03183
	2.1	0.03342
	2.2	0.03501
	2.3	0.03661
	2.4	0.03820
	2.5	0.03979
	2.6	0.04138
	2.7	0.04297
	2.8	0.04456
	2.9	0.04615
	3.0	0.04775

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 13.11.1978

Doğum yeri Pasinler

Lise 1992-1995 Erzurum Lisesi

Lisans 1996-2001 Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2002-Mayıs 2003 An Mühendislik Ltd Şti.

