

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAKIN FAY YER HAREKETLERİ VE PERFORMANSA
DAYALI TASARIMA UYARLANMALARI**

DOKTORA TEZİ
Yük. Müh. Necmettin GÜNEŞ
(96215201)

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Yapı

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN

KASIM-2009

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAKIN FAY YER HAREKETLERİ VE PERFORMANSA DAYALI TASARIMA UYARLANMALARI

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Necmettin GÜNEŞ
96215201

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç.Dr. Zülfü Çınar ULUCAN

Üye: Prof. Ali Sayıl ERDOĞAN

Üye: Prof. Dr. Rüstem GÜL

Üye: Prof. Dr. Yusuf ÇALAYIR

Üye: Doç. Dr. Salih YAZICIOĞLU

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖNSÜZ

Bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen değerli bilim adamları Sayın Doç. Dr. Zülfü ÇINAR ULUCAN'a ve Sayın Prof.Dr. Ali Sayıl ERDOĞAN'a ayrıca düşünceleri ile çalışmaları yönlendiren Sayın Prof.Dr. Polat GÜLKAN'a teşekkürü borç bilirim.

Necmettin GÜNEŞ

ELAZIĞ-2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÜZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XV
SEMBOLLER LİSTESİ	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1. Geçmiş Çalışmalar	4
2. YAKIN FAY YER HAREKETLERİNİN ÖZELLİKLERİ	5
2.1. Giriş	5
2.2. Doğrultu (Forward, Backward Directivity) ve Ötelenme Etkisi	5
2.3. Katarası Deplasman Spektrumu	10
3. YER HAREKETLERİNİN TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLER ÜZERİNDEKİ HASAR POTANSİYELLERİ	15
3.1. Giriş	15
3.2. Kullanılan Deprem Yer Hareketleri	15
3.3. Yer Hareketlerinin Elastik Spektrumları ve Ölçeklendirilmeleri	18
3.3.1. Yer Hareketlerinin İvme, Hız ve Deplasman Tesirli Bölgeleri	18
3.3.2. Yer Hareketlerinin Ölçeklendirilmesi	24
3.3.2.1. Yer Hareketlerinin PGA ile Ölçeklendirilmesi	24
3.3.2.2. Yer Hareketlerinin PGV ile Ölçeklendirilmesi	25
3.3.2.3. Yer Hareketlerinin PGD ile ölçeklendirilmesi	25
3.3.2.4. Yer Hareketlerinin Arias Şiddeti ile Ölçeklendirilmesi	26
3.3.2.5. Yer Hareketlerinin Housner Spektrumu ile Ölçeklendirilmesi	27
3.3.2.6. Yer Hareketlerinin Spektral İvme ile Ölçeklendirilmesi	27
3.4. Talep Parametreleri (DMs) ile Şiddet Parametreleri (IMs) İlişkisi	28
3.4.1. Talep Parametrelerinin Etkinliği	29
3.4.1.1. En Büyük İvme Değeri (PGA)	30

3.4.1.2.	En Büyük Hız Değeri (PGV)	31
3.4.1.3.	En Büyük Deplasman Değeri (PGD)	32
3.4.1.4.	V/A Oranı	33
3.4.1.5.	Spektral İvme	34
3.4.1.6.	Efektif Hız	35
3.4.1.7.	Görelî Kat Ötelenmesi Spektrum Şiddeti	35
3.4.1.8.	Atım Alanı Parametresi	35
4.	YAKIN FAY YER HAREKETLERİNDE YÖN ETKİSİ	94
4.1.	Giriş	94
4.2.	Etkili Yönlerin Belirlenmesi	95
4.2.1.	Görelî Kat Ötelenmesi Spektrum Şiddeti	97
4.3.	Farklı Yönlerin Karşılaştırılması.....	98
5.	YAKIN FAY YER HAREKETLERİNDE İNELASTİK DEFORMASYON ORANI ve KUVVET AZALMA KATSAYILARI	114
5.1.	Giriş	114
5.2.	İnelastik Deformasyon Oranı	115
5.3.	Kuvvet Azaltma Katsayıları	123
6.	SONUÇLAR	141
	KAYNAKLAR	146
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

YAKIN FAY YER HAREKETLERİ VE PERFORMANSA DAYALI TASARIMA UYARLANMALARI

Necmettin GÜNEŞ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2009, Sayfa : 154

Performansa dayalı tasarımın temel amacı yer hareketine maruz yapılarda yapısal talebin belirlenebilmesidir. Yapısal talebin doğru belirlenebilmesi, yer hareketi özelliklerinin ve bunlarla yapısal talep arasındaki ilişkinin doğru tanımlanabilmesini gerektirmektedir. Son yıllarda faylara yakın bölgelerde elde edilen kayıtların diğer kayıtlara göre önemli farklılıklar içerdiği görülmüştür. İleri doğrultu ve ötelenme etkileri bu yer hareketlerini farklılaştıran ve hasar potansiyellerini arttıran temel özelliklerdir.

Bu çalışmada yakın fay yer hareketlerinin performansa dayalı tasarıma uyarlanmaları yapılmıştır. Bu amaçla 307 adet yer hareketi kullanılarak uzak ve yakın fay yer hareketlerinin temel özellikleri ile tasarım spektrumu sınır periyotları arasında ilişki belirlenmiştir. Ayrıca

atım içeren yakın fay, atım içermeyen yakın fay ve uzak mesafe yer hareketi parametrelerinin yapısal talep üzerindeki etkinliği tespit edilmiştir.

İleri doğrultu etkisi fayın kırılma yüzeyine normal yönde meydana gelir ve bu yer hareketlerin hasar potansiyelleri yüksektir. Ancak her kayıttın faya normal ve paralel yönlerini belirleyebilmek bazen, fiziki imkansızlıklar nedeniyle, mümkün olmamaktadır. Bu nedenle etkili yönlerin belirlenebilmesi önemlidir. Maksimum hız yönü önerilen etkili yönlerden biridir. Bu çalışmada iki farklı etkili yeni yön tespit edilmiştir.

Performansa dayalı tasarımın önemli aşamalarından biri elastik deplasmanlarla inelastik deplasmanların elde edilmesidir. Bu amaçla uygulanan inelastik deplasman oranı ifadelerinin yakın mesafe yer hareketlerinde kullanılamayacağı gösterilmiş ve yeni bir inelastik deplasman oranı ifadesi elde edilmiştir. Ayrıca yakın fay yer hareketlerinde elastik deprem yükü azaltma faktörlerinin, atım periyoduna bağlı olarak, küçük oldukları tespit edilmiş ve mevcut kuvvet azaltma faktörlerinin uygulanmasının gerçekçi olmayan sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Literatürde geçen kuvvet azaltma faktörlerinin yakın fay yer hareketleri için uygulanabilirliği incelenmiş ve bu amaçla iki ifade yakın fay yer hareketleri için geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yakın fay yer hareketleri, ileri doğrultu etkisi, performansa dayalı tasarım, inelastik deplasman oranı, kuvvet azaltma faktörü.

ABSTRACT

NEAR FAULT GROUND MOTIONS AND THEIR INCORPORATION IN PERFORMANCE BASED DESIGN

Necmettin GÜNEŞ

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2009, Page: 154

The main objective of Performance Based Design is determining the structural demands for earthquake loadings. For a good estimation of structural demands, the relation between ground motion parameters and structural demands must be known. Near fault ground motions are significantly different from far field ground motions. Depending on the fault mechanism, ground motions may contain distinct pulse in velocity and permanent displacement in displacement records. These increase the near fault ground motions damage potential.

In this thesis the incorporating of near fault ground motion in performance based design was studied. For this purpose the relation between ground motion characteristics and the shift periods of response spectrum were obtained by using 307 records.

Forward directivity occurs in faults normal direction. But for all records, it is not possible to determine the fault-normal direction. To overcome this complexity the maximum velocity direction has been proposed. In this thesis in addition to maximum velocity direction two new directions were determined which are very effective as fault-normal direction.

The main stage of performance based design is to estimate the inelastic displacements by inelastic modification factors. This study reveals that most inelastic modification factors are not applicable for near fault ground motions and a new empirical formula was developed. In this study, it was shown that the strength reduction factors are related to pulse periods and in acceleration sensitive region these factors are very small than codes strength reduction factors. When the codes factors are used in near fault, the unconservative results are inevitable. For near fault ground motions two well known strength reduction formulas was modified by nonlinear regression analysis.

Keywords: Near fault ground motions, forward directivity, performance based design, inelastic modification factor, strength reduction factor.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Yanal ve düşey atımlı faylarda ileri doğrultu ve ötelenme etkisi yönleri.....	2
Şekil 1.2. Erzincan (1992) depremi faya normal (FN) ve faya paralel (FP) kayıtlarının (a) elastik spektral hız, (b) spektral deplasman ve (c) toplam enerji grafikleri	3
Şekil 2.1. Lander (1992) depremi ileri ve geri doğrultu etkileri	6
Şekil 2.2. Kocaeli (1999) ve Düzce (1999) depremleri fay kırıkları ve kayıt istasyonlarının konumları	7
Şekil 2.3. Kocaeli (1999) Yarımca doğu-batı bileşeni (a) hız ve (b) deplasman kaydı	8
Şekil 2.4. Erzincan 1992, faya normal bileşenin hız-zaman grafiği	9
Şekil 2.5. Erzincan ve Yarımca kayıtları elastik birim enerji spektrumları	9
Şekil 2.6. Erzincan ve Yarımca kayıtları deplasman spektrumları	9
Şekil 2.7. Sürekli kayma kirişi modeli	11
Şekil 2.8. Erzincan faya normal ve faya paralel yönlerin (a) görelî kat ötelenme oranı ve (b) ivme spektrum grafikleri	13
Şekil 2.9. Yarımca faya normal ve faya paralel yönlerin (a) görelî kat ötelenme oranı ve (b) ivme spektrum grafikleri	14
Şekil 3.1. Atım içeren kayıtların deprem moment büyüklükleri ile faya uzaklıkları	16
Şekil 3.2. Atım içermeyen kayıtların deprem moment büyüklükleri ile faya uzaklıkları	17
Şekil 3.3. Uzak mesafe kayıtların deprem moment büyüklükleri ile faya uzaklıkları	17
Şekil 3.4. Atım süresi (T_p) ile hakim periyot (T_v) arasındaki ilişki	17
Şekil 3.5. Ortalama ivme spektrumu	36
Şekil 3.6. Ortalama hız spektrumu	36
Şekil 3.7. Ortalama deplasman spektrumu	36
Şekil 3.8. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin (a) ivme, b) hız ve (c) deplasman spektrumları	37
Şekil 3.9. Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin (a) ivme, b) hız ve (c) deplasman spektrumları	38

Şekil 3.10.	Uzak mesafe yer hareketlerinin (a) ivme, (b) hız ve (c) deplasman spektrumları	39
Şekil 3.11.	Imperial Valley depremi hdl-352 (Imp79hdl-352) kaydı üçlü elastik tepki spektrumu	40
Şekil 3.12.	(a) Northridge depremi rrs-228 (N94rrs-228) ve (b) Kocaeli depremi ypt-060 (K99ypt-060) kayıtları gerçek ve düzeltilmiş üçlü elastik spektrumları	41
Şekil 3.13.	(a) Atım içeren yakın fay, (b) atım içermeyen yakın fay ve (c) uzak mesafe yer hareketleri için V/A-Tc dağılımı	42
Şekil 3.14.	(a) Atım içeren yakın fay (b) atım içermeyen yakın fay ve (c) uzak mesafe yer hareketleri için D/V-Td dağılımı	43
Şekil 3.15.	Kocaeli depremi yarımca kaydı faya normal ve paralel kayıtların (a) İvme, (b) Hız, (c) deplasman kayıtları ve (d) üçlü spektrumları	45
Şekil 3.16.	(a) Atım içeren yakın fay, (b) atım içermeyen yakın fay ve (c) Uzak mesafe yer hareketleri için Tc-Td ilişkisi	46
Şekil 3.17.	Atım içeren kayıtlarda atım süresi (Tp) ile dönüşüm periyotları (Tc ve Td) arasındaki ilişki	47
Şekil 3.18.	UBC-97 tasarım spektrumu	47
Şekil 3.19.	Northridge rrs-228 kaydı, ve UBC-97 üçlü spektrumu	48
Şekil 3.20.	Erzincan faya normal ve Kocaeli Yarımca maksimum hız yönü kayıtları (a) hız-zaman kayıtları ve (b) üçlü Spektrumları	49
Şekil 3.21.	Ölçeklendirilmemiş (a) atım içeren yakın fay (b) atım içermeyen yakın fay (c) uzak mesafe yer hareketlerinin İn elastik deplasman spektrumu COV dağılımı	50
Şekil 3.22.	Ortalama PGA ile ölçeklendirilmiş (a) atım içeren yakın fay (b) atım içermeyen yakın fay (c) uzak mesafe yer hareketlerinin inelastik deplasman spektrumu COV dağılımı.....	51
Şekil 3.23.	Ortalama PGV ile ölçeklendirilmiş (a) atım içeren yakın fay (b) atım içermeyen yakın fay (c) uzak mesafe yer hareketlerinin deplasman spektrumu COV dağılımı	52
Şekil 3.24.	Ortalama PGD ile ölçeklendirilmiş (a) atım içeren yakın fay (b) atım içermeyen yakın fay (c) uzak mesafe yer hareketlerinin deplasman spektrumu COV dağılımı	53
Şekil 3.25.	Ortalama Arias şiddeti ile ölçeklendirilmiş (a) atım içeren yakın fay (b) atım içermeyen yakın fay (c) uzak mesafe yer hareketlerinin inelastik deplasman spektrumu COV dağılımı	54
Şekil 3.26.	Ortalama Housner spektrumu ile ölçeklendirilmiş (a) atım içeren yakın fay (b) atım içermeyen yakın fay (c) uzak mesafe yer hareketlerinin inelastik deplasman spektrumu COV dağılımı	55
Şekil 3.27.	$S_a(T_1)=1g$ ile ölçeklendirilmiş (a) atım içeren yakın fay (b) atım içermeyen yakın fay (c) uzak mesafe yer hareketlerinin inelastik deplasman spektrumu COV dağılımı	56

Şekil 3.28.	Bilineer davranış	57
Şekil 3.29.	Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin PGA S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş	58
Şekil 3. 30.	Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin PGA S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş	59
Şekil 3. 31.	Uzak mesafe yer hareketlerinin PGA S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş	60
Şekil 3.32.	Atım içeren yer hareketlerinde a) $R=2$ ve b) $R=4$ için T_{eff}/T_c oranı	61
Şekil 3.33.	Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin PGV ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	62
Şekil 3.34.	Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin PGV ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	63
Şekil 3.35.	Uzak mesafe yer hareketlerinin PGV ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	64
Şekil 3.36.	Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin PGD ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	65
Şekil 3.37.	Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin PGD ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	66
Şekil 3.38.	Uzak mesafe yer hareketlerinin PGD ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	67
Şekil 3.39.	Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin V/A ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	68
Şekil 3.40.	Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin V/A ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	69
Şekil 3.41.	Uzak mesafe yer hareketlerinin V/A ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b)ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	70
Şekil 3.42.	Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin S_a ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	71
Şekil 3.43.	Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin S_a ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş ortalama AI ile ölçeklendirilmiş.....	72

Şekil 3.44.	Uzak mesafe yer hareketlerinin S_a ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	73
Şekil 3.45.	Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin EPV ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	74
Şekil 3.46.	Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin EPV ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	75
Şekil 3.47.	Uzak mesafe yer hareketlerinin EPV ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	76
Şekil 3.48.	Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin I_{DS} ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	77
Şekil 3.49.	Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin I_{DS} ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	78
Şekil 3.50.	Uzak mesafe yer hareketlerinin I_{DS} ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	79
Şekil 3.51.	Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin PA (atım alanı) ile S_d ilişkisi a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş	80
Şekil 4.1.	(a) Yatay ve Düşey faylarda doğrultu atımı ve ötelenme yönleri ve (b) Yatay ve düşey fayların kayıtlarında atım ve ötelenme	100
Şekil 4.2.	İki bileşenli kaydın faya normal ve paralel yöne çevrilmesi	100
Şekil 4.3.	Yarımca kaydı (a) ivme, (b) hız ve (c) deplasman polar maksimum değerleri	101
Şekil 4.4.	Erzincan depremi Erzincan kaydı (a) ivme, (b) hız ve (c) deplasman polar değerleri	102
Şekil 4.5.	Imperial Valley Depremi Elcentro Array 4 kaydı ivme, hız ve deplasman polar değerleri	103
Şekil 4.6.	Kocaeli depremi Gebze kaydı ivme, hız ve deplasman polar değerleri....	103
Şekil 4.7.	Elcentro array 4 (Imperial Valley), Yarımca (Kocaeli), Gebze (Kocaeli) ve Erzincan (Erizncan) kayıtları maksimum ivme ve maksimum hız yönlerinin histeretik enerji oranları	104
Şekil 4.8.	Kocaeli depremi Yarımca kayıt istasyonu (a) Spektral ivme, (b) Spektral hız, (c) Spektral deplasman ve (d) Görel kat ötelenmesi aralıkları	105
Şekil 4.9.	(a) Kocaeli depremi Yarımca (b) Erzincan depremi (Erzincan) ve (c) Imperial Valley depremi Elcentro array 4 kayıtları spektral ivme, hız ve deplasman polar değerleri	106

Şekil 4.10.	Kocaeli depremi Yarımca faya paralel, Erzincan depremi Erzincan faya normal, Kobe depremi Kjm faya normal ve Imperial Valley depremi Elcentro array 4 faya normal kayıtları görelî kat ötelenmesi spektrumları	107
Şekil 4.11.	Erzincan depremi, farklı spektral aralıklı görelî kat ötelenmesi spektrum şiddetinin polar değerleri.....	107
Şekil 4.12.	Maksimum görelî kat ötelenmesi spektrum şiddeti (GKÖSS), maksimum spektral hız, maksimum hız ve faya normal yönlerin ortalama deplasman spektrumu	108
Şekil 4.13.	Maksimum görelî kat ötelenmesi spektrum şiddeti (GKÖSS), spektral hız, maksimum hız ve faya normal yönlerin ortalama birim kütle histeretik enerji spektrumu	108
Şekil 4.14.	(a) Faya normal (b) maksimum hız yönlerinde GKÖSS-PGV ilişkisi...	109
Şekil 5.1.	(a) Atım içeren yakın fay, (b) atım içermeyen yakın fay ve (c) uzak mesafe yer hareketlerinin ortalama inelastik deplasman oranları	128
Şekil 5.2.	İnelastik deplasman oranının (a) atım içeren (b) atım içermeyen yakın mesafe ve (c) uzak mesafe yer hareketlerinin değişim katsayıları (COV)	129
Şekil 5.3.	Atım içeren yakın fay yer hareketleri CR değerlerinin atım içermeyen ve uzak mesafe yer hareketleri CR değerlerine oranları	130
Şekil 5.4.	Elasto-plastik davranış ve NEHRP D (TDY Z3) zemin için FEMA356-TDY07, FEMA 440, Chopra (2003), Miranda (2003) ve Tablo 3.8 kullanılan uzak mesafe yer hareketlerinin inelastik deplasman oranları	130
Şekil 5.5.	Erzincan (fn), Yarımca (fp), Northridge_rrs (fn) ve ChiChi tcu052 (fn) kayıtlarının inelastik R=8 için inelastik deplasman oranları.....	131
Şekil 5.6.	İvme tesirli bölge sınırı ve zemin karakteristik periyot ile Normalize edilmiş C_R değerleri	131
Şekil 5.7.	Kayıt ve maksimum hız yönleri PGV ilişkisi	132
Şekil 5.8.	Maksimum hız yönü kayıtları (a) ortalama inelastik deplasman oranları ve (b) değişim katsayıları COV)	132
Şekil 5.9.	Gerçek inelastik deplasman oranlarının elde edilen yeni denklem sonuçları ile karşılaştırılması	133
Şekil 5.10.	Erzincan ve Yarımca faya normal ve paralel yönleri kuvvet azaltma katsayı spektrumu	133
Şekil 5.11.	Uzak mesafe (UM), atım içeren yakın fay (P), atım içermeyen yakın fay (NP) ve maksimum hız yönü (MVD) kayıtlarının ortalama kuvvet azaltma oranı spektrumları	134
Şekil 5.12.	Maksimum hız yönü kayıtlarının atım periyotları	135

Şekil 5.13.	Maksimum hız yönü kayıtlarının atım periyodu ile normalize edilmiş kuvvet azaltma spektrumları	135
Şekil 5.14.	Newmark ve Hall (1982) kuvvet azaltma faktörlerinin maksimum hız yönü kayıtlarına uygulanması	136
Şekil 5.15.	Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin (GM) ve geliştirilmiş Nassar ve Krawinkler (1992) kuvvet azaltma faktörü spektrumları	136
Şekil 5.16.	Miranda (1994), geliştirilmiş Miranda (MM) ve maksimum hız yönü kayıtlarının ortalama kuvvet azaltma faktörü spektrumları	136

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1. NEHRP zemin sınıfları ,,,.....	16
Tablo 3.2. Üç yer hareketinin T_c , T_d , T_p , V/A ve D/V oranları	19
Tablo 3.3. Üç farklı yer hareketi setinin ortalama T_c ve T_d değerleri ve standart sapmaları	21
Tablo 3.4. C_a ve C_v katsayıları	23
Tablo 3.5. N_a çarpanı,.....	23
Tablo 3.6. N_v çarpanı	23
Tablo 3.7. Yer hareketlerinin ortalama V/A ve standart sapmaları	33
Tablo 3.8. Atım içeren yakın fay yer hareketleri	81
Tablo 3.9. Atım içermeyen yakın fay kayıtları	86
Tablo 3.10. Uzak mesafe kayıtları	90
Tablo 4.1. Yön etkilerinin belirlenmesinde kullanılan yer hareketlerinin faya normal ve paralel kayıtları	110
Tablo 4.2. Tablo 4.1’de verilen yer hareketleri kayıtlarının maksimum hız, ivme ve deplasman yön değerleri	112
Tablo 5.1. Garcia ve Miranda (2003) zemine bağlı katsayılar	117
Tablo 5.2. Maksimum hız yönüne çevrilen doğrultu etkili yakın fay kayıtları	138

SEMBOLLER LİSTESİ

$z(t)$	: Yer hareketi
ζ	: Sönüm oranı
$u(y,t)$	: Rölatif deplasman
c	: Dalga hızı
T	: Serbest titreşim periyodu
H	: Bina yüksekliği
$v(t)$	: Hız fonksiyonu
D	: Göreli katötelenmesi
μ	: Deplasman sünekliliği
E_H	: Histeretik enerji
DI	: Hasar indeksi
V_H	: Eşdeğer histeretik enerji hızı
I_A	: Arias şiddeti
T_p	: Atım periyodu
T_v	: Hız spektrumu hakim periyodu
d	: Faya olan uzaklık
T_c	: İvme tesirli bölge sınır periyodu
T_d	: Deplasman tesirli bölge sınır periyodu
T_{90}	: Kuvvetli yer hareketi süresi
PSV	: Spektral ivme
N_a	: İvme bölgesi çarpanı
N_v	: Hız bölgesi çarpanı

C_R : İnelastik deplasman oranı

R : Kuvvet azaltma faktörü

M : Kütle

KISALTMALAR LİSTESİ

FN	: Yakın fay yer hareketinin faya normal bileşeni
FP	: Yakın fay yer hareketinin faya paralel bileşeni
UBC	: Uniform buildings code
FEMA	: Federal emergency management agency
NEHRP	: National earthquake hazards reduction program
ATC	: Applied technology council
TDY	: Türk deprem yönetmeliği (2007)
TSD	: Tek serbestlik dereceli
P	: Atım içeren yakın fay yer hareketleri
NP	: Atım içermeyen yakın fay yer hareketleri
UM	: Uzak mesafe yer hareketleri
PGA	: Yer hareketinin en büyük ivme değeri
PGV	: Yer hareketinin en büyük hız değeri
PGD	: Yer hareketinin en büyük deplasman değeri
MVD	: Yer hareketinin maksimum hız yönü
GKÖŞŞ	: Göreli kat ötelenmesi spektrum şiddeti

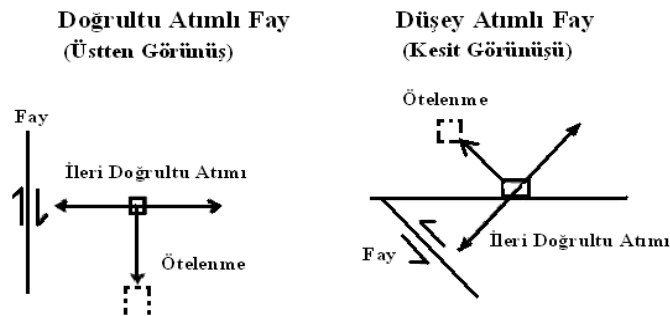
1. GİRİŞ

Northridge (1995) ve Kobe (1994) depremlerinin, faylara yakın bölgelerde, meydana getirdiği hasar düzeyleri beklenilenin üzerinde olmuş ve bu nedenle yakın fay yer hareketleri birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Elde edilen yakın fay yer hareketleri incelendiğinde yüksek hız değerleri ve içerdikleri atımlar nedeniyle uzak mesafe yer hareketlerinden farklı oldukları anlaşılmıştır.

Faylara yakın bölgelerde yer hareketleri kırılma mekanizması, kırılmanın yayılma yönü ve fayın kaymasıyla meydana gelebilecek tektonik ötelenmeden etkilenmektedir [1]. İlk iki etki nedeniyle faylara normal doğrultuda ileri doğrultu etkisi (forward directivity) ve ikinci etki nedeniyle de paralel doğrultuda büyük statik deplasman oluşturan ötelenme (fling) etkisi meydana gelir.

Kırılmanın bir bölgeye doğru kayma dalgası hızına yakın bir hız ile yayılması sonucunda ileri doğrultu etkisi meydana gelir [2]. Bu durumda elastik enerjinin büyük bir bölümü yer hareketinin başlangıcında bulunan atım içerisinde yayılır. İleri doğrultu etkisinin meydana gelebilmesi için iki temel durumun oluşması gerekmektedir. Bunlar kırılmanın bölgeye doğru yayılması ve fay üzerindeki kayma yönünün bölge ile aynı yönde olmasıdır.

Doğrultu atımlı faylarda ileri doğrultu etkisi fayın kırılma yüzeyine dik doğrultuda, ötelenme etkisi ise faya paralel doğrultuda meydana gelir. Düşey atımlı faylarda ise fay yüzeyine yakın bölgelerde ileri doğrultu etkisi meydana gelir. Şekil 1.1 yanal atımlı ve düzey atımlı faylarda ileri doğrultu etkisi ve ötelenme etkisi yönleri gösterilmektedir.



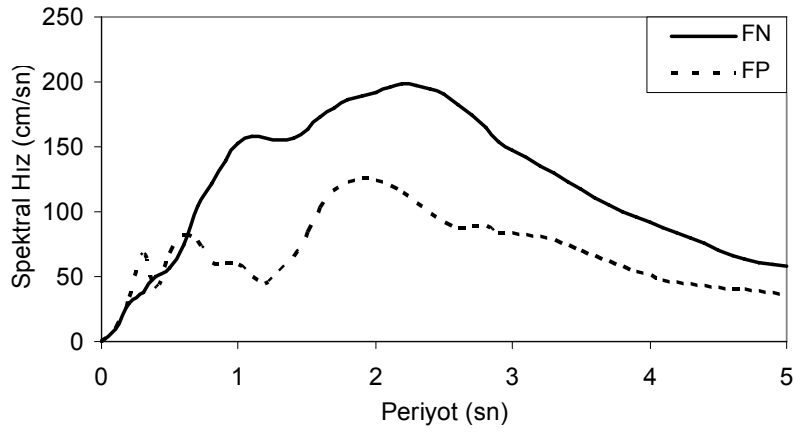
Şekil 1.1. Yatay ve düşey atımlı faylarda ileri doğrultu ve ötelenme etkisi yönleri

Deprem mühendisliğinde yapı yönetmeliklerinin ilk olarak uygulanmasından itibaren günümüze kadar belirli deprem riskleri altında yapıların hayat güvenliği seviyesinde kalabilmesi amaçlanmıştır. Loma Prieta (1989) ve Northridge (1994) depremlerinden sonra yapı mühendisleri deprem hasarından kaynaklanan ekonomik ve diğer kayıpları azaltmak için yapı dizayn yöntemleri geliştirmeye başladılar. Elde edilen kriter ve metodolojiler “Performansa dayalı tasarım” olarak bilinmektedir [3]. Yapıların depreme karşı güvenliklerinin sağlanması, klasik olarak deprem yüklerinin azaltılması, azaltılan deprem kuvvetleri altında yapının elastik analizinin yapılması esasına dayanmaktadır. Yapının hasar düzeyi ve hasar dağılımının doğru bir şekilde belirlenebilmesi kuvvet esaslı elastik analizlerle mümkün olmamaktadır. Performansa dayalı tasarım yapıların sismik talebin kestirilmesinde elastik ötesi analizleri gerektiren deplasman tabanlı bir metodolojisi.

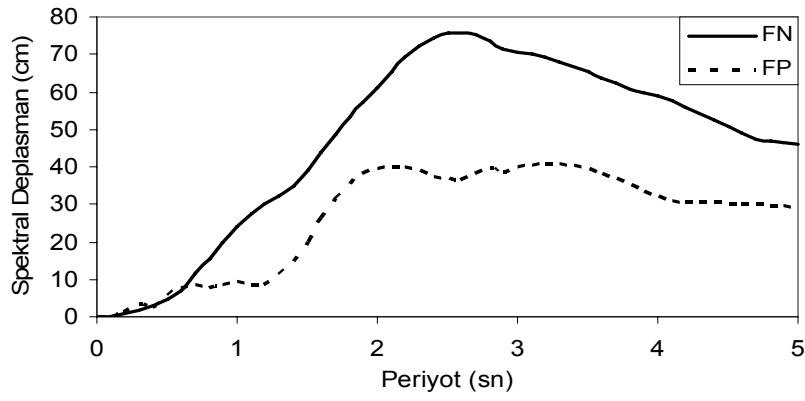
Performansa dayalı tasarım metodolojisi farklı dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar deprem tehlikesinin ve buna bağlı sismik parametrelerin (PGV, Arias şiddeti, Spektral ivme v.b.) belirlenmesi, yapısal analiz ve buna bağlı mühendislik parametrelerinin (görelî katarası deplasmanı, kat ivmeleri, eleman kesit tesirleri v.b.) belirlenmesi, meydana gelen hasar düzeyinin ölçülmesi ve hasar düzeylerine göre gerekli mühendislik kararlarının verilmesidir [4].

Yapısal talebin doğru tahmini için deprem yer hareketlerinin iyi karakterize edilmesi gerekmektedir. Son yönetmelikler, UBC97, yakın fay etkisini alışılmış tasarım spektrumunu, (deprem) kaynak türü ve faya olan uzaklığa bağlı yakın-fay faktörleri ile büyütmetedirler. Ancak bu faktörlerin yakın fay etkilerini yeteri düzeyde tanımlayamadıkları ve tutarlı bir çözüm getiremediklerine inanılmaktadır [5].

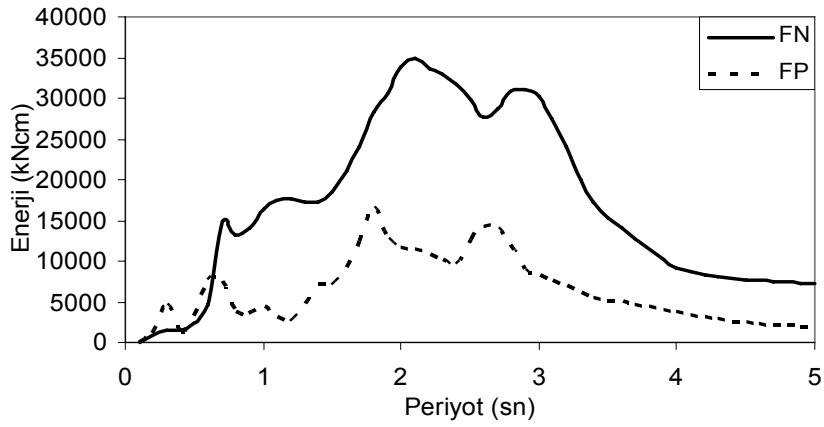
İleri doğrultu atımlı, yakın fay, yer hareketlerinin hız-zaman kayıtlarında bulunan atım süresi, en büyük hız değeri ve atım sayısı yapısal talebin tahmin edilmesinde kullanılan önemli parametrelerdir. Şekil 1.2’de görüldüğü gibi Yakın fay yer hareketlerinin ileri doğrultu etkisi içeren bileşenleri diğer bileşenlere göre genellikle 0.7 sn ve daha uzun periyotlu Tek Serbest Dereceli (TSD) sistemlerde daha yüksek spektral hız, deplasman ve histeretik enerji talebi oluşturur.



a)



b)



c)

Şekil 1.2. Erzincan (1992) depremi Faya Normal (FN) ve Faya Paralel (FP) kayıtlarının a) elastik spektral hız, b) spektral deplasman, c) toplam enerji spektrumları

1.1. Geçmiş Çalışmalar

Hasar verici atımlar içeren ilk kayıt, San Fernando (Kaliforniya 1971) depremi sırasında kaydedilen Pacoima Baraj kayıdır. Ağır hasarlı Olive View Hastanesinde yapılan incelemede hasarın uzun süreli atımlardan kaynaklandığı anlaşılmıştır [6]. Hall [7] büyük depremlerin benzeştirilmiş yer hareketlerinde büyük deplasman atımlarının, yönetmeliklere göre dizayn edilmiş yüksek katlı tabana ankastre yüksek yapılar ve taban izolatörlü yapıların tasarım kapasitelerinin aşılmasına neden olduğunu göstermiştir.

Iwan [8] yakın fay yer hareketlerinin işlenmesi için hız-zaman grafiğinde polinomal eğri uydurmayı esas alan bir yeni bir yöntem önermektedir. Bu yöntem faylarda statik deplasmanın kayıtlarda görülmesini sağlamaktadır. Boore [9] farklı taban düzeltme yöntemlerinin, serbest titreşim periyodu 10 sn altında olan yapılarda ihmal edilebilir farklılıklara neden olduklarını göstermiştir.

Iwan [10] yakın fay yer hareketlerinde mevcut atımların yapı yüksekliğince bir dalga yayılışı gibi hareket ettiğini, bu nedenle modal superpoze ve tepki spektrumu analizi gibi klasik tekniklerle bu atımların etkilerinin tanımlanamadığı belirtmektedir. Aynı çalışmada yakın fay yer hareketleri için göreceli katarası deplasman spektrumu önerilmektedir.

Somerville [11] doğrultu ve düşey atımlı faylar için ileri doğrultu etkisini modellemiş ve azalım ilişkilerini elde etmiştir.

Malhotra [12] PGV/PGA değerinin yüksek olduğu yakın fay yer hareketlerinin yüksek yapılarda taban kesme kuvvetini, göreceli katarası deplasmanını ve süneklilik talebini arttırdığını göstermiştir.

MacRae [13] 154 yer hareketi kullanarak, faya 70 km uzaklıkta ve depremin merkez üssünden fay boyunca 60 km mesafeye kadar olan bir alanda 20 karelaç alan için elde edilen farklı katsayılar ile R-u-T ilişkisini ve TSD sistemlerin deplasman talebini elde etmiştir.

Gülkan [14] 40 yakın mesafe yer hareketinin maksimum hız yönü kayıtları kullanılarak, UBC 97 yönetmeliğine benzer şekilde, üç farklı sismik tehlike bölgesi için tasarım spektrumları ve zemin kat göreceli kat ötelenmesi spektrumu elde edilmiştir.

2. YAKIN FAY YER HAREKETLERİNİN ÖZELLİKLERİ

2.1. Giriş

Yakın mesafe yer hareketleri uzak mesafe yer hareketlerine göre önemli farklılıklar içermektedir. Yakın fay kayıtları, faydan uzaklık mesafesi ile fayın kırılma yüzeyi uzunluğu arasındaki oranın küçük olması nedeniyle, fay kırılma mekanizmasından etkilenirler. Ancak uzak mesafe kayıtlarında bu oranın büyük olması nedeniyle fayın kırılma mekanizması etkisi görülmez.

Yakın fay etkilerinin genel olarak faylara 20 km mesafeye kadar görüldüğü kabul edilmekle birlikte depremin büyüklüğü ve fayın kırılma türüne göre bu mesafe değişebilmektedir.

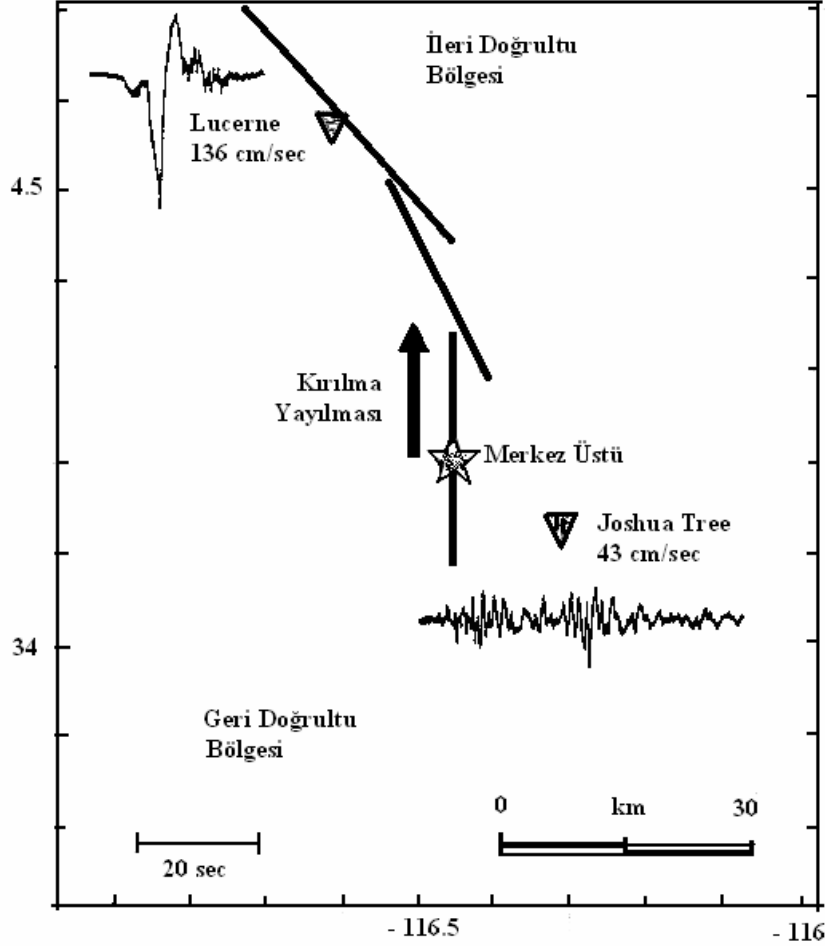
Parkfield (1966) ve San Fernando (1971) Kaliforniya depremlerinde sırasıyla Co2 ve Pacoima Baraj kayıt istasyonlarında kaydedilen yer hareketleri, yakın fay etkisi içeren ilk kayıtlardır. Erzincan (1992), Lander (1992), Northridge (1994), Kobe (1995), Kocaeli (1999), Düzce (1999) ve ChiChi (1999) depremleri ise yakın fay etkisi içeren ve büyük hasarlara neden olmuş depremlerdir.

2.2. Doğrultu (Forward, backward Directivity) ve Ötelenme Etkisi

Doğrultu etkisi ileri doğrultu (forward directivity) ve geri doğrultu (backward directivity) etkisi olmak üzere iki farklı şekilde oluşmaktadır. Doğrultu atımlı faylarda **ileri doğrultu** etkisi, fayın kırılma doğrultusunun o bölgeye doğru olması, deprem merkez üssüne uzak olması ve fayın kırılma yüzeyine yakın olması durumunda (fayın normal yönünde) oluşur. Fay kırığına ve merkez üssüne yakın olan bölgelerde ise geri doğrultu etkisi meydana gelir [1].

Şekil 2.1'de Lander (1992) depreminin fay kırığı ile Lucerne ve Joshua tree istasyonlarında elde edilen hız kayıtları plan üzerinde verilmektedir. Görüldüğü gibi Lucerne kayıt istasyonunda yüksek hız değerleri ve uzun süreli bir atım bulunmaktadır. Ayrıca yer hareketi süresi ise kısadır. Buna karşın Joshua Tree kayıt istasyonunda uzun

sürekli düşük hız değerleri kaydedilmiştir. Lucerne ve Joshua Tree kayıt istasyonları sırasıyla ileri ve geri doğrultu etkileri içermektedir.

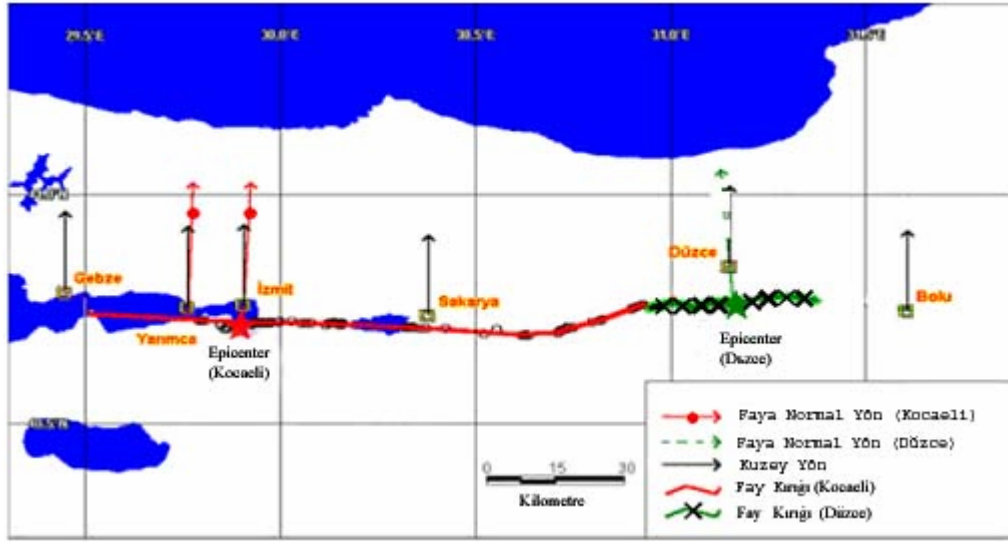


Şekil 2.1. Lander (1992) depremi ileri ve geri doğrultu etkileri [3]

İleri doğrultu etkisi doğrultu atımlı faylarda fay kırığına dik doğrultuda ve düşey atımlı faylarda ise fay düzleminin düşey yöndeki izdüşümüne yakın bölgelerde, fay düzlemine dik doğrultuda, meydana gelir [1, 11, 15]. İleri doğrultu etkisiyle yer hareketinin genellikle hız kaydında uzun süreli bir atım oluşturur ve bu atım yapılarında önemli enerji yutma talebi meydana getirir.

Kocaeli (1999) depreminde elde edilen bazı kayıtlar faya paralel doğrultuda olmasına rağmen atım içermektedir [16, 17, 18, 19]. Şekil 2.2’de Kocaeli (1999) ve Düzce (1999) depremlerinin fay kırıkları ile kayıt istasyonları konumları verilmektedir. Ülkemizde kullanılmakta olan kayıt cihazları yer hareketlerini, doğu-batı, kuzey-güney ve düşey doğrultuda kaydetmektedir. Kayıt istasyonlarının kuzey-güney bileşenleri ile faya normal

bileşenler arasındaki açı çok küçüktür. Bu nedenle kuzey-güney bileşenler faya normal kayıt ve doğu-batı bileşenler ise faya paralel kayıt olarak alınabilir [16].



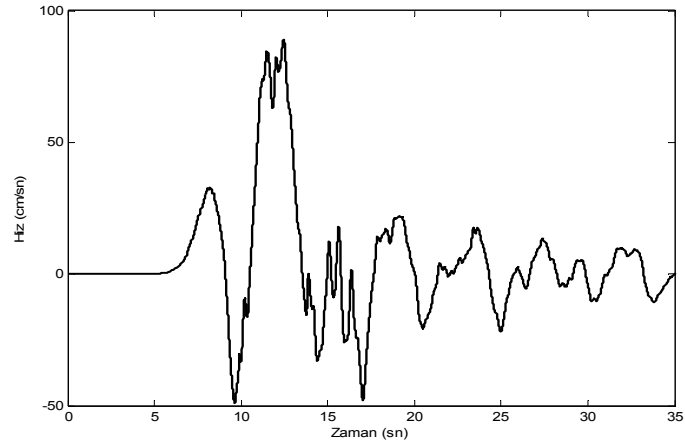
Şekil 2.2. Kocaeli (1999) ve Düzce (1999) depremleri fay kırıkları ve kayıt istasyonlarının konumları [16]

Şekil 2.3 (a), (b) de Kocaeli (1999) depremi Yarımca kaydının doğu-batı bileşeni hız ve deplasman kayıtları verilmektedir. Görüldüğü gibi hız kaydında ileri doğrultu etkisine benzer şekilde atım bulunmakta ve aynı zamanda deplasman kaydında statik-kalıcı deplasman bulunmaktadır. Doğrultu atımlı faylarda faya paralel doğrultuda ve fayın kırılma yüzeyinin tek tarafında hız atımları meydana gelebileceğini belirtmektedir [17, 18, 19]. Kocaeli (1999) depreminde mevcut kayıtlar (Sakarya, İzmit, Yarımca) bu hipotezi doğrulamaktadır.

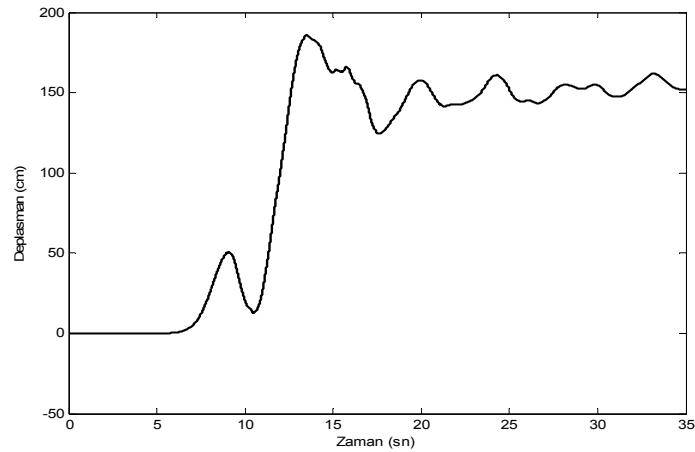
Faylarda meydana gelen tektonik deformasyondan dolayı ötelenme etkisi meydana gelir. Deprem merkez üssünden bağımsız olarak yanıl atımlı faylarda faya paralel, düzey atımlı faylarda ise fayın kırılma yüzeyine normal doğrultuda meydana gelir. Ötelenme etkisi yanıl ve düzey atımlı faylarda fayın tek tarafındaki yer hareketlerinde hız atımları meydana getirir [19]. Şekil 2.3 (b) de görüldüğü gibi ötelenme etkisinde büyük statik deplasmanın yanı sıra küçük dinamik deplasmanlar meydana gelmektedir.

İleri doğrultu etkisinin hasar potansiyelleri genellikle en büyük hız değeri (PGV), spektral hız değeri (PSV), hız spektrumunda hakim periyot (T_p), atım sayısı ve büyüklükleri ile ölçülür [1]. Atım süresine yakın serbest titreşim periyotlu yapıların hasar görebilme potansiyelleri daha yüksektir. Şekil 2.4'de Erzincan depremi, Erzincan kayıt istasyonu faya normal bileşenin, hız-zaman grafiği verilmektedir. Hız-zaman grafiğinde atım süresi 2.5 sn

olarak ölçülmektedir. Şekil 2.2’de verilen Kocaeli depremi, Yarımcı kaydı, hız zaman grafiğinde ise atım süresi 4.67 sn dir ve her iki kayıt faylara 5 km den daha kısa mesafelerde kaydedilmiştir. Şekil 2.5-2.6’da iki kaydın sırasıyla birim enerji ve deplasman spektrumları verilmektedir. Verilen spektrumlarda üç temel bölge mevcuttur. Birinci bölge 0-0.7sn arasında iki kaydın enerji ve deplasman talepleri birbirine çok yakındır. Bu bölgede genellikle doğrultu etkisi görülmemektedir. İkinci bölge 0.7-3.0 sn arasındadır. Bu bölgede Erzincan kaydının deplasman ve birim enerji spektrum değerleri Yarımcı kaydından büyüktür. Üçüncü bölge ise 3 sn den büyük olan spektral bölgedir. Bu bölgede Yarımcı kaydının spektral deplasman ve birim enerji değerleri daha büyüktür. Erzincan ve Kocaeli depremlerinin sırasıyla 6.9 ve 7.4 moment büyüklüğündedir.

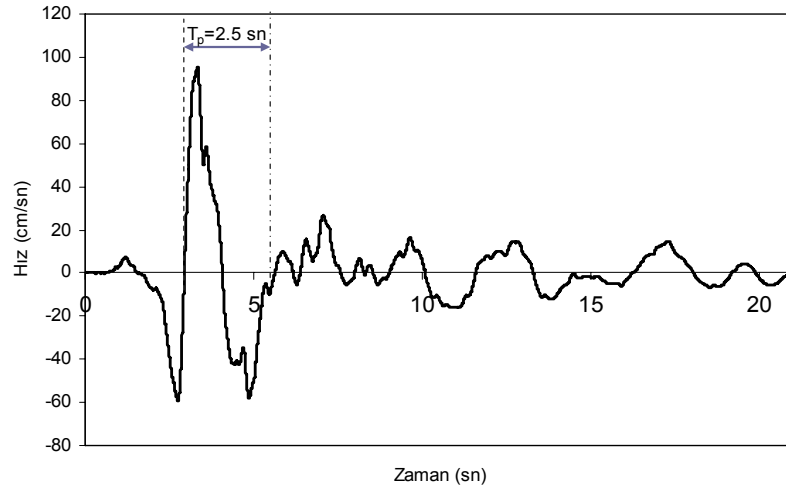


a)

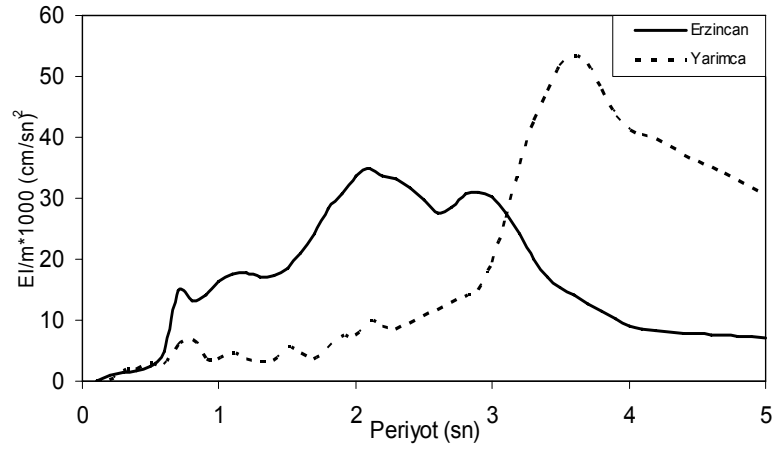


b)

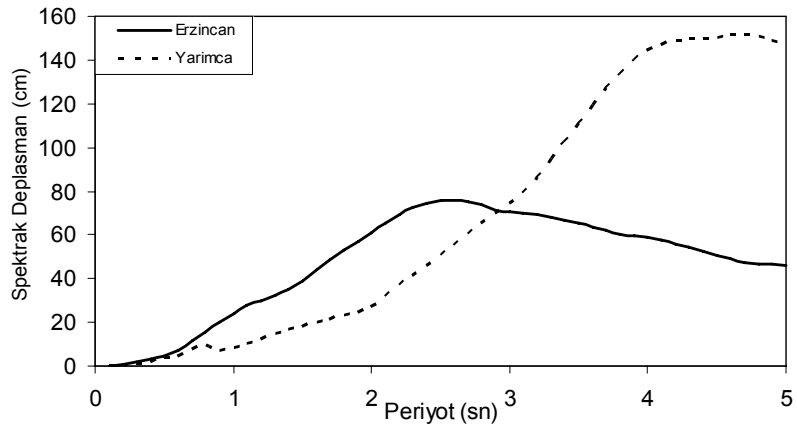
Şekil 2.3. Kocaeli (1999) Yarımcı doğu-batı bileşeni a) hız
b) deplasman kaydı



Şekil 2.4. Erzincan 1992, Faya Normal Bileşenin Hız-Zaman grafiği



Şekil 2.5. Erzincan ve Yarımcı kayıtları elastik birim enerji spektrumları



Şekil 2.6. Erzincan ve Yarımcı kayıtları deplasman spektrumları

Yakın fay yer hareketlerinde meydana gelen atım süreleri deprem büyüklüğüne, faya uzaklığa ve zemin cinsine göre değişebilmektedir. Bu nedenle küçük depremler küçük atımlar oluştururlar ve faya yakın bölgelerde atım sürelerine yakın salınımlı yapılarda daha yüksek hasara neden olabilmektedirler.

2.3. Katarası Deplasman Spektrumu

Tepki spektrumu, deprem yer hareketlerinin farklı periyotlu yapılar üzerinde etkilerini basit bir şekilde gösteren önemli bir göstergedir. Housner tarafından 1950’li yıllarda önerilmiş olan tepki spektrumu tek serbestlik dereceli sistemler üzerinde deprem talebini temel mod esaslı belirlemektedir. Ancak yüksek katlı yapıların, atım içeren yer hareketleri etkisi altında, tepkileri dalga benzeri olmaktadır. Bu nedenle lokal deformasyonlar önemli olmaktadır. Temel mod esaslı tepki spektrumu bu lokal deformasyonları kestirmede yeterli olmamaktadır [10, 14, 20] .

Katarası deplasman spektrumu, temel mod esaslı tepki spektrumundan farklı olarak, yüksek modların etkilerini içermek amacıyla sürekli kayma kirişi modeli esas alınarak geliştirilmiştir [10]. Aşağıda görelî kat ötelenme spektrumu elde edilmesi için verilen ifadeler Iwan [10] çalışmasından alınmıştır. Şekil 2.7’de verildiği gibi bir yapının yüksekliği H , temel periyot T ve ilk modun sönüm oranı ζ olsun. Yapı yatay yönde $z(t)$ yer hareketine maruz olsun ve yapının tabana göre rölatif deplasmanı $u(y,t)$ olsun. Bu model için katarası görelî deplasman oranı $\partial u / \partial y$ dir. Bir boyutlu sürekli ortamda sönümlü dalga teorisi [21] kullanılarak yanal deplasman;

$$u(t) = e^{-\alpha t} \phi(y \pm ct) \quad (2.1)$$

şeklinde elde edilir. Burada α sabit, $\phi(y \pm ct)$ kayma kirişindeki dalganın yukarı (+) veya aşağı (-) hareketi ve c dalga hızıdır. Dalga hızı c ile temel periyot ile yapı yüksekliği H arasındaki ilişki

$$c = 4H / T \text{ dir.} \quad (2.2)$$

Kayma kirişinin başlangıç deplasmanı ile sönümlü serbest salınımı göz önüne alınarak sönüm oranı ζ ile α arasındaki ifade

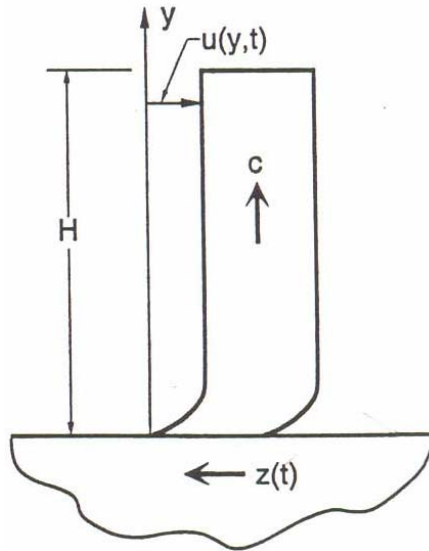
$$\alpha = \frac{2\pi\zeta}{T} \quad \text{şeklinde elde edilir} \quad (2.3)$$

h tabandan herhangi bir yükseklik ve boyutsuz β yükseklik değişkeni

$$h = H\beta; \quad \beta \leq 1 \text{ olsun} \quad (2.4)$$

ayrıca $v(t)$ yer hareketinin hız zaman kaydı olsun. Hız fonksiyonu

$$v(t) = \partial z / \partial t \quad \text{şeklinde elde edilir} \quad (2.5)$$



Şekil 2.7. Sürekli kayma kirişi modeli [10]

Yer hareketi $z(t)$ nin kayma kirişe uygulanması, kirişin yukarı ve aşağı doğru sönümlü hareketinin eklenmesiyle boyutsuz β yüksekliğinde kayma gerilmesi

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial y}(h, t) = & \frac{1}{c} \left\{ e^{-\pi\beta\zeta/2} \left[v(t - \beta T / 4) + \frac{2\pi\zeta}{T} z(t - \beta T / 4) \right] + \sum_{n=1}^{N \leq 2tT - \beta/2} (-1)^n e^{-(n\pi + \beta/2)\zeta} \right. \\ & \left[v(t - nT / 2 - \beta T / 4) + \frac{2\pi\zeta}{T} z(t - nT / 2 - \beta T / 4) \right] + \sum_{n=1}^{N \leq 2tT + \beta/2} (-1)^n e^{-(n\pi + \beta/2)\zeta} \\ & \left. \left[v(t - nT / 2 + \beta T / 4) + \frac{2\pi\zeta}{T} z(t - nT / 2 - \beta T / 4) \right] \right\} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Maksimum kayma birim uzaması D olsun. Böylece

$$D = \max |\partial u / \partial y| \quad \text{olacaktır.} \quad (2.7)$$

Bir çok durumda maksimum kayma birim uzaması yapının tabanında ($\beta=0$) meydana gelir. Bu durumda D serbest titreşim periyodu ve sönüm oranının bir fonksiyonu şeklinde ifade edilebilir.

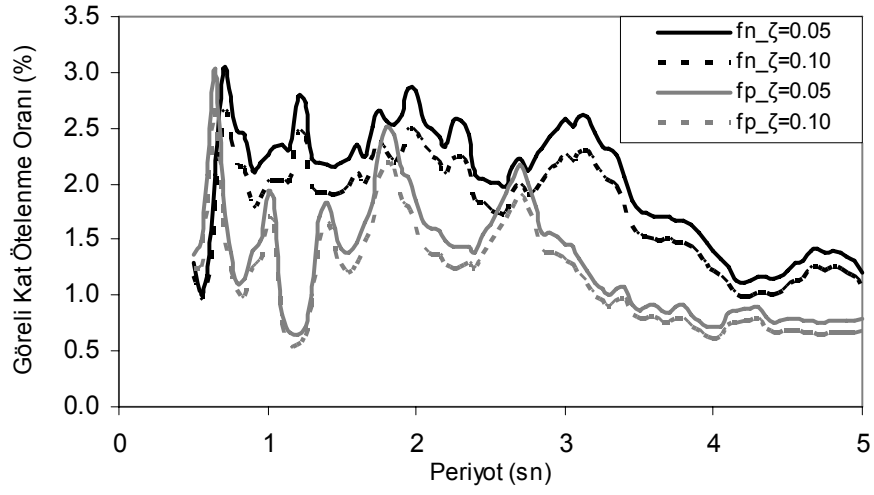
$$D(T, \zeta) = \max \frac{T}{4H} \left| v(t) + \frac{2\pi\zeta}{T} z(t) + 2 \sum_{n=1}^{N=2t/T} (-1)^n e^{n\pi\zeta} \left[v(t - nT/2) + \frac{2\pi\zeta}{T} z(t - nT/2) \right] \right| \quad (2.8)$$

Maksimum katarası görelî deplasman oranının $v(t)$ nin maksimum olduğu zamanda meydana geleceği ve aynı zamanda $z(t)$ çok küçük olduğu kabul edilerek denklem (2.8) aşağıdaki gibi basitleştirilebilir.

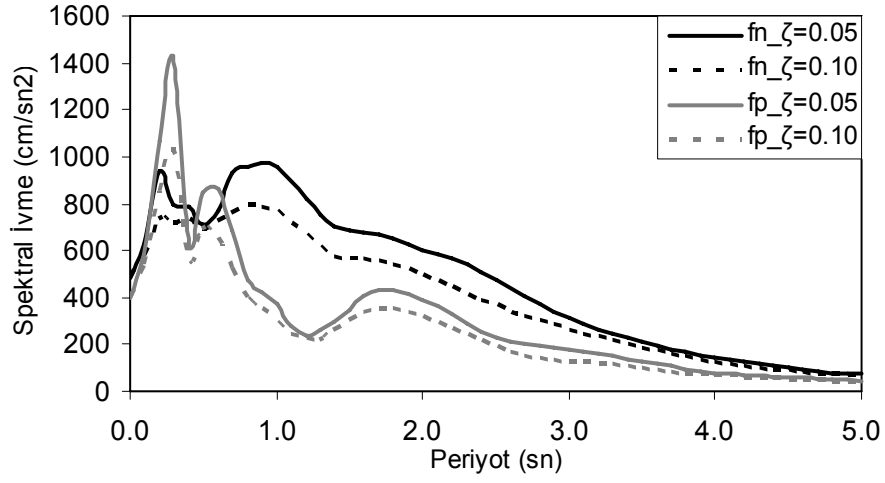
$$D(T, \zeta) = \max \frac{T}{4H} \left| v(t) + 2 \sum_{n=1}^{N=2t/T} (-1)^n e^{n\pi\zeta} v(t - nT/2) \right| \quad (2.9)$$

Erzincan depremi, Erzincan kayıt istasyonu, ve Kocaeli Yarımca kayıt istasyonlarının faya normal (fn) ve faya paralel (fp) yönlerinin katarası görelî deplasman ve ivme spektrumları % 5 ve % 10 sönüm (ζ) oranları için sırasıyla Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da verilmektedir. Şekil 2.8.(b)'da görüldüğü gibi Erzincan depremi faya normal bileşenin ivme spektrumu 1 sn periyottan sonra azalmaktadır. Ancak aynı yer hareketinin 0.5-3sn aralığında büyük görelî kat ötelenmesi talebi oluşturduğu Şekil 2.8 (a)'da görülmektedir. Yarımca faya paralel kaydında ise en büyük görelî ötelenme talebinin 3-4 sn periyotları arasında meydana geldiği görülmektedir. Ancak aynı yer hareketinde spektral ivmenin 0-1 sn aralığında maksimum olduğu görülmektedir.

Görelî kat ötelenme oranı spektrumu, yer hareketinin, lokal deformasyon taleplerini belirlerken tepki spektrumu global deformasyon taleplerini belirlemektedir. Bu nedenle tepki spektrumu ile görelî kat ötelenmesi spektrumu birbirini tamamlayıcı özelliklere sahiptirler [10].

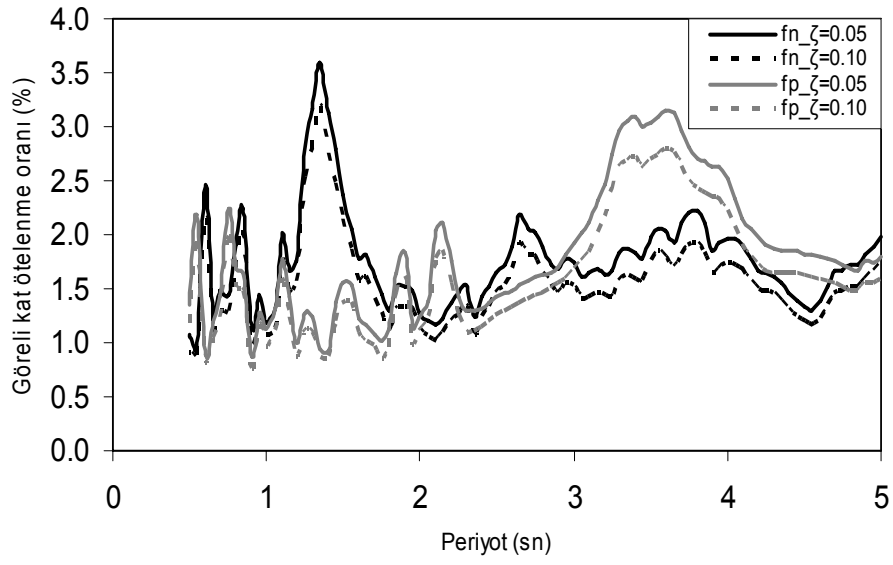


a)

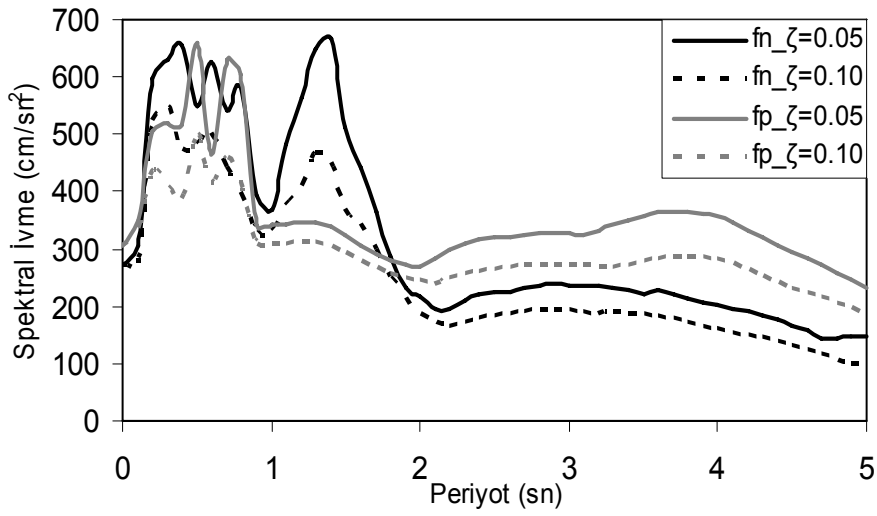


b)

Şekil 2.8. Erzincan faya normal ve faya paralel yönlerin a) ivme spektrumu
b) görel kat ötelenme oranı grafikleri



a)



b)

Şekil 2.9. Yarımcı faya normal ve faya paralel yönlerin a) görelî kat ötelenme oranı b) ivme spektrum grafikleri

3. YER HAREKETLERİNİN TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLER ÜZERİNDEKİ HASAR POTANSİYELLERİ

3.1. Giriş

Performansa dayalı tasarımın önemli aşamalarında biri yer hareketi özelliklerinin ve bunlara bağlı yapısal talebin belirlenebilmesidir. Yapısal talebin doğru tanımlanabilmesi yer hareketi özellikleri ile yapısal hasar arasındaki ilişkinin belirlenebilmesine bağlıdır.

Yer hareketi hasar potansiyelini belirlemek amacıyla kullanılan en temel şiddet ölçümler (IM) en büyük ivme değeri (PGA), en büyük hız (PGV), en büyük deplasman (PGD), spektral ivme (PSA), spektral hız (PSV), arias şiddeti (I_a), kuvvetli yer hareketi süresi (T_{90}), histeretik enerji (E_h) v.b. parametrelerdir [4, 22, 23, 24, 25, 26]. Doğrultu etkili yer hareketlerinde bu parametrelerin dışında atım periyodu ve sayısı kullanılan indekslerdir. En büyük ivme değeri (PGA) yer hareketi şiddetini belirlemek amacıyla en sık kullanılan göstergedir. Ancak büyük ivme değerleri sürekli büyük hasar meydana getirmemektedir. Özellikle yapı hakim periyodu büyüdükçe, PGA ile yapısal hasar talebi arasındaki korelasyon zayıflamaktadır.

Yapısal hasar çeşitli parametrelerle ifadelendirilmektedir. TSD sistemlerde deplasman süneklik talebi (μ), spektral deplasman talebi (S_d) ve hasar indeksi (DI) kullanılan temel hasar ölçüm parametreleridir (DM).

Bu kısımda atım içeren yakın fay, atım içermeyen yakın fay ve uzak mesafe yer hareketleri için üç ayrı yer hareketi data seti oluşturulmuştur. Oluşturulan yer hareketleri 0.3-6.0 saniye arasında 58 adet TSD sisteme maruz bırakılmış ve yer hareketi parametreleri ile hasar parametreleri arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

3.2. Kullanılan Deprem Yer Hareketleri

Çalışmada üç farklı deprem yer hareketi seti kullanılmıştır. Kullanılan yakın fay kayıtlarının faylara uzaklıkları 20 km'nin altındadır. Şekil 3.1'de 109 adet atım içeren yakın fay kaydının deprem moment büyüklükleri ile faya uzaklıkları, Şekil 3.2'de atım içermeyen 104 yakın fay kaydının deprem moment büyüklükleri ile faya uzaklıkları

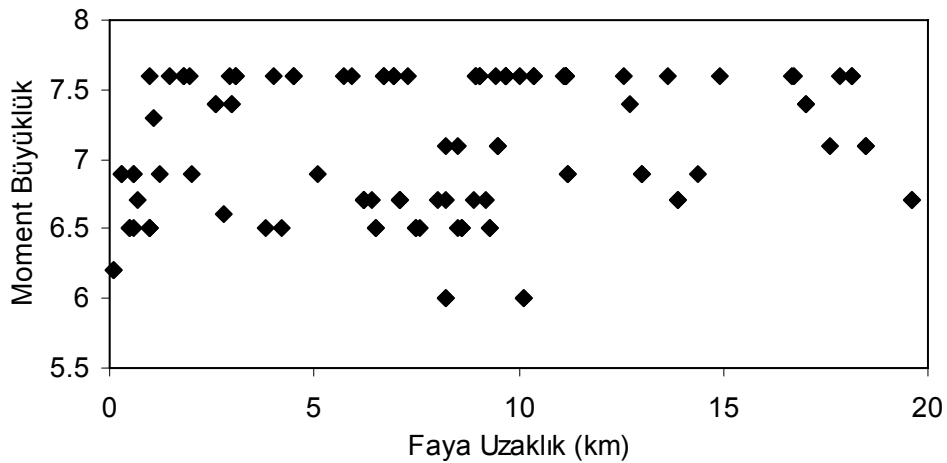
verilmektedir. Faylara uzaklıkları 35 km'den büyük olan, 94 adet, kayıt uzak mesafe deprem kayıtları olarak kullanılmış ve deprem moment büyüklükleri ile faya uzaklıkları Şekil 3.3'de verilmiştir. Atım içeren yakın fay kayıtları, atım içermeyen yakın fay kayıtları ve uzak mesafe kayıtları Tablo 3.8 Tablo 3.9, Tablo 3.10'da sırasıyla verilmektedir.

Kullanılan yer hareketi kayıtları <http://peer.berkeley.edu> adresinden alınmıştır [27]. Burada d_f kayıt istasyonunun faya en yakın mesafesidir. NEHRP zemin özellikleri kullanılmış, zemin sınıfları ile kayma dalgası hız aralıkları Tablo 3.1.de verilmiştir.

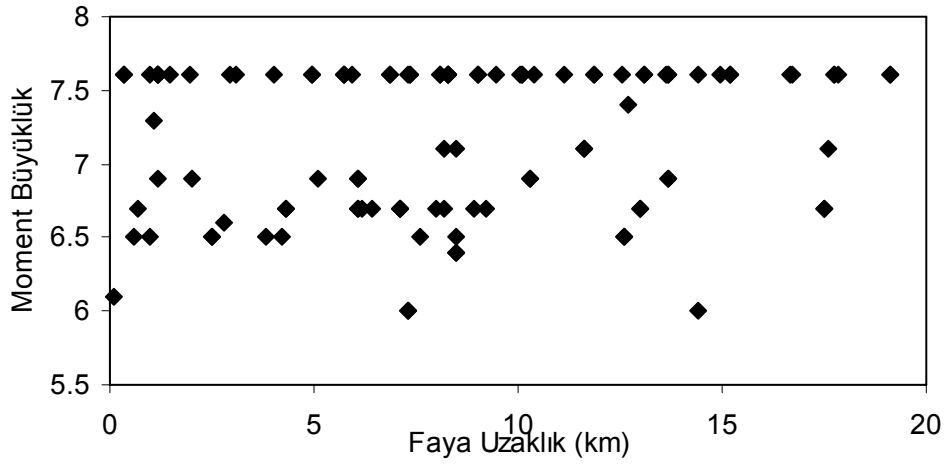
Atım periyotlarının belirlenmesinde iki farklı yaklaşım mevcuttur. Bunlardan ilki hız-zaman kaydında mevcut olan en büyük atım süresinin (T_p) belirlenmesidir. Diğer ise spektral hız-zaman grafiğinde hakim periyodun (T_v) alınmasıdır. Bu çalışmada atım içeren yer hareketlerinin belirlenmesinde her iki yaklaşımda sağlanmıştır. Atım süresi ile hakim periyot arasında iyi bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.4).

Tablo 3.1. NEHRP Zemin sınıfları

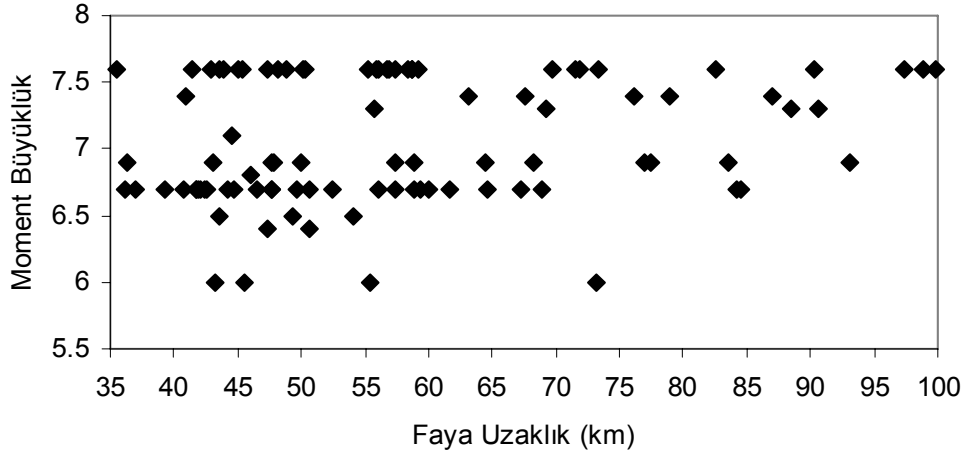
Zemin Sınıfı	Kayma Dalgası Hızı (m/sn)
Sa	> 1500
Sb	750-1500
Sc	360-750
Sd	180-360
Se	< 180



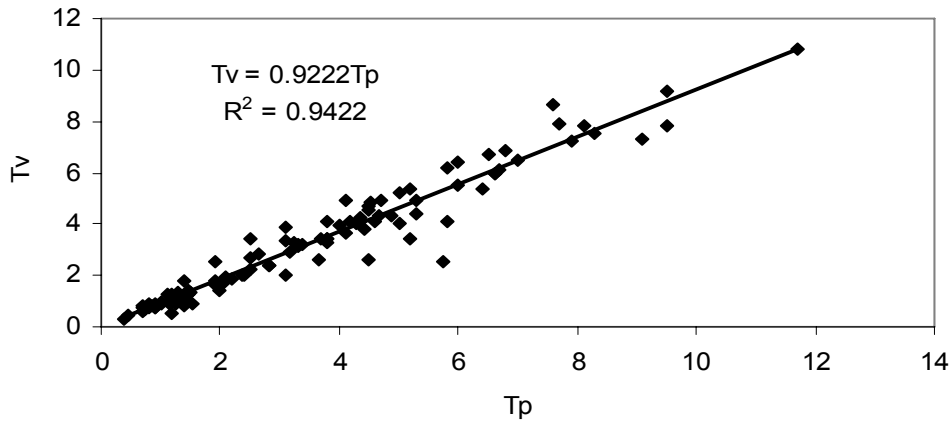
Şekil 3.1. Atım içeren kayıtların deprem moment büyüklükleri ile faya uzaklıkları



Şekil 3.2. Atım içermeyen kayıtların deprem moment büyüklükleri ile faya uzaklıkları



Şekil 3.3. Uzak mesafe kayıtların deprem moment büyüklükleri ile faya uzaklıkları



Şekil 3.4. Atım süresi (T_p) ile hakim periyot (T_v) arasındaki ilişki

3.3. Yer Hareketlerinin Elastik Spektrumları ve Ölçeklendirilmeleri

Yer hareketleri faylara yakın bölgelerde daha şiddetlidir. Faylardan uzaklaştıkça yer hareketlerinin temel parametreleri (PGA, PGV, PGD) genellikle küçülmektedir. Faylara yakın mesafelerde doğrultu etkisi içeren yer hareketlerinin, genellikle diğer yer hareketlerine göre, hasar potansiyelleri daha yüksektir. Bu çalışmada kullanılan üç farklı yer hareketi grubunun ortalama ivme, hız ve deplasman spektrumları, %5 sönüm oranı ile, Şekil 3.4-3.6'da ve spektral ivme, hız, deplasman spektrumları da Şekil 3.7-3.9'da verilmektedir.

Atım içeren yer hareketleri, yakın mesafe etkilerinin görülmeye başlandığı 0.7 sn periyottan sonra, atım içermeyen yakın fay ve uzak mesafe yer hareketlerine göre daha yüksek spektral değerlere sahiptir.

3.3.1. Yer Hareketlerinin İvme, Hız ve Deplasman Tesirli Bölgeleri

Deprem yer hareketlerinin ivme, hız ve deplasman tesirli bölgelerinin belirlenmesi, yer hareketlerinin karakterize edilmesi bakımından, önemlidir. Chopra [28] üçlü spektrumların ivme, hız ve deplasman tesirli bölgelerinin belirlenmesi detaylıca verilmektedir. Logaritmik eksenlerde gerçek spektrumun yedi eğrili bir düzeltilmiş spektruma dönüştürülmesi ile yer hareketinin geçiş periyotları (ivme, hız ve deplasman tesir bölgeleri) elde edilir. Düzeltilme işlemi iki spektrum arasındaki hatanın kareleri toplamının minimize edilmesi ile gerçekleştirilmektedir.

Üçlü elastik spektrumların düzeltilmesi ve dönüşüm periyotlarının (T_c , T_d) elde edilmesi için matlab dilinde bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım gerçek spektrum üzerinde ortalama 450.000 adet yedi eğrili düzeltilmiş üçlü spektrum üretmekte ve üretilen düzeltilmiş spektrumlar ile gerçek spektrum arasındaki hatanın karesini minimize etmektedir. Sonuç olarak en uygun düzeltilmiş spektrum ve Chopra [29] belirtilen altı adet spektrum periyodu elde etmektedir. Yazılım ayrıca ivme, hız ve deplasman amplifikasyon oranlarını da elde edebilmektedir.

Şekil 3.10'da Imperial Valley depremi hdl-352 kaydının % 5 sönümlü üçlü gerçek ve düzeltilmiş elastik spektrumu verilmektedir. Çok küçük periyotlarda ($T < T_a = 0.054$) yapıların çok rijit davranmasından dolayı spektral ivme ve deplasman değerleri çok

küçüktür. Bu bölgenin spektral ivme değeri yaklaşık olarak yer hareketinin en büyük ivme değerine (PGA) eşittir. Çok büyük periyotlu yapılarda ($T > T_f = 32$ sn) ise spektral ivme değeri (PSA) çok düşüktür, bu durumda yapıda $m \cdot PSA$ değeri ile ilişkili olan kuvvetler çok düşük olmaktadır. Bu nedenle yapı deplasmanı ile yer hareketinin en büyük deplasman değerine (PGD) yakın olmaktadır.

Küçük periyotlu bölge, ($T < T_c$) yer hareketinin ivme tesirli bölgesi, olarak tanımlanmaktadır. $T_a < T < T_b$ aralığında PSA değeri sönüm ve periyoda bağlı olarak değişmektedir. $T_b < T < T_c$ bölgesinde ise PSA değeri periyottan bağımsız olarak sabittir. Bu bölgede PSA/PGA oranı ivme amplifikasyon oranını vermektedir.

Orta periyotlu bölge ($T_c < T < T_d$) hız tesirli bölgedir. Bu bölgede spektral hız (PSV) değeri sabittir ve hız bölgesi amplifikasyon oranı PSV/PGV olarak elde edilmektedir.

Büyük periyotlu bölge ($T > T_d$) deplasman tesirli bölgedir. $T_d < T < T_e$ bölgesinde spektral deplasman (PSD) değeri sabittir ve deplasman amplifikasyon oranı PSD/PGD olarak elde edilmektedir. $T_e < T < T_f$ aralığında PSD değeri periyoda ve sönüm oranına bağlı olarak değişmektedir [29].

Chopra [29] ve Malhotra [12] yakın fay yer hareketlerinde hız tesirli bölgenin, uzak fay yer hareketlerine göre daha kısa olduğu, buna karşın yakın fay yer hareketlerinin ivme tesirli bölgelerinin daha uzun olduğu belirtilmektedir. Ayrıca yer hareketlerinin V/A oranları ile doğru orantılı olarak ivme tesirli bölge genişliğinin değiştiği ve büyük D/V oranlarının hız tesirli bölge sınırı T_d 'yi büyüttüğü ifade edilmektedir.

V/A ve D/V oranlarının geçiş periyotları (T_c ve T_d) üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla biri uzak mesafe, ikisi yakın mesafe olmak üzere üç adet kaydın elastik spektrumları sırasıyla Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de verilmektedir. Bu üç kaydın faya olan uzaklıkları (d), geçiş periyotları, (V/A) ve (D/V) oranları Tablo 3.6'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Üç yer hareketinin T_c , T_d , T_p , V/A ve D/V oranları

	d (km)	T_c (sn)	T_d (sn)	T_p (sn)	V/A (sn)	D/V (sn)
N94rrs-228	7.1	0.76	1.46	1.25	0.2	0.17
K99ypt-060	2.6	3.71	4.78	4.3	0.25	0.86
Imp79hdt-352	43.6	0.57	5.36		0.095	0.58

Tablo 3.6’de görüldüğü gibi N94rrs-228 ile K99ypt-060 kayıtlarının (V/A) oranları arasında %25 fark olmasına rağmen (T_c) oranları % 488 oranında farklıdır. Ayrıca (K99ypt-060) kaydının (D/V) oranı, (Imp79hdlt-352) kaydının (D/V) oranından büyük olmasına karşın (Imp79hdlt-352) kaydının (T_d) değeri daha büyüktür. İlk iki kayıta dikkat edilirse (T_p) ile (T_c) ve (T_d) arasında daha yakın bir değişim olduğu görülmektedir. Burada verilen örnekler elastik spektrumların geçiş periyotları ile (V/A) ve (D/V) oranları arasındaki ilişkinin daha geniş bir yer hareketi seti üzerinde belirlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışmada kullanılan ve Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3’de verilen üç farklı, toplam 307 adet, yer hareketinin elastik spektrumlarının dönüşüm periyotları elde edilmiştir. Kullanılan üç farklı yer hareketi seti için (V/A) oranı ile ivme tesirli bölge genişliği (T_c) arasındaki dağılım Şekil 3.12’de verilmektedir. Uzak mesafe yer hareketlerinin (V/A) oranı ile (T_c) periyodu arasında kötü olmayan bir korelasyon mevcuttur. Ancak yakın fay yer hareketlerinde bu ilişki oldukça zayıflamaktadır. Özellikle atım içeren yakın fay yer hareketlerinde (V/A) ile (T_c) periyodu arasında kötü bir korelasyon ($R^2=0.30$) bulunmaktadır.

Şekil 3.13’de yer hareketlerinin (D/V) oranı ile hız tesirli bölge sınırı (T_d) arasındaki ilişki verilmektedir. Yakın fay yer hareketlerinde (D/V) oranı ile (T_d) periyodu arasında oldukça iyi bir korelasyon bulunmaktadır. Ancak uzak fay yer hareketlerinde bu ilişki bozulmaktadır.

Chopra [29] ve Malhotra [12] de belirtilen (V/A- T_c) ilişkisi yakın fay yer hareketleri için oldukça zayıf, uzak mesafe yer hareketleri için ise orta düzeyde ($R^2=0.6$) korelasyona sahiptir. Aynı çalışmalarda belirtilen (D/V- T_d) ilişkisi ise yakın fay yer hareketlerinde oldukça iyi korelasyona sahiptir.

Yakın fay yer hareketlerinin hız tesirli bölgesi, uzak mesafe yer hareketlerine göre, kısadır [29]. Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3’de verilen üç farklı yer hareketi seti için ortalama T_c , T_d periyotları, bunların standart sapma değerlerinin ortalama değerlere oranları Tablo 3.7’de verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi atım içeren yakın fay yer hareketlerinin ivme tesirli bölgeleri, atım içermeyen ve uzak mesafe yer hareketlerine göre daha geniştir. Atım içeren yer hareketlerinde ise hız tesirli bölge diğer yer hareketlerine göre daha kısadır. Ancak hız bölgesi atım süresinin artması ile genişlemektedir. Şekil 3.14’de Kocaeli depremi Yarımca kaydı faya normal ve paralel kayıtların ivme, hız ve deplasman kayıtları ile üçlü spektrumları verilmiştir. Kayıtlardan görülebileceği gibi faya paralel hız-zaman kaydında

$T_p=4.63$ sn süresince bir atım bulunmaktadır. Şekil 3.14(d)'de faya normal ve paralel kayıtların %5 sönümlü üçlü elastik spektrumları verilmektedir. Faya normal olan kaydın hız tesirli bölgesi 4.6 sn genişliğindedir. Buna karşın faya paralel olan kaydın hız tesirli bölgesi 1.06 sn genişliğindedir. Ayrıca faya normal ve paralel kayıtların ivme tesirli bölgeleri sırasıyla 1.2 ve 3.58 sn'dir. Atım içeren yer hareketinde, atım periyoduna (T_p) bağlı olarak, ivme tesirli bölge daha uzun ancak hız tesirli bölge daha kısadır.

Tablo 3.3. Üç farklı yer hareketi setinin ortalama T_c ve T_d değerleri ve standart sapmaları.

	T_c (sn)	Stdsapma/ T_c	T_d (sn)	Stdsapma/ T_d
P	2.3	1.00	4.3	1.00
NP	1.21	1.11	5.1	0.64
UM	0.54	0.65	3.72	0.88

P: Atım içeren yakın fay, NP: Atım içermeyen yakın fay, UM: Uzak mesafe yer hareketleri.

Şekil 3.15'de üç farklı yer hareketi setinin (T_c) ve (T_d) periyotları arasındaki dağılımları verilmektedir. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinde (T_c) ve (T_d) periyotları arasında oldukça iyi bir korelasyon mevcuttur. Bu nedenle tek bir parametre ile iki geçiş periyodunu belirlemek mümkündür.

Yukarıdaki bulgular yakın fay yer hareketlerinin ivme, hız ve deplasman tesirli bölgelerinin belirlenmesinde atım süresinin etkili olduğunu göstermektedir. Atım süresi ile (T_c) ve (T_d) periyotları arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi amacıyla Tablo 3.1'de verilen 109 adet yer hareketinin atım süreleri ile geçiş periyotları (T_c ve T_d) arasındaki ilişki Şekil 3.16'de verilmektedir. Buradan, atım süresi, (T_p) ile geçiş periyotları arasında yüksek bir korelasyon olduğu görülmektedir. Elde edilen korelasyon, (D/V) ve (V/A) gibi benzer parametrelerle elde edilen korelasyondan daha yüksektir. Atım süresi ile geçiş periyotları arasında aşağıdaki basit ve etkili ifade elde edilmiştir.

$$T_c = 0.7T_p \quad (3.1a)$$

$$T_d = 1.248T_p \quad (3.1b)$$

UBC-97 [30] ve Güllkan [14] yakın fay etkilerini içeren tasarım spektrumları vermektedir. UBC-97 yönetmeliği yakın fay etkilerini tasarım spektrumunu, ivme ve hız

tesirli bölge çarpanları (N_a) ve (N_v) ile, artırarak vermektedir. Şekil 3.17’de UBC–97’nin tasarım spektrumu verilmektedir. Tasarım spektrumunun ivme ve hız tesirli bölgelerinde esas alınan (C_a) ve (C_v) değerleri Tablo 3.8’de, (N_a) ve (N_v) çarpanları ise Tablo 3.9 ve 3.10’da verilmektedir. UBC–97’de 7.5 ve üzeri moment büyüklüğünde deprem meydana gelebilecek bölgeler A, 6.5 moment büyüklüğünün altında deprem meydana gelebilecek bölgeler C ve aradaki bölgeler ise B türü sismik bölgedir.

Malhotra [12] UBC–97 spektrumun bazı yer hareketlerinin ivme tesirli bölgelerinde yeterli, hız tesirli bölgelerde ise yetersiz olduğu belirtilmektedir. Şekil 3.18’de Northridge (1994) depremi, rrs–228 kaydı ile UBC–97’nin faydan 7.1 km uzaklık ve (S_d) grubu zemin için öngördüğü üçlü spektrumu verilmektedir. Northridge (rrs–228) hız-zaman kaydında $T_p=1.25$ sn süresince bir atım bulunmaktadır. UBC–97 ivme tesirli bölgeyi ($T_s=0.71$ sn) uzunluğunda vermektedir. Gerçek deprem kaydında ise ivme tesirli bölge $T_c=0.76$ sn olarak elde edilmiştir. Denklem 3.1(a) ise ivme tesirli bölgeyi $T_c=0.87$ sn olarak vermektedir. Küçük atımlı yakın fay yer hareketlerinde UBC–97 ivme tesirli bölgeyi doğruya yakın vermektedir. Ancak büyük depremlerde atım süresi büyümekte ve yer hareketinin ivme tesirli bölgesi genişlemektedir. Bu durumda UBC–97 ivme tesirli bölge genişliğini doğru kestirememektedir. Ayrıca bu yer hareketi için özellikle hız tesirli bölgede UBC–97 spektrumu, gerçek yer hareketinden küçük kalmaktadır.

Şekil 3.19 (a)’da Kocaeli (1999) depremi, yarımca maksimum hız yönü ve Erzincan (1992) depremi faya normal kaydın hız-zaman kayıtları, Şekil 3.19 (b)’de aynı yer hareketlerinin üçlü spektrumları ve eşdeğer UBC–97 spektrumu verilmektedir. Erzincan faya normal kaydında $T_p=2.4$ sn ve Kocaeli yarımca kaydında ise $T_p=4.6$ sn genişliğinde atımlar bulunmaktadır. Bu kayıtlar için UBC–97 spektrumu, Northridge depremi rrs-228 kaydının aksine, konservatif sonuçlar vermektedir. Ancak UBC–97’nin büyük atımlı yer hareketlerinde ivme tesirli bölgeleri oldukça farklı verdiği görülmektedir. Denklem (3.1.a)’nın burada uygulanabilmesi için atım süresi veya periyodunun tahmin edilebilmesi gerekmektedir. Çalışmanın Dördüncü Bölümünde atım süresinin deprem moment büyüklüğüne, faydan uzaklığa ve zemin sınıfına bağlı olarak tahmin edilmesi detaylıca verilmekte ve denklem (3.1a) kullanılarak ivme tesirli bölge, UBC–97’ye oranla daha az hata oranı ile belirlenebilmektedir.

Tablo 3.4. Ca ve Cv Katsayıları

Zemin Cinsi	Sismik Bölge Faktörü, Z									
	Z=0.075		Z=0.15		Z=0.2		Z=0.3		Z=0.4	
	Ca	Cv	Ca	Cv	Ca	Cv	Ca	Cv	Ca	Cv
Sa	0.06	0.06	0.12	0.12	0.16	0.16	0.24	0.24	0.32Na	0.32Nv
Sb	0.08	0.08	0.15	0.15	0.2	0.2	0.3	0.3	0.40Na	0.40Nv
Sc	0.09	0.13	0.18	0.25	0.24	0.32	0.33	0.45	0.40Na	0.56Nv
Sd	0.12	0.18	0.22	0.32	0.28	0.4	0.36	0.54	0.44Na	0.64Nv
Se	0.19	0.26	0.3	0.5	0.34	0.64	0.36	0.84	0.36Na	0.96Nv

Tablo 3.5. Na çarpanı

Sismik Kaynak Türü	Faya Uzaklık		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

Tablo 3.6. Nv Çarpanı

Sismik Kaynak Türü	Faya Uzaklık			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

3.3.2. Yer Hareketlerinin Ölçeklendirilmesi

Performansa dayalı tasarımın amacı yapısal hasar düzeylerinin belirli yer hareketi şiddetlerine bağlı olarak tahmin edilmesidir [31]. En büyük ivme değeri (PGA) yer hareketinin en çok kullanılan şiddet parametresiydi. Son zamanlarda birinci mod periyodunun spektral tepki değeri gibi parametreler şiddet parametresi olarak kullanılmaktadır [32, 33]. Ancak yapının temel periyoduna ait spektral ivme değerinin tek başına şiddet parametresi olarak kullanılması konservatif sonuçlar vermektedir. Baker [34] çalışmasında ikinci mod spektral ivme değerinin birinci mod spektral ivme değerine oranı olan R_{T_1, T_2} parametresinin atım içeren yer hareketleri için etkili olduğunu gösterilmektedir.

Yer hareketlerinin ölçeklendirilmesinin amacı yapısal talep parametrelerinin dağılımlarının azaltılmasıdır. Yapılan ölçeklendirme çalışmaları [32, 33, 34] genellikle yer hareketlerinin tesir bölgelerini göz önüne almamaktadır. Ancak yer hareketlerinin tesir bölgeleri kullanılan ölçeklendirme parametresine bağlı olarak etkili olmaktadır. Çalışmanın bu kısmında kullanılan üç farklı yer hareketi seti sırasıyla ortalama PGA, PGV, PGD, Arias şiddeti, Housner spektrumu ve $S_a(T_1, 5\%)$ değerleri ile ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirilen yer hareketlerinin spektral deplasman değerlerinin değişimi ($COV(S_d)$) spektral olarak elde edilmiştir.

Şekil 3.21’de ölçeklendirilmemiş yer hareketlerinin, farklı R değerleri için, elde edilen spektral deplasman değişim değerleri periyoda bağlı olarak verilmektedir. Ölçeklendirilmemiş yer hareketlerinde bütün R değerleri için elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakındır.

3.3.2.1. Yer Hareketlerinin PGA ile Ölçeklendirilmesi

Yer hareketlerinin en büyük ivme değeri (PGA) en çok kullanılan şiddet parametrelerindendir. Çalışmanın bu kısmında, kullanılan yer hareketleri setlerinin ortalama PGA değeri ile ölçeklendirilmiştir.

Şekil 3.22’de atım içeren yakın fay, atım içermeyen yakın fay ve uzak mesafe yer hareketleri için elde edilen spektral deplasman COV spektrumları verilmektedir. Her üç yer hareketi içinde küçük periyotlarda ve düşük R değerlerinde dağılım düşük olmaktadır. Buna karşın küçük periyotlarda ve yüksek R değerlerinde efektif periyotlar büyümekte ve

dağılım yükselmektedir. Orta ve büyük periyotlarda ise ivme tesirli bölgeyi sınırının aşılması ile dağılım büyümektedir.

Yer hareketlerinin en büyük ivme değeri ile ölçeklendirilmesinde amaçlanan dağılımın azaltılması küçük periyotlarda sağlanmakta ancak orta ve büyük periyotlarda ise sağlanmamaktadır.

3.3.2.2. Yer Hareketlerinin PGV ile Ölçeklendirilmesi

Yüksek PGV değerleri yakın fay yer hareketlerinin en belirgin özelliklerinden biridir. PGV özellikle orta periyotlu yapılar için iyi bir yer hareketi şiddet parametresidir [36]. Çalışmanın bu kısmında kullanılan üç yer hareketi seti, her yer hareketi setinin, ortalama PGV değerleri ile ölçeklendirilmiştir. Elde edilen spektral deplasman COV değerleri periyoda bağlı olarak Şekil 3.23’de verilmektedir.

Kullanılan her üç yer hareketinde de düşük R değerleri ve küçük periyotlarda sapma artmakta ve buna bağlı olarak COV değerleri büyümektedir. Aynı şartlar altında her üç yer hareketi içinde orta periyotlarda küçük COV değerleri elde edilmektedir. R değerlerinin büyümesi ile orta periyotlardaki düşük COV değerleri daha kısa periyotlara gelmektedir. Bu durum efektif periyodun büyümesi ile kısa periyotların gerçekte hız tesirli bölgeye yaklaşması, orta periyotların ise deplasman tesirli bölgeye geçmesi ile açıklanabilir.

3.3.2.3. Yer Hareketlerinin PGD ile Ölçeklendirilmesi

Yer hareketlerinin PGD değeri büyük periyotlu yapılarda meydana gelen hasar düzeyi üzerinde etkili olmaktadır. Ancak yer hareketlerinin filtrelenmesi ve ivmenin integrasyonu nedeniyle bu parametreyi doğru olarak elde edebilmek zordur [35].

PGD değerinin doğru olarak elde edilmesinin güçlüğü bilinmesine rağmen sadece etkili olduğu bölgenin belirlenebilmesi için çalışmanın bu kısmında kullanılmıştır. Her üç yer hareketi kendi ortalama PGD değerleri ile ölçeklendirilmiş, farklı R değerleri için spektral deplasman değişim oranı ($COV(S_d)$) periyotlara bağlı olarak elde edilmiştir.

Şekil 3.24’de ortalama PGD ile ölçeklendirilmiş yer hareketlerinin $COV(S_d)$ değerleri periyoda bağlı olarak verilmektedir. PGA ve PGV ile ölçeklendirmede R değerinin büyümesi ile sırasıyla kısa ve orta periyotlarda sapma artmakta buna karşın PGD

ile ölçeklendirmede her iki bölge içinde sapma azalmaktadır. Efektif periyod deplasman tesirli bölgeye yaklaştıkça sapma azalmaktadır.

3.3.2.4. Yer Hareketlerinin Arias Şiddeti ile Ölçeklendirilmesi

Arias şiddeti yer hareketlerinin ivme değerinin zaman üzerinden Denklem (3.2) de verildiği gibi integre edilmesi ile elde edilmektedir.

$$I = \frac{\Pi}{2g} \int_0^{T_{son}} a^2(t) dt \quad (3.2)$$

Burada I ; Arias şiddeti,

T_{son} ; yer hareketi süresi,

$a(t)$; t anındaki ivme değeri,

g ; yer çekimi ivmesidir.

Arias şiddeti yer hareketinin frekans içeriği ile ilgili bir bilgi vermeyen ivme esaslı bir parametredir. Şekil 3.25 de bu çalışma kapsamında kullanılan yer hareketi setlerinin ortalama Arias şiddeti ile ölçeklendirilmesi ile elde edilen COV(S_d) değerleri periyoda ve R değerlerine bağlı olarak verilmektedir.

Kısa periyod ve küçük R değerlerinde dağılım düşük olmakta ancak R değerinin artması ve/veya periyodun uzaması ile dağılım artmaktadır. Bu durum kullanılan her üç yer hareketi içinde benzer olmaktadır. Arias şiddeti ivme esaslı bir parametre olduğu için elde edilen dağılımlar özellikleri PGA ile benzer olmaktadır.

3.3.2.5 Yer Hareketlerinin Housner Spektrumu ile Ölçeklendirilmesi

Housner spektrumu hız spektrumunun, denklem 3.3’de verildiği gibi, 0.1 ile 2.5 sn periyotları arasında kalan alanı yer hareketi şiddet parametresi olarak tanımlamaktadır.

$$SI = \int_{0.1}^{2.5} S_v(T, \xi) dT \quad (3.3)$$

Burada SI ; Housner spektrumu,

$S_v(T, \xi)$; T periyodunda ξ sönümlü sözde spektral hız değeridir.

Çalışmanın bu kısmında ortalama Housner spektrumu ile ölçeklendirilmiş yer hareketlerinin $COV(S_d)$ değerleri periyoda ve R değerlerine bağlı olarak elde edilmiştir. Şekil 3.26’da görüldüğü gibi ortalama Housner spektrumu ölçeklendirilmesi ile elde edilen sonuçlar ile ortalama PGV ölçeklendirilmesi ile elde edilen sonuçlar birbirine benzer ve yakındır. Housner spektrumu hız esaslı bir parametredir bu nedenle elde edilen sonuçlar PGV ile elde edilen sonuçlara yakındır.

3.3.2.6 Yer Hareketlerinin $S_a(T_1)$ ile Ölçeklendirilmesi

Yapıların birinci moduna karşılık gelen periyotta spektral ivme değerinin ölçeklendirilmesi en çok kullanılan parametrelerden biridir [33, 35, 36]. Bu kısımda yer hareketlerinin % 5 sönüm oranlı ivme spektrumları $T=1$ sn periyotta $1g$ ile ölçeklendirilmiştir. Elde edilen $COV(S_d)$ değerleri periyoda ve R değerlerine bağlı olarak Şekil 3.27’de verilmektedir.

Nonlinear davranış kapasitesinin artması ile sapma, her üç yer hareketi içinde, artmaktadır. Elde edilen sapma oranları PGA ile ölçeklendirmeye oranla daha düşük olmasına rağmen PGV ile ölçeklendirmeye oranla daha yüksektir.

3.4. Talep Parametreleri (DMs) ile Şiddet Parametreleri (IMs) İlişkisi

TSD sistemlerde spektral deplasman (S_d), deplasman sünekliliği (μ), histeretik enerji (E_h), Hasar İndeksi (DI) en çok kullanılan talep parametreleridir [37, 38]. Histeretik enerji, süneklilik ve hasar indeksleri talep parametreleri olarak kullanılmakla birlikte, performansa dayalı tasarımda yer hareketlerinin spektral deplasman talebi en çok kullanılan talep parametresidir. Bu kısımda talep parametresi olarak kullanılan spektral deplasman ile yer hareketleri şiddet parametreleri arasındaki ilişki belirlenmiştir.

Deprem yer hareketlerinin şiddet parametreleri olarak en büyük ivme değeri (PGA), en büyük hız değeri (PGV), en büyük deplasman değeri (PGD), Arias şiddeti (AI), kümülatif mutlak hız (CAV), Housner spektrumu (HS), efektif ivme (EPA), efektif hız (EPV) ve denklem 4.2 de tanımlanan görel kat ötelenmesi spektrum şiddeti (I_{Ds}) ve atım alanı (PA) kullanılmıştır.

Üç farklı yer hareketi seti TSD'li sistemlere maruz bırakılarak zaman tanım aralığında lineer olmayan analiz yapılmıştır. Farklı R değerleri için ayrı ayrı yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar ile deprem şiddet parametreleri arasındaki ilişki lineer regresyonlarla elde edilmiştir. Bütün lineer regresyonlarda

$$\ln(S_d) = a \ln(IM) + b \quad (3.4)$$

fonksiyonu kullanılmıştır. Burada S_d : spektral deplasman

IM : şiddet parametresi, a ve b değerleri ise regresyon sabitleridir.

Yapılan analizlerde ivme esaslı parametreler (PGA, AI) için 0.3-3.0 periyot aralığı yeterli görülerek 28 adet TSD sistem kullanılmıştır. Buna karşın ivme ve deplasman esaslı parametrelerin (PGV, PGD, I_{Ds} , HS, PA) etkinlik aralıklarını ve düzeyleri görebilmek için 0.3-6.0 periyot aralığı ve 58 adet TSD silsem kullanılmıştır.

Talep parametresi olarak kullanılan spektral deplasman (S_d), farklı kuvvet azaltma katsayıları için elde edilmiştir. Yapılan elastik ötesi analizlerde bilineer davranış, % 5 elastik ötesi rijitlik oranı ile, esas alınmıştır. Deprem kuvveti azaltma katsayısı Şekil 3.20'de verilen elastik deprem kuvveti (f_o) ve akma kuvveti (f_y) kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$R = \frac{f_o}{f_y} \quad (3.5)$$

3.4.1. Talep Parametrelerinin Etkinliği

Yer hareketlerinin ivme, hız ve deplasman tesirli bölgeleri PGA, PGV ve PGD ile talep parametreleri arasındaki ilişkide belirleyici olmaktadır. Küçük periyotlar genellikle ivme tesirli bölgede kalmakta ve bu bölgede PGA değeri ile talep parametreleri arasındaki korelasyon yüksek olmaktadır. Periyodun artmasıyla PGA değerin taleple parametreleri üzerindeki etkinliği azalmaktadır.

Orta periyotlarda PGA değerin taleple parametreleri üzerindeki etkinliği azalırken PGV değerin etkinliği artmaktadır. Büyük periyotlarda ise PGD değerin taleple parametreleri üzerindeki etkinliği yüksek olmaktadır.

Yamazaki [39] çalışmasında PGA, PGV ve PGD değerinlerinin sırasıyla küçük, orta ve büyük periyotlu yapılar üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir. King [35] çalışmasında Northridge (1994) ve ChiChi (1999) depremlerinden sonra bazı kayıt istasyonları çevresinde 15 farklı yapı türü için elde edilen yapı hasar düzeyleri ile yer hareketlerinden elde edilen 22 farklı parametre arasındaki korelasyonları incelenmiştir. King [35] çalışmasında küçük periyotlu betonarme yapıların hasar düzeyleri ile ivme esaslı yer hareketi parametrelerinin (ASI, EPA, RMS, PGA, AI v.b.) daha yüksek korelasyonda olduğu görülmüştür. Daha yüksek periyotlu çelik yapılarda ise performans düzeyleri ile hız esaslı yer hareketi parametreleri (EPV, PGV, PSV, v.b.) arasında daha yüksek bir korelasyon elde edilmiştir.

Çalışmanın bu aşamasında bütün korelasyonlar 3 farklı şekilde, ortalama CAV ve AI ile ölçeklendirilmiş ve ölçeklendirilmemiş, ayrı ayrı elde edilmiştir.

Kümülatif mutlak hız parametresi (CAV) özellikle erken uyarı sistemlerinde kullanılan şiddet parametrelerinden biridir ve aşağıdaki gibi elde edilir.

$$CAV = \int_0^{t_{\max}} |a(t)| dt \quad (3.6)$$

Burada $a(t)$: yer hareketi ivme kaydı

t_{max} : yer hareketi süresidir.

Yakın fay yer hareketlerinin ivme, hız ve deplasman tesirli bölgeleri uzak mesafe yer hareketlerine göre farklı olması, talep ile şiddet parametreleri ilişkisinde, önemli farklılıklar ortaya çıkarmaktadır. Yakın fay yer hareketlerinde ivme tesirli bölgenin daha uzun olması ivme etkinliğini daha uzun bir bölgede etkili duruma getirmektedir. Buna karşın uzak mesafe yer hareketlerinin hız tesirli bölgelerinin daha uzun olması hızın daha geniş bir periyot aralığında etkili olmasına neden olmaktadır.

3.4.1.1. En Büyük İvme Değeri (PGA)

Yer hareketi şiddetinin belirlenmesi amacıyla en çok kullanılan parametre en büyük ivme (PGA) değeridir. Ancak sürekli büyük (PGA) değerleri büyük hasara neden olmamaktadır. Bu nedenle özellikle büyük kent depremlerinde deprem riski azaltma projeleri kapsamında gaz ve elektrik kesimi gibi tedbirlerin en büyük ivme değer üzerinden yapılması sürekli en doğru yaklaşım olmamaktadır.

Tablo 3.1,3.2 ve 3.3’de verilen atım içeren yakın fay, atım içermeyen yakın fay ve uzak mesafe deprem kayıtları değişik akma katsayısı oranında 28 adet TSD’li sisteme uygulanmış ve elde edilen spektral deplasman ile PGA arasındaki ilişkinin belirlenmesi için denklem 3.4 de verilen fonsiyon kullanılarak 2100 adet lineer regresyon yapılmıştır.

Şekil 3.29-31’de üç farklı yer hareketi seti için PGA ile S_d ilişkisi ölçeklendirilmemiş ve ortalama CAV değeri ile ölçeklendirilmiş yer hareketleri için ayrı ayrı verilmektedir. Küçük periyotlarda ve elastik (ve elastığe yakın ($R=2$)) davranışlarda yüksek korelasyonlar mevcuttur. Ancak periyodun artması ile korelasyon oranı azalmaktadır. Ayrıca bütün yer hareketlerinde, ölçeklendirilmeden bağımsız olarak, elastik ötesi davranış kapasitesinin artması ile korelasyon oranı azalmaktadır.

Şekil 3.32’de atım içeren yakın fay yer hareketlerinin farklı R değerleri için elde edilen efektif periyotları (T_{eff}) ile ivme tesirli bölge sınır periyodu (T_c) arasındaki oranlar verilmektedir. $R=2$ için sınırlı sayıda yer hareketinin efektif periyotları ivme tesirli bölge sınırını aşmaktadır. Buna karşın $R=4$ için 48 adet yer hareketinin ivme tesirli bölgesi aşılmaktadır.

Elastik ötesi davranış kapasitesinin artması ile yapıların periyotları büyümekte ve ivme tesirli bölgenin dışına çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak PGA ile talep parametreleri arasındaki korelasyon azalmaktadır.

Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin ivme tesirli bölgelerinin daha geniş olması nedeniyle bu hareketlerde PGA ile S_d ilişkisi daha geniş bir periyot aralığında etkilidir. Buna karşın diğer yer hareketlerinde PGA'nın etkinliği daha kısa periyot aralığındadır.

3.4.1.2. En Büyük Hız Değeri (PGV)

PGV ve atım süresi yakın fay yer hareketlerinin hasar potansiyellerini belirleyen en temel parametrelerdir. PGV değeri depremin moment büyüklüğünden, faya yakınlığından ve zemin özelliğinden etkilenmektedir [1]. Orta periyotlu yapılarda meydana gelen hasar üzerinde PGA ve PGD değerlerine göre daha fazla etkinliği bulunmaktadır [39].

PGV ile talep parametreleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi için Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3'de verilen üç farklı yer hareketi data seti 0.3-6.0 aralığında 58 adet TSD'li sisteme, farklı R değerleri için, maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar ile PGV arasındaki ilişki regresyonlarla belirlenmiştir.

Bütün yer hareketlerinde, elastik ve elastığe yakın davranışlarda, PGV ile S_d ilişkisi orta periyotlarda daha yüksektir. Buna karşın küçük ve büyük periyotlarda daha düşüktür. Çünkü hız tesirli bölge orta periyotlara Yer hareketlerinin orta Ancak R değerlerinin büyümesi ile elastik ötesi davranma kapasitesi artmakta ve efektif periyot büyümekte ve bunun sonucu olarak PGA ile S_d arasındaki korelasyon daha küçük periyotlarda etkili olmaktadır.

Şekil 3.33 (c) de görüldüğü gibi R=1 için korelasyon T=3.1 sn de en yüksek iken R=8 için bu değer sırasıyla T=1.7 sn de en yüksek olmaktadır. Elastik ve elastığe yakın davranışlarda PGA ile S_d ilişkisi küçük periyotlarda düşüktür. Elastik ötesi davranış kapasitesinin artması ile ivme tesirli bölgede bulunan bu küçük periyotların efektif periyotları büyümekte ve hız tesirli bölgeye girmekte veya yaklaşmaktadır. Bunun sonucu olarak korelasyon artmaktadır.

Kullanılan bütün yer hareketlerinde ölçeklendirmeden bağımsız olarak büyük periyotlarda PGV'nin talep parametreleri üzerindeki etkinliği azalmaktadır. Elde edilen bütün korelasyon sonuçları bölüm 3.3.1'de elde edilen tesir bölgeleri ile uyumludur.

3.4.1.3. En Büyük Deplasman Değeri (PGD)

Yer hareketlerinin PGD değeri büyük periyotlu yapılarda etkili olmaktadır [39]. PGD değeri ile talep parametreleri arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi amacıyla Tablo 3.1,3.2 ve 3.3’de üç farklı yer hareketi data setinde mevcut yer hareketleri 0.3-6.0 aralığında 58 adet TSD’li sisteme, farklı R değerleri için, maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar ile PGD arasındaki ilişki regresyonlarla belirlenmiştir.

Yer hareketlerinin filtrelenmesi sırasında çok küçük ve yüksek frekanslar atılmaktadır. Bu nedenle PGD değeri çok değişkendir. Ancak son yıllarda PGD azalım ilişkileri üzerinde önemli çalışmalar yapılmaktadır [40].

Elastik ve elastiğe yakın davranışlarda küçük ve orta periyotlu bölgelerde PGD ile S_d arasındaki korelasyon sıfıra yakındır. Ancak R değerlerinin artması ile bu korelasyon artmaktadır. Artan R değerleri ile efektif periyot deplasman tesirli bölgeye yaklaşmakta ve böylece korelasyon artmaktadır. Bu ilişki bütün yer hareketlerinde, ölçeklendirmeden bağımsız olarak, geçerli olmaktadır.

Şekil 3.36-39’da görüldüğü gibi büyük periyotlarda korelasyon yüksektir. Ancak özel mühendislik yapıları bu periyotlarda bulunmaktadır. Bu nedenle düşük ve orta yükseklikli yapılar yerine yüksek katlı, izolatörlü v.b. gibi yapılarda PGD değerinin deprem şiddet parametresi olarak kullanılması uygundur.

3.4.1.4. V/A Oranı

Yakın mesafe yer hareketlerinde (V/A) değeri genellikle büyük olmaktadır. Özellikle doğrultu etkisi içeren kayıtların (V/A) oranları diğer yer hareketlerine göre yüksek olmaktadır [12]. Tablo 3.8-3.10’de verilen atım içeren, atım içermeyen yakın fay ve uzak mesafe kayıtları için elde edilen ortalama V/A oranları ve standart sapmaları Tablo 3.7’de verilmektedir. Tablo 3.7’den görüldüğü gibi V/A değeri yakın fay yer hareketlerinde, uzak mesafe yer hareketlerine oranla, oldukça yüksektir. Yakın fay yer hareketlerinde ise atım içeren kayıtların (V/A) oranı atım içermeyen kayıtlara göre daha yüksektir.

Tablo 3.7. Yer hareketlerinin ortalama V/A ve standart sapmaları

	Ortamala	Standart Sapma	Sapma/Ortalama
Atımlı_YF	0.209	0.112	0.54
Atımsız_YF	0.162	0.09	0.56
Uzak Mesafe	0.121	0.059	0.49

Literatürde yer hareketlerinde yüksek (V/A) oranlarının geniş ivme tesirli bölgeye neden olduğu belirtilmektedir [12, 29]. Ancak, Şekil 3.13’ de verildiği gibi yakın fay yer hareketlerinde V/A oranı ile ivme tesirli bölge sınırı (T_c) arasında düşük korelasyon bulunmaktadır. Buna karşın uzak mesafe yer hareketleri için ise bu korelasyon daha yüksektir.

V/A parametresinin hasar potansiyellerinin belirlenebilmesi amacıyla üç farklı yer hareketi setinde mevcut yer hareketleri 0.3-6.0 aralığında 58 TSD’li sisteme maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçların lineer regresyonlar yapılmıştır. Fark R değerli için yapılan regresyonlarda ivme tesirli bölge sınırının ve elastik ötesi davranış kapasitesinin V/A ile S_d arasındaki korelasyonu etkileyen önemli faktörler olduğu belirlenmiştir.

Şekil 3.39-41’de sırasıyla atım içeren yakın fay, atım içermeyen yakın fay ve uzak mesafe yer hareketleri için elde edilen V/A oranı ile S_d ilişkisi verilmektedir. Atım içeren yakın fay hareketlerinin elastik ve elastığe yakın davranışların için V/A ile S_d ilişkisi $T=2$ sn civarlarında sıfır olmaktadır. Bu periyot atım içeren yakın fay yer hareketlerinin

ortalama ivme tesirli bölge sınırı olan 2.3 sn ye yakındır. V/A oranı ile talep parametreleri arasındaki ilişki ivme tesirli bölgede PGA ilişkisine benzemektedir. Özellikle ivme tesirli bölgesi daha uzun yakın fay yer hareketlerinde bu durum daha kolay görünmektedir.

Yakın fay yer hareketlerinde R değerinin artması ile V/A oranı daha küçük periyotlarda sıfır olmaktadır. Bu durum elastik ötesi davranış kapasitesinin artması ile büyüyen efektif periyotların büyümesi ile açıklanabilir.

Uzak mesafe yer hareketlerinin ise ivme tesirli bölgeleri daha kısa olduğu için (ortalama $T_c=0.54$ sn) V/A oranının ivme tesirli bölgede talep parametreleri ile olan ilişkisi açıklıkla görünmemektedir. Ancak R değerinin büyümesi ile artakn korelasyon değerleri V/A oranının uzak mesafe yer hareketleri için, ivme tesirli bölgede PGA benzeri davranış sergilediğini göstermektedir.

3.4.1.5. Spektral İvme (S_a)

İvme spektrumu depreme maruz yapıların tasarımında kullanılmaktadır. Yapıların elastik ve nonlinear statik analizlerde kullanılan ivme spektrumu son yıllarda yer hareketlerindeki dağılımı azaltmak için ölçeklendirme parametresi olarak kullanılmaktadır [32,33]. İvme spektrumlarının birinci moda karşı gelen periyotlarda ölçeklendirilmesi arımsal dinamik analizlerde sıkça kullanılmaktadır.

Çalışmanın bu kısmında spektral ivme ile talep parametresi olarak alınan S_d arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için kullanılan 3 farklı yer hareketi data seti 0.3-6.0 arasında 58 adet TSD'li sisteme maruz bırakılmıştır. Farklı R değerleri için yapılan analizlerde elde edilen korelasyon oranları Şekil 3.42-44'de verilmektedir.

Elastik davranışlarda spektral ivme ile spektral deplasman arasındaki ilişki frekanslara bağlı olduğu için $R=1$ değeri için %100 korelasyon elde edilmektedir. Ancak R değerlerinin büyümesine bağlı olarak korelasyon özellikle düşük periyotlarda azalmaktadır. Yer hareketlerinin özelliklerinden ve ölçeklendirmeden bağımsız olarak S_a ile S_d arasındaki ilişki küçük priyotlarda ve yüksek R degerlerinde zayıftır. Bilindiği gibi S_a özellikle düşük periyotlarda çok değişkendir bu nedenle küçük periyotların davranışı elastiklikten uzaklaştıkça korelasyon azalmaktadır.

Yakın mesafe yer hareketlerinde ölçeklendirmeden bağımsız olarak S_a nın etkinlik aralığı uzak mesafe yer hareketlerine göre çok daha geniştir. Bu nedenle yakın mesafe yer

hareketlerinin artımsal dinamik analizlerinde S_a ölçeklendirmesinin kullanılması küçük ve orta periyotlarda istenilen düzeyde dağılımı engellemeyecektir.

3.4.1.6. Efektif Hız (EPV)

Efektif hız yer hareketlerinin 0.8-1.2 periyotları arasında elde edilen spektral hız ortalamasının 2.5 değerine bölünmesi ile elde edilen bir yer hareketi şiddet parametresidir. EPV PGV ye oranla, özellikle büyük R degerleri için, daha düşük korelasyonlara sahiptir.

Elastik ve elastiğe yakın davranışlarda EPV 1 sn periyot civarlarında yüksek korelasyona sahiptir. Ancak elastik ötesi davranabilme kapasitesi artıkça bu oran sifıra yaklaşmaktadır. R değerlerinin büyümesi ile birlikte efektif periyot büyümekte ve 0.8-1.2 sn periyotları arasında etkili olan EPV nin etkinlik aralığı daha küçük periyotlara kaymaktadır. Şekil 3.45-47’de bu durum rahatlıkla görülebilmektedir.

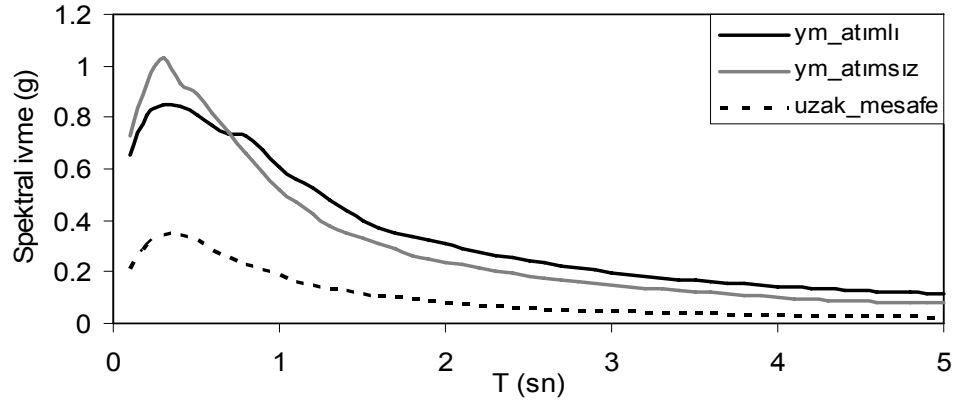
3.4.1.7. Görelî Kat Ötelenmesi Spektrum Şiddeti (I_{DS})

Bölüm 4.2.1’de tanımlanan I_{DS} ile PGV arasında yüksek bir korelasyon bulunmaktadır. Bu nedenle bu şiddet parametresinin talep parametreleri üzerinde PGV benzeri bir etkinliğe sahiptir. Şekil 3.48-50’de elde edilen I_{DS} S_d ilişkisi verilmektedir. Buradan görüldüğü gibi yakın fay yer hareketlerinde PGV ile benzer korelasyonlar elde edilmektedir. Bu parametre yakın fay yer hareketleri için tanımlanmakla birlikte uzak mesafe yer hareketleri için elde edilen korelasyonlar, PGV ile elde edilen korelasyonlardan yüksektir.

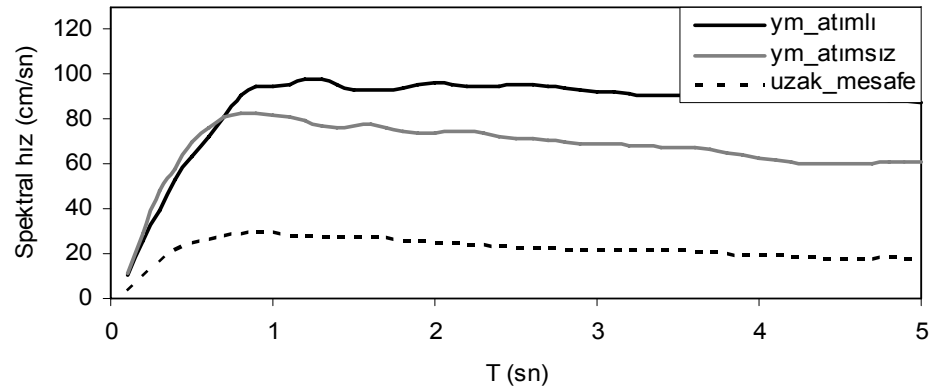
3.4.1.8 Atım Alanı Parametresi (PA)

Atım alanı parametresi Şekil 2.4’de verilen hız kaydındaki atımın sıfır eksenini ile aralarında kalan alandır. Bu parametre hız kaydı üzerinde bir alan olduğu için birimi cm veya m cinsindendir. Bu nedenle bu parametrenin PGD ile benzer sonuçlar vermesi gerekmektedir.

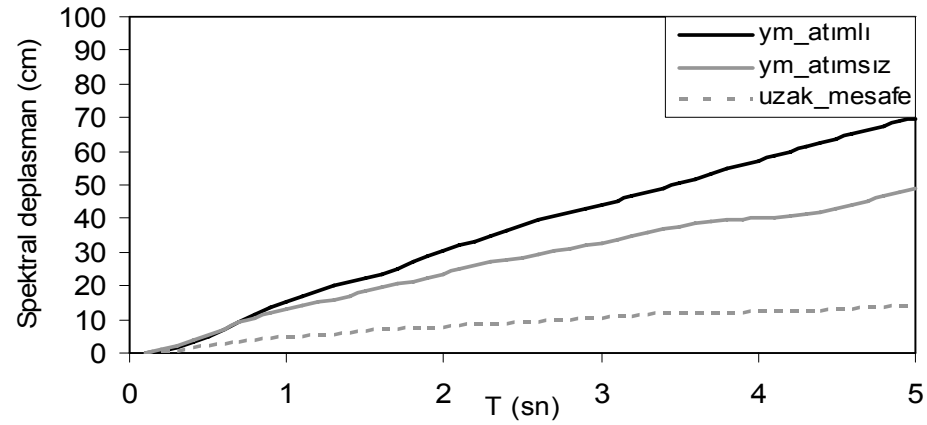
Şekil 3.51’de PA ile S_d arasındaki ilişki verilmektedir. Buradan da görüldüğü gibi PA parametresinin S_d üzerindeki etkinliği büyük periyotlarda yüksek buna karşın küçük ve orta periyotlarda ise düşüktür.



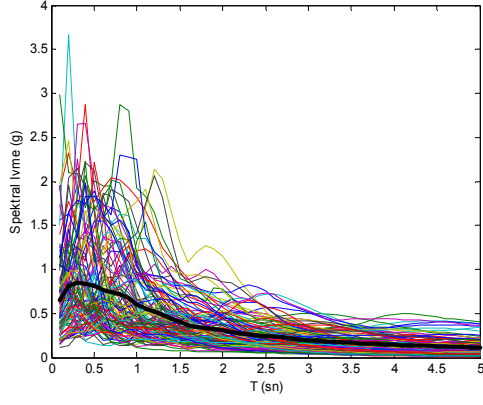
Şekil 3.5. Ortalama ivme spektrumu



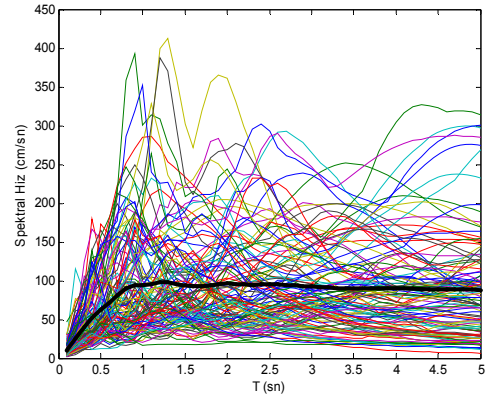
Şekil 3.6. Ortalama hız spektrumu



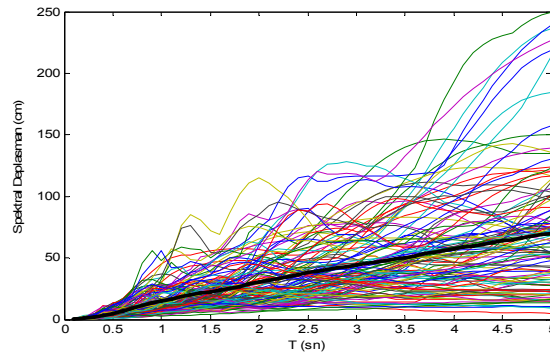
Şekil 3.7. Ortalama deplasman spektrumu



a)

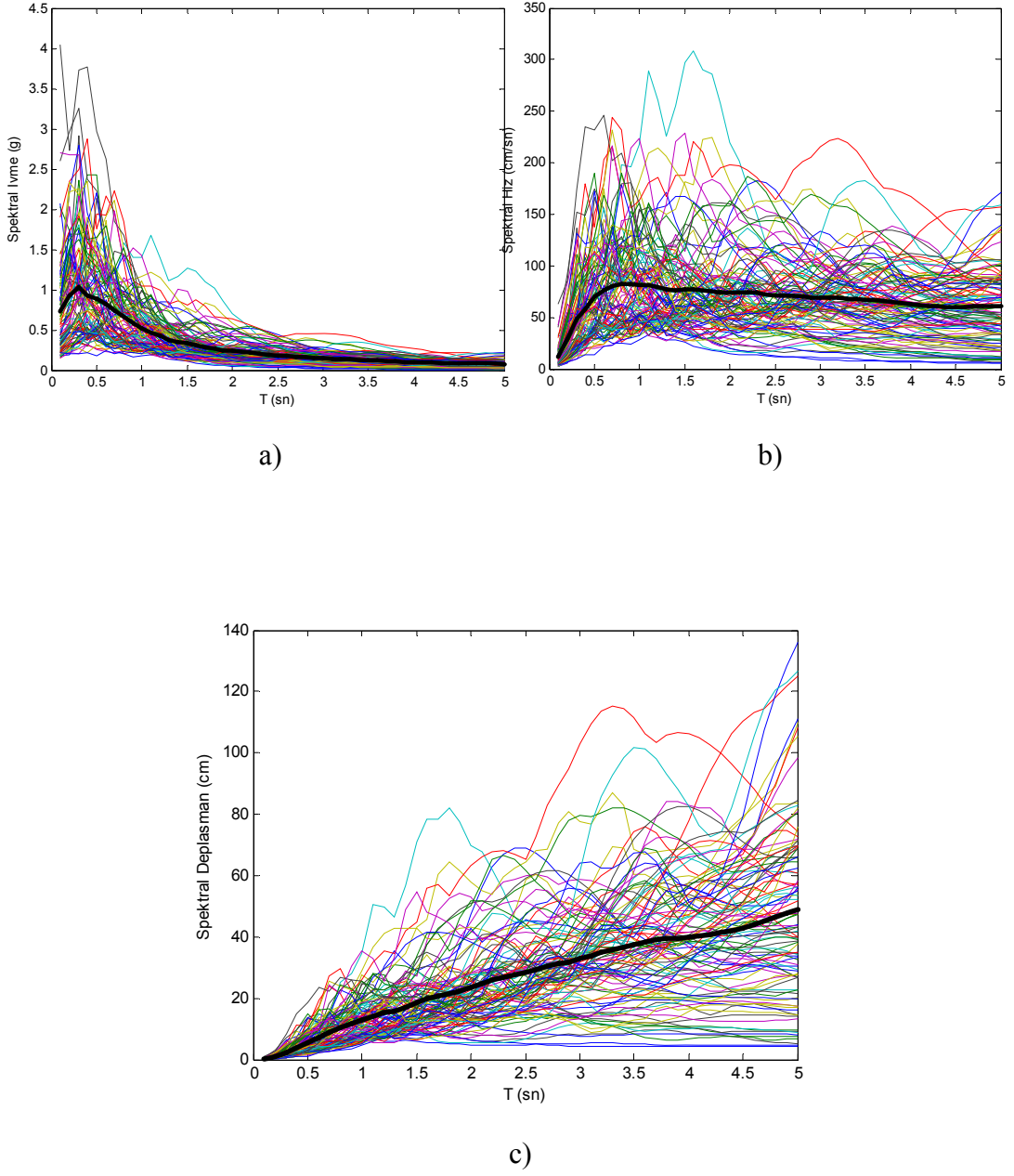


b)

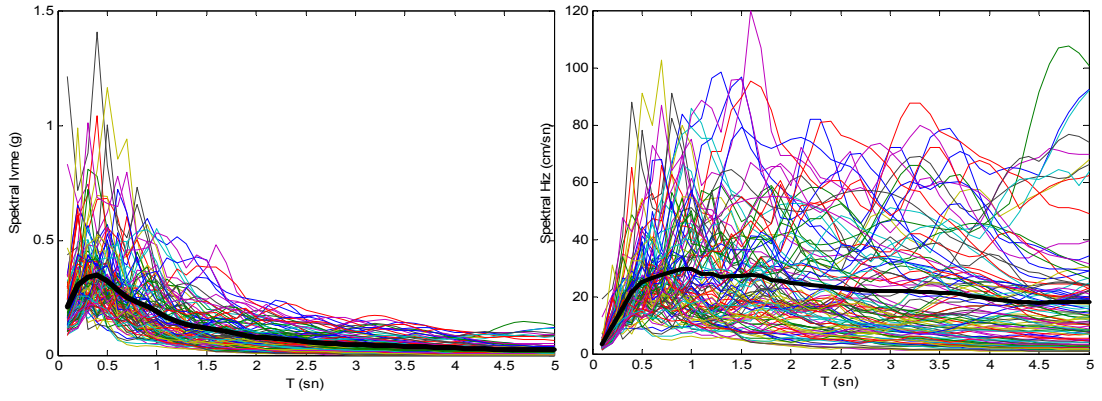


c)

Şekil 3.8. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin ($\zeta = 0.05$) a) ivme b) hız c) deplasman spektrumları (— ortalama spektrum)

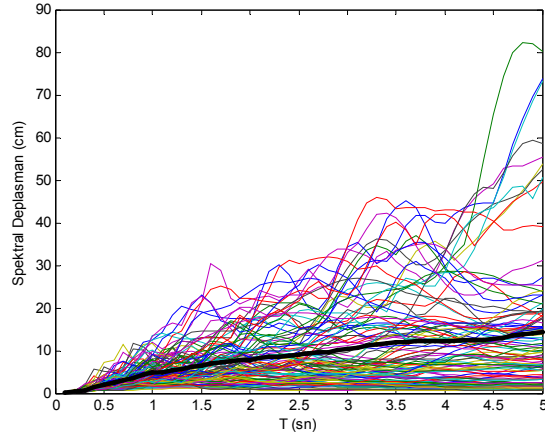


Şekil 3.9. Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin ($\zeta=0.05$) a) ivme b) hız c) deplasman spektrumları (— ortalama spektrum)



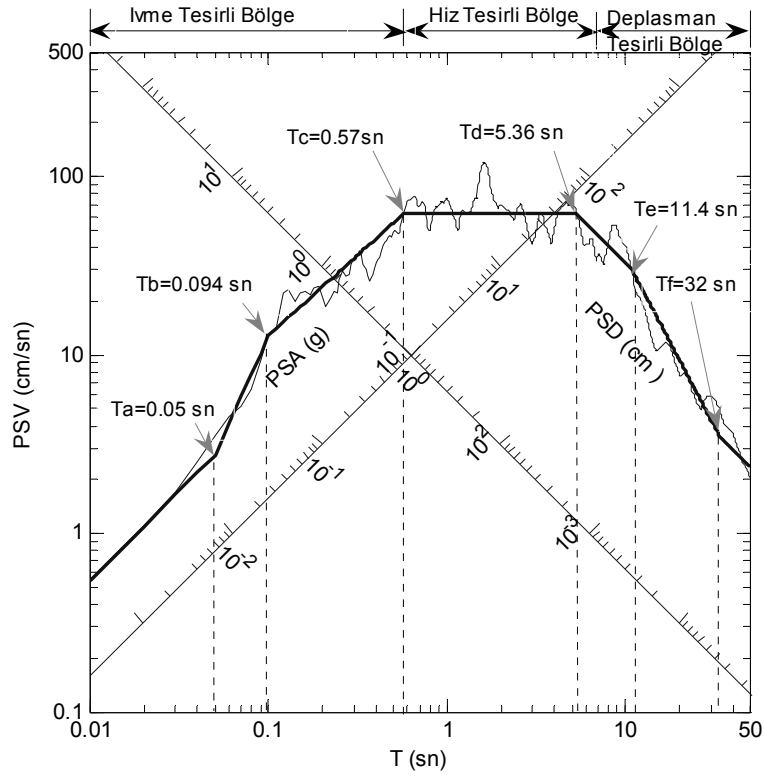
a)

b)

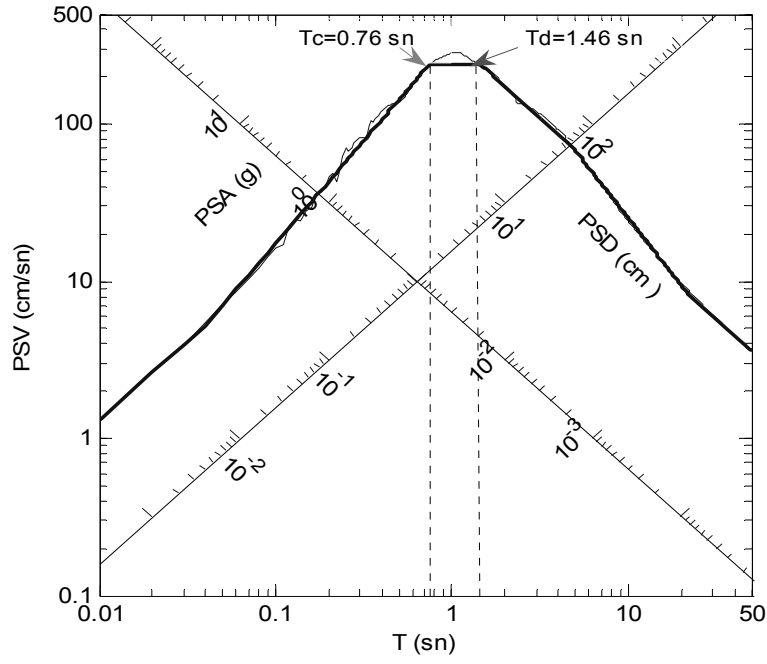


c)

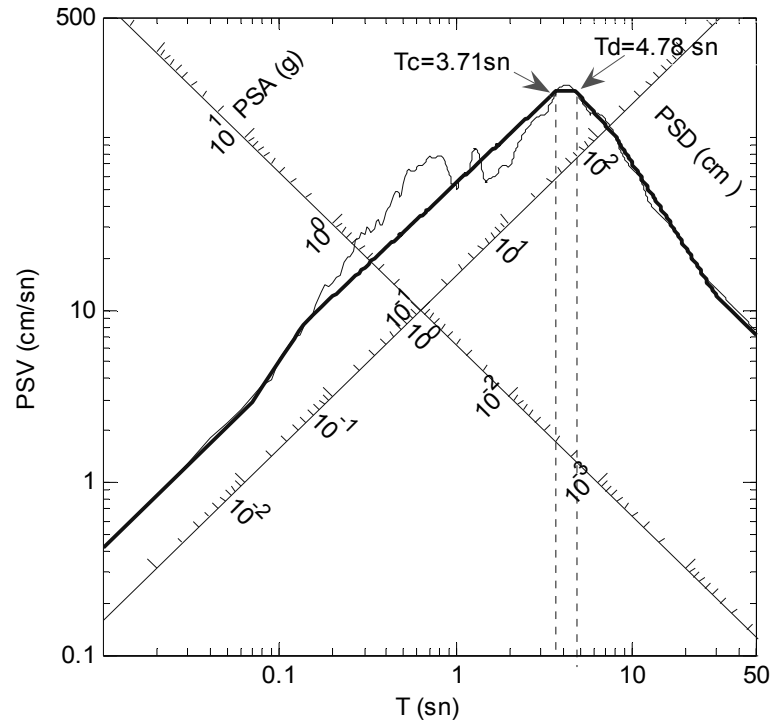
Şekil 3.10. Uzak mesafe yer hareketlerinin ($\zeta = 0.05$) a) ivme b) hız c) deplasman spektrumları (— ortalama spektrum)



Şekil 3.11. Imperial Valley depremi hdl-t-352 (Imp79hdl-t-352) kaydı üçlü elastik tepki spektrumu

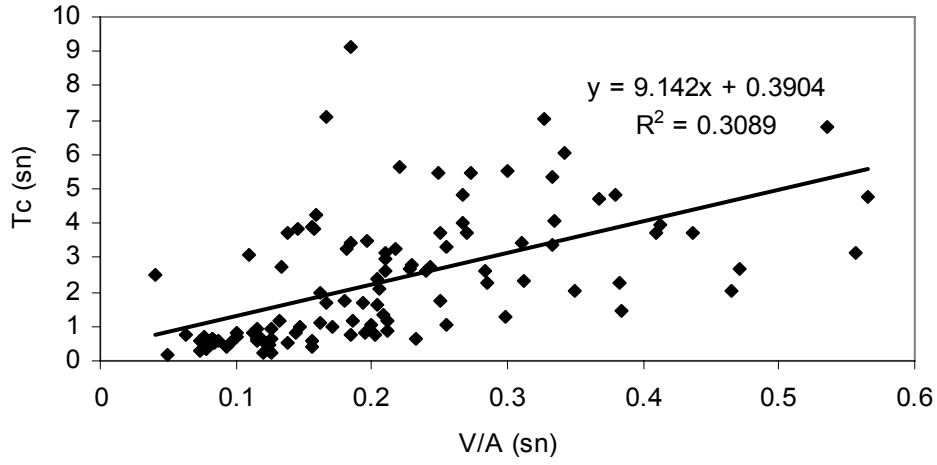


(a)

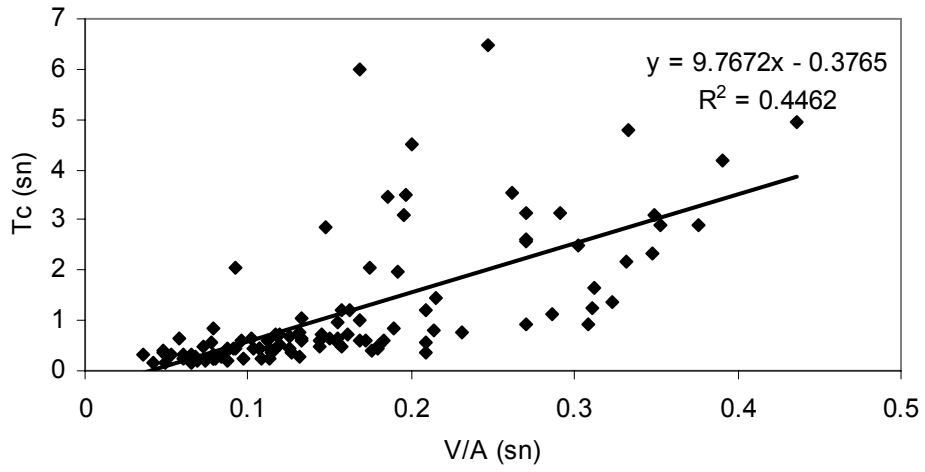


(b)

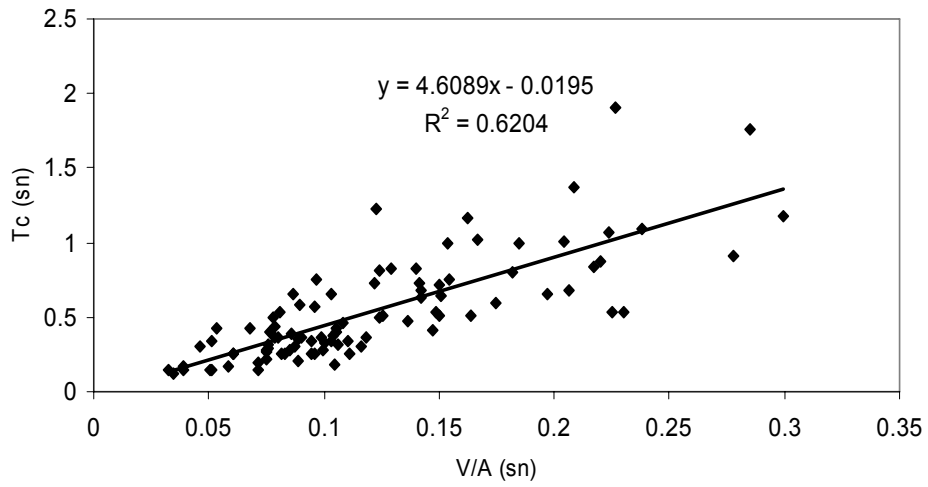
Şekil 3.12. a) Northridge depremi rrs-228 (N94rrs-228) b) Kocaeli depremi ypt-060 (K99ypt-060) kayıtları gerçek ve düzeltilmiş üçlü elastik spektrumları



a)

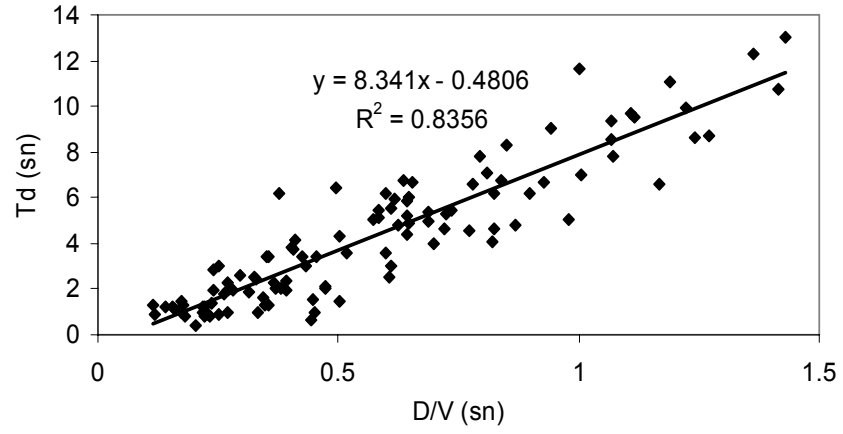


b)

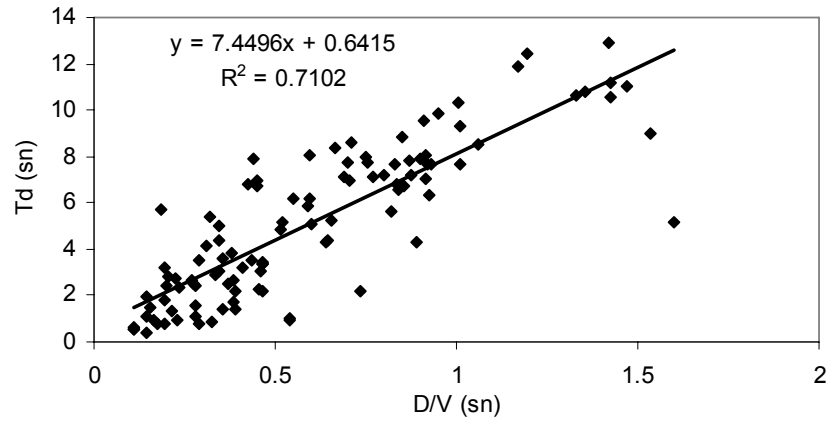


c)

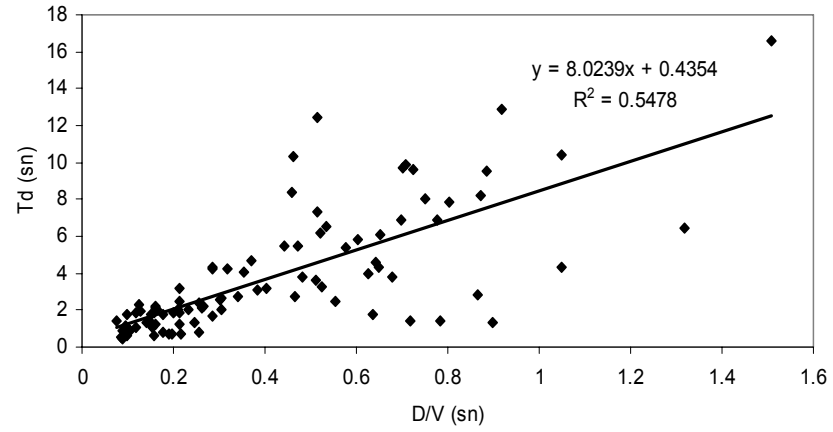
Şekil 3.13. a) Atım içeren yakın fay b) atım içermeyen yakın fay c) uzak mesafe yer hareketleri için V/A - T_c dağılımı



a)

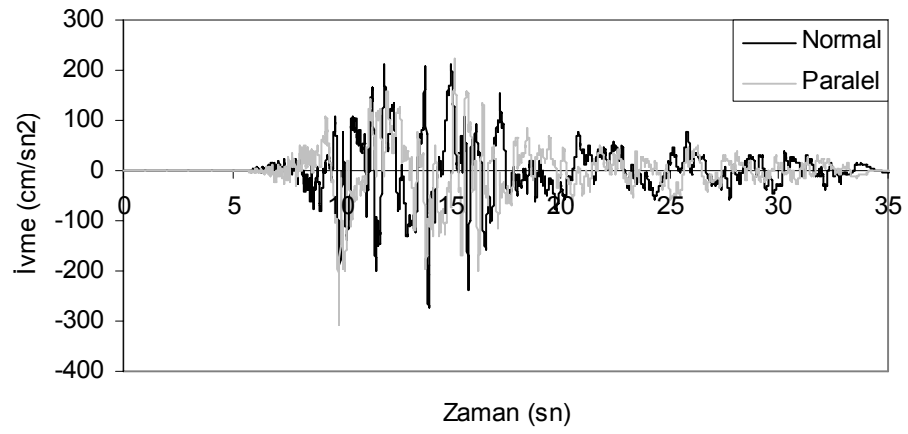


b)

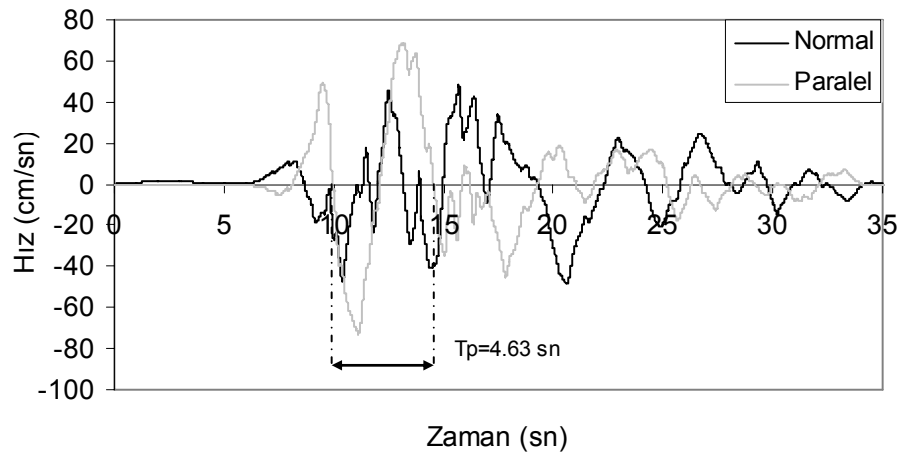


c)

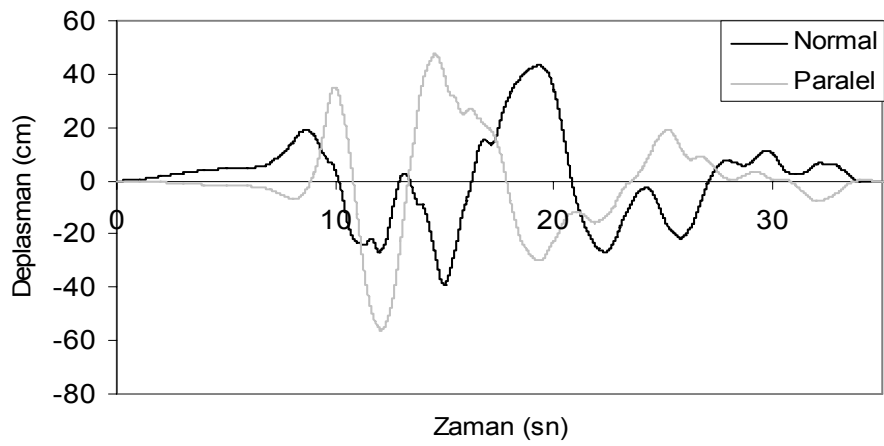
Şekil 3.14. a) Atım içeren yakın fay b) atım içermeyen yakın fay c) uzak mesafe yer hareketleri için D/V - T_d dağılımı



a)

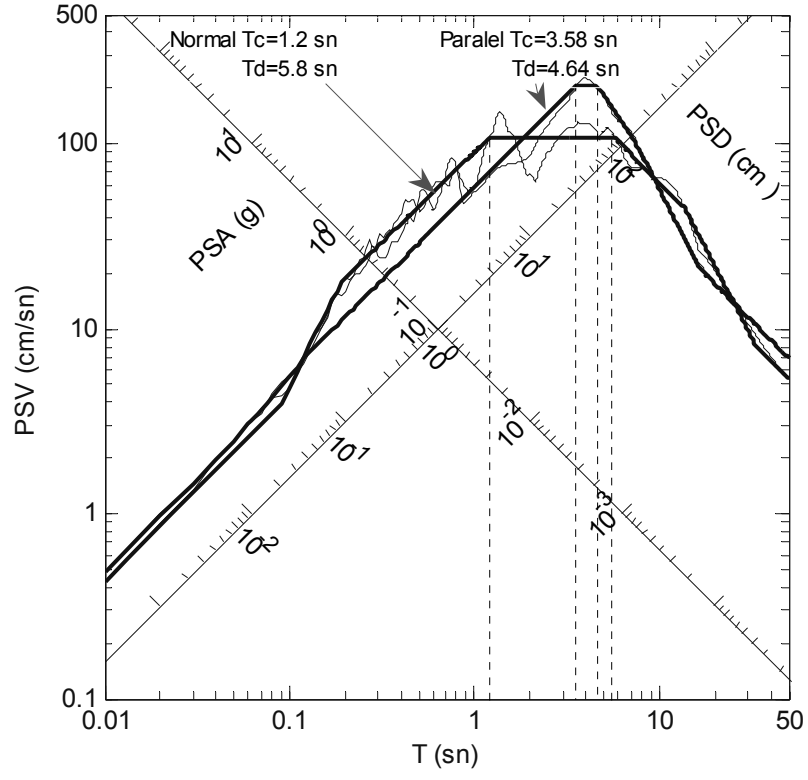


b)



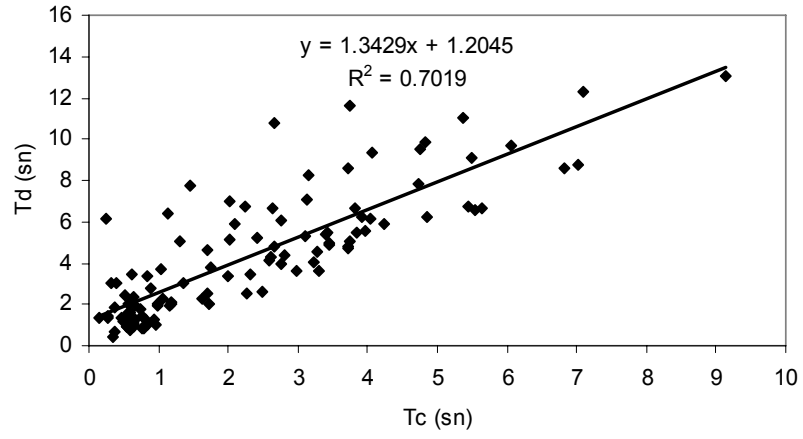
c)

Şekil 3.15. Kocaeli depremi yarımca kaydı faya normal ve paralel kayıtların
a) ivme b) hız c) deplasman kayıtları

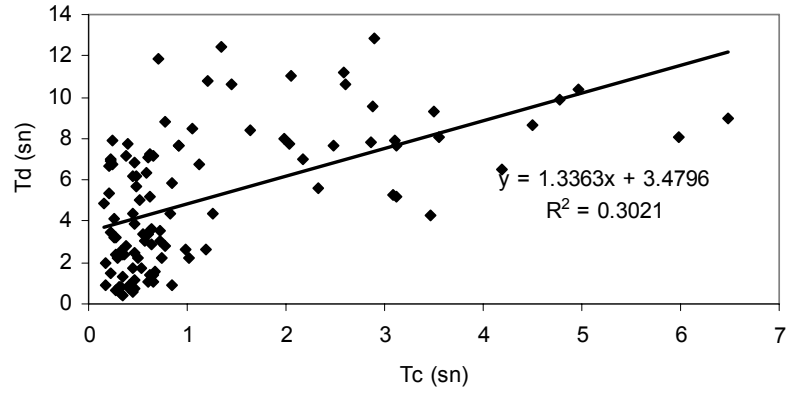


(d)

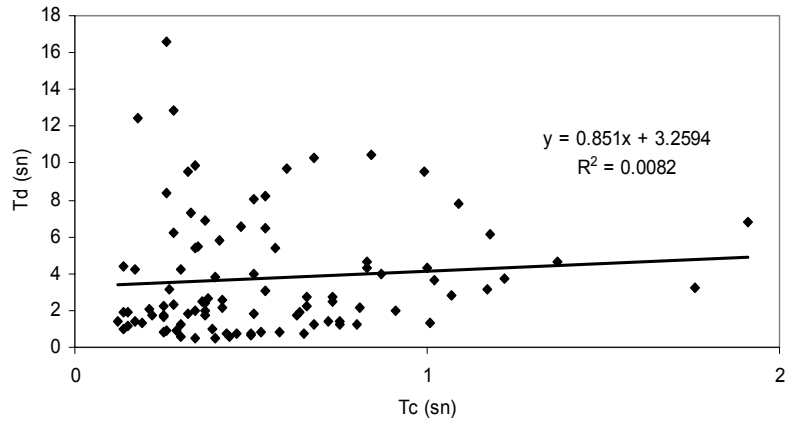
Şekil 3.15'in devamı. Kocaeli depremi yarımcı kaydı faya normal ve paralel kayıtların (d) üçlü spektrumları



a)

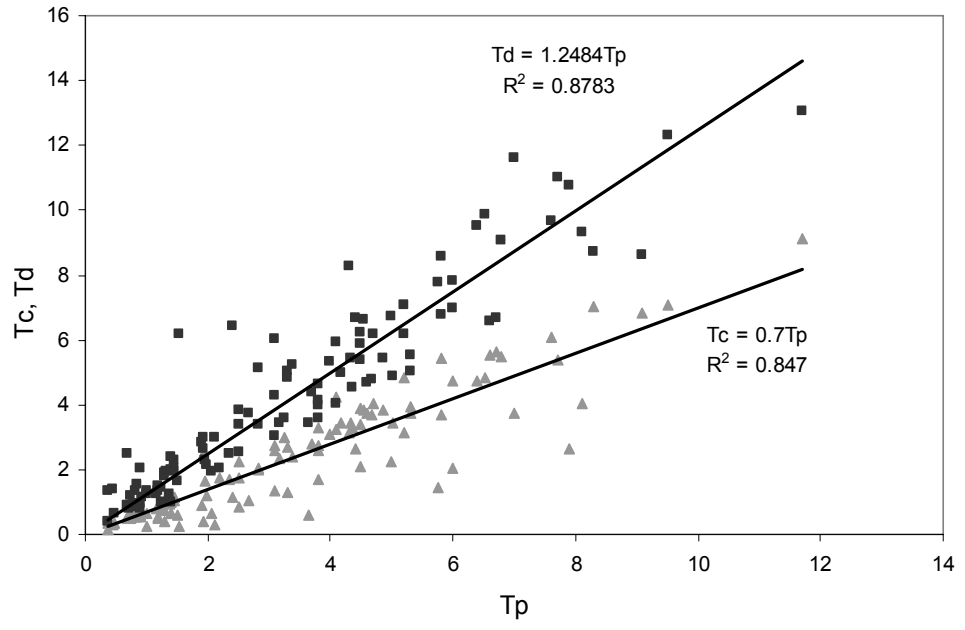


b)

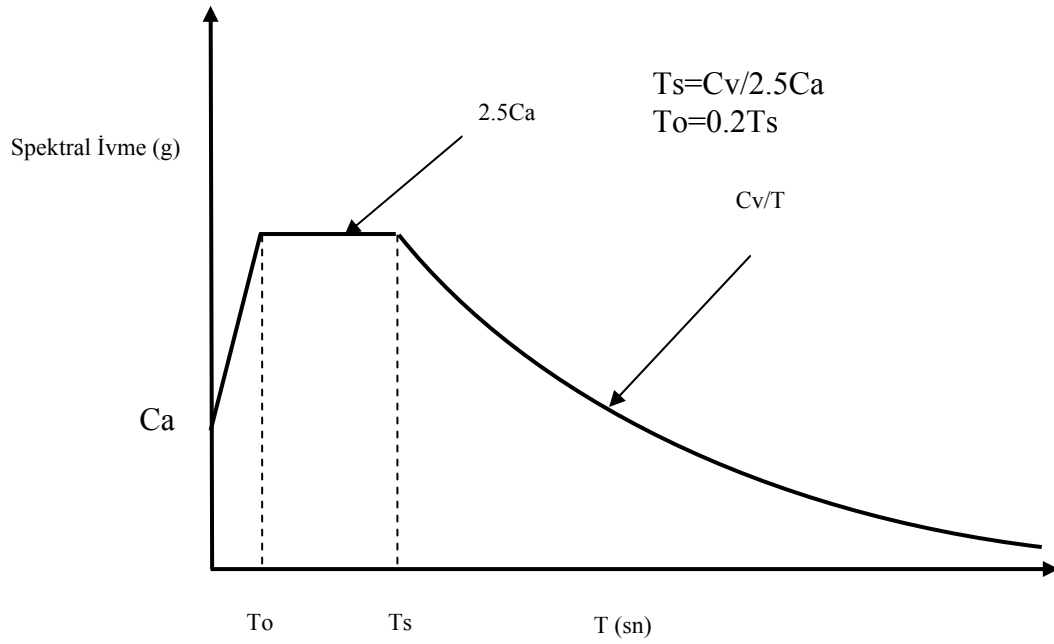


c)

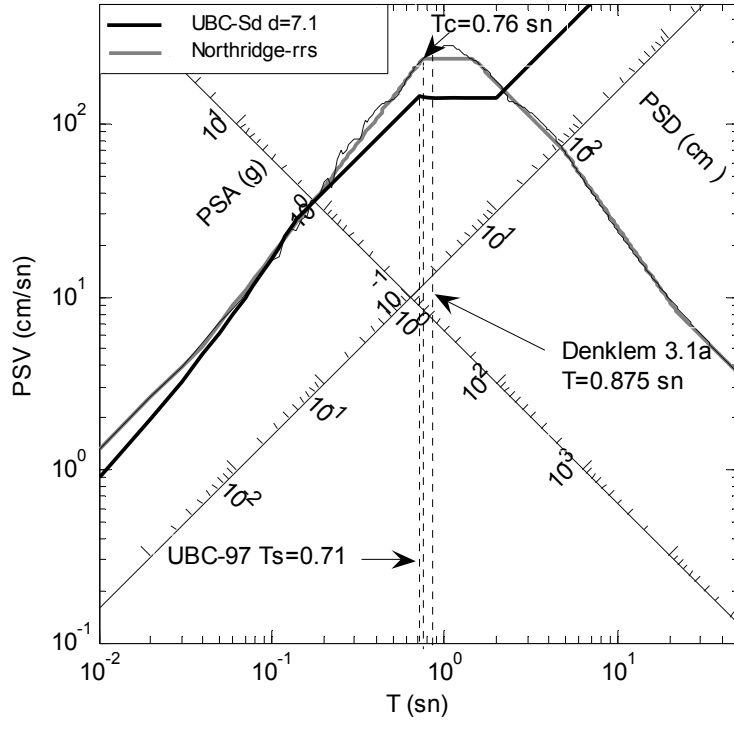
Şekil 3.16. a) Atım içeren yakın fay b) atım içermeyen yakın fay c) uzak mesafe yer hareketleri için T_c T_d ilişkisi



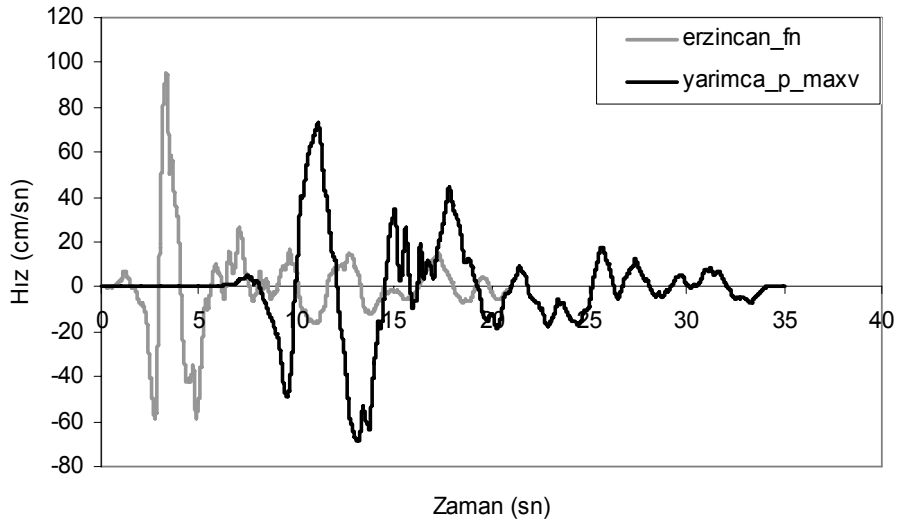
Şekil 3.17. Atım içeren kayıtlarda atım süresi (T_p) ile dönüşüm periyotları (T_c ve T_d) arasındaki ilişki



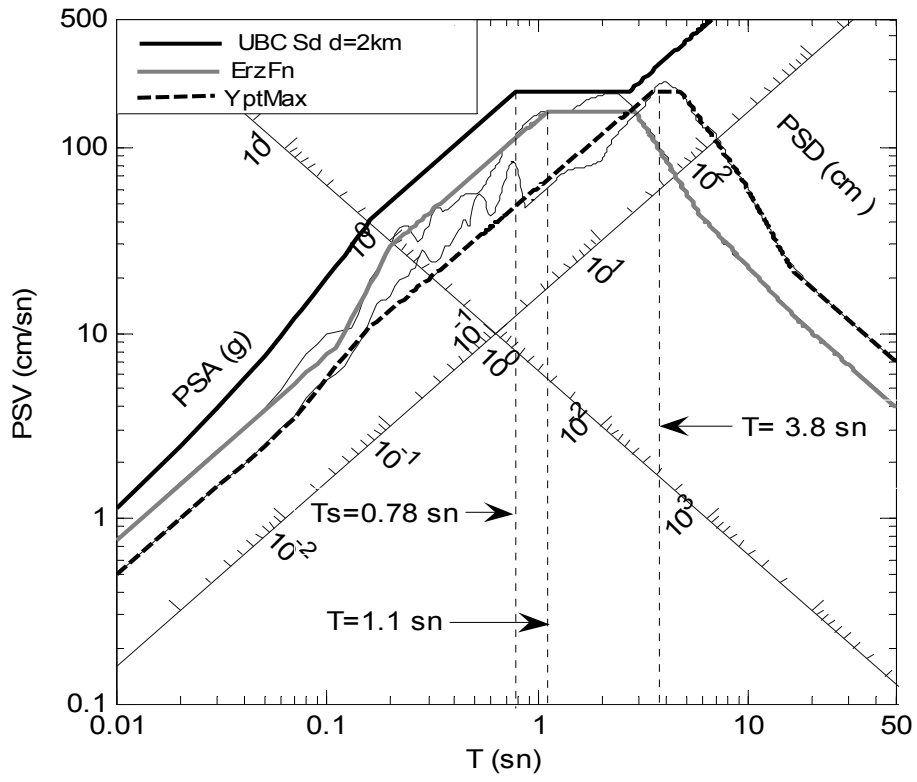
Şekil 3.18 UBC-97 tasarım spektrumu



Şekil 3.19 Northridge rrs-228 kaydı, ve UBC-97 üçlü spektrumu

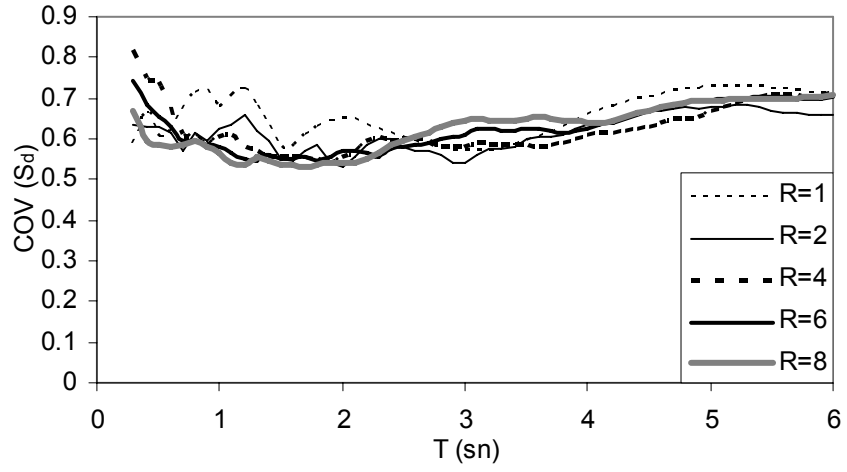


a)

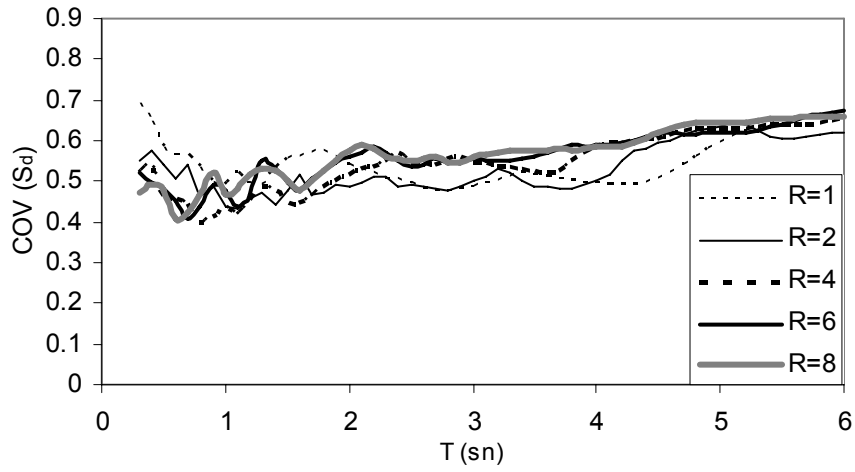


b)

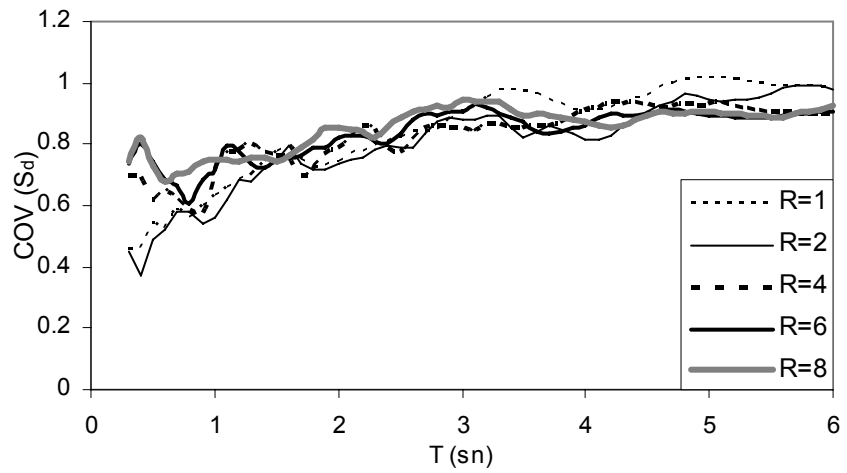
Şekil 3.20. Erzincan faya normal ve Kocaeli Yarımcı maksimum hız yönü kayıtları a) hız- zaman kayıtları b) üçlü spektrumları



a)

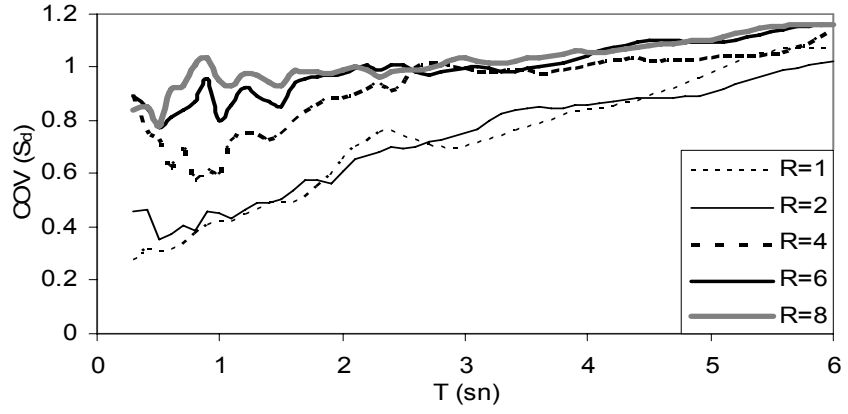


b)

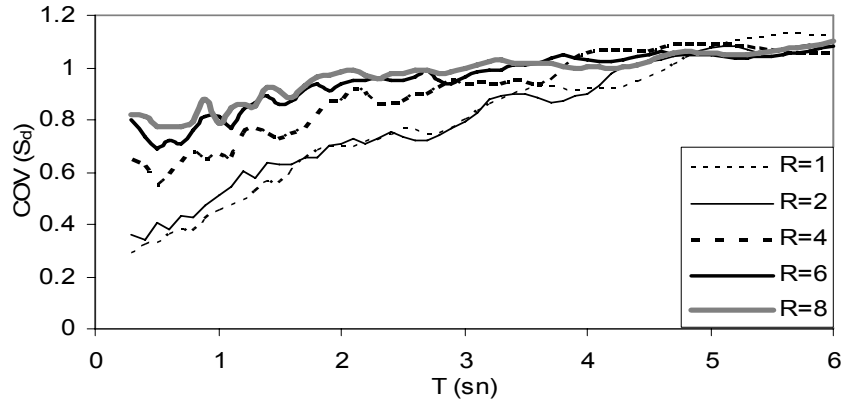


c)

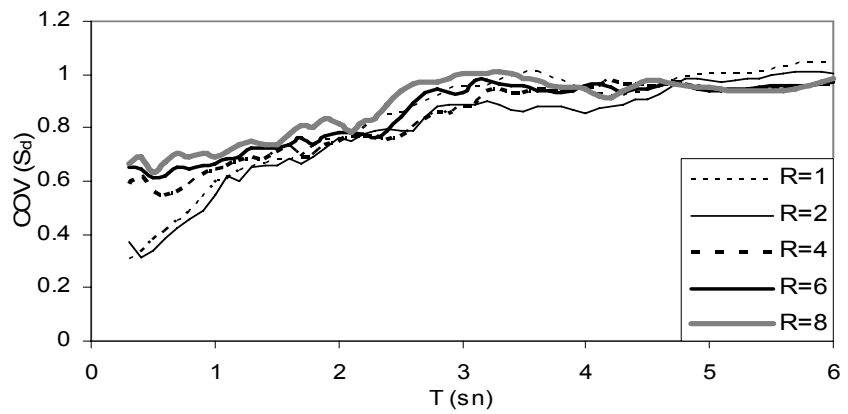
Şekil. 3.21. Ölçeklendirilmemiş a) atım içeren yakın fay b) atım içermeyen yakın fay c) uzak mesafe yer hareketlerinin inelastik deplasman spektrumu COV dağılımı



a)

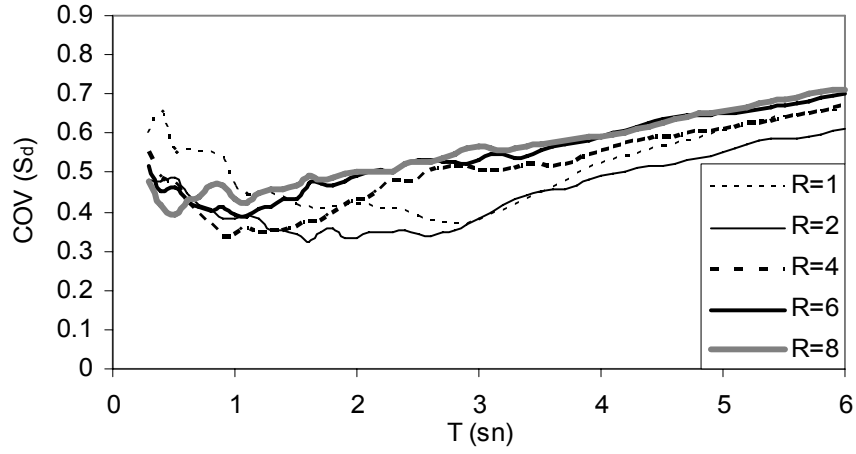


b)

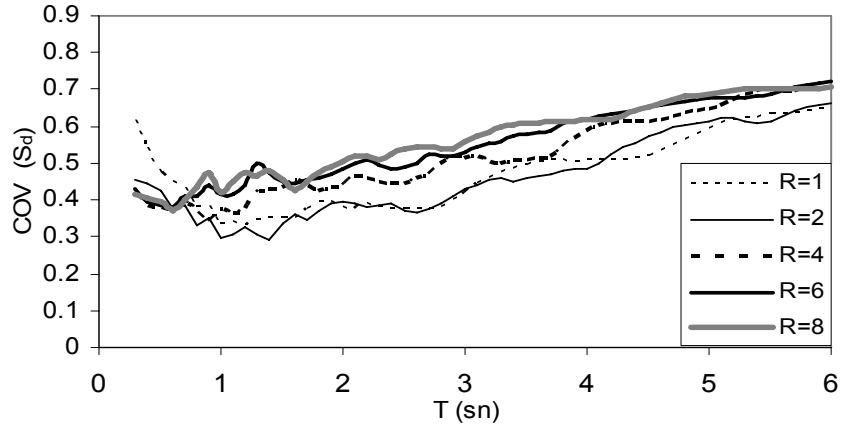


c)

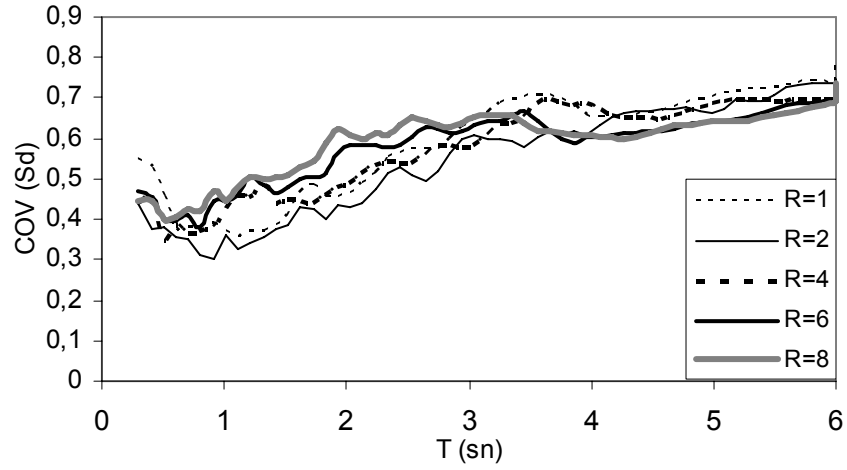
Şekil 3.22. Ortalama PGA ile ölçeklendirilmiş a) atım içeren yakın fay b) atım içermeyen yakın fay c) uzak mesafe yer hareketlerinin inelastik deplasman spektrumu COV dağılımı



a)

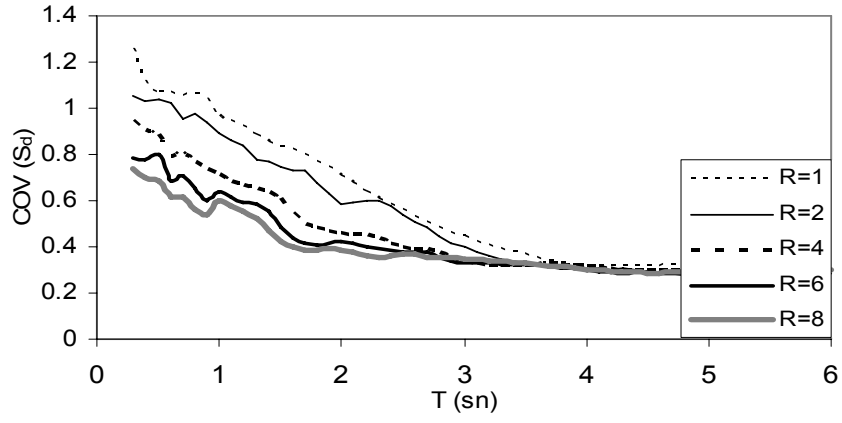


b)

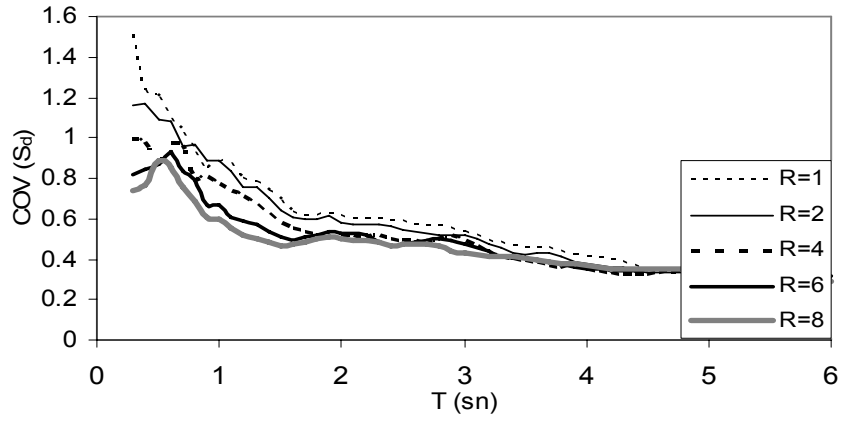


c)

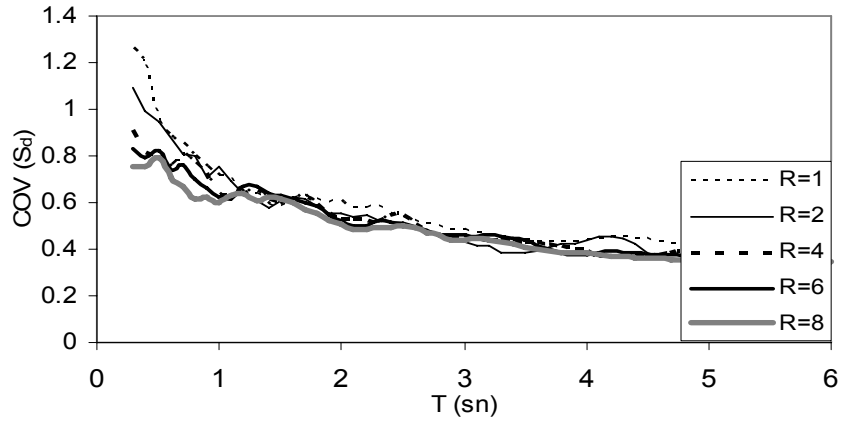
Şekil 3.23. Ortalama PGV ile ölçeklendirilmiş a) atım içeren yakın fay b) atım içermeyen yakın fay c) uzak mesafe yer hareketlerinin deplasman spektrumu COV dağılımı



a)

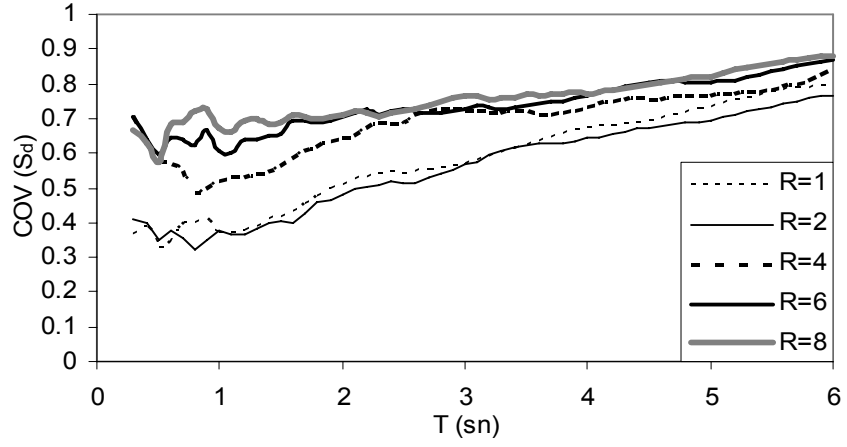


b)

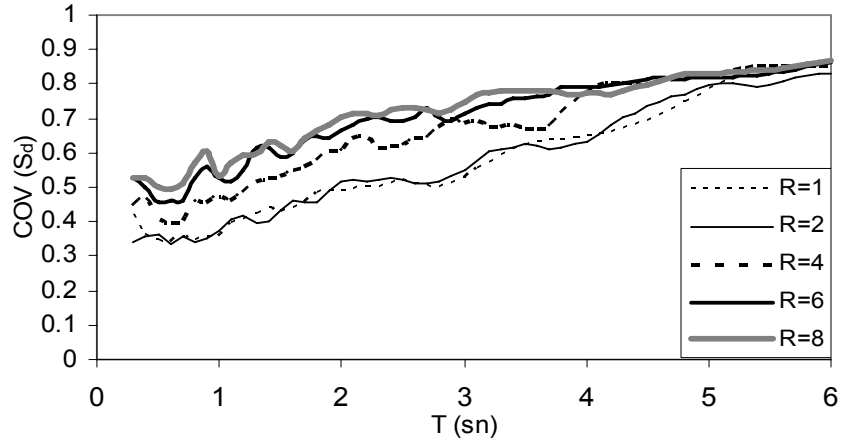


c)

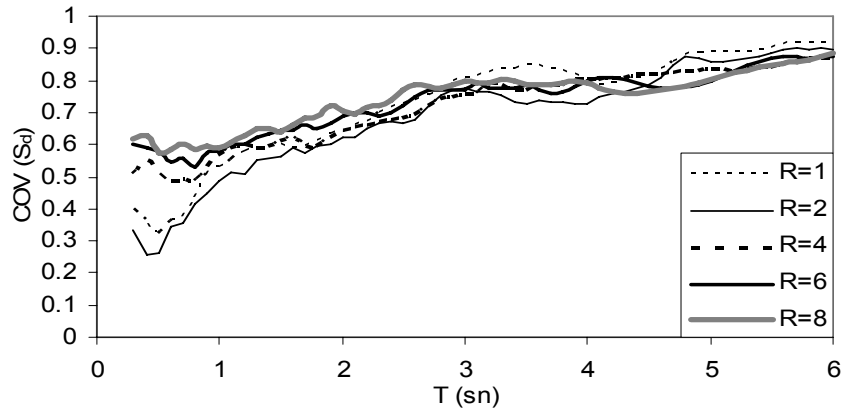
Şekil 3.24. Ortalama PGD ile ölçeklendirilmiş a) atım içeren yakın fay
b) atım içermeyen yakın fay c) uzak mesafe yer hareketlerinin
deplasman spektrumu COV dağılımı



a)

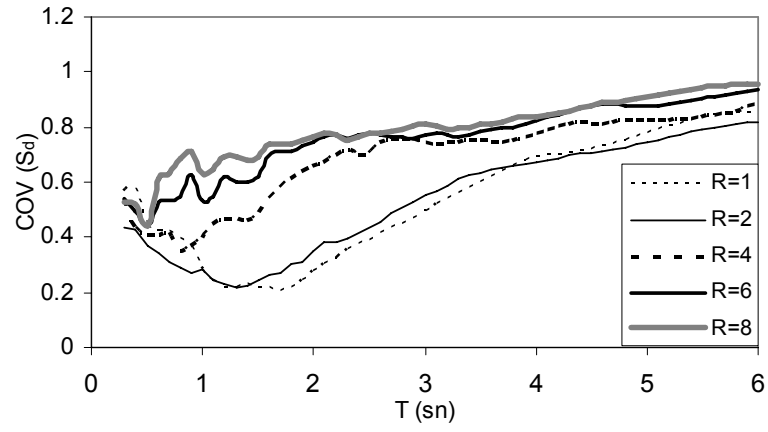


b)

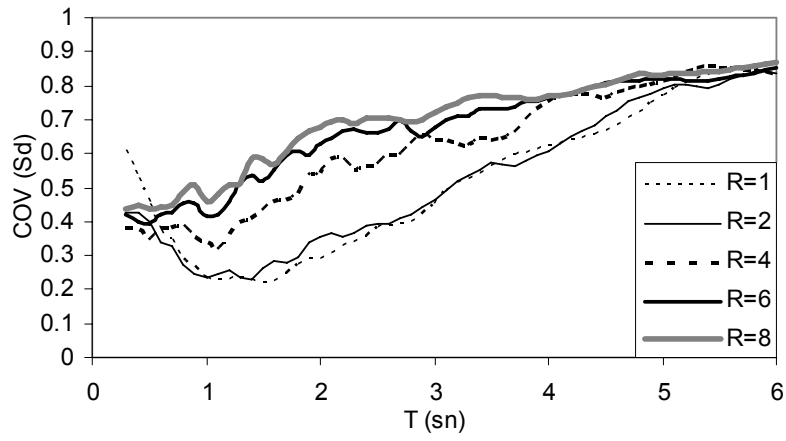


c)

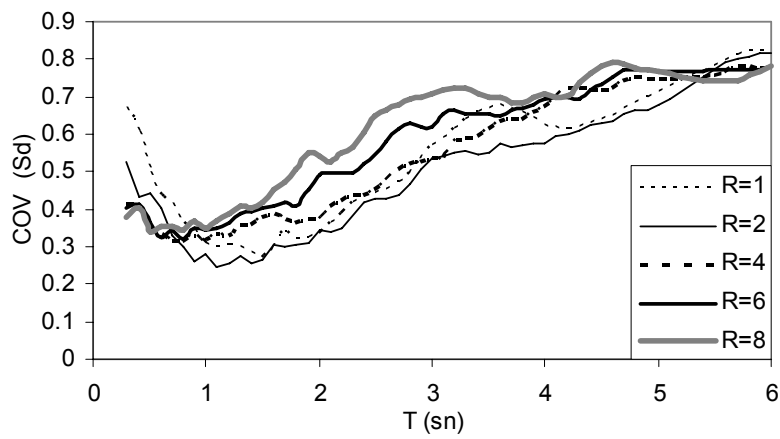
Şekil 3.25. Ortalama Arias şiddeti ile ölçeklendirilmiş a) atım içeren yakın fay b)atım içermeyen yakın fay c) uzak mesafe yer hareketlerinin inelastik deplasman spektrumu COV dağılımı



a)

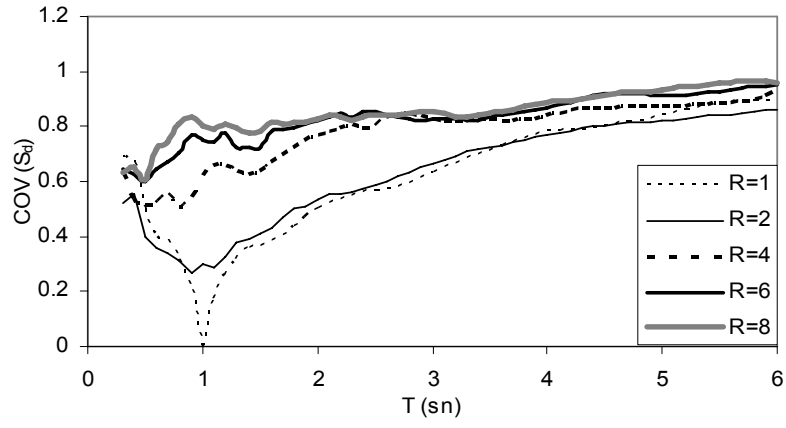


b)

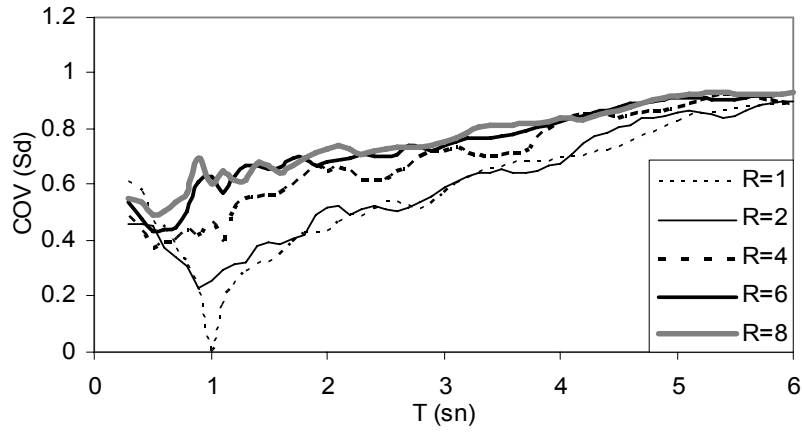


c)

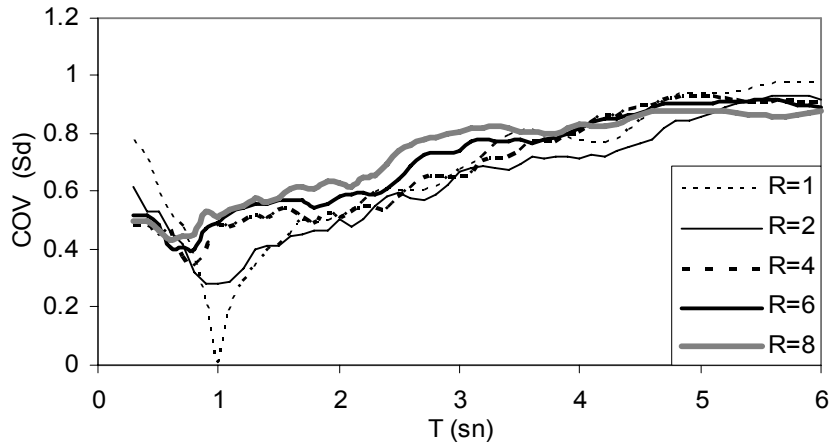
Şekil. 3.26. Ortalama Housner spektrumu ile ölçeklendirilmiş a) atım içeren yakın fay b) atım içermeyen yakın fay c) uzak mesafe yer hareketlerinin inelastik deplasman spektrumu COV dağılımı



a)

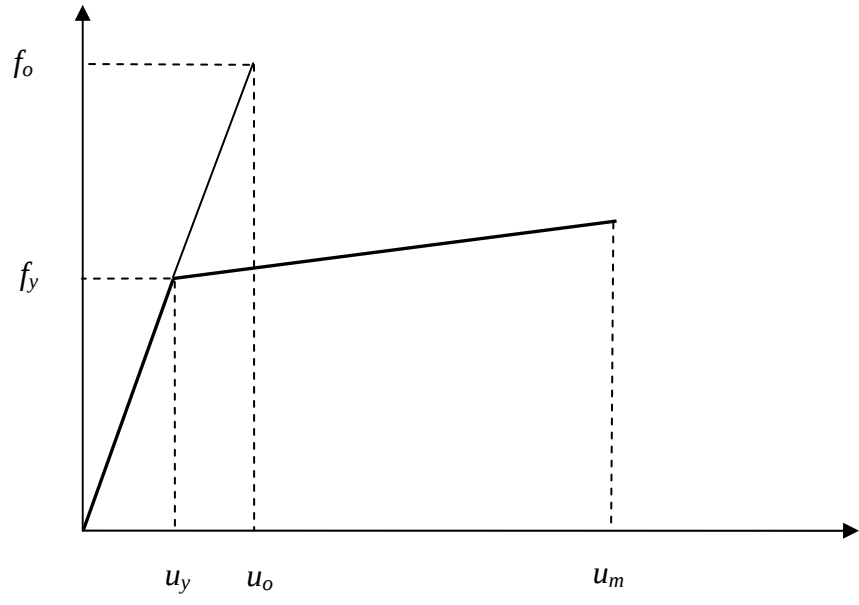


b)

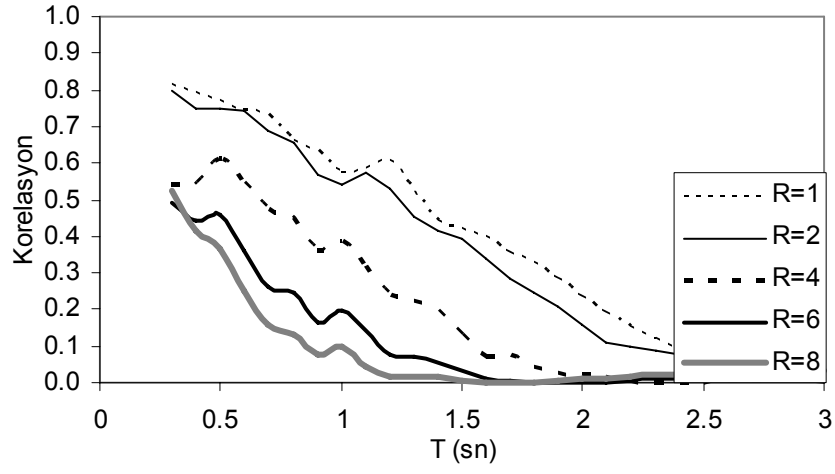


c)

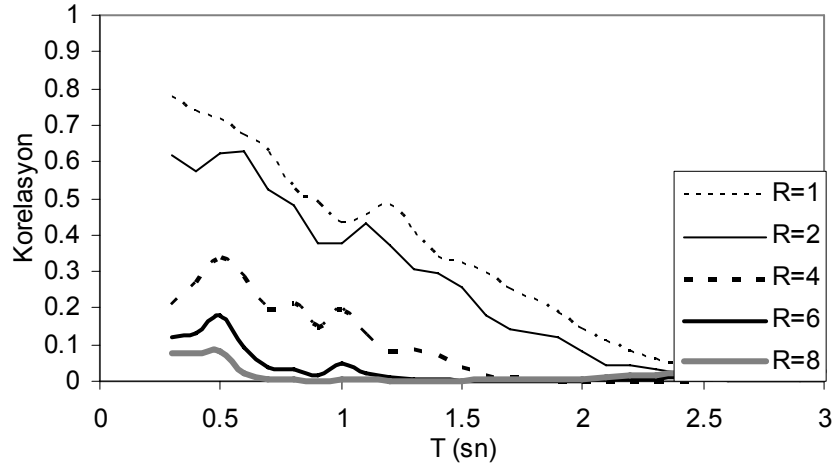
Şekil 3.27. $S_a(T_1)=1g$ ile ölçeklendirilmiş a) atım içeren yakın fay b) atım içermeyen yakın fay c) uzak mesafe yer hareketlerinin inelastik deplasman spektrumu COV dağılımı



Şekil 3.28. Bilineer davranış

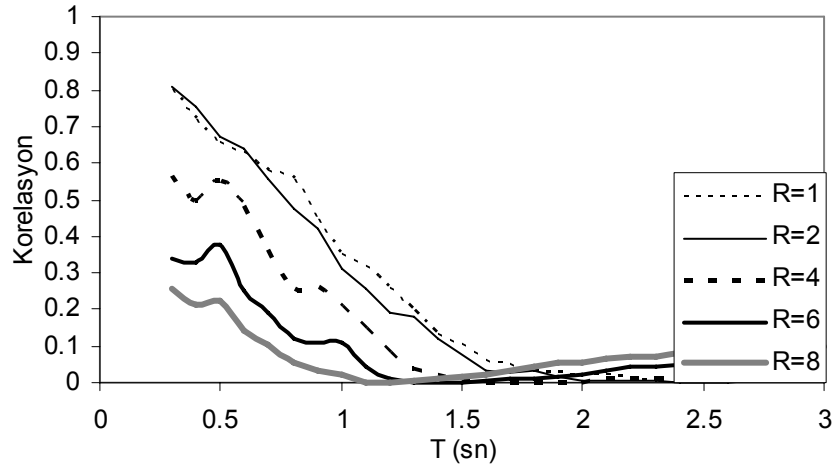


a)

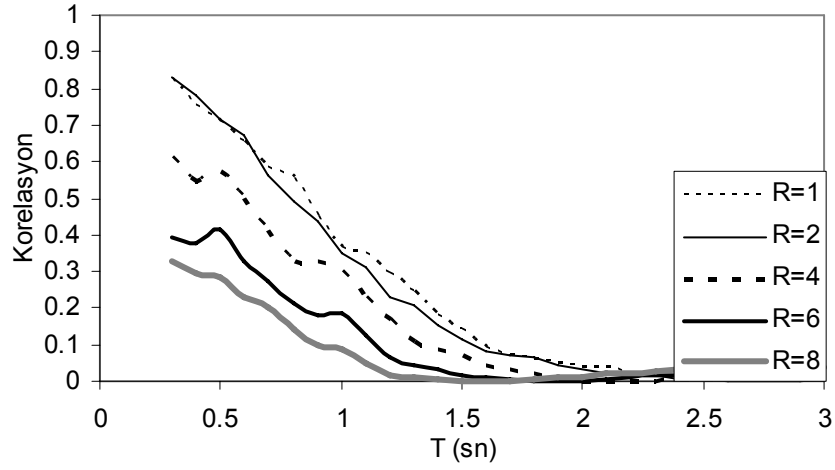


b)

Şekil 3. 29. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin PGA S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş

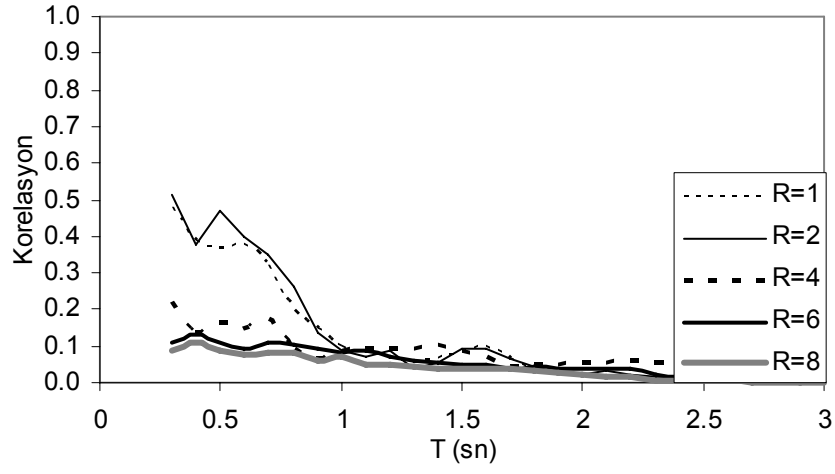


a)

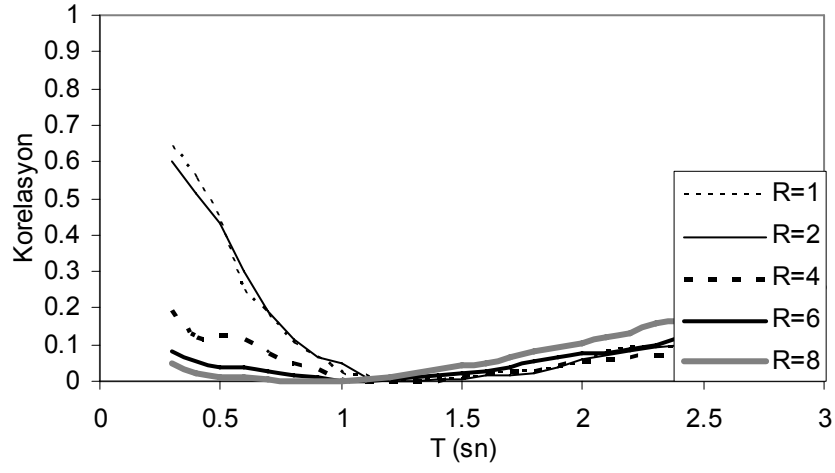


b)

Şekil 3. 30. Atım içemeyen yakın fay yer hareketlerinin PGA S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş

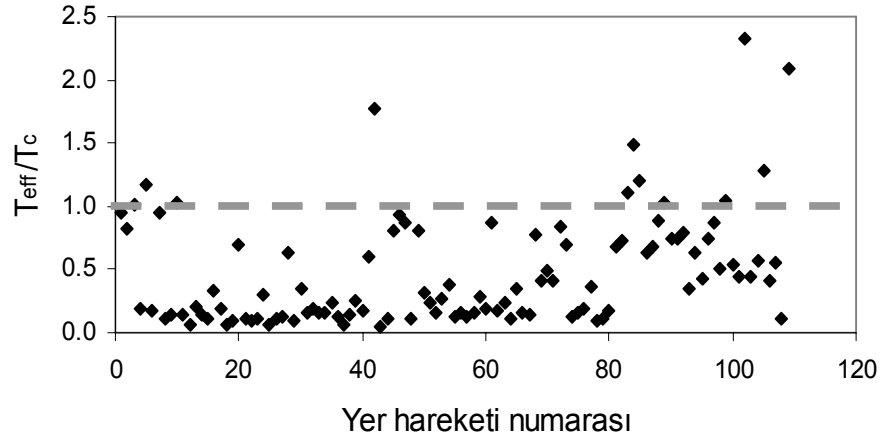


a)

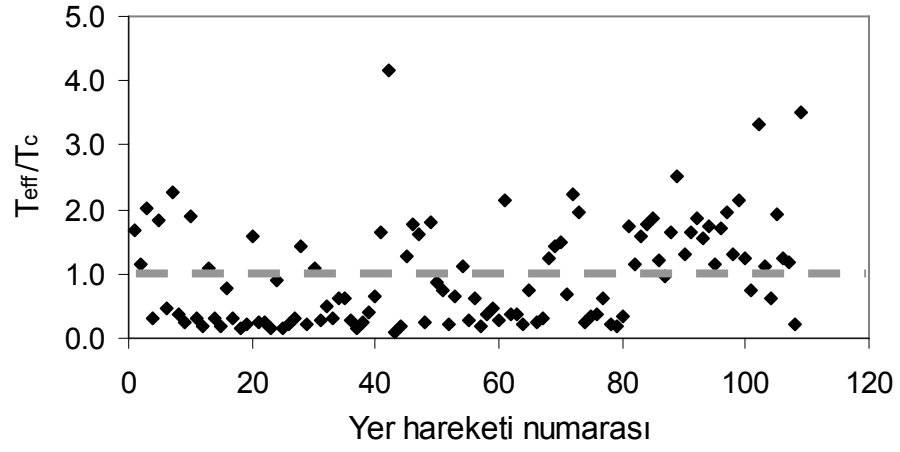


b)

Şekil 3. 31. Uzak mesafe yer hareketlerinin PGA S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş

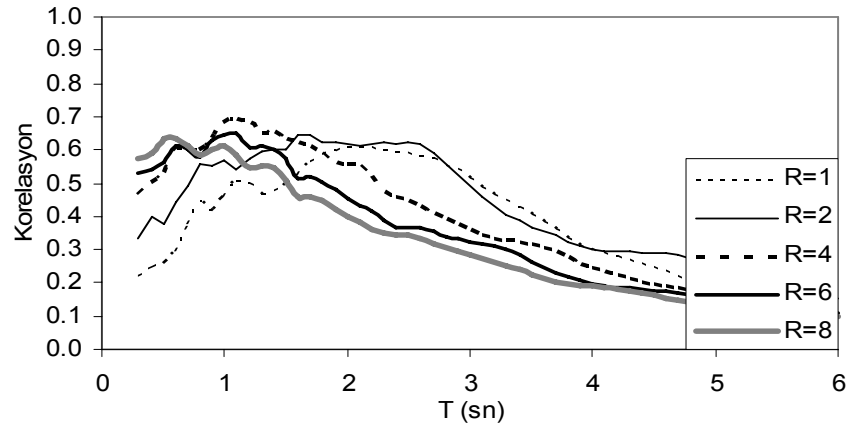


a)

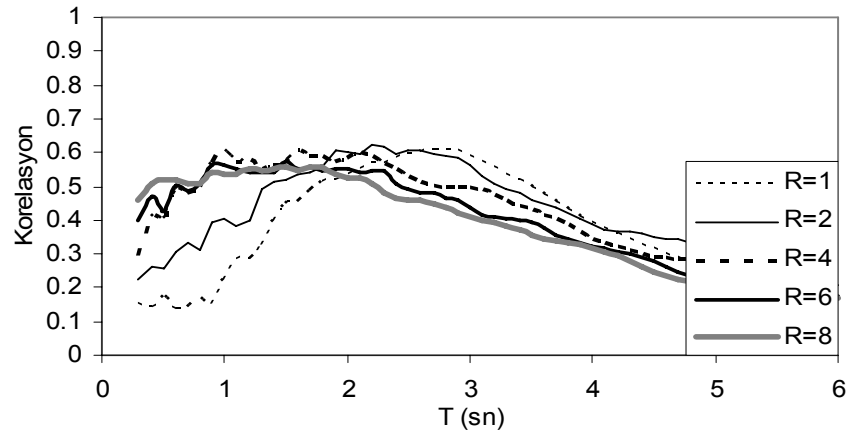


b)

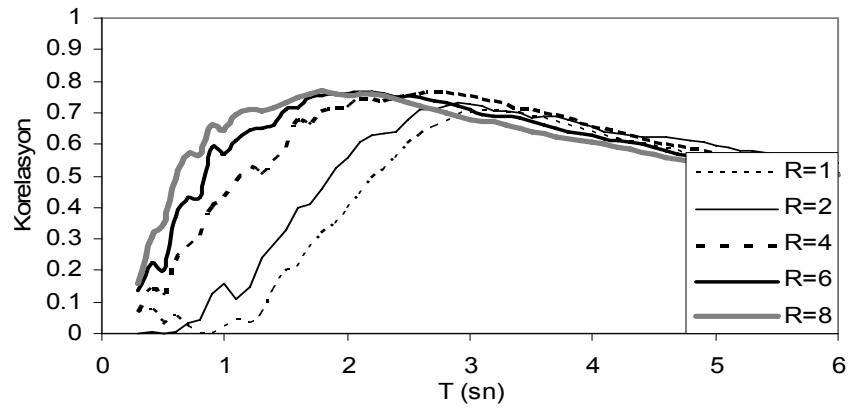
Şekil 3.32. Atım içeren yer hareketlerinde a) $R=2$ ve b) $R=4$ için T_{eff}/T_c oranı



a)

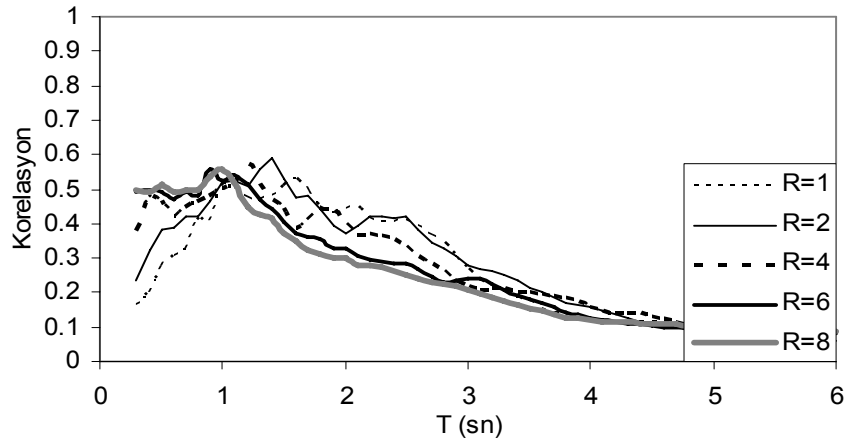


b)

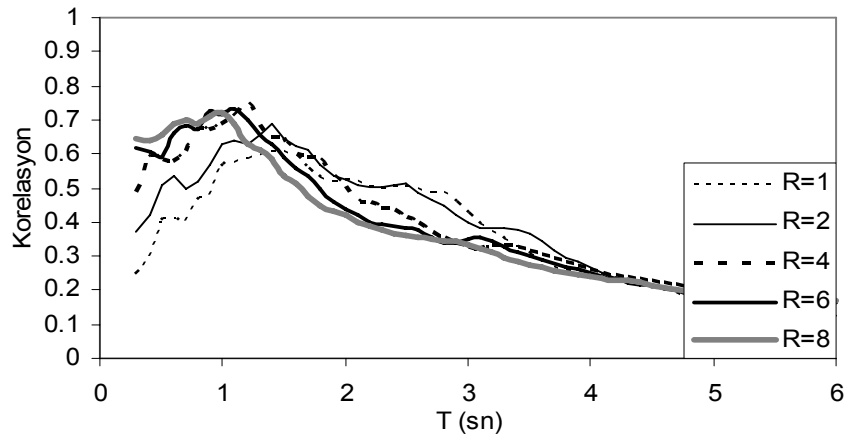


c)

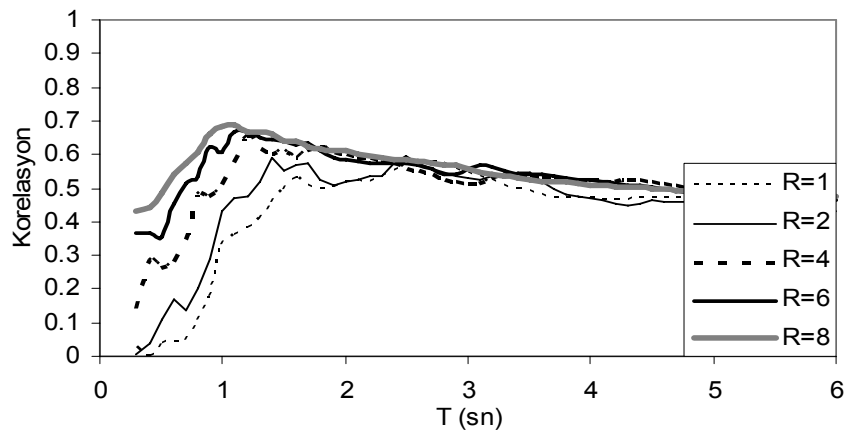
Şekil 3.33. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin PGV ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

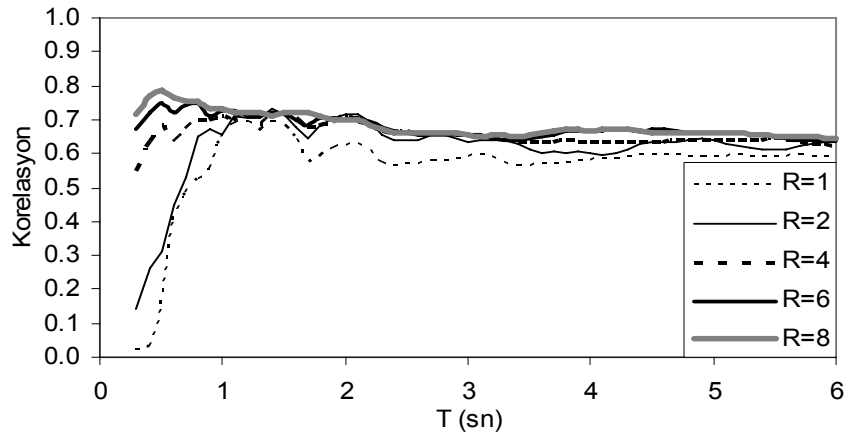


b)

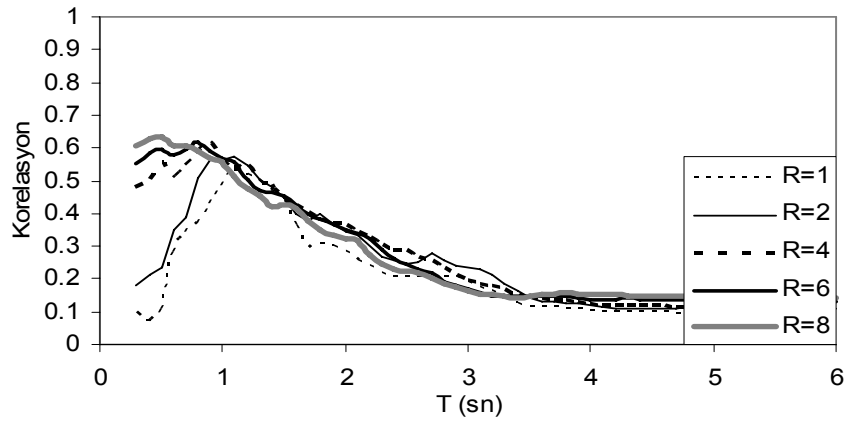


(c)

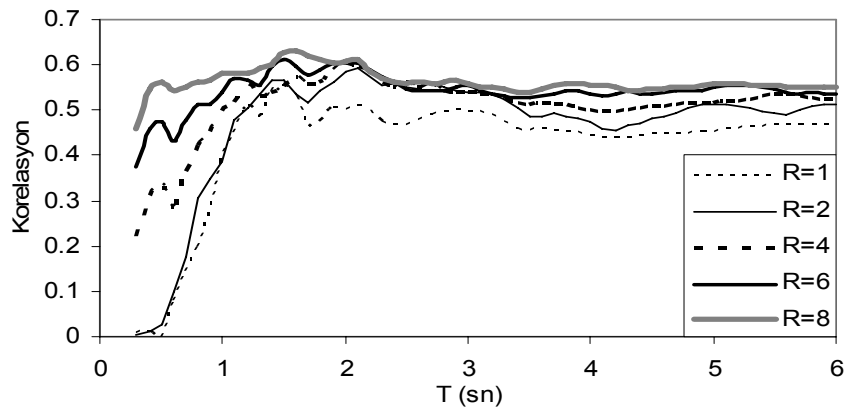
Şekil 3.34. Atım içemeyen yakın fay yer hareketlerinin PGV ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

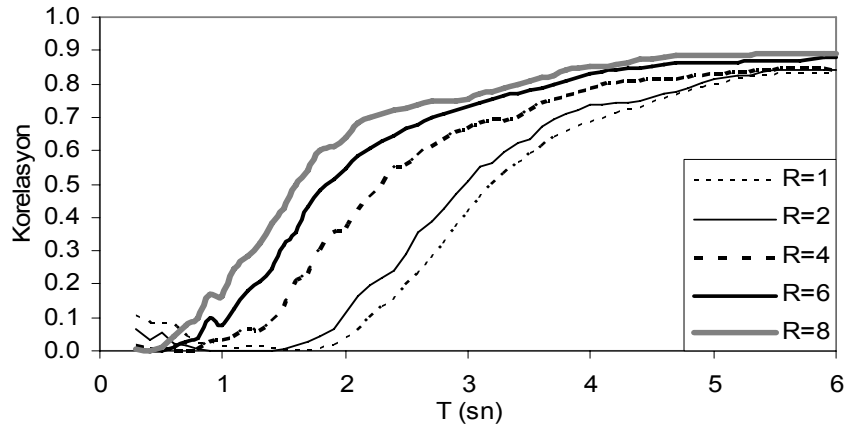


b)

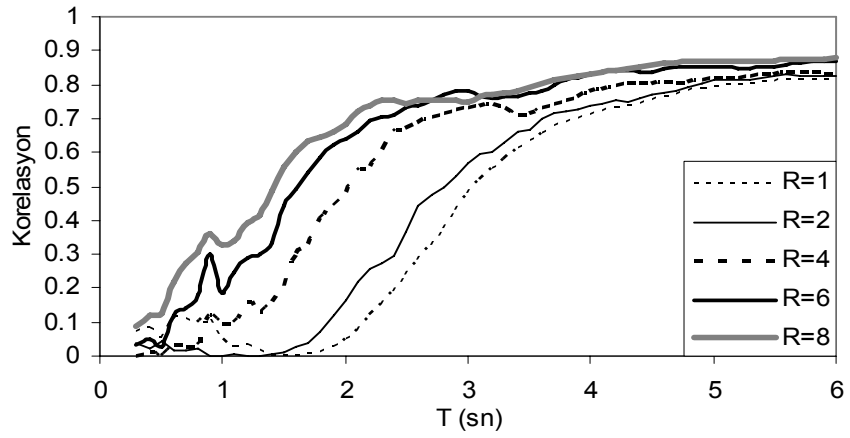


(c)

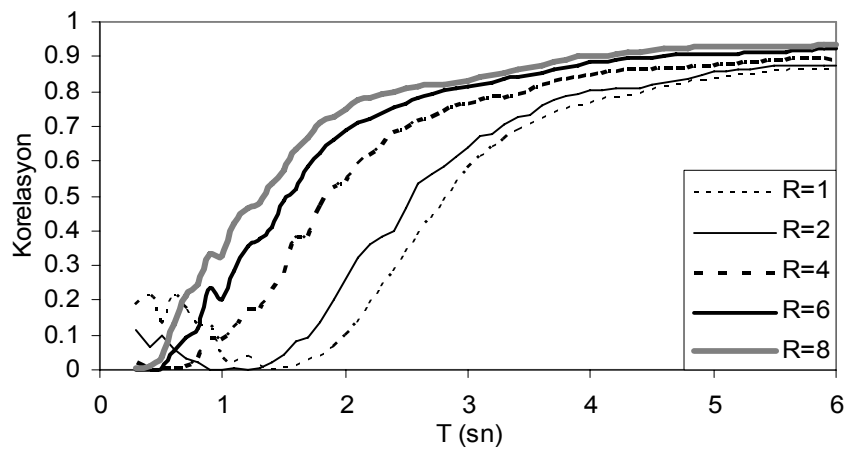
Şekil 3.35. Uzak mesafe yer hareketlerinin PGV ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

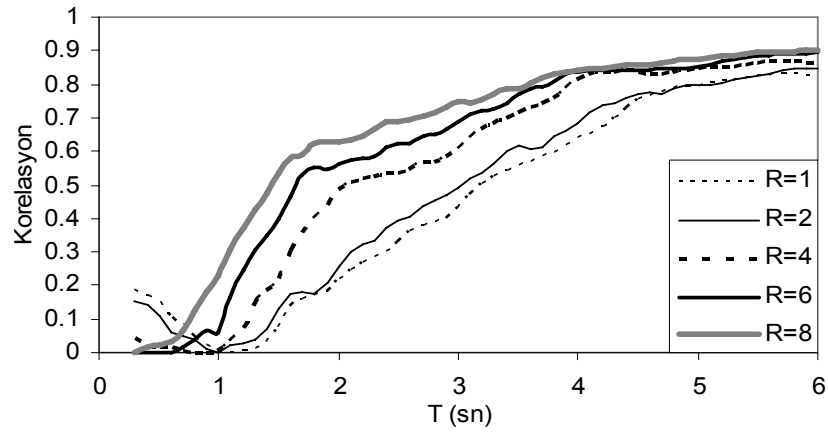


b)

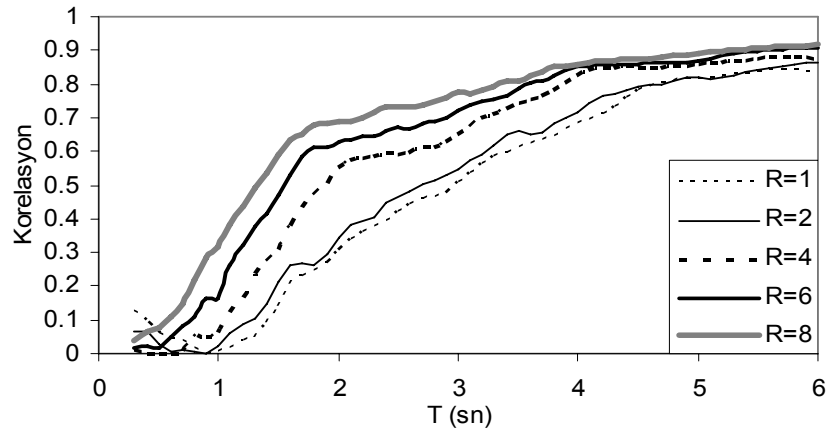


c)

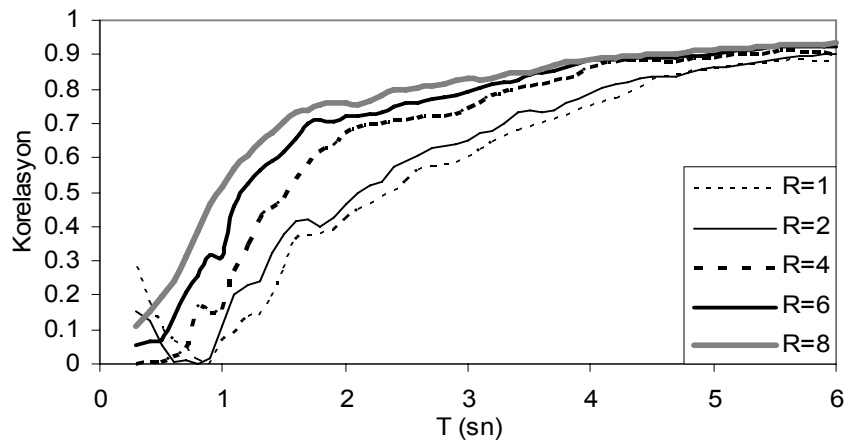
Şekil 3.36. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin PGD ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

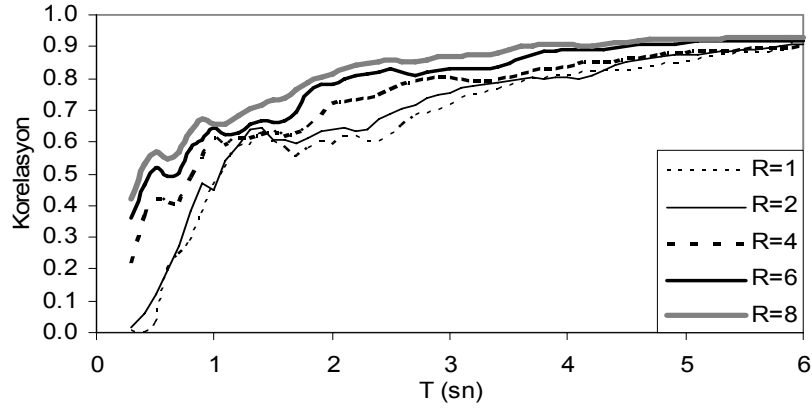


b)

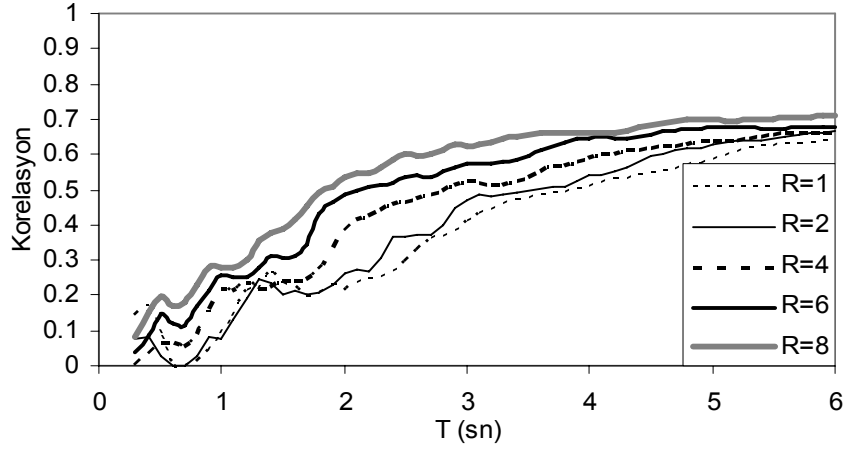


c)

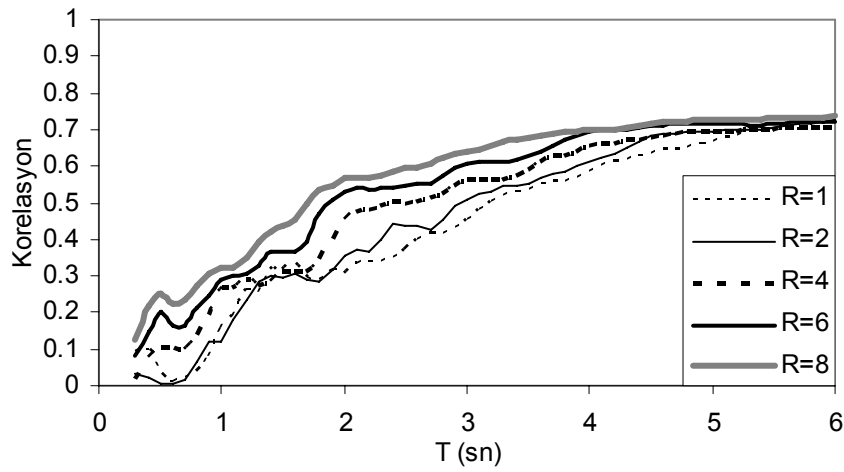
Şekil 3.37. Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin PGD ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

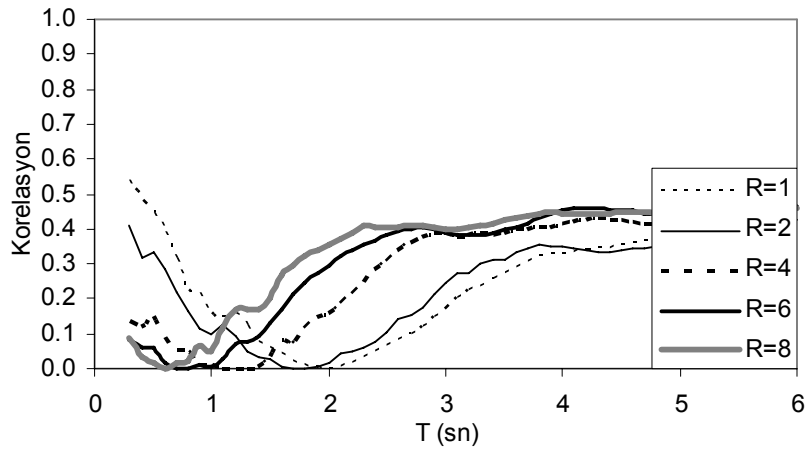


b)

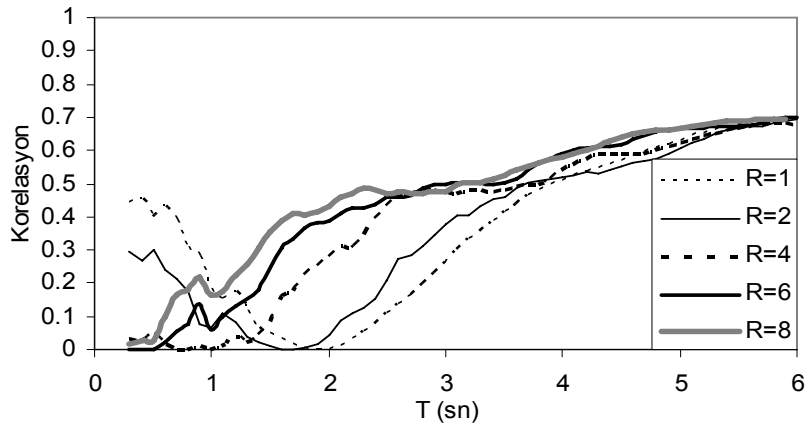


c)

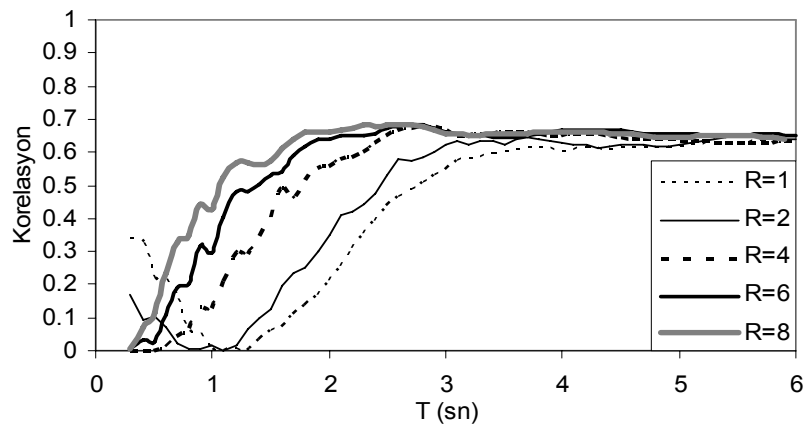
Şekil 3.38. Uzak mesafe yer hareketlerinin PGD ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

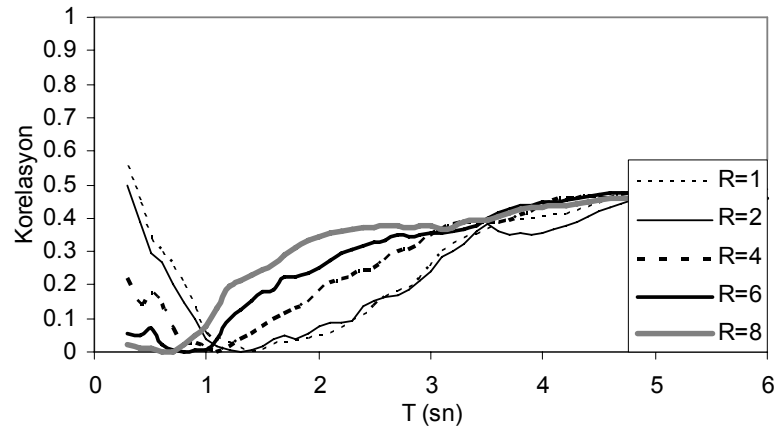


b)

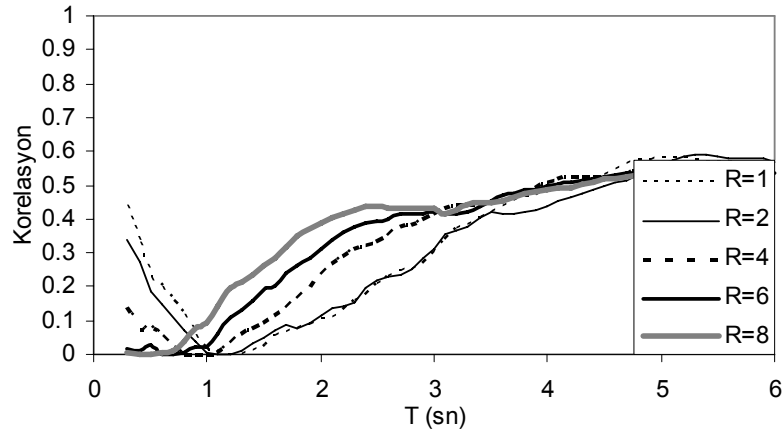


c)

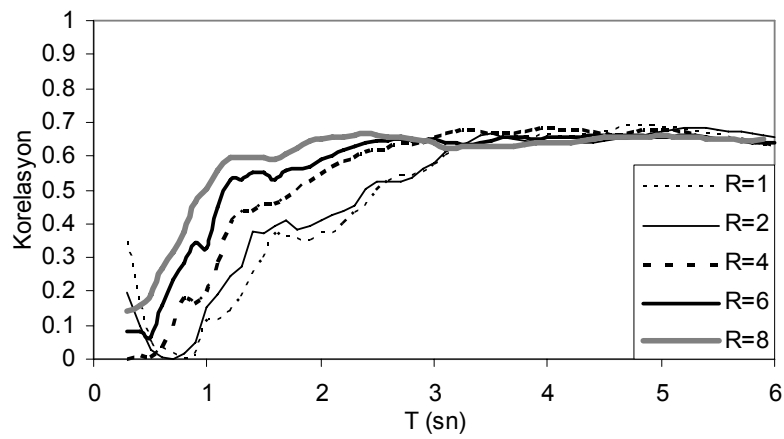
Şekil 3.39. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin V/A ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

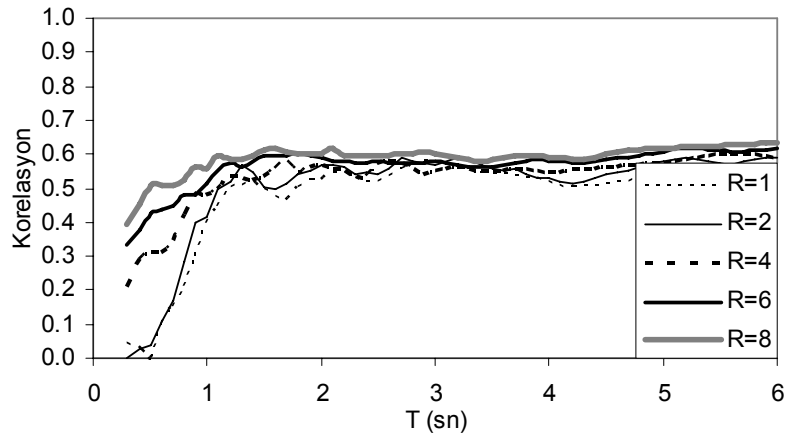


b)

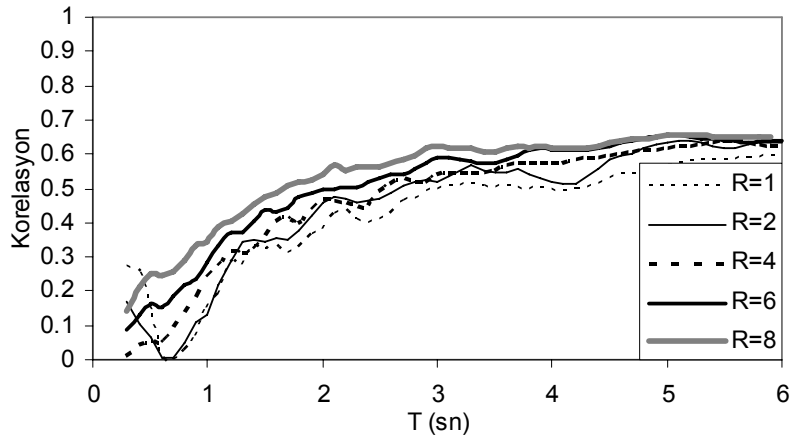


c)

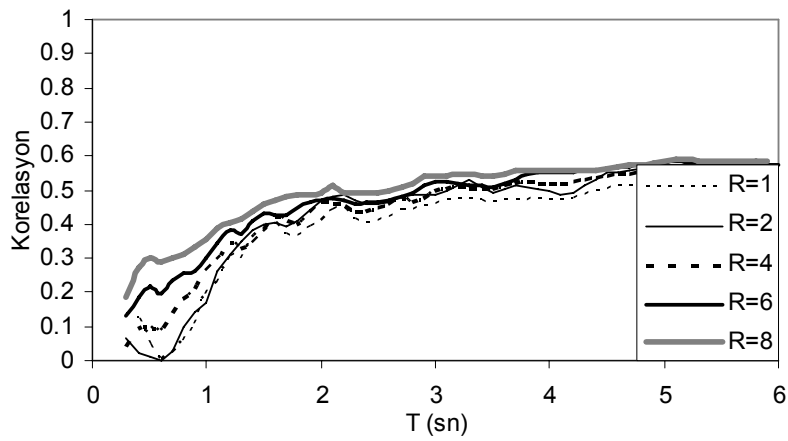
Şekil 3.40. Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin V/A ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

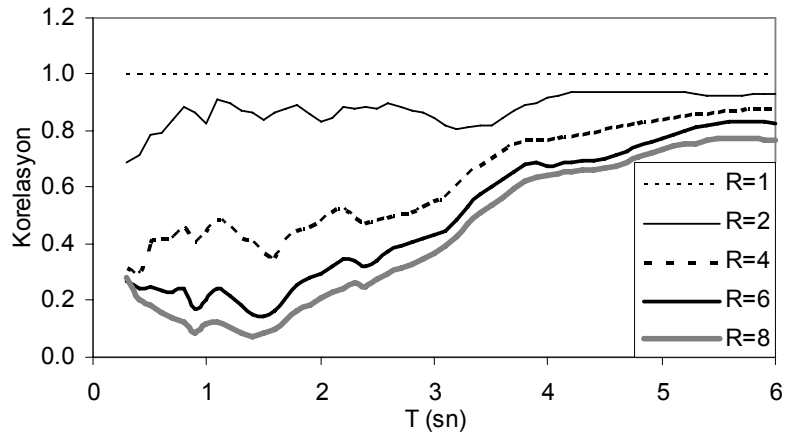


b)

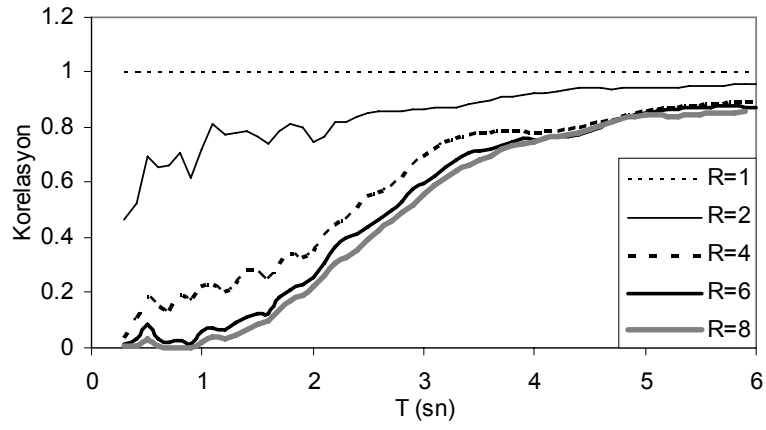


c)

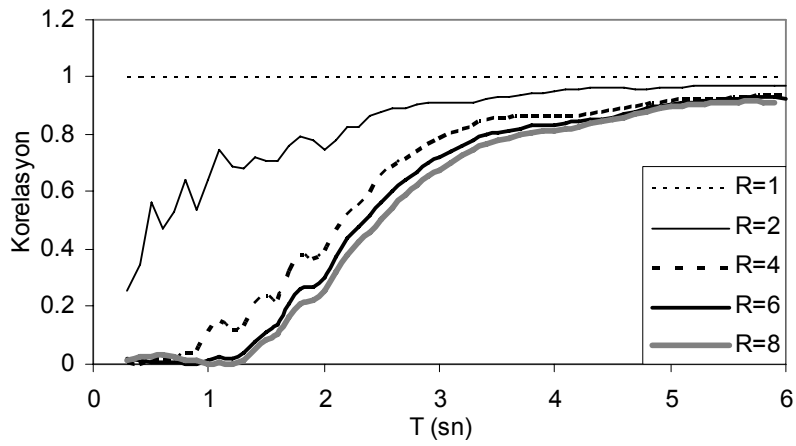
Şekil 3.41. Uzak mesafe yer hareketlerinin V/A ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

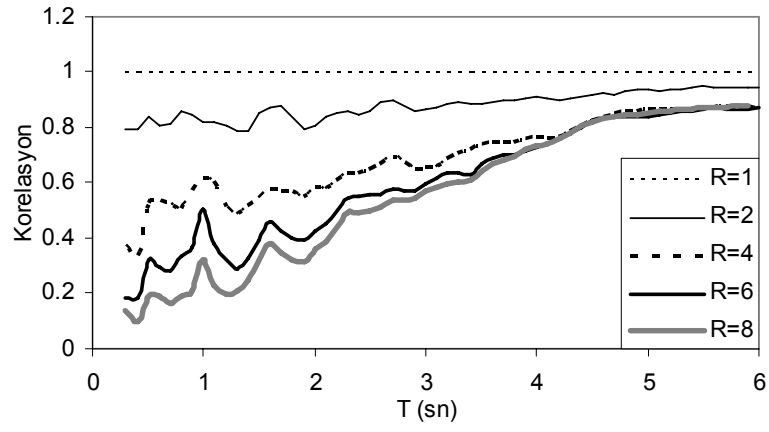


b)

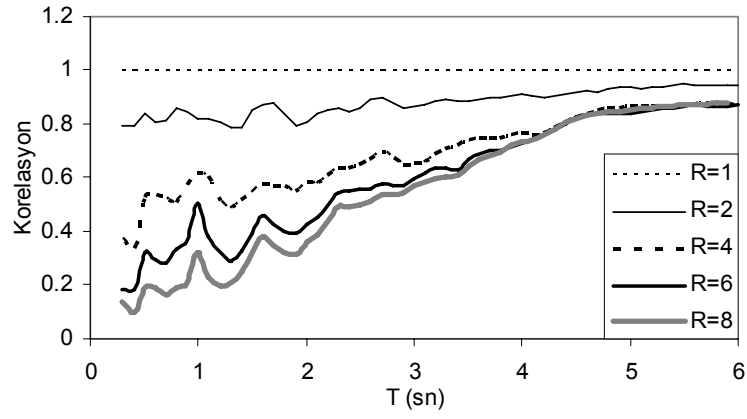


c)

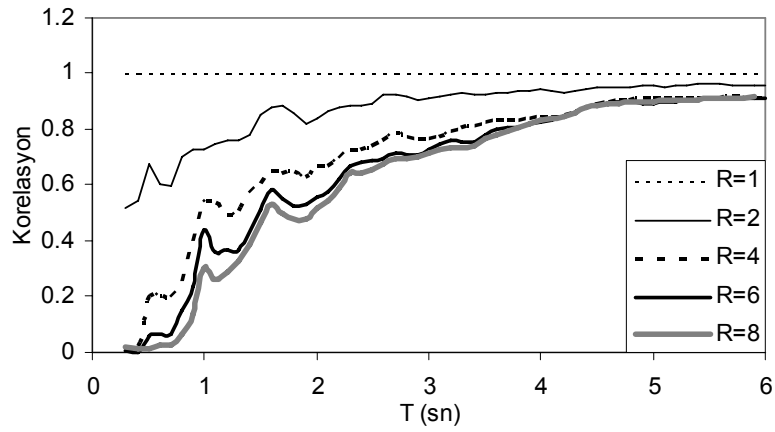
Şekil 3.42. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin S_a ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

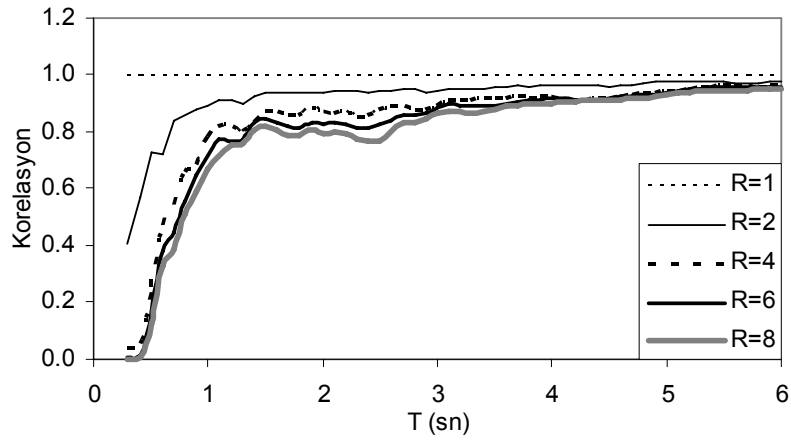


b)

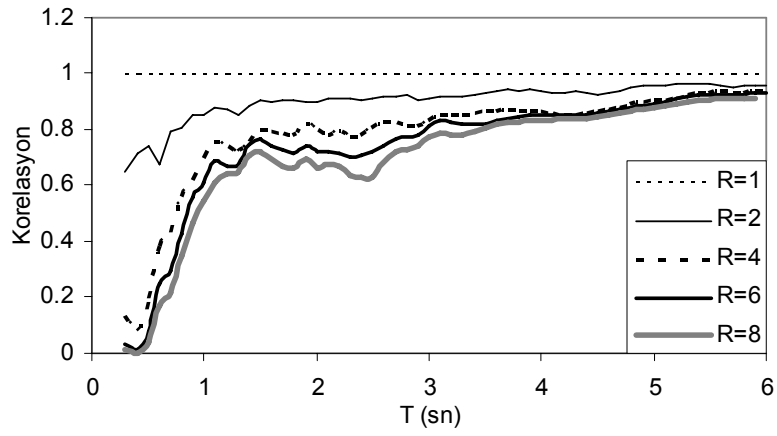


c)

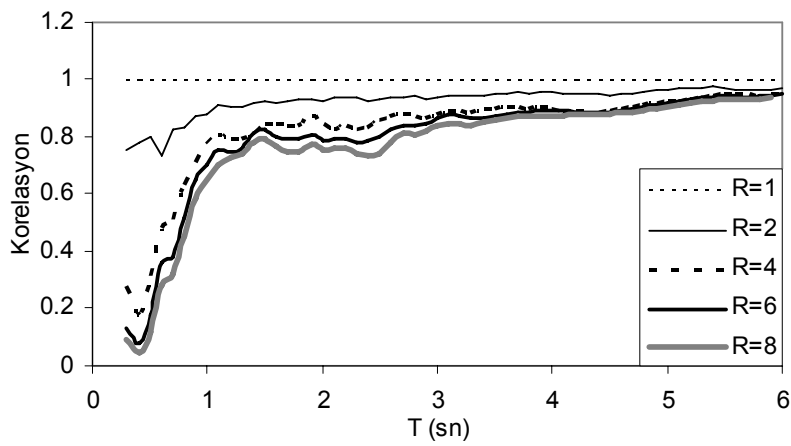
Şekil 3.43. Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin S_a ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

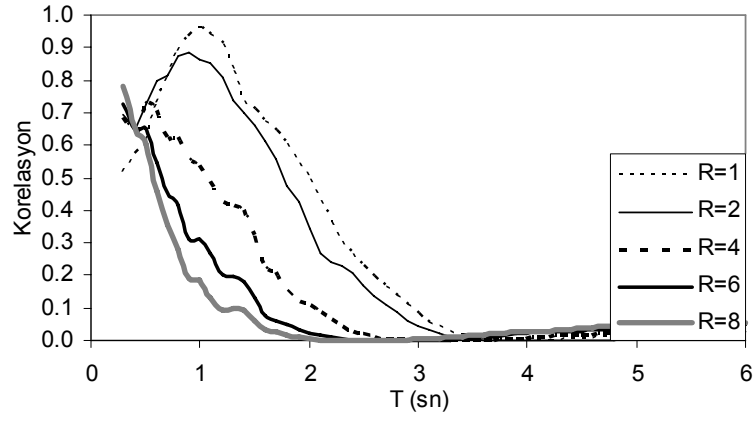


b)

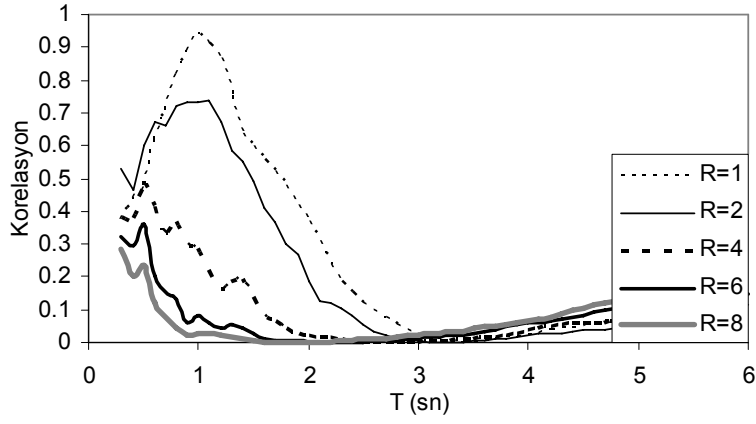


c)

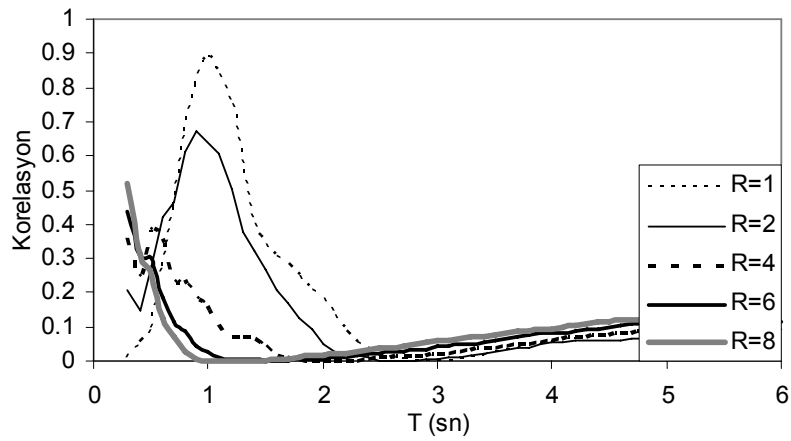
Şekil 3.44. Uzak mesafe yer hareketlerinin S_a ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

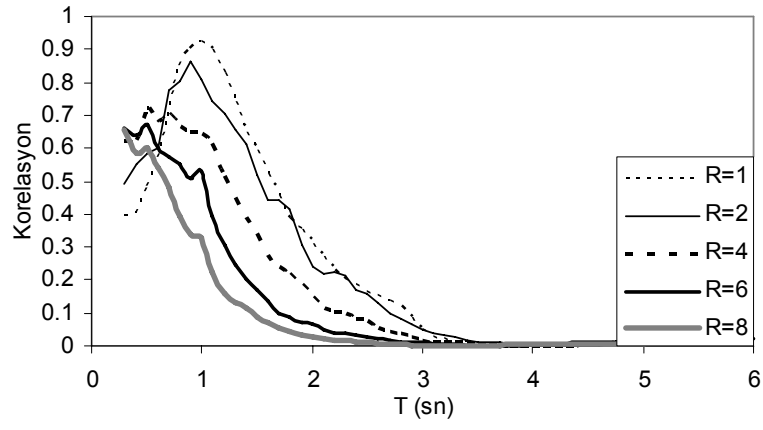


b)

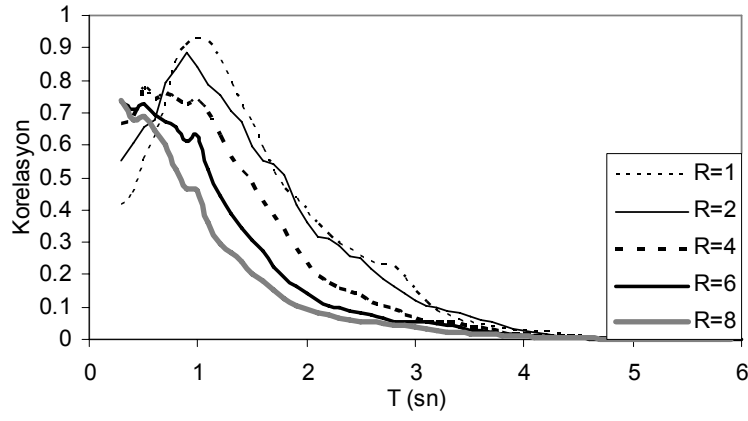


c)

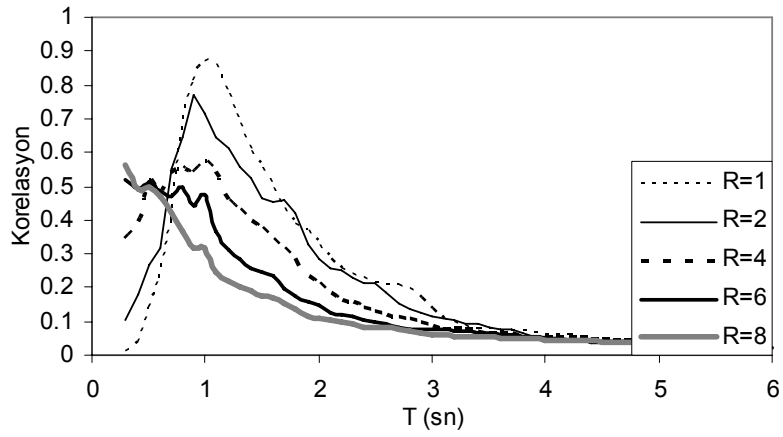
Şekil 3.45. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin EPV ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

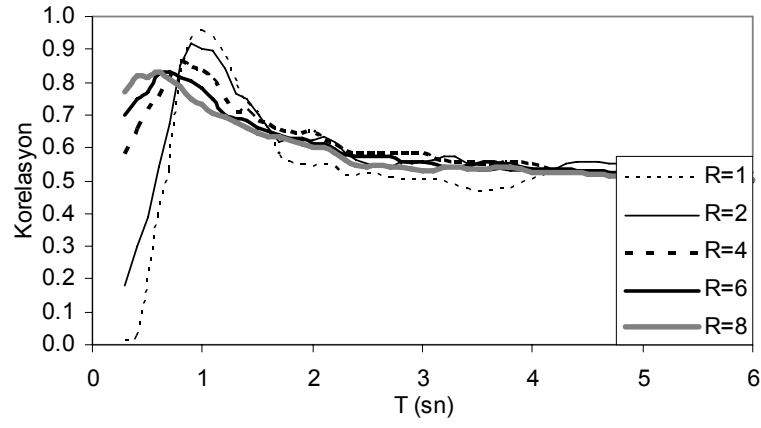


b)

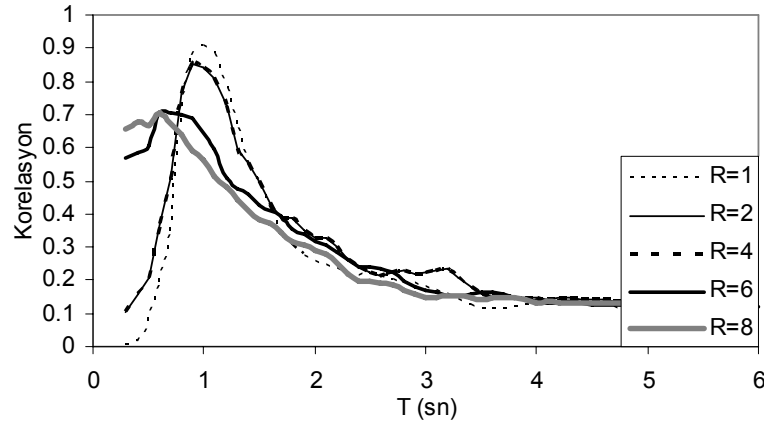


c)

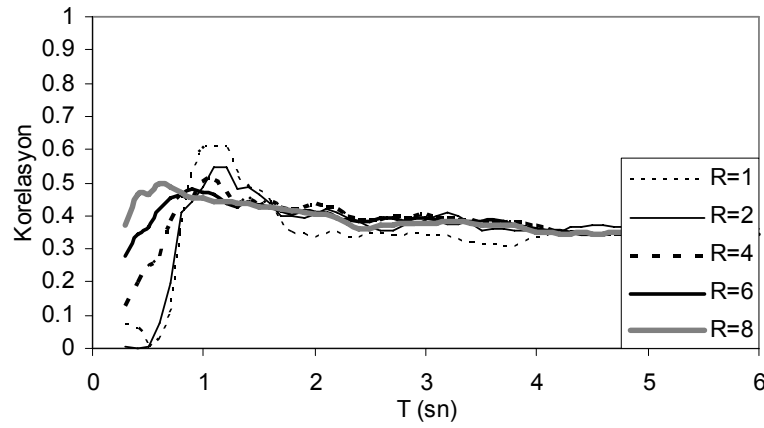
Şekil 3.46. Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin EPV ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

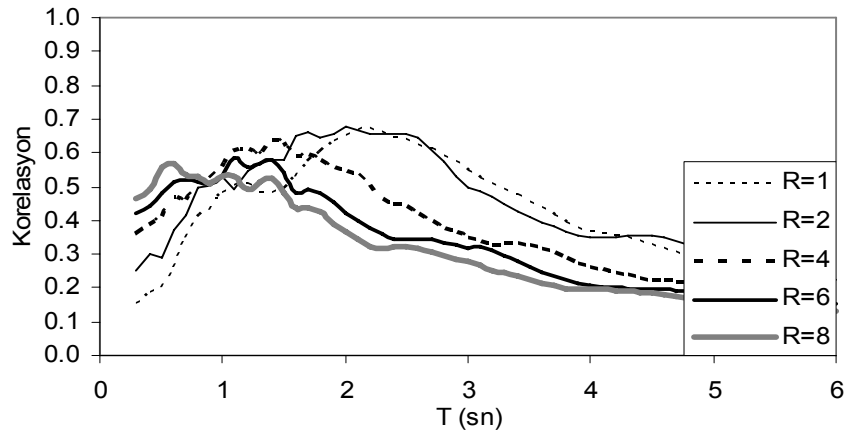


b)

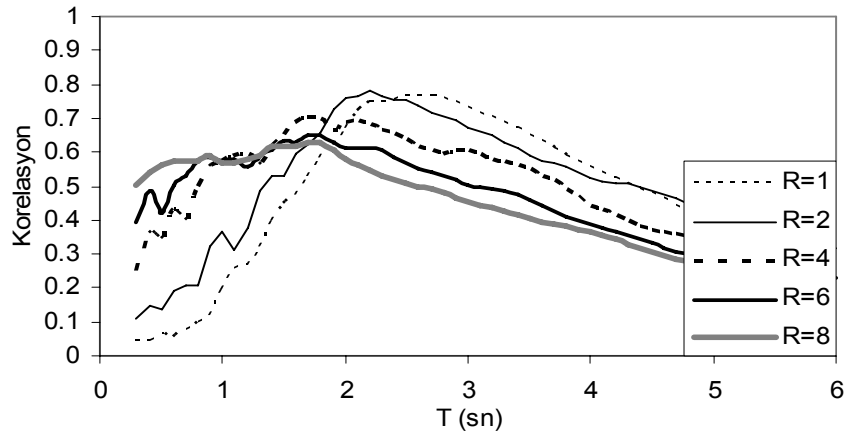


c)

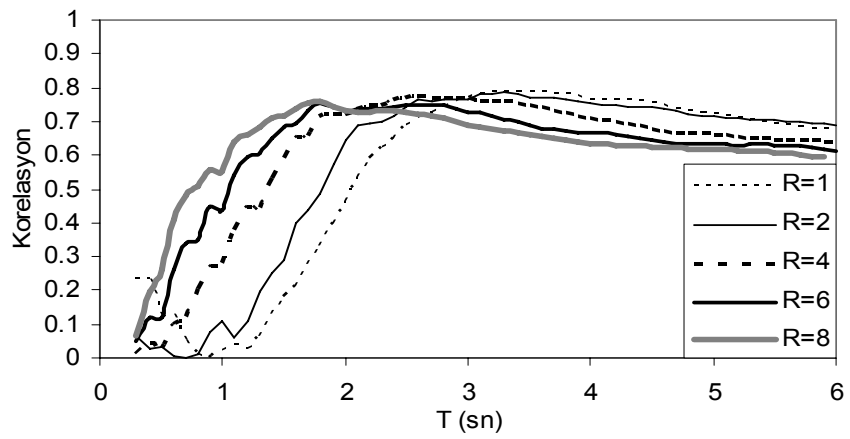
Şekil 3.47. Uzak mesafe yer hareketlerinin EPV ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

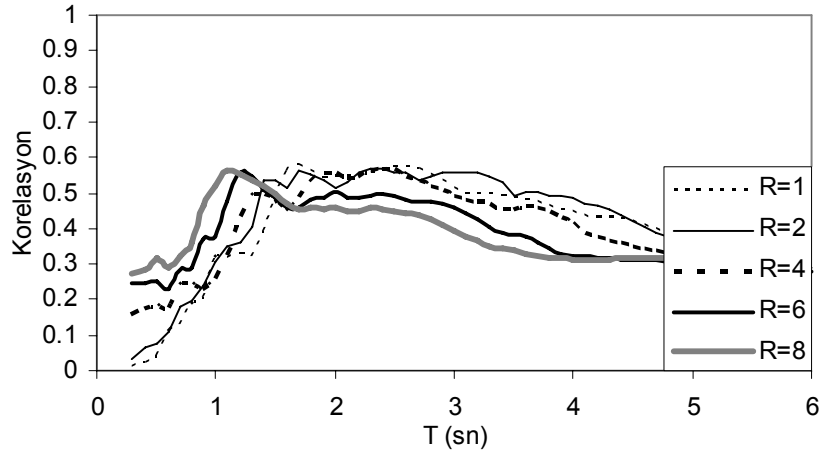


b)

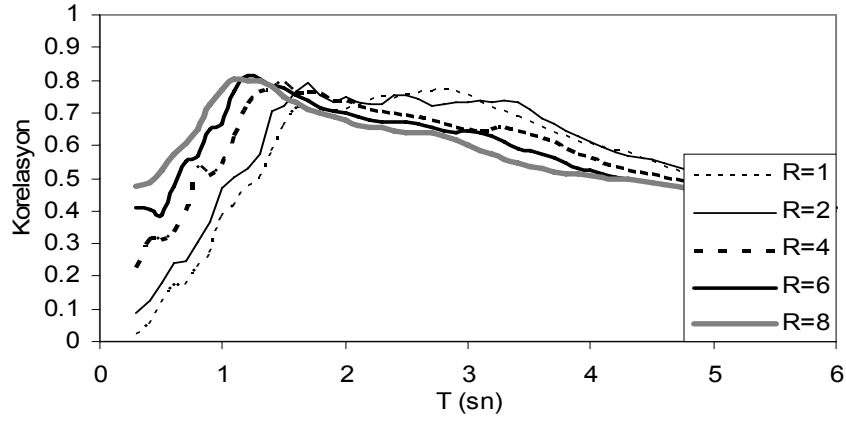


c)

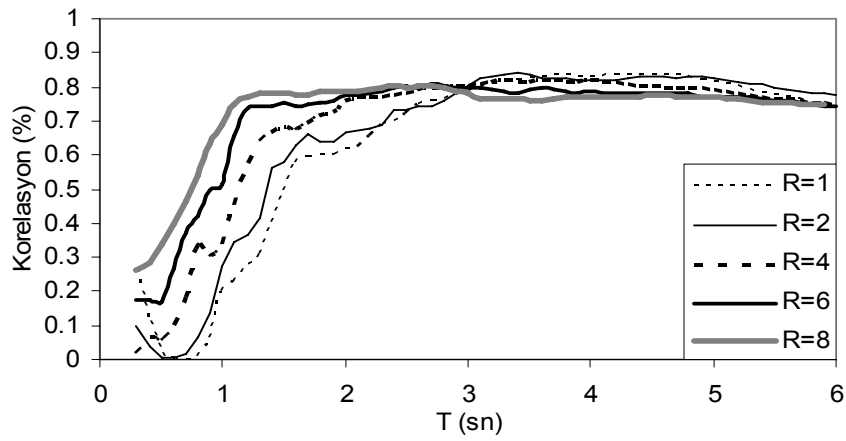
Şekil 3.48. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin I_{DS} ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

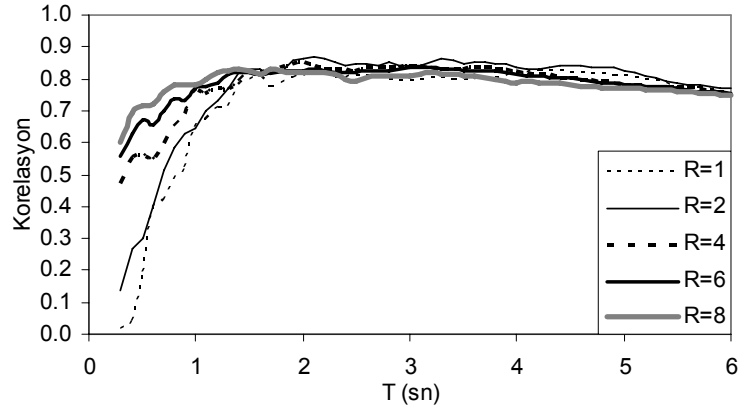


b)

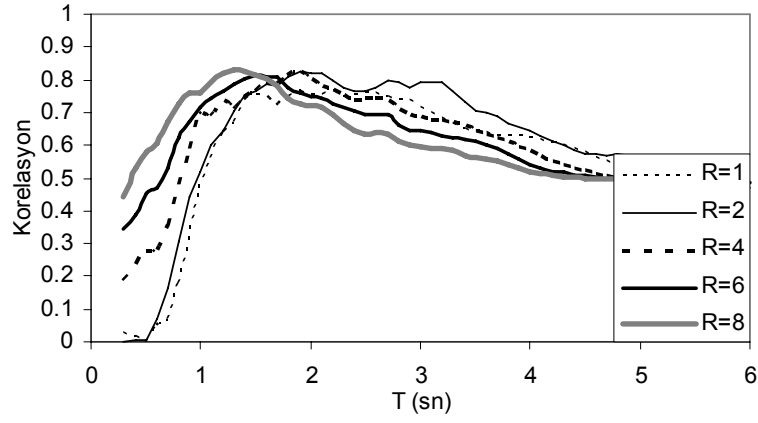


c)

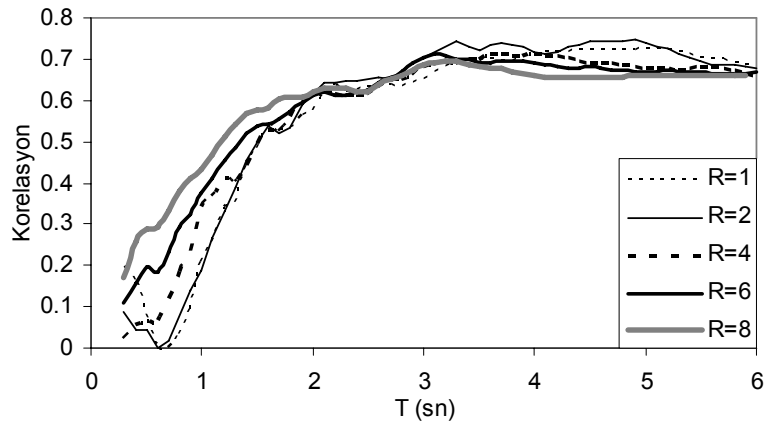
Şekil 3.49. Atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin I_{DS} ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)

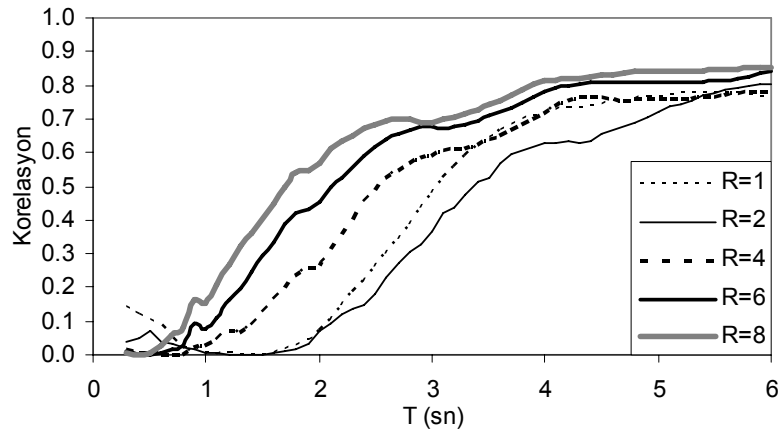


b)

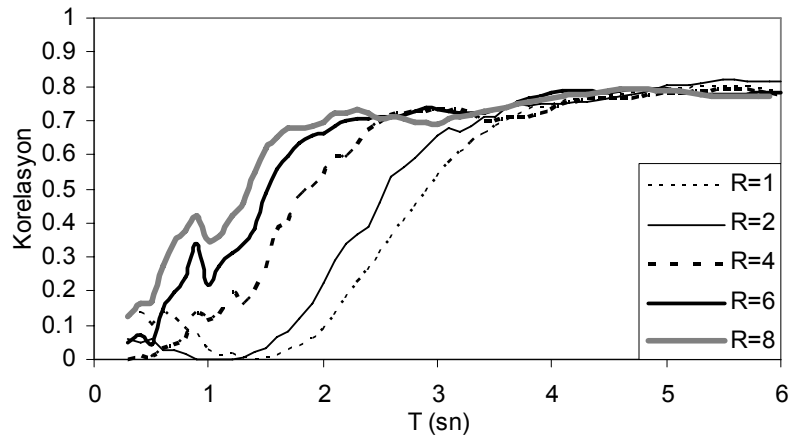


c)

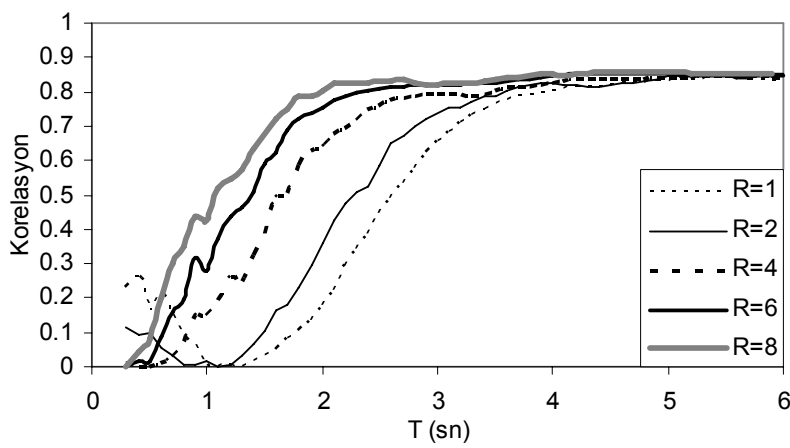
Şekil 3.50. Uzak mesafe yer hareketlerinin I_{DS} ile S_d ilişkisi
a) ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş
c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş



a)



b)



c)

Şekil 3.51. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin PA (atım alanı) ile S_d ilişkisi ölçeklendirilmemiş b) ortalama CAV ile ölçeklendirilmiş c) ortalama AI ile ölçeklendirilmiş

Tablo 3.8. Atım İçeren Yakın Fay Yer Hareketleri

No	Depremin adı	Rec.Comp.	Moment B.	d	Zemin	PGA (g)	PGV (cm/sn)	PGD (cm)	Tp (sn)
1	Cape Mendocino 25/04/99	PET-090	7.1	9.5	Sd	0.662	89.7	29.55	0.69
2	Cape Mendocino 25/04/99	RIO-270	7.1	18.5	Sc	0.385	43.9	22.03	1.2
3	Cape Mendocino 25/04/99	PET-000	7.1	9.5	Sd	0.59	48.4	21.74	0.79
4	Cape Mendocino 25/04/99	CPM-090	7.1	8.5	Sb	1.039	42	12.39	1.92
5	Cape Mendocino 25/04/99	RIO-360	7.1	18.5	Sc	0.549	42.1	18.62	0.47
6	ChiChi 20/09/99	TCU065-W	7.6	0.98	Sd	0.814	126.2	92.57	4.873
7	ChiChi 20/09/99	TCU102-W	7.6	1.79	Sd	0.298	112.4	89.19	2.8
8	ChiChi 20/09/99	TCU075-W	7.6	1.49	Sd	0.333	88.3	86.45	5.3
9	ChiChi 20/09/99	TCU136-E	7.6	8.97	Sc	0.171	55.8	66.48	7.7
10	ChiChi 20/09/99	TCU079-W	7.6	10.04	Sd	0.742	61.2	11.11	0.71
11	ChiChi 20/09/99	CHY101-N	7.6	11.14	Sd	0.44	115	68.75	4.7
12	ChiChi 20/09/99	TCU128-W	7.6	9.7	Sc	0.139	73	90.62	9.1
13	ChiChi 20/09/99	TCU063-N	7.6	10.39	Sd	0.134	73.1	59.24	5.2
14	ChiChi 20/09/99	WGK-N	7.6	11.14	Sd	0.484	74.4	66.92	4.5
15	ChiChi 20/09/99	TCU049-N	7.6	4.48	Sd	0.251	61.2	51.29	5.8
16	ChiChi 20/09/99	CHY024-W	7.6	9.06	Sd	0.278	52.9	43.62	3.8
17	ChiChi 20/09/99	TCU103-W	7.6	4.01	Sd	0.134	61.9	87.54	7.9
18	ChiChi 20/09/99	TCU101-W	7.6	2.94	Sd	0.202	67.9	75.36	7.6
19	ChiChi 20/09/99	NSY-E	7.6	9.7	Sc	0.145	47.5	50.63	8.1
20	ChiChi 20/09/99	CHY080-W	7.6	6.95	Sc	0.968	107.5	18.6	0.9
21	ChiChi 20/09/99	TCU059-W	7.6	17.84	Sd	0.165	59.4	63.65	6
22	ChiChi 20/09/99	TCU039-N	7.6	16.7	Sc	0.145	54	44.54	5.2
23	ChiChi 20/09/99	TCU036-W	7.6	16.69	Sd	0.139	59.6	63.6	5.8
24	ChiChi 20/09/99	TCU110-W	7.6	12.56	Se	0.18	67.5	40.97	2.5
25	ChiChi 20/09/99	TCU056-N	7.6	11.11	Se	0.134	42.9	54.55	8.3
26	ChiChi 20/09/99	TCU082-W	7.6	5.73	Sd	0.223	58.4	71.47	6.52

Tablo 3.8'in devamı

27	ChiChi 20/09/99	TCU054-W	7.6	5.92	Sd	0.148	59.4	59.42	7
28	ChiChi 20/09/99	CHY035-W	7.6	18.12	Sd	0.252	45.6	12.03	1.3
29	ChiChi 20/09/99	TCU104-N	7.6	13.64	Sc	0.085	47.2	52.7	6.4
30	ChiChi 20/09/99	TCU102-N	7.6	1.79	Sd	0.169	77.1	44.87	2.82
31	ChiChi 20/09/99	TCU076-W	7.6	1.95	Sd	0.303	62.6	31.47	3.1
32	ChiChi 20/09/99	TCU136-N	7.6	8.97	Sc	0.177	47.5	44.82	6.8
33	ChiChi 20/09/99	CHY101-W	7.6	11.14	Sd	0.353	70.6	45.28	3.37
34	ChiChi 20/09/99	TCU128-N	7.6	9.7	Sc	0.17	68.8	41.87	5.3
35	ChiChi 20/09/99	TCU063-W	7.6	10.39	Sd	0.172	59	59.19	6
36	ChiChi 20/09/99	WGK-E	7.6	11.14	Sd	0.334	69	35.7	3.25
37	ChiChi 20/09/99	TCU049-W	7.6	4.48	Sd	0.293	47.9	65.28	9.5
38	ChiChi 20/09/99	TCU087-N	7.6	3.1	Sc	0.122	37.1	25.54	4.17
39	ChiChi 20/09/99	CHY024-N	7.6	9.06	Sd	0.175	48.9	31.04	5
40	ChiChi 20/09/99	NSY-N	7.6	9.7	Sc	0.128	41.8	28.72	4.5
41	ChiChi 20/09/99	CHY080-N	7.6	6.95	Sc	0.902	102.4	33.97	1.38
42	ChiChi 20/09/99	CHY006-N	7.6	14.93	Sd	0.345	42.8	15.18	1
43	ChiChi 20/09/99	TCU060-W	7.6	9.46	Sd	0.201	36.3	51.89	11.7
44	ChiChi 20/09/99	TCU053-N	7.6	6.69	Sd	0.14	41.1	48.05	6.6
45	ChiChi 20/09/99	CHY035-N	7.6	18.12	Sd	0.246	37.6	16.86	0.85
46	ChiChi 20/09/99	CHY028-N	7.6	7.31	Sd	0.821	67	23.28	0.81
47	Coyota Lake 06/08/79	G06-230	7.6	3.1	Sc	0.434	49.2	7.77	0.92
48	Duzce 12/11/99	DUZCE-270	7.1	8.2	Sd	0.535	83.5	51.59	4.1
49	Duzce 12/11/99	BOLU-090	7.1	17.6	Sd	0.822	62.1	13.55	1
50	Erzincan 13/03/92	ERZ-NS	6.9	2	Sd	0.515	83.9	27.35	2.36
51	Imperial Valley 15/10/79	H-EMO-270	6.5	0.5	Sd	0.296	90.5	31.71	3.16
52	Imperial Valley 15/10/79	H-E05-230	6.5	1	Sd	0.379	90.5	63.03	3.8

Tablo 3.8'in devamı

53	Imperial Valley 15/10/79	H-E07-230	6.5	0.6	Sd	0.463	109.3	44.74	3.8
54	Imperial Valley 15/10/79	H-ECC-092	6.5	7.6	Sd	0.235	68.8	39.35	3.3
55	Imperial Valley 15/10/79	H-E06-230	6.5	1	Sd	0.439	109.8	65.89	3.8
56	Imperial Valley 15/10/79	H-EO4-230	6.5	4.2	Sd	0.36	76.6	59.02	4.35
57	Imperial Valley 15/10/79	H-HVP-315	6.5	7.5	Sd	0.221	49.8	31.96	3.7
58	Imperial Valley 15/10/79	H-E10-050	6.5	8.6	Sd	0.171	47.5	31.1	4.41
59	Imperial Valley 15/10/79	H-E03-140	6.5	9.3	Se	0.266	46.8	18.92	2.51
60	Imperial Valley 15/10/79	H-EDA-270	6.5	6.5	Sd	0.352	71.2	45.8	4.5
61	Imperial Valley 15/10/79	H-EMO-000	6.5	0.5	Sd	0.314	71.7	25.53	3.655
62	Imperial Valley 15/10/79	H-E08-230	6.5	3.8	Sd	0.454	49.1	35.59	4
63	Imperial Valley 15/10/79	H-E06-140	6.5	1	Sd	0.41	64.9	27.69	2.83
64	Imperial Valley 15/10/79	H-HVP-225	6.5	7.5	Sd	0.253	48.8	31.54	5.02
65	Imperial Valley 15/10/79	H-E10-320	6.5	8.6	Sd	0.224	41	19.38	1.97
66	Imperial Valley 15/10/79	H-BRA-225	6.5	8.5	Sd	0.16	35.9	22.44	3.3
67	Imperial Valley 15/10/79	H-E03-230	6.5	9.3	Se	0.221	39.9	23.31	4.34
68	Imperial Valley 15/10/79	H-EDA-360	6.5	6.5	Sd	0.48	40.8	14.04	1.5
69	Kobe 16/01/95	TAK-000	6.9	0.3	Se	0.611	127.1	35.77	1.45
70	Kobe 16/01/95	KJM-000	6.9	0.6	Sc	0.821	81.3	17.68	1.25
71	Kobe 16/01/95	TAK-090	6.9	0.3	Se	0.616	120.7	32.72	1.46
72	Kobe 16/01/95	TAZ-000	6.9	1.2	Se	0.693	68.3	26.65	2.05
73	Kobe 16/01/95	KJM-090	6.9	0.6	Sc	0.599	74.3	19.95	1.4
74	Kocaeli 17/08/99	YPT-060	7.4	2.6	Sd	0.268	65.7	57.01	4.67
75	Kocaeli 17/08/99	GBZ-000	7.4	17	Sb	0.244	50.3	42.74	4.3
76	Kocaeli 17/08/99	YPT-330	7.4	2.6	Sd	0.349	62.1	50.97	4.1
77	Kocaeli 17/08/99	DZC-270	7.4	12.7	Sd	0.358	46.4	17.61	1.45
78	Kocaeli 17/08/99	GBZ-270	7.4	17	Sb	0.137	29.7	27.54	6.7

Tablo 3.8'in devamı

79	Landers 28/06/92	LCN-275	7.3	1.1	Sb	0.721	97.6	70.31	4.6
80	Loma Prieta 18/10/89	STG-090	6.9	13	Sc	0.324	42.6	27.53	3.1
81	Loma Prieta 18/10/89	CLS-090	6.9	5.1	Sc	0.479	45.2	11.37	0.7
82	Loma Prieta 18/10/89	STG-000	6.9	13	Sc	0.512	41.2	16.21	1.4
83	Loma Prieta 18/10/89	G03-090	6.9	14.4	Sd	0.367	44.7	19.25	2.1
84	Loma Prieta 18/10/89	G01-090	6.9	11.2	Sb	0.473	33.9	8.03	0.46
85	Loma Prieta 18/10/89	G01-000	6.9	11.2	Sb	0.411	31.6	6.38	0.38
86	Morgal Hill 24/04/84	CYC-285	6.2	0.1	Sb	1.298	80.8	9.63	0.86
87	Morgal Hill 24/04/84	CYC-195	6.2	0.1	Sb	0.711	51.6	12	0.9
88	Northridge 17/01/94	MUL-279	6.7	19.6	Sc	0.516	62.8	11.08	1.2
89	Northridge 17/01/94	PKC-360	6.7	8.2	Sc	0.433	51.5	7.21	0.74
90	Northridge 17/01/94	MUL-009	6.7	19.6	Sc	0.416	59	13.14	1.15
91	Northridge 17/01/94	ARL-090	6.7	9.2	Sc	0.344	40.6	15.04	0.9
92	Northridge 17/01/94	SPV-270	6.7	8.9	Sd	0.753	84.8	18.68	0.8
93	Northridge 17/01/94	WPI-270	6.7	7.1	Sc	0.455	92.8	56.64	3.1
94	Northridge 17/01/94	WPI-046	6.7	7.1	Sc	0.325	67.4	16.11	1.9
95	Northridge 17/01/94	JEN-022	6.7	6.2	Sd	0.424	106.2	43.06	2.66
96	Northridge 17/01/94	PUL-194	6.7	8	Sb	1.285	103.9	23.8	0.91
97	Northridge 17/01/94	RRS-228	6.7	7.1	Sd	0.838	166.1	28.78	1.25
98	Northridge 17/01/94	SCS-052	6.7	6.2	Sd	0.612	117.4	54.28	2.5
99	Northridge 17/01/94	SYL-360	6.7	6.4	Sd	0.843	129.6	32.68	1.93
100	Northridge 17/01/94	JEN-292	6.7	6.2	Sd	0.593	99.3	24	1.4
101	N.Palm Springs 08/07/86	NPS-210	6	8.2	Sc	0.594	73.3	11.46	1.37
102	N.Palm Springs 08/07/86	NPS-300	6	8.2	Sc	0.694	33.8	3.88	0.37
103	N.Palm Springs 08/07/86	MVH-135	6	10.1	Sc	0.205	40.9	14.96	1.95
104	N.Palm Springs 08/07/86	MVH-045	6	10.1	Sc	0.218	31.4	8.51	1.33

Tablo 3.8'in devamı

105	San Fernando 09/02/71	PCD-164	6.6	2.8	Sc	1.226	112.5	35.5	1.3
106	Superstition Hills 24/11/87	PTS-225	6.7	0.7	Sc	0.455	112	52.8	2.2
107	Superstition Hills 24/11/87	B-ICC-090	6.7	13.9	Sd	0.258	40.9	20.2	2.4
108	Tabas 16/09/78	TAB-TR	7.4	3	Sd	0.852	121.4	94.58	4.54
109	Tabas 16/09/78	TAB-LN	7.4	3	Sd	0.836	97.8	36.92	1.52

Tablo 3.9. Atım içermeyen yakın fay yer hareketleri

No	Deprem adı	Kayıt-Bileşen	Moment B.	d	Zemin	PGA (g)	PGV (cm/sn)	PGD (cm)
1	Cape Mendocino 25/04/92	CPM-000	7.1	8.5	Sb	1.497	127.4	41.01
2	ChiChi 20/09/99	TCU065-N	7.6	0.98	Sd	0.603	78.8	60.74
3	ChiChi 20/09/99	TCU067-N	7.6	0.33	Sd	0.325	66.6	45.95
4	ChiChi 20/09/99	TCU129-N	7.6	1.18	Sd	0.634	36.1	28.87
5	ChiChi 20/09/99	TCU084-N	7.6	10.39	Sc	0.417	45.6	21.27
6	ChiChi 20/09/99	TCU075-N	7.6	1.49	Sd	0.264	38.2	33.23
7	ChiChi 20/09/99	TCU071-W	7.6	4.94	Sd	0.567	44.4	13.76
8	ChiChi 20/09/99	TCU072-N	7.6	7.36	Sd	0.4	56.3	41.28
9	ChiChi 20/09/99	TCU120-N	7.6	8.1	Sc	0.192	36.9	33.3
10	ChiChi 20/09/99	TCU079-N	7.6	10.04	Sd	0.393	48.8	13.78
11	ChiChi 20/09/99	WNT-N	7.6	1.18	Sd	0.626	42	18.83
12	ChiChi 20/09/99	TCU122-N	7.6	9.03	Sd	0.261	34	36.08
13	ChiChi 20/09/99	TCU138-N	7.6	10.12	Sd	0.195	40.9	36.42
14	ChiChi 20/09/99	TCU103-N	7.6	4.01	Sd	0.162	26.8	15.97
15	ChiChi 20/09/99	TCU101-N	7.6	2.94	Sd	0.251	49.4	35.12
16	ChiChi 20/09/99	TCU074-N	7.6	13.67	Sd	0.349	40.9	15.69
17	ChiChi 20/09/99	TCU-N	7.6	5.73	Sd	0.192	34.4	30.08
18	ChiChi 20/09/99	TCU051-N	7.6	8.27	Sd	0.225	38.4	56.52
19	ChiChi 20/09/99	TCU106-N	7.6	15.22	Sc	0.128	43.7	35.83
20	ChiChi 20/09/99	TCU070-W	7.6	19.1	Sc	0.255	52.1	48.09
21	ChiChi 20/09/99	TCU061-W	7.6	17.75	Sd	0.141	40.3	37.04
22	ChiChi 20/09/99	TCU059-N	7.6	17.84	Sd	0.172	56.2	53.52
23	ChiChi 20/09/99	TCU039-W	7.6	16.7	Sc	0.206	50	76.78
24	ChiChi 20/09/99	TCU036-N	7.6	16.69	Sd	0.131	50.2	42.17
25	ChiChi 20/09/99	TCU116-N	7.6	11.86	Se	0.148	45.3	30.06
26	ChiChi 20/09/99	TCU110-N	7.6	12.56	Se	0.18	54.9	35.3

Tablo 3.9'un devamı.

27	ChiChi 20/09/99	TCU109-W	7.6	13.09	Sd	0.156	50.8	46.49
28	ChiChi 20/09/99	TCU056-W	7.6	11.11	Se	0.134	42.5	50.77
29	ChiChi 20/09/99	TCU082-N	7.6	5.73	Sd	0.192	40.5	53.79
30	ChiChi 20/09/99	TCU055-W	7.6	6.88	Sd	0.237	26.2	9.95
31	ChiChi 20/09/99	TCU054-N	7.6	5.92	Sd	0.188	38.5	52.23
32	ChiChi 20/09/99	TCU104-W	7.6	13.64	Sc	0.106	36.6	51.97
33	ChiChi 20/09/99	TCU067-W	7.6	0.33	Sd	0.503	79.5	93.09
34	ChiChi 20/09/99	TCU129-W	7.6	1.18	Sd	1.01	60	50.15
35	ChiChi 20/09/99	TCU076-N	7.6	1.95	Sd	0.416	64.2	35.37
36	ChiChi 20/09/99	TCU071-N	7.6	4.94	Sd	0.655	69.4	49.06
37	ChiChi 20/09/99	TCU072-N	7.6	7.36	Sd	0.489	71.7	38.64
38	ChiChi 20/09/99	TCU120-W	7.6	8.1	Sc	0.225	63.1	54.09
39	ChiChi 20/09/99	WNT-E	7.6	1.18	Sd	0.958	68.8	31.11
40	ChiChi 20/09/99	TCU122-W	7.6	9.03	Sd	0.22	42.5	43.02
41	ChiChi 20/09/99	TCU138-E	7.6	10.12	Sd	0.225	40.9	26.09
42	ChiChi 20/09/99	TCU074-W	7.6	13.67	Sd	0.597	73.3	20.44
43	ChiChi 20/09/99	TCU-E	7.6	5.73	Sd	0.179	40.5	34.43
44	ChiChi 20/09/99	TCU051-W	7.6	8.27	Sd	0.186	49.3	70.26
45	ChiChi 20/09/99	TCU106-W	7.6	15.22	Sc	0.157	46.6	43.32
46	ChiChi 20/09/99	TCU070-N	7.6	19.1	Sc	0.169	62.3	56.67
47	ChiChi 20/09/99	TCU061-N	7.6	17.75	Sd	0.144	43.6	36.2
48	ChiChi 20/09/99	TCU116-W	7.6	11.86	Se	0.184	48.7	49.22
49	ChiChi 20/09/99	TCU109-N	7.6	13.09	Sd	0.155	53.1	34.74
50	ChiChi 20/09/99	CHY006-E	7.6	14.93	Sd	0.364	55.4	25.59
51	ChiChi 20/09/99	TCU060-N	7.6	9.46	Sd	0.106	45.3	45.56
52	ChiChi 20/09/99	TCU055-N	7.6	6.88	Sd	0.201	51.5	47.16

Tablo 3.9'un devamı.

53	ChiChi 20/09/99	CHY028-W	7.6	7.31	Sd	0.653	72.8	14.68
54	ChiChi 20/09/99	TCU048-W	7.6	14.4	Sc	0.123	32.6	52.18
55	Coalinga 02/05/83	HPVY-135	6.4	8.5	Sd	0.551	36.4	3.96
56	Coalinga 02/05/83	HPVY-045	6.4	8.5	Sd	0.592	60.2	8.77
57	Coyote Lake 06/08/79	G06-230	7.6	3.1	Sc	0.316	24.5	3.85
58	Duzce 12/11/99	DZC-180	7.1	8.2	Sd	0.348	60	42.09
59	Duzce 12/11/99	BOL-000	7.1	17.6	Sd	0.728	56.4	23.07
60	Erzincan 13/03/92	ERZ-EW	6.9	2	Sd	0.496	64.3	22.78
61	Imperial Valley 15/10/79	HE05-140	6.5	1	Sd	0.519	46.9	35.35
62	Imperial Valley 15/10/79	HE07-140	6.5	0.6	Sd	0.338	47.6	24.68
63	Imperial Valley 15/10/79	HECC-002	6.5	7.6	Sd	0.213	37.5	15.98
64	Imperial Valley 15/10/79	HEO4-140	6.5	4.2	Sd	0.485	37.4	20.23
65	Imperial Valley 15/10/79	HBCR-140	6.5	2.5	Sd	0.588	45.2	16.78
66	Imperial Valley 15/10/79	HE11-140	6.5	12.6	Sd	0.364	34.5	16.07
67	Imperial Valley 15/10/79	HE08-140	6.5	3.8	Sd	0.602	54.3	32.32
68	Imperial Valley 15/10/79	HBCR-230	6.5	2.5	Sd	0.775	45.9	14.89
69	Imperial Valley 15/10/79	HE11-230	6.5	12.6	Sd	0.38	42.1	18.59
70	Imperial Valley 15/10/79	HBRA-315	6.5	8.5	Sd	0.22	38.9	13.46
71	Kobe 16/01/95	TAZ-090	6.9	1.2	Se	0.694	85.3	16.75
72	Kocaeli 17/08/99	DZC-180	7.4	12.7	Sd	0.312	58.8	44.11
73	Landers 28/06/92	LCN-000	7.3	1.1	Sb	0.785	31.9	16.42
74	Landers 28/06/92	JOS-000	7.1	11.6	Sc	0.274	27.5	9.82
75	Landers 28/06/92	JOS-090	7.1	11.6	Sc	0.284	43.2	14.51
76	Loma Prieta 18/10/89	LPG-090	6.9	6.1	Sb	0.605	51	11.5
77	Loma Prieta 18/10/89	WVC-000	6.9	13.7	Sc	0.255	42.2	19.55
78	Loma Prieta 18/10/89	BRN-090	6.9	10.3	Sb	0.501	44.6	4.86

Tablo 3.9'un devamı.

79	Loma Prieta 18/10/89	LPG-000	6.9	6.1	Sb	0.563	94.8	41.18
80	Loma Prieta 18/10/89	WVC-270	6.9	13.7	Sc	0.332	61.5	36.4
81	Loma Prieta 18/10/89	CLS-000	6.9	5.1	Sc	0.644	55.2	10.88
82	Loma Prieta 18/10/89	BRN-090	6.9	10.3	Sb	0.453	51.3	8.37
83	Loma Prieta 18/10/89	G03-000	6	14.4	Sd	0.555	35.7	8.21
84	Northridge 17/01/94	PKC-090	6.7	8.2	Sc	0.301	31.4	10.87
85	Northridge 17/01/94	LOS-000	6.7	13	Sd	0.41	43	11.75
86	Northridge 17/01/94	SCE-288	6.7	6.1	Sd	0.493	74.6	28.69
87	Northridge 17/01/94	LOS-270	6.7	13	Sd	0.482	45.1	12.58
88	Northridge 17/01/94	SCE-018	6.7	6.1	Sd	0.828	117.5	34.22
89	Northridge 17/01/94	ARL-360	6.7	9.2	Sc	0.308	23.2	10.75
90	Northridge 17/01/94	SPV-360	6.7	8.9	Sd	0.939	76.6	14.95
91	Northridge 17/01/94	PUL-104	6.7	8	Sb	1.585	55.7	6.06
92	Northridge 17/01/94	RRS-318	6.7	7.1	Sd	0.472	73	19.76
93	Northridge 17/01/94	NWH-090	6.7	7.1	Sd	0.583	75.5	17.57
94	Northridge 17/01/94	TAR-360	6.7	17.5	Sc	0.99	77.6	30.45
95	Northridge 17/01/94	SCS-142	6.7	6.2	Sd	0.897	102.8	46.99
96	Northridge 17/01/94	SYL-090	6.7	6.4	Sd	0.604	78.2	16.05
97	Northridge 17/01/94	NWH-360	6.7	7.1	Sd	0.59	97.2	38.05
98	Northridge 17/01/94	TAR-090	6.7	17.5	Sc	1.779	113.6	33.22
99	N.Palm Spring 08/07/86	WWT-270	6	7.3	Sb	0.612	31.5	4.58
100	N.Palm Spring 08/07/86	WWT-180	6	7.3	Sb	0.492	34.7	6.38
101	San Fernando 09/02/71	PCD-254	6.6	2.8	Sc	1.16	54.3	11.73
102	Superstition Hills 24/11/87	BSUP-045	6.7	4.3	Sc	0.682	32.5	4.7
103	Superstition Hills 24/11/87	BPTS-315	6.7	0.7	Sc	0.377	43.9	15.2
104	Superstition Hills 24/11/87	BSUP-135	6.7	4.3	Sc	0.894	42.2	7.3

Tablo 3.10. Uzak mesafe yer hareketleri

No	Deprem adı	Kayıt-Bileşen	Moment B.	d (km)	Zemin	PGA (g)	PGV (cm/sn)	PGD (cm)
1	Borrego 1968	AELC-180	6.8	46	Se	0.13	26.3	12.18
2	Cape Mendocino 25/04/92	EUR-090	7.1	44.6	Sc	0.178	28.3	11.41
3	ChiChi 20/09/100	HWA-014	7.6	58.29	Sd	0.093	26	13.67
4	ChiChi 20/09/101	CHY052-N	7.6	45	Sc	0.154	12.1	9.4
5	ChiChi 20/09/101	CHY107-E	7.6	55.89	Se	0.102	20.9	13.42
6	ChiChi 20/09/102	CHY016-E	7.6	71.92	Se	0.105	19	16.8
7	ChiChi 20/09/102	ILA041-W	7.6	99.8	Se	0.1	29.4	19.23
8	ChiChi 20/09/103	HWA-E	7.6	58.77	Sd	0.12	17.3	10.41
9	ChiChi 20/09/103	CHY074-W	7.6	82.49	Sc	0.234	28.1	19.04
10	ChiChi 20/09/104	HWA048-E	7.6	55.28	Sd	0.124	18.7	12.14
11	ChiChi 20/09/104	CHY050-W	7.6	50.07	Sc	0.106	9.8	4.51
12	ChiChi 20/09/105	HWA009-W	7.6	59.27	Sd	0.085	18.8	24.78
13	ChiChi 20/09/105	HWA056-W	7.6	48.75	Sb	0.107	11.7	17.64
14	ChiChi 20/09/106	CHY065-W	7.6	90.23	Sd	0.118	15.8	8.44
15	ChiChi 20/09/106	ILA030-W	7.6	97.4	Se	0.118	27.6	22.16
16	ChiChi 20/09/107	HWA-019	7.6	58.77	Sd	0.137	17.4	18.28
17	ChiChi 20/09/107	TAP032-W	7.6	98.79	Sd	0.107	24.2	21.13
18	ChiChi 20/09/108	HWA-005	7.6	43.86	Sd	0.139	16.6	9.18
19	ChiChi 20/09/108	HWA045-N	7.6	73.34	Sd	0.183	26.9	19.31
20	ChiChi 20/09/109	CHY-008	7.6	45.31	Se	0.13	28.9	20.2
21	ChiChi 20/09/109	HWA031-W	7.6	50.36	Sd	0.095	19	17.07
22	ChiChi 20/09/110	CHY086-N	7.6	35.43	Sc	0.204	17.8	7.89
23	ChiChi 20/09/110	HWA027-N	7.6	56.82	Sd	0.091	13.8	10.83
24	ChiChi 20/09/111	HWA022-W	7.6	71.45	Sd	0.123	12	11.01
25	ChiChi 20/09/112	HWA013-W	7.6	57.43	Sd	0.142	31.2	27
26	ChiChi 20/09/113	HWA003-N	7.6	56.07	Sd	0.138	19.1	8.92

Tablo 3.10'un devamı

27	ChiChi 20/09/114	HWA011-N	7.6	56.7	Sd	0.102	22	13.76
28	ChiChi 20/09/115	CHY088-W	7.6	42.82	Sd	0.144	21	8.06
29	ChiChi 20/09/116	CHY015-N	7.6	43.51	Sd	0.157	25.7	13.17
30	ChiChi 20/09/117	AOAK-170	7.6	69.7	Sc	0.11	5	0.81
31	ChiChi 20/09/118	ACNP-196	7.6	47.4	Sd	0.116	8.1	1.13
32	ChiChi 20/09/119	OPP-000	7.6	48.1	Sd	0.084	7.9	1.27
33	ChiChi 20/09/99	CHY014-E	7.6	41.49	Sd	0.229	24.3	6.21
34	Coalinga 02/05/83	HC08-000	6.4	50.7	Sd	0.098	8.6	1.53
35	Coalinga 02/05/83	HC05-270	6.4	47.3	Sd	0.147	10.8	1.07
36	Imperial Valley 15/10/79	HDLT-352	6.5	43.6	Sd	0.351	33	19.02
37	Imperial Valley 15/10/80	HVCT-345	6.5	54.1	Sd	0.167	8.3	1.05
38	Imperial Valley 15/10/81	HCC-135	6.5	49.3	Sd	0.128	15.6	2.95
39	Kern County 21/7/52	TAF-111	7.4	41	Sc	0.178	17.5	8.99
40	Kern County 21/7/52	SBA-132	7.4	87	Sc	0.127	15.5	4.06
41	Kocaeli 17/08/99	ATS-000	7.4	78.9	Se	0.249	40	30.08
42	Kocaeli 17/08/99	ZYT-000	7.4	63.1	Sd	0.108	18.5	12.98
43	Kocaeli 17/08/99	CNA-000	7.4	76.1	Sd	0.179	18.4	9.5
44	Kocaeli 17/08/99	ATK-000	7.4	67.5	Sd	0.105	22.4	23.47
45	Landers 28/06/92	BOR-000	7.3	90.6	Sc	0.119	12.9	9.14
46	Landers 28/06/92	BAK-140	7.3	88.5	Sc	0.106	11	7.96
47	Landers 28/06/92	ABY-090	7.3	69.2	Sb	0.146	20	7.38
48	Landers 28/06/92	IND-090	7.3	55.7	Sd	0.109	15.2	9.69
49	Loma Prieta 18/10/100	SFO-090	6.9	64.4	Sd	0.329	27.9	6.03
50	Loma Prieta 18/10/101	FRE-000	6.9	43	Sc	0.124	11.5	5.43
51	Loma Prieta 18/10/89	SLC-270	6.9	36.3	Sd	0.194	37.5	9.96
52	Loma Prieta 18/10/90	SSF-205	6.9	68.2	Sb	0.105	8.8	4.59

Tablo 3.10'un devamı

53	Loma Prieta 18/10/91	DMH-090	6.9	77	Sc	0.113	13.1	3.36
54	Loma Prieta 18/10/92	RCH-190	6.9	93.1	Sd	0.124	17.3	2.59
55	Loma Prieta 18/10/93	TIB-270	6.9	77.4	Sd	0.244	36.1	7.2
56	Loma Prieta 18/10/94	HWB-220	6.9	58.9	Sc	0.159	15.1	3.72
57	Loma Prieta 18/10/95	BRK-090	6.9	83.6	Sc	0.117	20.9	4.44
58	Loma Prieta 18/10/96	BES-090	6.9	49.9	Sc	0.11	16.2	5.71
59	Loma Prieta 18/10/97	A10-090	6.9	47.8	Sc	0.088	24	7.35
60	Loma Prieta 18/10/98	A07-000	6.9	47.7	Sc	0.156	16.1	7.75
61	Loma Prieta 18/10/99	A2E-000	6.9	57.4	Sd	0.171	13.7	3.89
62	N.Palm Spring 08/07/86	TFS-000	6	73.2	Sd	0.121	6.9	0.53
63	N.Palm Spring 08/07/86	ATL-360	6	55.4	Sc	0.095	7.5	0.71
64	N.Palm Spring 08/07/86	ARM-270	6	45.6	Sb	0.104	5.2	0.62
65	N.Palm Spring 08/07/86	H05-270	6	43.3	Sd	0.144	4.9	0.73
66	Northridge 17/01/94	MTW-000	6.7	36.1	Sb	0.234	7.4	0.7
67	Northridge 17/01/94	GRN-270	6.7	41.7	Sb	0.256	9.8	2.79
68	Northridge 17/01/94	GR2-180	6.7	36.9	Sd	0.264	20.4	1.88
69	Northridge 17/01/94	PTM-090	6.7	47.6	Sd	0.223	19.1	1.87
70	Northridge 17/01/94	SMV-180	6.7	39.2	Sd	0.245	12.3	1.09
71	Northridge 17/01/94	BRC-090	6.7	61.6	Sd	0.206	12.3	1.23
72	Northridge 17/01/94	116-360	6.7	41.9	Sc	0.133	13.5	2.83
73	Northridge 17/01/94	EJS-030	6.7	52.5	Sd	0.135	9.5	1.13
74	Northridge 17/01/94	GRN-270	6.7	41.7	Sb	0.256	9.8	2.79
75	Northridge 17/01/94	NEW-180	6.7	84.6	Sc	0.085	6.3	1.34
76	Northridge 17/01/94	RIM-105	6.7	58.9	Sd	0.129	9.7	0.83
77	Northridge 17/01/94	GAR-270	6.7	68.9	Sd	0.103	10	2.13
78	Northridge 17/01/94	FEA-000	6.7	84.2	Sc	0.104	7.7	0.81

Tablo 3.10'un devamı

79	Northridge 17/01/94	BAD-270	6.7	56.1	Sc	0.079	7	1.62
80	Northridge 17/01/94	FLO-290	6.7	67.3	Sd	0.108	9.1	1.39
81	Northridge 17/01/94	NHO-270	6.7	50.6	Sd	0.123	8.2	1.33
82	Northridge 17/01/94	CAM-270	6.7	44.2	Sd	0.11	8.1	1.73
83	Northridge 17/01/94	BPK-090	6.7	64.6	Sd	0.139	10.7	1.62
84	Northridge 17/01/94	ARC-262	6.7	42.5	Sd	0.083	10.2	1.61
85	Northridge 17/01/94	SSE-240	6.7	60	Sd	0.133	13.7	2.68
86	Northridge 17/01/94	LUC-005	6.7	57.4	Sd	0.167	9.9	0.87
87	Northridge 17/01/94	MAN-090	6.7	42	Sd	0.128	14.6	4.64
88	Northridge 17/01/94	LOA-092	6.7	42.4	Sd	0.084	8.5	2.9
89	Northridge 17/01/94	DEL-000	6.7	59.3	Sd	0.137	11.2	1.98
90	Northridge 17/01/94	ING-090	6.7	44.7	Sd	0.101	10.3	3.15
91	Northridge 17/01/94	DWN-090	6.7	47.6	Sd	0.158	13.8	2.28
92	Northridge 17/01/94	BIR-090	6.7	40.7	Sd	0.165	12.1	1.52
93	Northridge 17/01/94	CAS-270	6.7	49.6	Sd	0.136	7.1	2.15
94	Northridge 17/01/94	RHE-090	6.7	46.6	Sc	0.116	8.9	1.41

4. YAKIN FAY YER HAREKETLERİNDE YÖN ETKİSİ

4.1. Giriş

Faylara yakın bölgelerde yer hareketleri fayın kırılma mekanizmasından, kırılmanın yayılma yönünden ve fayın ötelenmesinden (kalıcı deplasmandan) önemli ölçüde etkilenir [1]. Kırılmanın bir bölgeye doğru kayma dalgası hızına yakın bir hızla yayılması sismik enerjinin büyük kısmının, kaydın başlangıcında bulunan, tek bir atım içerisinde bölgeye ulaşmasına neden olur [11]. Bu faktörler yakın fay yer hareketlerinde doğrultu etkisi ve ötelenmeye neden olur.

Bir bölgede doğrultu etkisinin meydana gelebilmesi için iki şartın oluşması gerekir. Bunlar faydaki kırılmanın bölgeye doğru yayılması ve kaymanın ayrıca bölgeye doğru olmasıdır [11]. Doğrultu etkisi yatay faylarda faya normal yönde, düşey faylarda ise fayın kırılma yüzeyinin çevresinde meydana gelir.

Fayın kırılma doğrultusunun tersinde kalan bölgelerde ise geri doğrultu etkisi meydana gelir. Geri doğrultu etkisinde yer hareketi, ileri doğrultu etkisine göre daha uzun süreli ancak daha düşük genliktedir. Fayların tektonik hareketlerinden dolayı ise ötelenme etkisi meydana gelir. Yatay atımlı faylarda ötelenme etkisi faya paralel yönde, düşey atımlı faylarda ise faya normal yönde oluşur. Düşey atımlı faylarda ve ötelenme etkisi faya normal yönde meydana gelir (Şekil 4.1).

Doğrultu etkisi fayın kırılma hızının kayma dalgasının yayılma hızından düşük olması nedeniyle meydana gelmektedir [15]. Fayın kırılma hızı kayma dalgasının yayılma hızının yaklaşık % 80 oranındadır. Ancak bazı depremlerde fayın kırılma hızı kayma dalgasının hızından yüksek olmaktadır. Örneğin Kocaeli (1999) ve Düzce (1999) depremlerinde fayın kırılma hızı kayma dalgası hızının $\sqrt{2}$ katı olduğu tespit edilmiştir [41]. Bu duruma super kayma kırılması denilmekte ve bu kırılma türü faylara paralel ve tek yönde hız atımı oluşturmuştur [18].

İleri doğrultu, geri doğrultu ve ötelenme etkileri arasında ileri doğrultu etkisi yakın fay yer hareketlerinin en yüksek hasar potansiyeline sahip özelliğidir. İleri doğrultu etkisi nedeniyle yer hareketi kayıtlarında meydana gelen atımlar ve yüksek hız

değerleri, yakın fay yer hareketlerinin mühendislik özelliklerini belirleyen en temel parametrelerdir.

Yakın fay yer hareketlerinde ileri doğrultu etkisi içeren yönlerin belirlenmesi faya normal (dik) yönlerin, kayıt merkezinin coğrafik konumun ve kayıt yönünün doğru tespit edilmesini gerektirmektedir. Özellikle geçmişte meydana gelen depremlerin benzeri bilgilerini toplamak oldukça zor ve hatta bazen mümkün olmamaktadır. Bu nedenle çalışmanın bu kısmında yer hareketlerinin vektörel olarak, hangi yönlerinin, yüksek hasar potansiyellerine sahip olduğu belirlenmektedir. Belirlenen yönlerin hasar potansiyelleri faya normal yönlerin hasar potansiyelleri ile karşılaştırılmaktadır.

4.2. Etkili Yönlerin Belirlenmesi

Yakın fay yer hareketlerinde hız ve deplasman yönleri fayın geometrisi tarafından kontrol edilmektedir. Bu nedenle yer hareketleri bir vektör olarak işlenebilir [45]. Şekil 4.2’de verilen kuzey-güney ve doğu batı yönünde kaydedilen yer hareketi faya normal ve paralel yönler;

$$FP = N \cos(\theta) - E \sin(\theta) ; \quad FN = N \cos(\theta) + E \sin(\theta) \quad (4.1)$$

ifadesiyle dönüştürülebilir.

Şekil 4.3–4.6’da sırasıyla Kocaeli (1999) depremi Yarımca, Erzincan (1992) depremi Erzincan, Imperial Valley (1979) depremi Elcentro array4 ve Kocaeli (1999) depremi Gebze kayıtlarının ivme, hız ve deplasman polar değerleri verilmektedir. Şekil 4.3’de verilen Yarımca kaydının polar hız değerleri faya normal yönde değil faya paralel yönde daha büyüktür. Bu farklılık, Bouchon’de [41] belirtildiği gibi, fayın tek tarafında hız atımlarının meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Erzincan deprem kaydında maksimum hız ve deplasman değerleri faya normal yönde meydana gelmektedir. Gebze ve Elcentro Array 4 kayıtlarında ise maksimum hız değerleri yönü, faya normal yönlerden biraz farklıdır.

Gülkan [14] yer hareketlerinin faya normal yönlerinin çoğu zaman belirlenememesi nedeniyle maksimum hız yön bileşeninin kullanılabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada ayrıca maksimum hız yönü bileşeninin doğrultu etkili yön

bileşeni kadar kritik olduğu belirtilmektedir. Ghayamghamian ve Changurech-Avaj [42] depreminde çevre köylerde tespit edilen kerpiç çitlerin önemli bir kısmının doğrultu etkisi yönünde hasar gördüğü, Karim ve Yamazaki [24] ChiChi (2003) depreminde Chelungpu fayının çevresinde kayıt istasyonlarında maksimum hız yönlerinin genellikle fayın normal yönünde olduğunu göstermiştir.

Şekil 4.3–4.6’da görüldüğü gibi genellikle hız ve deplasman polar değerleri birbirine yakın yönlerde maksimum olmaktadır. Buna karşın maksimum ivme değerleri ise çok farklı yönlerde meydana gelebilmektedir. Yapı periyotlarının, kayıtlardaki atım sürelerine/periyotlarına yakın olması hasar düzeyini artırmaktadır. Küçük atımlı yer hareketlerinde bulunan atımlar maksimum hız yönü bileşeninin küçük periyotlu yapılar üzerinde de en etkili yönlerden biri olmasını sağlamaktadır. Ancak büyük atımlı yer hareketlerinin, küçük periyotlu yapılar üzerindeki etkileri atımdan çok az etkilenmekte veya atımdan bağımsız duruma gelebilmektedir. Bu nedenle büyük atımlı yer hareketlerinde küçük periyotlu yapılar maksimum hız yönünden daha çok maksimum ivme yönünde daha fazla etkilenebilmektedir. Şekil 4.7’de Şekil 4.3-4.6’da polar değerleri verilen yer hareketlerinin ($\mu=8$ için) maksimum ivme yönü histeretik enerji ile maksimum hız yönün histeretik enerji oranları spektral olarak verilmektedir. Görüldüğü gibi her dört yer hareketinde de maksimum ivme yönü histeretik enerjisi küçük periyotlarda daha büyüktür. Ancak periyodun artması ile maksimum hız yönü daha etkili olmaktadır. Elcentro array 4, Erzincan, Yarımca ve Gebze kayıtları maksimum hız yönlerinde sırasıyla 4.77, 2.4, 4.6, ve 4.63 sn atımlar bulunmaktadır. En küçük atım süresi Erzincan kaydında bulunmaktadır, buna karşın maksimum ivme yönünün spektral olarak en kısa aralıkta etkili olduğu kayıt Erzincan kayıdır. Bölüm 3’de Elcentro array 4, Erzincan ve Yarımca kayıtlarının ivme tesirli bölgeleri (T_c) sırasıyla 3.28, 1.71 ve 3.71 sn olarak elde edilmiştir. Denklem (3.1a) yardımıyla Gebze kaydının ivme tesirli bölgesi (T_c) yaklaşık olarak 3.24 sn elde edilir. Görüldüğü gibi ivme tesirli bölge sınırı ile maksimum ivme yönünün etkili olduğu spektral genişlik arasında doğru orantılı iyi bir ilişki mevcuttur.

Yakın fay yer hareketlerinde doğrultu etkisi içeren faya normal yön [11] ve maksimum hız yönü [14], büyük atımlı ve/veya geniş ivme tesir bölgesi yer hareketlerinde, küçük periyotlu yapılar için en etkili yön olmamaktadır. Bunun yerine maksimum ivme yönünde elde edilen yer hareketi bileşeni daha etkilidir.

İvme, hız ve deplasman spektrumları yer hareketlerinin özelliklerini ve hasar potansiyellerini belirleyen temel ölçütlerdendir. Bu nedenle maksimum spektral yönlerin polar değerlerinin elde edilmesi etkili yönlerin belirlenmesinde önemlidir. Şekil 4.8.'de Kocaeli depremi Yarımca kaydının spektral ivme, hız, deplasman ve görel kat ötelenmesi spektrumlarının minimum ve maksimum aralıkları verilmektedir. Spektrumlarda atım periyoduna yakın periyotlarda spektral ivme, deplasman ve görel kat ötelenmesi talepleri maksimum olmaktadır. Özellikle bu periyotta maksimum talepler, minimum taleplerin yaklaşık iki katıdır. Şekil 4.9'da Kocaeli depremi Yarımca kaydı, Erzincan depremi Erzincan kaydı ve Imperial Valley depremi Elcentro Array 4 kaydının spektral ivme, hız ve deplasman polar değerleri verilmektedir. Sepktral hız ve deplasman değerleri maksimum hız ve deplasman yönlerdedir. Ancak maksimum spektral ivme değerleri, maksimum ivme değerlerinden farklı yönlerde meydana gelebilmektedir. Spektral ivme genellikle küçük periyotlarda yüksek olmaktadır, yer hareketinin maksimum ivme (PGA) değeri de küçük periyotlu bölgede etkili olmaktadır. Bu nedenle spektral ivme ile PGA değerleri küçük periyotlu bölgelerde birbirinden farklı yönlerde oluşmalarına rağmen birbirine yakın hasar potansiyellerine sahiptir.

4.2.1. Görel Kat Ötelenmesi Spektrum Şiddeti

Tepki spektrumu deprem yer hareketine maruz yapılarda meydana gelen maksimum global taleplerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Buna karşın tepki spektrumuyla deprem yer hareketinin yapıdaki lokal taleplerini belirlemek sürekli mümkün ve kesin olmamaktadır. Görel kat ötelenmesi spektrumu birçok modun etkisini içerdiği için yapıda meydana gelen lokal talepleri belirleyebilmektedir. Maksimum lokal ve global deformasyonlar aynı zamanda meydana gelemeyebileceği için tepki spektrumu ile lokal deformasyonları belirlemek çok zor ve karmaşıktır [10].

Akkar [16] yakın fay yer hareketleri için görel kat ötelenmesi spektrum şiddetini, PGV değeri paralelinde bir parametre olarak vermektedir. Bu parametre görel kat ötelenmesi spektrumunun 0.3–3.0 periyotları arasında kapladığı alan olarak tanımlanmaktadır.

Büyük depremler büyük atımlı yer hareketleri meydana getirmektedir. Meydana gelen atımlar yapı içerisinde bir dalga gibi yayılır [10]. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi yer

hareketlerinin görelî kat ötelenmesi spektrumu atım süresine baēlı olarak deēiřmektedir. Küçük atım periyotlu yer hareketlerinin görelî kat ötelenme spektrumları küçük periyotlarda yüksek deēerlere ulaşırken, büyük atımlı yer hareketlerinin spektrumları ise büyük periyotlarda yüksek deēerlere ulaşmaktadır. Bu nedenle 0.3–3.0 sn periyotlar arasındaki spektrum şiddeti büyük atımlı yer hareketleri için yeterli olmamaktadır.

Görelî kat ötelenmesi spektrum şiddeti ve hız yönleri genellikle birbirlerine yakın yönlerde maksimum olmaktadır. Ancak spektrum aralığının, atım periyotuna göre, kısa alınması bu yönlerin önemli ölçüde farklılaşmalarına neden olabilmektedir. Şekil 4.10'da Erzincan depremi Erzincan kaydı için, farklı aralıklı, görelî kat ötelenmesi spektrum şiddetlerinin polar deēerleri verilmektedir. Spektral aralığın atım süresinden küçük olması ($T=0.3-1.5$ sn) görelî kat ötelenmesi spektrumunun farklı yönlerde maksimum olmasına neden olmaktadır.

Bölüm 3'de verildiēi gibi yakın mesafe etkileri genellikle 0.7 sn periyottan daha büyük periyotlarda görünmektedir. Bu nedenle görelî kat ötelenmesi spektrum şiddeti hesaplanırken, küçük periyotlar kullanılan spektral aralığın dışında tutulmuştur. Çalışmanın bu kısmında görelî kat ötelenmesi spektrum şiddeti geliştirilerek ařaēıdaki gibi elde edilmektedir.

$$I_{Ds} = \int_{0.7}^{6.0} Ds dT \quad (4.2)$$

Burada Ds ve T sırasıyla görelî kat ötelenmesi spektrumu ve spektral periyottur.

4.3. Farklı Yönlerin Karşılaştırılması

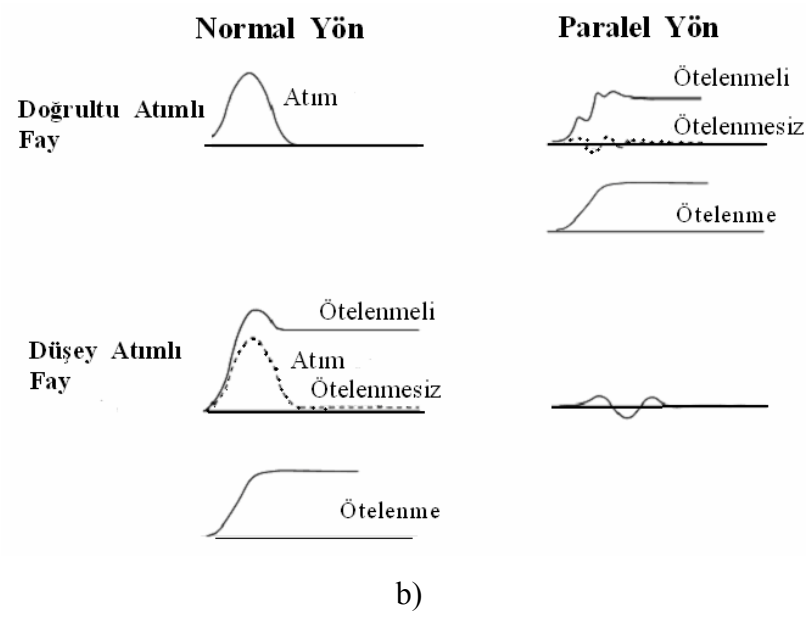
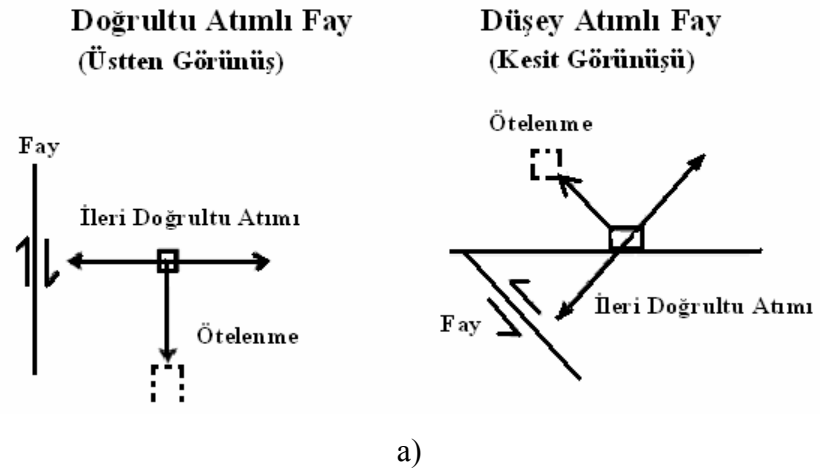
Yakın fay kayıtlarında sürekli faya normal yönün doēru tespiti fiziki imkânsızlıklar nedeniyle mümkün olmamaktadır. Ancak atım süresi, en büyük hız deēeri, tasarım spektrumu v.b. parametrelerin elde edilebilmesi için en etkili yönün belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmanın bu kısmında Chopra [43] tarafından kullanılan ve Tablo 4.1.'de verilen 43 adet yer hareketinin faya normal, faya paralel, maksimum hız yönü, maksimum spektral ivme yönü, maksimum spektral hız yönü ve maksimum görelî kat ötelenmesi spektrum şiddeti yönlerinin hasar potansiyelleri birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Yakın fay yer hareketlerinin hasar potansiyellerini belirleyen iki etkili parametre atım süresi ve PGV değeridir. Faya normal yönde PGV değerleri bazı kayıtlar için düşüktür. Bunlar sırasıyla TCU052, TCU068, TCU075, TCU076, TCU0129 ve Yarımca kayıtlarıdır. İlk beş kayıt düşey atımlı ChiChi (1999) ve son kayıt ise süper kayma kırılması nedeniyle faya paralel kaydı daha yüksek hız değerlerine sahip olan yanal atımlı Kocaeli (1999) depreminden elde edilmiştir. Bu kayıtlarda maksimum hız yönü paralel yönden daha yüksek hız değerlerine sahip olduğu için faya normal yönlerin ortalama değerlerinin düşük çıkmaması için bu altı kayıt ortalama yön etkilerinde göz önüne alınmamıştır. Bunun dışında kalan 37 adet kayıt için elde edilen ortalama değerler kullanılmıştır.

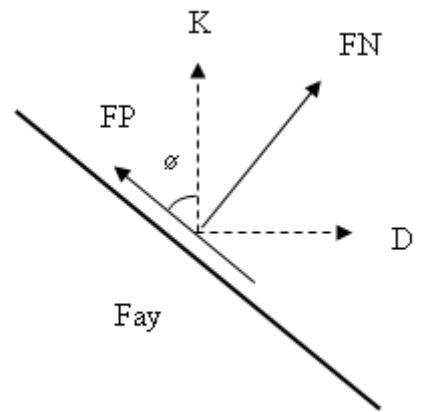
Faya normal yönlerin yanı sıra maksimum hız, maksimum GKÖŞŞ ve maksimum spektral deplasman yönlerinin etkinliği incelenmiştir. Bu amaçla Tablo 4.1.'de verilen 37 adet yakın fay yer hareketinin dört farklı yön için ortalama deplasman ve birim kütle histeretik enerji spektrumları sırasıyla Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'de verilmektedir. Denklem 4.2'de verilen görelî kat ötelenmesi spektrum şiddetinin maksimum yönü yakın fay yer hareketlerinin en etkili yönlerinden biri olduğu görülmektedir. Ayrıca GKÖŞŞ ile yakın fay yer hareketlerinin en etkili parametrelerinden biri olan PGV arasındaki yüksek korelasyon, faya normal ve maksimum hız yönleri için, Şekil 4.14. (a) ve (b)'de verilmektedir. GKÖŞŞ faya normal ve maksimum hız yönlerinde PGV ile yüksek bir korelasyona sahiptir. Ayrıca her iki korelasyon oranının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Maksimum spektral hız (PSV) yönü de etkili yönlerden biridir. Maksimum PSV yönü genellikle maksimum hız yönüne yakın çıkmakta ve dolayısıyla spektral deplasman ve histeretik enerji değerleri maksimum hız yönü değerlerine yakın olmaktadır.

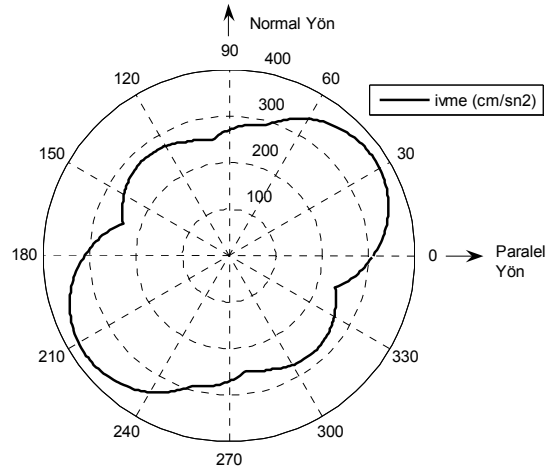
Faya normal yönlerin dışında tanımlanan her üç parametrenin (Hız, spektral hız ve GKÖŞŞ) maksimum yönleri daha kuvvetlidir. Bu nedenle faya normal yönlerinin tespit edilemediği durumlarda bu üç yönden herhangi birinin kullanılması yeteri düzeyde etkili olmaktadır.



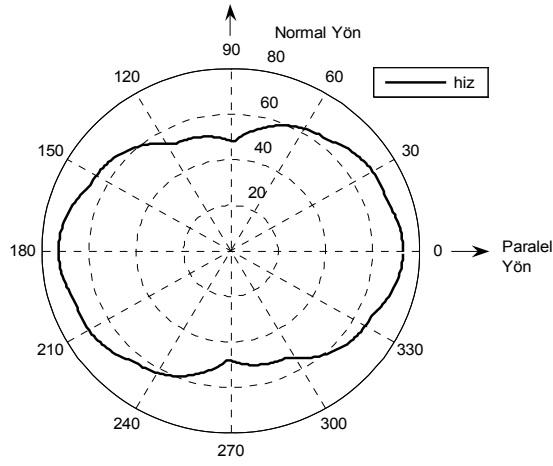
Şekil 4.1. a) Yatay ve Düşey faylarda doğrultu atımı ve ötelenme yönleri ve b) Yatay ve düşey fayların kayıtlarında atım ve ötelenme



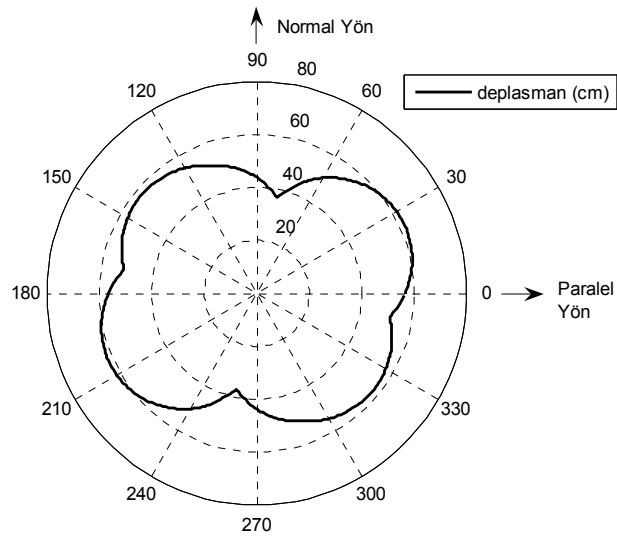
Şekil 4.2. İki bileşenli kaydın faya normal ve paralel yöne çevrilmesi



a)

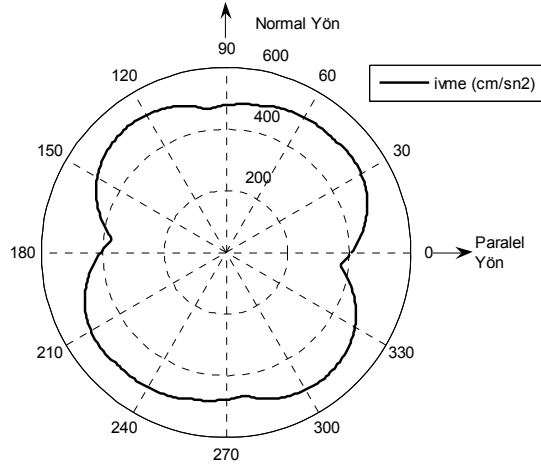


b)

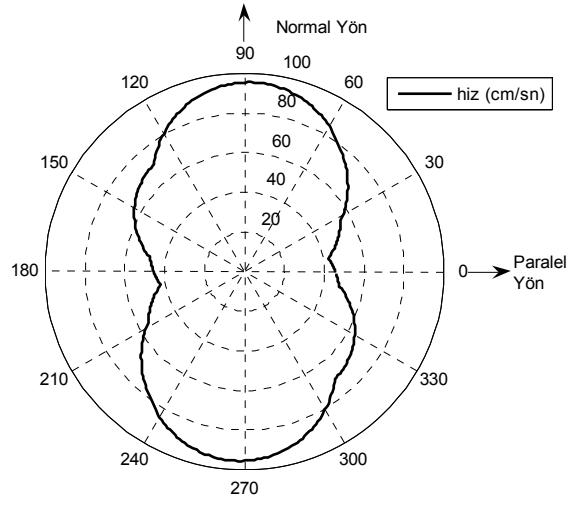


c)

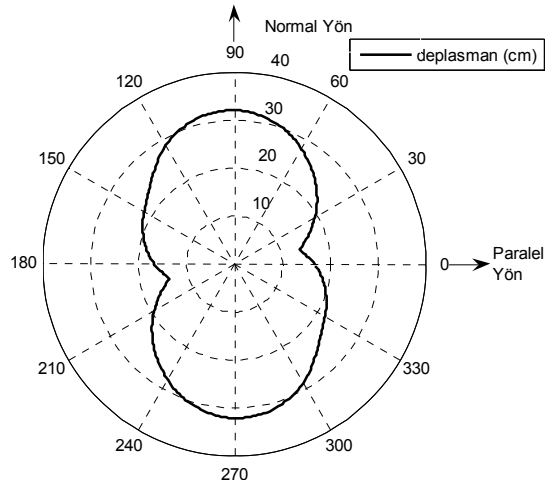
Şekil 4.3. Yarımca kaydı (a) ivme, (b) hız ve (c) deplasman polar maksimum değerleri



(a)

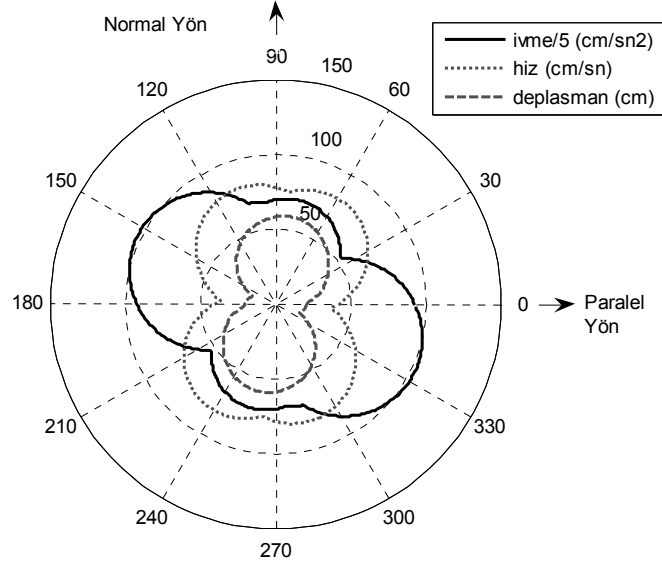


(b)

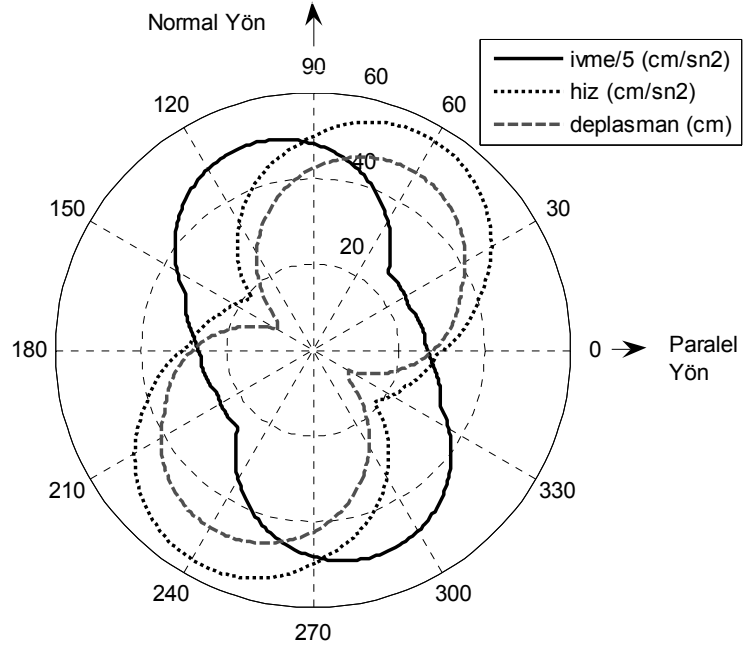


(c)

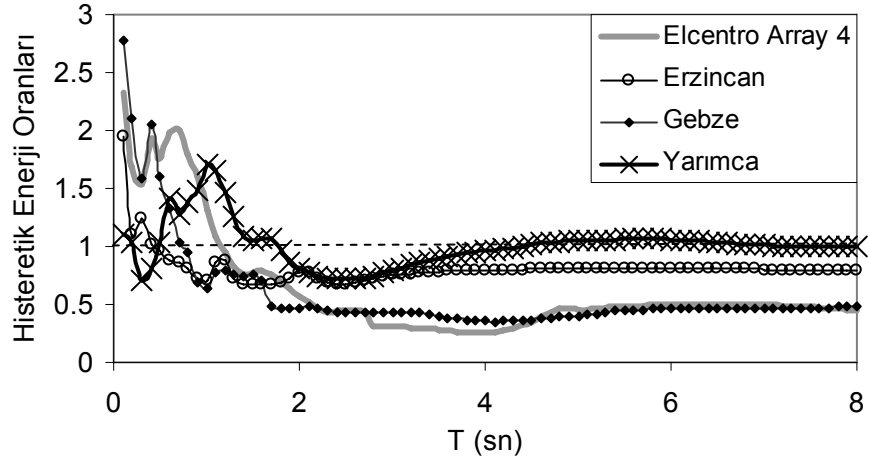
Şekil 4.4. Erzincan depremi Erzincan kaydı (a) ivme (b) hız ve (c) deplasman polar değerleri



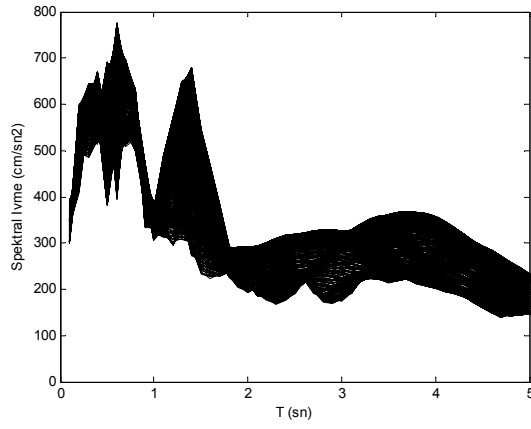
Şekil 4.5. Imperial Valley Depremi Elcentro Array 4 kaydı ivme, hız ve deplasman polar değerleri



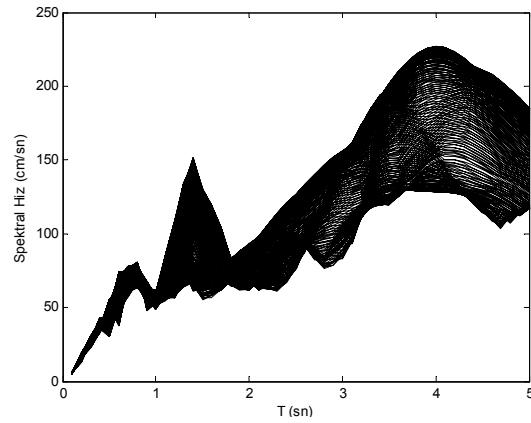
Şekil 4.6. Kocaeli depremi Gebze kaydı ivme, hız ve deplasman polar değerleri



Şekil 4.7. Elcentro array 4 (Imperial Valley), Yarımcı (Kocaeli), Gebze (Kocaeli) ve Erzincan (Erzincan) kayıtları maksimum ivme ve maksimum hız yönlerinin ($\mu=8$ için) histeretik enerji oranları

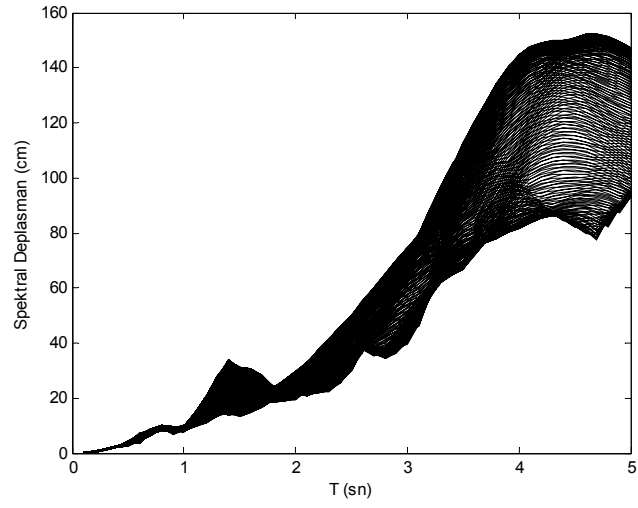


a)

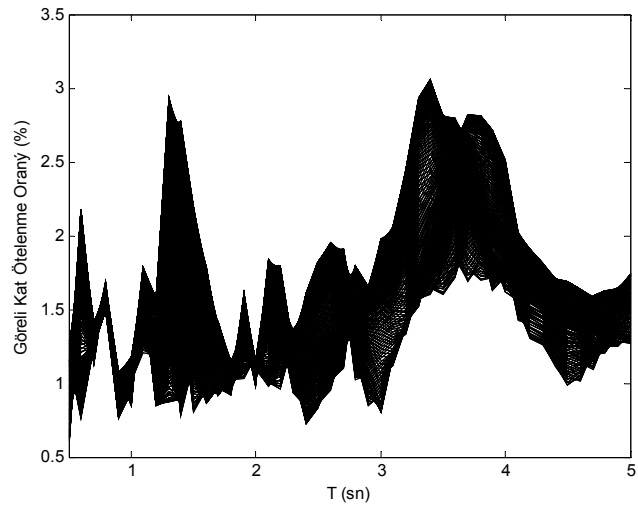


b)

Şekil 4.8. Kocaeli depremi Yarımcı kayıt istasyonu (a) spektral ivme, (b) spektral hız aralıkları

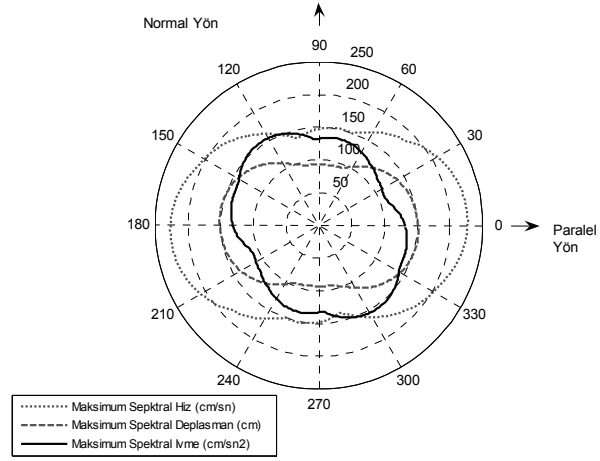


c)

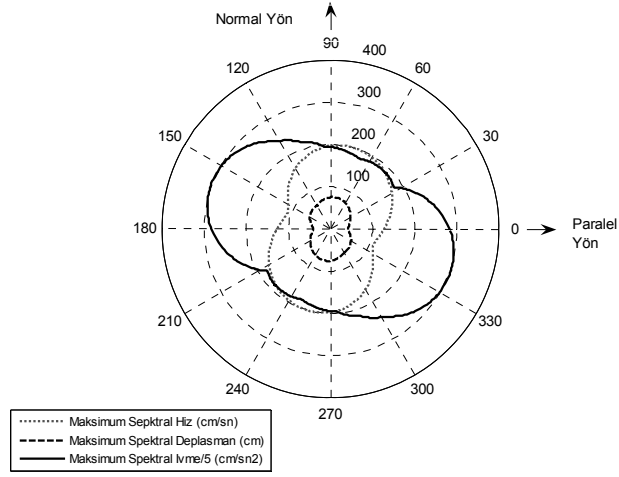


d)

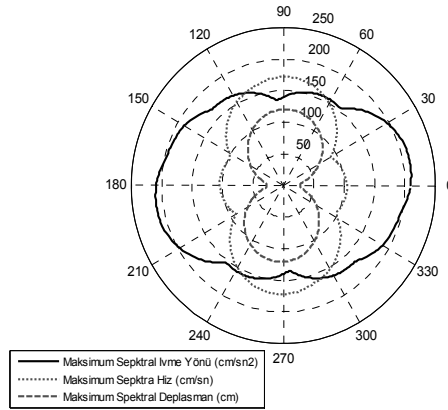
Şekil 4.8'in devamı. Kocaeli depremi Yarımca kayıt istasyonu
(c) spektral deplasman ve (d) Göreli kat
ötelenmesi aralıkları



a)

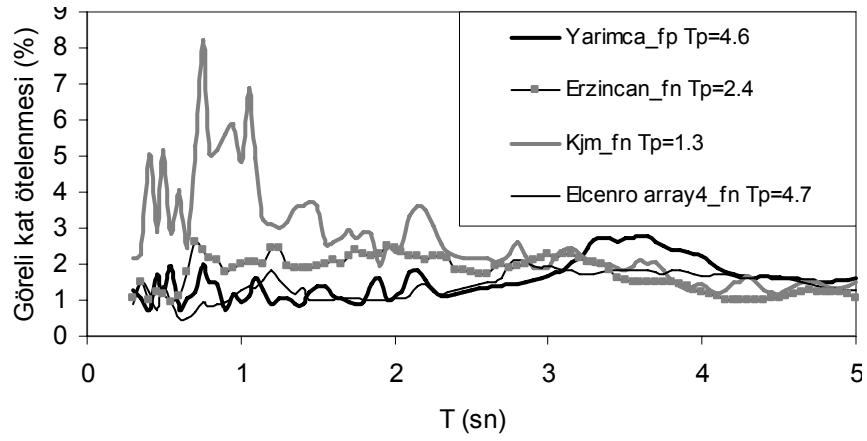


b)

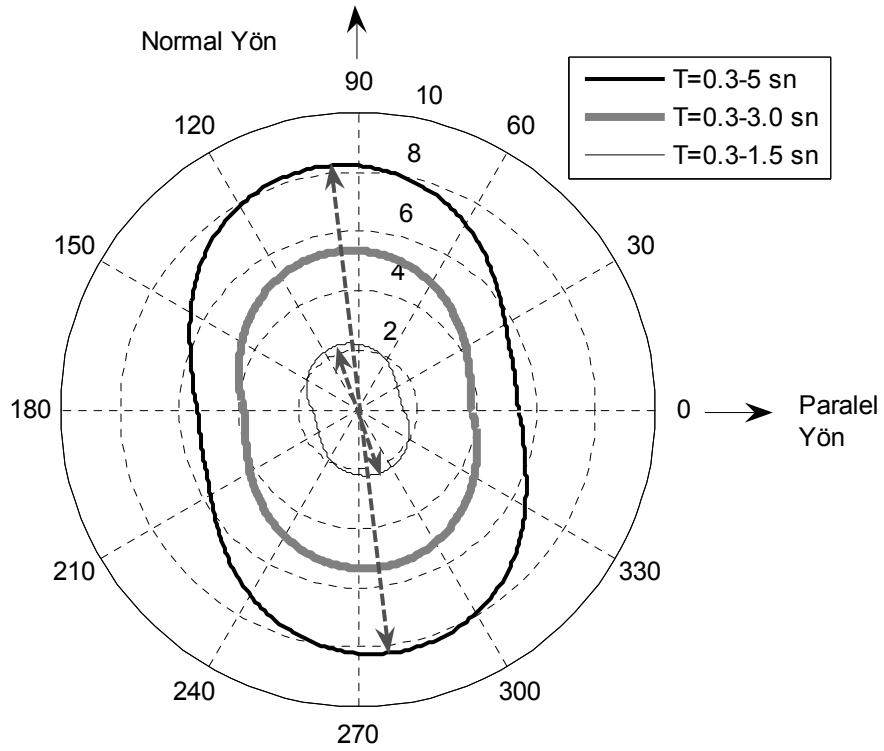


c)

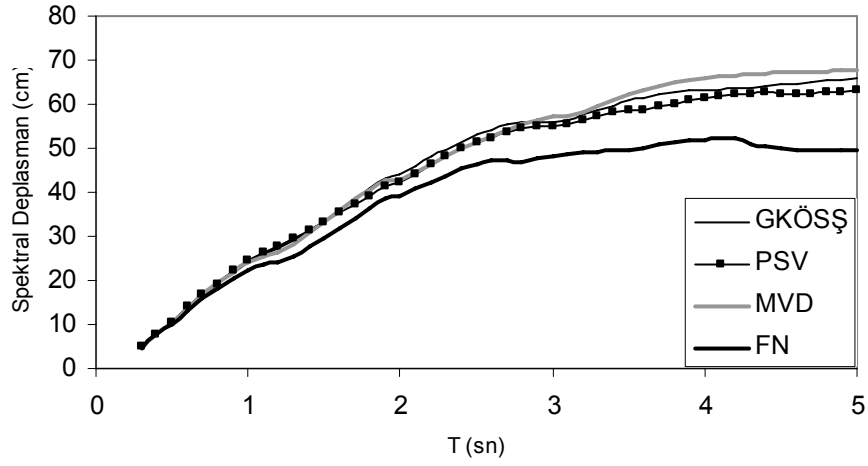
Şekil 4.9. a) Kocaeli depremi Yarımca (b) Erzincan depremi (Erzincan) (c) Imperial Valley depremi Elcentro array 4 kayıtları spektral ivme, hız ve deplasman polar değerleri



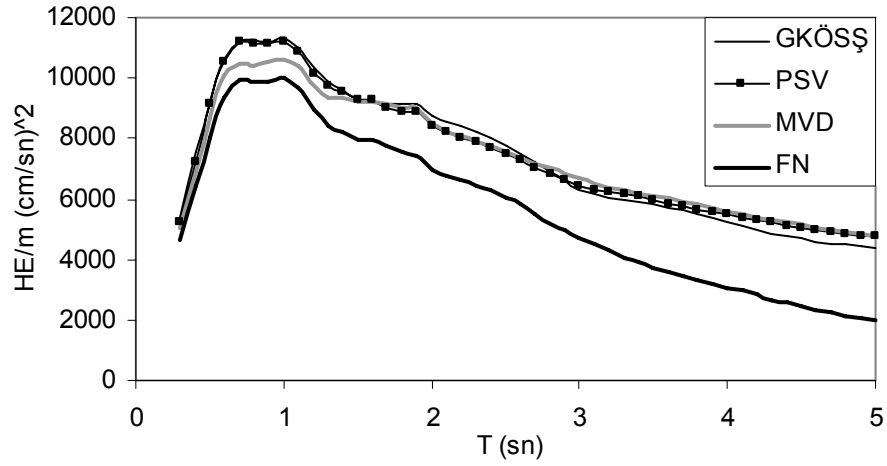
Şekil 4.10. Kocaeli depremi Yarımca faya paralel, Erzincan depremi Erzincan faya normal, Kobe depremi Kjm faya normal ve Imperial Valley depremi Elcentro array 4 faya normal kayıtları görelî kat ötelenmesi spektrumları ($\zeta = 0.05$)



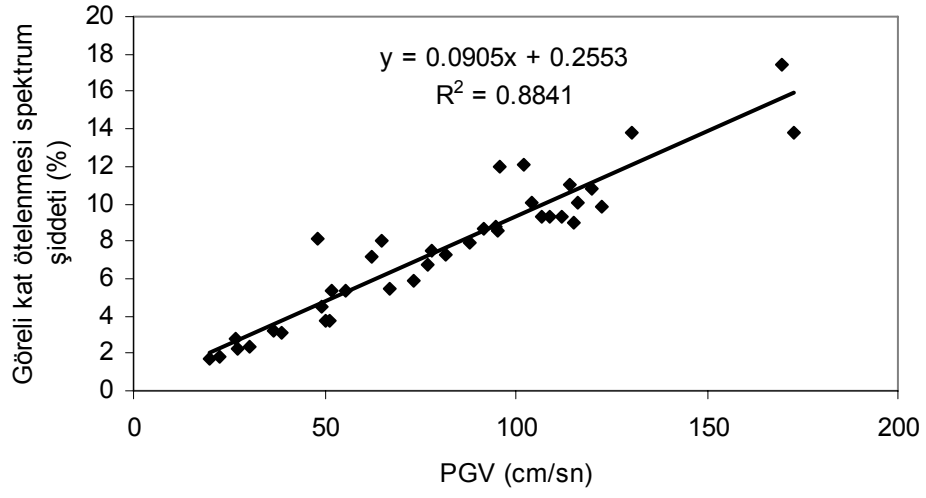
Şekil 4.11. Erzincan depremi, farklı spektral aralıklı görelî kat ötelenmesi spektrum şiddetinin polar değerleri



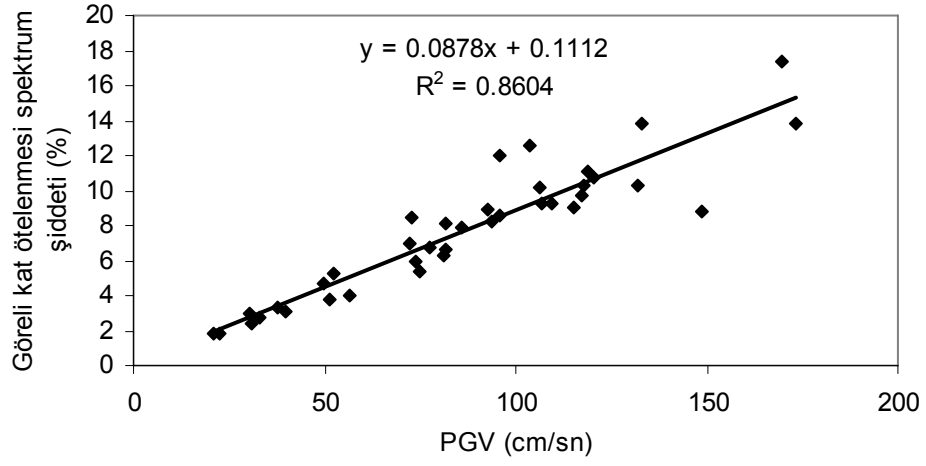
Şekil 4.12. Maksimum görelî kat ötelenmesi spektrum şiddeti (GKÖŞŞ), maksimum spektral hız, maksimum hız ve faya normal yönlerin ortalama deplasman spektrumu ($\mu=6$ için)



Şekil 4.13. Maksimum Görelî kat ötelenmesi spektrum şiddeti (GKÖŞŞ), spektral hız, maksimum hız ve faya normal yönlerin ortalama birim kütle histeretik enerji spektrumu ($\mu=6$ için)



a)



b)

Şekil 4.14. a) Faya normal b) maksimum hız yönlerinde GKÖŞŞ-PGV ilişkisi

Tablo 4.1. Yön etkilerinin belirlenmesinde kullanılan yer hareketlerinin faya normal ve paralel kayıtları

No	Deprem Adı	Moment B.	Yer	Kayıt	d (km)	Faya Normal Yön			Faya Paralel Yön		
						PGA (cm/sn ²)	PGV (cm/sn)	PGD (cm)	PGA (cm/sn ²)	PGV (cm/sn)	PGD (cm)
1	1966 Parkfield	6.4	Temblor	pk66tmb	6.5	364	22.4	4.6	243	12.3	3.1
2	1971 San Fernando	6.6	Pacoima Dam	sf71pcd	3	1443	114.3	29.6	770	38	20.1
3	1976 Gazli	6.7	Karakyr Point	gz76kar	3	622	62.5	13.7	638	59.9	33
4	1979 Coyota Lake	5.6	Gilroy Array 6	cy79g06	1.2	443	51.5	7.1	327	27.1	4.5
5	1979 Imperial Valley	6.5	El Centro Array 4	iv79e04	6	350	77.8	58.7	466	40.1	20.7
6	1979 Imperial Valley	6.5	El Centro Array 5	iv79e05	2.7	368	91.5	61.9	516	49	37.3
7	1979 Imperial Valley	6.5	El Centro Array 6	iv79e06	0.3	433	111.8	66.5	392	64.7	24.8
8	1979 Imperial Valley	6.5	El Centro Array 7	iv79e07	1.8	453	108.8	45.5	329	44.5	24
9	1979 Imperial Valley	6.5	Meloland Route Overpass	iv79emo	1.2	371	115	40.2	261	27.3	14.5
10	1984 Morgan Hills	6.2	Anderson Dam	mh84and	2.6	430	27.3	4.3	277	28.6	6.4
11	1984 Morgan Hills	6.2	Halls Valley	mh84hvr	2	300	38.9	7.6	161	14.1	1.7
12	1984 Morgan Hills	6.2	Coyote Lake Dam	mh84cyc	0.1	849	67.2	9.8	981	68.7	14.1
13	1984 Morgan Hills	6.2	Gilroy Array 6	mh84g06	?	245	36.5	6.6	305	10.7	1.8
14	1986 N.Palm Springs	6.1	Desert Hot Springs	ps86dsp	6.4	323	26.9	5.7	285	20	4.8
15	1986 N.Palm Springs	6.1	North Palm Springs Post Off.	ps86nps	4	657	73.5	11.9	604	29.2	3.5
16	1987 Superstition Hills	6.6	El Centro	sh87icc	13.6	302	51.9	22.2	219	36.1	10.6
17	1987 Whittier Narrows	6	Downey, County Main. Bldg.	wn87dwn	16.4	230	30.4	4.1	122	9.4	1.2
18	1987 Whittier Narrows	6	Norwalk 12400 Imperial Hwy	wn87nor	15.7	231	19.8	3.9	126	11	2.1
19	1989 Loma Prieta	6.9	Gilroy Array 3	lp89g03	?	523	49.3	11	447	37	16.8
20	1989 Loma Prieta	6.9	Saratoga-Aloha Ave	lp89stg	8.3	356	55.5	29.4	369	43.3	15.8
21	1989 Loma Prieta	6.9	Los Gatos Pres. Center	lp89lcp	3	636	102.3	37.2	431	57.1	20.2
22	1992 Cape Men.	6.9	Petrolia	cm92pet	8.9	603	81.8	25.5	617	60.4	26
23	1992 Erzincan	6.9	Erzincan	ez92erz	2	479	95.5	32.1	401	45.9	16.9
24	1992 Landers	7.3	Lucerne Valley	ln92lcn	1.1	739	94.7	67.9	746	44	22.4
25	1994 Northridge	6.7	Jensen Filtration Plant	nr94jen	5.2	385	104.3	45.2	604	94.1	27.4
26	1994 Northridge	6.7	LA Dam	nr94ldm	5.6	565	77.1	20.1	407	40.7	16

Tablo 4.1'in devamı

27	1994 Northridge	6.7	Newhall Fire Station	nr94nwh	6.5	710	120	35.1	638	49.9	16.2
28	1994 Northridge	6.7	Rinaldi Receiving Station	nr94rrs	6	869	173	31.1	382	61.5	17.9
29	1994 Northridge	6.7	Sylmar Converter St. East	nr94sce	5	822	116.4	39.4	486	78.3	29.3
30	1994 Northridge	6.7	Sylmar Converter Station	nr94scs	5.1	583	130.2	54	780	93.3	53.3
31	1994 Northridge	6.7	Sepulveda	nr94spv	8	708	65	21.1	742	72.7	10.4
32	1994 Northridge	6.7	Olive View Hospital	nr94syl	5.5	718	122.7	31.8	584	54.4	10.8
33	1994 Northridge	6.7	Newhall;Pico Canyon	nr94wpi	5.3	417	87.7	55.1	274	74.7	21.8
34	1994 Northridge	6.7	Pacoima Dam Upper Left A.	nr94pul	7.2	1350	106.9	23	1437	46.5	7
35	1995 Kobe	6.9	JMA	kb95kjm	0.4	838	95.7	24.5	538	53.4	10.3
36	1995 Kobe	6.9	Takatori	kb95tak	1.1	669	169.5	45	593	62.8	22.9
37	1999 Chi Chi	7.6	TCU052	cc99t052	0.8	230	79.9	102.4	477	176.7	297.2
38	1999 Chi Chi	7.6	TCU068	cc99t068	0.2	487	121.7	196.7	552	274.5	449.9
39	1999 Chi Chi	7.6	TCU075	cc99t075	0.6	278	51.7	49.6	299	73.2	71.4
40	1999 Chi Chi	7.6	TCU076	cc99t076	2.3	353	39.4	19.8	351	88.3	40.8
41	1999 Chi Chi	7.6	TCU129	cc99t129	1.5	744	36.6	29.8	874	57.7	52.8
42	1999 Kocaeli	7.4	Yarimca Petkim	iz99ypt	2.6	273	48.2	43.2	307	72.9	56.1
43	1999 Kocaeli	7.4	Gebze	iz99gbz	11	239	50.3	42.7	135	29.7	27.5

Tablo 4.2. Tablo 4.1’de verilen yer hareketleri kayıtlarının maksimum hız yönü ivme, hız ve deplasman değerleri

No	Yıl	Deprem Adı	Moment B.	Yer	Kayıt	d (km)	Maksimum Hız Yönü		
							PGA (cm/sn ²)	PGV (cm/sn)	PGD (cm)
1	1966	Parkfield	6.4	Temblor	pk66tmb	6.5	365.04	22.49	4.48
2	1971	San Fernando	6.6	Pacoima Dam	sf71pcd	3	1277.85	118.8	33.83
3	1976	Gazli	6.7	Karakyr Point	gz76kar	3	720.93	72.03	21.42
4	1979	Imperial Valley	6.5	El Centro Array 4	iv79e04	6	337.77	81.88	55.48
5	1979	Imperial Valley	6.5	El Centro Array 5	iv79e05	2.7	361.95	92.89	57.02
6	1979	Imperial Valley	6.5	El Centro Array 6	iv79e06	0.3	424.93	117.39	68.09
7	1979	Imperial Valley	6.5	El Centro Array 7	iv79e07	1.8	453.36	109.44	43.67
8	1979	Imperial Valley	6.5	Meloland Route Overpass	iv79emo	1.2	370.94	115.07	40.28
9	1979	CoyoteLake	5.6	Gilroy Array 6	cy79g06	1.2	446.11	51.55	7.12
10	1984	Morgan Hills	6.2	Anderson Dam	mh84and	2.6	442.2	32.98	3.77
11	1984	Morgan Hills	6.2	Halls Valley	mh84hvr	2	312.75	39.85	7.68
12	1984	Morgan Hills	6.2	Coyote Lake Dam	mh84cyc	0.1	1252.57	81.1	8.62
13	1984	Morgan Hills	6.2	Gilroy Array 6	mh84g06	?	260.26	37.52	6.49
14	1986	N. Palm Springs	6.1	Desert Hot Springs	ps86dsp	6.4	342.39	30.6	5.27
15	1986	N.Palm Springs	6.1	North Palm Springs Post Office	ps86nps	4	627.73	73.9	11.78
16	1987	Superstition Hills	6.6	El Centro	sh87icc	13.6	326.39	52.43	21.95
17	1987	Whittier Narrows	6	Downey, County Maintenance Bldg.	wn87dwn	16.4	240.94	31.11	4.16
18	1987	Whittier Narrows	6	Norwalk 12400 Imperial Hwy	wn87nor	15.7	248.06	21.07	4.41
19	1989	Loma Prieta	6.9	Gilroy Array 3	lp89g03	?	511.28	49.71	12.84
20	1989	Loma Prieta	6.9	Saratoga-Aloha Ave	lp89stg	8.3	408.15	74.74	28.78
21	1989	Loma Prieta	6.9	Los Gatos Presentation Center	lp89lgp	3	634.96	103.87	40
22	1992	Cape Mendocino	6.9	Petrolia	cm92pet	8.9	695.16	81.8	255
23	1992	Erzincan	6.9	Erzincan	ez92erz	2	480.19	95.57	32.02
24	1992	Landers	7.3	Lucerne Valley	ln92lcn	1.1	710.11	148.51	271.65
25	1994	Northridge	6.7	Jensen Filtration Plant	nr94jen	5.2	421.85	106.08	42.6
26	1994	Northridge	6.7	LA Dam	nr94ldm	5.6	561	77.39	20.5

Tablo 4.2'nin devamı.

27	1994	Northridge	6.7	Newhall Fire Station	nr94nwh	6.5	722.35	120.57	33.54
28	1994	Northridge	6.7	Rinaldi Receiving Station	nr94rrs	6	870.75	173.06	31.2
29	1994	Northridge	6.7	Sylmar Converter Station East	nr94sce	5	821.96	117.9	36.52
30	1994	Northridge	6.7	Sylmar Converter Station	nr94scs	5.1	654.51	132.9	50.73
31	1994	Northridge	6.7	Sepulveda	nr94spv	8	710.51	85.71	20.63
32	1994	Northridge	6.7	Olive View Hospital	nr94syl	5.5	816.7	131.7	33.03
33	1994	Northridge	6.7	Newhall;Pico Canyon	nr94wpi	5.3	456.44	93.82	56.06
34	1994	Northridge	6.7	Pacoima Dam Upper Left Abut	nr94pul	7.2	1340.59	107	10.07
35	1995	Kobe	6.9	JMA	kb95kjm	0.4	836.56	95.81	24.42
36	1995	Kobe	6.9	Takatori	kb95tak	1.1	677.66	169.88	45
37	1999	Chi Chi	7.6	TCU052	cc99t052	0.8	454.47	179.45	279.98
38	1999	Chi Chi	7.6	TCU068	cc99t068	0.2	553.79	295.98	485.58
39	1999	Chi Chi	7.6	TCU075	cc99t075	0.6	325	88.57	86.85
40	1999	Chi Chi	7.6	TCU076	cc99t076	2.3	367.82	88.73	41.31
41	1999	Chi Chi	7.6	TCU129	cc99t129	1.5	1004.73	61.23	53.81
42	1999	Izmit-Kocaeli	7.4	Yarimca Petkim	iz99ypt	2.6	311.12	72.94	56.6
43	1999	Izmit-Kocaeli	7.4	Gebze	iz99gbz	11	180.05	56.46	47.83

5. YAKIN FAY YER HAREKETLERİNDE İNELASTİK DEFORMASYON ORANI ve KUVVET AZALMA KATSAYILARI

5.1. Giriş

Performansa dayalı tasarımın yapı mühendisliğinde uygulanmaya başlanmasıyla elastik yöntemler yerine inelastik yöntemlerin uygulanması yaygınlaşmıştır. FEMA-356, FEMA-440 ve ATC-40 gibi yönetmelikler sismik taleplerin tahmininde nonlineer statik/statik itme analizleri kullanmaktadır [44, 45, 46]. Hedef deplasmanına ulaşıncaya kadar yanal yükler monotonik olarak artırılır. Hedef deplasman, iteratif veya büyük sayıda inelastik Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sistemin zaman tanım alanında analizlerinden çıkarılan ampirik ifadelerle, pushover eğrisinden elde edilen bir inelastik sistemin deformasyonundan tahmin edilir [48].

Mevcut yönetmeliklerde (FEMA-356, FEMA-440, ATC-40 ve TDY-2007) maksimum inelastik deformasyonun hesaplanmasında TSD'li sistemin elastik deformasyonu kullanılmaktadır [44, 45, 46, 48]. Maksimum inelastik deformasyonun hesaplanmasında iki temel yöntem bulunmaktadır. Bunlar eşdeğer lineerleştirme ve deplasman modifikasyon faktörünün kullanıldığı basitleştirilmiş yöntemlerdir. Eşdeğer lineerleştirme [46] ve geliştirilmiş eşdeğer lineerleştirme [47] metodlarında maksimum inelastik deplasman, mevcut yapıdan daha yüksek periyotlu ve yüksek sönüm oranına sahip bir eşdeğer sistem yardımıyla, elde edilir. Deplasman modifikasyon faktörü ise maksimum global deplasmanın elde edilmesinde en çok kullanılan yöntemidir.

Literatürde deplasman modifikasyon faktörünün elde edilebilme için bir çok ampirik ifade bulunmaktadır [44, 45, 50, 51,]. Baez ve Miranda [51] yakın fay yer hareketleri deplasman modifikasyon faktörlerinin uzak mesafe yer hareketlerine göre daha büyük olduğunu göstermiştir. Chopra ve Chintanapakdee [43] yakın fay yer hareketleri deplasman modifikasyon faktörlerinin ivme tesirli bölge sınırı T_c ile normalize edilmesiyle uzak mesafe yer hareketlerinin deplasman modifikasyon faktörlerine benzetilebileceğini belirtmektedir.

Performansa dayalı tasarım yeni ve mevcut yapıların analiz ve tasarımlarında kullanılabilir. Ancak alışlagelen uygulama yeni yapılacak yapılarda elastik yöntemlerin (UBC-97 ve TDY-07) ve mevcut yapıların değerlendirilmesinde nonlinear statik yöntemlerin (FEMA-356, TDY-07) uygulanmasıdır [31,45,49]. Elastik yöntemlerin kullanılmasıyla kuvvet azaltma katsayıları önem kazanmaktadır.

Yönetmeliklerin öngördüğü yanal tasarım kuvvetleri yapıyı elastik sınırlar içinde tutacak talep kuvvetlerinden küçüktür. Bu farklılık kuvvet azaltma katsayılarının uygulanması ile sağlanmaktadır. Yapının deprem sırasında nonlinear davranacağı, bu nedenle, sönüm ve enerji yutabilme kapasitesine bağlı olarak elastik deprem kuvvetlerinin kuvvet azaltma katsayıları ile azaltılabileceği yönetmeliklerde uygulanan klasik elastik tasarım yöntemlerinin kaynağını oluşturmaktadır.

Kuvvet azaltma katsayılarının belirlenmesi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur [43, 52, 53, 54]. Bu çalışmaların önemli bir kısmı uzak mesafe yer hareketleri için hazırlanmış ve yakın fay yer hareketlerine maruz yapılarda uygulanması güvenli olmayan sonuçlar vermektedir.

Çalışmanın bu kısmında yakın fay yer hareketlerinin inelastik deformasyon oranları ve kuvvet azaltma katsayılarının elde edilmesi verilmektedir. Mevcut yönetmeliklerde [44, 45, 46] verilen inelastik deformasyon oranlarının yakın mesafe yer hareketleri için uygulanmasının konservatif olmayan sonuçlar vereceği gösterilmektedir. Ayrıca UBC-97 ve TDY-07 gibi yönetmeliklerde verilen kuvvet azaltma katsayılarının yakın fay yer hareketlerinin kuvvet azaltma katsayılarından önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir [31, 48].

5.2. İnelastik Deformasyon Oranı

Son yıllarda yapı mühendisliğinde kuvvete dayalı yöntemler yerine deplasmana dayalı yöntemler uygulanmaktadır. Deplasmana dayalı tasarım yöntemlerinde talep deplasmanı öncelikle belirlenir ve belirlenen deplasman yapıda kabul edilebilir deplasman limitleri ile karşılaştırılır. Ancak deplasmana dayalı tasarımın uygulanabilmesi global inelastik deplasmanın tahmin edilebilmesini gerektirmektedir.

Yer hareketlerinin, gerçek kayıtları kullanılarak, global (maksimum) inelastik deplasman talepleri zaman tanım alanında analizleri ile elde edilebilir. Ancak yapıların

tasarımları tepki spektrumları esas alınarak yapılmaktadır. Bu nedenle FEMA-356, FEMA-440 ve TDY-07 gibi yönetmelikler inelastik deplasman talebin basitleştirilmiş yöntemlerle elde edilmesini öngörmektedir [44, 45, 46]. İnelastik deplasman TSD'li sistemlerin maksimum inelastik deplasmanlarının, maksimum elastik deplasmanlara oranı olarak bilinen inelastik deplasman oranları/faktörleri kullanılarak elde edilir.

Elastik ve elasto-plastik davranışın kuvvet deplasman ilişkisi Şekil 3.20 de verilmiştir. Burada inelastik deformasyon oranı;

$$C_R = \frac{u_m}{u_o} \quad (5.1)$$

şeklinde elde edilir. Kuvvet azaltma katsayısı, R, ise aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$R = \frac{f_o}{f_y} = \frac{u_o}{u_y} \quad (5.2)$$

Burada u_m , u_o , f_o ve f_y sırasıyla maksimum inelastik deplasman, maksimum elastik deplasman, elastik kuvvet ve akma kuvvetidir.

Deplasman süneklilik oran, μ , ise;

$$\mu = \frac{u_m}{u_y} \quad (5.3)$$

şeklinde elde edilir.

Denklem (5.3) de akma deplasman oranı, u_y , denklem (5.2) de yerine konularak akma deplasman oranı ile kuvvet azaltma katsayısı arasındaki ilişki;

$$C_R = \frac{u_m}{u_o} = \frac{\mu}{R} \quad (5.4)$$

şeklinde elde edilir.

İnelastik deplasman oranının tahmini için bir çok çalışma yapılmıştır. Yapılan ilk çalışmalardan biri Newmark ve Hall [52] metodudur. Bu çalışma ivme tesirli bölge sınırından (T_c) büyük periyotlarda eşit deplasman kuralının geçerli olduğu ve dolayısıyla inelastik deplasmanın elastik deplasmana eşit olduğu ($u_m/u_o = 1$), küçük periyotlarda ise strain enerjisinin eşit olduğu ($u_m/u_o = \mu/\sqrt{2\mu-1}$) yaklaşımı ile elde edilmiştir. Newmark ve Hall kuvvet azaltma katsayılarını süneklilik oranları üzerinden hesaplamaktadır. Bu durum inelastik deplasman oranlarının iterasyonla bulunmasını gerektirmektedir. İterasyondan kaçınmak için Chopra ve Chintanapakdee [43] denklem (5.4) yardımıyla Newmark ve Hall [52] çalışmasını;

$$C_R = \begin{cases} \infty & T < T_a \\ (R^2 + 1)/2R & T_b < T < T_c \\ 1 & T > T_c \end{cases} \quad (5.5)$$

şeklinde sadeleştirmiştir [43].

Burada $T_c = T_b \sqrt{2\mu-1} / \mu$ dir.

Garcia ve Miranda [49] 124 yer hareketinin nonlinear regresyon analizinden faydalanarak inelastik deformasyon oranı için

$$C_R = 1 + \left[\frac{1}{a(T/T_s)^b} - \frac{1}{c} \right] (R-1) \quad (5.6)$$

ifadesini elde etmiştir.

Burada zemin sabitleri a, b, c ve zemin karakteristik periyodu T_s NERHP zemin sınıflarına bağlı katsayıları Tablo 5.1’de verilmektedir.

Tablo 5.1 Garcia ve Miranda (2003) zemine bağlı katsayılar.

	a	b	c	T_s (sn)
B	42	1.60	45	0.75
C	48	1.80	50	0.85
D	57	1.85	60	1.05

Chopra ve Chintanapakdee yakın fay ve uzak mesafe yer hareketleri için kullanılabilecek bir ifade geliştirmiştir [43].

$$C_R = 1 + \left[(L_R - 1)^{-1} + \left(\frac{a}{R^b} + c \right) \left(\frac{T}{T_c} \right)^d \right]^{-1} \quad (5.7)$$

Burada $L_R = \frac{1}{R} \left(1 + \frac{R-1}{\alpha} \right)$ ve α akma sonrası rijitliğin elastik rijitliğe oranıdır ve elasto-plastik davranış için $\alpha=0$ 'dır. Farklı yer hareketi setleri için a, b, c ve d oranları regresyon analiziyle elde edilmiştir. Kullanılan dört grup yer hareketi seti için (a=61), (b=2.4), (c=1.5) ve (d=2.4) olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.8-3.10'da verilen atım içeren uzak mesafe, atım içeren yakın fay ve atım içermeyen yakın fay yer hareketlerinin ortalama inelastik deformasyon oranları sırasıyla Şekil 5.1 (a), (b) ve (c) de verilmektedir. İnelastik deformasyon oranları, C_R , elasto-plastik davranış için elde edilmiş ve bütün analizlerde sönüm oranı ($\zeta = \% 5$) olarak alınmıştır.

Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin inelastik deplasman oranları diğer hareketlerin inelastik deplasman oranlarından daha büyüktür. Standart sapmanın ortalama dayanıma oranını ifade eden değişim katsayısı (COV) her üç data seti içinde küçük periyotlarda büyük olup periyot büyüdükçe azalmaktadır. Ancak her iki yakın fay kayıtlarında da azalım 3 sn periyoda kadar sürmekteyken, uzak mesafe yer hareketlerinde bu azalım 1 sn de bitmektedir. Uzak mesafe yer kayıtları için 1 sn den büyük periyotlarda genellikle eşit deplasman kuralı geçerli olabilmektedir. Ancak yakın fay yer hareketlerinde eşit deplasman kuralı daha büyük periyotlarda geçerli olmaktadır.

Şekil 5.3'de atım içeren yakın fay kayıtları C_R değerlerinin, atım içermeyen yakın fay ve uzak mesafe kayıtları C_R değerlerine oranları verilmektedir. Atım içeren yakın fay etkilerinin C_R değerleri uzak mesafe yer hareketlerine göre, 1 sn den küçük periyotlarda, yaklaşık iki katı daha büyüktür. Ayrıca atım içeren yakın fay kayıtlarının C_R değerleri ise küçük periyotlarda atım içermeyen yakın fay kayıtları C_R değerlerinin yaklaşık 1.5 katıdır. Ancak periyodun büyümesi ile aradaki fark gittikçe azalmaktadır.

Bu önemli fark uzak mesafe yer hareketleri için elde edilmiş C_R değerlerinin yakın fay bölgelerinde kullanılmasının konservatif olmayan sonuçlar vereceğini göstermektedir.

FEMA-356 ve TDY-07 inelastik deplasman oranını aşağıdaki gibi vermektedir [44, 46].

$$\begin{aligned} T \geq T_s \text{ için } C_R &= 1.0 \\ T < T_s \text{ için } C_R &= [1.0 + (R-1)T_s / T] / R \end{aligned} \quad (5.7)$$

Burada T_s ; zemin karakteristik periyodur. Zemin karakteristik periyodundan büyük periyotlarda eşit deplasman kuralının geçerli olduğu ve dolayısıyla inelastik ve elastik deplasmanların birbirine eşit olduğu varsayılmaktadır.

FEMA-440 ise inelastik deplasman oranını;

$$C_R = 1 + \frac{R-1}{aT^2} \quad (5.8)$$

ifadesiyle vermektedir [45].

Burada (a) zemin özellikleri bağlı bir sabittir ve NEHRP B, C ve D grubu zeminler için sırasıyla (130), (90) ve (60) dır. Ayrıca (0.2) saniyeden küçük periyotlarda inelastik deplasman oranının (0.2) sn değerine eşit olduğu varsayılmaktadır.

Şekil 5.4 de FEMA-356, FEMA-440, TDY-07, Chopra [43], Miranda [49] ve Tablo 3.10'da verilen 94 adet uzak mesafe yer hareketinin ortalama inelastik deplasman oranları verilmektedir. Bu değerler elde edilirken elasto-plastik davranış göz önüne alınmış ve ilk 5 bağıntı NEHRP D (TDY-03) grubu zemin için elde edilmiştir.

Yönetmeliklerde ve literatürde verilen ampirik ifadeler, bu çalışma kapsamında kullanılan uzak mesafe yer hareketlerine göre, küçük inelastik deplasman oranlarını vermektedir. Ancak bu çalışmanın amacı uzak mesafe yer hareketleri için ampirik bir ifade geliştirmek değildir. Bundan öteye yakın ve uzak mesafe yer hareketlerinin yapılarda oluşturdukları talep farklılıklarının belirlenmesidir.

Chopra [43], Miranda [49] ve FEMA-440 [45] birbirine çok yakın değerler vermektedir. Bunun yanında FEMA-356 [45] ve TDY-07 [46] inelastik deplasman oranlarını karakteristik periyoda yakın bölgelerde daha düşük vermektedir.

Yakın mesafe yer hareketlerinin inelastik deplasman oranları diğer yer hareketlerine göre yüksektir. Özellikle atım içeren kayıtlarda atım süresi/periodyu C_R spektrumunu kontrol eden temel parametrelerden biridir. Baez ve Miranda [51] yakın fay yer hareketlerini PGV değerlerine göre gruplara ayırmış ve yüksek PGV grubunda bulunan yer hareketlerinin 1.8 sn periyoda kadar daha yüksek inelastik deplasman oranlarına sahip olduğunu göstermiştir. Ancak bu yaklaşım sınırlı sayıda yer hareketi için yapılmış ve genelleştirilmemiştir.

Şekil 5.5’de Erzincan (fn), Yarımcı (fp), Northridge_rrs (fn) ve ChiChi Tcu052 (fn) kayıtlarının, $R=8$ için, inelastik deplasman oranı spektrumları verilmektedir. Kullanılan yer hareketlerinin hız-zaman kayıtlarından elde edilen, T_p , atım periyotları 1.36 ile 6.36 sn arasında değişmektedir. Verilen spektrumdan görüldüğü gibi her kayıttın inelastik deplasman oranı kendi T_p periyodunda 1 veya daha küçük değerlere ulaşmaktadır. Bu önemli özellik yakın fay yer hareketlerinin inelastik deplasman oranı spektrum periyotlarının atım süresi, T_p , ile normalize edilmesinin önemli bir avantaj sağlayacağını göstermektedir. Chopra ve Chintanapakdee [43] bütün yer hareketlerinin ivme tesirli bölge sınırı, T_c , ile normalize edilebileceğini göstermiş ve Denklem (5.7) de verilen inelastik deplasman oranı ampirik ifadesini elde etmiştir. Ancak faya normal yönde elde edilen ortalama ivme tesirli bölge sınırı, T_c , 0.84 dir. Bu çalışmada (Tablo 3.8) ve Chopra ve Chintanapakdee [43] tarafından kullanılan data setinde ortalama hız bölgeleri sırasıyla 2 ve 1.74 sn dir. Hız bölge genişliklerinin birbirine çok yakın olmasına rağmen ivme tesirli bölge genişliği bu çalışma kapsamında 2.3 sn ve Chopra ve Chintanapakdee [43] de ise 0.84 sn olarak elde edilmiştir. Adı geçen çalışmada iki farklı zemin grubu için toplam 45 adet yer hareketi kullanılmış ve yer hareketleri faya normal ve paralel yöne ayrılmıştır. Bu çalışmada ise yer hareketlerinde atım bulunup bulunmaması esas alınmış ve kullanılan kayıt sayısı Tablo 3.8 ve 3.9’de verildiği gibi atım içeren 109 ve atım içermeyen 104 adettir.

Bölüm 3’de atım içeren yakın fay yer hareketlerinin ivme tesirli bölge sınırları, T_c , ile atım periyodu, T_p , arasında yüksek bir korelasyon olduğu belirlenmiş ve Denklem (3.1a) elde edilmiştir. Literatürde atım periyodu için bir çok ampirik ifade birçok araştırmacı tarafından verilmiştir [55-57]. Bu çalışmalardan 7 büyüklüğünde bir depremin meydana getirebileceği atım süresi ortalama 2.5 sn olduğu belirlenebilir. Ayrıca denklem (3.1a) den faydalanarak T_c değeri 1.75 sn olarak elde edilir, elde edilen

bu değer Chopra ve Chintanapakdee [43] de verilen T_c değerinin iki katıdır. Bu nedenle $T_c=0.84$ sn sınırını tasarım amaçlı kullanmak yerine konservatif olmayan sonuçlar verebilecektir.

Şekil.5.6 da atım içeren ve içermeyen yakın fay ile uzak mesafe kayıtlarının T_c periyotları ile normalize edilmiş inelastik deplasman oranları, $R=8$ için, verilmektedir. Ayrıca Chopra ve Chintanapakdee [43] ile Miranda [49] inelastik deplasman oranı formülasyonları, atım içeren yakın fay yer hareketlerinin ortalama T_c değeri olan, 2.33 sn ile normalize edilerek verilmektedir. Büyük periyotlarda Chopra ve Chintanapakdee [43] ile her üç yer hareketinin ortalama değerleri birbirine çok yakındır. Ancak orta ve küçük periyotlarda ($\frac{T}{T_c} < 0.78$) Chopra ve Chintanapakdee [43] atım içeren ve içermeyen yer hareketleri için çok konservatif sonuçlar vermektedir. Buna karşın uzak mesafe yer hareketleri için ise oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Miranda [49] çalışması yakın fay yer hareketleri için yapılmamasına rağmen ivme tesirli bölge sınır periyodu, T_c , zemin karakteristik periyodu, T_s , yerine alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Miranda [49] çalışmasının bu şekilde geliştirilmesinin yakın fay yer hareketlerinin inelastik deplasman oranlarını doğru tanımlayamadığını göstermiştir. Ancak regresyon analizi yapılarak denklem sabitlerinin yakın fay yer hareketleri için elde edilmesi daha iyi sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

İnelastik deplasman oranı ve kuvvet azaltma katsayılarının elde edilmesi için Tablo 3.8 de verilen 109 adet yer hareketinin maksimum hız yön kayıtları tespit edilmiş ve Tablo 5.1. de verilen 78 adet kayıt belirlenmiştir. Bu yer hareketlerinin atım içeren yönlerinin PGV değerleri ile maksimum hız yönleri PGV değerleri Şekil 5.7 de verilmektedir. Görüldüğü gibi maksimum yönler ortalama % 8 daha yüksek PGV değerlerine sahiptir. Kullanılan 78 adet yer hareketinin ortalama inelastik deplasman oranları ve değişim katsayı (COV) değerleri Şekil 5.8a ve 5.8b'de verilmektedir. Atım içeren yer hareketlerinin inelastik deplasman oranları üzerinde T_p değerlerinin büyük etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle data setlerde kullanılan yer hareketleri T_p değerlerinin farklı olması periyoda bağlı standart sapma değerlerini artırmakta ve dolayısıyla COV değerleri yüksek çıkmaktadır.

Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin inelastik deplasman oranlarının basitçe elde edilebildiğı bir denklem

$$T \geq 0.81T_p \quad \text{için} \quad C_R = 1$$

$$T < 0.81T_p \quad \text{için} \quad C_R = 1 + \left[\left(\frac{1}{R^a} + b \right)^c (0.81 - T / T_p)^d \left(-\ln\left(\frac{T}{T_p}\right) \right) \right] \quad (5.9)$$

şeklinde elde edilmiştir. Burada a, b, c ve d regresyon sabitleri olup ve yapılan analizlerle sırasıyla (1.77615), (0.741699), (−0.70967) ve (1.27809) olarak belirlenmiştir. Şekil 5.9 da Tablo 5.1’de verilen 78 adet yer hareketinin ortalama inelastik deplasman oranları ile denklem (5.9)’den elde edilen sonuçlar verilmektedir.

5.3. Kuvvet Azaltma Katsayıları

Yönetmeliklerin öngördüğü yanal tasarım kuvvetleri yapıyı elastik sınırlar içinde tutacak talep kuvvetlerinden küçüktür. Bu farklılık kuvvet azaltma katsayılarının uygulanması ile sağlanmaktadır. Yapının deprem sırasında nonlineer davranacağı, bu nedenle, sönüm ve enerji yutabilme kapasitene bağlı olarak elastik deprem kuvvetlerinin kuvvet azaltma katsayıları ile azaltılabileceği yönetmeliklerde uygulanan klasik elastik tasarım yöntemlerinin kaynağını oluşturmaktadır.

Kuvvet azaltma katsayılarının belirlenmesi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur [43, 52, 53, 54]. Bu çalışmaların önemli kısmı uzak mesafe yer hareketleri için hazırlanmış ve yakın fay yer hareketlerine maruz yapılarda uygulanması güvenli olmayan sonuçlar vermektedir.

Doğrultu etkisi içeren yakın fay yer hareketlerinde bulunan atımlar kuvvet azaltma katsayısı spektrumlarını etkileyen en temel parametrelerden biridir. Iwan ve diğerleri [58] Northridge-rrs kaydını kullanarak kuvvet azaltma katsayılarının, atım süresinden kısa periyotlarda, küçük olduklarını göstermiştir. Chopra ve Chintanapakdee [59] 15 yakın fay yer hareketi kullanarak periyodun ivme tesirli bölge sınırı, T_c , ile normalize edilmesiyle yakın fay yer hareketleri kuvvet azaltma katsayılarının uzak mesafe değerlerine yakın olduğunu ve Newmark-Hall [52] kuvvet azaltma katsayısının bu şekilde uygulanabileceğini göstermiştir.

Şekil 5.10 da Erzincan (1992) depremi Erzincan ve Kocaeli (1999) Yarımcı kayıtlarının faya normal ve paralel yönlerinin kuvvet azaltma katsayı spektrumları, $\mu=8$ için, verilmektedir. Erzincan kaydının faya normal yönünde ve Yarımcı kaydının faya paralel yönünde sırasıyla 2.5 ve 4.6 sn atımlar bulunmaktadır. Görüldüğü gibi atım içeren kayıtların R değerleri atım periyodunun yaklaşık %80'i oranından küçük periyotlarda oldukça düşüktür. Bu nedenle atım içeren yakın fay hareketlerinin kuvvet azaltma oranı spektrumları elde edilirken (inelastik deplasman oranında olduğu gibi) atım periyodu ile normalize edilmesi kompleks olan problemin daha basite indirgenmesini ve kolayca yönetmeliklerde uygulanabilmesini sağlayacaktır.

Tablo 3.8-10'da kullanılan üç farklı yer hareketi ve Tablo 5.1'de kullanılan maksimum hız yönü kayıtlarının ortalama kuvvet azaltma katsayı, R, spektrumları Şekil

5.11.'de verilmektedir. Uzak mesafe yer hareketlerinin R değerleri diğer yer hareketlerinde daha büyüktür. Yakın fay yer hareketlerinin küçük R değerlerine sahip olması aynı deplasman süneklilik oranında bu yer hareketlerinin daha yüksek kuvvet talebi oluşturduklarını göstermektedir [59].

Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin R değerleri atım içermeyen yer hareketlerine göre daha küçüktür. Maksimum hız yönü kayıtlarının atım periyot, T_p , dağılımları Şekil 5.12.de verilmektedir. Buradan görüldüğü gibi atım periyot büyüklükleri eşit dağılımdadır. Bu nedenle özellikle 0.7 sn den büyük her periyotlarda birbirine yakın sayıda atım içeren kayıt bulunmaktadır ve bu kayıtların kuvvet azaltma katsayıları kendi atım periyotlarına yakın bölgelerde büyük değerlere ulaştıkları için genel spektrum atım içermeyen yön değerlerine yakın olmaktadır.

Maksimum hız yönü kayıtlarının (Tablo 5.1) kendi atım periyotları ile normalize edilmiş kuvvet azaltma oranı spektrumları Şekil 5.13'de verilmektedir. Görüldüğü gibi ivme tesirli bölgede kuvvet azaltma faktörleri oldukça düşüktür. Kuvvet azaltma faktörleri ivme tesirli bölgeden biraz büyük olan $0.75T_p$ sınırında deplasman süneklilikleri ile eşdeğer olmaktadır ve bu bölge denklem (5.9) da verilen $0.81T_p$ değerine çok yakındır. Ancak süneklilik oranı düştükçe sınır periyodu da azalmaktadır.

Kuvvet azaltma faktörleri yüksek süneklilik oranlarında hız tesirli bölgede artmakta ve deplasman tesirli bölge sınırında ise maksimum olmaktadır. Orta büyüklükte atım içeren Erzincan gibi yakın fay yer hareketlerinde 1.5 sn periyodun altında kalan yapıların tasarımı mevcut yönetmeliklerin [30, 44, 46] öngördüğü kuvvet azaltma faktörleri büyük olmakta ve dolayısıyla yapıların tasarımı daha küçük yanal kuvvetlerle yapılmaktadır.

Newmark ve Hall [52] kuvvet azaltma katsayıları üzerine yapılan ilk çalışmalardan biridir ve 5 farklı aralıkta kuvvet azaltma katsayılarını aşağıdaki gibi vermektedir.

$$0 \leq T < T_1 / 10 \quad \text{için} \quad R_\mu = 1 \quad (5.10)$$

$$T_1 / 10 \leq T < T_1 / 4 \quad \text{için} \quad R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \left[\frac{T_1}{4T} \right]^{2.513 \log \left(\frac{1}{\sqrt{2\mu - 1}} \right)} \quad (5.11)$$

$$T_1 / 4 \leq T < T_1' \quad \text{için} \quad R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad (5.12)$$

$$T_1' \leq T < T_1 \quad \text{için} \quad R_\mu = T\mu / T_1 \quad (5.13)$$

$$T_1 \leq T < T_2, 10.0 \text{ sn için} \quad R_\mu = \mu \quad (5.14)$$

Sınır periyotları T_1, T_1' ve T_2 ise aşağıda verilmektedir.

$$T_1 = 2\pi \frac{\phi_{ev} V}{\phi_{ea} A} \quad (5.15)$$

$$T_1' = T_1 \frac{\mu}{\sqrt{2\mu - 1}} \quad (5.16)$$

$$T_2 = 2\pi \frac{\phi_{ed} D}{\phi_{ev} V} \quad (5.17)$$

Burada ϕ_{ea}, ϕ_{ev} ve ϕ_{ed} sırasıyla ivme, hız ve deplasman modifikasyon katsayılarıdır.

Newmark ve Hall [52] atım içeren yakın fay yer hareketlerine uygulanmıştır. Bu kayıtlara için T_1 ve T_2 sınır periyotları 1.412 sn ve 3.97 sn olarak bulunmuştur. İvme, hız ve deplasman amplifikasyonları ise sırasıyla 1.86 sn, 2.0 sn ve 2.21 sn olarak elde edilmiştir. Bu bilgilerle Newmark ve Hall [52] kuvvet azaltma faktörleri periyoda bağlı olarak elde edilmiş ve ortalama kuvvet azaltma katsayıları ile karşılaştırılarak Şekil 5.14'de verilmiştir. Görüldüğü gibi T_1 periyodun küçük periyotlarda ortalama değerlerle Newmark ve Hall [52] değerleri arasında önemli farklılıklar vardır. Ancak Chopra ve Chintanapakdee [43, 59] kuvvet azaltma faktörü spektrumların yakın fay yer hareketleri için, ivme tesirli bölge sınırı (T_c) ile, normalize edilmesiyle iyi sonuçlar elde edildiğini belirtmektedir. Şekil 5.14'e dikkat edilirse ivme tesirli bölge sınırının altında sabit bir aralığın bulunmadığı, dolayısıyla doğrultu etkisi içeren yakın fay yer hareketlerinin herhangi bir sınır periyodu ile normalize edilmesinin bu aralıktaki farklılığı kaldırmayacağı görülmektedir.

Krawinkler ve Nassar [54] 15 farklı yer hareketi kullanarak kuvvet azaltma faktörleri için bir ampirik ifade elde etmiştir. Yapılan çalışmada inelastik davranış

(bilineer, rijitlik azalım) modellerinin sonuçları üzerinde etkili olmadığını göstermiştir. Elde edilen ifade;

$$R = (c(\mu - 1) + 1)^{1/c} \quad (5.18)$$

Burada; $c(T, \alpha) = \frac{T^a}{1 + T^a} + \frac{b}{T}$ 'dir.

Elasto-plastik davranış ($\alpha=0$) için a ve b değerleri nonlinear regresyonla 1 ve 0.42 olarak elde edilmiştir.

Krawinkler ve Nassar [54] ifadesi atım içeren yakın fay yer hareketlerine uygulanabilmesi için nonlinear regresyon yapılarak regresyon parametreleri a ve b sırasıyla 1.156 ve 0.714 olarak elde edilmiştir. Gerçek yer hareketleri ortalamaları ile geliştirilmiş Nassar ve Krawinkler ifadesinin spektral değerleri Şekil 5.15'de verilmiştir. Geliştirilmiş Nassar ve Krawinkler ifadesi atım içeren yakın fay yer hareketlerinin normalize edilmemiş kuvvet azaltma faktörü spektrumlarının elde edilmesinde kolaylıkla uygulanabilir.

Kuvvet azaltma faktörünün elde edilmesinde en kapsamlı çalışmalardan biri Miranda [53] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada 124 adet yer hareketi kullanılmış ve zeminin etkisi kaya, alüvyon ve yumuşak zemin olarak 3 farklı şekilde düşünülmüştür. Yumuşak zeminler için verilen ifade hakim periyodu da göz önüne almakta olup aşağıda verildiği gibidir.

$$R = \frac{\mu - 1}{\Phi} + 1 \geq 1 \quad (5.19)$$

Burada;

$$\Phi = 1 + \frac{T_g}{3T} - \frac{3T_g}{4T} \exp \left[-3 \left(\ln \frac{T}{T_g} - \frac{1}{4} \right)^2 \right] \quad (5.20)$$

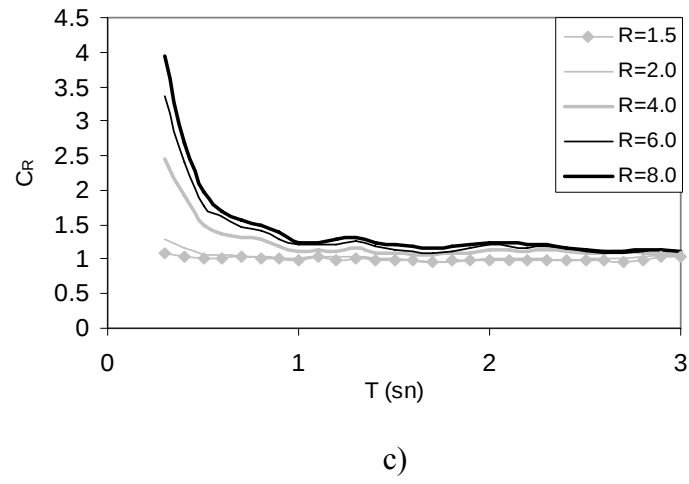
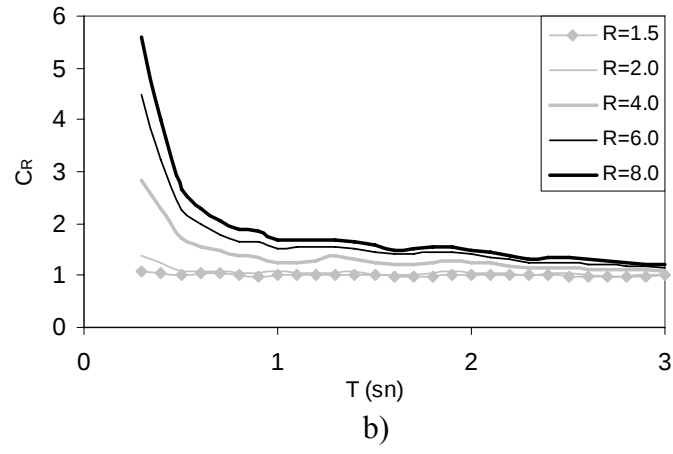
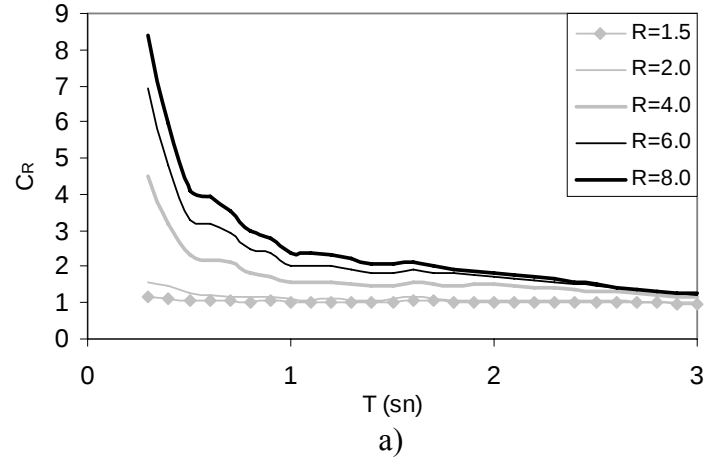
Miranda [53] çalışması yakın fay yer hareketleri için yapılmamıştır. Ancak yakın fay kuvvet azaltma faktörü spektrumlarının genel karakterine uygun olduğu ve basit modifikasyonlarla yakın fay bölgelerinde kullanılabileceği anlaşılmıştır. Bu nedenle denklem (5.19–20) ifadeleri aşağıdaki gibi değiştirilmiştir.

$$R = e\left(\frac{\mu - 1}{\Phi}\right) + 1 \geq 1; \quad \text{ve} \quad \Phi = 1 + \frac{T_p}{aT} - b \frac{T_p}{T} \exp\left[-c\left(\ln \frac{T}{T_g} - d\right)^2\right] \quad (5.21)$$

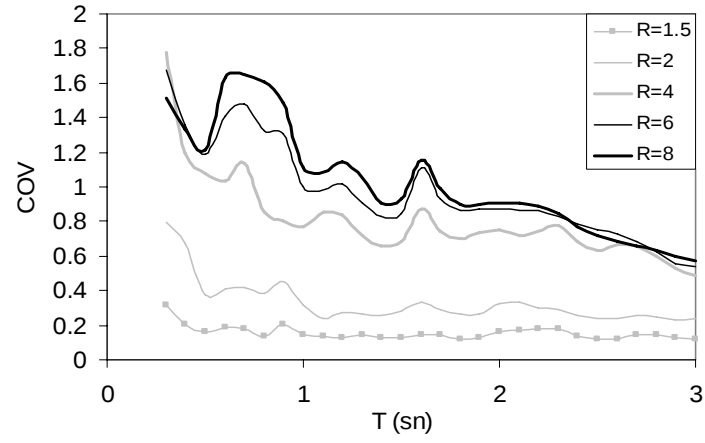
Yapılan nonlinear regresyonlarla (a), (b), (c), (d) ve (e) katsayıları sırasıyla (1.475), (0.698), (3.375), (0.187) ve (1.492) olarak elde edilmiştir.

Miranda [53] çalışmasında hâkim periyodu atım periyodu, T_p , gibi düşünülüp elde edilen değerler Şekil 5.16'da verilmektedir. Şekilde ayrıca Geliştirilmiş Miranda (MM) ve eşitliği ve maksimum hız yönü kayıtlarının (GM) ortalama kuvvet azaltma faktörü spektrumları verilmektedir. Miranda [53] çalışması yakın fay yer hareketleri için yapılmamasına rağmen deplasman tesirli sınıra, T_d , kadar oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Ancak periyodun büyümesi ile gerçek değerlerden önemli sapmalar olmaktadır. Geliştirilmiş Miranda eşitliği ise bütün periyotlarda gerçek değerlere çok yakın sonuçlar vermektedir.

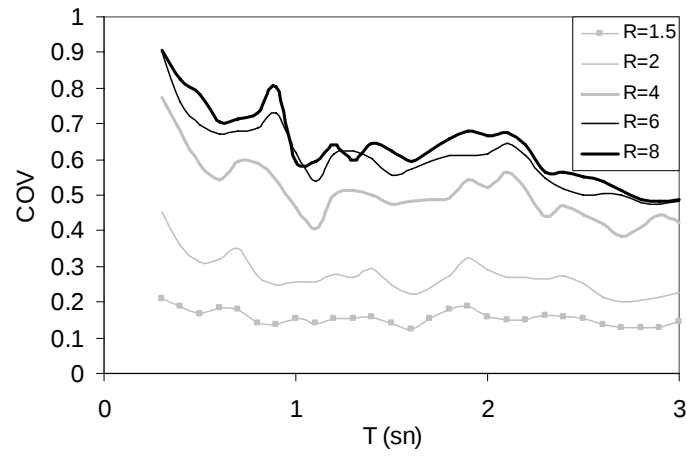
Yönetmeliklerde [30, 44, 46] verilen kuvvet azaltma faktörleri genellikle uzak mesafe yer hareketleri için elde edilmiştir. Bu nedenle yakın fay bölgelerinde kullanılması, özellikle küçük periyotlarda, güvenli değildir. Bunun yerine denklem (5.21) kullanılmasının daha güvenli sonuçlar vereceği görülmektedir.



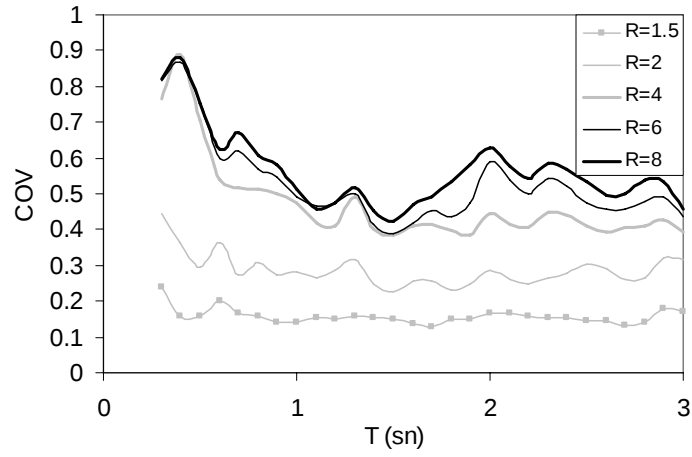
Şekil.5.1. a) Atım içeren yakın fay, b) atım içermeyen yakın fay ve c) uzak mesafe yer hareketlerinin ortalama inelastik deplasman oranları



a)

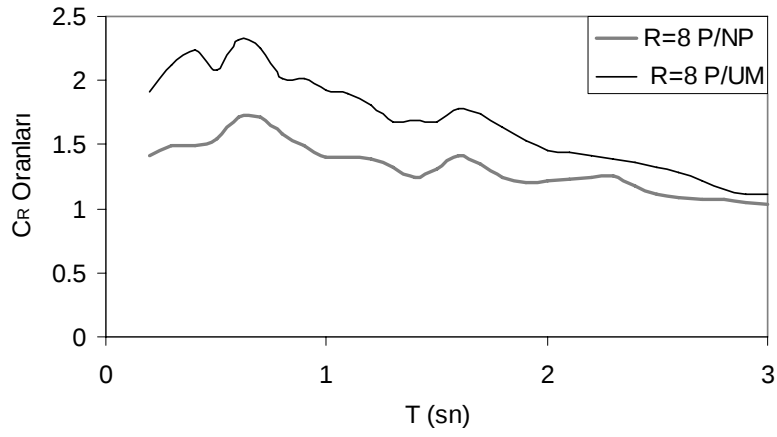


b)

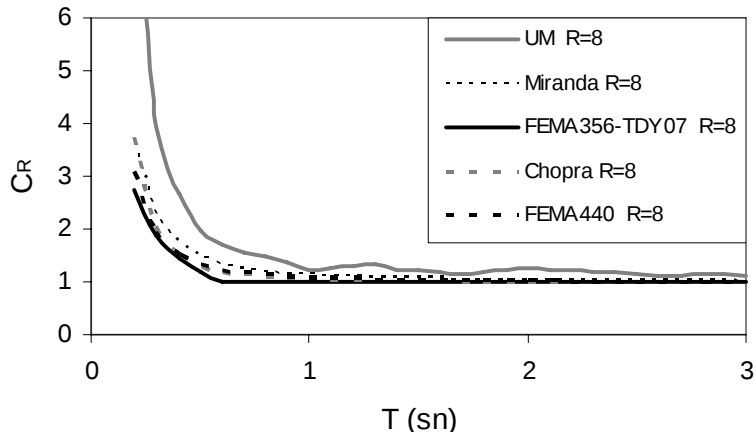


c)

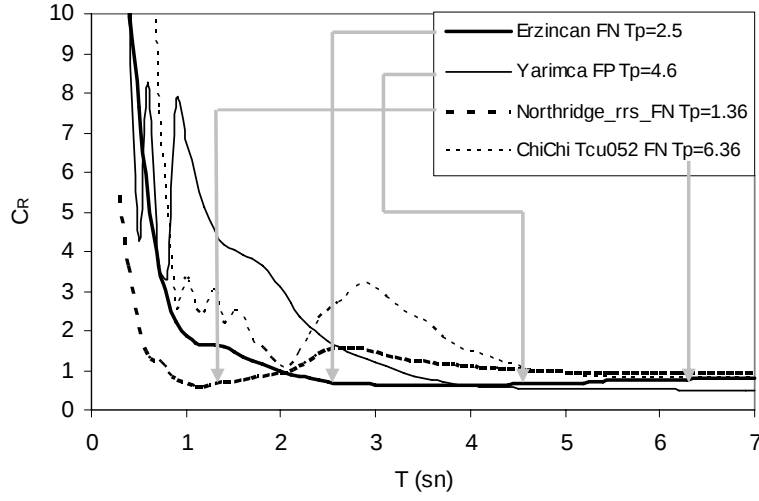
Şekil 5.2. İnelastik deplasman oranının (a) atım içeren (b) atım içermeyen yakın mesafe ve (c) uzak mesafe yer hareketlerinin değişim katsayıları (COV)



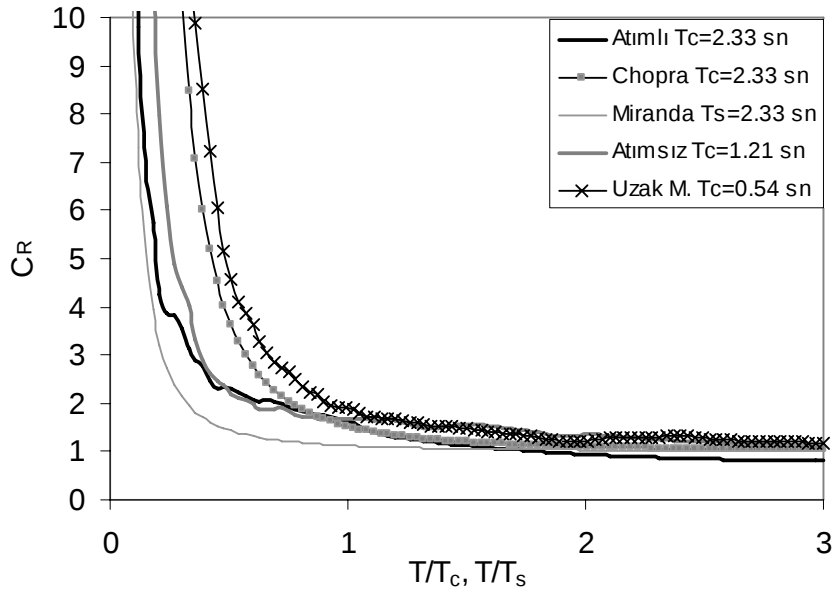
Şekil 5.3. Atım içeren yakın fay yer hareketleri CR değerlerinin atım içermeyen ve uzak mesafe yer hareketleri CR değerlerine oranları



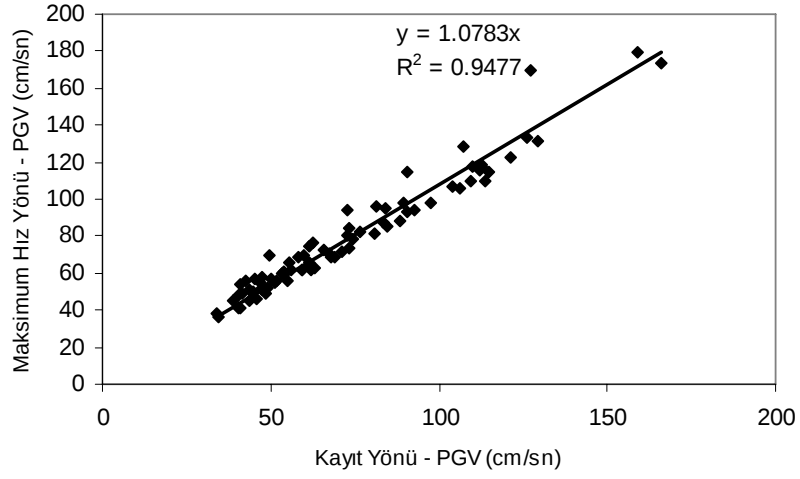
Şekil 5.4. Elasto-plastik davranış ve NEHRP D (TDY Z3) zemin için için FEMA 356-TDY07, FEMA 440, Chopra (2003), Miranda (2003) ve Tablo 3.3 kullanılan uzak mesafe yer hareketlerinin inelastik deplasman oranları



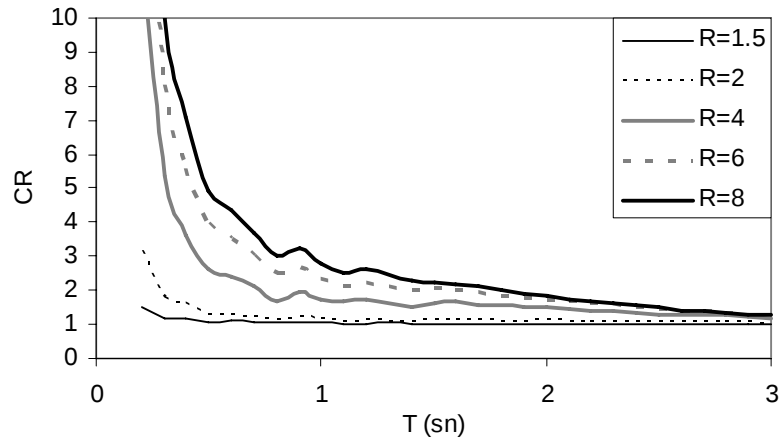
Şekil 5.5. Erzincan (fn), Yarımcı (fp), Northridge_rrs (fn) ve ChiChi Tcu052 (fn) kayıtlarının inelastik $R=8$ için inelastik deplasman oranları



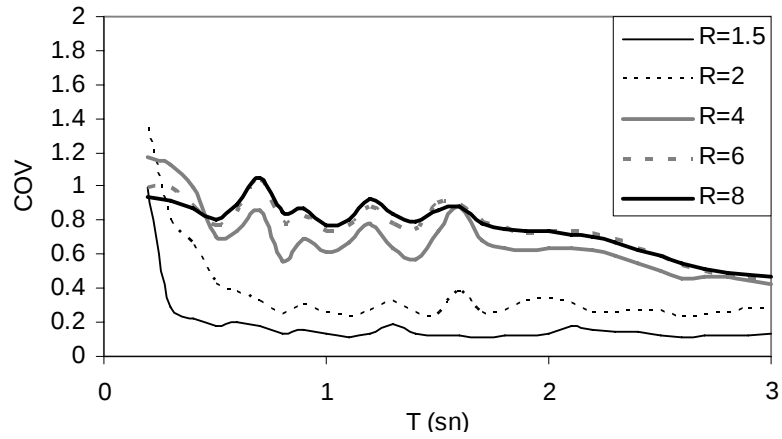
Şekil 5.6. İvme tesirli bölge sınırı ve zemin karakteristik periyot ile normalize edilmiş C_R değerleri



Şekil 5.7. Kayıt ve maksimum hız yönleri PGV ilişkisi

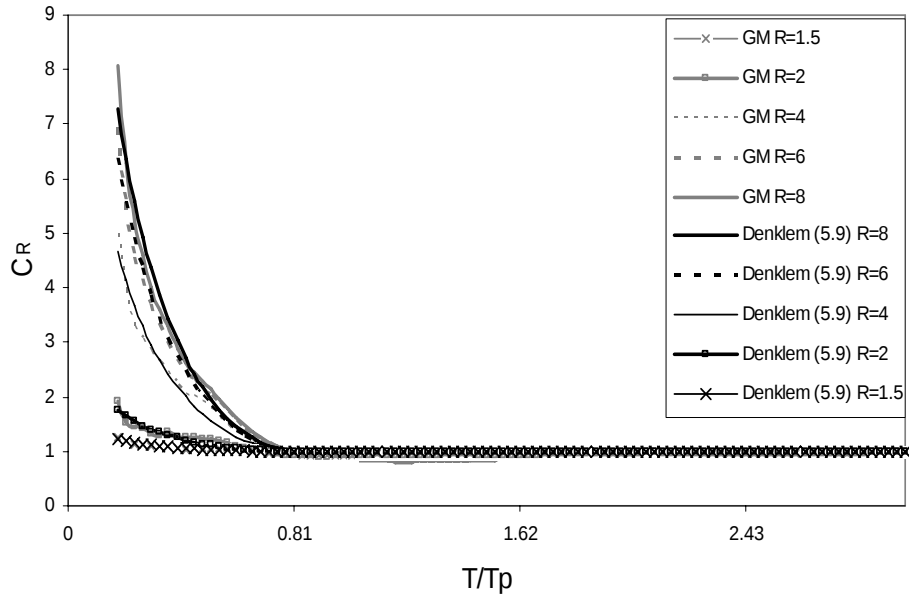


a)

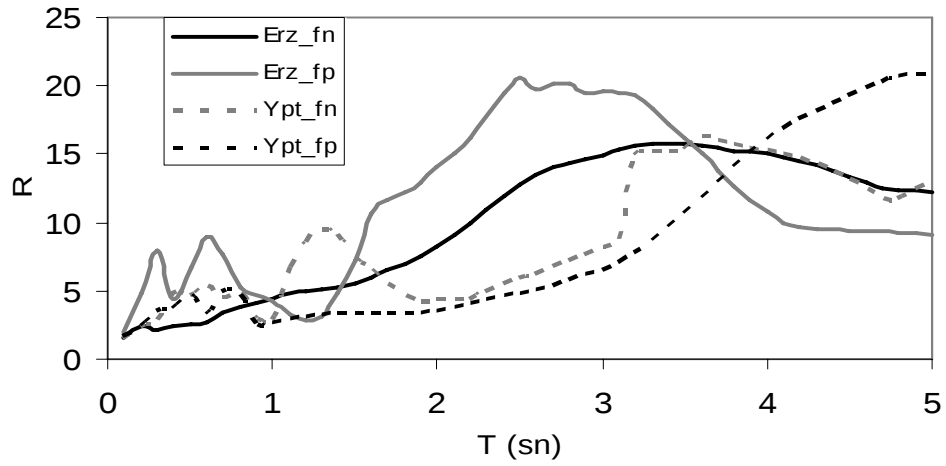


b)

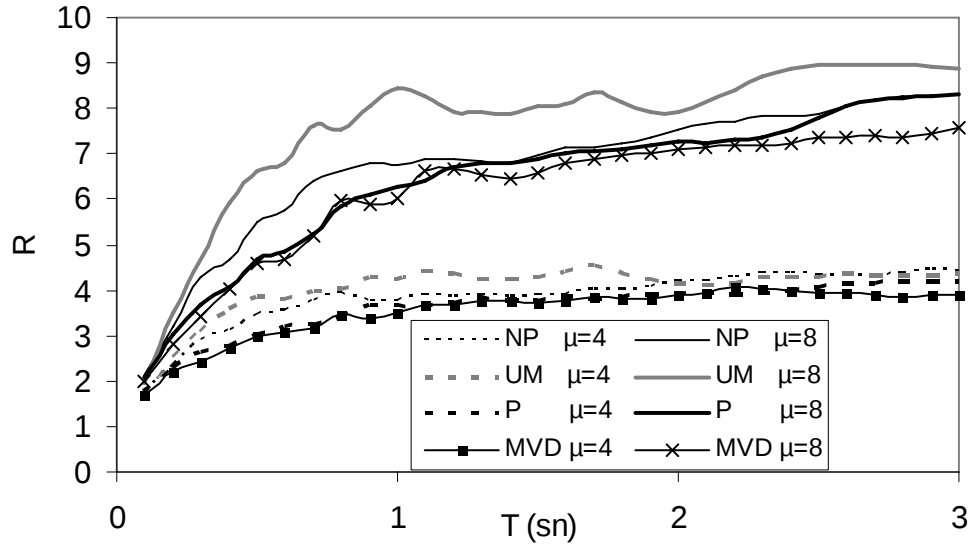
Şekil 5.8. Maksimum hız yönü kayıtları (a) ortalama inelastik deplasman oranları ve (b) değişim katsayıları (COV)



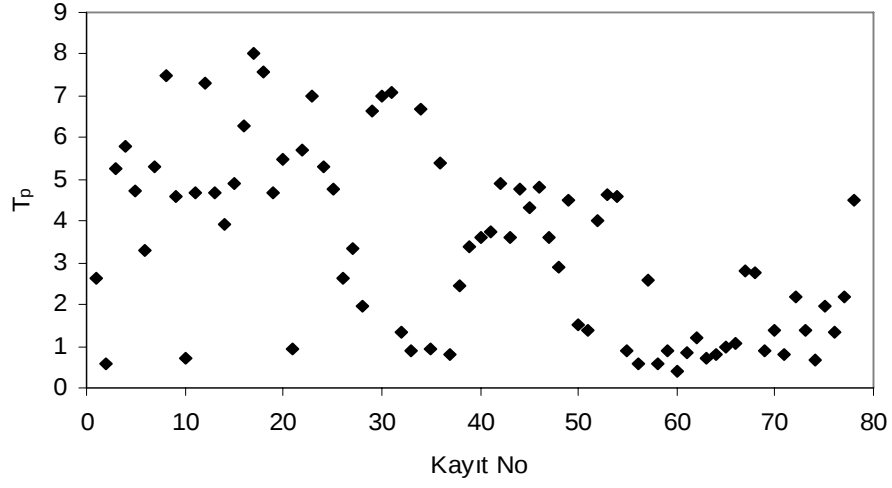
Şekil 5.9. Gerçek inelastik deplasman oranlarının elde edilen yeni denklem sonuçları ile karşılaştırılması



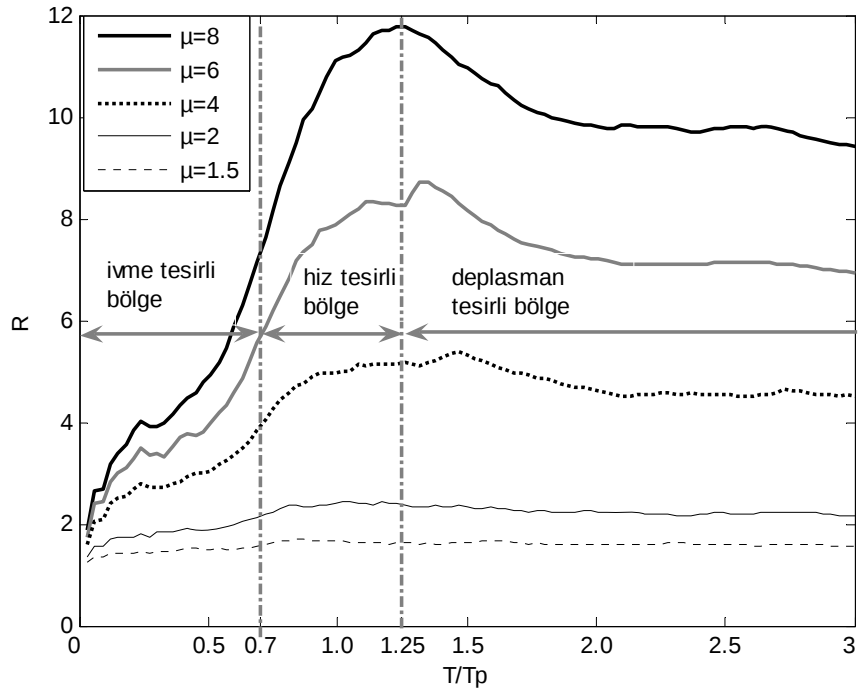
Şekil 5.10. Erzincan ve Yarımcı faya normal ve paralel yönleri kuvvet azaltma katsayı spektrumu ($\mu=8$)



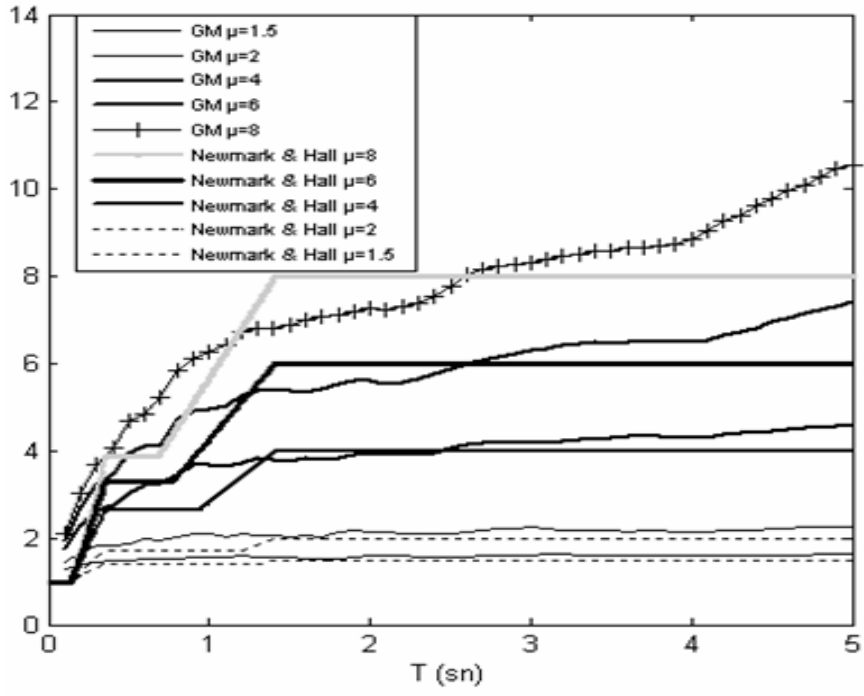
Şekil 5.11. Uzak mesafe (UM), atım içeren yakın fay (P), atım içermeyen yakın fay (NP) ve maksimum hız yönü (MVD) kayıtlarının ortalama kuvvet azaltma oranı spektrumları



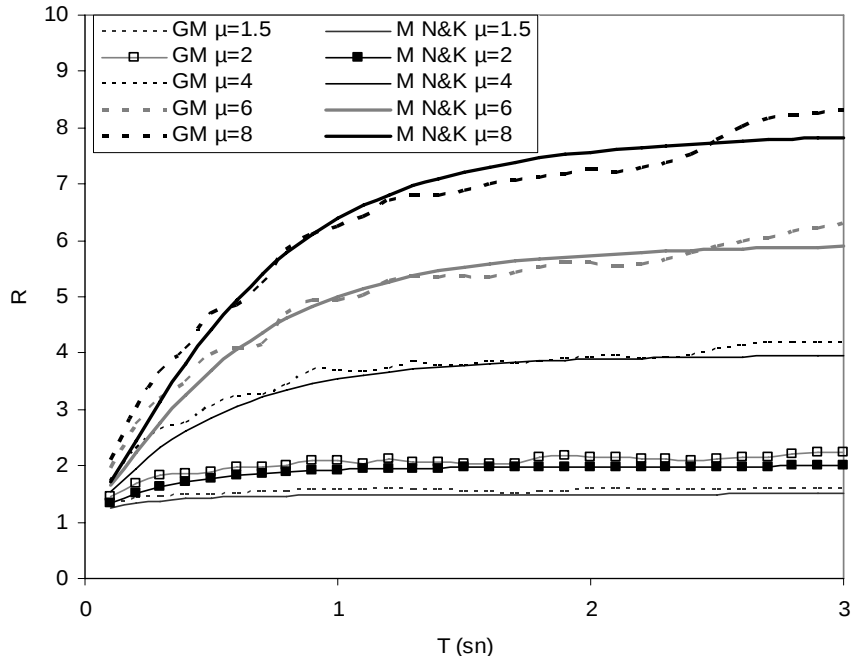
Şekil 5.12. Maksimum hız yönü kayıtlarının atım periyotları



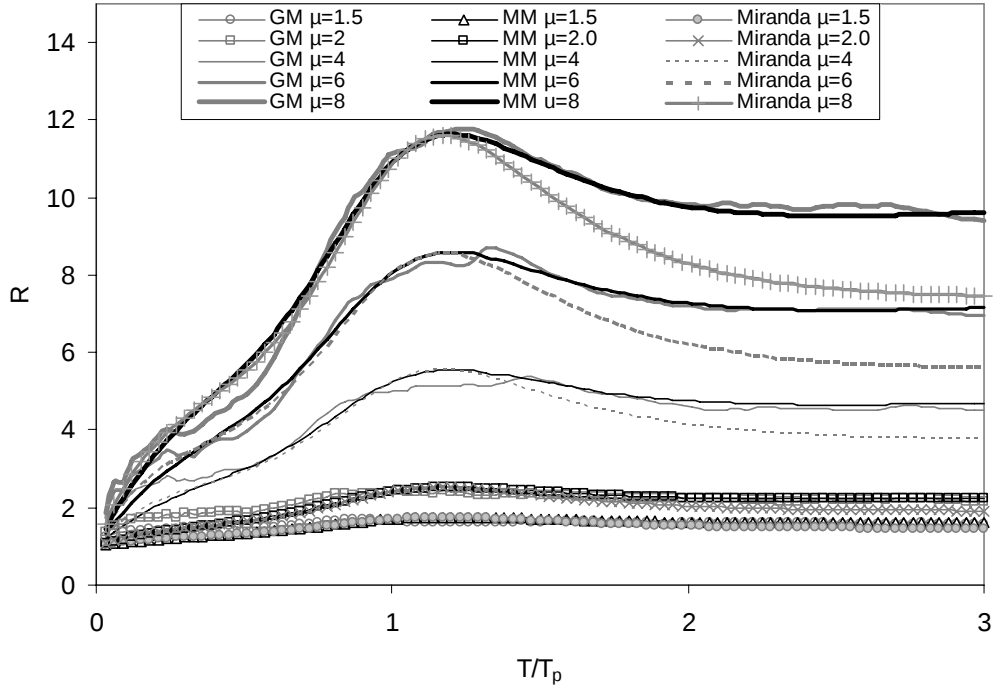
Şekil 5.13. Maksimum hız yönü kayıtlarının atım periyodu ile normalize edilmiş kuvvet azaltma spektrumları



Şekil 5.14. Newmark ve Hall [52] kuvvet azaltma faktörlerinin maksimum hız yönü kayıtlarına uygulanması



Şekil 5.15. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin ve geliştirilmiş Krawinkler & Nassar [52] kuvvet azaltma faktörü spektrumları



Şekil 5.16. Miranda [53], geliştirilmiş Miranda (MM) ve maksimum hız yönü kayıtlarının ortalama kuvvet azaltma faktörü spektrumları

Tablo 5.2. Maksimum Hız Yönüne çevrilen doğrultu etkili yakın fay kayıtları

No	Depremin adı	Kayıt	Moment B.	d (km)	Epi-d (km)	NEHRP	PGA (g)	PGV (cm/sn)	PGD (cm)	Tp (sn)
1	Cape Mendocino 25/04/92	PET	7.1	9.5	15.9	Sd	0.7086	98.08	34.12	2.64
2	Cape Mendocino 25/04/92	RIO	7.1	18.5	23.7	Sc	0.3714	51.45	12.12	0.57
3	ChiChi 20/09/99	TCU048	7.6	14.38	41.4	Sc	0.1825	48.85	44.04	5.26
4	ChiChi 20/09/100	TCU052	7.6	0.24	37.9	Sd	0.4633	179.46	279.99	5.8
5	ChiChi 20/09/101	TCU065	7.6	0.98	24.6	Sd	0.8483	133.64	94.5	4.71
6	ChiChi 20/09/102	TCU102	7.6	1.79	43.8	Sd	0.2889	117.67	93.63	3.31
7	ChiChi 20/09/104	TCU075	7.6	1.49	18.4	Sd	0.3313	88.57	86.85	5.29
8	ChiChi 20/09/105	TCU136	7.6	8.97	46.8	Sc	0.1563	61.42	78.9	7.5
9	ChiChi 20/09/106	TCU120	7.6	8.1	23.2	Sc	0.228	63.21	54.22	4.6
10	ChiChi 20/09/107	TCU079	7.6	10.04	9.9	Sd	0.7047	63.43	11.35	0.71
11	ChiChi 20/09/108	CHY101	7.6	11.14	30.9	Sd	0.4413	115.04	68.73	4.7
12	ChiChi 20/09/109	TCU128	7.6	9.7	61.7	Sc	0.1747	80.2	98.68	7.3
13	ChiChi 20/09/110	TCU063	7.6	10.39	33.2	Sd	0.165	84.72	64.68	4.66
14	ChiChi 20/09/111	WGK	7.6	11.14	30.9	Sd	0.3595	78.22	61.83	3.94
15	ChiChi 20/09/112	TCU049	7.6	4.48	37	Sd	0.2304	65.77	57.19	4.905
16	ChiChi 20/09/113	TCU087	7.6	3.1	54.1	Sc	0.0937	53.89	63.23	6.29
17	ChiChi 20/09/114	TCU103	7.6	4.01	50.7	Sd	0.1322	62.18	85.26	8
18	ChiChi 20/09/115	TCU101	7.6	2.94	43.3	Sd	0.2161	68.4	72.32	7.56
19	ChiChi 20/09/116	TCU	7.6	5.73	34.2	Sd	0.1842	48.05	36.79	4.66
20	ChiChi 20/09/117	NSY	7.6	9.7	61.7	Sc	0.1226	57.55	45.09	5.48
21	ChiChi 20/09/118	CHY080	7.6	6.95	31.7	Sc	1.2238	128.4	25.84	0.93
22	ChiChi 20/09/119	TCU061	7.6	17.75	17.2	Sd	0.1403	44.68	41.63	5.71
23	ChiChi 20/09/120	TCU059	7.6	17.84	51.2	Sd	0.1264	61.89	68.54	6.98
24	ChiChi 20/09/121	TCU039	7.6	16.7	70	Sc	0.2142	60.78	52.2	5.29
25	ChiChi 20/09/122	TCU036	7.6	16.69	66	Sd	0.1467	69.31	59.97	4.78
26	ChiChi 20/09/123	TCU110	7.6	12.56	26	Se	0.2009	70.17	47.96	2.62

Tablo 5.2'nin devamı

27	ChiChi 20/09/124	TCU109	7.6	13.09	34	Sd	0.1945	59.35	49.67	3.34
28	ChiChi 20/09/125	CHY006	7.6	14.93	39.9	Sd	0.3109	65.99	19.14	1.95
29	ChiChi 20/09/126	TCU082	7.6	5.73	34.2	Sd	0.1779	68.97	66.84	6.63
30	ChiChi 20/09/127	TCU054	7.6	5.92	35.7	Sd	0.1847	61.69	64.98	6.98
31	ChiChi 20/09/128	TCU053	7.6	6.69	39.2	Sd	0.1739	48.69	54.79	7.1
32	ChiChi 20/09/129	CHY035	7.6	18.12	43.6	Sd	0.2528	45.6	12.17	1.35
33	ChiChi 20/09/130	CHY028	7.6	7.31	32.1	Sd	0.7431	93.67	21.02	0.87
34	ChiChi 20/09/131	TCU104	7.6	13.64	47.2	Sc	0.1075	50.74	58.96	6.69
35	Coyota Lake 06/08/79	G06230	7.6	3.1	9.7	Sc	0.4548	51.55	7.12	0.925
36	Duzce 12/11/99	DUZCE	7.1	8.2	9.3	Sd	0.5443	87.41	56.27	5.37
37	Duzce 12/11/100	BOLU	7.1	17.6	6.1	Sd	0.8768	63.62	13.24	0.81
38	Erzincan 13/03/92	ERZ	6.9	2	15	Sd	0.4895	95.58	32.02	2.46
39	Imperial Valley 15/10/79	H-EMO	6.5	0.5	21.5	Sd	0.3781	115.07	40.29	3.37
40	Imperial Valley 15/10/80	H-E05	6.5	1	30.4	Sd	0.369	92.89	57.02	3.6
41	Imperial Valley 15/10/81	H-E07	6.5	0.6	29.4	Sd	0.4621	109.44	43.67	3.752
42	Imperial Valley 15/10/82	HECC	6.5	7.6	29.5	Sd	0.2344	68.78	39.53	4.91
43	Imperial Valley 15/10/83	H-E06	6.5	1	29.8	Sd	0.4332	117.39	68.09	3.63
44	Imperial Valley 15/10/84	H-EO4	6.5	4.2	29.7	Sd	0.3443	81.88	55.48	4.77
45	Imperial Valley 15/10/85	H-HVP	6.5	7.5	20.16	Sd	0.2183	69.35	39.55	4.34
46	Imperial Valley 15/10/86	H-E10	6.5	8.6	29.8	Sd	0.1914	51.54	27.29	4.81
47	Imperial Valley 15/10/87	H-BRA	6.5	8.5	46.3	Sd	0.2136	45.05	16.42	3.6
48	Imperial Valley 15/10/88	H-E03	6.5	9.3	31.7	Se	0.2632	54.67	26.2	2.88
49	Imperial Valley 15/10/89	H-EDA	6.5	5.3	28.7	Sd	0.3464	71.32	45.84	4.5
50	Kobe 16/01/95	TAK	6.9	0.3	13.2	Se	0.6908	169.88	45	1.5
51	Kobe 16/01/95	KJM	6.9	0.6	26	Sc	0.8528	95.82	24.39	1.39
52	Kocaeli 17/08/99	YPT	7.4	2.6	15	Sd	0.3171	72.94	56.6	4.01

Tablo 5.2'nin devamı

53	Kocaeli 17/08/100	GBZ	7.4	17	38.6	Sb	0.1835	56.46	47.83	4.655
54	Landers 28/06/92	Lucerne	7.3	1.1	42	Sb	0.7174	97.85	70.42	4.6
55	Loma Prieta 18/10/89	STG-WVC	6.9	13.7	4.1	Sc	0.4161	74.74	28.78	0.9
56	Loma Prieta 18/10/90	CLS	6.9	5.1	6.9	Sc	0.6505	56	9.16	0.6
57	Loma Prieta 18/10/91	STG	6.9	13	27.4	Sc	0.3505	55.95	30.6	2.6
58	Loma Prieta 18/10/92	BRN	6.9	10.3	8.5	Sb	0.6454	54.56	6.46	0.6
59	Loma Prieta 18/10/93	G03000	6.9	14.4	31.1	Sd	0.5212	49.71	12.84	0.89
60	Loma Prieta 18/10/94	G01	6.9	11.2	28.4	Sb	0.4292	38.58	7.15	0.4
61	Morgall Hill 24/04/84	CYC	6.2	0.1	24.1	Sb	1.2768	81.1	8.62	0.85
62	Morgall Hill 24/04/85	MUL	6.7	19.6	12.7	Sc	0.511	76.53	16.21	1.204
63	Northridge 17/01/94	PKC	6.7	8.2	17.6	Sc	0.521	56.29	11.78	0.71
64	Northridge 17/01/95	LOS	6.7	13	25.7	Sd	0.5311	56.68	9.19	0.815
65	Northridge 17/01/96	ARL	6.7	9.2	9.9	Sc	0.3473	40.79	14.09	0.97
66	Northridge 17/01/97	SPV	6.7	8.9	13.8	Sd	0.7243	85.71	20.6	1.08
67	Northridge 17/01/98	WPI	6.7	7.1	21.6	Sc	0.4653	93.82	56.06	2.8
68	Northridge 17/01/99	JEN	6.7	6.2	12.2	Sd	0.43	106.08	42.55	2.78
69	Northridge 17/01/100	PUL	6.7	8	19.3	Sb	1.3666	107	23.06	0.91
70	Northridge 17/01/101	RRS	6.7	7.1	9.9	Sd	0.8876	173.06	31.2	1.36
71	Northridge 17/01/102	TAR	6.7	17.5	5.5	Sc	1.7326	109.76	34.06	0.79
72	Northridge 17/01/103	SYL	6.7	6.4	15.8	Sd	0.8325	131.69	33.01	2.2
73	N.Palm Spring 08/07/86	NPS	6	8.2	10.3	Sc	0.6399	73.89	11.78	1.362
74	N.Palm Spring 08/07/87	WWT	6	7.3	4.5	Sb	0.5218	35.89	5.69	0.69
75	N.Palm Spring 08/07/88	MVH	6	10.1	6.2	Sc	0.2148	41.16	15.13	1.98
76	San Fernando 09/02/71	PCD	6.6	2.8	8.5	Sc	1.3026	118.8	33.83	1.32
77	Superstition Hills 24/11/87	B-PTS	6.7	0.7	15.8	Sc	0.4991	115.9	54.24	2.2
78	Tabas 16/09/78	TAB	7.4	1.2	3	Sd	0.8552	122.19	92.49	4.52

Epi_d: Kayıt istasyonunun epicenter mesafesine olan uzaklığı, *italik* değerler Wang ve diğerleri (2002), diğerleri Cosmos veri tabanından alınmıştır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel amacı yakın fay yer hareketlerinin hasar potansiyellerinin belirlenmesi ve performansa dayalı tasarıma uyarlamalarının yapılmasıdır. Yakın fay yer hareketleri uzak mesafe yer hareketlerine göre önemli farklılıklar içermektedir. Yüksek hız değeri, ileri doğrultu atımı ve ötelenme etkisi bu özelliklerden en önemlilerindendir. Bunların arasında ileri doğrultu etkisi en yüksek hasara neden olan özelliğidir.

Yapılarda belirli deprem riskleri altında istenilen güvenlik düzeyinin sağlanması elastik yöntemlerin dışında basitleştirilmiş inelastik yöntemlerin ön plana çıkmasını sağlamıştır. Son depremler belirlenen yanal kuvvetlerin yapılara taşıttırılması kadar yer hareketlerinin deplasman taleplerinin de yapı tarafından güvenle sağlanmasının önemli olduğunu göstermiştir. Bu temel yaklaşım performansa dayalı tasarımın ana ilkelerini oluşturmaktadır.

Yer hareketlerinin özellikleri ile yapılarda meydana getirdikleri deplasman, kuvvet, enerji v.b. talepler arasındaki ilişkinin belirlenmesi, güvenli bir tasarım bakımından, önemlidir. İvme ve ivme esaslı parametreler yer hareketlerinin şiddetlerinin belirlenebilmesi için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Ancak sürekli büyük ivme değerleri yapılarda büyük hasar meydana getirmemektedir.

Bu çalışmada atım içeren, atım içermeyen ve uzak mesafe yer hareketlerinin özellikleri ile yapısal talepleri aralarındaki ilişki detaylıca incelenmiş ve aşağıda verilen temel sonuçlar elde edilmiştir.

- Yakın fay yer hareketlerinin ivme tesirli bölgeleri uzak mesafe yer hareketlerine göre daha uzundur. Geçmiş çalışmalarda verildiği gibi ivme tesirli bölge sınırı, T_c , ile V/A oranı arasındaki ilişki yakın fay yer hareketlerinde oldukça zayıftır. Buna karşın uzak mesafe yer hareketlerinde ise bu ilişki iyi sayılabilecek düzeydedir. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinde T_c - V/A arasındaki korelasyon 0.3089'dur.
- Yakın fay yer hareketlerinin hız tesirli bölgeleri kısadır. Atım içeren yer hareketlerinin hız tesirli bölgeleri atım içermeyenlere göre daha kısadır. D/V oranı hız tesirli bölge sınırı, T_d , ile atım içeren ve içermeyen yakın fay hareketlerinde iyi bir korelasyona sahiptir. Ancak bu korelasyon uzak mesafe yer hareketleri için azalmaktadır.

- İleri doğrultu etkisi içeren yakın fay yer hareketlerinde atım periyodu, T_p , tesir bölge sınırlarının temel belirleyicisidir. Geçmiş çalışmalar yakın fay yer hareketlerinin hız tesirli bölgelerinin kısa olduğunu saptamıştır. Bu çalışmada hız tesirli bölge uzunluğunun atım periyodu ile doğru orantılı olarak genişlediği tespit edilmiştir. Büyük atım periyotlu yer hareketlerinin hız tesirli bölgeleri de uzun olmaktadır. İvme ve hız tesirli bölge sınırları ile atım periyodu arasında yüksek korelasyonlu (0.87) fakat basit ve uygulanabilir bir ilişki tespit edilmiştir. Bu şekilde yakın fay yer hareketlerinin tasarım spektrumu dönüşüm periyotlarının belirlenmesi basitleştirilmiştir.
- UBC97 yakın fay yer hareketleri için ivme ve hız bölge çarpanları vermektedir. Bu çarpanlar kullanılarak elde edilen ivme tesirli bölge sınırı büyük atımlı yer hareketleri için küçük kalmaktadır. Örneğin 7 moment büyüklüğünde bir yer hareketi ortalama 2.5 sn uzunluğunda atım periyodu meydana getirebilir. Bu durumda ivme tesirli bölge genişliği 1.75 sn olmaktadır. Buna karşın UBC97'nin faya 2 km mesafe ve S_E grubu zeminler için verdiği ivme tesirli bölge sınırı 1.4 sn'dir.
- Tesir bölgeleri yer hareketlerinin ölçeklendirilmesinde de belirleyici olmaktadır. Yer hareketlerinin ölçeklendirilmesinin temel amacı dağılımı azaltmaktır. Ölçeklendirme parametresinin özelliğe göre dağılım azalmaktadır. Ölçeklendirme parametresi ivme esaslı ise küçük periyotlarda, hız esaslı ise orta periyotlarda ve deplasman esaslı ise büyük periyotlarda dağılım azalmaktadır.
- Kullanılan data setlerine bağlı olarak PGA ile talep parametresi olan spektral deplasman arasındaki ilişki zayıftır. Bütün yer hareketlerinde PGA ile spektral deplasman arasındaki ilişki elastik ötesi davranış kapasitesi artıkça azalmaktadır.
- Bütün yer hareketlerinde PGV ile spektral deplasman arasındaki ilişki orta periyotlarda yüksektir. Ancak büyük periyotlarda bu korelasyon azalmaktadır. Elastik ve elastik ötesi yakın davranışlarda PGV orta periyotlarda iyi korelasyon verirken, elastik ötesi davranış kapasitesinin artması ile bu korelasyon küçük periyotlara doğru kaymaktadır. PGV yakın fay ve uzak mesafe yer hareketleri için iyi bir şiddet parametresidir.

- PGD ile spektral deplasman arasındaki ilişki bütün yer hareketlerinde küçük ve orta periyotlarda sifıra yakın korelasyona sahipken büyük periyotlarda daha yüksek korelasyona sahiptir.
- PGA, PGV ve PGD şiddet parametrelerinin talep parametreleri ile ilişkisini belirleyen en önemli faktörlerden biri efektif periyottur. Maksimum elastik ötesi deplasmana elastik davranışla ulaşabilecek başlangıç rijitliği ile elde edilen efektif periyot bulunduğu şiddet parametreleri ile talep parametreleri arasındaki ilişkiyi belirlemektedir.
- V/A oranı yer hareketlerinin hasar potansiyellerini belirleyen bir parametre olarak bilinmesine rağmen bu çalışma kapsamında elde edilen korelasyon değerleri orta düzeydedir. Bu parametrenin küçük periyotlarda etkinliği oldukça zayıftır. İvme tesirli bölge sınırı bu parametrenin küçük periyotlarda etkinliğinin belirlenmesinde önemlidir. Uzak mesafe yer hareketlerinde V/A şiddet parametresinin ivme tesirli bölgede etkinliğinin belirlenmesi kısa ivme tesirli bölge nedeniyle çok belirgin değildir. Ancak ivme tesirli bölge sınırının uzun olduğu atım içeren yakın fay yer hareketlerinde bu ilişki daha kolay görülmektedir.
- Spektral ivme, büyük R değerleri için, yakın mesafe yer hareketlerinde küçük ve orta periyotlarda iyi sonuç vermemektedir. Uzak mesafe yer hareketlerinde ise küçük ve orta periyotlarda elde edilen korelasyonlar yakın fay yer hareketlerine oranla daha yüksektir.
- Elastik veya elastığe yakın davranışlarda EPV şiddet parametresi spektral deplasman üzerinde 0.8-1.2 sn periyotları arasında etkilidir. Ancak elastik ötesi davranış kapasitesinin artması ile efektif periyot büyümekte ve EPV'nin etkinliği daha küçük periyotlara kaymaktadır.
- Göreli kat ötelenmesi spektrum şiddetinin spektral deplasman üzerindeki etkinliği PGV'ye benzerdir ve elde edilen sonuçlar PGV'den daha düşük değildir.
- Atım içeren yakın fay yer hareketlerinde hız-zaman kaydında ki atım alanı ile spektral deplasman arasındaki ilişki PGD gibi küçük ve orta periyotlarda etkinliği düşüktür.

- Yakın fay yer hareketlerinde ileri doğrultu etki fayın kırılma yüzeyine normal yönde meydana gelir. Fiziki nedenlerle birçok kayıt istasyonunun faya normal ve paralel yönlerinin belirlenmesi çok zor olmaktadır. Bu durumda yer hareketinin en etkili yönlerinin tespit edilmesi önem kazanmaktadır. Geçmiş çalışmalarda maksimum hız yönü önerilmiştir. Bu çalışmada maksimum hız yönünün en etkili yönlerden biri olduğu gösterilmiştir. Ancak küçük periyotlarda maksimum ivme yönü daha etkili olmaktadır. Bu etkinliğin genişliği atım periyoduna bağlı olarak artmakta veya küçülmektedir. İleri doğrultu etkisi 0.7 sn ve daha büyük periyotlarda görüldüğü için küçük atım periyotlu yer hareketlerinde bu farklılık önemli olmamaktadır. Ancak büyük atım periyotlu yer hareketlerinde bu farklılık daha büyük histeretik enerji talebi oluşturmaktadır.
- Geçmiş çalışmalarda belirlenen ve bu çalışma kapsamında geliştirilen GKÖŞŞ yakın fay yer hareketlerinin şiddetlerini belirleyen önemli bir parametredir. Maksimum GKÖŞŞ ve maksimum spektral hız yönleri bu çalışmada tespit edilen ve maksimum hız yönü kadar etkili olan yönlerdendir.
- İn elastik deplasman (deplasman modifikasyon) oranı nonlineer statik yöntemlerde yer hareketi deplasman talebinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Günümüze kadar geliştirilen inelastik deplasman oranı ifadeleri uzak mesafe yer hareketleri içindir. Sınırlı sayıda çalışma yakın fay yer hareketleri için yapılmıştır. Ancak yapılan çalışmalar atım içeren yakın fay yer hareketlerinin deplasman taleplerinin belirlenmesinde yeterli olmamaktadır. Bu çalışmada inelastik deplasman oranının atım periyoduna bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Bu önemli bulgudan faydalanan yakın fay yer hareketleri için yeni bir inelastik deplasman oranı ifadesi elde edilmiştir. Elde edilen yeni ifade FEMA356, TDY07 ve FEMA440 inelastik deplasman oranı ifadelerinin aksine ortalama değerlerle çok yüksek ($R^2=0.98$) bir korelasyona sahiptir.
- Yakın fay yer hareketlerinin kuvvet azaltma faktörleri diğer yer hareketlerine göre düşüktür. Bu düşüklük aynı süneklilik oranlarında yakın fay yer hareketlerinin daha yüksek kuvvet talebi gerektirdiklerini göstermektedir. Günümüze kuvvet azaltma faktörleri için bir çok çalışma yapılmıştır. Ancak bunlardan sınırlı sayıda çalışma

yakın fay etkilerini irdelenmiştir. Bu çalışmada ileri doğrultu etkisiyle meydana gelen atım periyodunun kuvvet azaltma faktörü spektral değişimini belirlediği tespit edilmiştir. Atım içeren yakın fay yer hareketlerinin kuvvet azaltma faktörleri ivme tesirli bölge sınırına kadar çok küçüktür. Bu nedenle mevcut yönetmelikler kuvvet azaltma faktörlerinin doğru tanımlanmasında yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada birçok kuvvet azaltma faktörü irdelenmiş ve bunlardan biri yakın fay bölgelerinde uygulamak amacıyla geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Stewart, J.P., ve diğerleri, 2001, Ground motion evaluation procedures for performance based design, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Peer Report 2001/09, University of California, Berkeley.
- [2] Mavroeidis, G.P., ve Papageorgiou, A.S., 2003, A mathematical representation of near-fault ground motions, Bulletin of Seismological Society of America, Vol.93, No.3, pp.1099-1131.
- [3] Hamburger, R.O., 2004, Development of next- generation performance-based seismic design guidelines, Proceedings of an International Workshop Of Performance –Based Seismic Design Concept and Implementation, pp.89-100.
- [4] Deierlein, G.G., 2004, Overview of comprehensive framework for earthquake performance assessment, Proceedings of an International Workshop Of Performance –Based Seismic Design Concept and Implementation, pp.15-26.
- [5] Alavi, B., 2001, Effects of near-fault ground motions on frame structures, PhD thesis, Department of Civil and Environmental Engineering Stanford University.
- [6] Singh, J. P., 1995, Characterization of ground motion for severity and damage potential, Seismic Engineering Issues, California
- [7] Hall, J.F., ve diğerleri, 1995, Near-source ground motion and effects on flexible buildings, Earthquake Spectra, Vol.11, No.4.
- [8] Iwan, W.D., 1995, Drift demand spectra for spectra for selected Northridge sites, SAC Final Rep., Earthquake Eng. Res. Lab. Rep. No. 95-07, California Inst. Of Technol. Pasadena, California

- [9] Boore, D.M., 1999, Effect of baseline corrections on response spectra for two recordings of the 1999 Chi-Chi, Taiwan ,Earthquake, USGS, Open file Report 99-545.
- [10] Iwan,W.D., 1997, Drift spectrum: Measure of demand for earthquake ground motions, Journal Of Structural Engineering , 397-404.
- [11] Somerville, P.G., ve Smith, N.F., 1997, Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity, Seismological Research Letters, Vol.68,199-222.
- [12] Malhotra, P.K., 1999, Response of buildings to near-field pulse-like ground motions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 28 ,1309-1326.
- [13] Macrea, G.A., ve diğerleri, 2001, Near-fault ground motion effects on simple structures, Journal Of Structural Engineering, pp.996-1004.
- [14] Gülkan, P., ve Akkar, S., 2003, Demand and capacity requirement implication from near-fault ground motions,5th National Conference on Earthquake Engineering ,26-30 May 2003,İstanbul,Turkey.
- [15] Bray, D.J., 2004, Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24.815-824.
- [16] Akkar, S., ve Gülkan,P., 2000, Comparative performance evaluation of displacement based design procedures for near field earthquakes, 12th,World Earthquake Engineering Conference.
- [17] Somerville, P., 2000, Characterization of near-fault ground motion,U.S.-Japan Workshop on the Effects of Near-Field Earthquake Shaking, San Francisco, California.
- [18] Abrahamson , N.,2001, Near fault ground motions, Pacific Gas & Electric Company,

- [19] Mavroeidis, G.P., ve Papageorgiou, A.S., 2003, A mathematical representation of near-fault ground motions, Bulletin of Seismological Society of America, Vol.93, No.3, pp.1099-1131.
- [20] Housh, C.T., ve Cheng, S.S., 2000, Near-Field characteristics and engineering implication of the 1999 Chi-Chi earthquake, Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Vol.2, Number1, pp.23 -41
- [21] Courant, R., ve Hilbert, D., 1962, Methods of mathematical physics, Vol 2, Wiley (Interscience), New York, 1962
- [22] Trifunac, M.D., ve Brady, A.G., 1975, A study on the duration of strong earthquake ground motion, Bull. Seism. Soc. Am.65, 581-626.
- [23] Nurtuğ, A. ve Sucuoğlu, H., 1995, Prediction of seismic energy dissipation in SDOF system, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 24:1215-1223.
- [24] Karim, K.R. ve Yamazaki, F., 2001, Effect of earthquake ground motions on fragility curves of highway bridge piers based on numerical simulation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 30:1839-1856.
- [25] Bray, J.D., ve Marek, D., 2004, Characteristics of forward directivity ground motions in the near fault region” Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol24, pp. 815-825
- [26] Mackie, K., ve B. Stojadinovic (Nov/Dec 2001). Probabilistic Seismic Demand Model for California Highway Bridges. J. Bridge Engrg. 6(6), ASCE.
- [27] Pacific earthquake engineering research center, strong motion database, <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>
- [28] Chopra, A.K., 1995, Dynamics of structures, Published by Prentice Hall.

- [29] Chopra, A.K., ve Chintanapakdee, C., 2001, Comparing response of SDE systems to near-fault and far-fault earthquake motions in the context of spectral regions, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30:1769-1789.
- [30] International conference of buildings officials, Uniform building code, Whittier, CA, 1997.
- [31] Sang., W. H., ve Chopra, A.K, 2006, Approximate incremental dynamic analysis using the modal pushover analysis procedure, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* Vol 35., pp 1853-1873.
- [32] Shome, N., 1999, Probabilistic seismic design analysis of nonlinear structures, Phd Thesis, Department of civil engineering, Stanford university.
- [33] Baker. J., 2005, Vector valued ground motion intensity measures for probabilistic seismic demand analysis, Phd Thesis, Department of civil engineering, Stanford university.
- [34] Kurama, Y.C., ve Farrow, K.T, 2003, Ground motion scaling methods for different site conditions and structures characteristics, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol 32, pp. 2425-2450
- [35] King, S.A., ve diğerleri, 2005, Correlation of observed building performance with measured ground motion, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No:148, Stanford
- [36] Vamvatsikos, D., ve Cornell, C.A, 2002, Incremental dynamics analysis, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol 31, pp. 491-514
- [37] Bertero, V.V., ve Gilmore, A.T., 1994, Use of energy concepts in earthquake-resistant analysis and design: Issues and future directions, Univ. of California at Berkeley.

- [38] Akkar, S.D. ve Miranda , E., 2005, Statically evaluation and approximate methods for estimating maximum deformation demands on existing structures, *Journal Of Structural Engineering*, 131,No.1.
- [39] Yamazaki, F. ve Molas, G.L., 1995, Neural Networks for quick earthquake damage estimation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 24, 505-516.
- [40] Campbell, W.K, ve Bozorgnia, Y, 2006, Campbell-Bozorgnia NGA empirical ground motion model for the average horizontal component of PGA, PGV, PGD and SA at selected spectral periods ranging from 0.01-10.0 seconds, Pacific Earthquake Research Center, University of California, Berkeley, USA
- [41] Bouchon, M., ve diğerleri, 2001, How fast is rupture during an earthquake? New insights from the 1999 Turkey earthquakes, *Geophys. Res. Lett.* **28**, 2723-2726.
- [42] Ghayamghamin, M.R., 2007, Directional damage due to near-fault and site effects in the m6.4 Changureh-Ajav eartquake of 22 June 2002, *Journal of Seismology* 11:39-57.
- [43] Chopra, A.K., ve Chintanapakdee, C., 2003, Inelastic deformation ratios for design and evaluation of structures : Single –degree -of –freedom bilinear systems, *Earthquake Engineering Research Centers Report*, Reports No:2003-09, University of California, Berkeley.
- [44] FEMA-356, 2000, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, American Society of Civil Engineers, Prepared for, Federal Emergency Management Agency, Washington ,D.C.
- [45] FEMA-440, 2004, Improement of nonlinear static seismic analysis procedures, Prepared for, Federal Emergency Management Agency, Washington ,D.C.
-
- [46] Applied Technology Council, 1996, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings ,Report ATC-40, Applied Technology Council, Redwood City, California.

- [47] Chopra, A.K., 2004, Estimating seismic demands for performance –based engineering of buildings, 13th, Conference on World Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, pp.5007.
- [48] TDY-07,2007, Afet bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik,Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- [49] Miranda, E., ve Garcia, J.R., 2003, Inelastic displacement ratios for evaluation of existing structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32:1237-1258.
- [50] Miranda ,E., 2000, Inelastic displacement ratios for displacement-based earthquake resistance design, 12th, World Earthquake Engineering Conference.
- [51] Baez., J.I, ve Miranda, A.E., 2000, Amplification factors to estimate inelastic displacement demands for the design of structures in the near field, 12th,World Earthquake Engineering Conference.
- [52] Newmark, N.M., ve Hall, W.J., 1982, Earthquake spectra and design , Earthquake Engineering Research Institute: Berkeley CA, pp.103.
- [53] Miranda, E., ve Bertero, V.V., 1994, Evaluation of strength reduction factors for earthquake–resistant design, Earthquake Spectra, Vol.10, No.2.
- [54] Krawinkler, H., ve Nassar, A.A., 1992, Seismic design based on ductility and cumulative damage demand and capacities, Nonlinear Seismic Analysis and Design of Reinforced Concrete Buildings, pp.23-39.
- [55] Somerville, P.G., 2000, Magnitude scaling of near fault ground motions, Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Vol.2, Number2, pp.15-24.
- [56] Alavi, B., ve H. Krawinkler, 2000. Design considerations for near-fault ground motions. Proceedings of the U.S. – Japan Workshop on the Effects of Near-Fault Earthquake Shaking, San Francisco, March 20-21.

- [57] Bray, J.D., ve Marek, D., 2004, Characteristics of forward directivity ground motions in the near fault region” Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol24, pp. 815-825
- [58] Iwan, W.D., ve diğerleri, 2000, Important features of the inelastic structures to near-field ground motion, 12th World Conference Earthquake Engineering ,pp.1740.
- [59] Chopra, A.K., ve Chintanapakdee, C., 2001, Comparing response of SDE systems to near-fault and far-fault earthquake motions in the context of spectral regions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 30:1769-1789.
- [60] Campbell, K .W., 1997, Near –source attenuation relations for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity ,and pseudo-absolute acceleration response spectra, Seism. Res. Letters. 68(1), 154-179
- [61] Bozorgnia, Y., ve Bertero, V.V, 2001, Improved shaking and damage parameters for post-earthquake applications, Proceedings of the SMIP01 Seminar on Utilization of Strong-Motion Data, Los Angeles, California, Eylül 12, pp.1-22
- [62] Uang, C.M., ve Bertero, R.D., 1988, Use of energy as a design criterion in earthquake resistant design, Report no. UCB/EERC-88/18, Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley.
- [63] Fajfar, P., 1992, Equivalent ductility factors, taking into account low-cycle fatigue, Earthquake Engineering Structural Dynamics, Vol.22, pp.855-868.
- [64] Consenza, E., Manfredi, G., ve Ramasco, R., 1993, The use of damage functional in earthquake engineering : A comparison between different methods ,Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.22, pp. 855-868.
- [65] Park, Y.-J., ve Ang, A.H.-S., 1985, Mechanistic seismic damage modal for reinforced concrete, Journal Of Structural Engineering , ASCE, Vol.111, No.4, pp.722-739.

- [66] Krawinkler,H., ve Zohrei, M., 1983, Cumulative damage in steel structures subjected to earthquake ground motions, Journal on Computers and Structures,Vol.16, No.1-4, pp.531-541.
- [67] Consenza,E., ve Manfredi, G., 1992, Seismic analysis of degrading models by means of damage functions concept, Nonlinear Seismic Analysis and Design of Reinforced Concrete Buildings, pp.77-93.
- [68] Somerville , P.,2002, Characterizing near fault ground motion for the design and evaluation of bridges, 4th National Seismic Conference & Workshop on Bridge & Highways, Portland , Oregon, April 29-May 1.
- [69] Hancock, J., ve Bommer,J., 2005, The effective number of cycles of earthquake ground motion, , Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 36:637-664.
- [70] Shabestari,K.T., ve Yamazaki,F., 2003, Near-fault spatial variation in strong ground motion due to rupture directivity and hanging wall effects from the Chi-Chi, Taiwan earthquake, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32:2197-2219.
- [71] Chopra, A.K., ve Chintanapakdee, C., 2004, Inelastic deformation ratios for design and evaluation of Structures: Single-degree-of-freedom bilinear systems, , Journal Of Structural Engineering , pp.1309-1319.
- [72] Chopra, A.K., ve Chintanapakdee, C., 2003, Inelastic deformation ratios for design and evaluation of structures : Single –degree -of –freedom bilinear systems, Earthquake Engineering Research Centers Report, Reports No:2003-09, University of California, Berkeley.
- [73] Wang, L.-J., 1996, Processing of near-field earthquake accelerograms, Earthquake Engineering Research Laboratory, Report No. Eel. 96-04, Pasadena ,California.
- [74] Boore, D.M. ve diğerleri,2002, Comments on baseline correction of digital strong-motion data: Examples from the 1999 Hector Mine, California ,Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America,Vol.92,No.4, pp.1543-1560.

- [75] Gülkan, P., ve Akkar, S., 2002, A simple replacement for drift spectrum ,Engineering Structures 24 1477-1484.
- [76] Gülkan, P., ve Yazgan,U., 2005, Raised drift demands for framed buildings during near-field earthquakes, Directions in Strong Motion Instrumentation, NATO Science Series: Earth and Environmental Sciences, Vol. 58, Gülkan P. , Anderson J.G. (Eds.) p.61.
- [77] Miranda, E., ve Garcia, R., 2002, Influence of stiffness degradation on strength demands of structures built on soft soil sites, Engineering Structures 24, pp. 1271-1281.
- [78] Alimoradi, A., ve diğerleri, 2005, Fuzzy pattern classification of strong ground motions records, Journal of earthquake engineering, vol. 9, no. 3, pp. 307-332
- [79] Wald, D.J., ve diğerleri, 1999, Relation between peak ground acceleration, peak ground velocity and modified mercalli intensity in California, Earthquake spectra, vol 15, no. 3, pp. 557-564

ÖZGEÇMİŞ

Necmettin GÜNEŞ 1971 yılında Elazığ Işıkyolu köyünde doğdu. İlkokulu Işıkyolu ilkokulunda, ortaokulu ve lise eğitimini sırasıyla Elazığ Atatürk Ortaokulu ve Elazığ Teknik Lisesinde tamamladı. 1994 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1994-1997 yılları arasında aynı bölümün yapı anabilim dalında yüksek lisans yaptı. 1995-2000 yılları arasında Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2000 yılında günümüze kadar özel sektörde proje mühendisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.