

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**YER HAREKETLERİNİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN
BİNALARIN YAPISAL ENERJİ DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan KOÇ

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2017

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**YER HAREKETLERİNİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN
BİNALARIN YAPISAL ENERJİ DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gökhan KOÇ
(802121052)**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Fatih SÜTCÜ

HAZİRAN 2017

İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 802121052 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Gökhan KOÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YER HAREKETLERİNİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN BİNALARIN YAPISAL ENERJİ DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Fatih SÜTCÜ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Öğr. Gör. Dr. Zeynep TUNA DEĞER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK
Beykent Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2017**
Savunma Tarihi : **05 Haziran 2017**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında “YER HAREKETLERİNİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN BİNALARIN YAPISAL ENERJİ DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ” başlığı altında yer hareketlerinin etkilerinin incelenmesi amacıyla, gerçek ölçekli sarsma masası deneylerinde kullanılmış olan betonarme bir bina için analiz modeli oluşturulmuş ve çeşitli karakteristik özelliklere sahip yer hareketleri altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarıyla yer hareketlerinden kaynaklanan yapısal enerji girişi, enerjinin yapısal elemanlara, katlara dağılımı gibi konular araştırılmıştır.

Tez çalışmasının hazırlanması boyunca çok değerli yardımları ve tecrübesini her noktada paylaşan Öğr. Gör. Dr. Zeynep DEĞER’e, verdiği destek, bilgi paylaşımı ve yönlendirmesinden dolayı tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Fatih SÜTCÜ’ye, teşekkürü borç bilir, en içten sevgi ve saygılarımı sunarım.

Lisansüstü eğitimim süresince çok değerli deneyim ve bilgilerini paylaşan tüm hocalarıma ayrıca teşekkür ederim.

Bana her zaman en büyük desteği veren ve güvenen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2017

Gökhan Koç
(İnş. Müh.)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Enerji Esaslı Yapısal Hesap Nedir?	3
1.2 Enerji Esaslı Hesap Konusunda Mevcut Çalışmalar.....	5
1.3 Binalarda Deprem Kaynaklı Enerji Girişine Etki Eden Faktörler.....	12
1.3.1 Yer hareketi özelliklerinin enerji girişine etkileri	12
1.3.2.1 Frekans içeriği.....	12
1.3.2.2 Yer hareketinin şiddeti	13
1.3.2.3 Yer hareketinin süresi	13
1.3.2 Yapısal özelliklerin enerji girişine etkileri.....	14
1.3.2.1 Yapısal kütle (m).....	15
1.3.2.2 Yapısal periyot(T)	15
1.3.2.3 Yapısal sönüm oranı (ξ)	15
1.3.2.4 Süneklik (μ).....	15
1.3.3 Zemin özelliklerinin enerji girişine etkisi	15
2. TAM ÖLÇEKLİ SARISMA MASASI DENEYLERİ	18
2.1 E-Defense Sarsma Masası ve Deney Binaları	18
2.2 Betonarme Perdeli-Çerçevesi Yapının Özellikleri	20
2.3 Deneylerde Kullanılan Yer Hareketleri.....	23
3. YAPISAL MODELLEME VE DENEYSEL SONUÇLARLA KİYASLAMA.....	28
3.1 Perform 3D Yazılımı ve Çalışma Prensipleri.....	29
3.2 Yapısal Modelin Oluşturulması	32
3.3 Analitik Modelin Analizi ve Test Sonuçlarının Kıyaslanması.....	38
4. YER HAREKETİ ÖZELLİKLERİNİN YAPISAL ENERJİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ.....	42
4.1 Yer Hareketlerinin Özellikleri.....	43
4.2 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	52
4.3 Ölçeklendirilmiş Yer Hareketleri ile Analiz ve Sonuçlar	64
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	80
KAYNAKLAR	84
EKLER.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	137

KISALTMALAR

ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
CSI	: Computers And Structures Inc.
ÇSD-MDOF	: Çok serbestlik dereceli sistem
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DEIS	: Design Energy Input Spectra
EBD	: Energy Based Design
NCSE-94	: Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación
NIED	: National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention
NSR-98	: Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Center
PGA	: En büyük yer ivmesi
PGV	: En büyük yer hızı
PSV	: Sözde spektral ivme
JMA	: Japan Meteorological Agency
TAK	: Takatori
TSD-SDOF	: Tek serbestlik dereceli sistem
USGS	: The United States Geological Survey

SEMBOLLER

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
c	: TSD sistem için viskoz sönüm katsayısı
d_t	: Zaman aralığı
E_a	: Tüketilen enerji
E_c	: Beton elastisite modülü
E_d	: Sönüm enerjisi
E_h	: Çevrimsel/Histeretik enerji
E_{hb}	: Kirişler tarafından tüketilen çevrimsel enerji
E_{hc}	: Kolonlar tarafından tüketilen çevrimsel enerji
E_{hk}	: Katta tüketilen çevrimsel enerji
E_{hm}	: Maksimum çevrimsel enerji
E_i	: Enerji girişi
E_{im}	: Maksimum enerji girişi
E_{kr}	: Kinetik enerji
E_{se}	: Elastik şekildeğiştirme enerjisi
EPA	: En büyük etkin ivme
F_b	: Taban kesme kuvveti
f_c	: Beton basınç dayanımı
F_d	: Düşey mesnet reaksiyonu
f_y	: Akma dayanımı
f_s	: Yay kuvveti
h	: Kesit yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
I_A	: Arias şiddeti
I_D	: Sismik indeks
N_{eq}	: Akma noktası sayısı
k	: TSD sistem için rijitlik
k_0	: Başlangıç rijitliği
m	: Yapısal kütle
M_w	: Manyitüd, depremin büyüklüğü
R^2	: Belirleme katsayısı
R_{rup}	: Kırılma uzunluğu
S_a	: Spektral ivme
S_{acr}	: Çatlamış kesit rijitliğine ait spektral ivme
S_d	: Spektral deplasman
S_{dcr}	: Çatlamış kesit rijitliğine ait spektral deplasman
S_I	: Housner şiddeti

S_v	: Spektral hız
S_{ver}	: Çatlamış kesit rijitliğine ait spektral hız
T_0	: Elastik periyot
T_A/T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
T_{cr}	: Çatlamış kesit rijitliğine ait periyot
t_{eff}	: Etkin süre
u	: Deplasman
u_d	: Düşey deplasman
u_y	: Akma deplasmanı
$\dot{u}$	: Hız
$\ddot{u}$	: ivme
$\ddot{u}_g-a_t$	: Yer ivmesi
V_e-V_{el}	: Eşdeğer hız
$V_{ecr}-V_{elcr}$	: Çatlamış kesit rijitliğine ait eşdeğer hız
V_{s30}	: 30 metre derinlikteki ortalama kayma dalgası hızı
α_m	: Rayleigh sönümü için kütle sabiti
β_k	: Rayleigh sönümü için rijitlik sabiti
ζ	: Sönüm oranı
μ	: Süneklik
σ_t	: Donatı çeliği kopma gerilmesi
σ_y	: Donatı çeliği akma gerilmesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Malzeme karakteristik özellikleri (Tuna, 2012).	22
Çizelge 2.2: Çerçeve doğrultusu kolon detayları.	22
Çizelge 2.3: Çerçeve doğrultusu giriş detayları.	23
Çizelge 2.4: Yer hareketi özellikleri.	26
Çizelge 4.1: Seçilen yer hareketi grupları ve özellikleri.	43
Çizelge 4.2: Yakın kaynaklı yer hareketleri ve özellikleri.	44
Çizelge 4.3: Uzak kaynaklı yer hareketleri ve özellikleri.	45
Çizelge 4.4: Yakın kaynaklı yer hareketlerinin karakteristik özellikleri.	48
Çizelge 4.5: Uzak kaynaklı yer hareketlerinin karakteristik özellikleri.	49
Çizelge 4.6: Yakın kaynaklı depremlerle yapılan analizlerde elde edilen enerji değerleri.	54
Çizelge 4.7: Uzak kaynaklı depremlerle yapılan analizlerde elde edilen enerji değerleri.	57
Çizelge 4.8: Yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin katlara göre dağılımı.	59
Çizelge 4.9: Yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.	60
Çizelge 4.10: Uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin dağılımı.	62
Çizelge 4.11: Uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.	63
Çizelge 4.12: Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketlerinin karakteristik özellikleri.	67
Çizelge 4.13: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketlerinin karakteristik özellikleri.	68
Çizelge 4.14: Ölçeklenmiş yakın kaynaklı depremlerle yapılan analizlerde elde edilen enerji değerleri.	69
Çizelge 4.15: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı depremlerle yapılan analizlerde elde edilen enerji değerleri.	70
Çizelge 4.16: Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin dağılımı.	74
Çizelge 4.17: Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.	75
Çizelge 4.18: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin dağılımı.	77
Çizelge 4.19: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.	78
Çizelge A. 1: 2011 Christchurch PRPC yer hareketi karakteristik özellikleri.	91
Çizelge A. 2: 1984 Morgan Hill CYC yer hareketi karakteristik özellikleri.	92
Çizelge A. 3: 1984 Morgan Hill G060 yer hareketi karakteristik özellikleri.	93
Çizelge A. 4: 1994 Northridge RRS yer hareketi karakteristik özellikleri.	94
Çizelge A. 5: 1994 Northridge SCS yer hareketi karakteristik özellikleri.	95
Çizelge A. 6: 2009 L'Aquila GX066XT yer hareketi karakteristik özellikleri.	96
Çizelge A. 7: 1999 Düzce Bolu yer hareketi karakteristik özellikleri.	97
Çizelge A. 8: 1989 Loma Prieta STG yer hareketi karakteristik özellikleri.	98
Çizelge A. 9: 2010 Darfield HRC yer hareketi karakteristik özellikleri.	99

Çizelge A. 10:	1995 Kobe JMA 90° yer hareketi karakteristik özellikleri.	100
Çizelge A. 11:	1995 Kobe TAK 90° yer hareketi karakteristik özellikleri.	101
Çizelge A. 12:	1989 Loma Prieta WVC yer hareketi karakteristik özellikleri.	102
Çizelge A. 13:	1999 ChiChi TCU068 yer hareketi karakteristik özellikleri.	103
Çizelge A. 14:	1999 Kocaeli YPT yer hareketi karakteristik özellikleri.	104
Çizelge A. 15:	1999 ChiChi TCU052 yer hareketi karakteristik özellikleri.	105
Çizelge A. 16:	2010 Darfield GDLCN55 yer hareketi karakteristik özellikleri.	106
Çizelge A. 17:	1971 Tabas T1 yer hareketi karakteristik özellikleri.	107
Çizelge A. 18:	1999 Düzce IRIGM yer hareketi karakteristik özellikleri.	108
Çizelge A. 19:	2002 Denali Alaska PS10 yer hareketi karakteristik özellikleri.	109
Çizelge A. 20:	1999 Imperial Valley PLS yer hareketi karakteristik özellikleri.	110
Çizelge A. 21:	1989 Loma Prieta CYC yer hareketi karakteristik özellikleri.	111
Çizelge A. 22:	1971 San Fernando FTR yer hareketi karakteristik özellikleri.	112
Çizelge A. 23:	1971 San Fernando PEL 90° yer hareketi karakteristik özellikleri.	113
Çizelge A. 24:	1995 Dinar Çardak 76° yer hareketi karakteristik özellikleri.	114
Çizelge A. 25:	1971 San Fernando PPP yer hareketi karakteristik özellikleri.	115
Çizelge A. 26:	2010 Darfield HVSVS64 yer hareketi karakteristik özellikleri.	116
Çizelge A. 27:	1995 Dinar Burdur yer hareketi karakteristik özellikleri.	117
Çizelge A. 28:	2003 San Simeon yer hareketi karakteristik özellikleri.	118
Çizelge A. 29:	1990 Manjil yer hareketi karakteristik özellikleri.	119
Çizelge A. 30:	1989 Loma Prieta FRE yer hareketi karakteristik özellikleri.	120
Çizelge A. 31:	2010 Darfield SPFSN72 yer hareketi karakteristik özellikleri.	121
Çizelge A. 32:	2010 Darfield OXZ yer hareketi karakteristik özellikleri.	122
Çizelge A. 33:	1980 Irpinia yer hareketi karakteristik özellikleri.	123
Çizelge A. 34:	1952 Kern County yer hareketi karakteristik özellikleri.	124
Çizelge A. 35:	1992 Landers FVR yer hareketi karakteristik özellikleri.	125
Çizelge A. 36:	1992 Landers MVP yer hareketi karakteristik özellikleri.	126

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Kuvvet-deplasman grafiği.	4
Şekil 1.2: Kobe JMA 90 yer hareketi için Arias şiddeti ve etkin süre.....	14
Şekil 1.3: Zemin sınıflarına göre hesaplanmış eşdeğer hız spektrumları (Okur ve Erberik, 2012).	16
Şekil 2.1: E-Defense sarsma masası ve deney binaları (https://nees.org/warehouse/project/1005).....	19
Şekil 2.2: Deney binaları (Tuna, 2012).	19
Şekil 2.3: Betonarme perdeli-çerçeve bina planı.....	20
Şekil 2.4: Betonarme perdeli-çerçeve yapının Y doğrultusundaki görünüşü.....	21
Şekil 2.5: Kobe depremi şiddet haritası (USGS).	24
Şekil 2.6: %25 JMA-Kobe sarsma masası seviyesi x yönü ivme ölçümü.....	25
Şekil 2.7: %50 JMA-Kobe sarsma masası seviyesi x yönü ivme ölçümü.....	25
Şekil 2.8: %100 JMA-Kobe sarsma masası seviyesi x yönü ivme ölçümü.....	25
Şekil 2.9: Deney sonuçlarına göre %25, %50 ve %100 ölçekli Kobe JMA 90 yer hareketi için taban kesme kuvvet- çatı deplasmanı grafikleri.....	27
Şekil 3.1: Tek serbestlik dereceli sistemde kuvvet bileşenleri.	31
Şekil 3.2: Perform 3D kuvvet-deformasyon ilişkisi.	33
Şekil 3.3: Kiriş ve kolon çubuk eleman için fiber kesit.....	33
Şekil 3.4: Çubuk eleman modeli.....	34
Şekil 3.5: Kat 1 beton gerilme-şekildeğiştirme grafiği.....	35
Şekil 3.6: Enerji azaltma faktörleri.....	35
Şekil 3.7: D22 donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme grafiği.....	36
Şekil 3.8: Analiz modelinin serbest titreşim mod şekli ($T=0.586$ s, $\%m= 0.858$). ...	37
Şekil 3.9: Ardışık sarsma masası yer ivmesi kayıtları.	37
Şekil 3.10: 0.2EI etkin rijitlik için %25 ölçekli yer hareketi taban kesme kuvveti-çatı deplasman grafiği.....	38
Şekil 3.11: 0.4EI etkin rijitlik için %25 ölçekli yer hareketi taban kesme kuvveti-çatı deplasman grafiği.....	39
Şekil 3.12: %50 ölçekli yer hareketi için taban kesme kuvveti-çatı deplasman grafiği.	40
Şekil 3.13: %100 ölçekli yer hareketi için taban kesme kuvvet-çatı deplasman grafiği.....	40
Şekil 4.1: Yakın kaynaklı bir yer hareketi olan 1995 Kobe JMA 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	46
Şekil 4.2: Uzak kaynaklı bir yer hareketi olan 1995 Dinar Çardak 76° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.	47
Şekil 4.3: Yakın kaynaklı yer hareketleri ivme spektrumu.	51
Şekil 4.4: Uzak kaynaklı yer hareketleri ivme spektrumu.....	51
Şekil 4.5: Kobe JMA 90 yer hareketi enerji yüzdesi-zaman grafiği.....	52
Şekil 4.6: Yakın kaynaklı yer hareketleri eşdeğer hız-enerji girişi ilişkisi.....	55
Şekil 4.7: Dinar Burdur yer hareketi enerji yüzdesi-zaman grafiği.....	56
Şekil 4.8: Uzak kaynaklı yer hareketleri eşdeğer hız-enerji girişi ilişkisi.	58

Şekil 4.9: Yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin katlara dağılımı...	60
Şekil 4.10: Yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin yapısal elemanlara dağılımı.	61
Şekil 4.11: Uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin katlara dağılımı. .	63
Şekil 4.12: Uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.	64
Şekil 4.13: Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketleri ivme spektrumu.	65
Şekil 4.14: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketleri ivme spektrumu.....	65
Şekil 4.15: Ölçeklendirilmiş Kobe JMA 90 yer hareketi enerji yüzdesi-zaman grafiği.....	71
Şekil 4.16: Ölçeklendirilmiş ve %100 ölçekli yakın kaynaklı yer hareketleri eşdeğer hız-enerji girişi grafiği.	71
Şekil 4.17: Ölçeklendirilmiş Dinar Burdur yer hareketi enerji yüzdesi-zaman grafiği.	72
Şekil 4.18: Ölçeklendirilmiş ve %100 ölçekli uzak kaynaklı yer hareketleri eşdeğer hız-enerji girişi grafiği.	73
Şekil 4.19: Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin katlara dağılımı.	75
Şekil 4.20: Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.....	76
Şekil 4.21: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin katlara dağılımı. t_{cr}	78
Şekil 4.22: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.....	79
Şekil A. 1: Christchurch PRPC W yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri. 91	91
Şekil A. 2: Morgan Hill CYC 285° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	92
Şekil A. 3: Morgan Hill G060 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	93
Şekil A. 4: Northridge RRS 228° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	94
Şekil A. 5: Northridge SCS 142° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	95
Şekil A. 6: L'Aquila GX066XT E yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	96
Şekil A. 7: Düzce Bolu 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	97
Şekil A. 8: Loma Prieta STG 0° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	98

Şekil A. 9: Darfield HOCR S72E yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	99
Şekil A. 10: Kobe JMA 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	100
Şekil A. 11: Kobe TAK 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	101
Şekil A. 12: Loma Prieta WVC 270° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	102
Şekil A. 13: ChiChi TCU068 E yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	103
Şekil A. 14: Kocaeli YPT 150° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	104
Şekil A. 15: ChiChi TCU052 N yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	105
Şekil A. 16: Darfield GDLCN55 W yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	106
Şekil A. 17: Tabas T1 T yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	107
Şekil A. 18: Düzce IRIGM 487 NS yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	108
Şekil A. 19: Denali Alaska RS10 47° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	109
Şekil A. 20: Imperial Valley PLS135° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	110
Şekil A. 21: Loma Prieta CYC 285° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	111
Şekil A. 22: San Fernando FTR 326° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	112
Şekil A. 23: San Fernando PEL 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	113
Şekil A. 24: Dinar Çardak 76° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	114

Şekil A. 25: San Fernando PPP 270° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	115
Şekil A. 26: Darfield HVSVS64 E yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	116
Şekil A. 27: Dinar Burdur 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	117
Şekil A. 28: San Simeon SLO 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	118
Şekil A. 29: Manjil Qazvin E yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	119
Şekil A. 30: Loma Prieta FRE 0° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	120
Şekil A. 31: Darfield SPFSN72 E yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	121
Şekil A. 32: Darfield OXZ N yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	122
Şekil A. 33: Irpinia MER 270° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	123
Şekil A. 34: Kern County Taft 111° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	124
Şekil A. 35: Landers FVR 45° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	125
Şekil A. 36: Landers MVP 0° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.....	126
Şekil B. 1: Yakın kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 1.....	127
Şekil B. 2: Yakın kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 2.....	128
Şekil B. 3: Yakın kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 3.....	129
Şekil B. 4: Yakın kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 4.....	130
Şekil B. 5: Yakın kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 5.....	131
Şekil B. 6: Uzak kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 1.....	132
Şekil B. 7: Uzak kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 2.....	133
Şekil B. 8: Uzak kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 3.....	134
Şekil B. 9: Uzak kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 4.....	135
Şekil B. 10: Uzak kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 5.....	136

YER HAREKETLERİNİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN BİNALARIN YAPISAL ENERJİ DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

ÖZET

Mevcut depreme dayanıklı bina tasarımı yönetmelikleri genel olarak dayanım ve kapasitenin belirlenmesine yönelik olarak hesap ivme spektrumu üzerine kurulmuştur ve yer hareketinin süresi veya binanın çevrimsel davranış özellikleri gibi önemli değerlerin sonuç üzerindeki etkisi ihmal edilir. Depreme dayanıklı bina tasarımında enerji yaklaşımı ise yer hareketi süresine bağlı yapısal hasarlar gibi etkileri de göz önüne alabilir ve dayanım veya deformasyon gibi yapısal yanıt değerlerine bir alternatif olarak kullanılabilir. Dolayısı ile enerji esaslı hesap yöntemleri binaların performans analizine alternatif bir çözüm yöntemidir.

Yapılarda depreme bağlı enerji dağılımı kavramı yeterince anlaşılabilirse betonarme binalar için özel detaylar geliştirilerek moment çerçevelerinin enerji tüketme kapasitesi artırılabilir.

Bu çalışmada yer hareketi karakteristik özelliklerinin binalardaki enerji girişi ve yayılımı üzerindeki etkileri araştırılmış ve örnek bir çalışma olarak 4 katlı betonarme çerçeve tipi bir yapı modeli üzerinde bir dizi yer hareketi kullanarak bu değişkenler detaylı şekilde incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan bina modeli daha önceki çalışmalarda gerçek boyutlu olarak imal edilmiş ve 3 boyutlu sarsma masası deneyleri ile test edilmiş bir modeldir. Çalışma kapsamında geliştirilen modelin etkinliği, mevcut test sonuçları ile karşılaştırılarak teyit edilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan yer hareketleri temel olarak 2 grupta toplanmıştır. İlk grup yakın kaynaklı ve ani darbeleri karaktere sahip yer hareketleri, ikinci grup ise uzak kaynaklı ve ani darbe karakteri göstermeyen yer hareketleri arasından seçilmiştir. Bu şekilde yer hareketlerinin odak mesafesi, etkili süresi ve şiddeti gibi parametrelere bağlı olarak bina modelindeki enerji girişi ve dağılımı hesaplanarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Enerji esaslı bir hesap yöntemi geliştirilmesine ve binaların hasar alma potansiyelinin anlaşılmasına yönelik olarak deprem giriş enerjisinin enerji bileşenleri (kinetik, elastik şekil değiştirme, çevrimsel ve yapısal sönümleme) incelenmiştir. Doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarına bağlı olarak, deprem kaynaklı enerji girişinin bina katlarına ve yapısal elemanlara dağılımı ayrıntılı olarak hesaplanarak tartışılmıştır.

EFFECTS OF GROUND MOTION CHARACTERISTICS ON STRUCTURAL ENERGY RESPONSE OF BUILDINGS

SUMMARY

In current seismic design codes worldwide, the seismic structural design of buildings primarily rely on the strength and displacement capabilities of the structural members. Seismic design of buildings are based on acceleration spectra in order to evaluate strength capacity which does not directly account for the influence of the duration of ground motion or the hysteretic behavior characteristic of the building. The maximum inter-story displacement is the structural response parameter most used for evaluating the inelastic performance of structures. However, it is well-known that the level of structural seismic damage does not depend only on maximum displacement. Previous research and actual seismic disasters has shown that the cumulative damage is a result of numerous inelastic cycles during a ground motion.

When a structure enters the inelastic range, deterioration of the hysteretic behavior occurs which can lead to failure of critical elements at deformation levels even below the ultimate deformation capacity of the structure. This damage is majorly affected by duration and called as cumulative damage, while this failure mode is called as low-cycle fatigue. However, most current design methods do not consider effects of low-cycle fatigue. Cumulative damage is commonly related to dissipated hysteretic energy which is a structural response parameter that provides a good evaluation basis for the plastic deformation and damage.

In current practice energy has not been used in the evaluation of the earthquake effects on structures and structural members in specific. Nevertheless, energy concept seems to have a great potential in the analysis of seismic demands and for the design of the structural members since energy approach implements strength and displacement characteristics of the structure together.

An energy-based approach to seismic design serves as an alternative index to response quantities like strength or deformation to include the duration-related seismic damage effects. Therefore, energy-based seismic design methodology is an alternative tool for the overall performance analysis of buildings.

Once the concept of input energy distribution is well understood, energy dissipation capacity of moment resisting frames can be increased by providing special detailing in reinforced concrete buildings.

In this study, the effect of ground motion characteristics and the structural properties on the seismic input energy is investigated. Furthermore, on a case study, a 4-story reinforced concrete building model is used for non-linear time history analysis and the relation between ground motion characteristics and energy responses of the building is observed in detail.

The building model used in the study is taken from a previous research study, which was about the shaking table tests on a real-size reinforced concrete building model. The building model is pure moment frame on the long direction in the plan and a frame with shear walls on the shorter direction. Although the shake table tests are performed in three dimensions, this study investigates the moment frame direction only. The effectiveness of the analytical model is calibrated by the test results.

The ground motion data is basically divided into two sets. The first set includes the ground motion data that shows near fault and impulse type characteristics where the second set represents the ground motion data with far field and non-impulsive characteristics. By using the two sets the seismic energy input and distribution is evaluated according to the seismic characteristics such as rupture distance, effective duration and intensity.

This paper aims to examine influences of ground motion characteristics and structural properties on distribution of input energy based on a four-story RC moment resisting frame building using different types of ground motions. For developing an energy-based design approach and assessing damage potential of buildings, distribution of earthquake input energy among energy components: kinetic, elastic strain, hysteretic, and structural damping has been investigated. Based on nonlinear analysis results, distribution of the earthquake-induced energy among floor levels as well as among structural components has been evaluated.

1. GİRİŞ

Günümüzde depreme dayanıklı bina tasarımı yönetmelikleri genel olarak dayanım ve kapasitenin belirlenmesine yönelik olarak hesap ivme spektrumu üzerine kurulmuştur ve hedefler deplasmanlar gibi basit veya yapısal performans gibi daha karmaşık kavramlar üzerinden belirlenir. Bu yönetmeliklerde tanımlanan hesap yöntemlerinde yer hareketinin süresi veya binanın çevrimsel davranış özellikleri gibi önemli değerlerin sonuç üzerindeki etkisi ihmal edilir.

Depreme dayanıklı bina tasarımında enerji yaklaşımı ise yer hareketi süresi, şiddeti ve ani darbe karakteri gibi özelliklere bağlı yapısal davranış ve yapı içerisindeki enerji dağılımı incelenir ve dayanım veya deformasyon gibi yapısal yanıt değerlerine bir alternatif olarak kullanılabilir. Dolayısı ile enerji esaslı hesap yöntemleri binaların performansa dayalı yapısal analizine alternatif bir çözüm yöntemidir.

Yapılarda deprem karakterine bağlı enerji dağılımı ve buna bağlı yapısal tepkiler yeterince anlaşılabilirse binalar için özel detaylar geliştirilerek enerji tüketme kapasitesi ve buna bağlı yapısal performans artırılabilir.

Bu tez çalışmasının amacı enerji esaslı yapısal hesap konusunda alt bir başlık olarak yer hareketi özelliklerinin enerji girişine etkilerinin araştırılmasıdır. Bu amaçla yer hareketleri karakteristik özelliklerine bağlı olarak gruplandırılmış ve analizlerde kullanılarak bu karakteristiklerin sonuçlar üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Temel olarak yer hareketleri yakın ve uzak kaynaklı yer hareketleri olarak iki gruba ayrılmış ve her iki grup için de aynı yapı modeli üzerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir.

Enerji esaslı yapısal hesap konusunu ele alan bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır.

Bölüm 1 giriş bölümüdür. Enerji esaslı yapısal hesap tanımı yapılarak, tek serbestlik dereceli sistemler için hareket denkleminde enerji girişinin elde edilişi açıklanmıştır. Ayrıca daha önce enerji esaslı yapısal hesap konusunda yapılmış bilimsel çalışmalar

taranmış ve içerikleri özetlenmiştir. Bölümün sonunda depreme bağlı yapısal enerji girişini etkileyen faktörler 3 gruba ayrılarak bu etkiler detaylı olarak açıklanmıştır.

Bölüm 2 gerçek ölçekte betonarme çerçeve ve perdeli bir yapı üzerinde gerçekleştirilen 3 boyutlu sarsma masası deneyini açıklamakta ve sonuçlarını özetlemektedir. Deneyde yerinde dökme ve ön-üretimli iki bina modelinden yerinde dökme betonarme perdeli-çerçeve bina analiz modeli olarak seçilmiştir. Binaya ve deneye ait kapsamlı bilgi, deneyde kullanılmış olan yer hareketlerinin özellikleri ve karakteristik değerleri ve yer hareketinin deneydeki uygulama yöntemi ilgili kaynaklardan alıntı yapılarak açıklanmıştır. Deney sonunda elde edilmiş olan taban kesme kuvveti, çatı deplasmanı, kalıcı deplasman gibi sayısal veriler kaynaklarıyla beraber sunulmuştur.

Bölüm 3'te analiz modelinin sayısal ortamda modellenmesi ve analiz sonuçları paylaşılmış ve önceki bölümde açıklanan gerçek ölçekli deneydeki bina modelinin test sonuçları ile uyumluluğu gösterilmiştir. Analiz modelinin oluşturulması için seçilen yazılımın genel çalışma prensipleri ve özellikleri bu bölümde detaylı şekilde açıklanmıştır. Kullanılan yazılımın enerji esaslı yapısal hesap konusundaki araçları ve sağladığı önemli özellikler belirtilmiştir. Yazılımın genel özellikleri açıklandıktan sonra analiz modelinin deney binasına uygun olacak şekilde modellenmesinde kullanılan yöntemler açıklanmıştır. İlgili kaynak ve çalışmalardan elde edilmiş olan deney binasına ait malzeme, boyut ve yapısal özelliklerin yazılıma aktarılmasıyla analiz modeli oluşturulmuştur. Deneylere uygun olacak şekilde ardışık olarak yer hareketleri etkisinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları ile deney sonuçları kıyaslanarak analiz modelinin geçerliliği gösterilmiştir.

Bölüm 4 farklı karakteristik özellikler gösteren yer hareketlerinin orijinal ölçeği ve ölçeklenmiş hali ile yapılan dinamik analizlerin sonuçlarını içermektedir. Yer hareketlerinin seçimi ve gruplandırılması açıklanmış ve bu özelliklerin sonuçlar ile ilişkisi araştırılmıştır. Yer hareketlerinin orijinal ölçeğindeki karakteristik özellikleri ile yapısal enerji girişi ve diğer enerji sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonraki aşamada yer hareketleri yönetmeliklere uygun olacak bir metotla ölçeklenmiş ve benzer analizler tekrar gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları enerji esaslı yapısal hesap kapsamında değerlendirilmiş ve sonuçlar çizelgeler halinde sunulmuştur.

Bölüm 5'te ise tez çalışmasının sonuçları tartışılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçların tez çalışmasının amacına uygunluğu gösterilmiş ve gelecekte tez konusunun devamı niteliğinde yapılabilecek çalışmalar açıklanmıştır.

Tezin sonunda bulunan ek bölümde ise yer hareketlerinin karakteristik özelliklerini açıklayan çizelge ve grafiklere yer verilmiştir. Yapılan analizlerin sonucunda elde edilen enerji dağılımı grafikleri de ek bölümünde gösterilmiş ve tez çalışması tamamlanmıştır.

1.1 Enerji Esaslı Yapısal Hesap Nedir?

Enerji esaslı yapısal hesap, kuvvetli yer hareketiyle birlikte binaya giren enerjinin yapısal elemanlara dağılımı ve bu enerjinin yapısal elemanlar tarafından güvenli biçimde karşılanmasını araştıran bir tasarım yöntemidir. Depremi sebep olduğu enerji girişi, E_i yapısal sistemlerde çeşitli mekanizmalar tarafından tüketilir. Bu mekanizmalar deprem giriş enerjisinin binada meydana getirdiği tepki/mukabele bileşenleri olarak düşünülebilir. Söz konusu bileşenler; kütleyle bağlı kinetik enerji (E_{kr}), sönüm oranına bağlı sönümlenme enerjisi (E_d), elastik şekil değiştirme ile tüketilen elastik şekil değiştirme enerjisi (E_{se}) plastik şekil değiştirme ile tüketilen çevrimsel/histeretik enerji (E_h) olarak adlandırılabilir. Plastik şekil değiştirme ile tüketilen çevrimsel enerji (E_h), yapısal hasara sebep olan enerji olarak göz önüne alınmaktadır. Yer hareketinin sebep olduğu enerji girişi ve bileşenleri, tek serbestlik dereceli (TSD) sistemin hareket denklemi ile aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\int_0^t m \ddot{u} \dot{u} dt + \int_0^t c \dot{u} \dot{u} dt + \int_0^t k u \dot{u} dt = - \int_0^t m \ddot{u}_g \dot{u} dt \quad (1.1)$$

Denklem (1.1)'de yer alan m yapısal kütle, $\ddot{u}$ ivme, $\ddot{u}_g$ yer ivmesi, $\dot{u}$ hız, u deplasman, c yapısal sönüm katsayısı, k yapısal rijitlik olarak ifade edilmektedir. Buradan yola çıkılarak toplam enerji girişi;

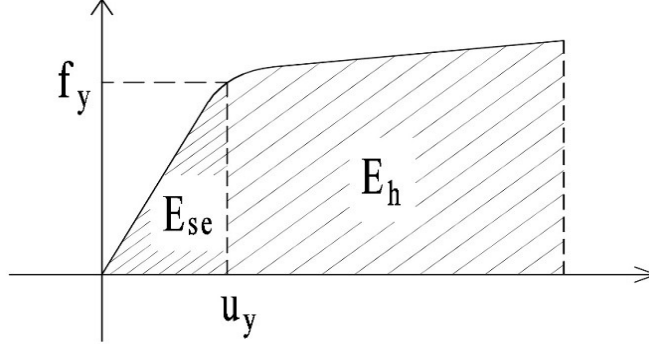
$$E_{kr} + E_d + E_a = E_i \quad (1.2)$$

olarak yazılabilir. Denklem (1.2) kullanılarak,

$$E_a = E_{se} + E_h \quad (1.3)$$

elde edilir ve burada tüketilen enerji, elastik şekil değiştirme enerjisinin ve çevrimsel enerjinin toplamı olarak elde edilebilir. Yukarıda açıklanan enerji bileşenleri ile ilişkili

olarak Şekil 1.1'deki kuvvet-deplasman eğrisi göz önüne alınırsa tüm enerji bileşenlerinin içerikleri aşağıdaki gibi açıklanabilir;



Şekil 1.1: Kuvvet-deplasman grafiği.

$$E_a = \int_0^t f_s \dot{u} dt \quad (1.4)$$

$$E_a = E_{se} + E_h \quad (1.3)$$

$$E_{se} = \frac{1}{2} f_y u_y \quad (1.5)$$

$$f_y = k_0 u_y \quad (1.6)$$

$$k_0 = f_y / u_y \quad (1.7)$$

$$E_{se} = f_y^2 / 2k_0 \quad (1.8)$$

Yukarıda yer alan denklemlerde; f_y yapısal sistemin yay kuvvetini, k_0 yapısal sistemin başlangıç rijitliğini, u_y sistemin akma deplasmanını ifade etmektedir.

Başlangıç rijitliği ve akma kuvveti bilinen TSD bir sistem için çevrimsel enerji;

$$E_h = E_a - E_{se} = E_a - f_y^2 / 2k_0 \quad (1.9)$$

olarak yazılabilir. Toplam enerji girişi, yer hareketinin özelliklerine ve binanın yapısal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Yer hareketi özelliklerinden frekans içeriği, yer hareketinin şiddeti ve yer hareketinin süresi enerji girişi üzerinde etkili olmaktadır. Bu konuda Housner (1956) yaptığı çalışmada süreyi göz önüne almamıştır fakat daha sonra Trifunac ve Brady (1975), yer hareketi süresinin enerji girişini doğrudan etkilediğini göstermiştir. Yapısal özelliklerden ise kütle, yapısal periyot, içsel sönüm oranı gibi yapısal özellikler depremde kaynaklanan enerji girişini etkileyen

faktörlerdir. Yapısal özelliklerin enerji girişine olan etkisi en az yer hareketi özelliklerinin etkisi kadar önemlidir. Yapısal özellikler çevrimsel enerjinin enerji girişine oranı (E_h/ E_i) üzerinde ve dolayısı ile plastik enerji tüketimine bağlı oluşacak yapısal hasarı önemli ölçüde etkilemektedir. Enerji esaslı hesapta bir diğer etken de binanın bulunduğu sahadaki zemin özellikleridir.

1.2 Enerji Esaslı Hesap Konusunda Mevcut Çalışmalar

Enerji esaslı yapısal hesap konusunda yapılmış çalışmalar depremden kaynaklanan enerji girişinin elde edilmesi, enerji tasarım spektrumun oluşturulması ve yapısal hasara sebep olan çevrimsel enerjinin enerji girişine oranı gibi başlıklar altında incelenebilir. Ayrı bir başlık olarak depremden kaynaklanan enerji girişine etki eden faktörleri inceleyen çalışmalar araştırılmış ve bu faktörlerin değişmesi durumunda enerji girişinin nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Housner (1956), TSD sistem için depremden kaynaklanan enerji girişinin hesabı üzerinde çalışmış ve hız spektrumuna bağlı bir enerji formülü önererek enerji esaslı yapısal hesap için literatürde mevcut ilk adımlardan birini atmıştır.

Hori vd. (1996), depreme bağlı enerji girişinin yapısal hasar potansiyelini incelemişlerdir. Yapısal hasara sebep olan enerji bileşeni çevrimsel enerji olarak tanımlanmıştır. Yapılan çalışmada enerji girişinin özelliklerindeki değişimlerin yapı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada enerji spektrumu yönteminin yapısal tasarım için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Ye ve Otani (1999) depremden kaynaklanan enerji girişini, maksimum deplasman tepkisini dikkate alarak elde etmiştir. Maksimum deplasman ve enerji girişi arasında basitleştirilmiş bir ilişki kurmuş, kısa ve uzun periyotlu yapılar için sonuçlar değerlendirilmiştir.

Manfredi (2001), çevrimsel enerji ve enerji girişi için basitleştirilmiş bir spektrum önermiştir. Bu yöntem için yer hareketinin karakteristik özelliklerine bağlı bir sismik indeks (I_D) tanımlamış ve bu sismik indeksi yer hareketinin sebep olduğu çevrim sayısı ile ilişkilendirmiştir. Yer hareketinin süresini de dikkate alan bu yöntem ile yapısal enerji girişinin değerlendirilebileceği açıklanmıştır.

Benavent-Climent vd. (2002), orta şiddette deprem riski bulunan bölgelerde bulunan binalar için enerji spektrumu hesaplamışlardır. Çalışma kapsamında 48 adet

depremden elde edilmiş 100 adet yer hareketi kaydı kullanılmıştır. Enerji spektrumu eşdeğer hız cinsinden ifade edilerek, en büyük yer ivmesine göre normalize edilmiştir. Buna bağlı olarak aynı en büyük yer ivmesine sahip farklı depremler için bir katsayı belirlenmiştir. Bu veriler ile oluşturulan enerji spektrumu; Tayvan ve Türkiye’de meydana gelmiş son depremlerden elde edilmiş tepki spektrumlarıyla ve ilgili İspanyol deprem yönetmeliği (NCSE-94) içinde yer alan tepki spektrumuyla karşılaştırılmıştır. Depremden kaynaklanması beklenen toplam yapısal enerji girişi elde edilmiş ve yapısal hasara neden olan çevrimsel enerjinin hesaplanması için ampirik bir formül önerilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmadan elde edilmiş olan enerji spektrumunun hem geçmiş çalışmalarla hem de yukarıda bahsedilen tepki spektrumlarıyla yeterli düzeyde uyum gösterdiği belirlenmiştir.

Goel vd. (2002), TSD sistemler için enerji denklemini kullanarak elde ettikleri enerji girişini; enerji girişinin yapı yüksekliği boyunca dağılımını ve akma mekanizmalarını da içerecek şekilde geliştirmiştir. Tasarım kuvvetleri; hız spektrumu, akma mekanizması ve hedef deplasman doğrultusunda belirlenmiştir. Bu yöntem 6 adet çelik çerçeveli sistem üzerinde deneysel olarak teyit edilmiş ve sonuçlar doğrusal olmayan sayısal analizler ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda önerilen yöntemin doğrusal olmayan yöntemlere göre daha güvenli tarafta kaldığı gösterilmiştir.

Hori ve Inoue (2002), bir yer hareketi süresi boyunca tam bir yapısal çevrim hareketinin yarısında (kuvvet sıfır noktaları arasında) ölçülen en büyük enerji girişi anlamına gelen anlık enerji girişi (momentary input energy) tanımını yapmış ve anlık enerji girişi ve yapısal davranış arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Anlık enerji girişinin, deplasman tepkisi ile yakından ilişkili olduğu ve hem ani darbe etkisi gösteren kısa süreli depremlerden hem de uzun süreli depremlerden kaynaklanan hasarın belirlenmesinde önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir. Enerji girişi ve tüketilen enerjiyle uyumlu olarak doğrusal olmayan deplasman tahmini için bir yöntem önerilmiş ve bu yöntemin doğrusal olmayan dinamik analizlerin sonuçlarıyla uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Chou ve Uang (2003), depremden kaynaklanan enerji girişini ve enerji girişinin yapı yüksekliği boyunca dağılımını elde etmek için enerji esaslı bir yöntemi araştırmıştır. Çalışma kapsamında az ve orta yükseklikteki yapılar için yüksek modların enerji girişi üzerindeki etkileri hakkında aşağıdaki yöntem adımlarını tanımlamışlardır:

- ÇSD sistemler TSD sistem olarak idealleştirilip ilk iki mod ile çözüm yapılır.
- Eşdeğer TSD sistem itme analizi ile çözüldükten sonra modal akma yükü belirlenerek modal süneklik faktörü elde edilir.
- Modal süneklik faktörü, doğal periyot ve modal katılım faktörü belirlenerek her mod için tüketilen enerji belirlenir.
- Her mod için tüketilen enerji yapı yüksekliği boyunca dağıtılır.

Çalışma sonucunda yüksek modların da enerji tüketilmesinde etkin olduğu gösterilmiştir

Khashaee vd. (2003) depremin sebep olduğu toplam enerji girişinin hesabı konusunda ayrıntılı bir rapor hazırlamıştır. Enerji girişini etkileyen parametreler üzerinde çalışılmış ve yapısal hasara neden olan çevrimsel enerjinin miktarını değiştiren parametreler araştırılmış, çevrimsel enerjinin enerji girişine oranı (E_h/E_i) üzerine çalışılmıştır.

Bu rapora göre hasarın araştırılmasında 3 enerji ilişkisi/değişkeni öne çıkmaktadır:

- Çevrimsel enerjinin enerji girişine oranının maksimum olması; $(E_h/E_i)_m$, ilk akma noktasındaki enerji oranı
- Maksimum çevrimsel enerjinin maksimum enerji girişine oranı; E_{hm}/E_{im} , yer hareketi süresinin sonundaki enerji oranı
- Sistemde oluşan akma noktası sayısı (number of yield excursion); N_{eq} ,

Enerji girişini elde etmek için çok serbestlik dereceli sistemlerin yapısal eşdeğeri olacak şekilde aynı kütle ve periyoda sahip eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemler üzerinden değerlendirmesinin uygun bir sonuç vereceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada hem yer hareketi özellikleri hem de yapısal özellikler incelemiş ve bunların enerji girişine etkileri araştırılmıştır.

Yamaguchi ve El-Abd (2003), enerji sönümleyici ekipmanların enerjinin tüketilmesindeki etkisini araştırmıştır. 10 katlı bir yapı için 35 farklı yer hareketi kaydı ile analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda, sönümleyici ekipmanın performansının sadece maksimum enerji girişi ve depremin doğal periyoduna değil etkin süre gibi zamana bağlı parametrelere de bağlı olduğu anlaşılmıştır. Bu bağlamda sönümleyici ekipmanın etkisini dikkate alan bir α katsayısı önerilmiştir.

Benavent-Climent vd. (2004), yaptıkları çalışmada hareket denklemine bağlı olarak enerji denklemini oluşturmuşlar ve giriş enerjisini kinetik enerji, sönümlenme enerjisi, elastik şekildeğiştirme enerjisi, çevrimsel enerji olarak bileşenlere ayırmışlardır. Yapısal tasarımı düşey yüklere göre yapılmış çeşitli yapılar sayısal olarak incelenerek enerji tüketme kapasiteleri (energy dissipation capacity) ve hasarlar incelenmiştir. En az enerji tüketme kapasitesine sahip kat için katın yapısal hızının güvenli sınırını hesaplayan bir denklem önerilmiş ve yer hareketine ait spektral bir büyüklük olan eşdeğer hızın (V_E) bu hıza eşit olması gerektiği sonucu çıkarılmıştır.

Hori vd. (2004), viskoz sönümleyicilerle donatılmış taşıyıcı sistemlerde depreme bağlı enerji tüketilmesi sırasındaki yapısal davranışı incelemiştir. Viskoz sönümleyicilerin enerji tüketme kapasiteleri ile yapısal hız tepkisinin arasına önemli bir ilişki olduğu gösterilmiştir. Ayrıca yapısal sönümleyici tasarımında sadece sönüm kuvvetinin değil tüketilen sönümlenme enerjisinin de elde edilmesinin son derece önemli olduğu vurgulanmıştır.

Kunnath ve Hu (2004), sünek betonarme bir yapıyı temsil eden TSD sistemlerde bir grup yer hareketi ile yapılan analizlerle çevrimsel talebi ve kümülatif hasarı araştırmışlardır. Yapısal periyot ve enerji tüketme kapasitesi ile yer hareketinin özelliğine bağlı enerji girişinin şiddetli depremlerde çevrimsel talebi etkileyen parametreler olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Sütcü vd. (2006), betonarme binalarda zayıf kat etkisini yapısal enerji esaslı bir yöntem ile incelemiştir. Çalışma kapsamında zayıf kat etkisini engellemek ve yapısal davranışı kontrol etmek amacı ile viskoz esaslı yapısal sönümleyiciler kullanılmıştır. Viskoz sönümleyicilerin tasarımı için yapı eşdeğer doğrusal modele çevrilmiş ve sönümleyici yapıya ait sönümlenme katsayısını temsil edecek sönümleme oranı enerji esaslı olarak hesaplanmıştır. Depremden kaynaklanan enerji girişi belirlenerek sönümleyicinin tasarımı için adım adım bir yöntem önerilmiştir. Sönümleyicilerin tasarlanmasıyla enerji tüketimine etkisi ve yapısal davranışın sönümleyici öncesi ve sonrasındaki durumu incelenmiştir. Yapılan tasarım ile hedef deplasman değerlerinin yakalandığı gösterilmiş ve sönümleyici tasarımının zayıf kat ve tüm yapısal davranış üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Benavent-Climent (2007), çelik yapılar için enerji esaslı tasarım üzerinde çalışmış ve depremden kaynaklanan enerji girişinden dolayı oluşan yapısal hasarları incelemiştir. Tüketilen enerji ve maksimum deplasmana bağlı olarak 2 parametre önerilmiştir:

- Tüketilen toplam enerji,
- Yük-deplasman eğrisinden elde edilen enerji girişi.

Bu iki parametreye bağlı olarak 0-1 aralığında hiç hasarın olmaması durumu ve göçme sınır şartlarını içeren bir hasar indeksi belirlenmiştir. Çelik birleşim elemanları için statik testler yapmış ve gerçek deprem testleriyle uyumluluğunu incelemiştir.

Dindar vd. (2008,2012), depremden kaynaklanan enerji girişini hesaplamak için bir yöntem sunmuşlardır. Buna bağlı olarak deprem haritalarını enerji esaslı yöntemlere göre düzenlenmesini sağlayacak bir çalışma yapılmıştır. 2012 yılında yapılmış olan çalışmada İstanbul ili için deprem bölgeleri göz önüne alınarak enerji esaslı deprem bölgeleri haritası çıkarılmıştır.

Goel vd. (2008), kuvvet-deplasman eğrisi elde edilmiş sistemler için enerji kapasitesi diyagramı önermişlerdir. Hem TSD hem de ÇSD sistemler için çalışmalar yapılmış ve sonuçların doğrusal olmayan analizlerle uyumluluk gösterdiği belirtilmiştir. Bu yöntemin performansa dayalı yöntemlere alternatif olabileceği belirtilmiştir.

Hosseini ve Vaseghinia (2008), yaptıkları çalışmada enerji girişinin tanımı için geçmiş çalışmaları kaynak göstererek konuyu kapsamlı şekilde açıklamışlardır. Tek katlı sistemler için yapılan analizler sonucunda enerji girişinin sadece yer hareketinin karakteristik özelliklerinden değil, yapısal özelliklerden de etkilendiği gösterilmiştir. Farklı bir sonuç olarak çevrimsel enerji tüketme kapasitesinin depremden kaynaklanan minimum enerji girişinin elde edilmesinde kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Benavent-Climent vd. (2010), 44 farklı depremde kaydedilmiş 144 adet yer hareketi kaydı kullanarak TSD sistemler için enerji spektrumunu eşdeğer hız-zaman cinsinden hesaplamıştır. Çeşitli süneklik ve yapısal sönüm oranları için doğrusal olmayan analizler yapılmış ve eşdeğer hız-zaman eğrisinden kısa periyotlu sistemler için eşdeğer hızın artışı gösterilmiştir. Bu bağlamda iki-doğrusal yapıya sahip bir hesap enerji spektrumu önerilmiştir. Elde edilen hesap enerji spektrumu; Japonya, İran ve Yunanistan için önerilen tasarım spektrumları, geçmiş çalışmalarda elde edilen veriler ve Kolombiya Deprem Yönetmeliği (NSR-98) içinde yer alan tasarım spektrumu ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada ayrıca çevrimsel enerjinin enerji girişine oranı (E_h/E_i)

hesaplanarak literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak (E_h/E_i) oranı için bir denklem önerilmiş ve diğer çalışmalara kıyasla iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Benavent-Climent vd. (2012), en büyük yer ivmesi 0,3g ve daha büyük olan Türkiye'deki deprem bölgeleri için enerji spektrumu önermişlerdir. Benzer çalışmalarda önerilen iki-doğrusal enerji spektrumlarından farklı olarak büyük periyot bölgesinde spektral enerjide azalma tanımlanmış ve 3 bölgeli bir enerji spektrumu elde edilmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda çevrimsel enerjinin enerji girişine oranının araştırılacağına değinilmiştir.

Sucuoğlu vd. (2012), betonarme yapılar için rijitlik ve dayanım azalmasına bağlı olarak doğrusal olmayan deplasmanları, enerji esaslı yöntemlere göre incelemiştir. Bu bağlamda şu sonuçlar çıkarılmıştır:

- Uzun süreli depremlerde kısa ve orta süreli periyotlara sahip yapılar için rijitlik ve dayanım azalımı önemli olmaktadır.
- Enerji esaslı çevrimsel modeller betonarme yapıların davranışındaki azalımın tahmini noktasında diğer çevrimsel modellere göre daha iyi sonuçlar vermektedir.
- Davranıştaki azalım iyi detaylandırılmış yapısal elemanlar için bile önemli olmaktadır.

Doğrusal davranış üzerinden doğrusal olmayan davranışın belirlenebilmesi için elde edilen sonuçların yeterli tutarlılık gösterdiği belirtilmiştir.

Okur ve Erberik (2012,2014), iki aşamadan oluşan bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın ilkinde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) 2007'ye uyumlu olacak şekilde yer hareketi kayıtları seçilerek iki-doğrusal hesap enerji spektrumu (design energy input spectra-DEIS) hesaplanmıştır.

İkinci aşamada enerji bileşenleri göz önünde tutularak çevrimsel enerji tahmini yapılmıştır. Bunun için TSD sistemler göz önüne alınarak sayısal analizler yapılmış ve E_h/E_i oranının 0.7 olarak göz önüne alınabileceği sonucuna varılmıştır. ÇSD sistemler için çevrimsel enerjinin katlara dağılımı çeşitli yapısal sistemler üzerinde incelenmiştir. Gelecek çalışmalarda yapısal elemanların enerji tüketme kapasiteleri üzerine basitleştirilmiş yöntemler üzerinde çalışılacağı belirtilmiştir.

Kanno vd. (2012), maksimum anlık enerjiyi tanımlamış ve buradan maksimum deplasmanın hesaplanabileceğini belirtmişlerdir. Doğrusal olmayan analiz yapmadan maksimum yapısal tepkilerin hesaplanabileceği vurgulanmıştır. Anlık enerji girişinin, %10 sönümlü hız spektrumundan elde edilip buna bağlı olarak maksimum yapısal deplasman tepkisinin hesaplandığı bir yöntem önerilmiştir. Çalışmada ayrıca tüketilen yapısal enerjinin süneklik faktörü ve genlik oranının bir fonksiyonu olarak bulunabileceği belirtilmiştir.

Kazantzi ve Vamvatsikos (2012) yapıların çevrimsel davranış modellerinin yapısal enerji tüketimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. TSD sistemler ele alınarak, çevrimsel davranış modellerinden bir tanesi referans alınmış ve diğer davranış türleri referans davranışla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yapısal performansın çevrimsel enerjinin tüketilmesine bağlı olarak yeterli düzeyde anlaşılamayacağı sonucu çıkarılmış ve çevrimsel davranışın önemli bir etken olduğu vurgulanmıştır.

Dindar vd. (2015), depremden kaynaklanan enerji girişini; yapısal özellikleri, zemin durumunu ve deprem karakteristiklerini dikkate alınarak hesaplamışlardır. Çevrimsel yapı davranışı modellerinin tüketilen enerjiye olan etkisi çalışma içinde incelenmiştir. Buradan depreme bağlı enerji girişi spektrumu ve çevrimsel enerji spektrumunun yer hareketinin talebini gösterdiği, çevrimsel enerjinin enerji girişine oranının (E_h/E_i) ise yapının enerji tüketme kapasitesini gösterdiği sonucu çıkarılmıştır. Değişen yapısal süneklik seviyeleri için enerji girişi talebi araştırılmıştır. Enerji girişi ve çevrimsel enerjinin tahmini için ayrı formüller önerilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen enerji spektrumunun mevcut yapılar için geliştirilmesi gerektiği ya da uygun katsayılarla dönüştürülmesi gerektiği belirtilmiştir.

1.3 Binalarda Deprem Kaynaklı Enerji Girişine Etki Eden Faktörler

Geçmiş çalışmalarda binalarda depremden kaynaklanan enerji girişi üzerinde yer hareketinin özellikleri kadar yapısal özelliklerin de etkili olduğu anlaşılmıştır (Akiyama, 1985; Housner, 1956; McKevitt vd., 1980; Rahnema ve Manual, 1996; ATC 3-06, 1978; Trifunac ve Brady, 1975). Giriş enerjisi üzerinde etkili bir diğer faktör ise zemin sınıfı olarak ele alınmaktadır (Okur ve Erberik 2012, 2014). Binalarda deprem kaynaklı enerji girişine etki eden faktörler aşağıda bu üç başlık altında incelenmiştir.

1.3.1 Yer hareketi özelliklerinin enerji girişine etkileri

Yer hareketinin özellikleri binalardaki deprem kaynaklı yapısal enerji girişi üzerinde oldukça etkili bir faktör olarak göz önüne alınmaktadır. Burada bahsedilen yer hareketi özellikleri aşağıda belirtilen başlıklar altında incelenmiştir:

- Frekans içeriği
- Yer hareketinin şiddeti
- Etkin süre

1.3.2.1 Frekans içeriği

Yer hareketi sırasında oluşan ivme büyüklüklerinin tekrar etme sayısının göstergesidir. Bir yer hareketinde büyük ivme değerleri çoğunluktaysa etkin ivme değeri de büyük bir değer alacaktır. Buradan anlaşılmaktadır ki bir yer hareketinin frekans içeriği enerji girişini etkilemektedir. Büyük ivme değerlerinin fazla olması etkin ivme değerini (**effective peak acceleration-EPA**) ve dolayısıyla yer hareketinin şiddetini ve depreme bağlı yapısal enerji girişini artırmaktadır. Yapısal hasara sebep olan çevrimsel enerjinin enerji girişine oranı yer hareketinin frekans içeriğinden etkilenmemektedir.

Etkin İvme, EPA: Bir yer hareketine ait spektral ivmelerin ortalamasının 2.5'e bölünmesiyle elde edilen değerdir.

$$EPA = S_{a(ort)}/2.5 \quad (\text{ATC 3-06, 1978}) \quad (1.10)$$

Denklem (1.10)'da S_a , yer hareketine ait ivme spektrumundaki spektral ivmeyi ifade etmektedir.

1.3.2.2 Yer hareketinin şiddeti

Yer hareketinin şiddeti için bu çalışma kapsamında 3 farklı tanım kullanılmıştır. Bunlar, Arias şiddeti (I_A), spektrum şiddeti (Spectrum Intensity-SI) ve en büyük yer ivmesidir (Peak Ground Acceleration-PGA). Yer hareketi şiddeti bir yer hareketinin en önemli özelliklerinden birisidir ve yapısal enerji girişini de önemli ölçüde etkilemektedir. Bir yer hareketinin Arias şiddeti, spektrum şiddeti ve en büyük yer ivmesi arttıkça depreme bağlı yapısal enerji girişi de artmaktadır.

Arias Şiddeti(I_A): Yer hareketine ait ivme değerlerinin karelerinin zaman alanında toplanması ile elde edilen bir şiddet değeridir (Arias,1970). Bu değer kümülatif olarak %5-%95'lik aralığına karşılık gelen zaman aralığı ise etkin süre olarak değerlendirilmektedir.

$$I_A = \frac{\Pi}{2g} \int_0^{t_d} a(t)^2 dt \quad (1.11)$$

Denklem (1.11)' de $a(t)$, yer hareketine ait yer ivmesini, g ise yer çekimi ivmesini ifade etmektedir.

En büyük yer ivmesi(PGA): Yer hareketi kaydına ait en büyük ivme değeridir.

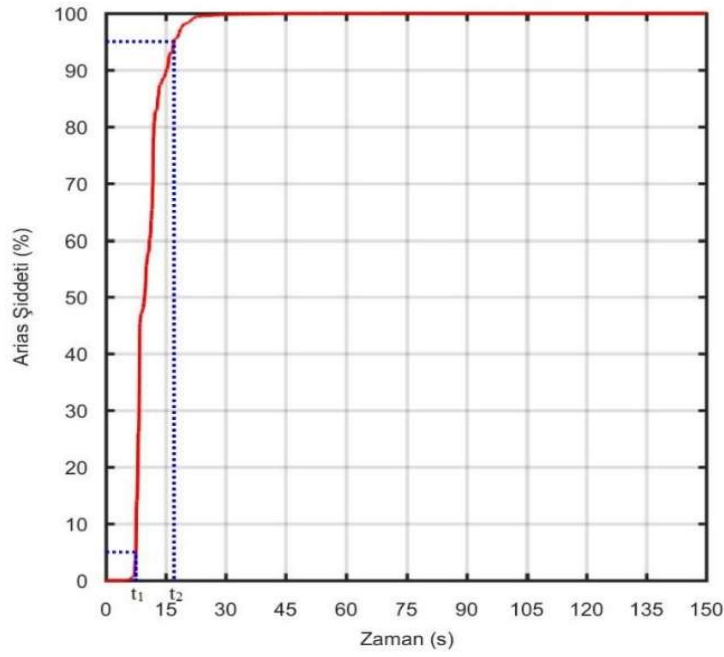
Spektrum şiddeti(SI): Hız spektrumunun 0.1-2.5 saniye arasındaki alanıdır. Housner (1952), %20 sönüm oranına sahip hız spektrumuna göre hesap edilmesini önermiştir.

$$SI = \int_{0.1}^{2.5} S_v dt \quad (1.12)$$

Spektrumun şiddetini ifade eden denklem (1.12)'de S_v , spektral hızdır. Burada hız spektrumu %20 sönüm oranına göre elde edilmektedir fakat günümüzde kullanılan bilgisayar yazılımları sönüm oranını %5 olarak da hesaplamalarda kullanmaktadır.

1.3.2.3 Yer hareketinin süresi

Yer hareketinin etkin süresi, açığa çıkan enerjinin %5-%95'lik bölümü aralığında geçen süre olarak göz önüne alınmaktadır (Arias, 1970; Trifunac ve Brady, 1975). Yer hareketinin etkili süresi uzadıkça daha çok yapısal enerji girişi olması beklenir. Enerji esaslı yapısal hesabın (EBD) diğer yöntemlerden en önemli farkı, anlık bir en büyük değer ile değil, yer hareketi süresince meydana gelen etkilerin toplamı ile hesap yapılmasıdır. Şekil 1.2'de Kobe JMA 90 Yer hareketi için etkin süre görülmektedir. Toplamda 150 s kayıt süresi olan yer hareketinin etkin süresi yaklaşık 9 s kadar çıkmaktadır.



Şekil 1.2: Kobe JMA 90 yer hareketi için Arias şiddeti ve etkin süre.

1.3.2 Yapısal özelliklerin enerji girişine etkileri

Yapısal özellikler, en az yer hareketinin özellikleri kadar enerji girişi ve enerji girişinin yapısal elemanlara dağılımında etkilidir. Bu bağlamda en önemli yapısal özellikler,

- Yapının kütlesi
- Doğal titreşim periyodu
- Yapısal sönüm oranı
- Süneklik

olarak sıralanabilir. Bu özelliklere bağlı olarak aşağıdaki parametreler değişmektedir:

- Enerji girişi: Depremden kaynaklanan toplam yapısal enerjidir.
- Enerji girişinin katlara dağılımı: Deprem kaynaklı enerji girişinin katlar arasındaki dağılımı.
- Enerji girişinin yapısal elemanlara dağılımı: Deprem kaynaklı enerji girişinin kolon, kiriş gibi yapısal elemanlar arasındaki dağılımı.
- Çevrimsel enerjinin neden olacağı yapısal hasar: Deprem kaynaklı çevrimsel enerjinin taşıyıcı sistemi plastik hareketlere zorlaması sonucu sebep olacağı hasar miktarı.

1.3.2.1 Yapısal kütle (m)

Housner (1956) depreme bağlı enerji girişini şu şekilde tanımlamıştır.

$$E_i = \frac{1}{2} * m * (PSV)^2 \quad (1.13)$$

Denklem (1.13)'te PSV , hız spektrumundan elde edilen spektral hızdır. Yapısal kütle, enerji girişi ile doğrudan ilişkilidir. Buna göre binanın kütlesi arttıkça enerji girişi daha fazla olacaktır. Kütle ayrıca doğal titreşim periyodunu ve dolayısı ile yapısal davranışı da önemli ölçüde etkilemektedir.

1.3.2.2 Yapısal periyot(T)

Yapının doğal titreşim periyodu, eşdeğer hız (V_E) ve sözde spektral hız (PSV) değerini değiştirir ve Housner (1956)'ya göre depreme bağlı enerji girişi de değişecektir. Ayrıca periyodun artıp rijitliğin azalması enerji tüketme kapasitesini de azaltacak ve buna bağlı olarak yapısal hasar artacaktır.

1.3.2.3 Yapısal sönüm oranı (ξ)

Betonarme yapılarda genel olarak göz önüne alınan $\xi = \%5$ ve daha küçük içsel sönüm oranları için yapıda oluşan hasarda ve enerji girişi oranında büyük değişimler oluşmamaktadır. Daha fazla sönüm oranları içeren sistemler için (titreşim kontrollü sistemler; yapısal sönümleyici içeren sistemler) ortaya çıkan çevrimsel enerjinin tüketilmesinde yüksek sönüm oranının çok etkili olduğu ve yapıda oluşabilecek hasarların azaldığı yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkmıştır (Khashaee, 2003).

1.3.2.4 Süneklik (μ)

Süneklik, enerjinin tüketilmesinde önemli bir faktör olarak ön plana çıkmaktadır. Yapısal süneklik arttıkça tüketilebilecek çevrimsel enerji ve dolayısıyla yapının enerji tüketme kapasitesi artmaktadır. Hasarın da buna bağlı olarak artacağı unutulmamalıdır.

1.3.3 Zemin özelliklerinin enerji girişine etkisi

Binanın bulunduğu zemin özelliklerine bağlı olarak enerji girişi değişmektedir.

$$E_i/m = \frac{1}{2} * (V_E)^2 \quad (\text{Akiyama, 1985}) \quad (1.14)$$

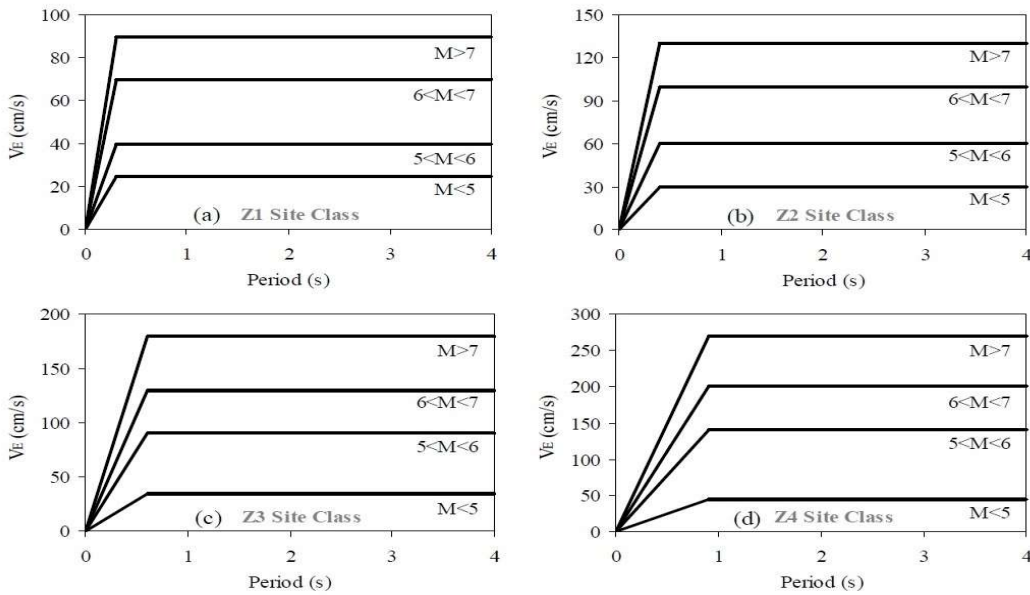
$$E_i/m = \frac{1}{2} * (PSV)^2 \quad (\text{Housner, 1956}) \quad (1.15)$$

PSV = Söзде Spektral Hız(Pseudo Spektral Velocity)

Eşdeğer hız (V_E): Spektral bir değer olup yer hareketine ait enerji spektrumundan yapı periyoduna bağlı olarak elde edilir. Akiyama (1985) TSD bir sistemde %10 sönüm oranı ile V_E -T ilişkisini enerji spektrumu olarak tanımlamış ve toplam enerji girişinden eşdeğer hızı elde etmiştir.

$$V_E = \sqrt{2E/m} \quad (1.16)$$

Eşdeğer hız değeri (V_E) ya da söзде spektral hız (PSV) zemin sınıfına göre değişmektedir. DBYBHY 2007’de zeminler, 30 metre derinlikteki ortalama kayma dalgası hızına (V_{s30}) göre Z1, Z2, Z3 ve Z4 olarak sınıflandırılmışlardır. Zemin sınıfı sert zeminden yumuşak zemine doğru değiştikçe eşdeğer hız ya da söзде spektral hız değeri artmaktadır. Şekil 1.3’te DBYBHY 2007’de tanımlanmış zemin sınıflarına göre hesaplanmış eşdeğer hız spektrumları gösterilmektedir (Okur ve Erberik, 2012). Buna göre yumuşak zeminlerde depreme bağlı yapısal enerji girişi fazla olacaktır.



Şekil 1.3: Zemin sınıflarına göre hesaplanmış eşdeğer hız spektrumları (Okur ve Erberik, 2012).

Yukarıda bahsedilen faktörlere bağlı olarak çevrimsel enerjinin enerji girişine oranı- E_h/E_i enerji esaslı yapısal hesap konusunda önemli bir kavram olarak öne çıkmaktadır.

Depremden kaynaklanan enerji girişi hem yapısal özelliklerden hem de yer hareketinin karakteristik özelliklerinden etkilenmektedir. Bu sebeple yer hareketi ve yapısal sistemin karakteristik özellikleri değiştikçe depreme bağlı yapısal enerji girişi ve

Çevrimsel enerji gibi kavramlar farklılık gösterecektir. Yapısal hasar çevrimsel enerji ile orantılı olarak oluşmaktadır. Bundan dolayı şiddetli depremlerde yapısal özelliğe bağlı olarak hasar oluşumu yapılar da farklılık göstermektedir. Toplam enerji girişi de yer hareketinin karakteristik özelliklerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. şiddetli depremlerde efektif s renin artması halinde hem toplam enerji girişi hem de çevrimsel enerji önemli ölçüde artacaktır. Dördüncü bölümde betonarme bir bina için çeşitli yer hareketleri ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılarak yer hareketlerinin karakteristik özelliklerinin enerji girişi üzerindeki etkileri kapsamlı olarak incelenmiştir.

2. TAM ÖLÇEKLİ SARSMA MASASI DENEYLERİ

Depreme bağılı yapısal enerji girişı ve enerjinin yapıdaki dağılımını yer hareketlerinin karakteristik özellikleri üzerinden incelemek amacıyla 2010 yılında Japonya’da gerçekleştirilen gerçek ölçekli 3 boyutlu betonarme yapıların sarsma masası deneyleri incelenerek analitik bir çalışma yapılmıştır. NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention) E-Defense deneyleri, biri betonarme perdeli-çerçeveseli diğeri ard-germeli olmak üzere 2 adet gerçek ölçüde bina modeli kullanılan ve sarsma masası üzerinde 1995 Kobe depremine ait JMA-Kobe ve JR-Takatori kayıtlarının uygulanmasıyla gerçekleştirilen deneyleridir. Şekil 2.1’de her iki deney binası görölmektedir. Her 2 binaya da bu iki yer hareketi kaydı sarsma masası üzerinde artan bir ölçekle ve toplam 5 kere uygulanmış ve binalarda oluşan hasarlar incelenmiştir. (Tuna, 2012)

Çeşitli karakteristik özelliklere sahip yer hareketlerinin betonarme çerçeveseli sistemlerin yapısal enerji girişı üzerindeki etkisini inceleyebilmek için E-Defense deney binalarından betonarme perdeli-çerçeveseli olan model seçilerek yalnızca çerçeve doğrultusunda incelenmiş ve Perform 3D (CSI, 2006) analiz programı ile modellenerek test sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre binanın yeterli yakınlık düzeyinde modellendiğı sonucuna varılmış ve çeşitli karakteristik özelliklere sahip yer hareketleri uygulanmak üzere analiz modeli hazır hale getirilmiştir.

2.1 E-Defense Sarsma Masası ve Deney Binaları

E-Defense sarsma masası 20 m x 15 m boyutlarına sahip olan günümüzdeki en büyük ve güçlü dinamik deprem düzeneğidir. Sarsma masası ile ilgili teknik bilgiler Tuna (2012) çalışmasından elde edilebilir. Şekil 2.1’de sarsma masası ve deney binaları yer almaktadır görölmektedir. Şekil 2.2’de ise binaların yerleşimi ve doğrultular görölmektedir.

Bina ölçüleri planda çerçeve düzenindeki uzun doğrultuda 14.40m, kısa doğrultu olan perdeli doğrultuda ise 7.20 m’dir. Bina toplamda 4 katlı olup kat yüksekliği her katta 3 m’dir. Test binası yapısal özellikler bakımından planda ve düşeyde düzenli bir binayı temsil etmektedir.



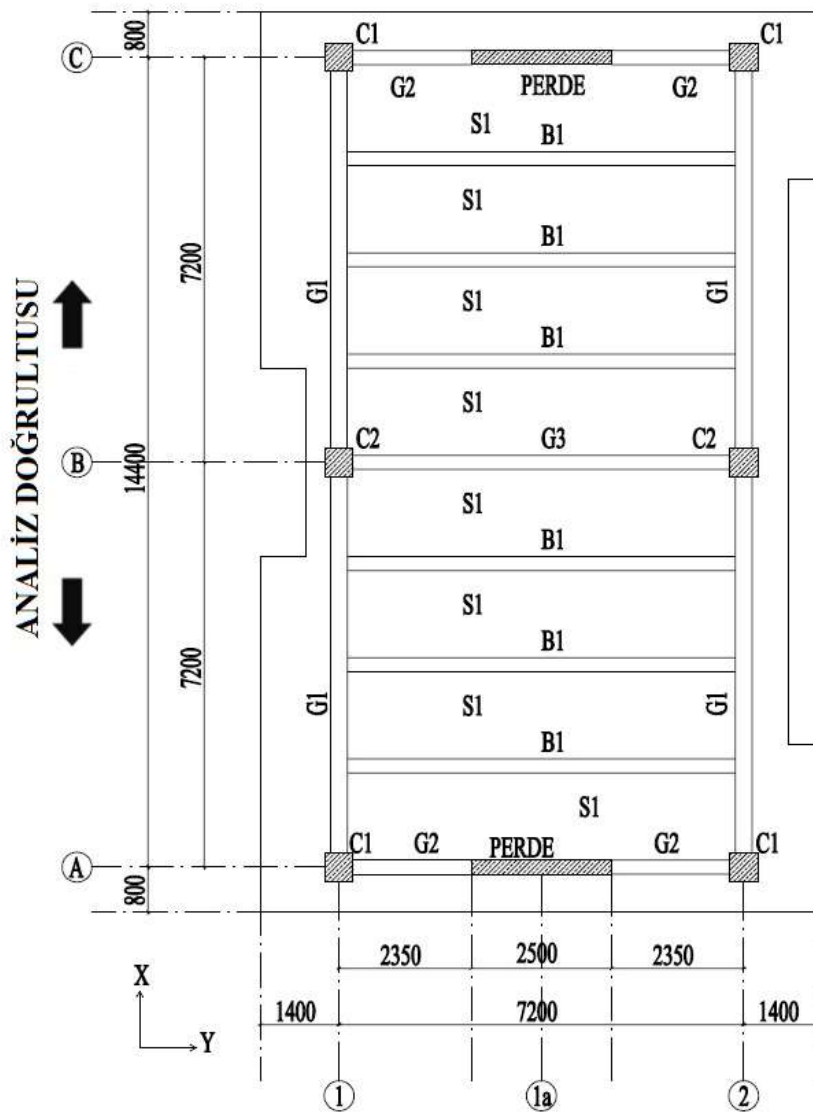
Şekil 2.1: E-Defense sarsma masası ve deney binaları (<https://nees.org/warehouse/project/1005>).



Şekil 2.2: Deney binaları (Tuna, 2012).

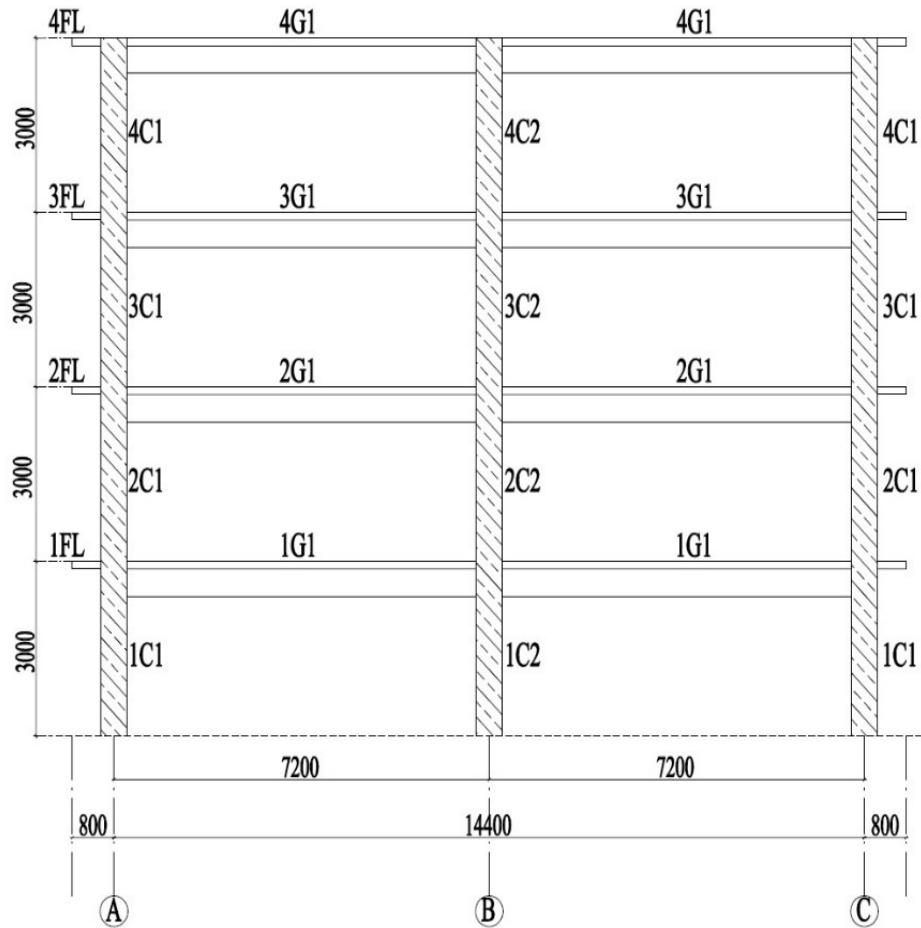
2.2 Betonarme Perdeli-Çerçevesi Yapının Özellikleri

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi perdeli-çerçevesi olarak tasarlanan yerinde dökme betonarme deney binası x doğrultusunda 3, y doğrultusunda 2 aks üzerine kurgulanmış bir yapı sistemine sahiptir. Binadaki tüm açıklıklar eşit olup 7.20 m'dir. Bina her iki doğrultuda taşıyıcı sistem olarak simetrik özelliklere sahip olup döşemelerin konsol kısımları planda simetri bakımından küçük farklılıklar göstermektedir. Kat yüksekliklerinin eşit olması ve taşıyıcı sistemin simetrik özelliği nedeniyle DBYBHY 2007'de tanımlanana yapısal düzensizlikler bu modelde gözlemlenmemektedir.



Şekil 2.3: Betonarme perdeli-çerçevesi bina planı.

Betonarme perdeli-çerçeve binada düşey taşıyıcı elemanlar çeşitli donatı detaylarına sahip 500 mm x 500 mm kesit ölçülerinde kolonlar ve 250 mm x 2500 mm kesit ölçüsündeki perdeler ile oluşturulmuştur. Çerçeve yönündeki 1 ve 2 no'lu akslarda 300 mm x 600 mm kesit ölçüsünde çevre kirişleri yer almaktadır. Perde doğrultusunda ise A ve C akslarında 300 mm x 300 mm kesit ölçüsünde çevre kirişleri ve B aksında 300 mm x 400 mm kesit ölçüsünde iç kirişler yer almaktadır. Binanın döşeme sistemi perde doğrultusunda 1.5 m eşit aralıklarla yerleştirilmiş ve 300 mm x 400 mm kesit ölçüsünde tali kirşler ile bölünerek tek doğrultuda çalışması sağlanmıştır. Betonarme döşeme kalınlığı 130 mm seçilmiş ve binada kat seviyelerinde rijit bir diyafram oluşturulmuştur. Betonarme perdeli-çerçeve binanın çerçeve yönüne ait eleman detayları Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'de verilmiştir. Diğer elemanlar ile ilgili detaylar kaynak çalışmadan elde edilebilir (Tuna,2012). Bina ağırlığı ilk 3 katta yaklaşık 900 kN çatı katında ise ilave ekipmanlar sebebi ile 1000 kN olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.4: Betonarme perdeli-çerçeve yapının Y doğrultusundaki görünüşü

Çizelge 2.1’de kullanılan malzeme dayanımları yer almaktadır. Kullanılan malzeme dayanımları malzene deney sonuçlarından elde edilmiştir.

Çizelge 2.1: Malzeme karakteristik özellikleri (Tuna, 2012).

	Beton		Donatı Çeliği	
	f_c (N/mm ²)	E_c (N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	σ_t (N/mm ²)
Kat 1	39.6	33000	370	555
Kat 2	39.2	33000		
Kat 3	30.2	30500		
Kat 4	41.0	30500		

Çizelge 2.2: Çerçeve doğrultusu kolon detayları.

		C1	C2
4FL 3FL	Kesit		
	B x D	500 x 500	500 x 500
	Boyuna Donatı	8 Ø 22	10 Ø 22
	Enine Donatı	Ø 10 / 100	Ø 10 / 100
	Düğüm Noktası	Ø 10 / 140	Ø 10 / 140
2FL	Kesit		
	B x D	500 x 500	500 x 500
	Boyuna Donatı	8 Ø 22	10 Ø 22
	Enine Donatı	Ø 10 / 100	Ø 10 / 100
	Düğüm Noktası	Ø 10 / 140	Ø 10 / 140
1FL	Kesit Üst Uç		
	B x D	500 x 500	
	Boyuna Donatı	8 Ø 22	
	Enine Donatı	Ø 10 / 100	
	Düğüm Noktası	Ø 10 / 140	
	Kesit Alt Uç		
	B x D	500 x 500	
	Boyuna Donatı	10 Ø 22	
	Enine Donatı	Ø 10 / 100	
	Düğüm Noktası	Ø 10 / 140	

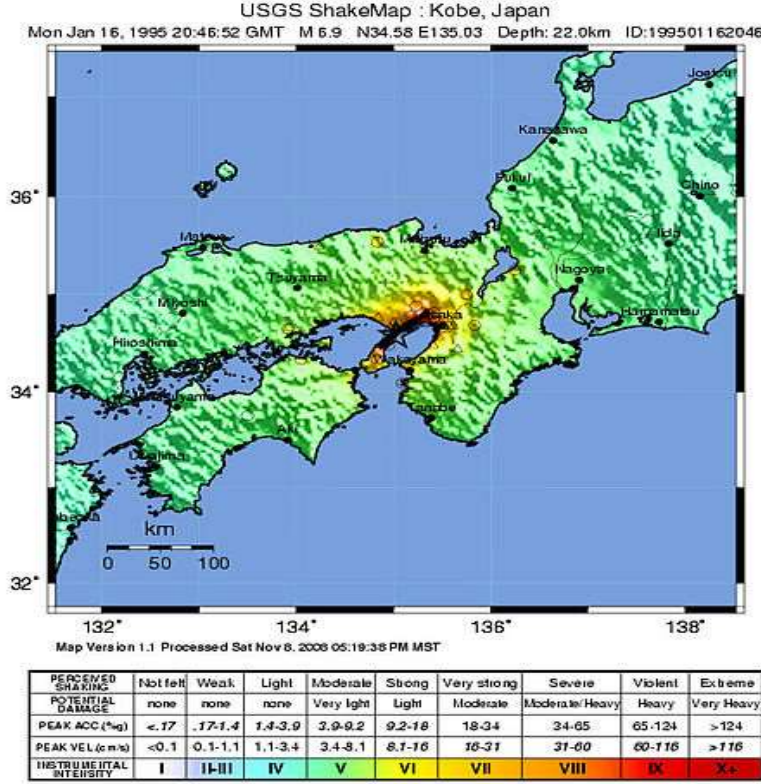
Çizelge 2.3: Çerçeve doğrultusu kiriş detayları.

G1				
	Konum	Sol Uç	Açıklık	Sağ Uç
4FL 3FL	Kesit			
	B x D	300 x 600	300 x 600	300 x 600
	Boyuna Donatı	4 Ø 22	3 Ø 22	4 Ø 22
	Gövde Donatısı	4 Ø 10		
	Enine Donatı	Ø 10 / 200		
2FL	Kesit			
	B x D	300 x 600	300 x 600	300 x 600
	Boyuna Donatı	5 Ø 22	3 Ø 22	5 Ø 22
	Gövde Donatısı	4 Ø 10		
	Enine Donatı	Ø 10 / 200		
1FL	Kesit			
	B x D	300 x 600	300 x 600	300 x 600
	Boyuna Donatı	6 Ø 22	3 Ø 22	6 Ø 22
	Gövde Donatısı	4 Ø 10		
	Enine Donatı	Ø 10 / 200		

2.3 Deneylerde Kullanılan Yer Hareketleri

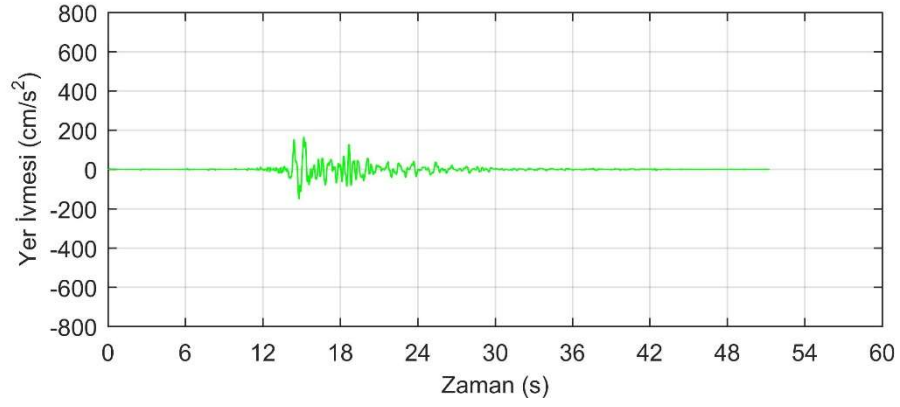
Deney kapsamında binalara sırasıyla %25, %50 ve %100 ölçekli JMA-Kobe 1995, %40 ve %60 ölçekli JR-Takatori 1995 yer hareketi kayıtları ardışık olarak uygulanarak sonuçlar incelenmiştir. Bu tez kapsamında yapılan analiz sonuçlarının deney sonuçları ile benzerlik göstermesi amacıyla sayısal analizlerde deneyde kullanılan yer hareketi kaydı yerine masa üzerinde kaydedilen ivme kaydı kullanılmıştır.

17 Ocak 1995 tarihinde yerel saat ile 05:46'da meydana gelen Kobe depreminin moment büyüklüğü $M_w=6.9$ 'dur. 5500 can kaybı ve 36896 yaralanmanın meydana gelmesi, 200000'den fazla yapının yıkılması ve hasar alması depremin oluşturduğu önemli sonuçlardır. Kobe depremi kayıtları hem yerel hem küresel anlamda önemli bir bilgi kaynağı olmuş ve yapısal tasarım esaslarının oluşturulmasında etkili bir unsur olmuştur.

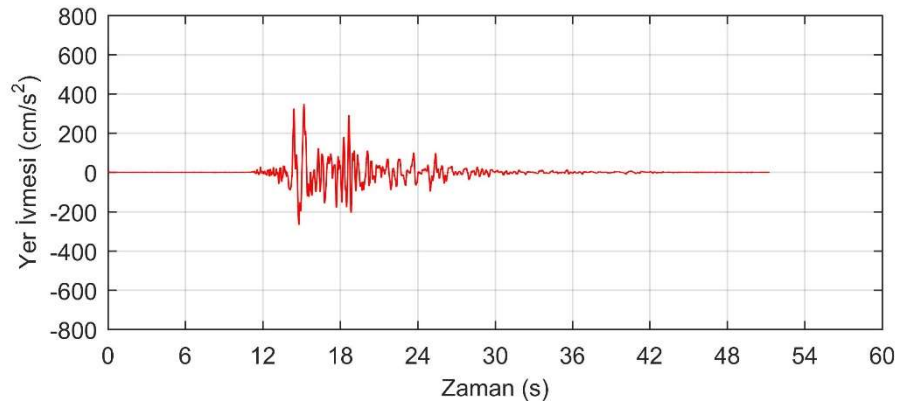


Şekil 2.5: Kobe depremi şiddet haritası (USGS).

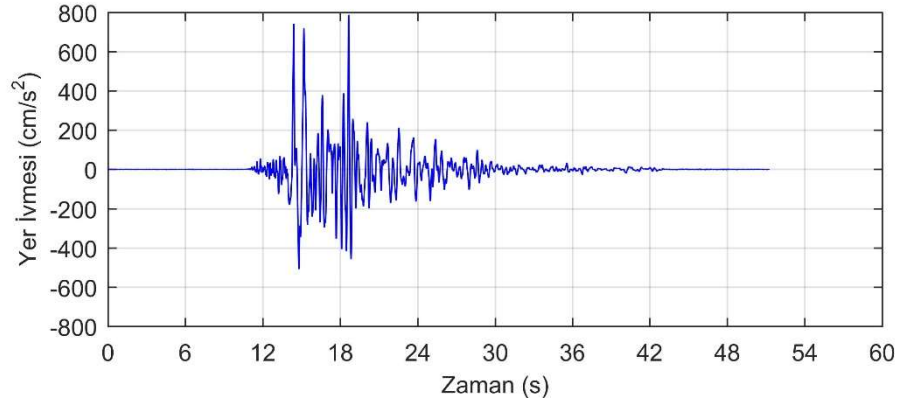
Deney esnasında toplam olarak 609 kanaldan ölçümler yapılarak ivme, deplasman ve şekildeğiştirme değerleri kayıt altına alınmıştır. Ölçüm ve cihazlarla ilgili detaylar kaynak çalışmada yer almaktadır (Tuna, 2012). JMA-Kobe 1995 yer hareketi kaydının %25, %50 ve %100 ölçeklenmiş durumunun deneyler sırasında sarsma masası seviyesinde ve binanın çerçeve doğrultusunda ölçülen kayıtları Şekil 2.6'da, Şekil 2.7'de, Şekil 2.8'da verilmiştir.



Şekil 2.6: %25 JMA-Kobe sarsma masası seviyesi x yönü ivme ölçümü.



Şekil 2.7: %50 JMA-Kobe sarsma masası seviyesi x yönü ivme ölçümü.



Şekil 2.8: %100 JMA-Kobe sarsma masası seviyesi x yönü ivme ölçümü.

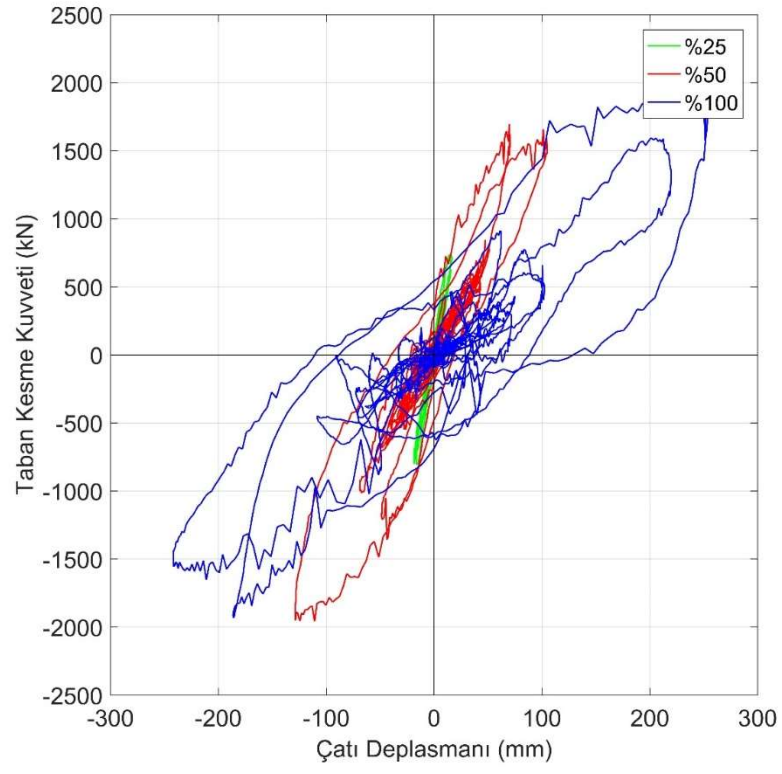
Çizelge 2.4’de orijinal yer hareketinin özellikleri ve sarsma masası üzerinde x yönünde kayıt edilen ivmelere göre hesaplanmış yer hareketi özellikleri verilmiştir. Buradan hareketle sarsma masası düzeneğinin etkinliği anlaşılabilir.

Çizelge 2.4: Yer hareketi özellikleri.

Yer Hareketi	PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	Etkin Süre (s)
Kobe JMA 100 (yer hareketi kaydı)	619	73	5.38	9.52
Kobe E-D 100 (masa üzerinde ölçülen)	787	72	6.29	9.26

Deneylerde 25%, 50% ve 100% ölçekli yer hareketi seviyesi için çerçeve doğrultusunda ve çatı katında sırasıyla %0.16, %1.07 ve %2.11 görelî kat ötelemesi değerleri ölçülmüştür. %100 Kobe yer hareketinden sonra çatı katı seviyesinde 70 mm (%0.60 görelî kat ötelemesi) kalıcı kat ötelemesi gözlemlenmiştir. Perde doğrultusunda ise aynı sırayla 3 yer hareketi seviyesi için çatı katında %0.20, %0.84 ve %2.54 görelî kat ötelemesi değerleri ölçülmüş ve %100 Kobe yer hareketinden sonra çatı katı seviyesinde 21 mm (%0.20 görelî kat ötelemesi) kalıcı kat ötelemesi gözlemlenmiştir.(Tuna,2012)

Şekil 2.9’da uygulanmış olan yer hareketlerine ait taban kesme kuvveti-çatı deplasmanı grafikleri görülmektedir. Sarsma masası deneylerinde model bina %25 ölçekli yer hareketinde elastik davranışa yakın bir davranış göstermiş, %50 ölçekli yer hareketiyle beraber rijitliği azalarak elastik ötesi davranış göstermiş ve hasar almaya başlamış ve %100 ölçekli yer hareketi sonunda rijitliği önemli ölçüde azalarak büyük plastik çevrimler sergilemiştir. Bu noktada kalıcı yapısal deformasyon ve hasarlar meydana gelmiş ve yapı önemli miktarda çevrimsel enerji tüketmiştir.



Şekil 2.9: Deney sonuçlarına göre %25, %50 ve %100 ölçekli Kobe JMA 90 yer hareketi için taban kesme kuvvet- çatı deplasmanı grafikleri.

3. YAPISAL MODELLEME VE DENEYSEL SONUÇLARLA KIYASLAMA

Depreme bağlı enerji girişi açısından incelenmek üzere E-Defense deneyinde kullanılan ve 2.nci bölümde kapsamlı şekilde açıklanan betonarme perdeli-çerçeveli binanın analiz modeli oluşturulmuştur. Analiz modeli için bina ereve doğrultusunda modellenmiş ve deneyde uygulandığı gibi ardışık yer hareketleri kullanılarak deney sonuçları ve analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Modellemede CSI firmasının geliştirdiği Perform 3D V5.0.0 (CSI,2006) yazılımı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmıştır. Analiz modeli oluşturulurken aşağıda verilen esaslar göz önüne alınmıştır:

- Analiz modelinde kullanılan malzemelerin dayanımları Tuna(2012)'de verilen malzeme modeline göre belirlenmiştir.
- Betonun ekme dayanımı göz önüne alınarak modele dâhil edilmiştir.
- Bina modeli için çatlamış kesit rijitlikleri kullanılmıştır.
- Kat kütleleri düğüm noktalarının etkin alanları göz önüne alınarak düğüm noktalarında yüklerden bağımsız olarak tanımlanmıştır.
- Rijit diyafram davranışı kabul edilerek kat kütleleri kütle merkezinde toplanmıştır.
- Bina ereve doğrultusunda modellenmiş ve perde yönünde serbestlikleri tutularak tek doğrultuda analiz yapılması sağlanmıştır.
- Zaman tanım alanında analizde sarsma masası üzerinde ölçülen ivme kayıtları kullanılmıştır.
- Deneyde olduğu gibi 1995 Kobe depremine ait JMA yer hareketi kayıtları kullanılmıştır. Bir diğer yer hareketi kaydı olarak deneyde kullanılan TAK yer hareketi kayıtları analize dâhil edilmemiştir.
- Bina modeline temel dâhil edilmemiştir ve bunun yerine düşey taşıyıcı elemanların zeminle birleştiği seviyede ankastre mesnet tanımı yapılmıştır.

- Kirişlere gelen yükler çizgisel yayılı yük olarak, kolonlara gelen yükler ise tekil yük olarak tanımlanmıştır.
- Kullanılan yazılımın özelliği gereği yer hareketi kaydının tamamının analizde uygulanabilmesi için çatı deplasmanı olarak %10 görelî kat ötelemesi sınırına kadar izin verilmiştir.

Perform 3D yazılımı kullanılarak analiz sonunda enerji bileşenleri hem eleman grupları hem de katlar arasında hesap edilerek depremden kaynaklanan enerji girişı incelenmiştir. Analizlerden elde edilen çevrimsel enerji ve toplam enerji incelenmiş ve deney sonunda elde edilmiş olan hasarlar ile analiz sonucunda elde edilen mafsallaşmalar kıyaslanabilmektedir.

3.1 Perform 3D Yazılımı ve Çalışma Prensipleri

Perform 3D, Dr. Graham H. Powell tarafından University of California, Berkeley’de geliştirilmiş CSI firması tarafından dağıtılan ticari bir yazılımdır. Yapılar için doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile performans değerlendirmesi olanağı sunan grafik ara yüze sahip bir yazılım olan Perform 3D günümüzde özellikle yüksek yapıların tasarımıda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yazılım hem doğrusal yöntemler hem de doğrusal olmayan yöntemler ile analiz seçeneğı sunmaktadır. İtme analizi ve zaman tanım alanında analiz kullanılarak yapılarda doğrusal olmayan davranış incelenebilmektedir. Perform 3D’nin analizlerde kullanım amacı enerji esaslı tasarım esaslarına göre değerlendirme olanağı da sunmasıdır. Zaman tanım alanında analiz özelliğini kullanarak ‘Energy Balance’ sonuçları incelendiğinde dinamik analiz sonuçlarına ait enerji bileşenleri elde edilebilir.

Perform 3D doğrusal ve doğrusal olmayan özelliklere sahip malzeme ve yapısal eleman tanımlama seçeneklerine sahiptir. Malzeme modellerinde elastik ve elastik olmayan davranış tanımlı yapılabilmektedir. Yapısal elemanların kesit boyutları girilerek elastik kesit davranışı belirleme seçeneğı mevcuttur. Elastik ötesi davranışın görüldüğü kesit modeli ise en genel haliyle kuvvet-deformasyon ilişkileri belirlenerek tanımlanmaktadır. Yapısal elemanlar bu elastik ve elastik olmayan kesit özellikleri bir araya getirilerek oluşturulabilirler. Ayrıca yığılı plastik mafsall ve yayılı plastik mafsall özellikleri elemanlara atanarak elastik ötesi davranış değerlendirilebilir. Fiber kesit

özelliği kullanılarak özellikle perde duvar modellemesi detaylı olarak yapılabilmektedir.

Perform 3D elastik ötesi davranışın modellenenebilmesi için malzeme ve plastik mafsallık özelliği olarak pekleşmeli model, enerji azalım faktörü, rijitlik azalması gibi çeşitli seçeneklere sahiptir. Bu sayede elastik ötesi davranış daha gerçekçi ve detaylı olarak göz önüne alınabilir fakat bu özelliklerin kullanılabilmesi için analiz konusu taşıyıcı elemanların elastik ötesi davranışı konusu kapsamlı bir şekilde araştırılmalıdır. DeneySEL sonuçlardan elde edilen verilere göre malzeme, kesit, çerçeve davranışı gibi özellikler elastik ötesi davranışın gerçeğe yakın olması amacıyla yazılıma yansıtılabilir.

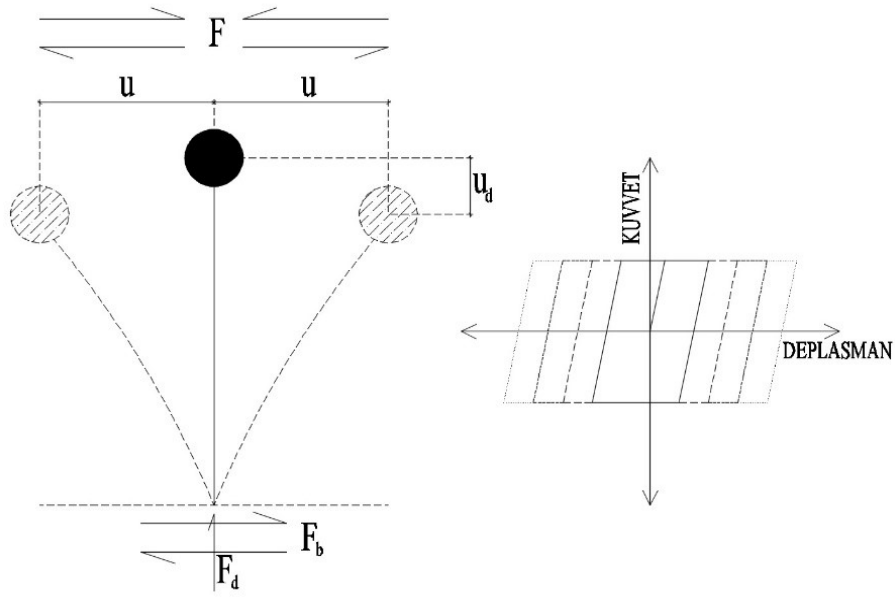
Perform 3D ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılarak sistemin yapısal enerji dengesi elde edilebilmektedir. Tek serbestlik dereceli sistemler için yazılan denge denkleminde olduğu gibi Perform 3D dinamik analiz sonucu olarak şu yapısal enerji bileşenlerini hesaplamaktadır:

- E_k : Kinetik enerji,
- E_{se} : Elastik şekildeğiştirme enerjisi,
- E_h : Çevrimsel enerji,
- E_d : Sönümlenme çeşidine göre sönümlenme enerjisi.

Enerji dengesi analiz sonrası elde edilen kuvvet-deplasman eğrisi ile hesaplanabilmektedir. Perform 3D elemanların kuvvet-deformasyon ilişkisine göre enerji dengesinde rijitlik azalmasını ve çevrimsel enerji azalmasını dikkate alarak hesaplama yapabilmektedir. Şekil 3.1’de elasto-plastik tek serbestlik dereceli sistem için çevrimsel itme analizi ile elde edilebilecek kuvvet-deplasman bileşenleri görülmektedir. Bu sistemin çözülmesiyle sistemin enerji dengesi;

$$F_b * u - F_d * u_d = E_i \quad (3.1)$$

olarak yazılabilir. Perform 3D Şekil 3.1’teki tek serbestlik dereceli sistem için enerji dengesini hesaplarken kuvvet deformasyon eğrisini altında kalan alanı hesaplayarak ve sistemdeki düşey boy kısaltmalarını da göz önüne alarak toplam enerji girişini elde etmektedir.



Şekil 3.1: Tek serbestlik dereceli sistemde kuvvet bileşenleri.

Denklem (3.1)'de; F_b yatay yükler altında yapının taban kesme kuvvetini, u yatay deplasmanı, F_d düşey yükler altında yapının mesnet tepkisini, u_d düşey deplasmanı (eksenel boy kısalması) ifade etmektedir.

Perform 3D yazılımının enerji dengesi hesap yöntemini doğrulayabilmek amacıyla tekil bir kolonun çevrimsel yükleme deney sonuçları üzerinden ön-analizler yapılmıştır. Bu amaçla, Acun (2011)'de verilen kolon deneylerinde kullanılan 6DV2 no'lu numune Perform 3D ile modellenmiş ve enerji dengesi sonuçları el ile hesaplanarak Perform 3D yazılımından elde edilen enerji sonuçları ile kıyaslanmıştır. İlgili kaynakta tanımlanan hedef deplasmanlar dikkate alınarak kolon modeli üzerinde çevrimsel itme analizi yapılmış ve kolon modelinin taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı eğrisi elde edilmiştir. Bu eğriden hareketle el ile hesap yapılmış ve yaklaşık 250.3 kNm enerji girişi elde edilmiştir. Bu değer yazılımdan elde edilen toplam 184.15 kNm enerji girişinden büyüktür. Bu sebeple denklem (3.1)'de tarif edildiği gibi düşey boy kısaltmaları da dikkate alınarak yeniden hesap yapılmış ve enerji girişi 184.19 kNm olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç ile birlikte analiz programının enerji hesap yöntemi teyit edilmiş ve tez konusu bina modelinin oluşturulması aşamasına geçilmiştir.

3.2 Yapısal Modelin Oluşturulması

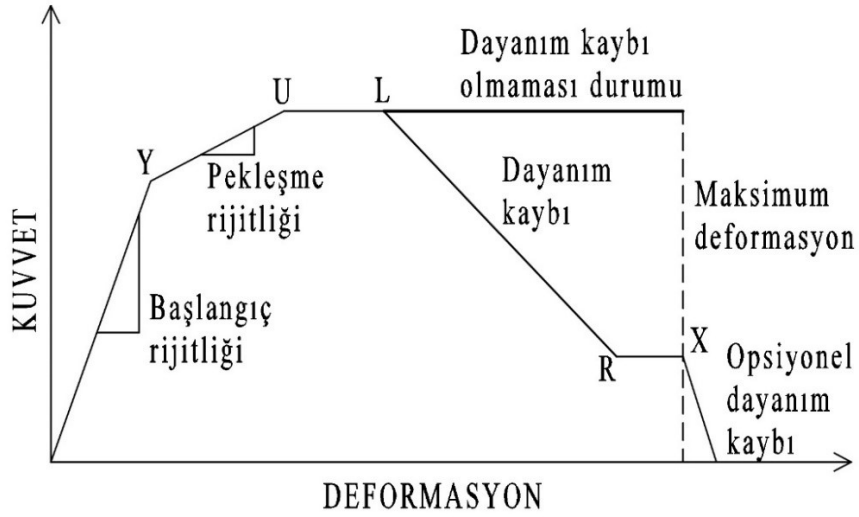
Önceki bölümde anlatılan E-Defense deneyinde kullanılan betonarme perdeli-çerçeve yapı enerji esaslı tasarım yönünden incelenmek amacıyla Perform 3D yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Deney binasının genel özellikleri için Tuna (2012) ve PEER Report 2011/104 kaynaklarından faydalanılmıştır. Her iki kaynaktan deneyle ilgili genel bilgiler de elde edilmiştir.

Deney binalarından betonarme perdeli-çerçeve yapı olan bina tipi, çerçeve doğrultusunda elastik ötesi davranış göz önüne alınarak analiz modeli oluşturulmuştur. Çerçeve doğrultusunda bulunan yapısal elemanlar sadece kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. Perform 3D, kolon ve kiriş elemanları çubuk eleman modeli olarak dikkate almaktadır. Çubuk elemanlar kesit boyutları belirlenmiş elastik kesitler ve elastik ötesi davranış gösteren uç bölgeleri bir araya getirilerek oluşturulmaktadır.

Elastik kesitler malzeme dayanım özelliğinden bağımsız olarak yükseklik ve genişlikleri belirlenerek tanımlanmaktadır. Böylece yapının elastik davranışı modele yansıtılmış olmaktadır. Yapının rijitliği kesit özelliklerine göre yazılım tarafından hesaplanır ve serbest titreşim modları, yapısal periyot gibi genel yapı özellikleri belirlenebilir.

Enerji esaslı tasarım yönteminin kullanılabilmesi için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile analiz yapılmıştır. Perform 3D yazılımı elastik ötesi davranış modeli oluştururken çubuk elemanlar için plastik mafsallı modelleri veya fiber model kullanmaktadır. Plastik mafsallı modeli çubuk elemanın tipine göre eğilme veya bileşik eğilme plastik mafsallı modeli olarak oluşturulabilmektedir. Analiz modeli oluştururken önce plastik mafsallı modeli ile elastik ötesi davranış tanımlanmıştır. Daha sonra fiber kesit modelinin verdiği sonuçların daha uygun olması sebebi ile analizler fiber kesit modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Perform 3D fiber model tanımını öncelikli olarak malzeme modeline bağlı olarak yapmaktadır. Betonarme model için betona ve donatı çeliğine ait kuvvet-deformasyon ilişkisi belirlenmelidir. Şekil 3.2’de Perform 3D yazılımında kullanılan kuvvet-deformasyon ilişkisinin grafiksel gösterimi verilmiştir.



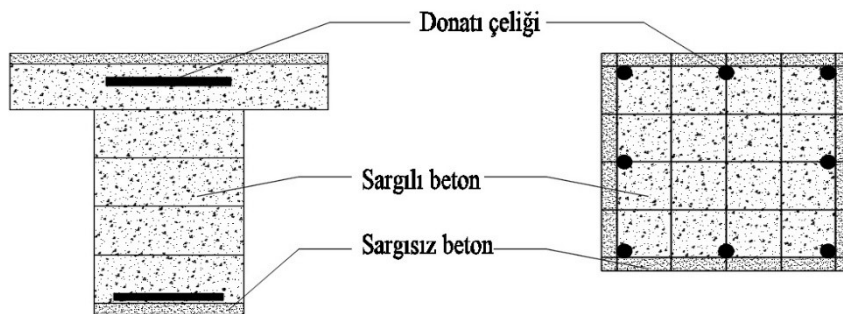
Şekil 3.2: Perform 3D kuvvet-deformasyon ilişkisi.

Kuvvet-deformasyon ilişkisinin gösteren Şekil 3.2’de,

- Y akma noktasını,
- U pekleşme noktasını,
- L süneklik limit noktasını,
- R dayanım kaybının dikkate alınması durumunda artık dayanım noktasını,
- X ise maksimum deformasyon noktasını göstermektedir.

Elastik ötesi davranış tanımlanırken elasto-plastik model, pekleşmeli model, dayanım kaybı gibi farklı seçenekler göz önüne alınabilir.

Deney binası modeli oluşturulurken fiber model seçeneği kullanılmıştır. Bu modelleme yönteminde malzeme lifleri kesitte yer aldıkları koordinatlara göre tanımlanarak elastik ötesi davranış gösterecek kesit elde edilmiştir. Şekil 3.3’te kiriş ve kolon çubuk elemanı için tipik fiber kesiti görülmektedir.



Şekil 3.3: Kiriş ve kolon çubuk elemanı için fiber kesiti.

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi kullanılan kesit belirli alanlara bölünerek kesitin ağırlık merkezine olan uzaklıkları belirlenir ve fiber kesit tanımlanmış olur. Kolon elemanı için tüm donatıların koordinatları belirtilir. Kiriş elemanlarda ise alt ve üst donatıların toplam alanları belirlenmelidir.

Fiber kesitler ve elastik kesitler bir çubuk elamana yerleştirilerek kolon veya kiriş elemanı elastik ötesi davranış gösterecek şekilde modellenmektedir. Burada eleman açıklıkları elastik davranış, uç bölgeleri ise plastik davranış gösterecektir. DBYBHY 2007 uç bölgeler için kesit yüksekliğinin yarısı kadar bir plastik mafsallık boyu önermektedir. Analiz modelinde de bu karara uygun şekilde plastik mafsallık boyu dikkate alınmıştır. Tipik bir çubuk eleman bileşenleri Şekil 3.4’de görülmektedir.



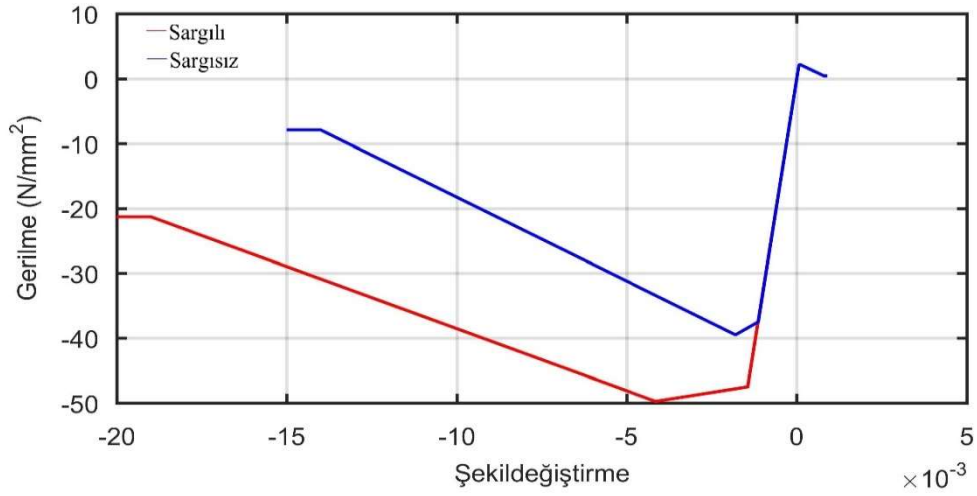
Şekil 3.4: Çubuk eleman modeli.

Fiber kesit ile elastik ötesi davranış modeli tanımlanırken kullanılacak malzeme modeli son derece önemli bir parametredir. Sistemin doğrusal olmayan davranış gösterebilmesi için beton ve donatı çeliği elastik ötesi davranış gösterecek özelliklere sahip olmalıdır. Yani analiz modeli tüm doğrusal olmayan özellikleri malzeme modelinden almaktadır.

Malzeme özellikleri deney sonuçlarına göre belirlenmiştir. Buna göre beton dayanımları ve elastisite modülleri katlara göre farklılık göstermekte, donatı çeliğinin dayanımı ise donatı çapına göre farklılık göstermektedir (Tuna, 2012; PEER Report 2011/104). Her iki malzeme de pekleşmeli ve enerji azalım faktörleri belirlenerek tanımlanmıştır.

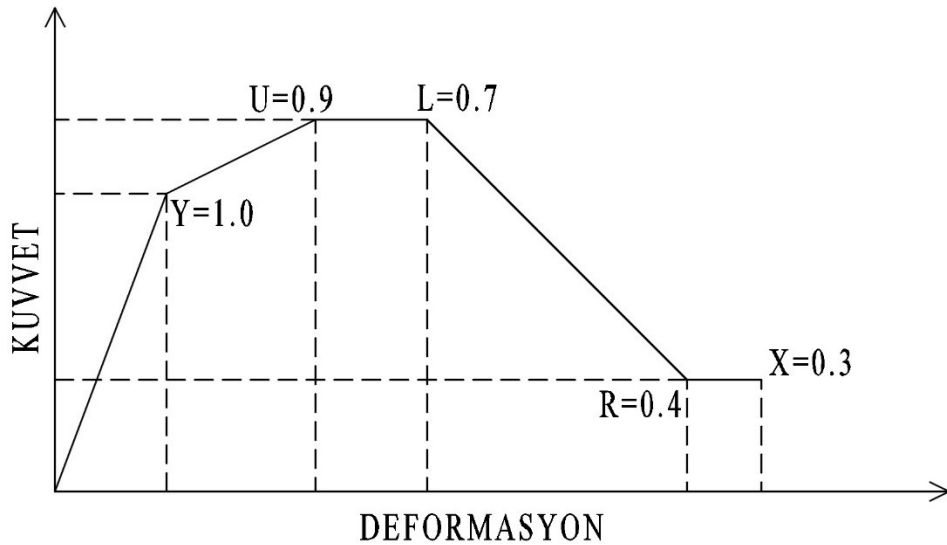
Beton malzeme kesitin en dışında sargısız, etriye ile sarılmış çekirdek beton bölgesinde ise sargılı beton modeli olarak değerlendirilmiştir. Sargılı beton modeli olarak literatürde yer alan Mander beton modeli kullanılmıştır(Mander,1984). Beton malzemesinin başlangıç rijitliğinin yüksek olarak hesaplanabilmesi için pekleşmeli malzeme modelinde beton dayanımının 0.9 katı kadar bir dayanım çatlama dayanımı olarak hesaba katılmıştır. Deney sonuçlarına yakınlık sağlayabilmek için betonun

çekme dayanımı ihmal edilmemiştir. Birinci kata ait malzeme gerilme şekildeğiştirme ilişkisi sargılı ve sargısız beton için Şekil 3.5’da gösterilmiştir.

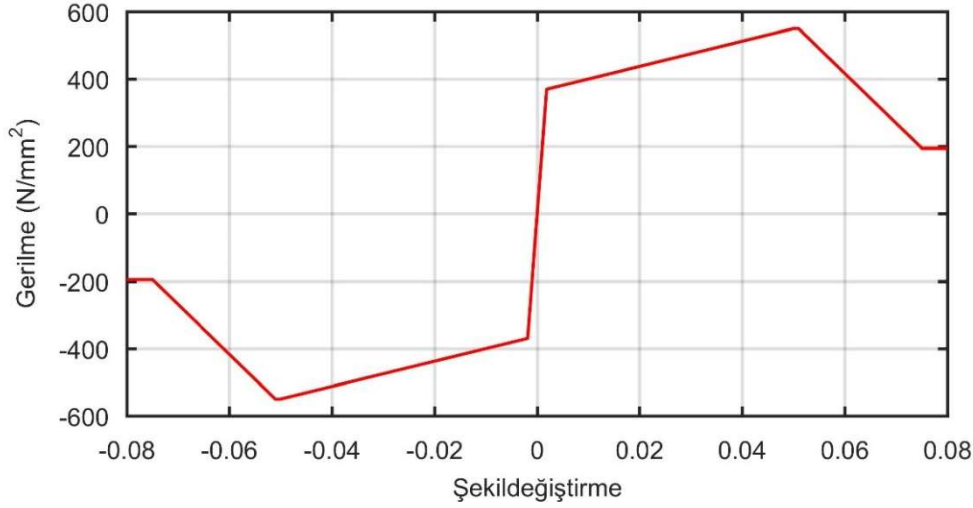


Şekil 3.5: Kat 1 beton gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Deprem yükleri altında sistem hasar aldıkça enerji tüketme kapasitesinin düşeceği düşünülerek hem beton hem donatı çeliği için enerji azalım faktörleri malzeme modelinde hesaba katılmıştır. Beton malzemesi için Mander sargılı beton modeline uygun olacak şekilde enerji azalım faktörleri Şekil 3.6’de üzerinde gösterilmiştir (Xuewei vd.,2011). Kolon ve kirişlerde kullanılan D22 donatı çeliği için gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 3.7’de görülmektedir.



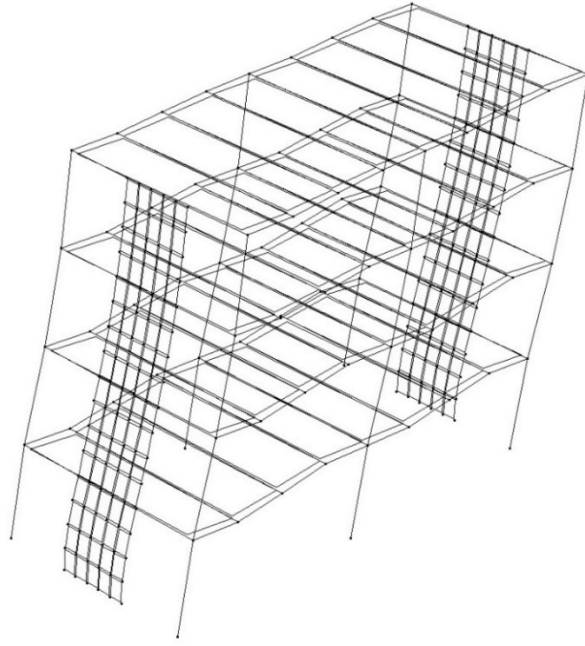
Şekil 3.6: Enerji azaltma faktörleri.



Şekil 3.7: D22 donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Deney binasının analiz modeli oluşturulurken çatlamış kesit rijitlikleri dikkate alınarak kesit tanımları 0.2EI rijitliğe göre yapılmıştır. Bunu sebebi, bina yer hareketiyle birlikte akma deplasmanına ulaştıktan sonra elastik ötesi davranışın başlaması ile rijitliğin azalacak olmasıdır. DBYBHY 2007’de kirişler için etkin rijitlik 0.4EI, kolon ve perdeler için ise eksenel yük seviyesine bağlı olarak 0.4EI~0.8EI aralığında etkin rijitlik tanımı vardır. Analiz modelinde tüm elemanlar için atalet momentleri çerçeve doğrultusunda 0.2I kadar dikkate alınmıştır. ASCE 41-13’te ilgili bölümde referans verilen bir yayında Elwood ve Eberhad (2006) eksenel yük seviyesi kapasitesinin %20’sinden az olan kare kolonlar için etkin rijitlik oranını 0.2 olarak önermişlerdir. ASCE-41-13 kolonlar ve kirişler için eksenel yük seviyesinin eleman kapasitenin %10’undan küçük olması durumunda 0.3 oranında bir etkin rijitlik önermektedir. Analiz modelinde Elwood ve Eberhad(2006)’ın önerdiği şekilde 0.2 oranında bir etkin rijitlik tüm çerçeve elemanları için uygulanmıştır.

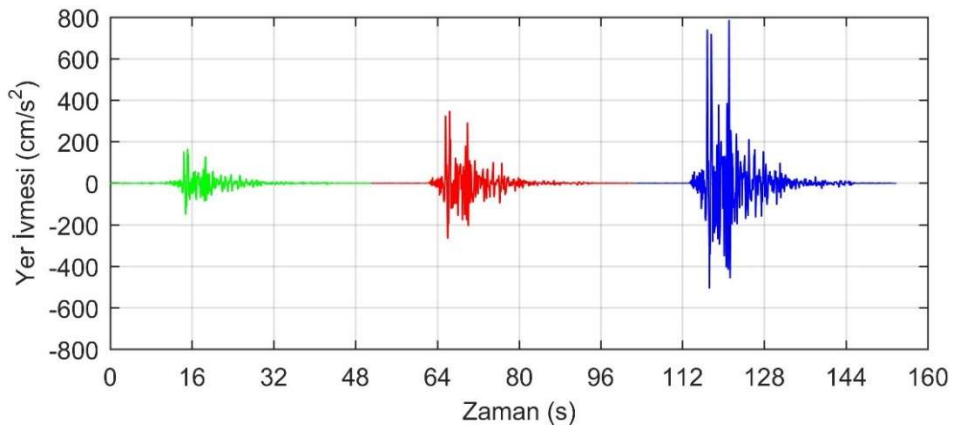
Elastik sistemde çerçeve doğrultusunda 1. serbest titreşim periyodu 0.400 s, rijitliği azaltılmış sistemde ise 0.586 s olarak yazılım tarafından hesaplanmıştır. Elastik ötesi davranış gösterecek sistemde periyodun 0.586 s olarak elde edilmesi fiber kesit elemanların sisteme dâhil edilmesiyle sağlanmıştır. Plastik mafsallı modellerinin kullanılması durumunda deney sonuçlarına göre sonuçlar daha uzak sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3.8’te serbest titreşim mod şekli yer almaktadır.



Şekil 3.8: Analiz modelinin serbest titreşim mod şekli ($T=0.586$ s, $\%m= 0.858$).

Yukarıda belirtilen özelliklere sahip analiz modeli oluşturularak deney sonuçları ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması yapılmış, analiz modelinin davranışının deney binası ile uyumluluğu kontrol edilmiştir.

Analiz modelinin oluşturulmasıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler deneyde yapılmış olduğu gibi yer hareketlerinin %25, %50 ve %100 ölçeklerinde ve ardışık olarak uygulanmasıyla yapılmıştır. Analizlerde orijinal yer hareketleri değil deney esnasında sarsma masası üzerinde ölçülmüş olan yer hareketi kayıtları kullanılmıştır. Şekil 3.9’da ardışık uygulanmış olan sarsma masası üzerinde ölçülmüş Kobe JMA yer hareketlerinin ivme-zaman grafiği görülmektedir. Analiz modeline uygun olarak çerçeve doğrultusundaki yer ivmeleri analizlerde uygulanmıştır.

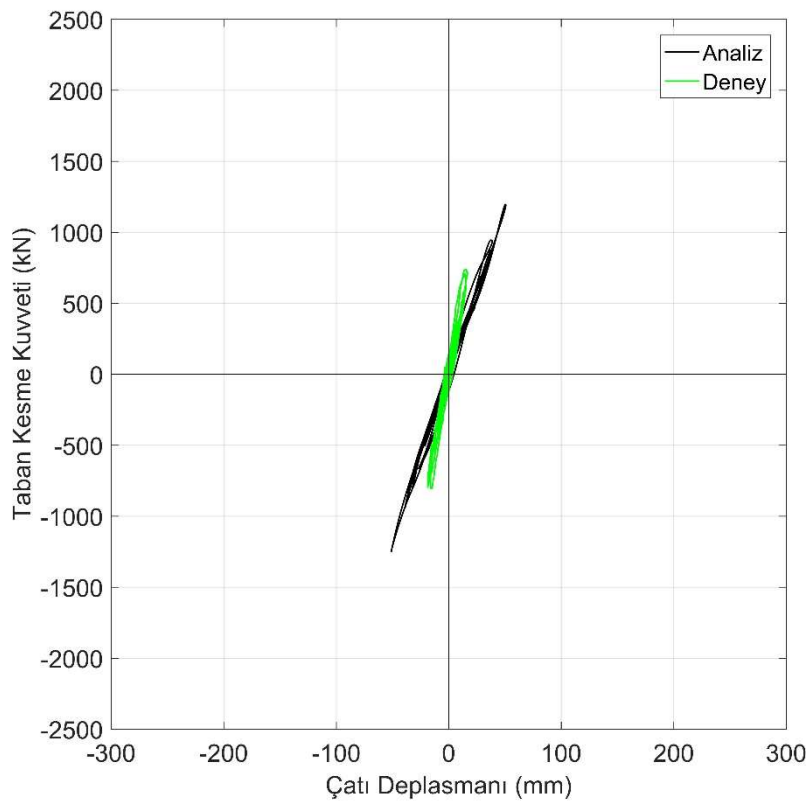


Şekil 3.9: Ardışık sarsma masası yer ivmesi kayıtları.

3.3 Analitik Modelin Analizi ve Test Sonuçlarının Kıyaslanması

Analiz modelinin deney binasını yeterli doğrulukta temsil ettiğini kontrol etmek amacıyla analiz sonuçları deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Bu amaçla %25, %50 ve %100 ölçekli yer hareketlerinin uygulanmasından elde edilen taban kesme kuvvetleri ve çatı deplasmanları grafikler üzerinden incelenmiştir.

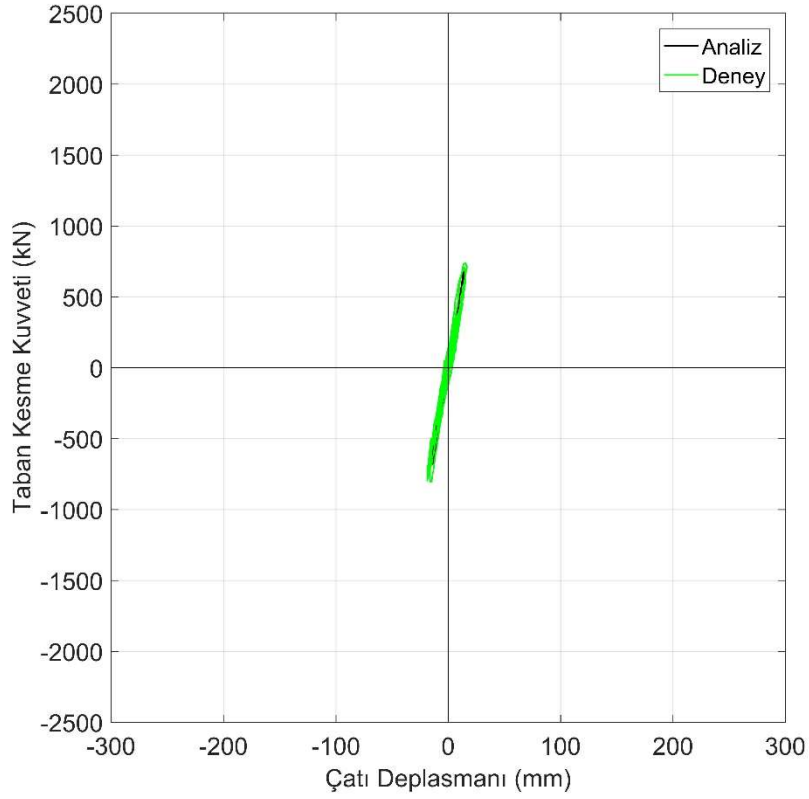
Şekil 3.10'da %25 ölçekli yer hareketi kaydı için analiz ve deney sonuçları görülmektedir. Elastığe yakın davranış göstermiş olan bina için deney sonuçları ile analiz sonuçlarında gözle görülen farklar bulunmaktadır. Yapılan kıyaslamadan 0.2EI etkin rijitlik kabulünün %25 ölçekli Kobe yer hareketi sonucunda neredeyse tamamen elastik kalan bir yapının etkin rijitliğini temsil etmek için küçük bir değer olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.10: 0.2EI etkin rijitlik için %25 ölçekli yer hareketi taban kesme kuvveti-çatı deplasman grafiği.

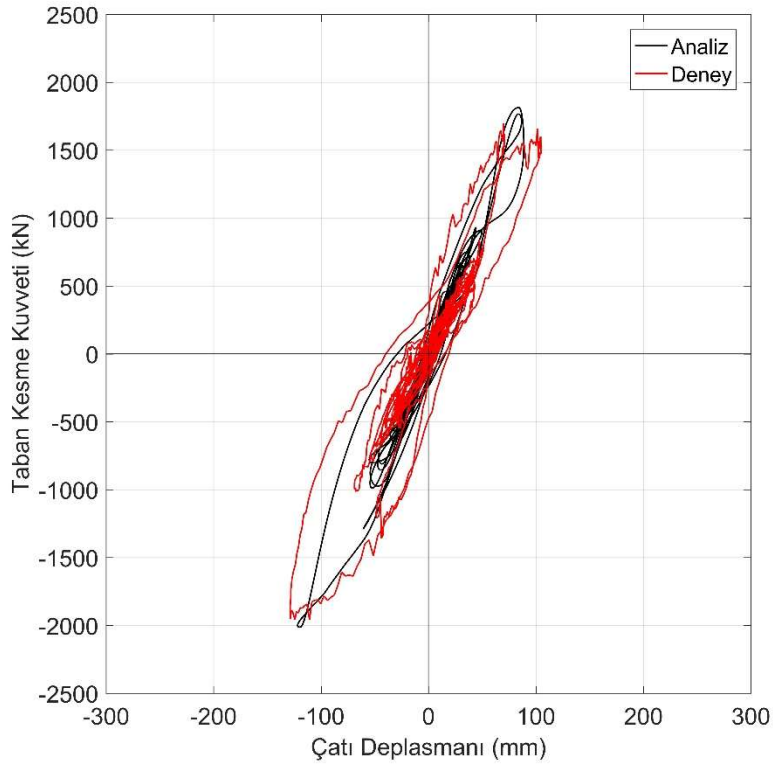
%25 ölçekli yer hareketi için deney sonuçlarının yakalanması daha rijit bir analiz modeli ile sağlanabilir. Bu sebeple %25 ölçekli yer hareketi seviyesinde tüm elemanlar için DBYBHY 2007'de tanımlanan 0.4EI etkin rijitlik oranı ile yeni bir analiz

yapılmıştır. Şekil 3.11’de deney ve 0.4EI etkin rijitlik oranı ile yapılan analizlerde taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanı grafiklerinin tutarlı olduğu görülmektedir. Elastığe yakın davranış gösteren yapının 0.2EI rijitlik oranına göre daha rijit modellenmesi gerektiği anlaşılmaktadır. İlk yer hareketi seviyesinde yapı elastik davranış göstermiş ve çevrimsel enerji açığa çıkmamıştır.

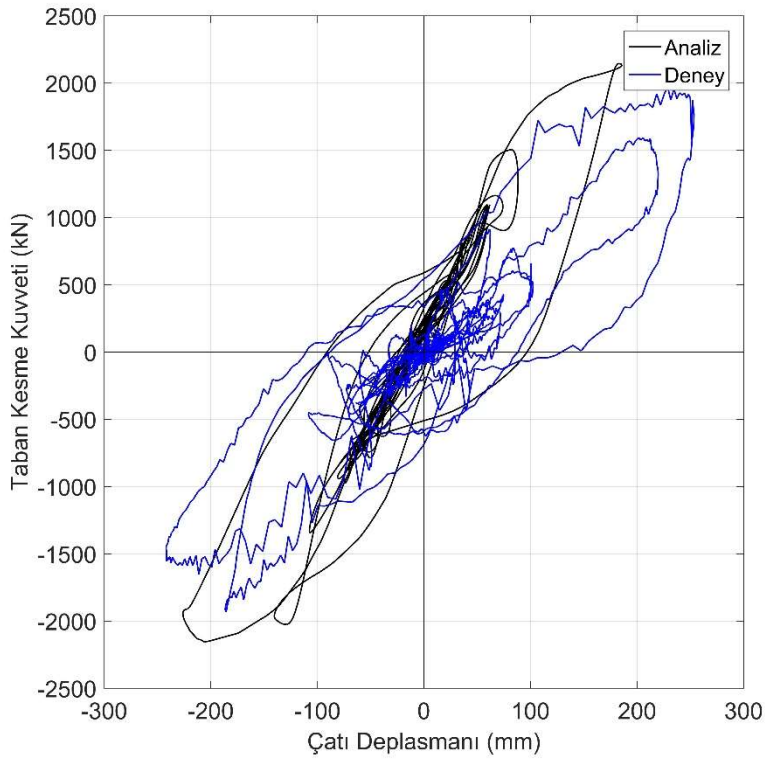


Şekil 3.11: 0.4EI etkin rijitlik için %25 ölçekli yer hareketi taban kesme kuvveti-çatı deplasman grafiği.

%50 ve %100 ölçekli yer hareketleri için 0.2EI etkin rijitlik ile yapılan analiz sonuçlarının deney sonuçları ile uyumlu sonuç verdiği Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’te görülmektedir. %50 ölçekli yer hareketi için kuvvet ve deplasman sınırları ve binanın yaptığı hareketi temsil eden çevrimler deney ve analiz sonuçlarında uyumlu görülmektedir. Çevrimsel enerjinin oluşmasıyla hasar almaya başlamış olan analiz modeli için rijitlik deney sonuçlarına uygun olacak mertebededir.



Şekil 3.12: %50 ölçekli yer hareketi için taban kesme kuvveti-çatı deplasman grafiği.



Şekil 3.13: %100 ölçekli yer hareketi için taban kesme kuvvet-çatı deplasman grafiği.

Şekil 3.13'te %100 ölçekli yer hareketi için kuvvet ve deplasman sonuçları birbirine oldukça yakındır. Deney ve analizler mukayese edildiğinde özellikle kuvvet mertebeleri ve çevrimsel davranış arasında son derece yakın bir ilişki görülmektedir. Deney sonunda olduğu gibi analiz sonuçlarında da kalıcı deplasman oluşmuştur.

Tez kapsamında seçilen ve çeşitli karakteristik özellikler gösteren bir dizi yer hareketi ile sayısal analizlerin yapılabilmesi için oluşturulan analiz modelinin E-Defense (2010) deneyinde kullanılan betonarme perdeli-çerçeve binayı yeterli mertebede temsil ettiği görülmektedir. Analiz sonuçlarının deney sonuçlarına yeterli yaklaşımda sonuçlar vermesi sebebiyle farklı yer hareketleri için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde, oluşturulan analiz modelinin kullanılması uygundur.

4. YER HAREKETİ ÖZELLİKLERİNİN YAPISAL ENERJİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

E-Defense(2010) deneyinde kullanılan betonarme perdeli-çerçeve binanın analiz modeli Perform 3D yazılımı ile oluşturulmuştur. Binaya ait boyut, malzeme, tasarım özellikleri Tuna (2012)'den alınmıştır. Analiz modeli elastik ötesi davranış gösterecek şekilde kolon ve kiriş uçlarında fiber kesitler kullanılarak modellenmiştir. Plastik mafsallık boyu dışında kalan kısımlar ise elastik kesit olarak tanımlanmıştır. Analiz modeli sonuçlarının deney sonuçları ile karşılaştırılması yapılarak gerçek binayı temsil edebilecek bir model olduğu teyit edilmiştir.

Analiz modelinin seçilen yer hareketlerinin etkisi altındaki yapısal enerji davranışı enerji esaslı tasarıma yönelik olarak incelenmiştir. Yakın kaynaklı ve uzak kaynaklı olmak üzere farklı özellik ve büyüklüklerde yer hareketleri analize dâhil edilmiştir. Her bir yer hareketine ait sonuçlar şu parametreler dikkate alınarak incelenmiştir;

- Depreme bağlı yapısal enerji girişi,
- Bir hasar indeksi olan çevrimsel enerji,
- Çevrimsel enerjinin enerji girişine oranı,
- Çevrimsel enerjinin katlara dağılımı,
- Yer hareketlerinin karakteristik özellikleri ve enerji girişi arasındaki ilişkinin incelenmesi.

Yer hareketlerinin seçimi ve analiz sonuçların değerlendirilmesi aşağıdaki başlıklar altında açıklanmıştır.

Analizler önce %100 ölçekli yer hareketleri ile yapılmış ve sonuçlar tartışılmış, sonra DBYBHY 2007'de tanımlanan elastik ivme spektrumuna uyacak şekilde yer hareketleri ölçeklenerek benzer analizler yapılmıştır. İncelenen sonuçlar önceki bölümlerde açıklanan etkilerin enerji girişi ve çevrimsel enerjiyi etkileyen parametreleri doğrular niteliktedir.

%100 ölçekli ve DBYBHY 2007’de verilen elastik ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş yer hareketleriyle yapılan analizlerin sonuçları E-Defense (2010) deneyinde kullanılan betonarme perdeli-çerçevesel binanın çerçeve doğrultusu dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

4.1 Yer Hareketlerinin Özellikleri

Deprem etkisindeki binalarda yapısal özelliklere ve yer hareketinin karakteristik özelliklerine bağlı olarak yapısal enerji girişi oluşur. Daha önce açıklandığı gibi yer hareketine ait birçok farklı özellik enerji girişine etki etmektedir. Özellikle şiddetli depremlerin yapılarda hasara neden oldukları bilinmektedir. Buna bağlı olarak şiddetli depremlerin oluşturduğu enerji girişinin ve çevrimsel enerjinin daha fazla olduğu söylenebilir.

Tüm yer hareketleri “*PEER Ground Motion Database*” internet sitesinden seçilmiştir. Seçilen yer hareketleri temel olarak yakın kaynaklı ve uzak kaynaklı olarak 2 gruba ayrılmıştır. Çizelge 4.1’de yer hareketlerinin seçimi için kullanılan sınır değerleri yer almaktadır. Yakın kaynaklı yer hareketleri, büyüklüğü 5 ile 9 arasında, kırılma uzaklığı (R_{rup}) 0 ile 10 km arasında, 30 metre derinlikteki ortalama kayma dalgası hızı (V_{s30}) 200 m/s ile 800 m/s arasında olmak üzere seçilmişlerdir. Uzak kaynaklı yer hareketleri ise büyüklüğü 6 ile 9 arasında, kırılma uzaklığı (R_{rup}) 20 ile 50 km arasında, 30 metre derinlikteki ortalama kayma dalgası hızı (V_{s30}) 300 m/s ile 800 m/s arasında olmak üzere seçilmişlerdir. Burada 30 metre derinlikte kayma dalgası hızı (V_{s30}) belli bir limitte sınırlandırılarak zayıf zeminlerde kayıt edilmiş yer hareketlerinin analizlere dâhil edilmemesi ve böylelikle zayıf zeminlerin depreme bağlı enerji girişi üzerindeki etkilerinin çalışma kapsamı dışında tutulması hedeflenmiştir. Yakın kaynaklı yer hareketlerinin içinden ani darbe etkisi özelliğine sahip yer hareketleri, uzak kaynaklı yer hareketlerinin içinden ise ani darbe etkisi özelliğine sahip olmayan yer hareketleri seçilmiştir.

Çizelge 4.1: Seçilen yer hareketi grupları ve özellikleri.

Yakın Kaynaklı Yer Hareketleri			Uzak Kaynaklı Yer Hareketleri		
Büyüklik M_w	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)	Büyüklik M_w	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
5~9	0~10	200~800	6~9	20~50	300~800
Ani darbe etkisi olan			Ani darbe etkisi olmayan		

Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te yer hareketlerine ait PGA, PGV, R_{rup} ve V_{s30} değerleri yer almaktadır. Yer hareketleri çizelgede etkin süreleri göz önüne alınarak sıralanmışlardır. Yakın kaynaklı yer hareketlerinin görece şiddetli, uzak kaynaklı yer hareketlerinin ise daha az şiddetli depremleri temsil ettiği görülmektedir. Buradan yola çıkarak yakın kaynaklı yer hareketinde enerji girişinin daha fazla olacağı tahmin edilmektedir.

Çizelge 4.2: Yakın kaynaklı yer hareketleri ve özellikleri.

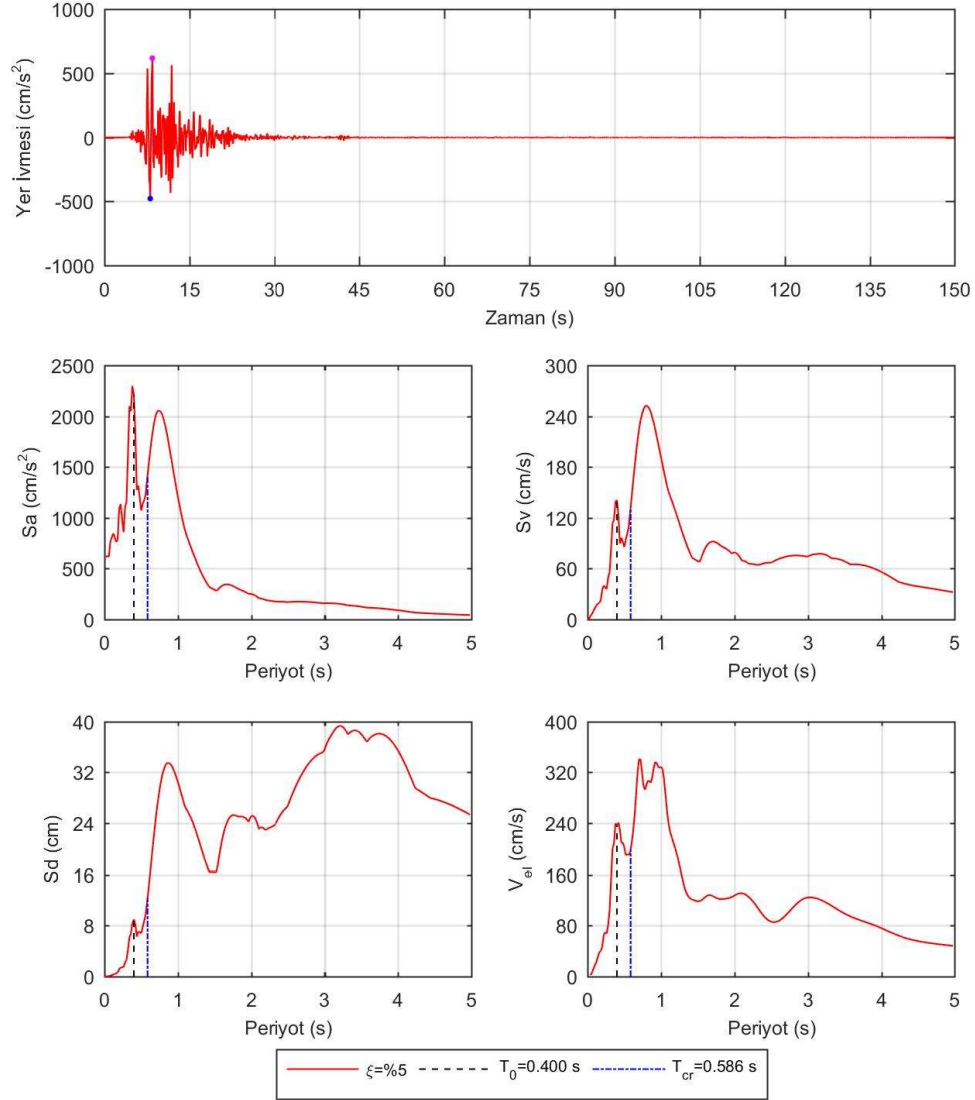
Yer Hareketi	PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
CChurch 2011 PRPC W	656.99	96.66	1.98	206.00
Morgan Hill 1984 CYC 285	1278.16	78.50	0.53	561.43
Morgan Hill 1984 G060 90	286.70	36.50	9.87	663.31
Northridge 1994 RRS 228	857.40	148.20	6.50	282.25
Northridge 1994 SCS 142	905.90	88.53	5.35	251.24
L'Aquila 2009 GX066XT E	651.43	40.50	6.27	475.00
Düzce 1999 Bolu 90	790.37	65.93	12.04	293.57
Loma Prieta 1989 STG 0	504.68	41.60	8.50	380.89
Darfield 2010 HORC S72E	467.50	69.66	7.29	326.01
Kobe 1995 JMA 90	617.70	76.14	0.96	312.00
Kobe 1995 TAK 90	658.30	123.00	1.47	256.00
Loma Prieta 1989 WVC 270	324.94	64.92	9.31	347.90
ChiChi 1999 TCU068 E	501.96	249.60	0.32	487.34
Kocaeli 1999 YPT 150	315.70	71.90	4.83	297.00
ChiChi 1999 TCU052 N	438.40	172.40	0.66	579.10
Darfield 2010 GDLCN55 W	749.97	116.12	1.22	344.02
Tabas 1971 T1	84.39	123.59	2.05	766.77
Düzce 1999 IRIGM 487 NS	297.60	38.95	2.65	690.00
Denali Alaska 2002 PS10 047	326.28	115.73	2.74	329.20
Ortalama	563.91	95.71		

Çizelge 4.3: Uzak kaynaklı yer hareketleri ve özellikleri.

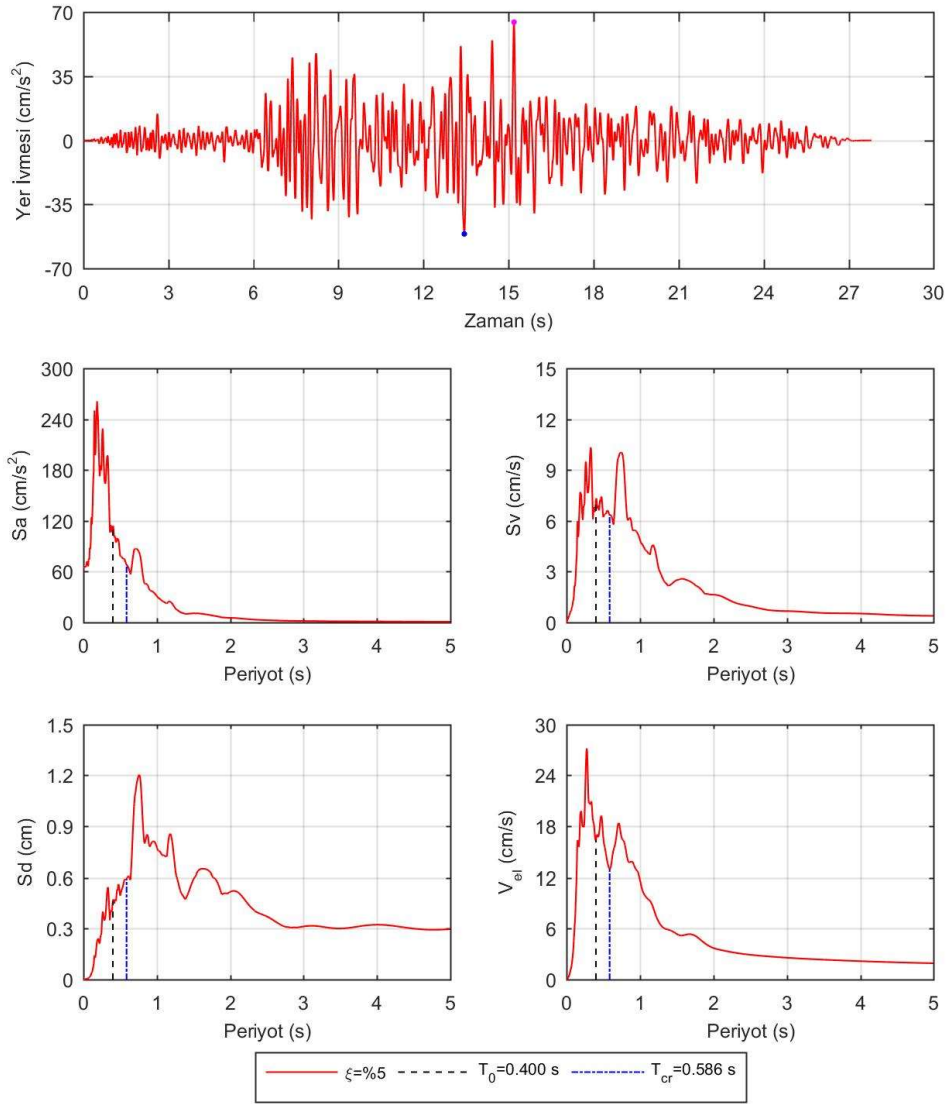
Yer Hareketi	PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	R _{rup} (km)	V _{s30} (m/s)
ImpVal 1979 PLS 135	56.65	5.86	30.33	316.64
Loma Prieta 1989 CYC 285	475.50	40.57	20.34	561.43
Sfernando 1971 FTR 326	108.70	8.60	30.19	634.33
SFernando 1971 PEL 90	220.50	21.79	22.77	316.46
Dinar 1995 Çardak 076	64.56	3.14	44.15	428.57
Sfernando 1971 PPP 270	135.00	5.52	38.97	529.09
Tottori 2000 HRS005 EW	521.51	13.70	42.30	466.28
Darfield 2010 HVSVS64 E	619.54	22.74	24.47	422.00
Dinar 1995 Burdur 90	39.18	4.48	36.82	468.44
San Simeon 2003 36153 90	130.46	13.10	48.11	365.15
Manjil 1990 185 066	180.48	15.50	49.97	302.64
Loma Prieta 1989 FRE 000	124.12	14.10	39.51	367.57
Darfield 2010 SPFSN72 E	157.14	20.49	29.86	389.54
Darfield 2010 OXZ N	143.17	11.57	30.63	481.62
Irpinia İtalya 1980 MER 270	137.80	11.84	29.80	428.57
Kern C. 1952 Taft 111	176.86	18.65	38.89	385.43
Landers 1992 FVR 045	211.79	24.18	25.02	388.63
Landers 1992 MVP 000	184.00	16.67	40.67	368.20
Ortalama	215.60	15.66		

Tez kapsamında yer hareketlerinin karakteristik özellikleri ayrıştırılmış ve bu özelliklerin enerji girişine etkileri araştırılmıştır. Yakın kaynaklı ve uzak kaynaklı yer hareketleri gruplarından birer yer hareketi için ivme-zaman grafiği ve spektrum grafikleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Analiz modelinin elastik ve çatlamış kesite ait periyodu ve spektral değerleri bu şekillerdeki spektrum grafiklerinde işaretlenmiştir. Yer hareketlerine ait spektrum grafikleri %5 sönüm oranı dikkate

alınarak çizilmiştir. EK A’da tüm yer hareketlerine ait karakteristik özellikleri içeren çizelge ve tablolar verilmiştir.



Şekil 4.1: Yakın kaynaklı bir yer hareketi olan 1995 Kobe JMA 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.



Şekil 4.2: Uzak kaynaklı bir yer hareketi olan 1995 Dinar Çardak 76° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Yer hareketlerinin elde edilen karakteristik özellikleri enerji girişine etkileyen önemli parametrelerdir. Her iki yer hareketi grubu için etkin süreleri göz önüne alınarak karakteristik özellikleri ve çatlamış kesit periyoduna ait spektral özellikleri Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de verilmiştir. Spektral özellikleri belirten S_{aCR} , çatlamış kesit rijitliğine ait spektral ivmeyi, S_{vCR} , çatlamış kesit rijitliğine ait spektral hızı, V_{eICR} , çatlamış kesit rijitliğine ait eşdeğer hızı, S_{dCR} , çatlamış kesit rijitliğine ait spektral deplasmanı simgelemektedir.

Çizelge 4.4: Yakın kaynaklı yer hareketlerinin karakteristik özellikleri.

Yer Hareketi	PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Ş. (m/s)	t _{eff} (s)	EPA (cm/s ²)	S _{aCR} (cm/s ²)	S _{vCR} (cm/s)	V _{elCR} (cm/s)	S _{dCR} (cm)
CChurch 2011 PRPC W	656.99	96.66	2.32	3.12	170.78	690.98	64.44	96.17	6.01
Morgan Hill 1984 CYC 285	1278.16	78.50	3.86	3.20	175.90	1559.10	145.40	164.70	13.56
Morgan Hill 1984 G060 90	286.70	36.50	0.87	6.47	82.63	545.00	50.83	63.70	4.74
Northridge 1994 RRS 228	857.40	148.20	7.22	7.22	269.80	1810.80	168.90	186.40	15.75
Northridge 1994 SCS 142	905.90	88.53	5.47	7.54	246.40	1682.30	156.90	235.50	14.64
L'Aquila 2009 GX066XT E	651.43	40.50	2.84	7.56	102.48	959.52	89.49	136.14	8.35
Düzce 1999 Bolu 90	790.37	65.93	2.43	9.02	154.34	1168.97	109.00	141.68	10.17
Loma Prieta 1989 STG 0	504.68	41.60	1.46	9.37	106.20	642.15	59.89	74.15	5.59
Darfield 2010 HORC S72E	467.50	69.66	3.07	9.53	157.65	766.70	71.50	128.50	6.67
Kobe 1995 JMA 90	617.70	76.14	5.43	9.54	179.90	1417.11	132.26	198.70	12.35
Kobe 1995 TAK 90	658.30	123.00	8.13	9.94	284.60	1030.00	96.08	168.70	8.96
Loma Prieta 1989 WVC 270	324.94	64.92	1.25	10.69	123.00	587.16	54.76	87.83	5.10
ChiChi 1999 TCU068 E	501.96	249.60	3.30	12.38	252.83	1158.90	108.10	100.90	10.08
Kocaeli 1999 YPT 150	315.70	71.90	1.32	15.08	131.24	584.60	54.52	90.60	5.09
ChiChi 1999 TCU052 N	438.40	172.40	2.92	15.96	221.70	662.50	61.80	71.70	5.76
Darfield 2010 GDLCN55 W	749.97	116.12	4.50	16.00	228.85	1032.13	96.26	132.57	8.98
Tabas 1971 T1	84.39	123.59	11.80	16.35	262.79	1704.90	158.90	253.38	14.81
Düzce 1999 IRIGM 487 NS	297.60	38.95	1.86	17.56	66.48	607.70	56.70	106.70	5.28
Denali Alaska 2002 PS10 047	326.28	115.73	1.89	22.33	190.89	747.34	69.70	83.31	6.50
Ortalama	563.91	95.71	3.79	10.99	179.39	1018.83	95.02	132.70	8.86

Çizelge 4.5: Uzak kaynaklı yer hareketlerinin karakteristik özellikleri.

Yer Hareketi	PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Ş. (m/s)	t _{eff} (s)	EPA (cm/s ²)	S _{aCR} (cm/s ²)	S _{vCR} (cm/s)	V _{elCR} (cm/s)	S _{dCR} (cm)
ImpVal 1979 PLS 135	56.65	5.86	0.05	10.81	14.11	62.20	5.80	10.75	0.54
Loma Prieta 1989 CYC 285	475.50	40.57	1.50	12.24	91.17	1110.06	103.53	153.66	9.66
Sfernando 1971 FTR 326	108.70	8.60	0.06	12.99	17.75	122.50	11.43	12.95	1.07
SFernando 1971 PEL 90	220.50	21.79	0.68	13.15	66.39	285.97	26.68	50.41	2.49
Dinar 1995 Çardak 076	64.56	3.14	0.07	13.48	9.42	68.06	6.35	12.95	0.59
Sfernando 1971 PPP 270	135.00	5.52	0.24	13.66	17.17	77.29	7.20	18.25	0.67
Darfield 2010 HVSVS64 E	619.54	22.74	4.12	15.73	69.79	410.08	38.25	64.32	3.57
Dinar 1995 Burdur 90	39.18	4.48	0.04	16.37	13.88	67.50	6.29	16.03	0.58
San Simeon 2003 36153 90	130.46	13.10	0.21	17.73	33.86	142.98	13.34	16.64	1.25
Manjil 1990 185 066	180.48	15.50	0.45	18.10	46.55	214.77	20.02	38.36	1.87
Loma Prieta 1989 FRE 000	124.12	14.10	0.27	18.23	34.12	285.50	26.60	51.38	2.48
Darfield 2010 SPFSN72 E	157.14	20.49	1.01	22.18	55.45	410.70	38.30	87.80	3.57
Darfield 2010 OXZ N	143.17	11.57	0.41	23.04	34.53	221.40	20.65	46.03	1.92
Irpinia İtalya 1980 MER 270	137.80	11.84	0.46	25.09	30.15	246.95	23.03	53.73	2.15
Kern C. 1952 Taft 111	176.86	18.65	0.60	28.78	45.18	290.68	27.10	58.29	2.53
Landers 1992 FVR 045	211.79	24.18	1.21	29.21	51.84	605.39	56.47	103.95	5.27
Landers 1992 MVP 000	184.00	16.67	0.96	31.63	52.31	699.80	65.27	115.60	6.08
Ortalama	186.20	15.22	0.73	18.97	40.22	313.05	29.19	53.59	2.72

Yakın kaynaklı yer hareketleri için ortalama en yüksek ivmenin (PGA) 621.18 cm/s^2 olduğu görülmektedir. E-Defense (2010) deneyinde kullanılan yer hareketi Kobe JMA 90 için en yüksek ivme ortalama en yüksek ivme ile çok yakındır. Seçilmiş yer hareketlerinin genel olarak şiddetli bir depremi temsil ettiği açıktır. Yakın kaynaklı yer hareketlerine ait spektral değerlerin ve önemli bir parametre olan Arias şiddetinin yüksek değerlere sahip olması enerji girişi ve çevrimsel enerji bakımından önemlidir.

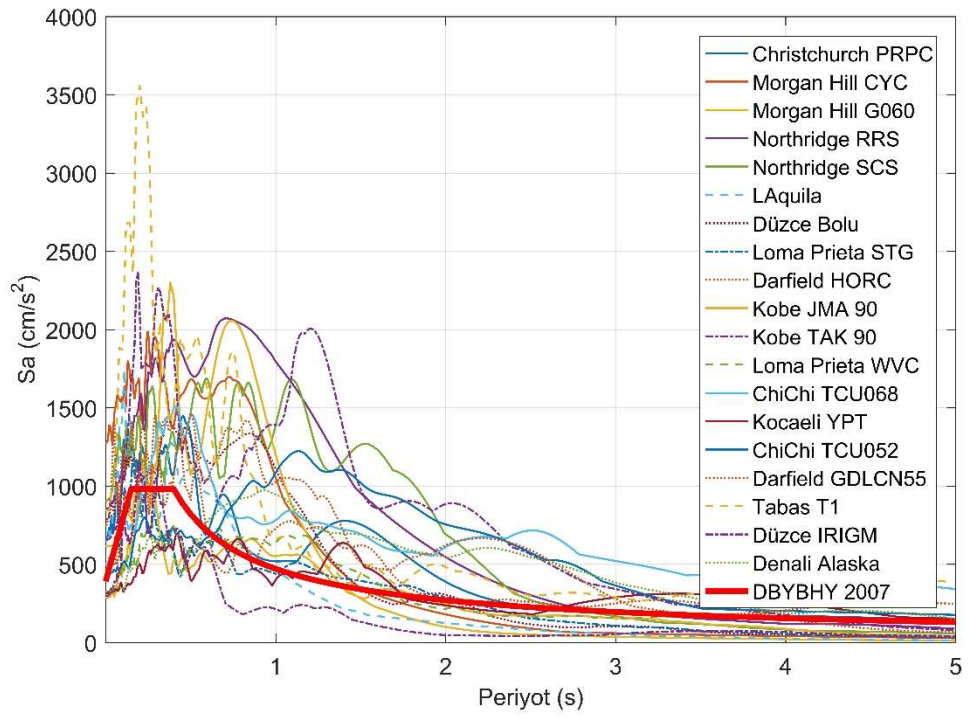
Uzak kaynaklı yer hareketlerinde ise ortalama olarak en yüksek ivme 215.60 cm/s^2 olarak görülmektedir ve görece zayıf bir depremi temsil edebilecek bir değerdedir. Spektral değerleri ve Arias şiddetleri de buna bağlı olarak düşüktür. Burada kullanılmış olan yer hareketlerinin birçoğunun DBYBHY 2007’de tarif edilen servis depreminden daha az şiddetli bir depremi temsil ettiği görülmektedir.

Birbirlerinden farklı kayıt sürelerine sahip olan her iki yer hareketi grubu için de etkin süre (t_{eff}), frekans içeriğine bağlı olarak farklı çıkmaktadır. Daha uzun etkin süreye sahip olan yer hareketlerinin en yüksek ivme değerleriyle de ilişkili olarak daha fazla hasara sebep olacağı bilinmektedir.

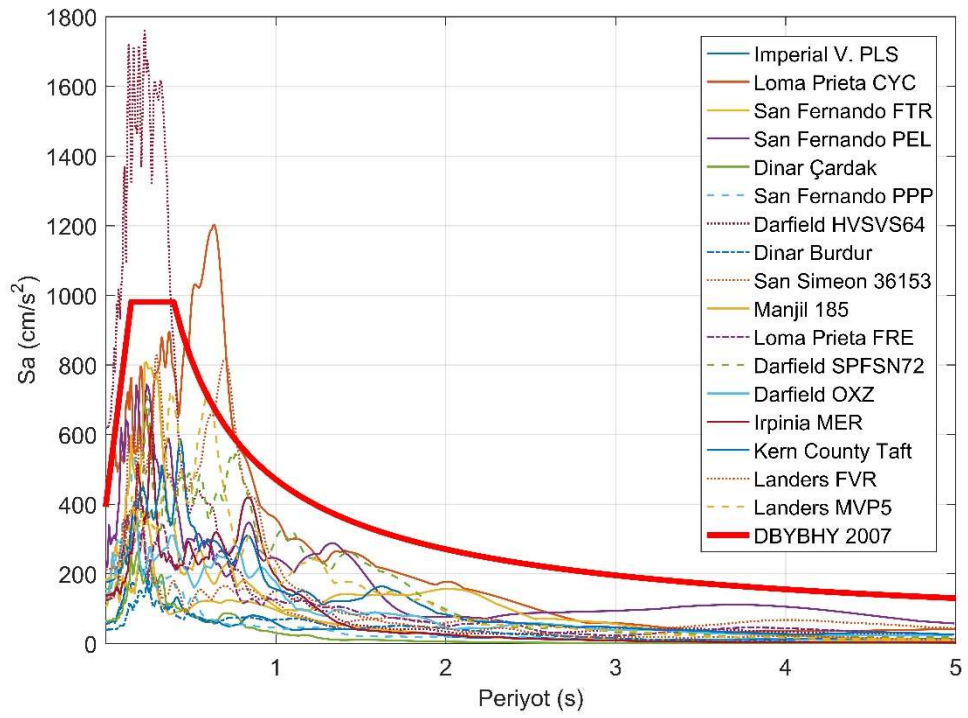
Seçilen yer hareketleri DBYBHY 2007’de verilen elastik ivme spektrumu ile karşılaştırılmıştır. Yer hareketlerinin kayıt edildiği zemin özelliklerine yakın olması için DBYBHY 2007’de verilen Z2 zemin sınıfına göre şu özellikler esas alınmıştır;

- Deprem bölgesi: 1
- Etkin yer ivmesi katsayısı(A_0): 0.4
- Bina önem katsayısı(I): 1
- Zemin sınıfı: Z2
- Spektrum karakteristik periyotları: $T_A = 0.15$, $T_B = 0.4$

DBYBHY 2007’de verilen ivme spektrumu binalar için tasarım depremini ifade etmektedir. Şekilde yakın kaynaklı ve uzak kaynaklı yer hareketlerinin ivme spektrumları tasarım spektrumu ile birlikte görülmektedir. Yakın kaynaklı yer hareketlerinin birçoğunun periyot ekseninin büyük bölümünde tasarım spektrumunun üstünde, uzak kaynaklı yer hareketlerinin ise tamamına yakınının tüm periyotlarda tasarım spektrumunun altında kalmış olduğu Şekil 4.3’te ve Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.3: Yakın kaynaklı yer hareketleri ivme spektrumu.



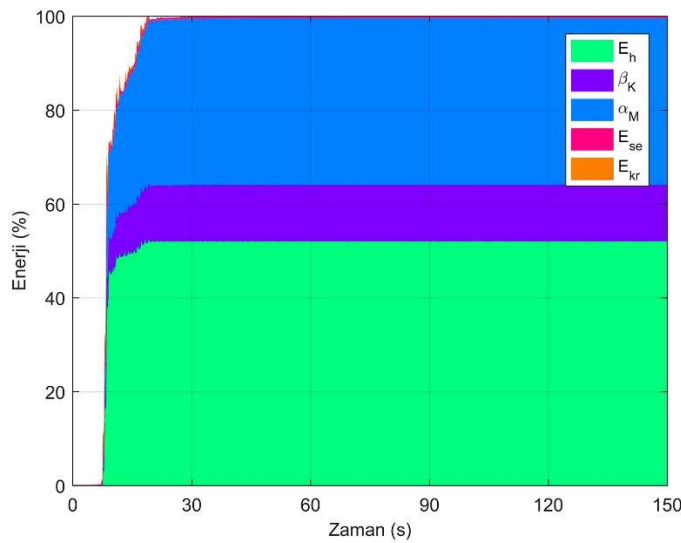
Şekil 4.4: Uzak kaynaklı yer hareketleri ivme spektrumu.

4.2 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

E-Defense(2010) deneyinde kullanılmış olan betonarme perdeli-çerçeve bina Perform 3D (CSI,2006) yazılımı kullanılarak modellenmiş ve bir dizi analiz gerçekleştirilmiştir. Yakın kaynaklı ve uzak kaynaklı yer hareketleri kullanılarak analiz sonucunda elde edilen enerji girişi, çevrimsel enerji, çevrimsel enerjinin katlara ve yapısal elemanlara dağılımı incelenmiştir. Ayrıca kullanılan yer hareketlerinin karakteristik özelliklerine bağlı olarak enerji girişi ve çevrimsel enerji ile ilişkisi araştırılmıştır.

Yakın kaynaklı yer hareketleri karakteristik özellikleri sebebi ile yüksek miktarda enerji girişine neden olmaktadır. Ayrıca binada elastik ötesi davranışlar ortaya çıkmış ve hasara neden olabilecek çevrimsel enerji ortaya çıkmıştır. Hasar oluşmaya başlayan binanın yapısal elemanları uç bölgelerinde elastik ötesi davranış göstererek oluşan çevrimsel enerji tüketmişlerdir. Yapının elastik özelliklerini kaybetmiş olması sebebiyle çatlamış kesit rijitlikleri ile tepki vermiş olduğu söylenebilir.

Analiz sonunda her enerji türü için belli bir oran olduğu görülmektedir. Yer hareketinin karakteristik özelliklerine göre etkin süre içinde hasar oluşmaya başlamıştır. Etkin süre sonunda kayıt süresi devam ediyor olsa bile çevrimsel enerji oranında etkili bir artış olmadığı belirlenmiştir. Bina en büyük hasarı yer hareketlerinin etkin süresi boyunca almıştır. Şekil 4.5'te Kobe JMA 90 yer hareketi kaydı için enerji bileşenlerinin yüzdesi-zaman grafiği görülmektedir.



Şekil 4.5: Kobe JMA 90 yer hareketi enerji yüzdesi-zaman grafiği.

Şekil 4.5'ten görüldüğü gibi kinetik enerji ve elastik şekildeğiştirme enerjisi oldukça az bir orana sahiptir. Enerjinin büyük bir kısmı yapısal sönümlenme enerjisi olarak sönümlenmiş ve hasara sebep olabilecek düzeyde çevrimsel enerji açığa çıkmıştır. Şekil 4.5'te E_{kr} , kinetik enerjiyi, E_{se} , elastik şekildeğiştirme enerjisini, E_h , çevrimsel enerjiyi göstermektedir. α_M ve β_K ise yapısal sönümlenme enerjisinin kütle ve rijitliğe bağlı oranlarını temsil etmektedir. Denklem (1.1)'de yer alan sönümlenme katsayısı/matrisi PEER/ATC-72-1'de Rayleigh Sönüm Matrisi olarak yer almaktadır.

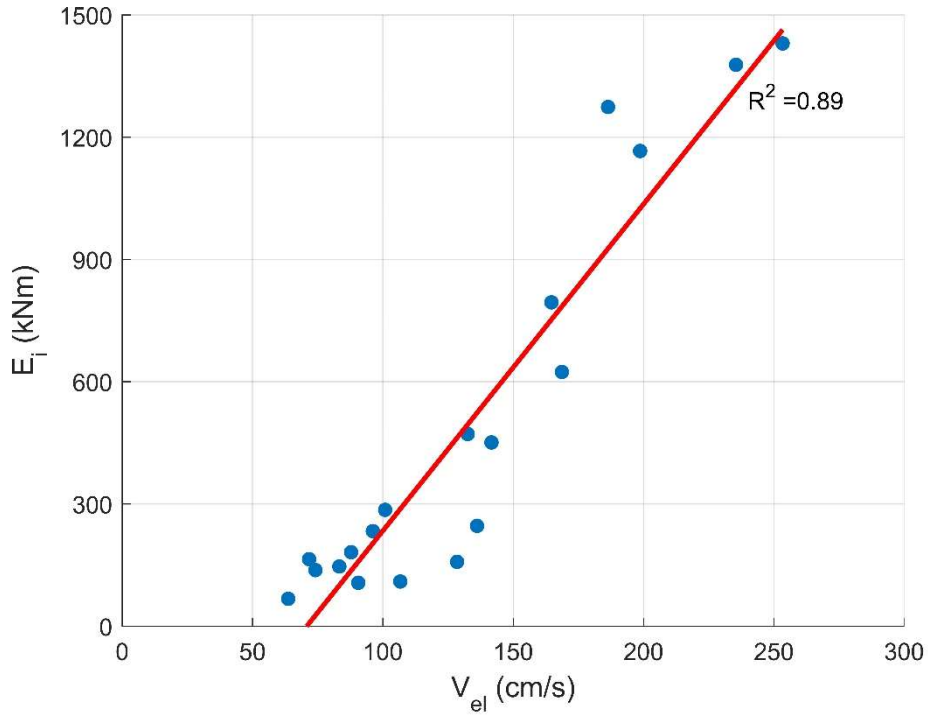
Seçilen yakın kaynaklı yer hareketleri tasarım depremine göre spektral olarak daha büyük değerlere sahiptir. Çizelge 4.6'da yakın kaynaklı yer hareketlerine ait analiz sonrası enerji değerleri ve çatlama kesite ait eşdeğer hızlar verilmiştir. Yer hareketlerinden kaynaklanan enerji girişinin eşdeğer hız ile yakından alakalı olduğu görülmektedir. Eşdeğer hızın artmasıyla enerji girişinin ve çevrimsel enerjinin artmış olduğu görülmektedir. Akiyama(1985)'te önerildiği gibi denklem (1.14) ile enerji girişi tahmin edilebilir. Depremden kaynaklanan enerji girişi yapının spektral eşdeğer hızı ile belirgin bir doğrusal ilişki sergilemektedir.

Çizelge 4.6: Yakın kaynaklı depremlerle yapılan analizlerde elde edilen enerji değerleri.

Yer Hareketi	V_{elCR} (cm/s)	E_h (kNm)	E_i (kNm)	E_h/E_i
CChurch 2011 PRPC W	96.17	86.30	233.20	0.37
Morgan Hill 1984 CYC 285	164.70	414.00	794.60	0.52
Morgan Hill 1984 G060 90	63.70	5.90	67.22	0.09
Northridge 1994 RRS 228	186.40	661.80	1274.00	0.52
Northridge 1994 SCS 142	235.50	748.00	1377.60	0.54
L'Aquila 2009 GX066XT E	136.14	51.32	246.20	0.21
Düzce 1999 Bolu 90	141.68	197.10	450.80	0.44
Loma Prieta 1989 STG 0	74.15	21.22	137.60	0.15
Darfield 2010 HORC S72E	128.50	6.82	158.06	0.04
Kobe 1995 JMA 90	198.70	609.40	1166.00	0.52
Kobe 1995 TAK 90	168.70	296.80	623.80	0.48
Loma Prieta 1989 WVC 270	87.83	16.83	181.60	0.09
ChiChi 1999 TCU068 E	100.90	130.82	285.40	0.46
Kocaeli 1999 YPT 150	90.60	5.50	106.56	0.05
ChiChi 1999 TCU052 N	71.70	44.62	164.44	0.27
Darfield 2010 GDLCN55 W	132.57	246.80	471.60	0.52
Tabas 1971 T1	253.38	615.60	1430.00	0.43
Düzce 1999 IRIGM 487 NS	106.70	6.20	109.60	0.06
Denali Alaska 2002 PS10 047	83.31	47.56	146.52	0.32
Ortalama	132.70	221.72	496.04	0.32

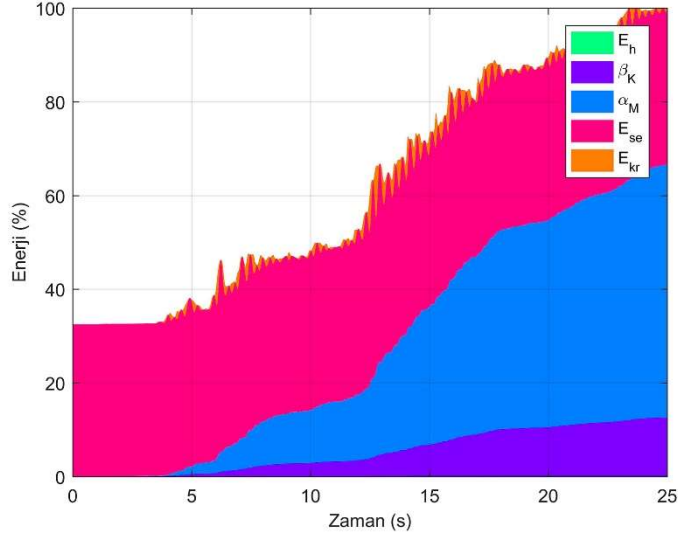
Yakın kaynaklı yer hareketleri ile binada yüksek miktarda deprem kaynaklı enerji girişi olmuş ve bina hasar almıştır. Kobe JMA 90 yer hareketi için 1166 kNm enerji girişi oluşmuş ve bu enerjinin %52'si kadarı yapı tarafından hasara neden olacak çevrimsel enerjiye olarak tüketilmiştir. Kobe JMA 90 yer hareketinin çatlamış kesit rijitliğine ait spektral ivme değeri tasarım spektrumuna göre yaklaşık 2 kat kadar büyüktür. Yakın kaynaklı yer hareketleri grubu için ortalama eşdeğer hız 131.30 cm/s'dir. Kobe JMA 90 yer hareketi 198.70 cm/s gibi ortalamanın oldukça üstünde bir eşdeğer hıza ve aynı şekilde ortalamanın çok üstünde bir enerji girişine sahiptir. Şekil

4.6’da eşdeğer hız-enerji girişi grafiği yer almaktadır. Enerji girişinin doğrusala yakın bir eğilim çizgisi etrafında toplandığı ve eşdeğer hız ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Dağınık değişkenlerin eğilimini belirlemek için yapılan regresyon yaklaşımlarının başarısını ölçen “belirleme katsayısı” olan R^2 değerinin 1.0’a yaklaşması, regresyon başarısının arttığını gösterir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, eşdeğer hız ve enerji girişi arasındaki doğrusal eğilim çizgisinin belirleme katsayısı, $R^2=0.89$ olarak görülmektedir. Eşdeğer hız, diğer yer hareketi karakteristik özelliklerine göre oldukça yüksek bir belirleme katsayısı sonucu vermektedir.



Şekil 4.6: Yakın kaynaklı yer hareketleri eşdeğer hız-enerji girişi ilişkisi.

Uzak kaynaklı yer hareketlerinin birçoğu analiz sonunda az miktarda bir enerji girişine neden olmuşlardır. Bu sebeple bina elastığe yakın bir davranış sergilemiş ve hasara neden olabilecek çevrimsel enerji çok düşük seviyelerde kalmıştır. Enerji girişinin büyük bir kısmı yapısal sönümlenme enerjisi olarak sönümlenmiştir. Şekil 4.7’de Dinar Burdur yer hareketi için enerji yüzdesi-zaman grafiği görülmektedir.



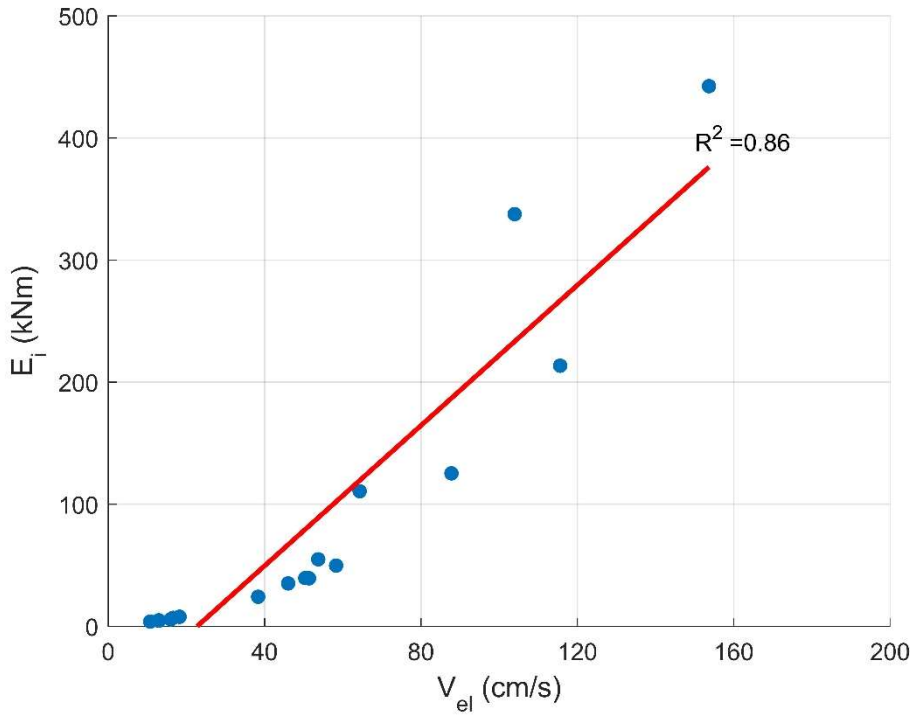
Şekil 4.7: Dinar Burdur yer hareketi enerji yüzdesi-zaman grafiği.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi çevrimsel enerji ortaya çıkmamış ve toplam enerji girişi elastik olarak tüketilmiştir. Uzak kaynaklı yer hareketleri tasarım depremine göre spektral olarak görece küçük ivme değerlerine sahiptir. Çizelge 4.7’de uzak kaynaklı yer hareketlerine ait analiz sonrası enerji değerleri ve çatlamış kesite ait eşdeğer hızlar verilmiştir. Daha küçük eşdeğer hız ile birlikte depreme bağlı enerji girişi ve çevrimsel enerji oranı değerleri düşük seviyelerde kalmıştır.

Çizelge 4.7: Uzak kaynaklı depremlerle yapılan analizlerde elde edilen enerji değerleri.

Yer Hareketi	V_{elCR} (cm/s)	E_h (kNm)	E_i (kNm)	E_h/E_i
ImpVal 1979 PLS 135	10.75	0.00	3.86	0.00
Loma Prieta 1989 CYC 285	153.66	135.96	442.40	0.31
Sfernando 1971 FTR 326	12.95	0.00	4.57	0.00
SFernando 1971 PEL 90	50.41	1.60	39.52	0.04
Dinar 1995 Çardak 076	12.95	0.00	4.92	0.00
Sfernando 1971 PPP 270	18.25	0.00	7.82	0.00
Darfield 2010 HVSVS64 E	64.32	4.82	110.64	0.04
Dinar 1995 Burdur 90	16.03	0.00	5.72	0.00
San Simeon 2003 36153 90	16.64	0.00	6.94	0.00
Manjil 1990 185 066	38.36	0.40	24.18	0.02
Loma Prieta 1989 FRE 000	51.38	1.04	39.34	0.03
Darfield 2010 SPFSN72 E	87.80	2.63	125.28	0.02
Darfield 2010 OXZ N	46.03	0.50	35.12	0.01
Irpinia İtalya 1980 MER 270	53.73	0.80	54.88	0.01
Kern C. 1952 Taft 111	58.29	1.08	49.74	0.02
Landers 1992 FVR 045	103.95	40.20	337.60	0.12
Landers 1992 MVP 000	115.60	12.61	213.40	0.06
Ortalama	53.59	11.86	88.58	0.04

Uzak kaynaklı yer hareketleri ile oluşan enerji girişi düşük mertebelerde kalmıştır. Dinar Burdur yer hareketi için 4.92 kNm enerji girişi oluşmuş ve bina elastik bölgede kalarak çevrimsel enerji tüketmemiştir. Dinar Burdur yer hareketinin spektral ivmesi 98.44 cm/s^2 olup tasarım spektrumuna kıyasla oldukça küçük bir seviyededir. Şekil 4.8’de eşdeğer hız-enerji girişi grafiği yer almaktadır. Enerji girişinin aynı yakın kaynaklı yer hareketi grubunda olduğu gibi belli bir eğilim çizgisi etrafında toplandığı ve eşdeğer hız ile ilişkili olduğu görülmektedir ($R^2=0.86$). Uzak kaynaklı depremlerde enerji girişi merteye olarak çok düşük seviyelerde kaldığı için grafik üzerinde çoğunlukla küçük değerler görülmektedir. Bu durumda bile eşdeğer hız ve depreme bağlı enerji girişi arasındaki doğrusal ilişki açıkça görülmektedir.



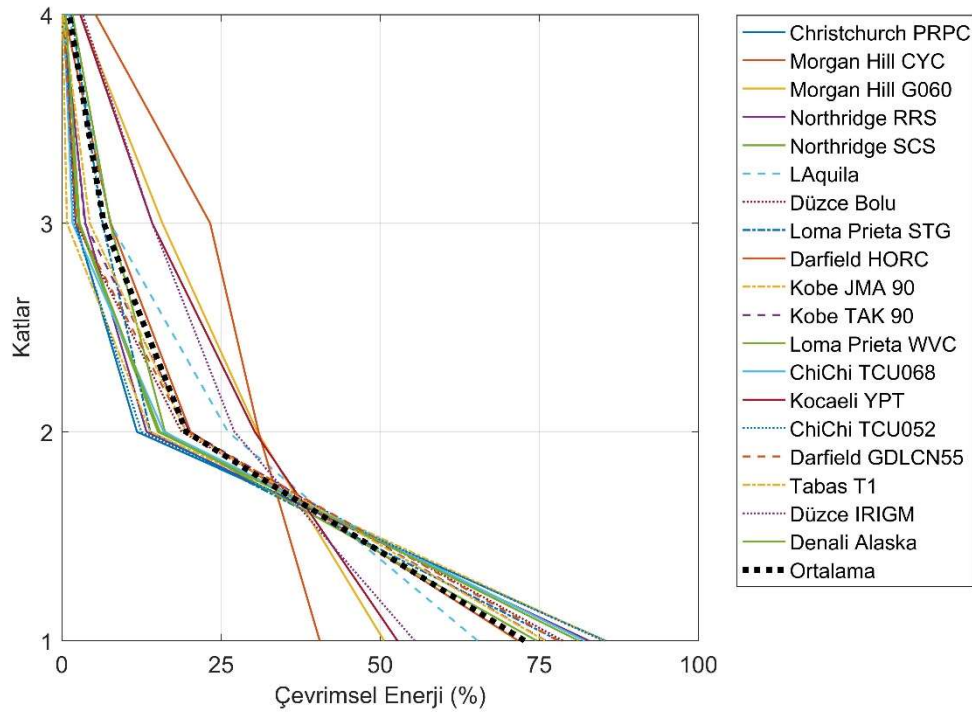
Şekil 4.8: Uzak kaynaklı yer hareketleri eşdeğer hız-enerji girişi ilişkisi.

Yakın ve uzak kaynaklı yer hareketleri ile yapılan analizler sonucunda, çatlamış kesit rijitliğine ait periyoda denk gelen eşdeğer hız ile depreme bağlı enerji girişinin yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Karakteristik özellikleri bilinen bir yer hareketinin eşdeğer hız spektrumunun elde edilmesiyle belirli bir bina modeli için depreme bağlı enerji girişi tahmin edilebilir.

Yakın kaynaklı yer hareketleri için çevrimsel enerjinin her bir kata dağılımı Çizelge 4.8’de ve Şekil 4.9’da, yapısal eleman bazında dağılımı ise Şekil 4.10 ve Çizelge 4.9’da gösterilmiştir. Uzak kaynaklı yer hareketleri için çevrimsel enerjinin her bir kata dağılımı Çizelge 4.10 ve Şekil 4.11’da yapısal eleman bazında dağılımı ise Şekil 4.11 ve Çizelge 4.11’de görülmektedir. Yakın kaynaklı yer hareketleri analiz modelinde yüksek seviyelerde çevrimsel enerji tüketimi ile sonuçlanmıştır. Uzak kaynaklı yer hareketleri ise çok düşük bir seviyede çevrimsel enerji oluşturmuşlar veya hiç oluşturmamışlardır. Çevrimsel enerji daha çok kolonlar tarafından tüketilmiş ve kolonların uç bölgelerinde hasar meydana gelmiştir. Üst katlar görece elastik davranış göstermiş birinci kat ise en fazla hasarı almıştır. Uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin az olması sebebiyle katlara dağılımda anlamlı sonuçlar görülmemektedir.

Çizelge 4.8: Yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin katlara göre dağılımı.

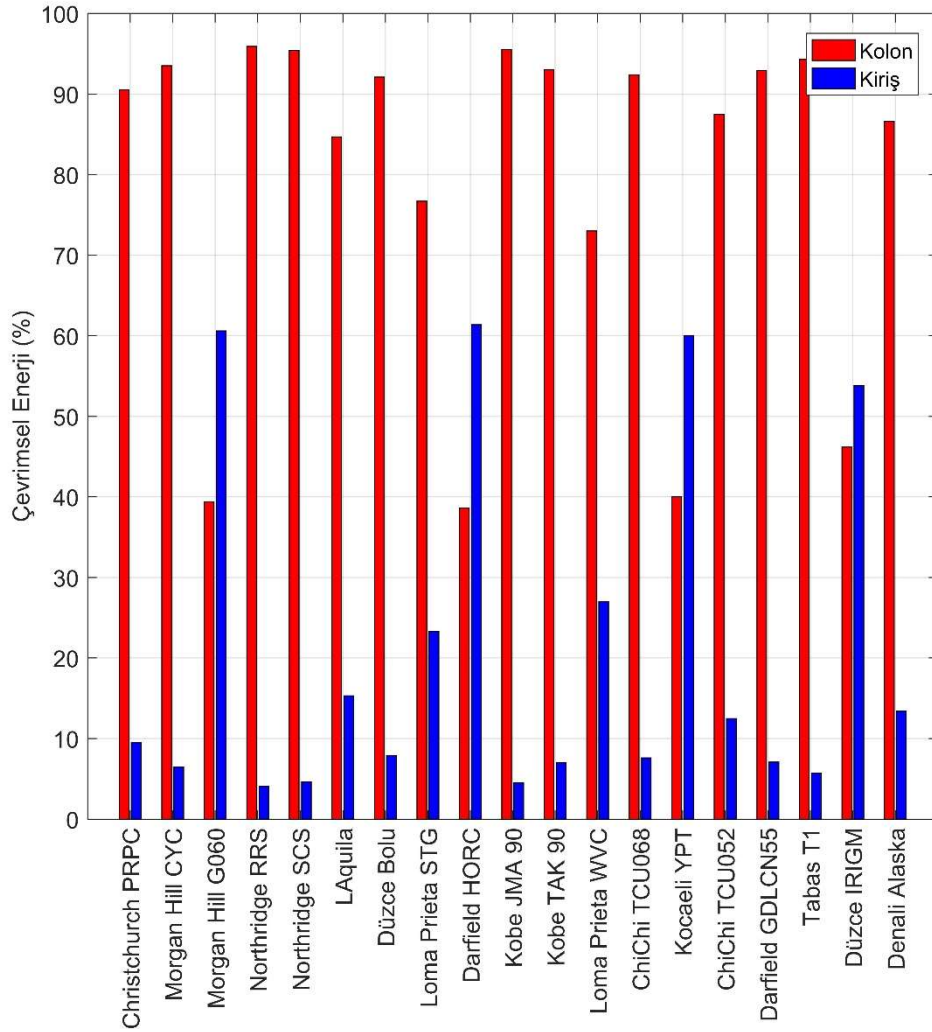
Yer Hareketi	Katlar					E_{hk}/E_h			
	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 4	E_h (kNm)	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 4
Cchurch 2011 PRPC W	73.51	10.16	1.90	0.46	86.03	85.4%	11.8%	2.2%	0.5%
Morgan Hill 1984 CYC 285	295.82	83.23	31.91	1.75	412.71	71.7%	20.2%	7.7%	0.4%
Morgan Hill 1984 G060 90	2.51	1.52	0.78	0.14	4.96	50.6%	30.7%	15.8%	2.9%
Northridge 1994 RRS 228	537.49	86.18	24.05	1.07	648.79	82.8%	13.3%	3.7%	0.2%
Northridge 1994 SCS 142	610.06	111.91	19.52	0.85	742.35	82.2%	15.1%	2.6%	0.1%
L'Aquila 2009 GX066XT E	33.40	13.37	3.87	0.55	51.19	65.3%	26.1%	7.6%	1.1%
Düzce 1999 Bolu 90	154.97	37.01	4.31	0.57	196.87	78.7%	18.8%	2.2%	0.3%
Loma Prieta 1989 STG 0	16.22	2.89	1.33	0.32	20.76	78.1%	13.9%	6.4%	1.5%
Darfield 2010 HORC S72E	2.37	1.81	1.36	0.31	5.85	40.5%	30.9%	23.3%	5.3%
Kobe 1995 JMA 90	514.40	83.76	5.01	0.61	603.77	85.2%	13.9%	0.8%	0.1%
Kobe 1995 TAK 90	225.20	59.53	10.68	0.91	296.33	76.0%	20.1%	3.6%	0.3%
Loma Prieta 1989 WVC 270	11.95	2.59	1.21	0.27	16.03	74.6%	16.2%	7.6%	1.7%
ChiChi 1999 TCU068 E	107.21	20.87	2.16	0.39	130.63	82.1%	16.0%	1.7%	0.3%
Kocaeli 1999 YPT 150	2.46	1.41	0.67	0.13	4.68	52.7%	30.3%	14.2%	2.9%
ChiChi 1999 TCU052 N	37.82	5.56	0.91	0.16	44.44	85.1%	12.5%	2.0%	0.4%
Darfield 2010 GDLCN55 W	192.06	48.38	5.58	0.48	246.51	77.9%	19.6%	2.3%	0.2%
Tabas 1971 T1	466.91	120.13	26.90	1.17	615.11	75.9%	19.5%	4.4%	0.2%
Düzce 1999 IRIGM 487 NS	2.90	1.42	0.74	0.17	5.24	55.4%	27.1%	14.2%	3.3%
Denali Alaska 2002 PS10 047	38.59	7.33	1.35	0.27	47.54	81.2%	15.4%	2.8%	0.6%
Ortalama					219.99	72.71%	19.55%	6.58%	1.17%



Şekil 4.9: Yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin katlara dağılımı.

Çizelge 4.9: Yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.

Yer Hareketi	E_{hc}/E_h	E_{hb}/E_h
Cchurch 2011 PRPC W	90.5%	9.5%
Morgan Hill 1984 CYC 285	93.5%	6.5%
Morgan Hill 1984 G060 90	39.4%	60.6%
Northridge 1994 RRS 228	95.9%	4.1%
Northridge 1994 SCS 142	95.4%	4.6%
L'Aquila 2009 GX066XT E	84.7%	15.3%
Düzce 1999 Bolu 90	92.1%	7.9%
Loma Prieta 1989 STG 0	76.7%	23.3%
Darfield 2010 HORC S72E	38.6%	61.4%
Kobe 1995 JMA 90	95.5%	4.5%
Kobe 1995 TAK 90	93.0%	7.0%
Loma Prieta 1989 WVC 270	73.0%	27.0%
ChiChi 1999 TCU068 E	92.4%	7.6%
Kocaeli 1999 YPT 150	40.0%	60.0%
ChiChi 1999 TCU052 N	87.5%	12.5%
Darfield 2010 GDLCN55 W	92.9%	7.1%
Tabas 1971 T1	94.3%	5.7%
Düzce 1999 IRIGM 487 NS	46.2%	53.8%
Denali Alaska 2002 PS10 047	86.6%	13.4%

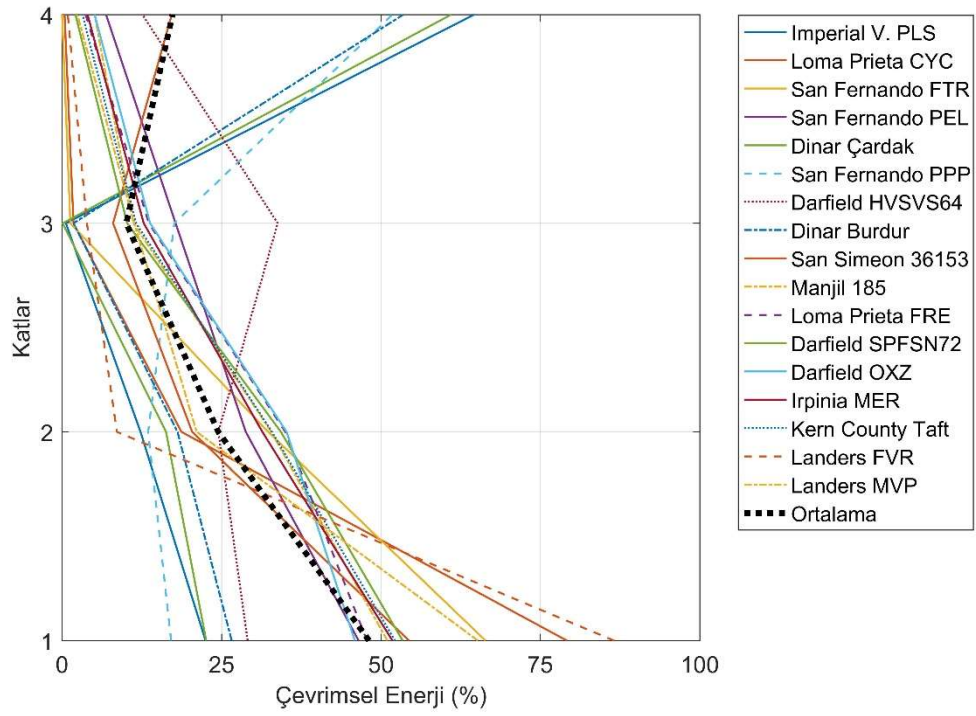


Şekil 4.10: Yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin yapısal elemanlara dağılımı.

Yakın kaynaklı yer hareketlerinde değerlendirme yapılabilir mertebede enerji girişi ve çevrimsel enerji oluşmuştur. Bu sebeple enerjinin dağılımı daha anlamlı olarak görülmektedir. Yakın kaynaklı yer hareketlerinin birçoğu katlara dağılımının ortalamasına yakın ve uyumlu bir dağılım göstermiştir. Uzak kaynaklı yer hareketlerinde ise çevrimsel enerji mertebesi düşük kaldığından ortalamaya göre dağılımlarda uyumsuzluklar görülmektedir.

Çizelge 4.10: Uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin dağılımı.

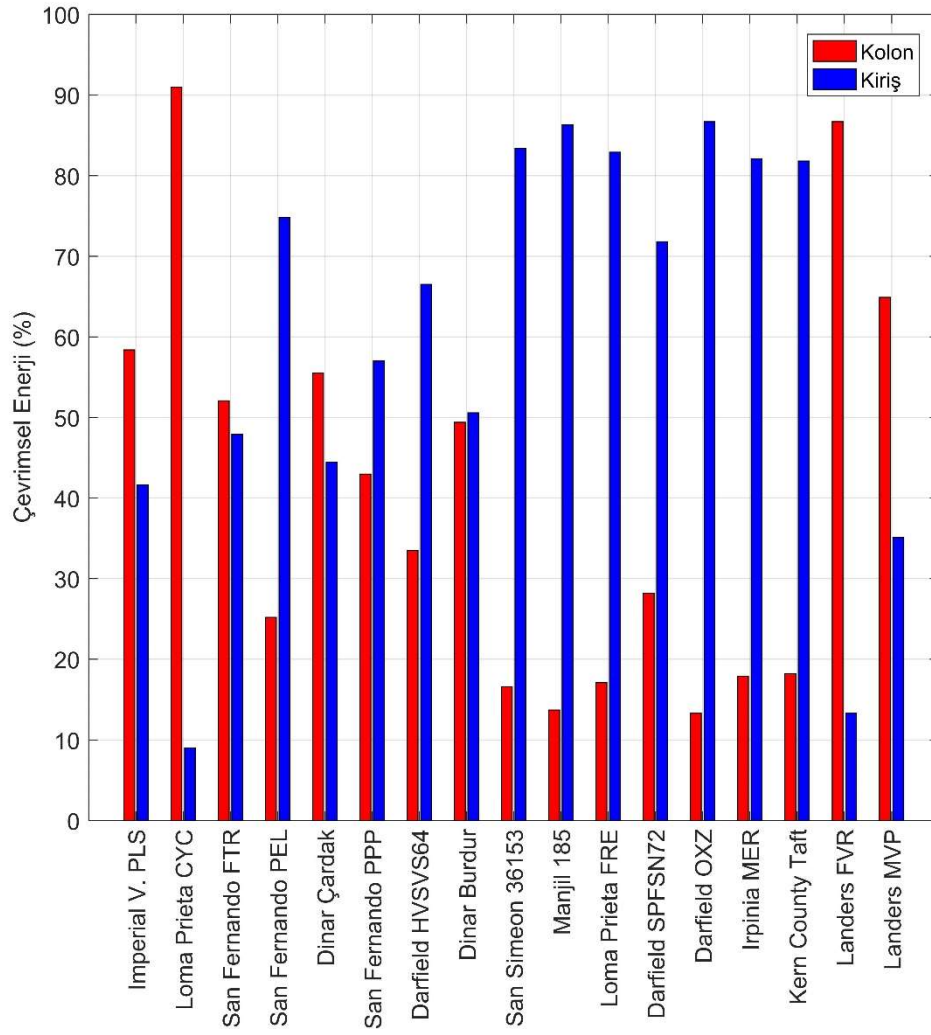
Yer Hareketi	Katlar					E_{hk}/E_h			
	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 4	E_h (kNm)	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 4
ImpVal 1979 PLS 135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	22.5%	12.3%	0.6%	64.6%
Loma Prieta 1989 CYC 285	107.48	25.34	2.43	0.48	135.72	79.2%	18.7%	1.8%	0.4%
Sfernando 1971 FTR 326	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	66.4%	32.3%	1.3%	0.0%
Sfernando 1971 PEL 90	0.55	0.34	0.21	0.08	1.17	46.5%	28.8%	17.8%	6.9%
Dinar 1995 Çardak 076	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	22.6%	16.3%	0.1%	61.0%
Sfernando 1971 PPP 270	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	17.1%	13.5%	17.6%	51.8%
Darfield 2010 HVSVS64 E	1.24	1.04	1.44	0.53	4.25	29.1%	24.5%	33.8%	12.6%
Dinar 1995 Burdur 90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	26.6%	18.1%	1.8%	53.5%
San Simeon 2003 36153 90	0.04	0.01	0.01	0.01	0.07	54.4%	20.4%	8.0%	17.2%
Manjil 1990 185 066	0.16	0.10	0.04	0.02	0.31	51.0%	32.8%	11.2%	5.1%
Loma Prieta 1989 FRE 000	0.35	0.25	0.10	0.03	0.72	47.8%	35.0%	13.6%	3.7%
Darfield 2010 SPFSN72 E	1.06	0.68	0.20	0.04	1.99	53.4%	34.3%	10.2%	2.1%
Darfield 2010 OXZ N	0.16	0.12	0.05	0.02	0.34	45.9%	35.2%	13.8%	5.1%
Irpinia İtalya 1980 MER 270	0.30	0.18	0.07	0.02	0.57	51.8%	31.4%	12.8%	4.0%
Kern C. 1952 Taft 111	0.40	0.25	0.09	0.02	0.77	52.2%	32.9%	11.6%	3.2%
Landers 1992 FVR 045	34.62	3.43	1.55	0.35	39.96	86.6%	8.6%	3.9%	0.9%
Landers 1992 MVP 000	7.70	2.49	1.33	0.28	11.81	65.2%	21.1%	11.3%	2.4%
Ortalama					11.63	48.14%	24.48%	10.07%	17.32%



Şekil 4.11: Uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin katlara dağılımı.

Çizelge 4.11: Uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.

Yer Hareketi	E_{hc}/E_h	E_{hb}/E_h
ImpVal 1979 PLS 135	58.4%	41.6%
Loma Prieta 1989 CYC 285	91.0%	9.0%
Sfernando 1971 FTR 326	52.1%	47.9%
Sfernando 1971 PEL 90	25.2%	74.8%
Dinar 1995 Çardak 076	55.5%	44.5%
Sfernando 1971 PPP 270	43.0%	57.0%
Darfield 2010 HVSVS64 E	33.5%	66.5%
Dinar 1995 Burdur 90	49.4%	50.6%
San Simeon 2003 36153 90	16.6%	83.4%
Manjil 1990 185 066	13.7%	86.3%
Loma Prieta 1989 FRE 000	17.1%	82.9%
Darfield 2010 SPFSN72 E	28.2%	71.8%
Darfield 2010 OXZ N	13.3%	86.7%
Irpinia İtalya 1980 MER 270	17.9%	82.1%
Kern C. 1952 Taft 111	18.2%	81.8%
Landers 1992 FVR 045	86.7%	13.3%
Landers 1992 MVP 000	64.9%	35.1%



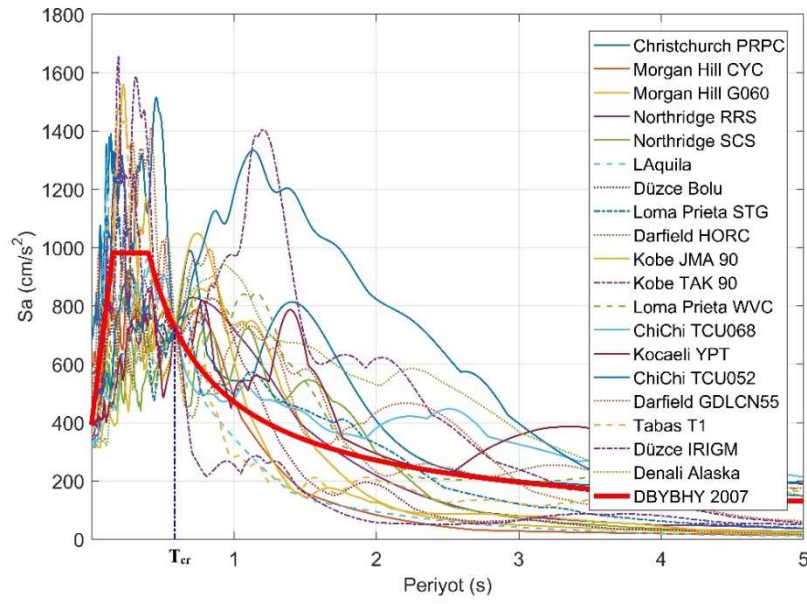
Şekil 4.12: Uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.

4.3 Ölçeklendirilmiş Yer Hareketleri ile Analiz ve Sonuçlar

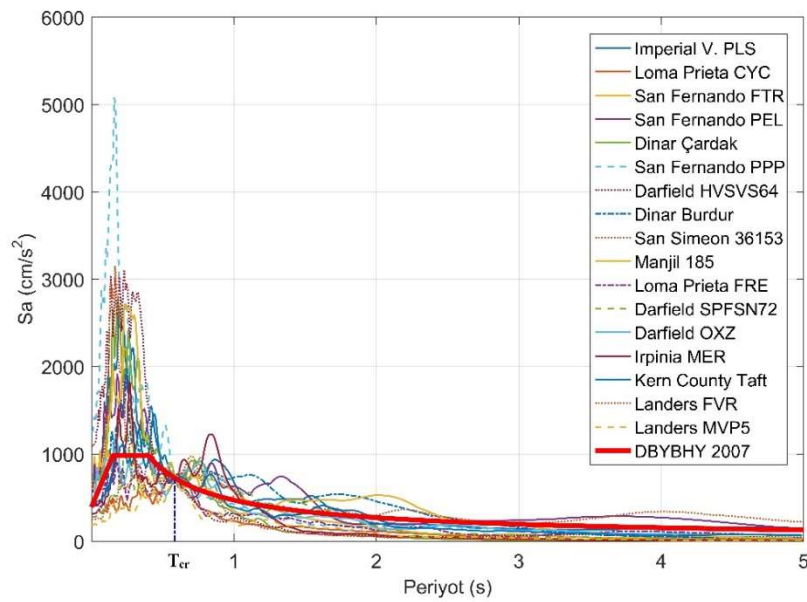
%100 ölçekli yer hareketleri ile analiz yapıldıktan sonra tüm yer hareketleri DBYBHY 2007’de verilen elastik ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Yer hareketlerini ölçeklendirmedeki temel hedef yer hareketi şiddetlerini yönetmeliğe uygun olarak benzer seviyeye taşımak ve şiddetleri yaklaşan yer hareketlerinin yapısal enerji davranışı üzerindeki etkilerini incelemektir. Ölçeklendirmede çatlamış kesit rijitliğine ait periyot yönetmelikte buna karşılık gelen spektral ivme değeri kullanılmıştır. Buna göre;

- $T_{cr} = 0.586$ s, $S_{aCR} = 722.8$ cm/s²’dir.

%100 ölçekli yer hareketlerinin çatlamış kesit rijitliğine ait spektral ivmeleri hesap spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Ölçeklenmiş yer hareketleri ile tekrar analiz yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Yakın kaynaklı yer hareketleri için ölçek oranı ortalama olarak %100'den küçük, uzak kaynaklı yer hareketleri için ölçek oranı ise ortalama olarak %100'den büyüktür. Ölçekleme sonucu her iki yer hareketi grubu için hesaplanan ivme spektrumları hesap ivme spektrumuna yaklaşmıştır. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de ölçeklenmiş yer hareketlerinin ivme spektrumları yer almaktadır.



Şekil 4.13: Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketleri ivme spektrumu.



Şekil 4.14: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketleri ivme spektrumu.

Ölçekleme sonrası spektral ivme yaklaşık olarak 722.70 cm/s^2 , spektral hız 67.40 cm/s , spektral deplasman ise 6.28 cm 'dir. Tüm yer hareketleri için spektral ivme, spektral hız ve spektral deplasman değerleri ortalama değere çok yakın veya eşittir. Spektral eşdeğer hız ise birbirine yakın değerlerde elde edilmiştir. Benzer şekilde Arias şiddetleri de değişkenlik göstermiştir. Eşdeğer hız enerji girişine etkileyecek önemli bir parametre olarak diğer spektral değerlerden ayrılmıştır. Çizelge 4.12'de ve Çizelge 4.13'te ölçeklendirilmiş yer hareketlerinin karakteristik özellikleri yer almaktadır. Uzak kaynaklı yer hareketlerinin bazılarında ölçek oranı oldukça büyük değerlere ulaşmıştır.

Çizelge 4.12: Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketlerinin karakteristik özellikleri.

Yer Hareketi	Ölçek Oranı	PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Ş. (m/s)	t _{eff} (s)	EPA (cm/s ²)	S _{aCR} (cm/s ²)	S _{vCR} (cm/s)	V _{elCR} (cm/s)	S _{dCR} (cm)
Cchurch 2011 PRPC W	104.61%	689.84	101.49	2.56	3.12	179.30	725.50	67.66	100.98	6.30
Morgan Hill 1984 CYC 285	46.36%	587.95	36.10	0.81	3.20	80.91	717.20	66.90	75.77	6.23
Morgan Hill 1984 G060 90	133.00%	381.32	48.53	1.55	6.47	109.90	724.80	67.60	84.70	6.30
Northridge 1994 RRS 228	40.00%	342.90	59.28	1.20	7.22	107.90	724.32	67.55	74.57	6.30
Northridge 1994 SCS 142	42.96%	389.50	38.07	1.01	7.54	105.96	723.40	67.47	101.28	6.29
L'Aquila 2009 GX066XT E	75.33%	488.50	30.37	1.59	7.56	76.87	719.60	67.10	102.10	6.26
Düzce 1999 Bolu 90	61.83%	490.00	40.80	0.93	9.02	95.70	724.70	67.60	87.80	6.30
Loma Prieta 1989 STG 0	112.56%	570.29	47.00	1.87	9.37	120.00	725.60	67.70	83.80	6.31
Darfield 2010 HORC S72E	94.00%	439.50	65.65	2.71	9.53	148.20	720.90	67.23	120.80	6.27
Kobe 1995 JMA 90	51.01%	315.00	38.80	1.41	9.54	91.80	722.70	67.40	101.30	6.29
Kobe 1995 TAK 90	70.17%	460.80	86.10	3.98	9.94	199.20	721.05	67.25	118.10	6.27
Loma Prieta 1989 WVC 270	123.10%	399.70	79.85	1.89	10.69	151.30	722.20	67.36	108.02	6.28
ChiChi 1999 TCU068 E	62.37%	311.20	154.75	1.27	12.38	156.75	718.50	67.00	62.56	6.25
Kocaeli 1999 YPT 150	123.64%	391.45	89.15	2.03	15.08	162.75	724.86	67.60	112.32	6.30
ChiChi 1999 TCU052 N	109.00%	477.88	187.85	3.47	15.96	241.54	722.20	67.35	78.23	6.28
Darfield 2010 GDLCN55 W	70.03%	524.98	81.28	2.20	16.00	160.20	722.50	67.39	92.80	6.28
Tabas 1971 T1	42.40%	355.00	51.90	2.08	16.35	110.37	716.08	66.74	106.40	6.22
Düzce 1999 IRIGM 487 NS	118.94%	354.00	46.35	2.63	17.56	79.11	723.15	67.40	127.00	6.29
Denali Alaska 2002 PS10 047	96.72%	316.50	112.20	1.78	22.33	185.16	724.90	67.60	80.80	6.30
Ortalama	83.05%	436.12	73.45	1.95	10.99	134.89	722.32	67.36	95.75	6.28

Çizelge 4.13: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketlerinin karakteristik özellikleri.

Yer Hareketi	Ölçek Oranı	PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Ş. (m/s)	t _{eff} (s)	EPA (cm/s ²)	S _{aCR} (cm/s ²)	S _{vCR} (cm/s)	V _{elCR} (cm/s)	S _{dCR} (cm)
ImpVal 1979 PLS 135	1162.06%	658.30	68.10	7.65	10.81	164.00	722.80	67.40	124.90	6.28
Loma Prieta 1989 CYC 285	65.11%	309.10	26.37	0.63	12.24	59.25	721.50	67.30	99.90	6.27
Sfernando 1971 FTR 326	590.00%	641.20	50.75	2.17	12.99	104.75	723.18	67.44	76.40	6.29
Sfernando 1971 PEL 90	252.75%	557.90	55.10	4.33	13.15	167.90	723.50	67.50	127.50	6.29
Dinar 1995 Çardak 076	1062.00%	685.67	33.33	8.67	13.48	100.11	722.85	67.41	137.56	6.29
Sfernando 1971 PPP 270	935.00%	1265.35	51.66	21.40	13.66	160.55	722.66	67.39	170.60	6.28
Darfield 2010 HVSVS64 E	176.26%	1090.40	40.02	12.76	15.73	122.80	721.70	67.30	113.19	6.28
Dinar 1995 Burdur 90	1070.81%	419.70	48.06	4.74	16.37	148.60	722.90	67.42	171.69	6.28
San Simeon 2003 36153 90	505.53%	66.10	66.30	5.52	17.73	171.33	723.50	67.47	84.20	6.29
Manjil 1990 185 066	336.55%	608.22	52.25	5.10	18.10	156.87	723.80	64.47	129.27	6.29
Loma Prieta 1989 FRE 000	253.00%	314.00	35.68	1.74	18.23	86.34	722.26	67.35	130.00	6.28
Darfield 2010 SPFSN72 E	176.00%	276.60	36.06	3.13	22.18	97.60	722.80	67.41	154.50	6.29
Darfield 2010 OXZ N	326.00%	466.70	39.05	4.34	23.04	112.59	721.80	67.32	150.06	6.28
Irpinia İtalya 1980 MER 270	292.69%	403.80	34.70	4.02	25.09	88.35	723.55	67.48	157.43	6.29
Kern C. 1952 Taft 111	248.66%	440.40	46.45	3.70	28.78	112.50	723.80	67.50	145.14	6.29
Landers 1992 FVR 045	119.39%	252.00	28.80	1.71	29.21	61.70	720.40	67.20	123.70	6.27
Landers 1992 MVP 000	103.00%	189.60	17.17	1.02	31.63	53.88	720.80	67.23	119.10	6.27
Ortalama	451.46%	508.53	42.93	5.45	18.97	115.83	722.58	67.21	130.30	6.28

Yakın kaynaklı yer hareketlerinde eşdeğer hızlar ölçek oranlarına bağlı olarak azalmışlardır. Bu durumda enerji girişinin de azalması beklenmektedir. Uzak kaynaklı yer hareketlerinde ise ölçek oranları çok büyük olduğu için eşdeğer hızlar görece büyük artışlar göstermiştir ve buna bağlı olarak enerji girişi de artacaktır. Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15'te ölçeklendirilmiş yer hareketlerine göre eşdeğer hız ve enerji girişi sonuçları yer almaktadır.

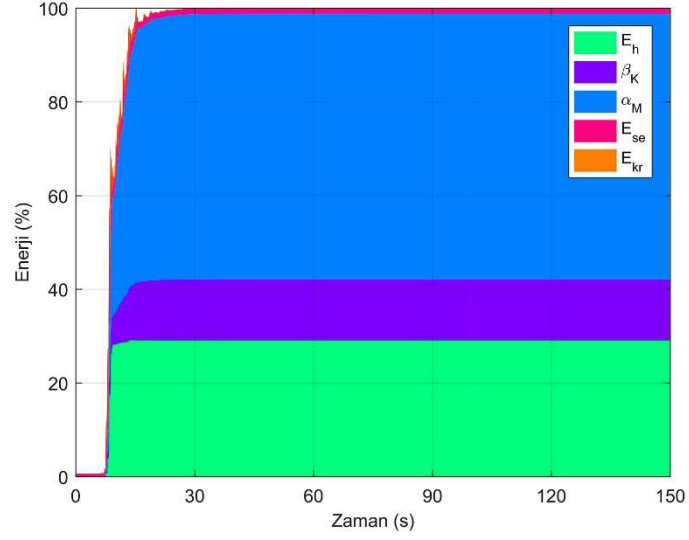
Çizelge 4.14: Ölçeklenmiş yakın kaynaklı depremlerle yapılan analizlerde elde edilen enerji değerleri.

Yer Hareketi	Ölçek Oranı	V_{elCR} (cm/s)	E_h (kNm)	E_i (kNm)	E_h/E_i
Cchurch 2011 PRPC W	104.61%	100.98	107.74	265.80	0.41
Morgan Hill 1984 CYC 285	46.36%	75.77	42.50	164.94	0.26
Morgan Hill 1984 G060 90	133.00%	84.70	24.42	121.38	0.20
Northridge 1994 RRS 228	40.00%	74.57	41.22	127.04	0.32
Northridge 1994 SCS 142	42.96%	101.28	11.58	102.68	0.11
L'Aquila 2009 GX066XT E	75.33%	102.10	12.48	144.90	0.09
Düzce 1999 Bolu 90	61.83%	87.80	29.72	168.06	0.18
Loma Prieta 1989 STG 0	112.56%	83.80	41.34	179.84	0.23
Darfield 2010 HORC S72E	94.00%	120.80	6.12	144.10	0.04
Kobe 1995 JMA 90	51.01%	101.30	84.42	289.20	0.29
Kobe 1995 TAK 90	70.17%	118.10	20.28	191.92	0.11
Loma Prieta 1989 WVC 270	123.10%	108.02	54.72	253.00	0.22
ChiChi 1999 TCU068 E	62.37%	62.56	14.19	105.68	0.13
Kocaeli 1999 YPT 150	123.64%	112.32	16.97	163.68	0.10
ChiChi 1999 TCU052 N	109.00%	78.23	82.46	224.40	0.37
Darfield 2010 GDLCN55 W	70.03%	92.80	48.82	196.86	0.25
Tabas 1971 T1	42.40%	106.40	8.55	165.44	0.05
Düzce 1999 IRIGM 487 NS	118.94%	127.00	10.33	141.62	0.07
Denali Alaska 2002 PS10 047	96.72%	80.80	39.92	134.34	0.30
Ortalama	83.05%	95.75	36.73	172.89	0.20

Çizelge 4.15: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı depremlerle yapılan analizlerde elde edilen enerji değerleri.

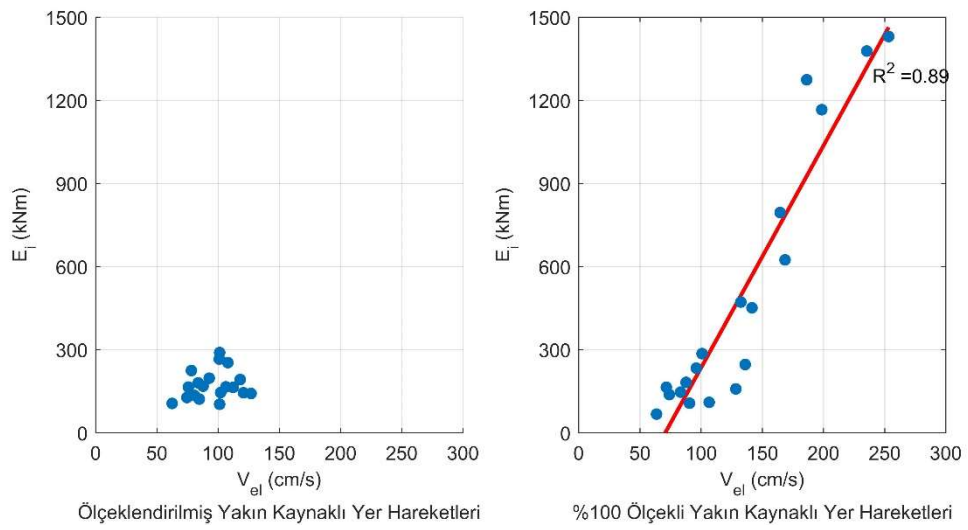
Yer Hareketi	Ölçek Oranı	V_{elCR} (cm/s)	E_h (kNm)	E_i (kNm)	E_h/E_i
ImpVal 1979 PLS 135	1162.06%	124.90	37.04	367.20	0.10
Loma Prieta 1989 CYC 285	65.11%	99.90	35.92	229.80	0.16
Sfernando 1971 FTR 326	590.00%	76.40	32.26	166.00	0.19
Sfernando 1971 PEL 90	252.75%	127.50	17.96	233.00	0.08
Dinar 1995 Çardak 076	1062.00%	137.56	56.74	412.40	0.14
Sfernando 1971 PPP 270	935.00%	170.60	19.72	406.60	0.05
Darfield 2010 HVSVS64 E	176.26%	113.19	15.06	306.40	0.05
Dinar 1995 Burdur 90	1070.81%	171.69	26.06	383.40	0.07
San Simeon 2003 36153 90	505.53%	84.20	56.00	229.20	0.24
Manjil 1990 185 066	336.55%	129.27	22.72	259.80	0.09
Loma Prieta 1989 FRE 000	253.00%	130.00	6.46	194.68	0.03
Darfield 2010 SPFSN72 E	176.00%	154.50	52.64	527.00	0.10
Darfield 2010 OXZ N	326.00%	150.06	106.90	663.40	0.16
Irpinia İtalya 1980 MER 270	292.69%	157.43	177.58	729.60	0.24
Kern C. 1952 Taft 111	248.66%	145.14	27.62	373.40	0.07
Landers 1992 FVR 045	119.39%	123.70	98.62	462.00	0.21
Landers 1992 MVP 000	103.00%	119.10	14.30	225.00	0.06
Ortalama	451.46%	130.30	47.27	362.88	0.12

Kobe JMA 90 yer hareketi için ölçeklendirilmiş analiz sonuçlarında 289.20 kNm enerji girişi oluşmuştur ve bu enerjinin %29 kadarı hasara neden olacak çevrimsel enerjidir. Şekil 4.15'te Kobe JMA 90 yer hareketine ait enerji yüzdesi-zaman grafiği görülmektedir. %100 ölçekli analiz sonuçlarına göre enerji girişi ve çevrimsel enerji azalmıştır.



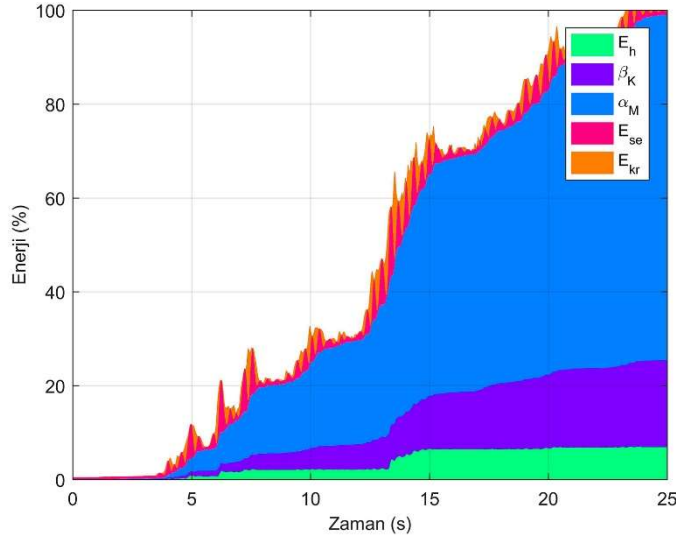
Şekil 4.15: Ölçeklendirilmiş Kobe JMA 90 yer hareketi enerji yüzdesi-zaman grafiği.

Yakın kaynaklı yer hareketleri için enerji girişi 100 kNm ile 300 kNm sınırları arasında, eşdeğer hız ise 60 cm/s ile 130 cm/s sınırları arasında bir araya toplanmışlardır. Belli bir tasarım spektrumu seçilerek ölçeklendirilmiş yer hareketleri ile analiz yapıldığında enerji girişi de tasarım spektrumuna uygun olacak şekilde sınırlanmıştır. Şekil 4.16'da enerji girişinin eşdeğer hız ile ilişkisi görülmektedir. Aynı şekilde ölçeklenmemiş analiz sonuçlarının grafiği mukayese amacı ile gösterilmektedir.



Şekil 4.16: Ölçeklendirilmiş ve %100 ölçekli yakın kaynaklı yer hareketleri eşdeğer hız-enerji girişi grafiği.

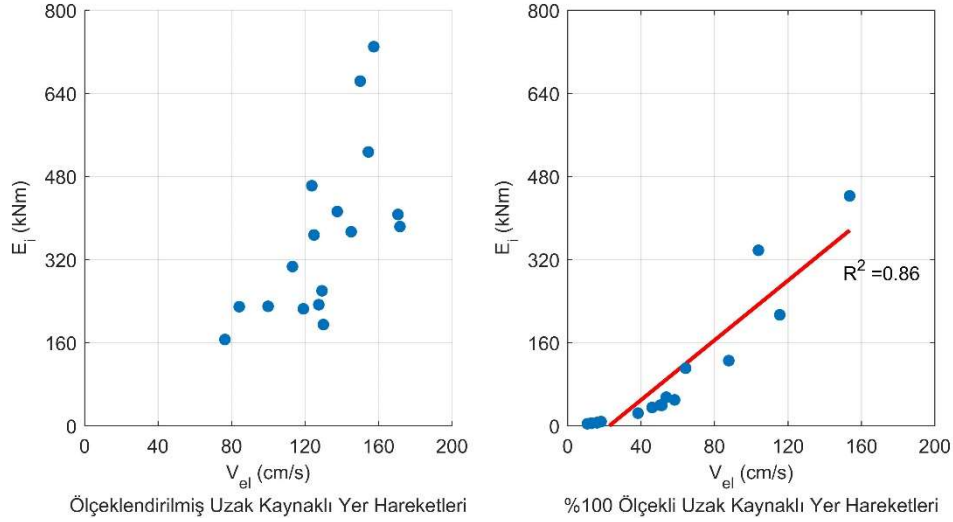
Uzak kaynaklı yer hareketlerinin ölçeklendirilmesiyle depreme bağlı enerji girişi orijinal kayıt sonuçlarına kıyasla artmıştır. Ölçek oranı olarak yüksek değerlere sahip olan uzak kaynaklı yer hareketlerinin spektral ivme, hız, deplasman değerleri aynı değere yaklaşmış, eşdeğer hız değerleri ise değişkenlik göstermiştir. Şekil 4.17’te Dinar Burdur yer hareketi için enerji yüzdesi-zaman grafiği görülmektedir ve %100 ölçekli analiz sonuçlarına göre enerji girişi ve çevrimsel enerjide artış olmuştur.



Şekil 4.17: Ölçeklendirilmiş Dinar Burdur yer hareketi enerji yüzdesi-zaman grafiği.

Uzak kaynaklı yer hareketleri için depreme bağlı enerji girişi 160 kNm ile 730 kNm arasında, eşdeğer hız ise 75 cm/s ile 170 cm/s arasında sınırlanmıştır. Görüldüğü gibi ölçeklendirmeden sonra yer hareketi karakteristiği olan eşdeğer hız ve buna bağlı olarak enerji girişi görece geniş bir banda yayılmıştır. Yakın kaynaklı yer hareketlerine kıyasla uzak kaynaklı yer hareketlerinde belirgin bir kümelenme gözlemlenmemiştir. Yakın kaynaklı yer hareketlerinde Şekil 4.15’te de görüldüğü üzere depreme bağlı yapısal enerjinin büyük bölümü çok kısa bir sürede oluşmaktadır. Uzak kaynaklı yer hareketlerinde ise Şekil 4.17’de görüldüğü gibi enerji deprem süresince artan şekilde oluşmaktadır. Bu durumda yer hareketlerinin şiddetleri ölçeklense dahi, yer hareketi süresine ve yapısal davranışa bağlı olarak yapısal enerji miktarı önemli miktarda değişmektedir. Bu konunun gelecek çalışmalar kapsamında araştırılması planlanmaktadır. Şekil 4.18’de uzak kaynaklı yer hareketleri için enerji girişinin eşdeğer hız ile ilişkisi görülmektedir. Uzak kaynaklı yer hareketleri ile yapılan analiz sonuçlarında, orijinal kayıtlara kıyasla, ölçek oranına bağlı olarak enerji girişinde ve

eşdeğer hızda artış olduğu görülmektedir. Tasarım spektrumunun altında kalan ve analiz sonuçlarına göre yapısal modelin elastığe yakın davranış sergileyerek neredeyse hiç çevrimsel enerjiye neden olmadığı kayıtlar ölçeklendirildiği zaman enerji girişi ve çevrimsel enerji bakımından daha değerlendirilebilir sonuçlar vermektedir. Uzak kaynaklı yer hareketlerinin büyük bölümünde aynı şekilde eşdeğer hızın artmasıyla enerji girişinde artış meydana gelmiştir.

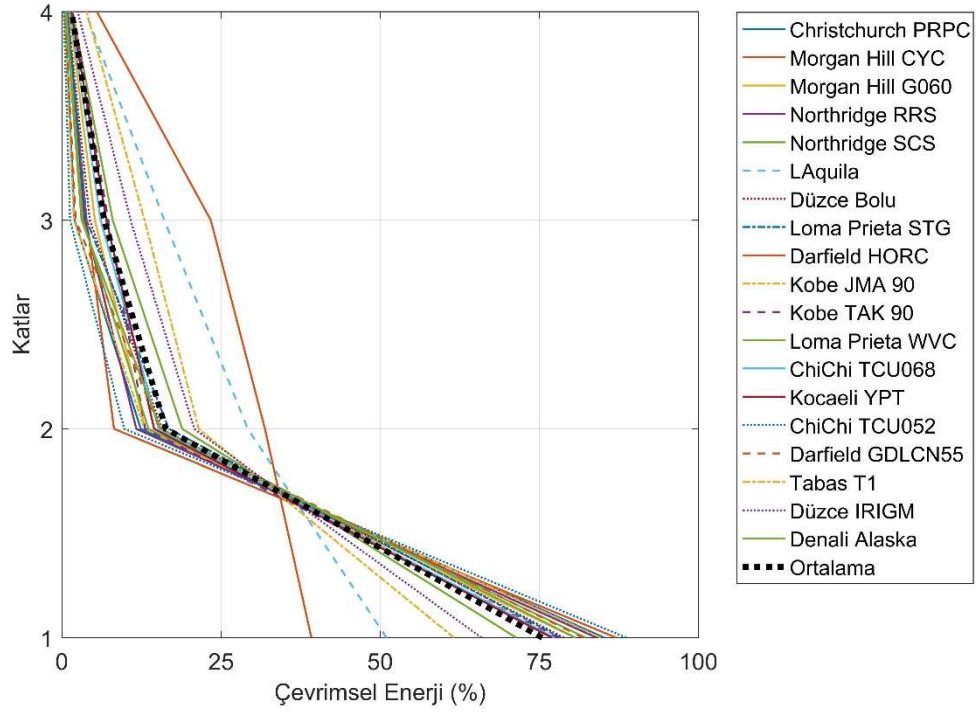


Şekil 4.18: Ölçeklendirilmiş ve %100 ölçekli uzak kaynaklı yer hareketleri eşdeğer hız-enerji girişi grafiği.

Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketleri için çevrimsel enerjinin katlara ve elemanlara dağılımı Çizelge 4.16'da ve Şekil 4.19'da, elemanlara dağılımı ise Şekil 4.20 ve Çizelge 4.17'de görülmektedir. Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketleri için çevrimsel enerjinin katlara ve elemanlara dağılımı Çizelge 4.18 ve Şekil 4.21'de elemanlara dağılımı ise Şekil 4.22'de ve Çizelge 4.19'da görülmektedir. %100 ölçekli yer hareketlerine göre çevrimsel enerjini katlara ve elemanlara dağılımında farklılıklar oluşmuştur. Uzak kaynaklı yer hareketlerinin ölçeklendirilmesiyle enerji giriş ve çevrimsel enerji artmıştır. Çevrimsel enerji daha önce olduğu gibi ilk katta ve kolonlarda yoğunlaşmış diğer kat ve elemanlara dağılımı az olacak şekilde dağılmıştır.

Çizelge 4.16: Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin dağılımı.

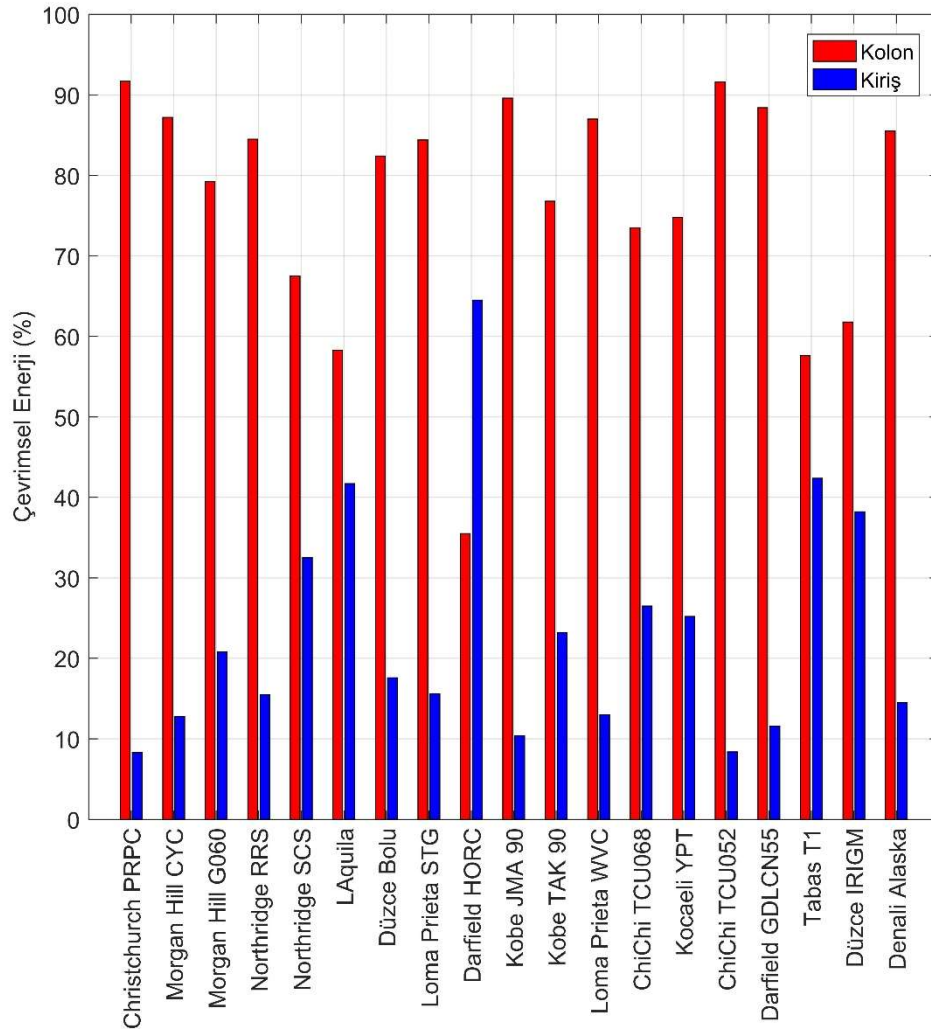
Yer Hareketi	Katlar					E_{hk}/E_h			
	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 4	E_h (kNm)	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 4
Cchurch 2011 PRPC W	91.51	13.26	2.12	0.49	107.38	85.2%	12.4%	2.0%	0.5%
Morgan Hill 1984 CYC 285	36.73	3.47	1.64	0.35	42.19	87.1%	8.2%	3.9%	0.8%
Morgan Hill 1984 G060 90	19.51	3.17	1.25	0.28	24.21	80.6%	13.1%	5.2%	1.2%
Northridge 1994 RRS 228	34.38	4.80	1.46	0.32	40.95	84.0%	11.7%	3.6%	0.8%
Northridge 1994 SCS 142	7.86	2.08	0.88	0.19	11.00	71.4%	18.9%	8.0%	1.7%
L'Aquila 2009 GX066XT E	5.90	3.38	1.86	0.42	11.56	51.0%	29.2%	16.1%	3.7%
Düzce 1999 Bolu 90	23.24	4.63	1.31	0.27	29.44	78.9%	15.7%	4.4%	0.9%
Loma Prieta 1989 STG 0	32.11	6.87	1.61	0.36	40.94	78.4%	16.8%	3.9%	0.9%
Darfield 2010 HORC S72E	2.03	1.65	1.21	0.28	5.18	39.2%	31.9%	23.4%	5.5%
Kobe 1995 JMA 90	71.20	10.92	1.61	0.37	84.10	84.7%	13.0%	1.9%	0.4%
Kobe 1995 TAK 90	15.51	2.60	1.44	0.33	19.89	78.0%	13.1%	7.3%	1.7%
Loma Prieta 1989 WVC 270	44.92	7.44	1.81	0.40	54.56	82.3%	13.6%	3.3%	0.7%
ChiChi 1999 TCU068 E	10.69	2.10	0.84	0.18	13.81	77.4%	15.2%	6.1%	1.3%
Kocaeli 1999 YPT 150	12.64	2.39	1.15	0.25	16.42	77.0%	14.5%	7.0%	1.5%
ChiChi 1999 TCU052 N	72.95	8.03	1.09	0.21	82.27	88.7%	9.8%	1.3%	0.3%
Darfield 2010 GDLCN55 W	39.81	7.48	1.09	0.26	48.63	81.9%	15.4%	2.2%	0.5%
Tabas 1971 T1	4.78	1.67	1.01	0.30	7.77	61.6%	21.5%	13.0%	3.9%
Düzce 1999 IRIGM 487 NS	6.53	2.06	1.07	0.25	9.90	65.9%	20.8%	10.8%	2.5%
Denali Alaska 2002 PS10 047	32.22	6.20	1.25	0.25	39.92	80.7%	15.5%	3.1%	0.6%
Ortalama					36.32	75.47%	16.33%	6.66%	1.55%



Şekil 4.19: Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin katlara dağılımı.

Çizelge 4.17: Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.

Yer Hareketi	E_{hc}/E_h	E_{hb}/E_h
Cchurch 2011 PRPC W	91.7%	8.3%
Morgan Hill 1984 CYC 285	87.2%	12.8%
Morgan Hill 1984 G060 90	79.2%	20.8%
Northridge 1994 RRS 228	84.5%	15.5%
Northridge 1994 SCS 142	67.5%	32.5%
L'Aquila 2009 GX066XT E	58.3%	41.7%
Düzce 1999 Bolu 90	82.4%	17.6%
Loma Prieta 1989 STG 0	84.4%	15.6%
Darfield 2010 HORC S72E	35.5%	64.5%
Kobe 1995 JMA 90	89.6%	10.4%
Kobe 1995 TAK 90	76.8%	23.2%
Loma Prieta 1989 WVC 270	87.0%	13.0%
ChiChi 1999 TCU068 E	73.5%	26.5%
Kocaeli 1999 YPT 150	74.8%	25.2%
ChiChi 1999 TCU052 N	91.6%	8.4%
Darfield 2010 GDLCN55 W	88.4%	11.6%
Tabas 1971 T1	57.6%	42.4%
Düzce 1999 IRIGM 487 NS	61.8%	38.2%
Denali Alaska 2002 PS10 047	85.5%	14.5%

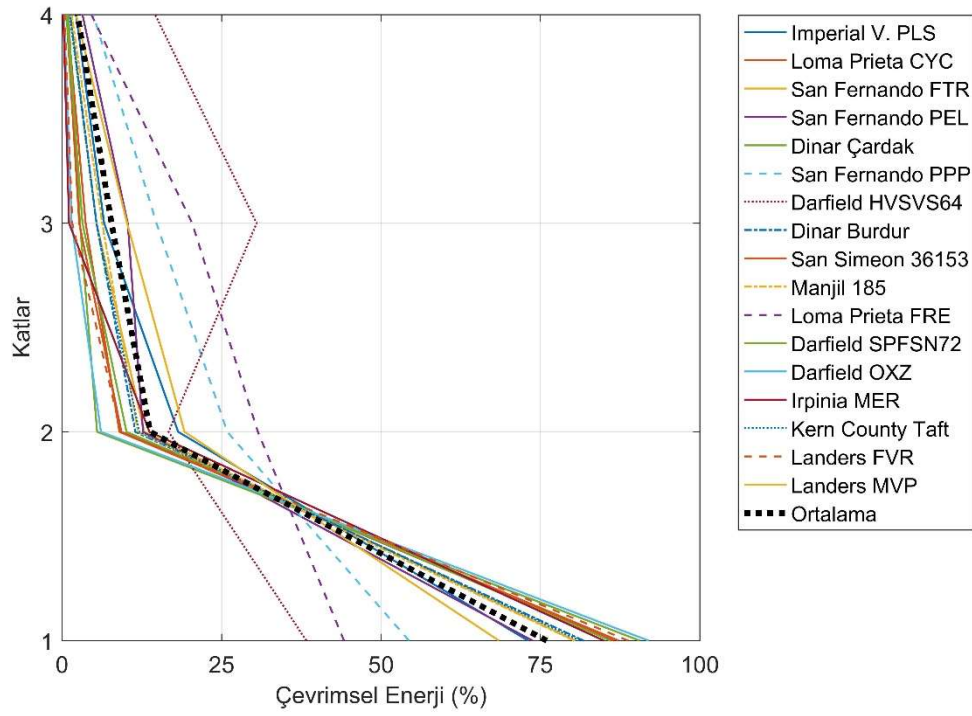


Şekil 4.20: Ölçeklendirilmiş yakın kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.

Yer hareketlerinin ölçeklendirilmesiyle çevrimsel enerjinin dağılımlı yakın kaynaklı yer hareketlerinde olduğu gibi uzak kaynaklı yer hareketlerinde de ortalamaya uyum sağlayacak bir duruma gelmiştir. Şekil 4.21’de görüldüğü gibi katlara dağılımlar ortalamaya yakın olacak şekildedir. Benzer şekilde elemanlara dağılımlarda çevrimsel enerjinin büyük bir kısmı kolonlar tarafında tüketilmiştir.

Çizelge 4.18: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin dağılımı.

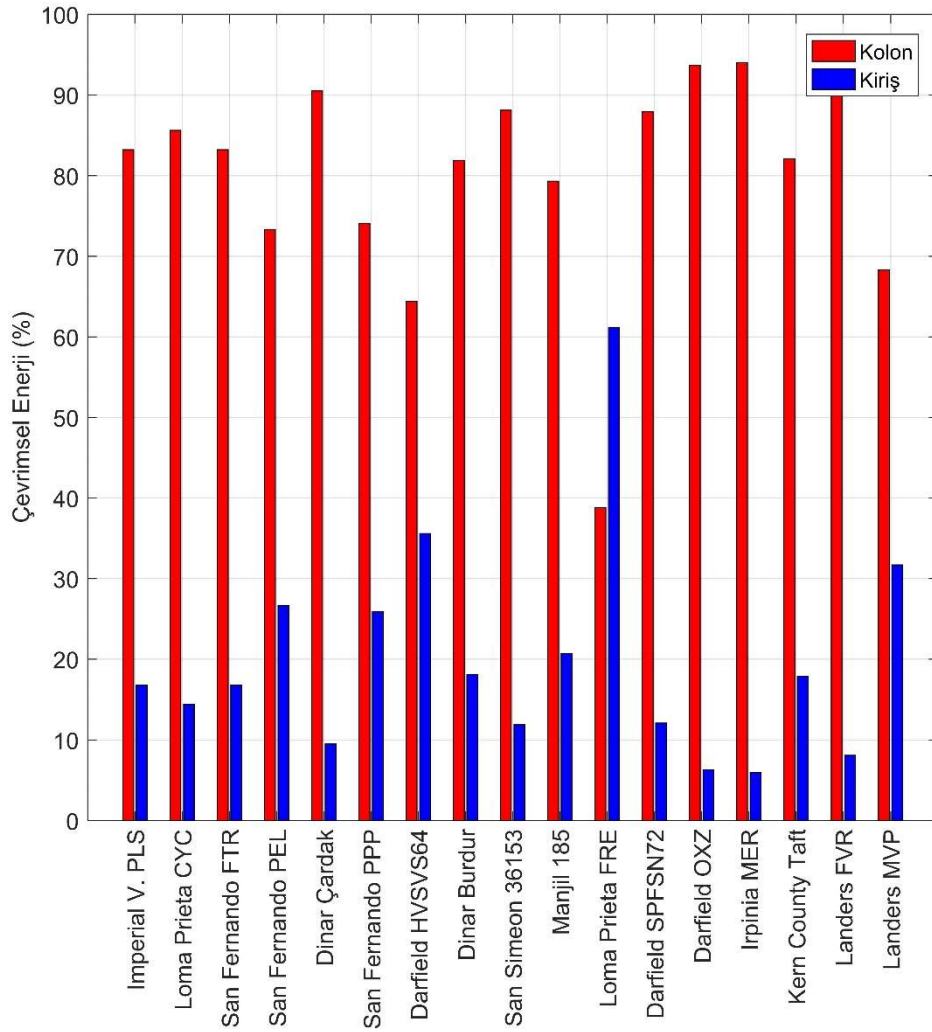
Yer Hareketi	Katlar					E_{hk}/E_h			
	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 4	E_h (kNm)	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 4
ImpVal 1979 PLS 135	26.83	6.68	2.41	0.79	36.71	73.1%	18.2%	6.6%	2.2%
Loma Prieta 1989 CYC 285	30.88	3.22	1.32	0.29	35.70	86.5%	9.0%	3.7%	0.8%
Sfernando 1971 FTR 326	25.68	4.10	1.71	0.40	31.89	80.5%	12.9%	5.4%	1.3%
Sfernando 1971 PEL 90	12.96	2.24	1.80	0.57	17.57	73.8%	12.7%	10.3%	3.2%
Dinar 1995 Çardak 076	51.20	3.13	1.61	0.55	56.48	90.6%	5.5%	2.8%	1.0%
Sfernando 1971 PPP 270	10.53	5.03	2.87	0.95	19.38	54.4%	25.9%	14.8%	4.9%
Darfield 2010 HVSVS64 E	5.58	2.44	4.44	2.12	14.58	38.3%	16.7%	30.5%	14.6%
Dinar 1995 Burdur 90	20.95	2.95	1.39	0.32	25.62	81.8%	11.5%	5.4%	1.3%
San Simeon 2003 36153 90	48.82	5.19	1.51	0.38	55.90	87.3%	9.3%	2.7%	0.7%
Manjil 1990 185 066	17.97	2.65	1.42	0.34	22.38	80.3%	11.9%	6.3%	1.5%
Loma Prieta 1989 FRE 000	2.42	1.68	1.12	0.25	5.48	44.2%	30.7%	20.4%	4.6%
Darfield 2010 SPFSN72 E	45.15	5.30	1.68	0.37	52.50	86.0%	10.1%	3.2%	0.7%
Darfield 2010 OXZ N	98.13	6.48	1.64	0.36	106.62	92.0%	6.1%	1.5%	0.3%
Irpinia İtalya 1980 MER 270	150.71	24.27	1.88	0.43	177.30	85.0%	13.7%	1.1%	0.2%
Kern C. 1952 Taft 111	22.30	3.33	1.49	0.33	27.46	81.2%	12.1%	5.4%	1.2%
Landers 1992 FVR 045	87.42	9.01	1.61	0.36	98.40	88.8%	9.2%	1.6%	0.4%
Landers 1992 MVP 000	9.26	2.59	1.38	0.30	13.53	68.5%	19.2%	10.2%	2.2%
Ortalama					46.91	76.02%	13.81%	7.76%	2.42%



Şekil 4.21: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin katlara dağılımı. t_{cr}

Çizelge 4.19: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.

Yer Hareketi	E_{hc}/E_h	E_{hb}/E_h
ImpVal 1979 PLS 135	83.2%	16.8%
Loma Prieta 1989 CYC 285	85.6%	14.4%
Sfernando 1971 FTR 326	83.2%	16.8%
Sfernando 1971 PEL 90	73.3%	26.7%
Dinar 1995 Çardak 076	90.5%	9.5%
Sfernando 1971 PPP 270	74.1%	25.9%
Darfield 2010 HVSVS64 E	64.4%	35.6%
Dinar 1995 Burdur 90	81.9%	18.1%
San Simeon 2003 36153 90	88.1%	11.9%
Manjil 1990 185 066	79.3%	20.7%
Loma Prieta 1989 FRE 000	38.8%	61.2%
Darfield 2010 SPFSN72 E	87.9%	12.1%
Darfield 2010 OXZ N	93.7%	6.3%
Irpinia İtalya 1980 MER 270	94.0%	6.0%
Kern C. 1952 Taft 111	82.1%	17.9%
Landers 1992 FVR 045	91.9%	8.1%
Landers 1992 MVP 000	68.3%	31.7%



Şekil 4.22: Ölçeklendirilmiş uzak kaynaklı yer hareketlerinde çevrimsel enerjinin elemanlara dağılımı.

Yapılan ölçekleme sonucunda gerek yakın kaynaklı gerekse uzak kaynaklı yer hareketleri ile yapılan analizlerde spektral eşdeğer hız ve depreme bağlı enerji girişi dağılımı, ölçeksiz yer hareketleri gibi geniş bir alanda doğrusal bir dağılım sergilememiş ve son derece küçük bir alanda ve bir nokta etrafında toplanmışlardır. Bu dağılım uygun bir ölçekleme ile hedeflenen bir hesap depremi seviyesi için depreme bağlı yapısal enerji girişinin, son derece karmaşık bir malzeme ve davranış modeline sahip bir yapıda bile, yeterli yakınlıkla tahmin edilebilir olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Depreme dayanıklı bina tasarımı konusunda mevcut yönetmelikler kuvvet ve deplasmaya bağlı ve performans esaslı bir yöntem izlemektedirler. Bu yöntemler oldukça etkin olmakla birlikte yer hareketinin süresi göz önüne alınmaz. Enerji yaklaşımı ise yer hareketi süresine bağlı yapısal hasarlar gibi etkileri de göz önüne alabilir ve dayanım veya deformasyon gibi yapısal yanıt değerlerine bir alternatif olarak kullanılabilir. Binalarda yapısal özelliklere ve deprem karakterine bağlı olarak yapısal enerji dağılımı kavramı yeterince anlaşılabilirse betonarme binalar için özel detaylar ve daha etkili hesap yöntemleri geliştirilebilir.

Bu çalışmada yer hareketi karakteristik özelliklerinin binalardaki enerji girişi ve yayılımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Örnek bir çalışma olarak 4 katlı betonarme çerçeve tipi bir yapı modeli üzerinde yakın ve uzak kaynaklı olarak iki gruba ayrılmış bir dizi yer hareketi kullanarak bu değişkenler detaylı şekilde incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan bina modeli daha önceki çalışmalarda gerçek boyutlu olarak imal edilmiş ve 3 boyutlu sarsma masası deneyleri ile test edilmiş bir modeldir. Çalışma kapsamında geliştirilen modelin etkinliği, mevcut test sonuçları ile karşılaştırılarak teyit edilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan yer hareketleri temel olarak 2 grupta toplanmıştır. İlk grup yakın kaynaklı ve ani darbeli karaktere sahip yer hareketleri, ikinci grup ise uzak kaynaklı ve ani darbe karakteri göstermeyen yer hareketleri arasından seçilmiştir.

Tez kapsamında enerji esaslı bir hesap yöntemi geliştirilmesine ve binaların hasar alma potansiyelinin anlaşılmasına yönelik olarak deprem giriş enerjisinin enerji bileşenleri (kinetik, elastik şekil değiştirme, çevrimsel ve yapısal sönümleme) incelenmiştir. Doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarına bağlı olarak, öncelikle yakın kaynaklı ve uzak kaynaklı yer hareketlerinin örnek model üzerindeki etkileri yer hareketleri üzerinde ölçekleme yapılmadan incelenmiştir. Bu bağlamda deprem kaynaklı enerji

girişinin bina katlarına ve yapısal elemanlara dağılımı ayrıntılı olarak hesaplanarak tartışılmıştır. Analiz sonuçlarına göre örnek binadaki enerji girişi (E_i) ve yer hareketinin eşdeğer hız değeri (V_E) arasında doğrusala yakın ve belirleme katsayısı oldukça yüksek bir ilişki tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan bina modeli üzerinde, depreme bağlı enerji girişinde en etkili yer hareketi karakteristiğinin eşdeğer hız olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç dinamik hareket denkleminden de anlaşılabileceği üzere yapısal sönüm ve hız arasında bir ilişki olduğunu doğrular niteliktedir.

Yapısal hasar ile doğrudan ilişkili olan çevrimsel enerjisi E_H ile eşdeğer hız arasında da giriş enerjisine benzer şekilde doğrusala yakın bir ilişki olduğu görülmektedir. Ancak bu durumda belirleme katsayısı (regresyon başarısı) giriş enerjisinde olduğu kadar yüksek değildir. Yer hareketi karakteristik özellikleri ve çevrimsel enerji arasındaki ilişki gelecek çalışmalarda daha kapsamlı olarak incelenecektir.

Çevrimsel enerjinin katlara dağılımı incelendiğinde özellikle yakın kaynaklı yer hareketleri etkisinde, alt katlardan yukarı doğru azalan parabolik bir dağılım olduğu anlaşılmaktadır. Bu dağılım uzak kaynaklı yer hareketlerinde oldukça belirsizdir. Bu belirsizlik uzak kaynaklı yer hareketi kayıtlarının model bina üzerinde son derece küçük giriş enerjisi ve buna bağlı olarak yapıda küçük çevrimsel enerji tüketilmesinden kaynaklanmaktadır. Buradan hareketle, uzak kaynaklı yer hareketlerinin yakın kaynaklı hareketlere göre daha küçük çevrimsel enerji sonuçlarına ve dolayısıyla daha az yapısal hasara neden olabilecekleri söylenebilir.

Yapısal analiz sonuçlarına bağlı olarak deprem kaynaklı çevrimsel enerjinin binadaki kolon ve kirişlere dağılımı da incelenmiştir. Yakın kaynaklı yer hareketlerinde özellikle yer hareketi şiddetinin görece büyük olduğu kayıtların sonuçlarına bakıldığında, çevrimsel enerjinin tamamına yakın bölümünün kolonlar tarafından tüketildiği görülmektedir. Benzer sonuç uzak kaynaklı yer hareketleri için de çıkartılabilir. Gruptaki diğer hareketlere göre şiddeti görece düşük yer hareketlerinde ise çevrimsel enerjinin büyük kısmının kirişler tarafından tüketildiği görülmektedir. Bu sonuçtan hareketle şiddeti görece küçük yer hareketlerinin plastik davranışa bağlı olarak öncelikle kirişlerde enerji yutulmasına, büyüyen şiddetle birlikte enerjinin büyük bölümünün kolonlarda yutulmasına neden olduğu söylenebilir. Bu durum depreme dayanıklı yapı tasarımının temel prensiplerinden olan kuvvetli kolon-zayıf

kiriş yönteminin sayısal bir sonucudur ve yöntemin etkinliğini göstermek adına son derece önemlidir.

Çalışma kapsamında yer hareketleri ölçeklenerek benzer analizler tekrarlanmıştır. Yer hareketlerinin ölçeklenmesinde mevcut deprem yönetmeliği ivme spektrumu ve model binaya ait çatlamış kesite denk gelen yapısal periyot çizgisi kullanılmıştır. Ölçekleme sonrasında gerek yakın gerekse uzak kaynaklı yer hareketleri sonuçlarına göre eşdeğer hız ve enerji girişi dağılımı doğrusal olmaktan uzaklaşmış ve küçük bir alanda yoğunlaşmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki yer hareketinin ölçeklenmesi ile yapısal enerji girişi farklı yer hareketleri için benzer bir nokta etrafında kümelenmiştir. Benzer dağılım ilişkisi eşdeğer hız ve çevrimsel enerji arasında da görülmektedir. Bu dağılım uygun bir ölçekleme ile hedeflenen bir hesap depremi seviyesi için depreme bağlı yapısal enerji girişinin, son derece karmaşık bir malzeme ve davranış modeline sahip bir yapıda bile, yeterli yakınlıkla tahmin edilebilir olduğunu göstermektedir.

Doğruluğu gerçek ölçekli test sonuçlarına bağlı olarak gösterilmiş bir yapısal model üzerinde yapılan dinamik analiz sonuçları, yakın ve uzak kaynaklı yer hareketlerinin yapısal enerji girişi ve bir hasar parametresi olarak kabul edilen çevrimsel enerji üzerindeki etkilerinin farklarını ortaya koymaktadır. Yakın ve uzak kaynaklı yer hareketi grupları ayrı ayrı incelendiğinde ise spektral bir büyüklük olan yer hareketinin eşdeğer hız değerinin çevrimsel enerji ve özellikle yapısal enerji girişi üzerinde son derece belirleyici bir parametre olduğu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- Acun B., Sucuoğlu H.** (2011). Betonarme Kolonların Şekildeğiştirme Performans Sınırlarının Deneysel Gözlemlerle Değerlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi* (2011) Yazı 356, 5523-5541
- Akiyama H.** (1985). *Earthquake-resistant limit-state design for buildings*, The University of Tokyo Press, Tokyo, Japan
- ASCE-41-13 American Society of Civil Engineers** (2013), *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*
- Arias A.** (1970). A measure of earthquake intensity, *Seismic Design for Nuclear Power Plants Hansen RJ (Ed.)*, MIT Press, Cambridge: 438–483
- Benavent-Climent A., López-Almansa F., Pujades L.G.** (2002). Design Energy Input Spectra for Moderate-Seismicity Regions. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol.31, pp 1151-1172
- Benavent-Climent A., Akiyama H., Lopez-Almansa, F., Pujades L.G.** (2004). Prediction of ultimate earthquake resistance of gravity-load designed RC Buildings. *Engineering Structures* 26 (2004) pp.1103–1113
- Benavent-Climent A.** (2007). An Energy-Based Damage Model for Seismic Response of Steel Structures. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol.36, pp 1049-1064
- Benavent-Climent A., López-Almansa F., Gonzalez D.A.B.** (2010). Design Energy Input Spectra for Moderate-to-High Seismicity Regions Based on Colombian Earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.30, pp 1129-1148
- Benavent-Climent A., López-Almansa F., Yazgan A.U.** (2012). Design Energy Spectra for Turkey. *15th WCEE LISBOA*
- Chou C.C., Uang C.M.** (2003). A Procedure for Evaluating Seismic Energy Demand of Framed Structures. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol.32, pp 229-244
- DBYBHY 2007**, *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007*. Ankara Türkiye
- Dindar A.A., Yalcın C., Yuksel E., Ozkaynak H., Buyukozturk O.** (2008). Seismic Energy Demand Mapping of Regions Using Energy-Based Methodology. *14th WCEE BEIJING*
- Dindar A.A., Yalcın C., Yuksel E., Ozkaynak H., Buyukozturk O.** (2012). Inelastic Seismic Demand Mapping of the Regions Using Energy Balance Formulation. *15th WCEE LISBOA*
- Dindar A.A., Yalcın C., Yuksel E., Ozkaynak H., Buyukozturk O.** (2015). Development of Earthquake Energy Demand Spectra. *Earthquake Spectra*, Vol.31/3, pp 1667-1689

- Elwood K. J., Eberhard M.O. (2006).** Effective Stiffness of Reinforced Concrete Columns. *Research Digest No. 2006-1, A publication of the Pacific Earthquake Engineering Research Center*
- Goel C., Leelataviwat S., Stojadinovic B. (2002).** Energy-Based Seismic Design of Structures Using Yield Mechanism and Target Drift. *Journal of Structural Engineering, Vol.128\8*, pp 1046-1054
- Goel C., Leelataviwat S., Saewon W. (2008).** An Energy-Based Method for Seismic Evaluation of Structures. *14th WCEE BEIJING*
- Hori N., Inoue N., Shibata A. (1996).** Inelastic Seismic Design Procedure Based On Energy Response Behavior Of Structures. *11th WCEE MEXICO*
- Hori N., Inoue N. (2002).** Damaging Properties of Ground Motions and Prediction of Maximum Response of Structures Based on Momentary Energy Response. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol.31*, pp 1657-1679
- Hori N., Inoue Y., Inoue N. (2004).** A Study on Energy Dissipating Behaviors and Response Prediction of RC Structures with Viscous Dampers Subjected to Earthquakes. *13th WCEE VANCOUVER*
- Hosseini M., Vaseghinia M.A. (2008).** New Insight to The Earthquake Input Energy and Its Variatoin with Building's Dynamical Characteristics. *14th WCEE BEIJING*
- Housner G.W. (1952).** Spectrum intensity of strong motion earthquakes. *Proceedings of the Symposium on Earthquakes and Blast Effects on Structures*, Earthquake Engineering Research Institute, California: 20–36
- Housner G.W. (1956).** Limit design of structures to resist earthquakes, *Proc. of the 1st World Conference on Earthquake Engineering*, California, USA, 5, pp. 5-1 to 5-13.
- Kanno H., Nishida T., Kobayashi J. (2012).** Estimation Method of Seismic Response Based on Momentary Input Energy Considering Hysteresis Shapes of a Building Structure. *15th WCEE LISBOA*
- Kazantzi A.K., Vamvatsikos D. (2012).** A Study on The Correlation Between Dissipated Hysteretic Energy and Seismic Performance *15th WCEE LISBOA*
- Khashae P., Mohraz B., Sadek F., Lew H. S., Gross J. L. (2003).** Distribution of Earthquake Input Energy in Structures. NISTIR 6903
- Kunnath S. K., Hu Q. (2004),** Evaluation of Cylic Demand in Ductile RC Structures. *13th WCEE Vancouver, B. C., Canada, Paper No. 209*
- Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R. (1988).** Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Division (ASCE)*, 114(8), 1804-1826.
- Manfredi G. (2001),** Evaluation of Seismic Energy Demand. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics Vol. 30*, pp 485-499
- McKevitt W. E., Anderson D.L., Cherry S. (1980).** Hysteretic energy spectra in seismic design. *Proc. of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 7*, pp. 487-494.
- NCSE-94 (1994),** *Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación*, Ministerio de Fomento, Spain, 1994.
- NEES Network for Earthquake Engineering Simulation.**
<https://nees.org/warehouse/project/1005>
- NSR-98 (1998).** *Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente*, 1998

- Okur A. and Erberik M.A.** (2012). Adaptation of Energy Principles in Seismic Design of Turkish RC Frame Structures. Part I: Input Energy Spectrum. *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*, LISBOA, Portugal, 24-28 September.
- Okur A. and Erberik M.A.** (2014). Adaptation of Energy Principles in Seismic Design of Turkish RC Frame Structures. Part II: Distribution of Hysteretic Energy. *Second European Conference On Earthquake Engineering and Seismology*, İstanbul, 25-25 August
- PEER NGAWEST2.** <http://ngawest2.berkeley.edu/site>
- PEER Report 2010/111** (2010). *PEER/ATC-72-1, Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings*. Pacific Earthquake Engineering Research Center, Applied Technology Council
- PEER Report 2011/104** (2011). *Design and Instrumentation of the 2010 E-Defense Four-Story Reinforced Concrete and Post-Tensioned Concrete Buildings*. Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering, University of California, Berkeley
- Rahnama M. and Manuel L.** (1996). The effect of strong motion duration on seismic demands. *Proc. of the 11th World Conference on Earthquake Engineering*, Mexico, paper No. 924.
- Sucuoglu H., Erberik M.A., Acun B.** (2012). Inelastic Displacement Response of RC Systems with Cyclic Deterioration-An Energy Approach. *Journal of Structural Engineering*, Vol.16/7, pp 937-962
- Sutcu F., Inoue N., Hori N.** (2006). Energy-Based Damper Design of a Structure with a Displacement Controlled Soft-story. *8th National Conference on Earthquake Engineering*, San Francisco USA paper No. 260.
- ATC 3-06 (NBS SP-510)** (1978). *Tentative Provisions for the Development of Building*. Applied Technology Council(ATC), Redwood City, California, USA
- Trifunac M.D. and Brady A.G.** (1975). A study on the duration of strong Earthquake ground motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 65, pp.581-626.
- Tuna Z.** (2009). *Quantification of Seismic Performance Levels of Tall Buildings* (MSc dissertation). University of California, Los Angeles
- Tuna Z.** (2012). *Seismic Performance, Modeling, and Failure Assessment of Reinforced Concrete Shear Wall Buildings* (PhD dissertation). University of California, Los Angeles
- USGS, The United States Geological Survey.** <https://www.usgs.gov/>
- Xuwei C., Xiaolei H., Fana L., Shuang W.** (2011). Fiber Element Based Elastic-Plastic Analysis Procedure and Engineering Application. *Procedia Engineering* 14, 1807–1815
- Yamaguchi H., El-Abd A.** (2003). Effect of Earthquake Energy Input Characteristics on Hysteretic Damper Efficiency. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* Vol.32, pp 827-843
- Ye L., Otani S.** (1999). Maximum Seismic Displacement of Inelastic Systems Based on Energy Concept. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol.28, pp 1483-1499

Zahrah T.F. and Hall W.J. (1984). Earthquake energy absorption in SDOF structures. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 110(8), pp. 1757-1772.

EKLER

EK A: Yer hareketlerinin karakteristik özellikleri ve grafikleri.

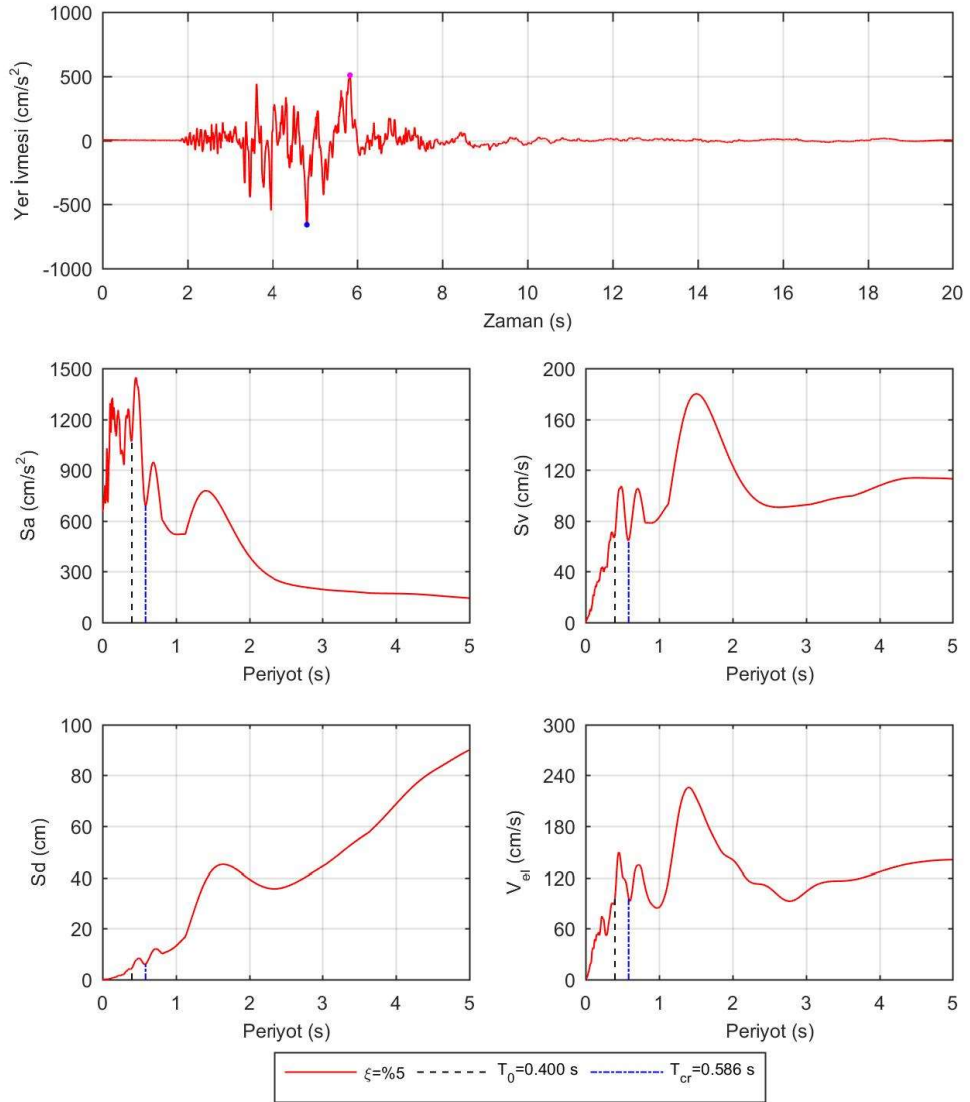
EK B: Enerji yüzdesi-zaman grafikleri.

EK A

Çizelge A. 1: 2011 Christchurch PRPC yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
656.99	96.65	3.12	170.78	3.12	20.00	1.98	206.00

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
1082.11	68.89	6.01	95.55	690.98	64.44	6.01	96.17

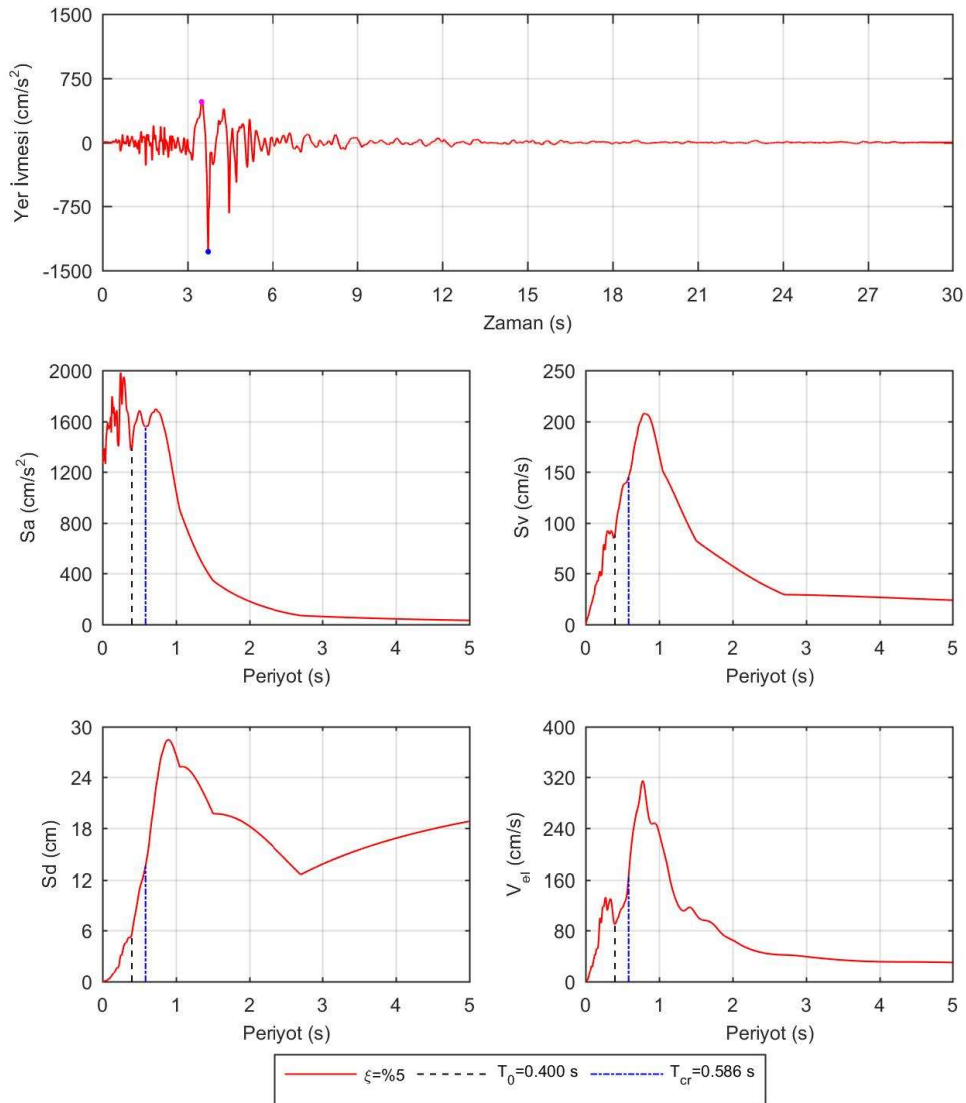


Şekil A. 1: Christchurch PRPC W yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 2: 1984 Morgan Hill CYC yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s^2)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
1278.16	78.50	3.86	175.90	3.20	29.99	0.53	561.43

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s^2)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s^2)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
1388.85	88.42	5.62	89.75	1559.1	145.40	13.56	164.70

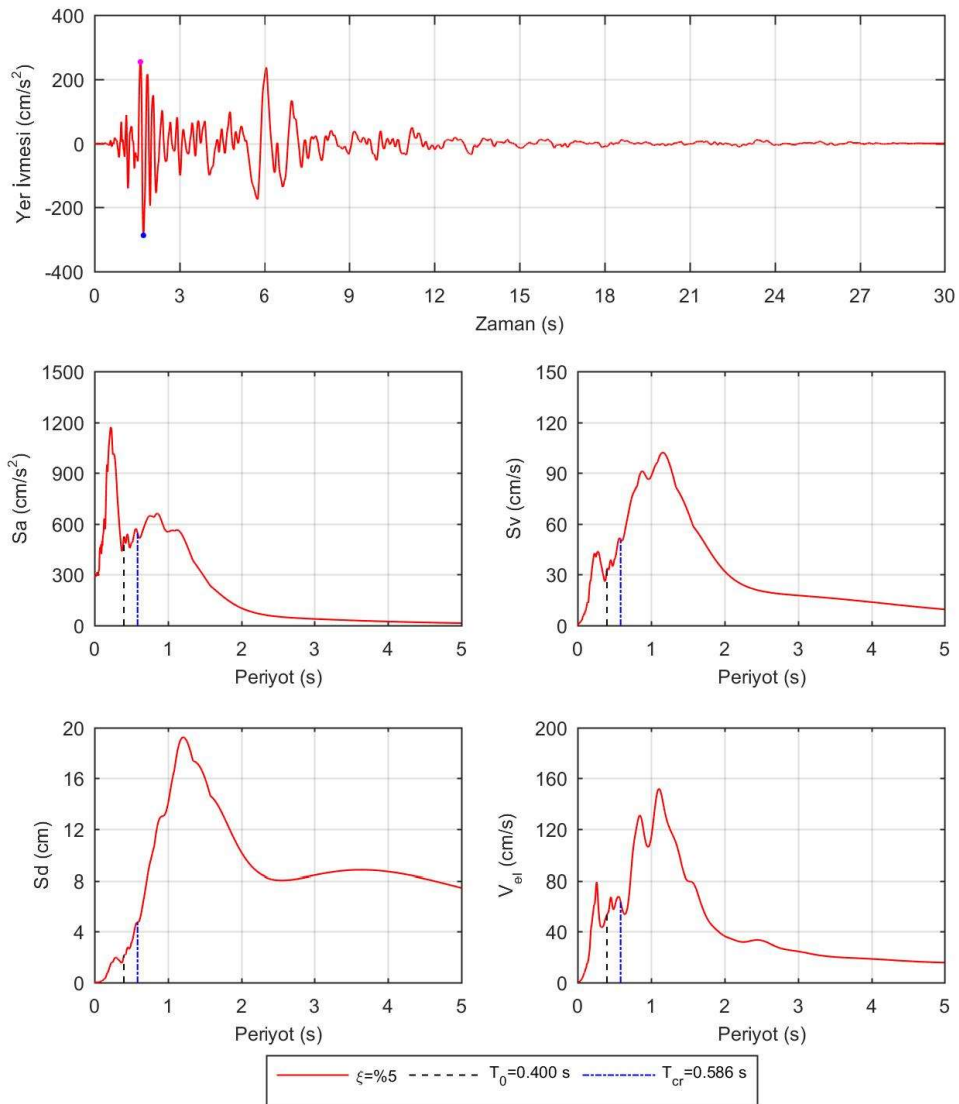


Şekil A. 2: Morgan Hill CYC 285° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 3: 1984 Morgan Hill G060 yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
286.70	36.50	0.87	82.63	6.47	29.99	9.87	663.31

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
522.50	33.26	2.11	53.25	545.00	50.83	4.74	63.70

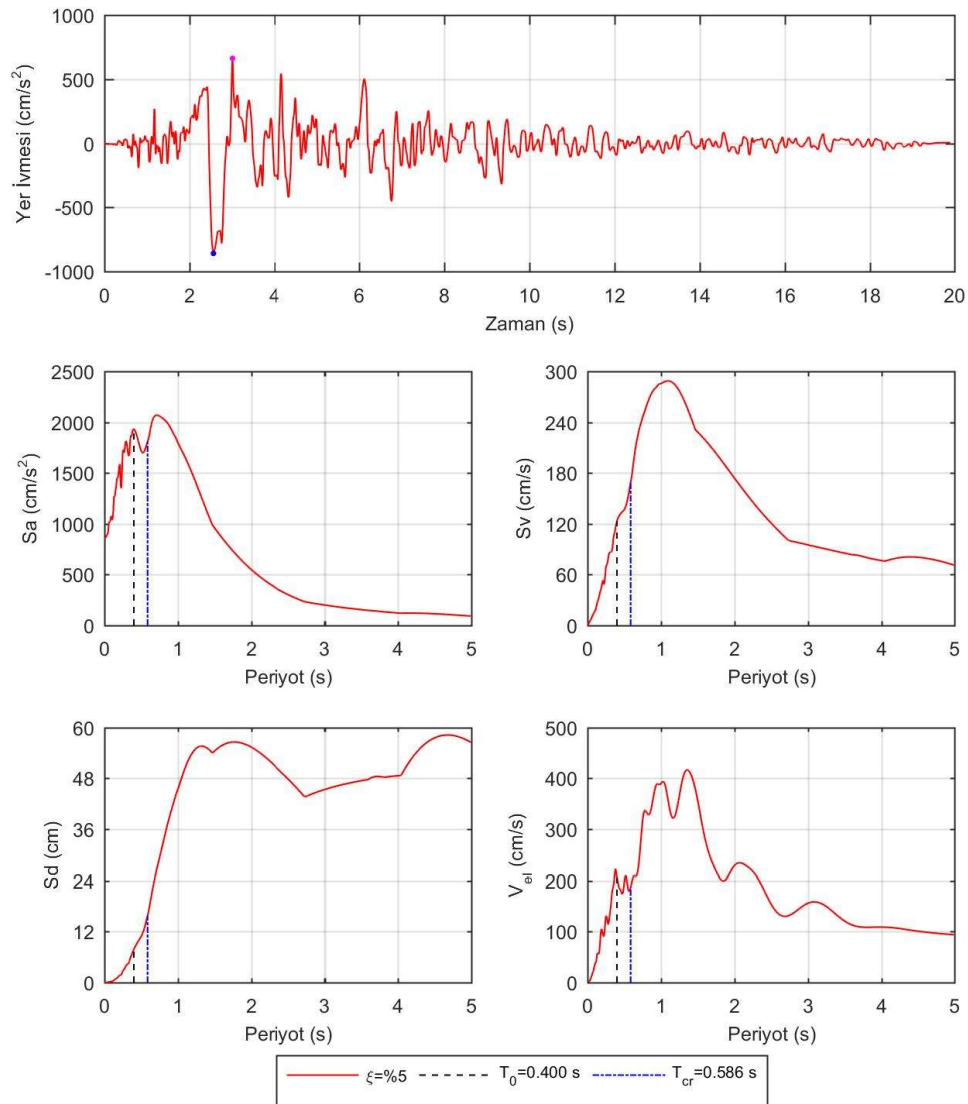


Şekil A. 3: Morgan Hill G060 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 4: 1994 Northridge RRS yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
857.40	148.20	7.52	269.80	7.22	19.90	6.50	282.25

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
1933.99	123.12	7.84	205.60	1810.8	168.90	15.75	186.40

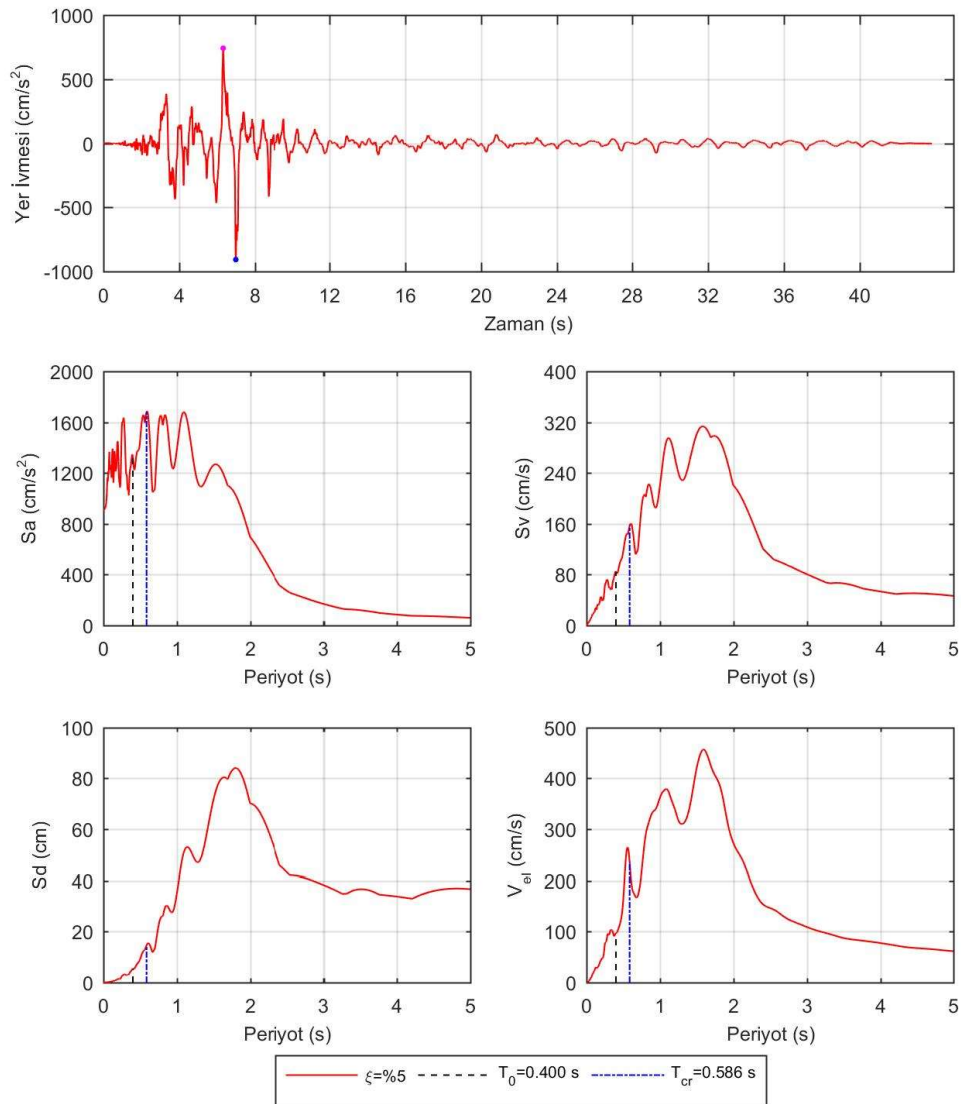


Şekil A. 4: Northridge RRS 228° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 5: 1994 Northridge SCS yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
905.90	88.53	5.47	246.40	7.54	43.86	5.35	251.24

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
1325.98	84.41	5.37	97.36	1682.3	156.90	14.64	235.50

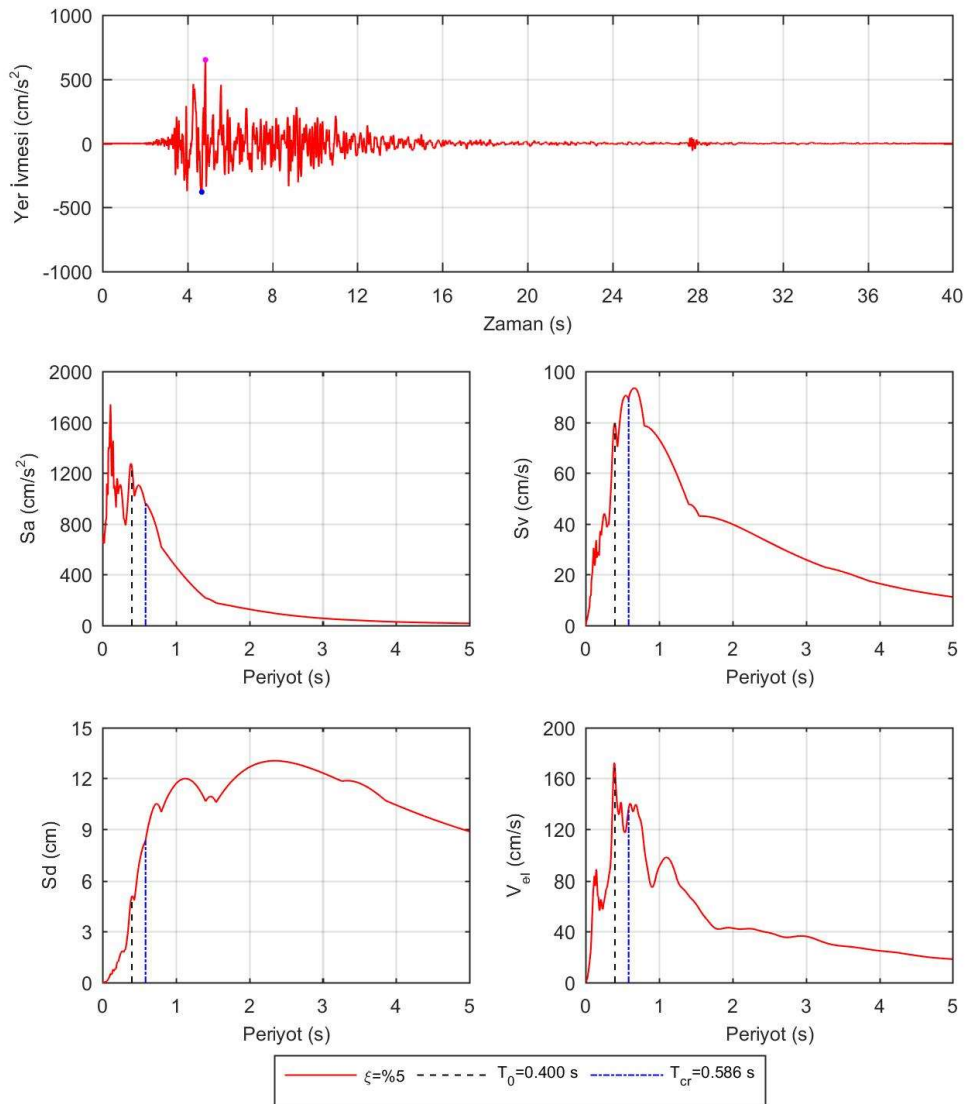


Şekil A. 5: Northridge SCS 142° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 6: 2009 L'Aquila GX066XT yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
651.43	40.50	2.84	102.48	7.56	40.00	6.27	475.00

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
1252.07	79.71	5.08	168.15	959.92	89.49	8.35	136.14

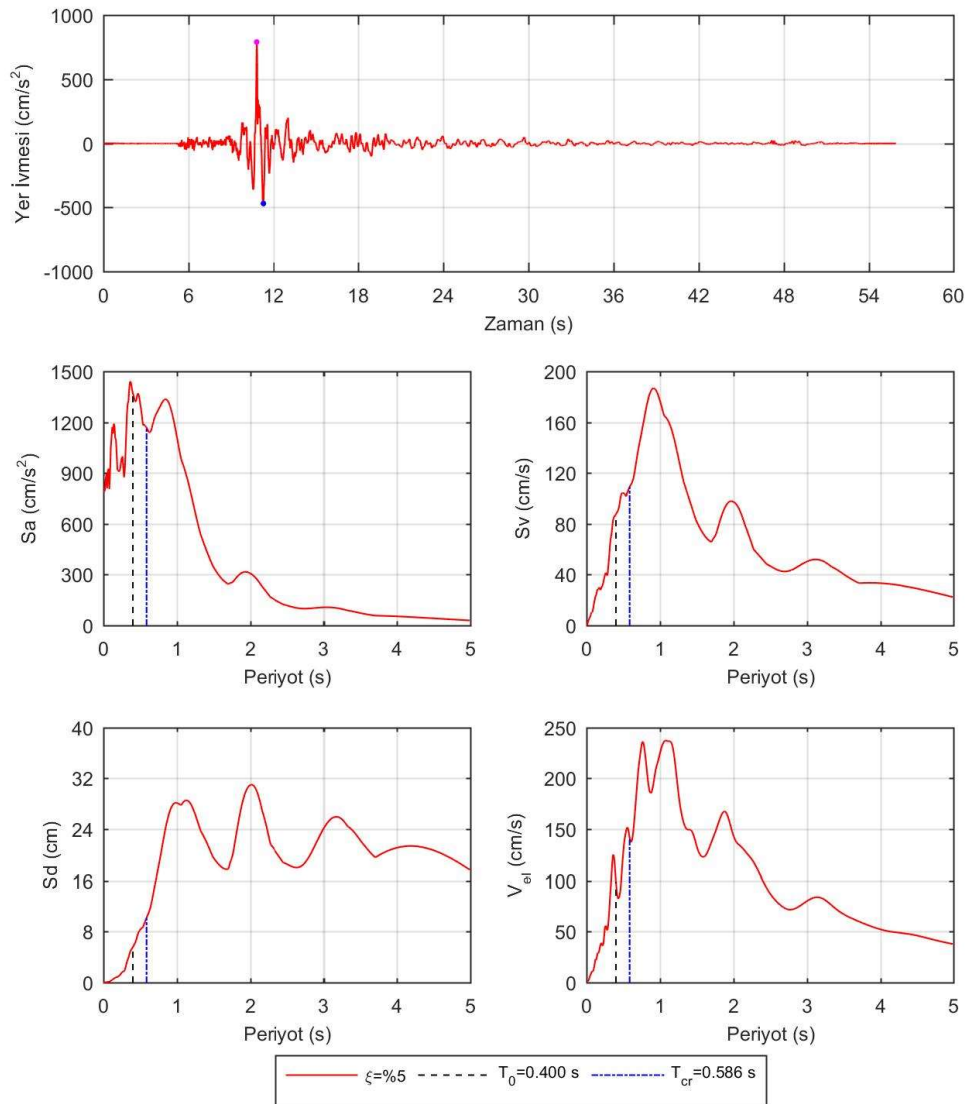


Şekil A. 6: L'Aquila GX066XT E yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 7: 1999 Düzce Bolu yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
790.37	65.93	2.43	154.34	9.02	55.89	12.04	293.57

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
1373.03	87.41	5.56	98.57	1168.9	109.00	10.17	141.68

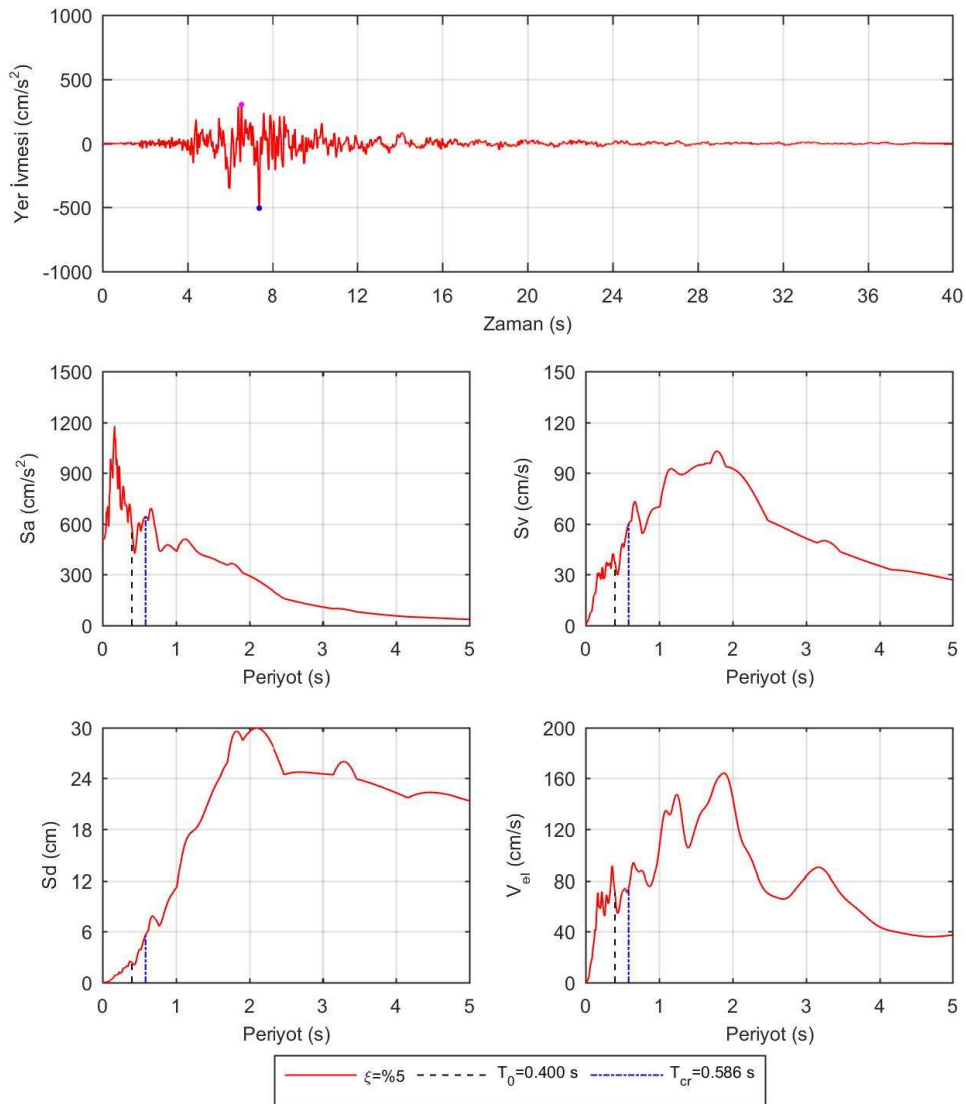


Şekil A. 7: Düzce Bolu 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 8: 1989 Loma Prieta STG yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
504.68	41.60	1.46	106.20	9.37	39.99	8.50	380.89

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
584.80	37.23	2.37	70.70	642.15	59.89	5.59	74.15

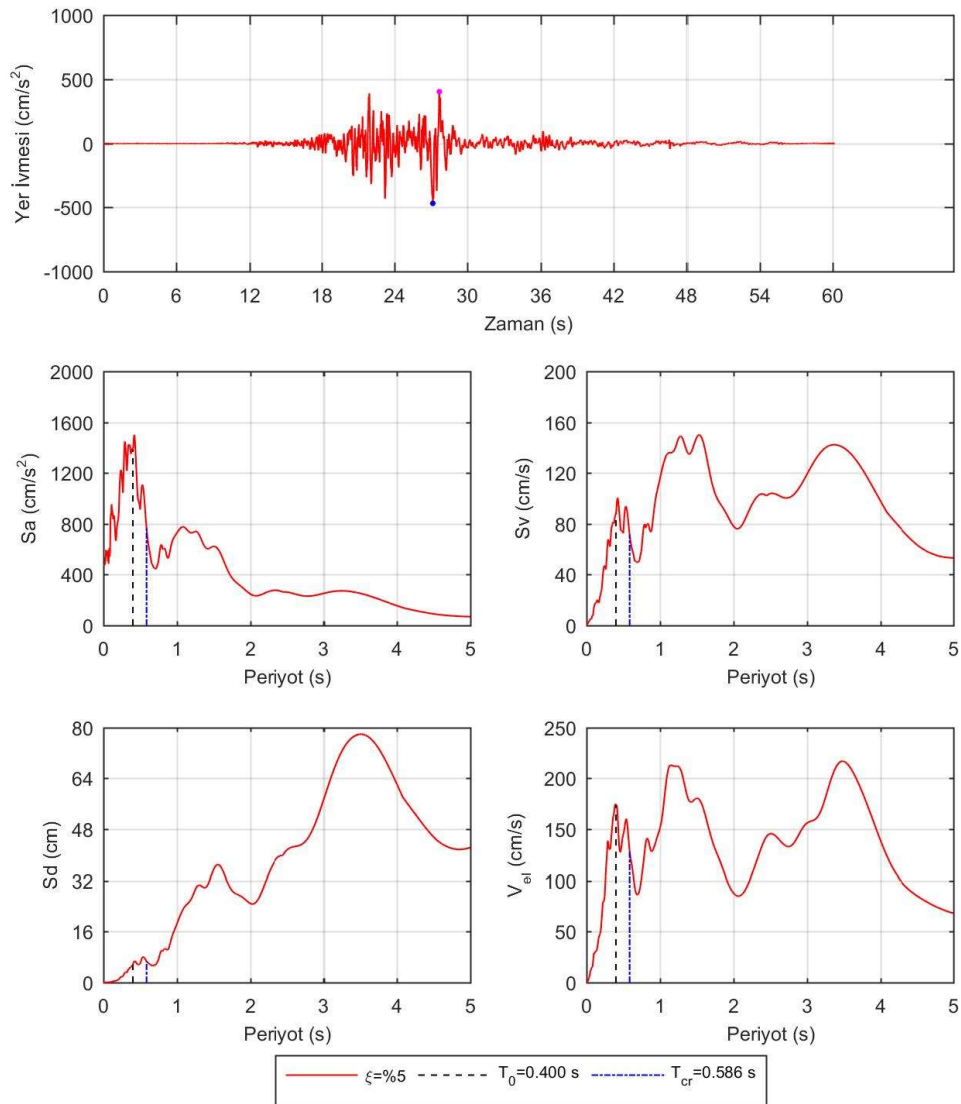


Şekil A. 8: Loma Prieta STG 0° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 9: 2010 Darfield HORE yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
467.50	69.66	3.07	157.65	9.53	60.175	7.29	326.01

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
1382.54	88.01	5.60	173.95	766.70	71.50	6.67	128.50

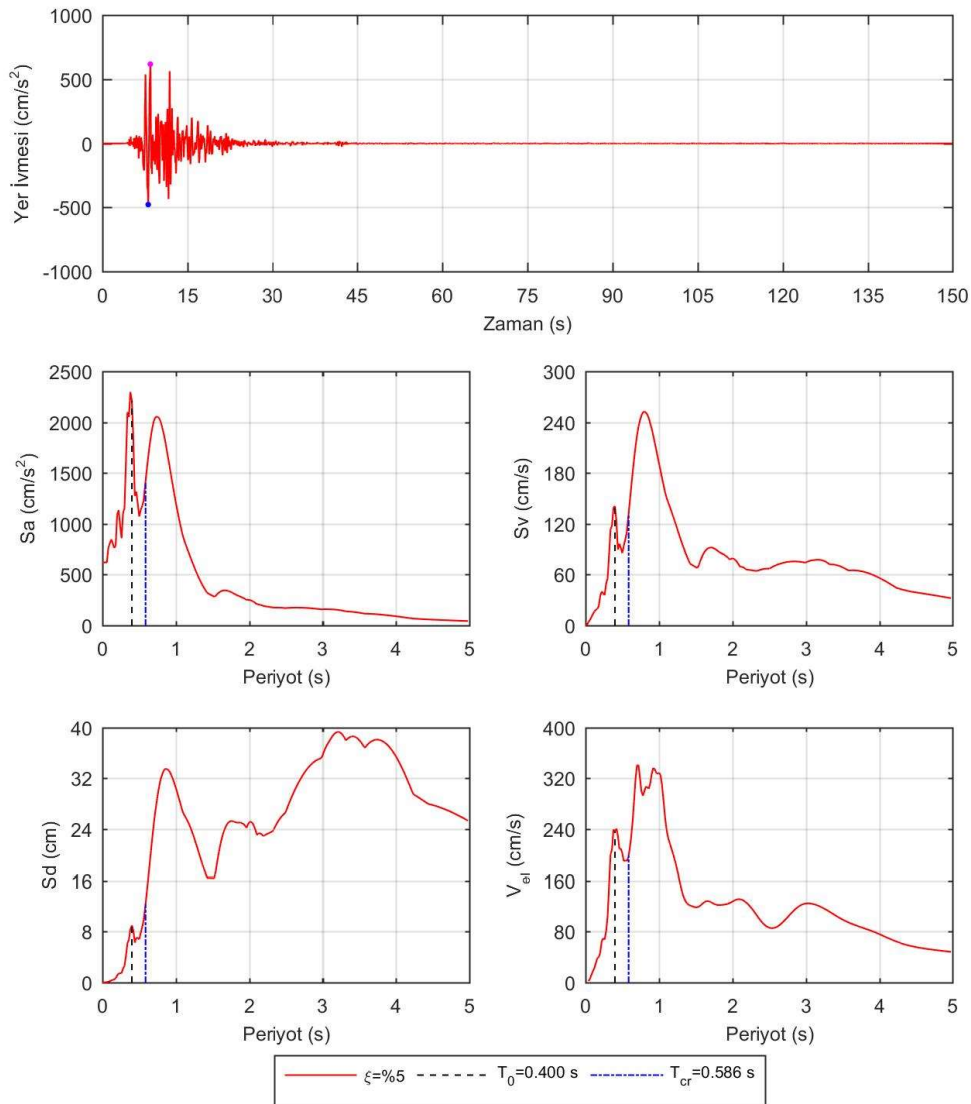


Şekil A. 9: Darfield HORE S72E yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 10: 1995 Kobe JMA 90° yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
617.70	76.14	5.43	179.90	9.54	149.98	0.96	312.00

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
2213.86	140.94	8.97	236.09	1417.1	132.26	12.35	198.70

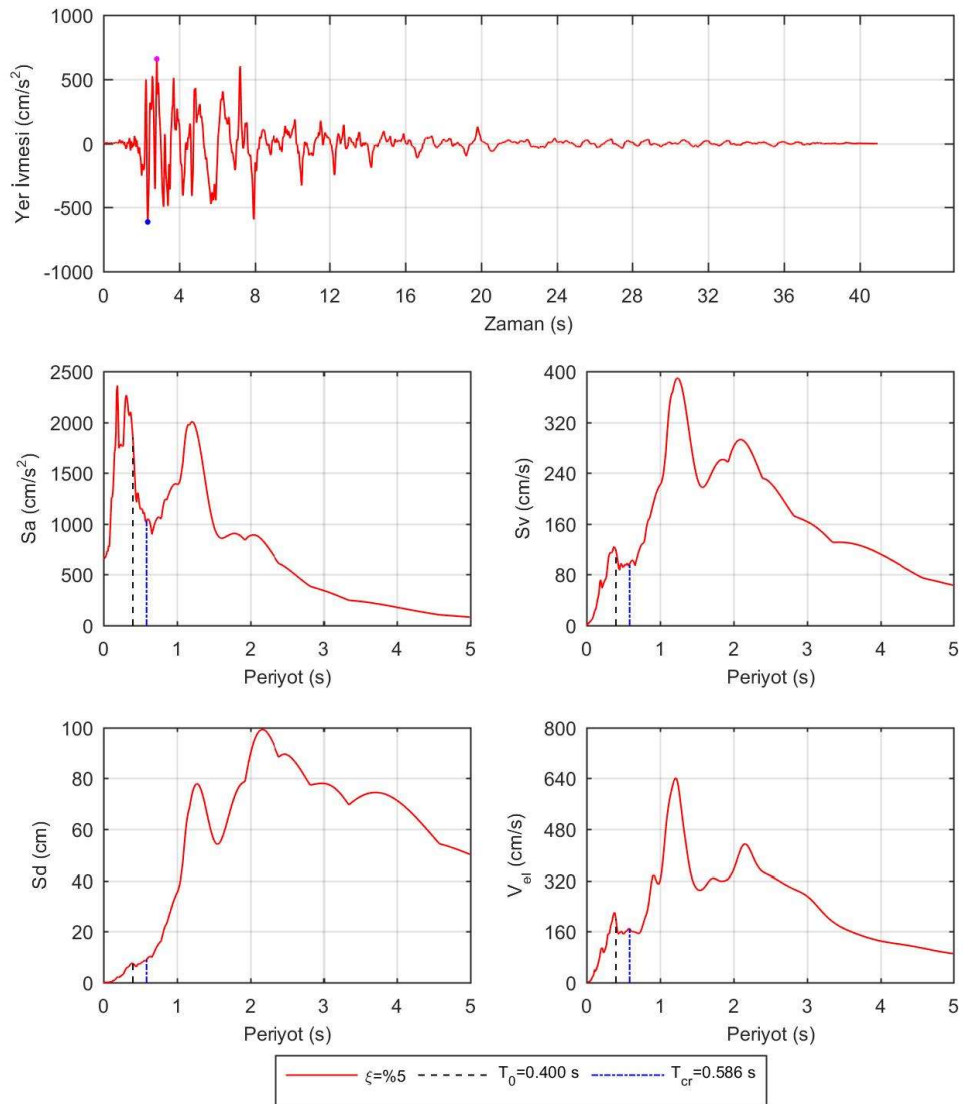


Şekil A. 10: Kobe JMA 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 11: 1995 Kobe TAK 90° yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
658.30	123.00	8.13	284.60	9.94	40.95	1.47	256.00

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
1848.42	117.67	7.49	199.40	1030.0	96.08	8.96	168.70

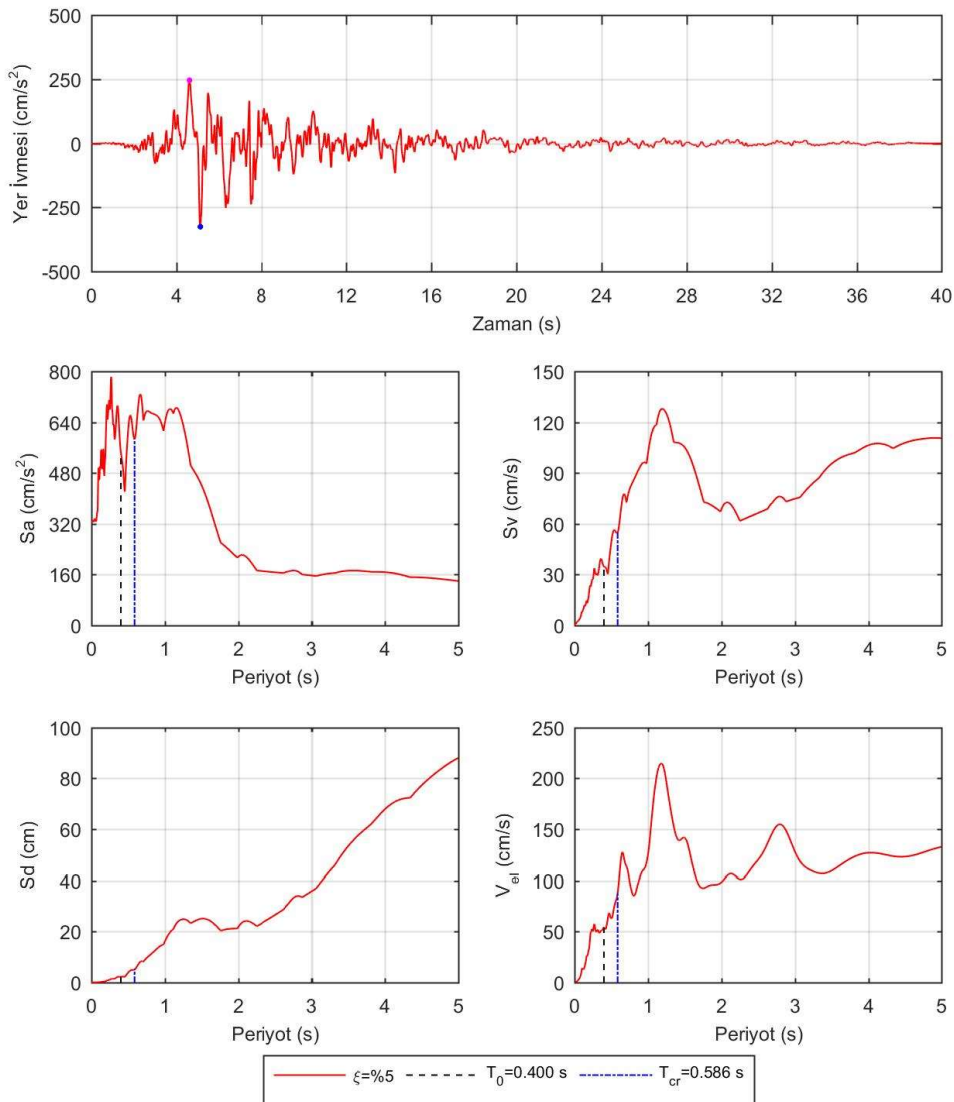


Şekil A. 11: Kobe TAK 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 12: 1989 Loma Prieta WVC yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s^2)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
324.94	94.92	1.25	123.00	10.69	39.985	9.31	347.90

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s^2)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s^2)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
544.22	34.65	2.20	54.20	587.16	54.76	5.10	87.83

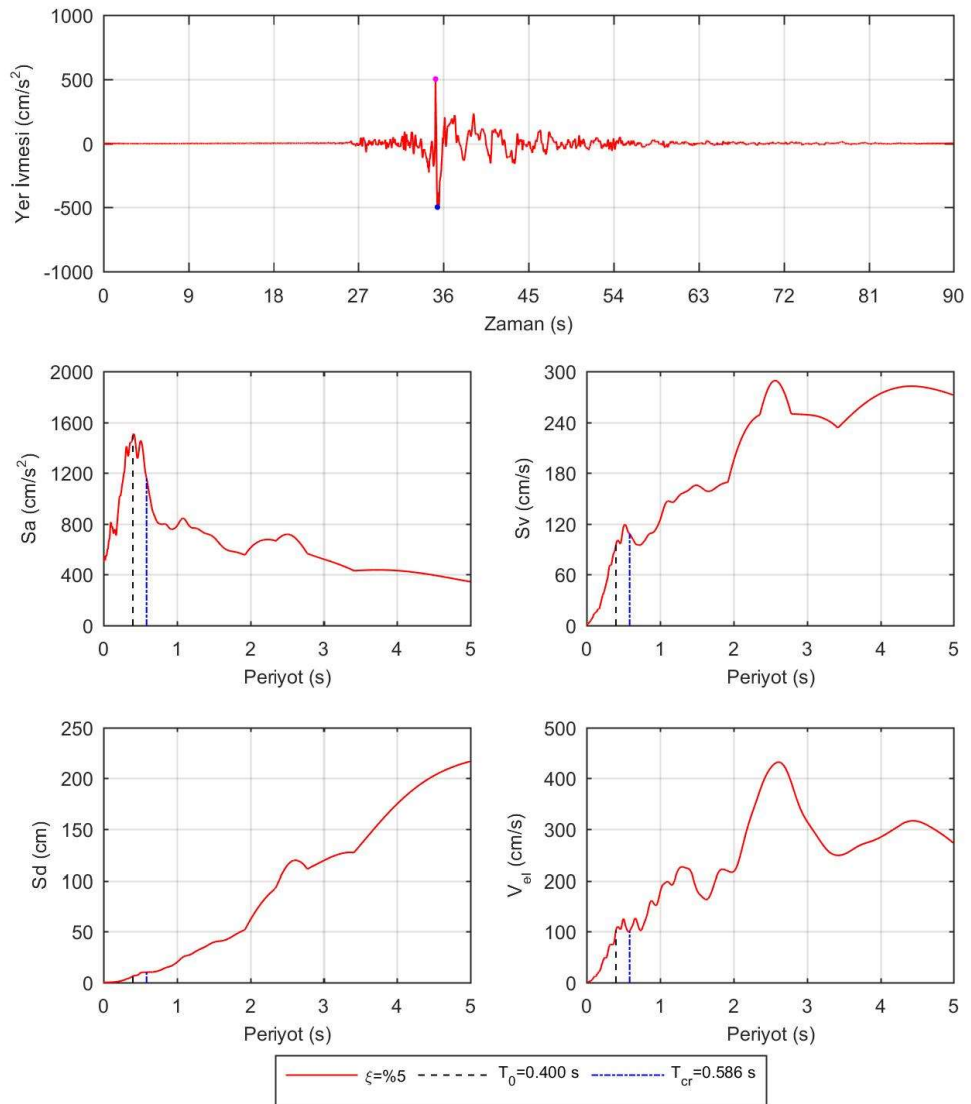


Şekil A. 12: Loma Prieta WVC 270° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 13: 1999 ChiChi TCU068 yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
501.96	249.60	3.30	252.83	12.38	89.995	0.32	487.34

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
1495.54	95.21	6.06	102.79	1158.9	108.10	10.08	100.90

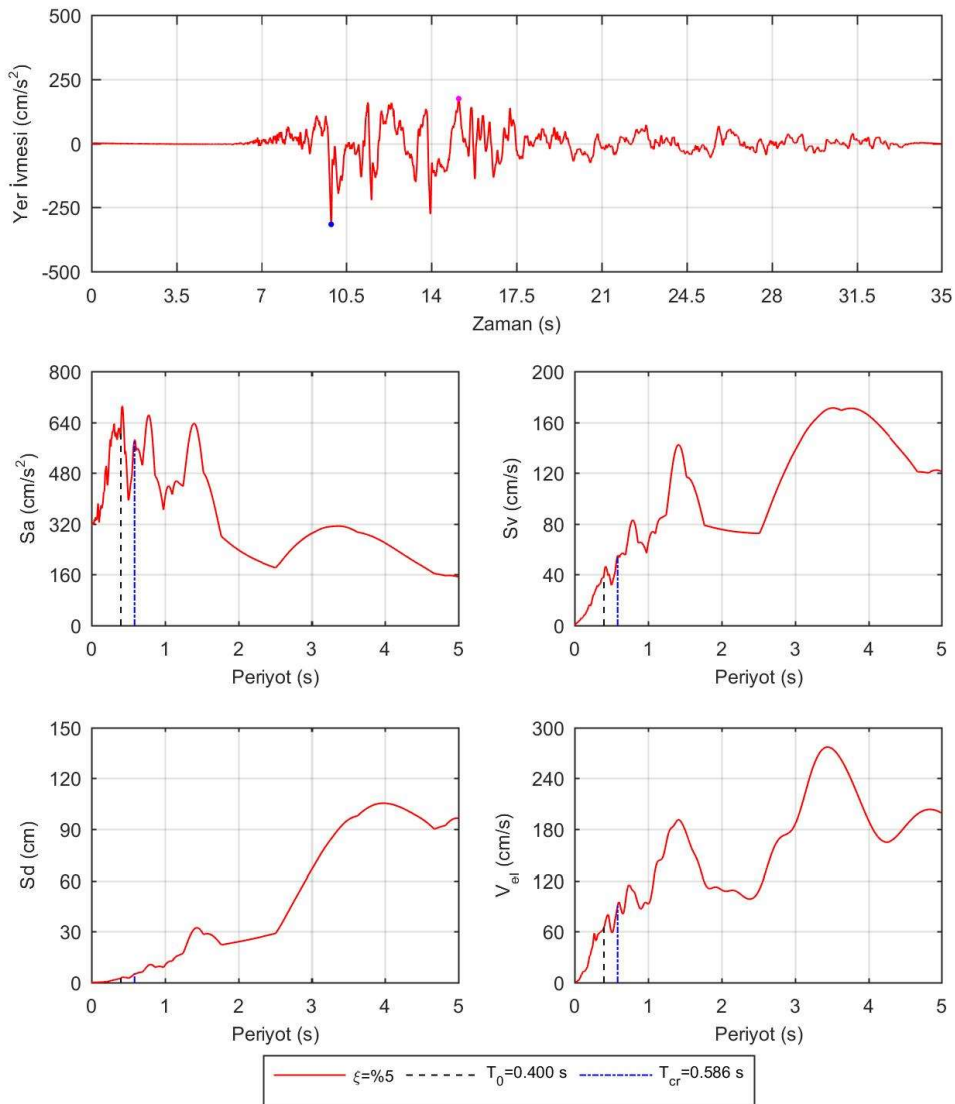


Şekil A. 13: ChiChi TCU068 E yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 14: 1999 Kocaeli YPT yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
315.70	71.90	1.32	131.24	15.08	34.995	4.83	297.00

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
612.88	39.02	2.49	65.02	584.60	54.52	5.09	90.60

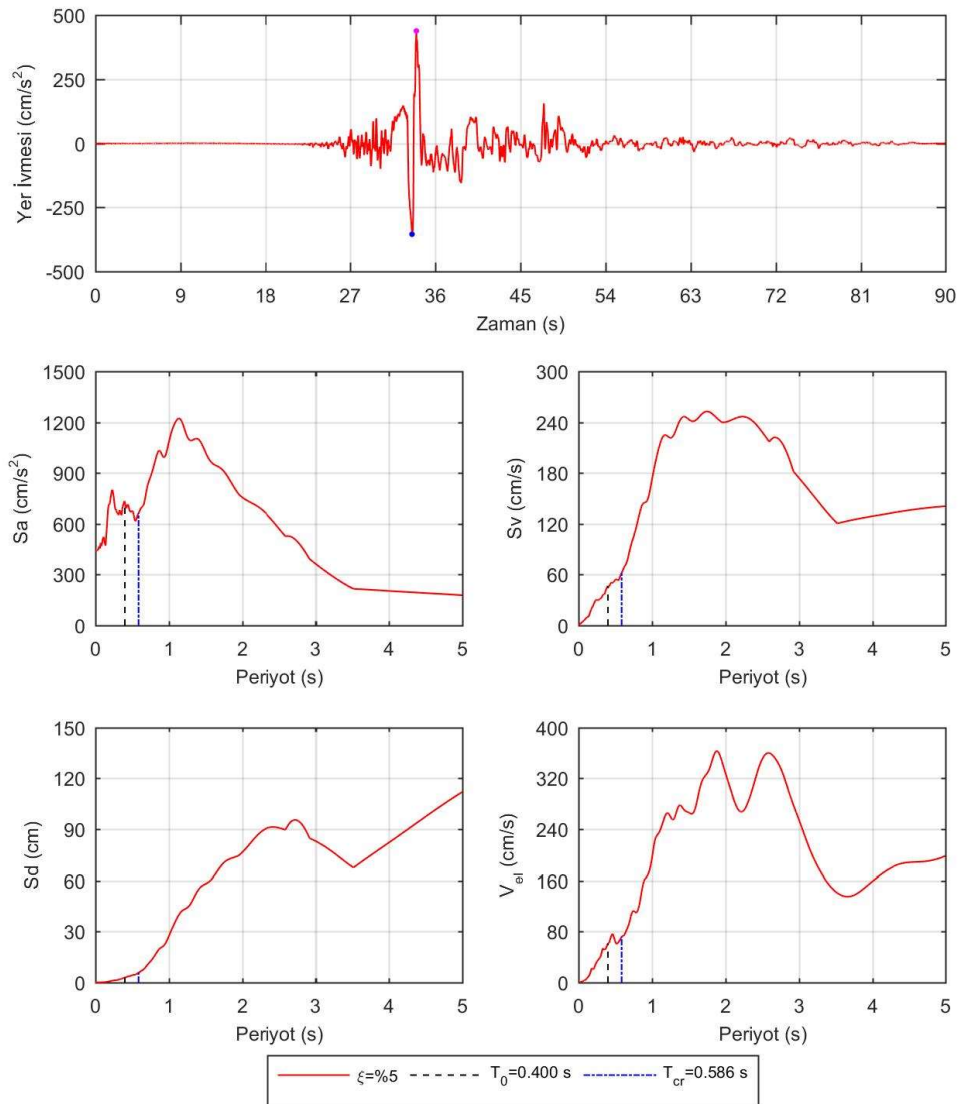


Şekil A. 14: Kocaeli YPT 150° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 15: 1999 ChiChi TCU052 yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
438.40	172.40	2.92	221.70	15.96	89.995	0.66	579.10

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
726.83	46.27	2.95	61.45	662.50	61.80	5.76	71.70

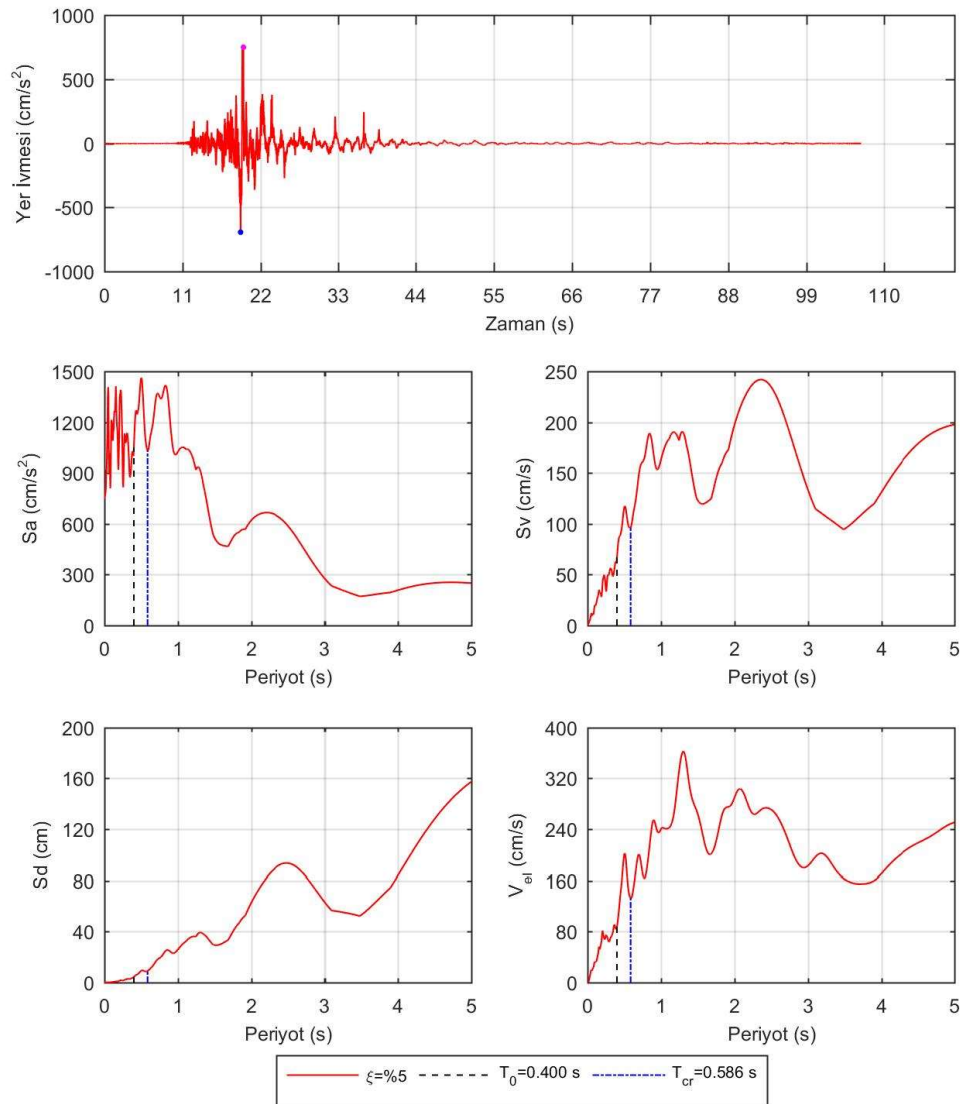


Şekil A. 15: ChiChi TCU052 N yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 16: 2010 Darfield GDLCN55 yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
749.97	116.12	4.50	228.85	16.00	106.735	1.22	344.02

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
1050.81	66.89	4.26	87.87	1032.1	96.26	8.98	132.57

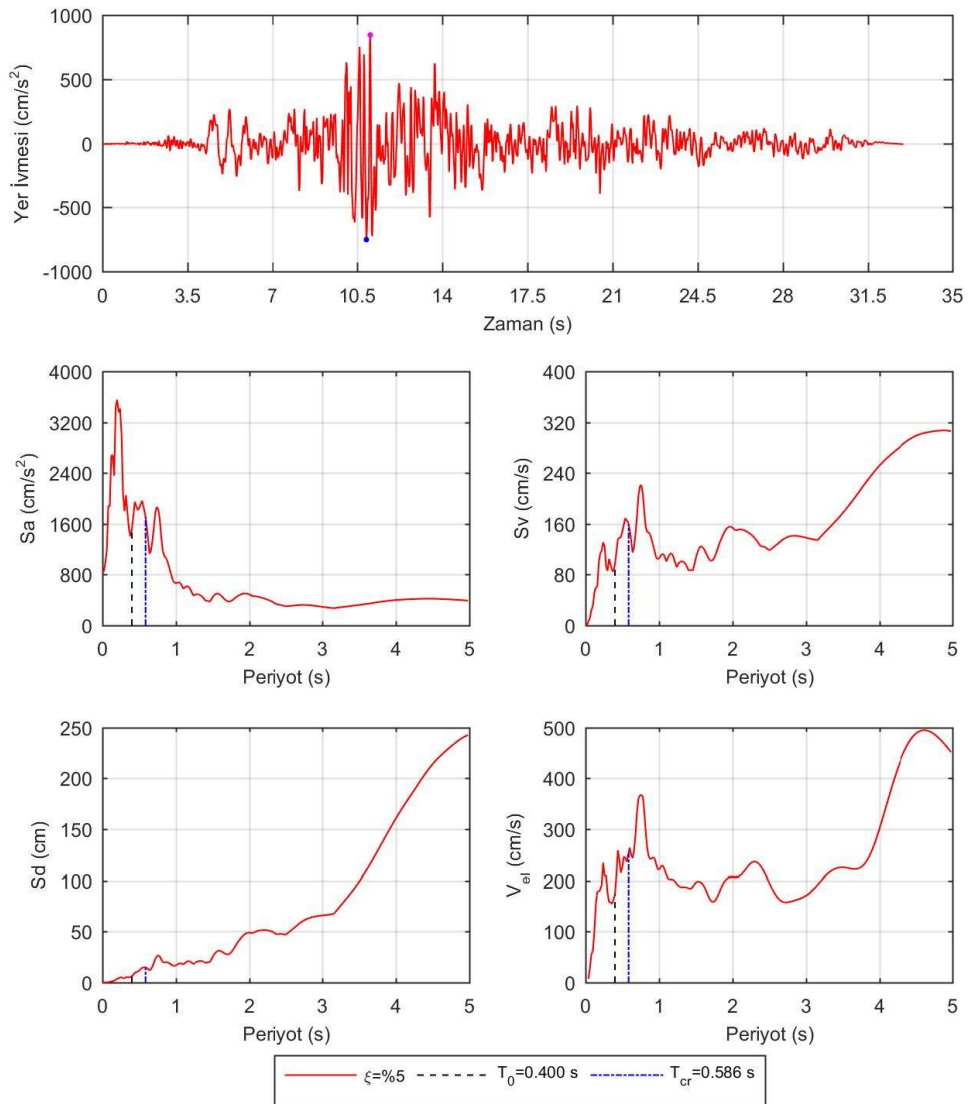


Şekil A. 16: Darfield GDLCN55 W yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 17: 1971 Tabas T1 yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
845.39	123.59	11.80	262.79	16.35	32.98	2.05	766.77

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
1509.03	96.07	6.11	172.85	1704.9	158.90	14.81	253.38

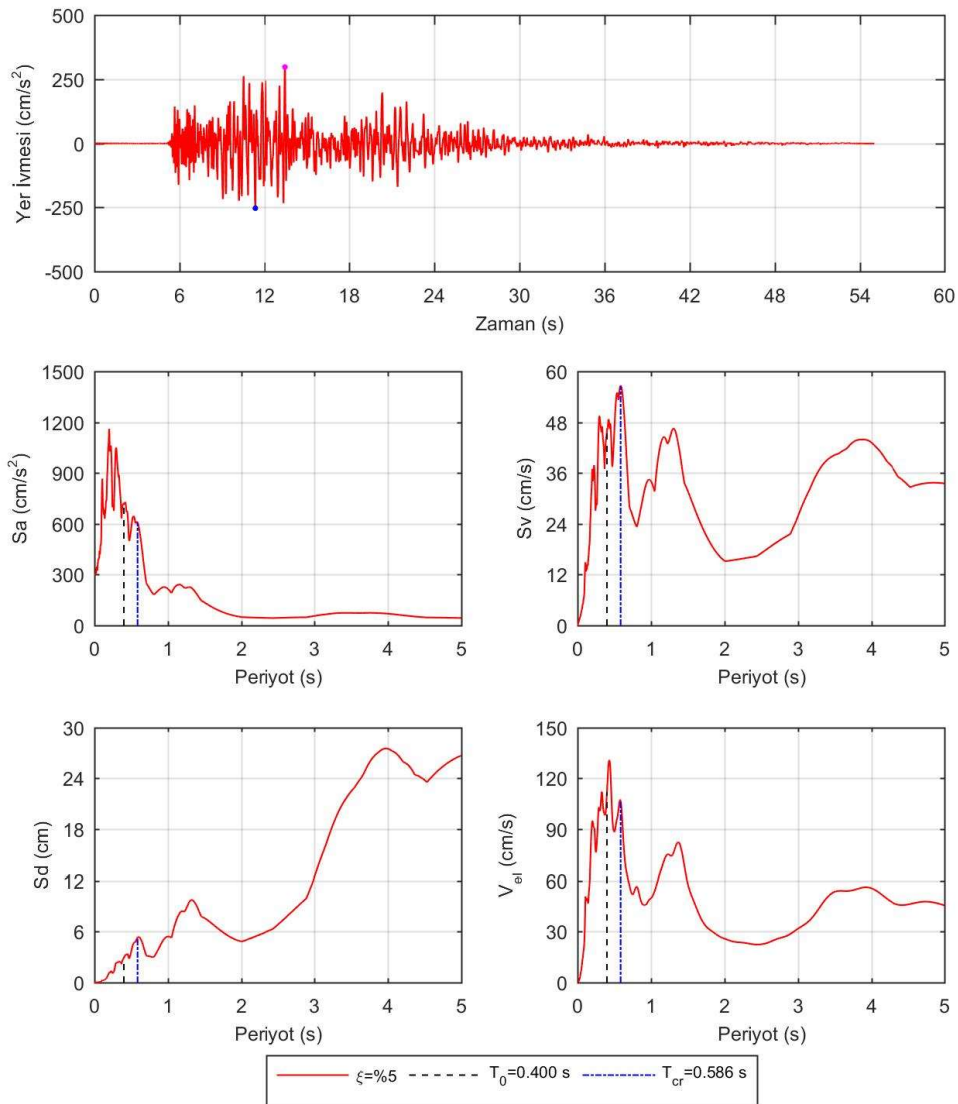


Şekil A. 17: Tabas T1 T yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 18: 1999 Düzce IRIGM yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
297.60	38.95	1.86	66.48	17.56	55.00	2.65	690.00

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
723.39	46.05	2.93	111.81	607.70	56.70	5.28	106.70

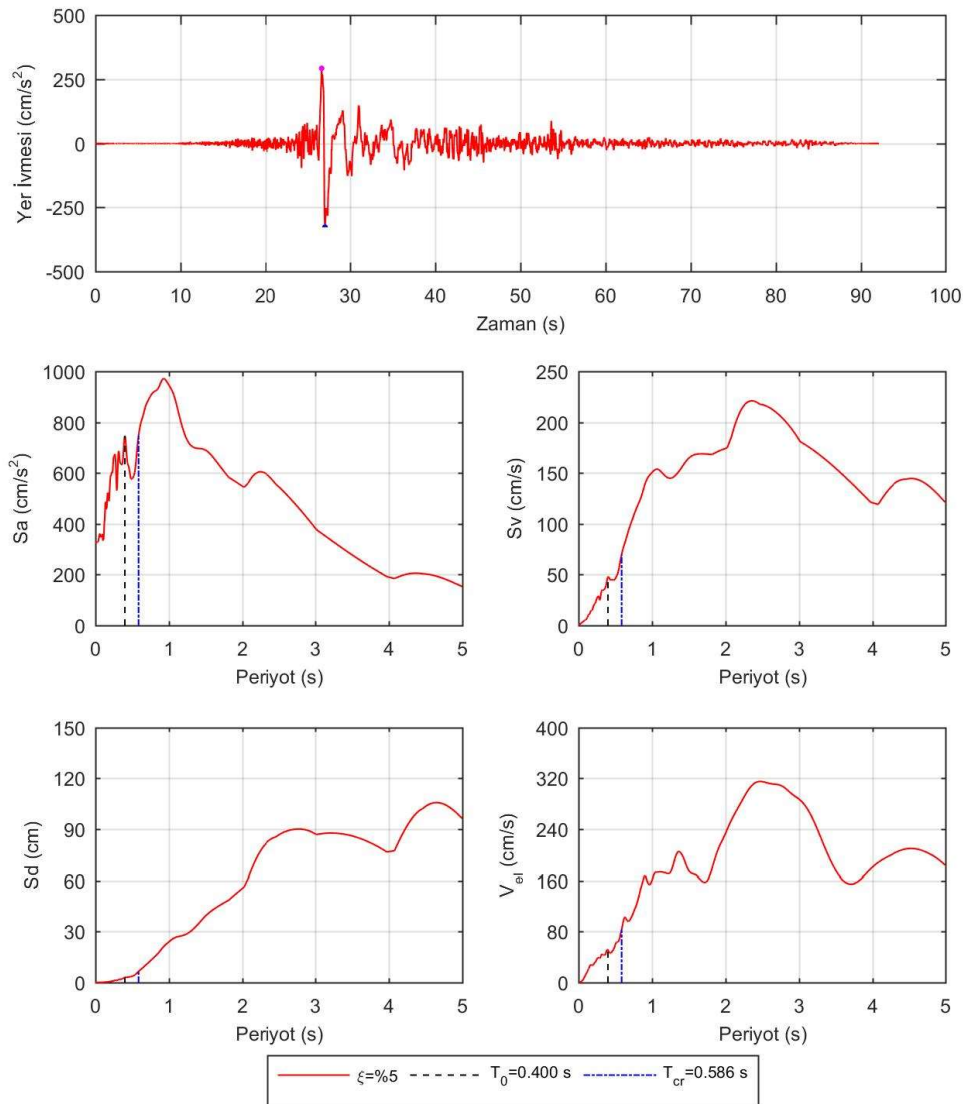


Şekil A. 18: Düzce IRIGM 487 NS yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 19: 2002 Denali Alaska PS10 yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
326.28	115.73	1.89	190.89	22.33	92.09	2.74	329.20

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
747.20	47.57	3.03	51.32	747.34	69.70	6.50	83.31

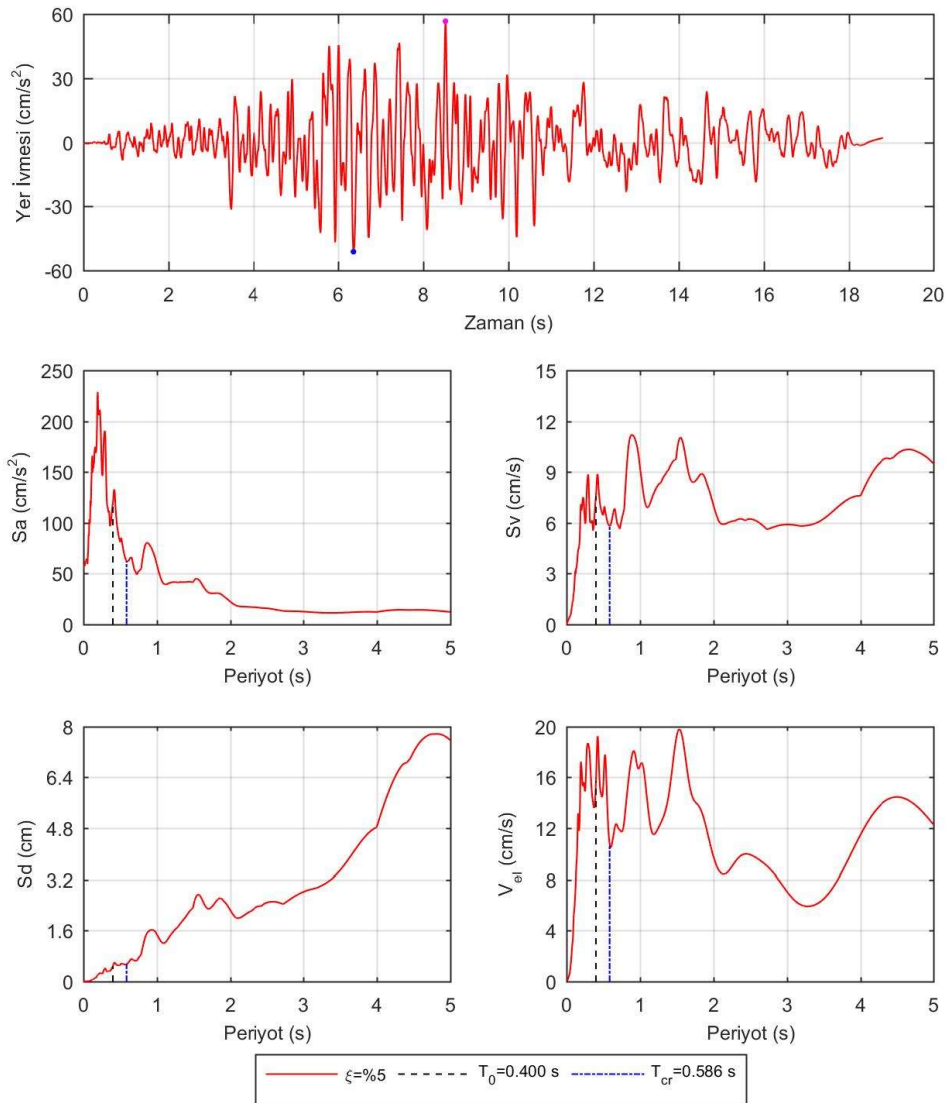


Şekil A. 19: Denali Alaska RS10 47° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 20: 1999 Imperial Valley PLS yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
56.65	5.86	0.05	14.11	10.81	18.815	30.33	316.64

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
118.97	7.57	0.48	15.70	62.20	5.80	0.54	10.75

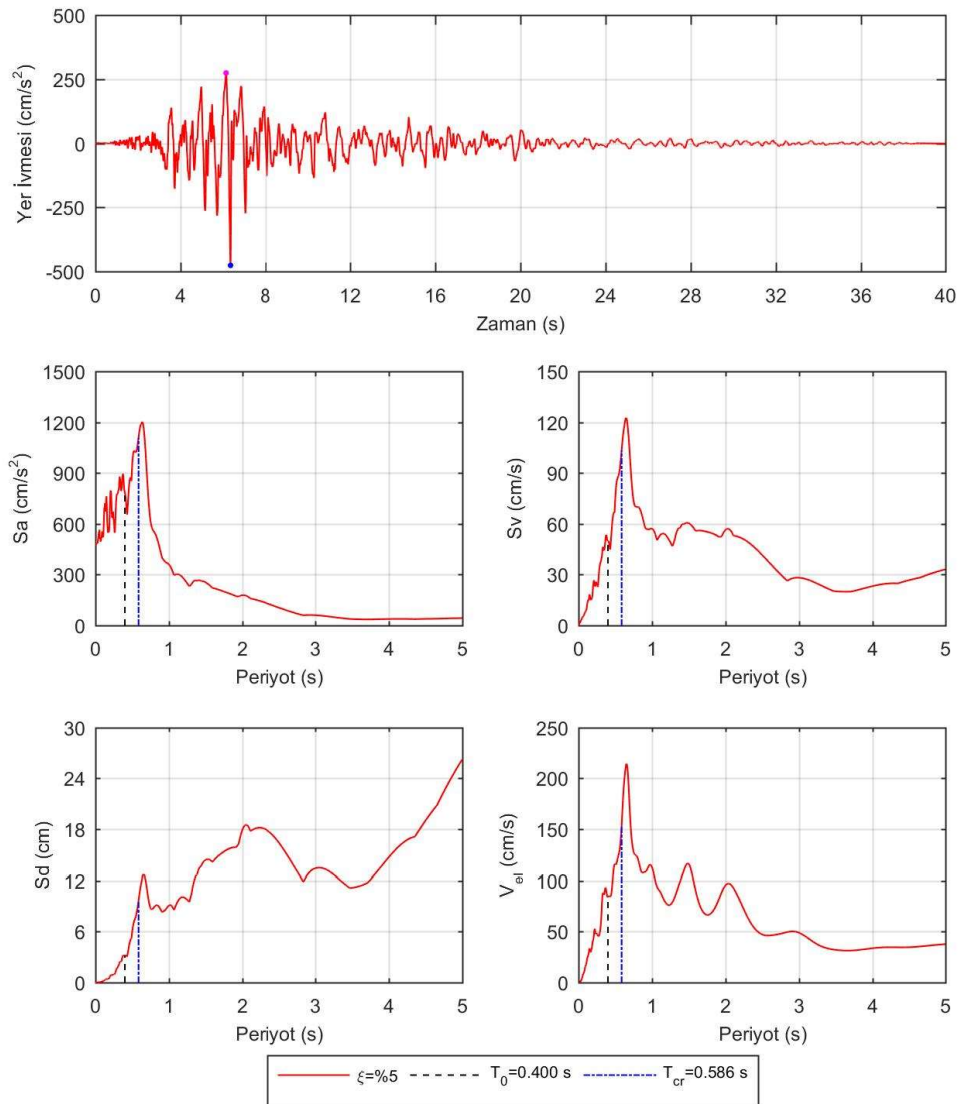


Şekil A. 20: Imperial Valley PLS135° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 21: 1989 Loma Prieta CYC yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
475.50	40.57	1.50	91.14	12.24	39.99	20.34	561.43

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
784.95	49.97	3.18	83.87	1110.1	103.53	9.66	153.66

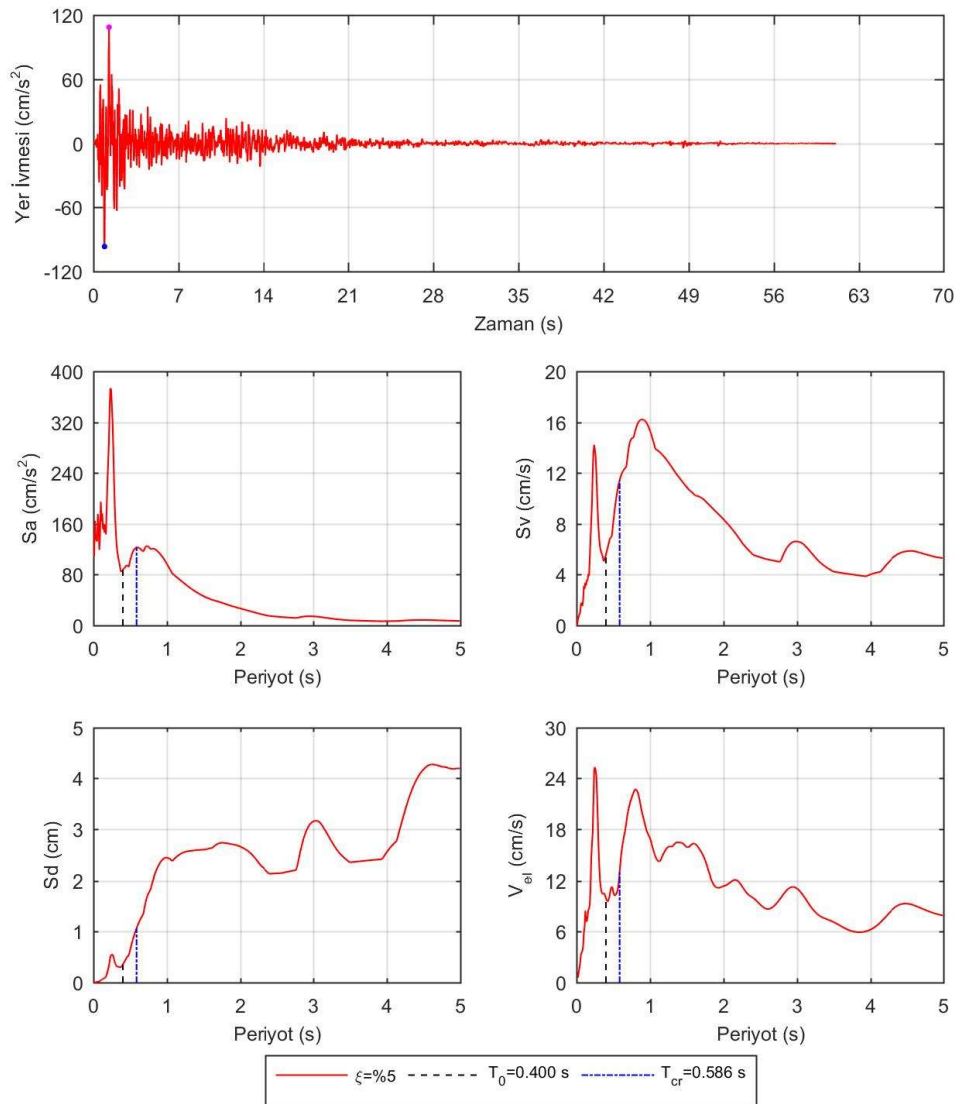


Şekil A. 21: Loma Prieta CYC 285° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 22: 1971 San Fernando FTR yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
108.70	8.60	0.06	17.75	12.99	61.11	30.19	634.33

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
87.30	5.56	0.35	9.92	122.50	11.43	1.07	12.95

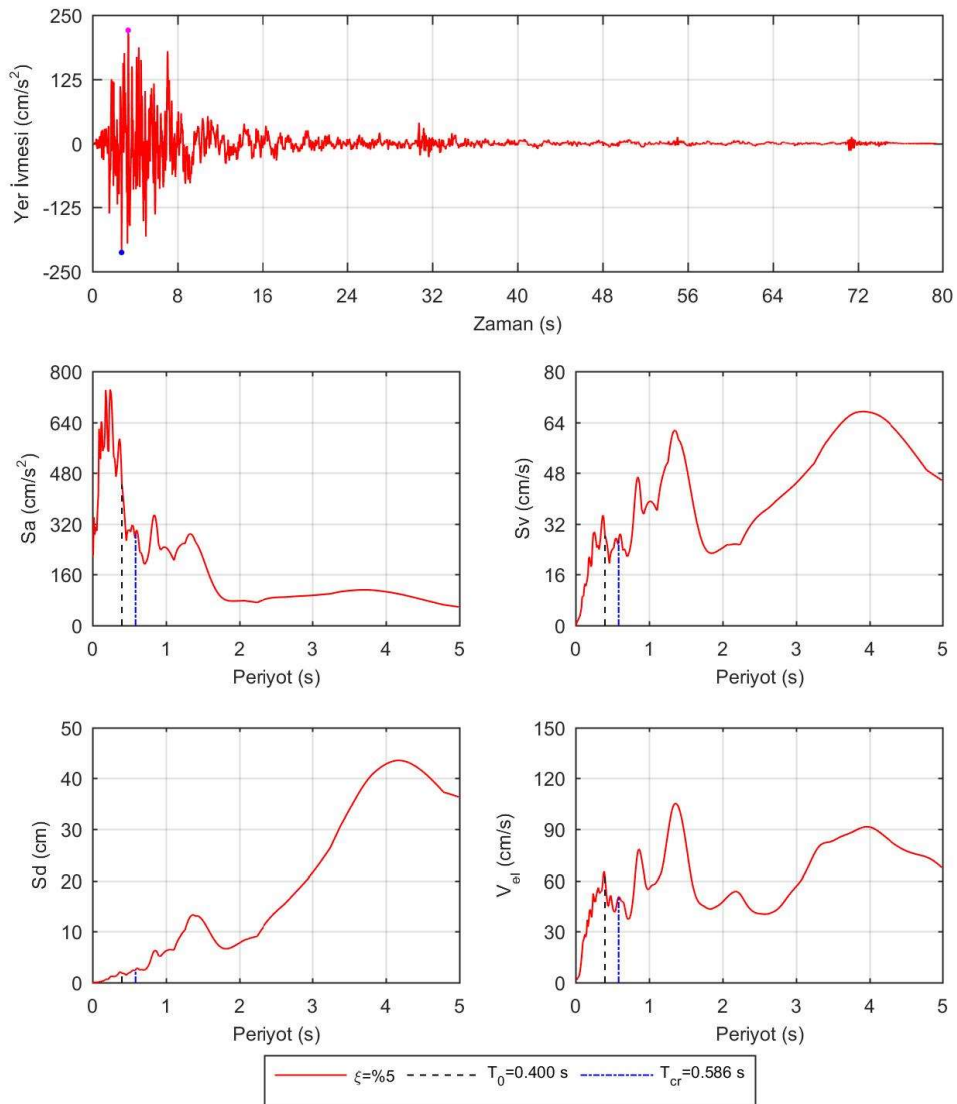


Şekil A. 22: San Fernando FTR 326° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 23: 1971 San Fernando PEL 90° yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
220.50	21.79	0.68	66.39	12.99	79.44	22.77	316.46

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
443.74	28.25	1.79	61.97	285.97	26.68	2.49	50.41

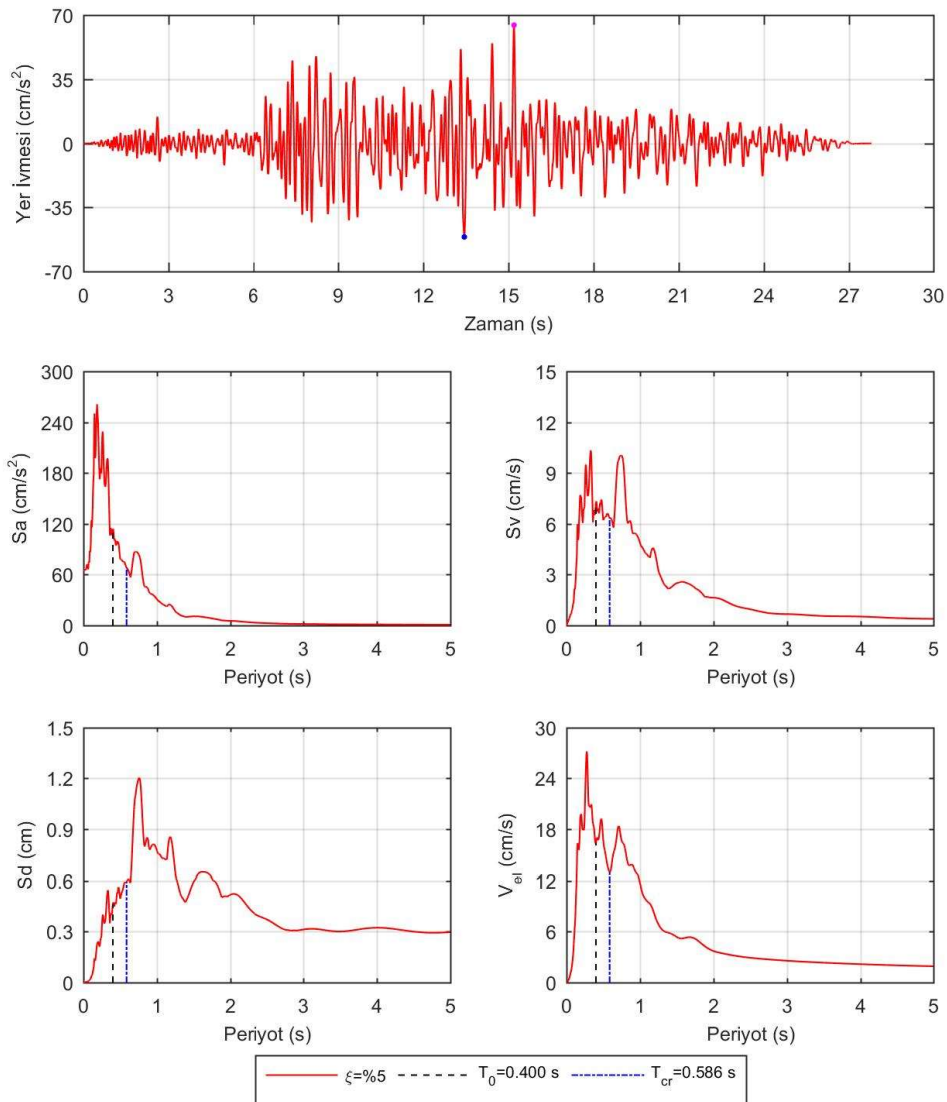


Şekil A. 23: San Fernando PEL 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 24: 1995 Dinar Çardak 76° yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
64.56	3.14	0.07	9.42	13.48	27.785	44.15	428.57

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
113.90	7.25	4.46	16.39	68.06	6.35	0.59	12.95

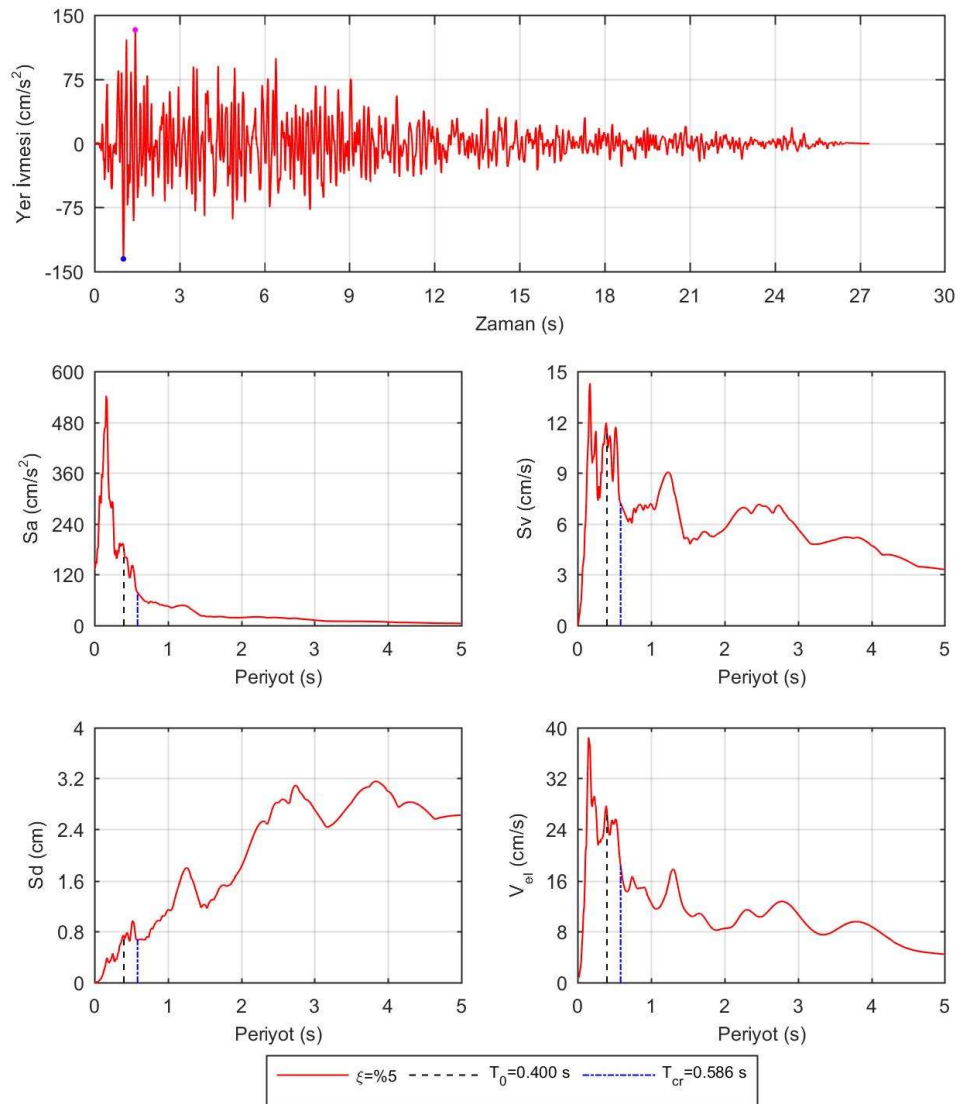


Şekil A. 24: Dinar Çardak 76° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 25: 1971 San Fernando PPP yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
135.00	5.52	0.24	17.17	13.66	27.33	38.97	529.09

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
181.28	11.54	0.73	26.83	77.29	7.20	0.67	18.25

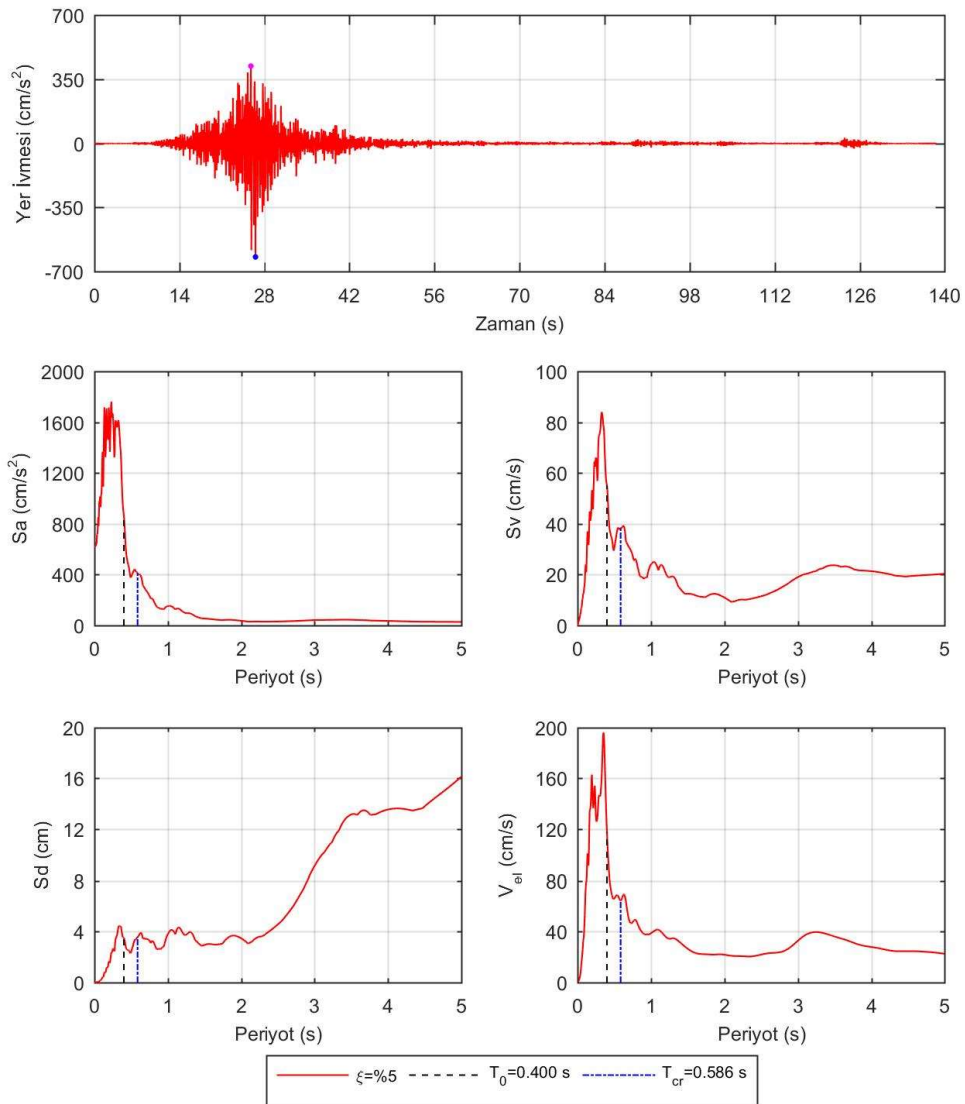


Şekil A. 25: San Fernando PPP 270° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 26: 2010 Darfield HVSVS64 yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
619.54	22.74	4.12	69.79	15.73	138.645	24.47	422.00

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
865.93	55.12	3.51	117.58	410.08	38.25	3.57	64.32

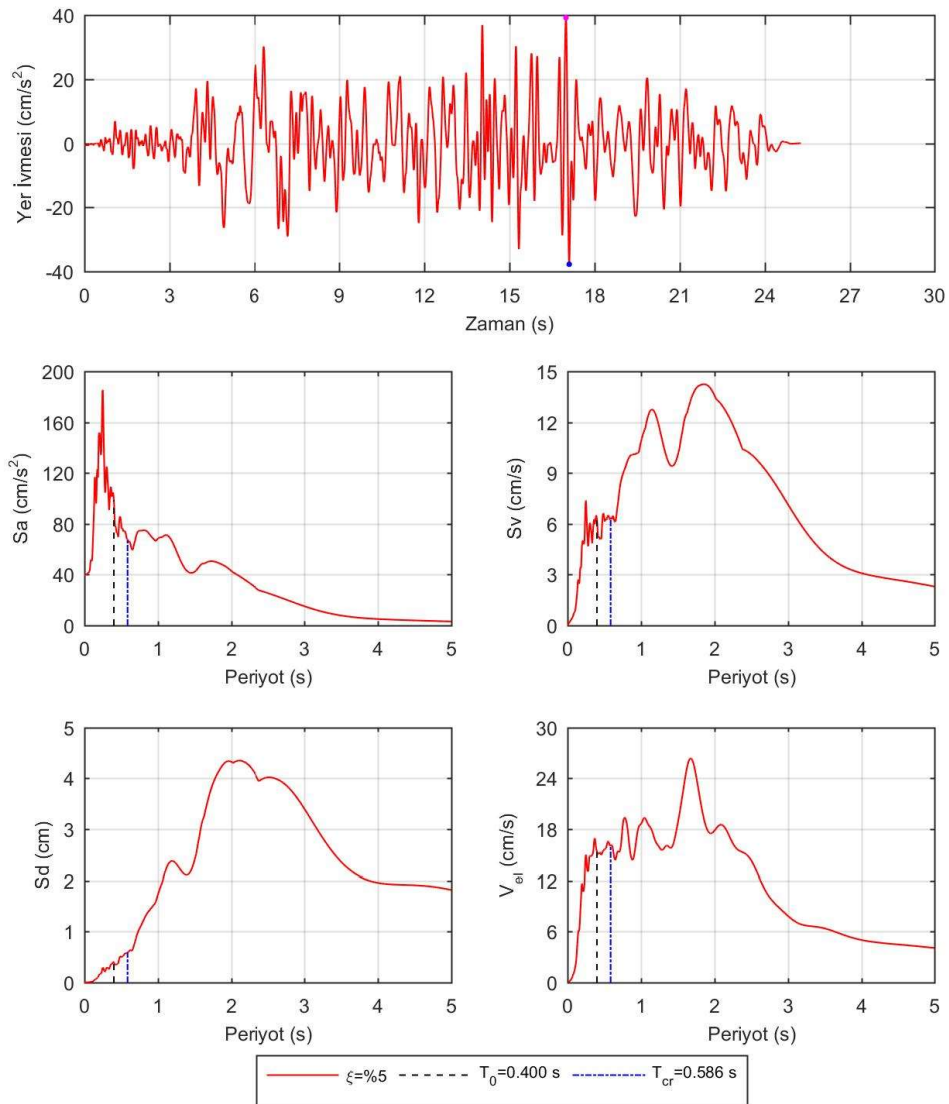


Şekil A. 26: Darfield HVSVS64 E yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 27: 1995 Dinar Burdur yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
39.18	4.48	0.04	13.88	16.37	25.26	36.82	468.44

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
98.44	6.26	0.39	15.35	67.50	6.29	0.58	16.03

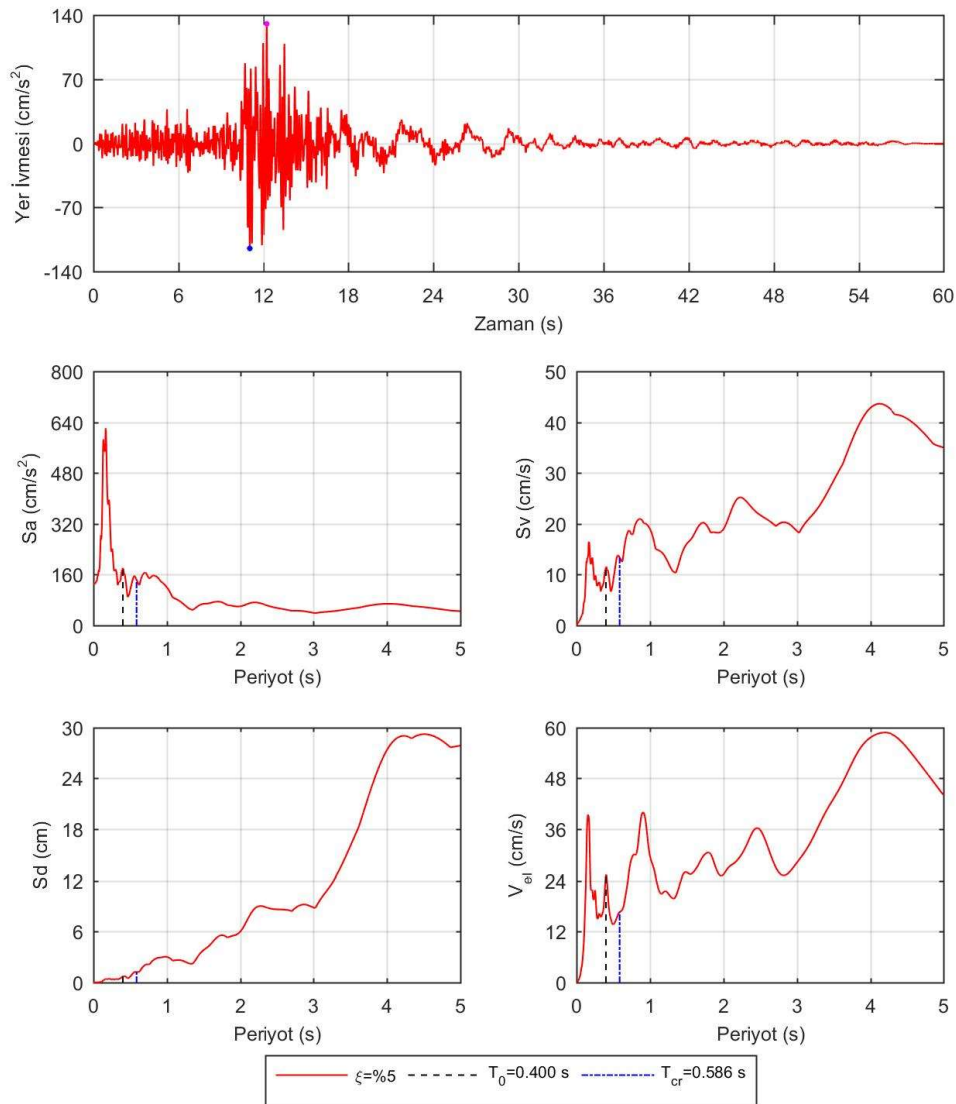


Şekil A. 27: Dinar Burdur 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 28: 2003 San Simeon yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
130.46	13.10	0.21	33.86	17.73	59.99	48.11	365.15

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
179.95	11.46	0.73	25.13	142.98	13.34	1.25	16.64

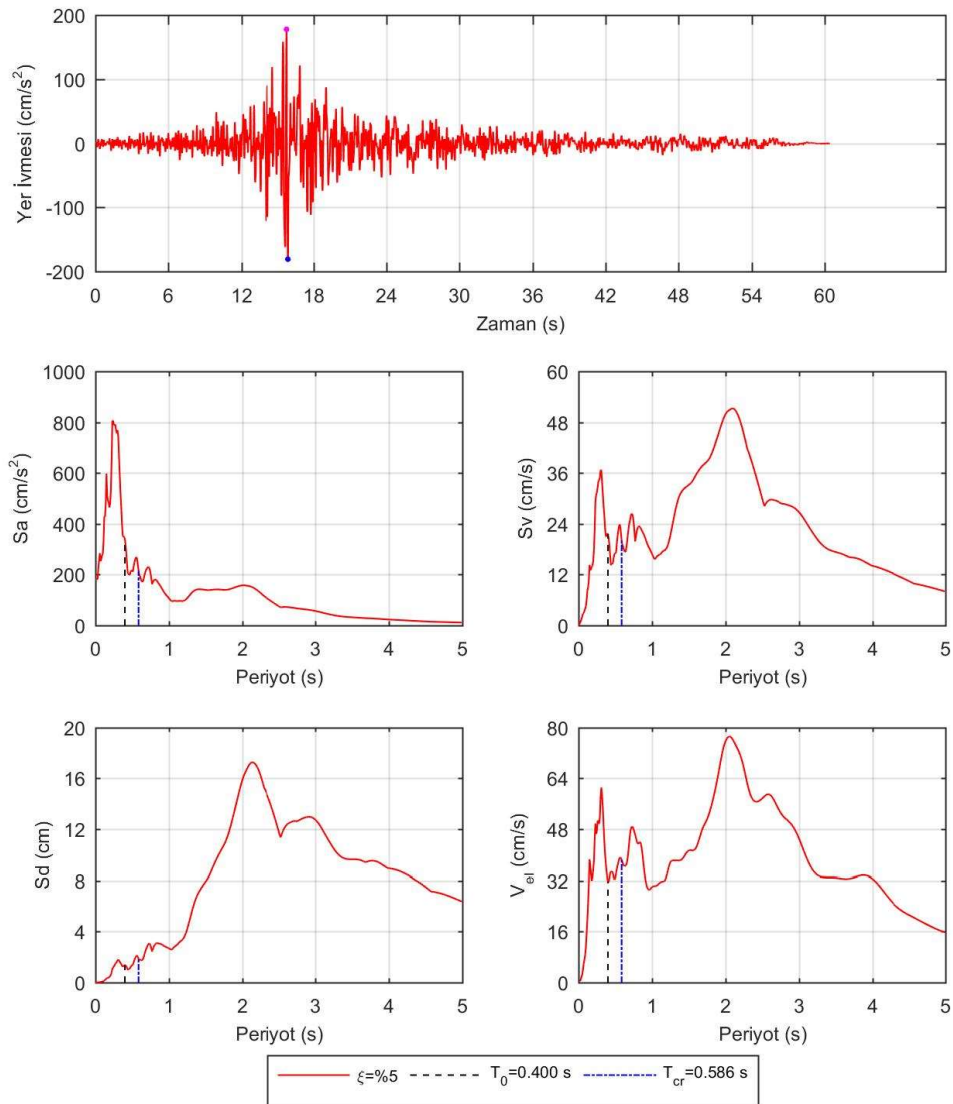


Şekil A. 28: San Simeon SLO 90° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 29: 1990 Manjil yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
180.48	15.50	0.45	46.55	18.10	60.42	49.97	302.64

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
339.14	21.60	1.37	31.58	214.77	20.02	1.87	38.36

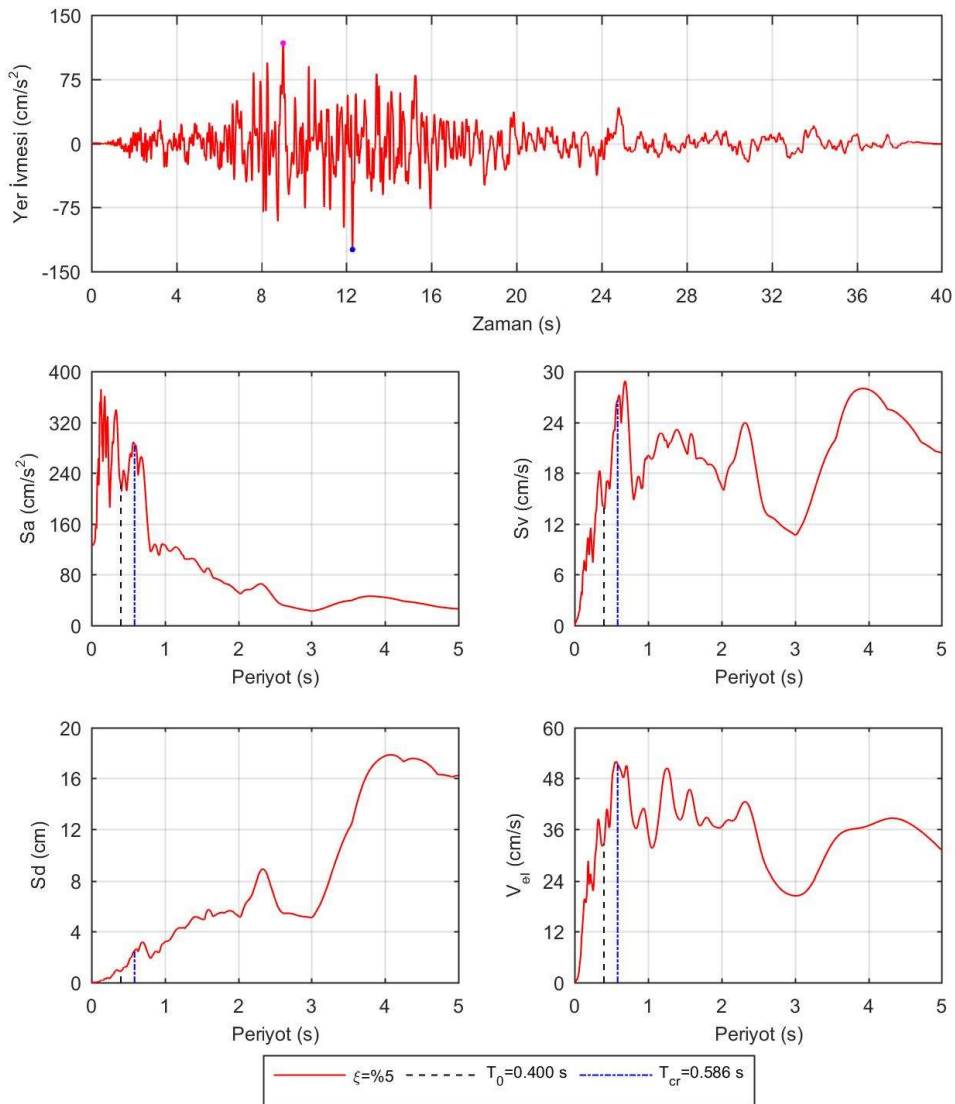


Şekil A. 29: Manjil Qazvin E yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 30: 1989 Loma Prieta FRE yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
124.12	14.10	0.27	34.12	18.23	39.985	39.51	367.57

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
220.97	14.06	0.89	32.49	285.50	26.60	2.48	51.38

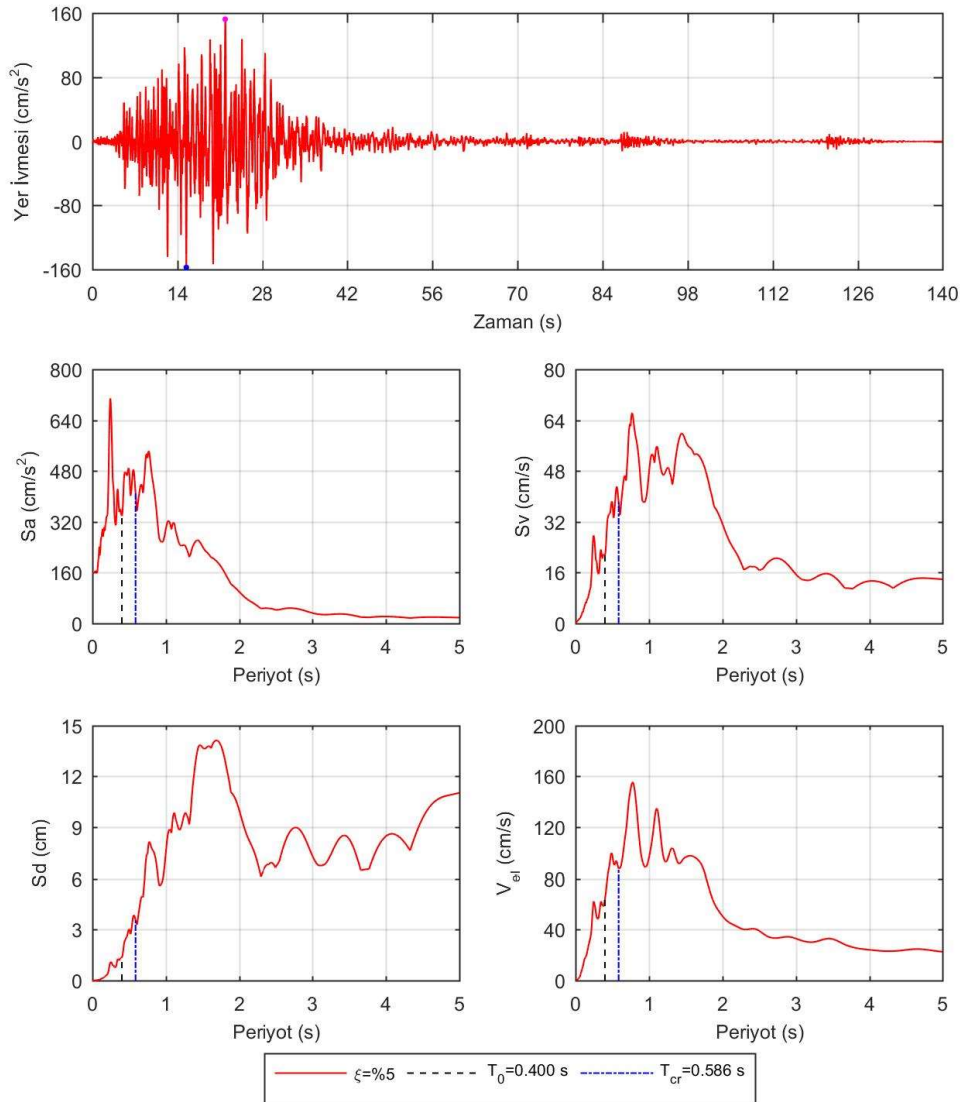


Şekil A. 30: Loma Prieta FRE 0° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 31: 2010 Darfield SPFSN72 yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
157.14	20.49	1.01	55.45	22.18	139.995	29.86	389.54

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
338.71	21.56	1.37	64.11	410.70	38.30	3.57	87.80

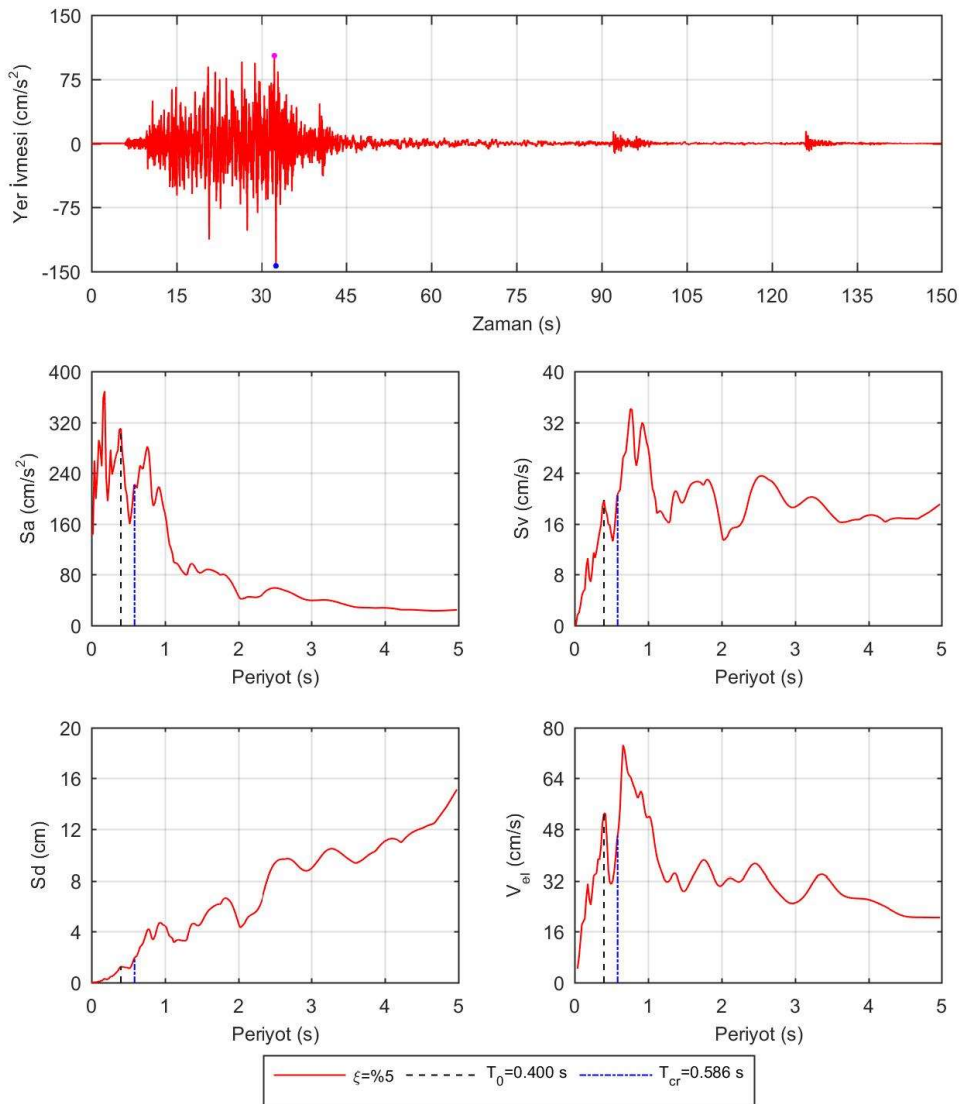


Şekil A. 31: Darfield SPFSN72 E yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 32: 2010 Darfield OXZ yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
143.17	11.57	0.41	190.89	23.04	149.98	30.63	481.62

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
310.33	19.76	1.26	52.94	221.40	20.65	1.92	46.03

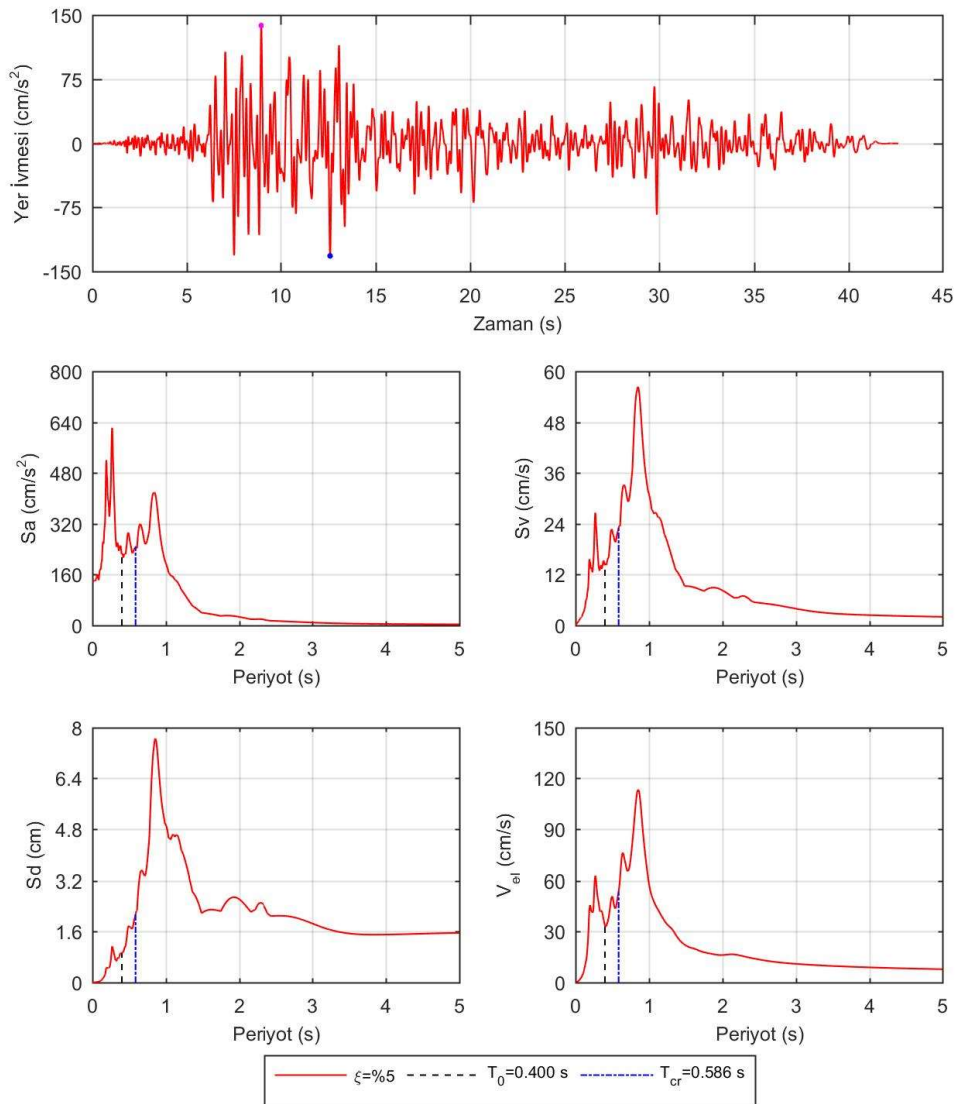


Şekil A. 32: Darfield OXZ N yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 33: 1980 Irpinia yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
137.80	11.84	0.46	30.15	25.09	42.6619	29.80	428.57

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
225.42	14.35	0.91	33.61	246.95	23.03	2.15	53.73

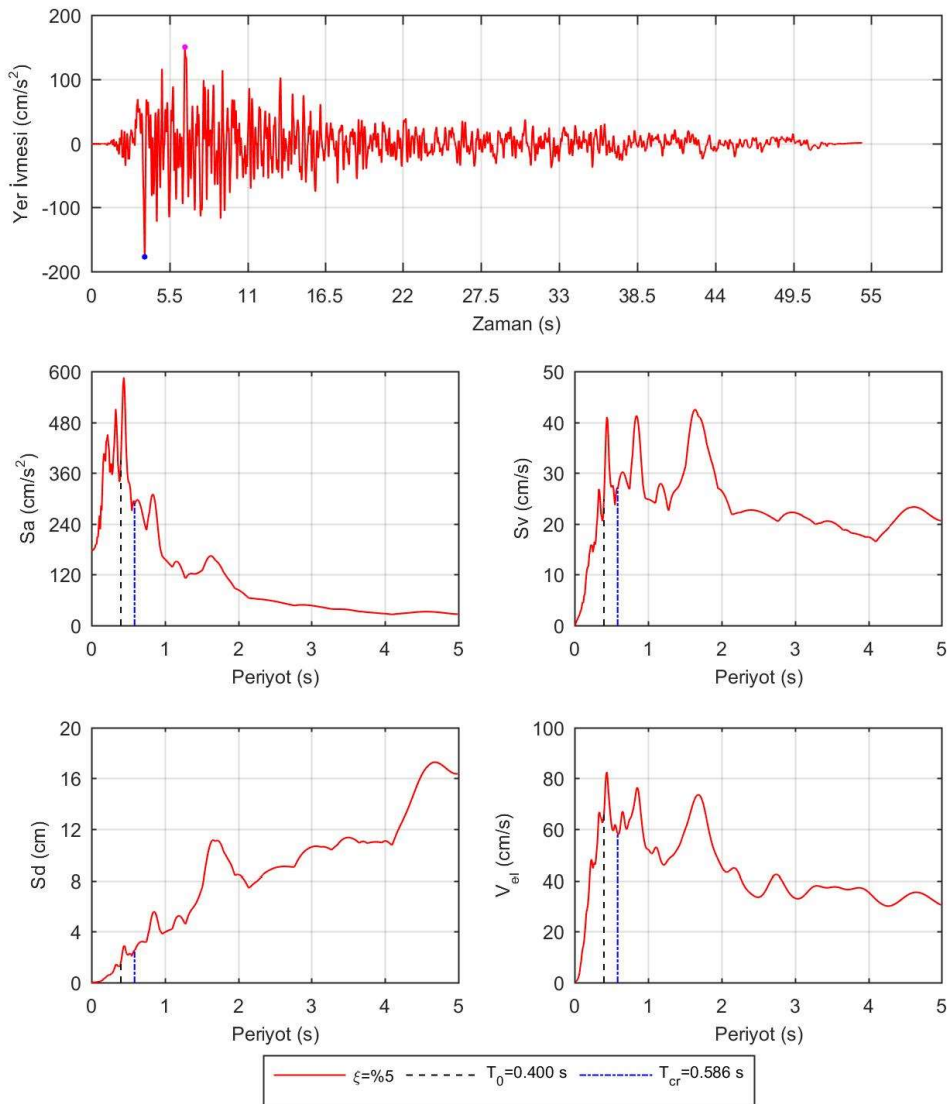


Şekil A. 33: Irpinia MER 270° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 34: 1952 Kern County yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
176.86	18.65	0.60	45.18	28.78	54.36	38.89	385.43

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
390.38	24.85	1.58	65.68	290.68	27.10	2.53	58.29

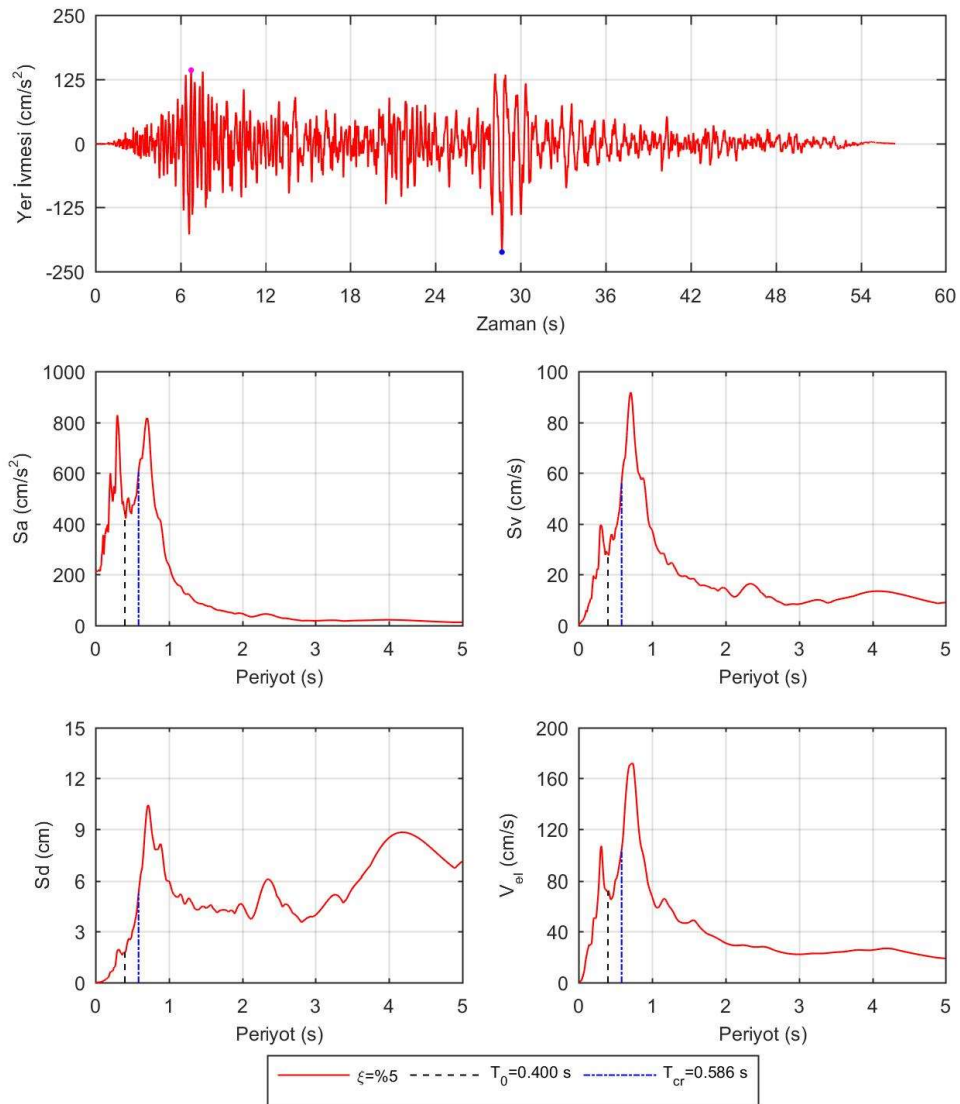


Şekil A. 34: Kern County Taft 111° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 35: 1992 Landers FVR yer hareketi karakteristik özellikleri.

PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
211.79	24.18	1.21	51.84	29.21	56.46	25.02	388.63

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
444.62	28.30	1.80	71.98	605.39	56.47	5.27	103.95

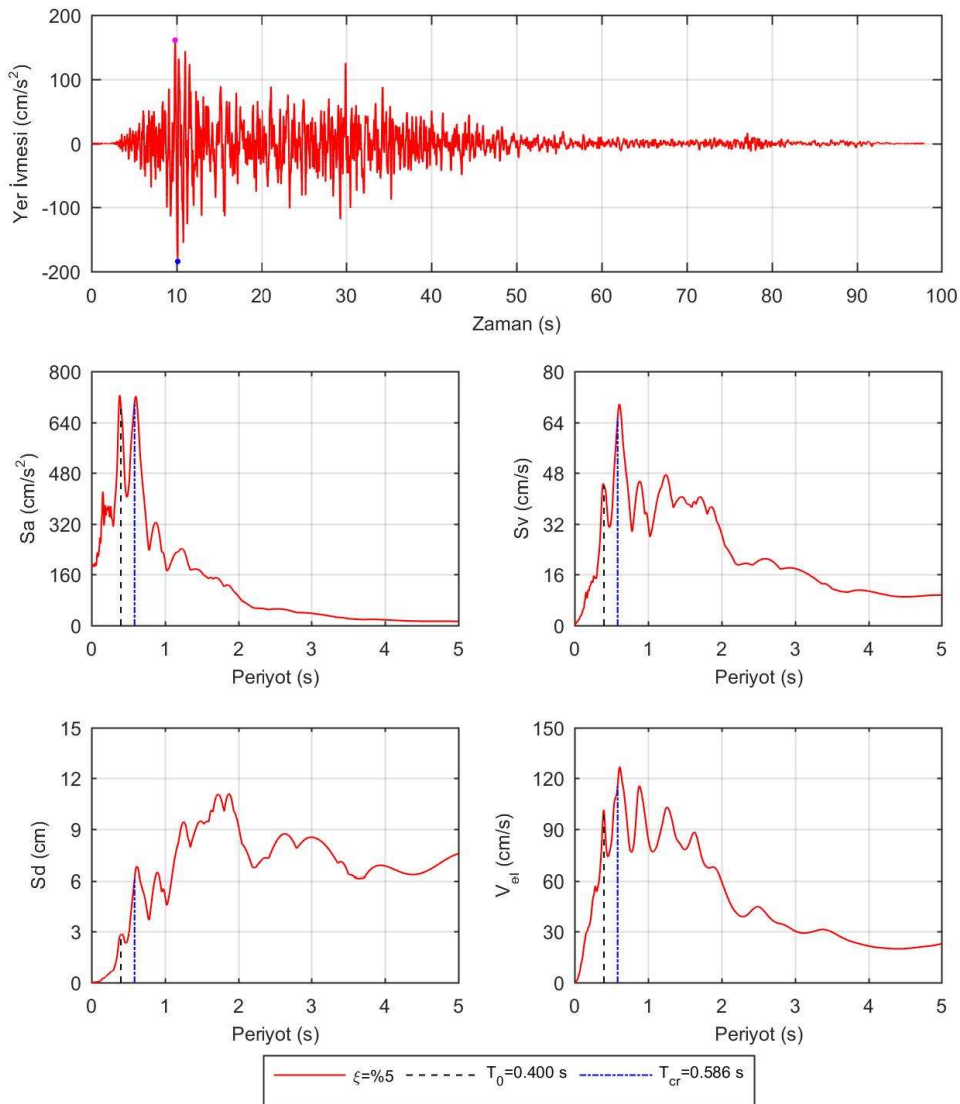


Şekil A. 35: Landers FVR 45° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri.

Çizelge A. 36: 1992 Landers MVP yer hareketi karakteristik özellikleri.

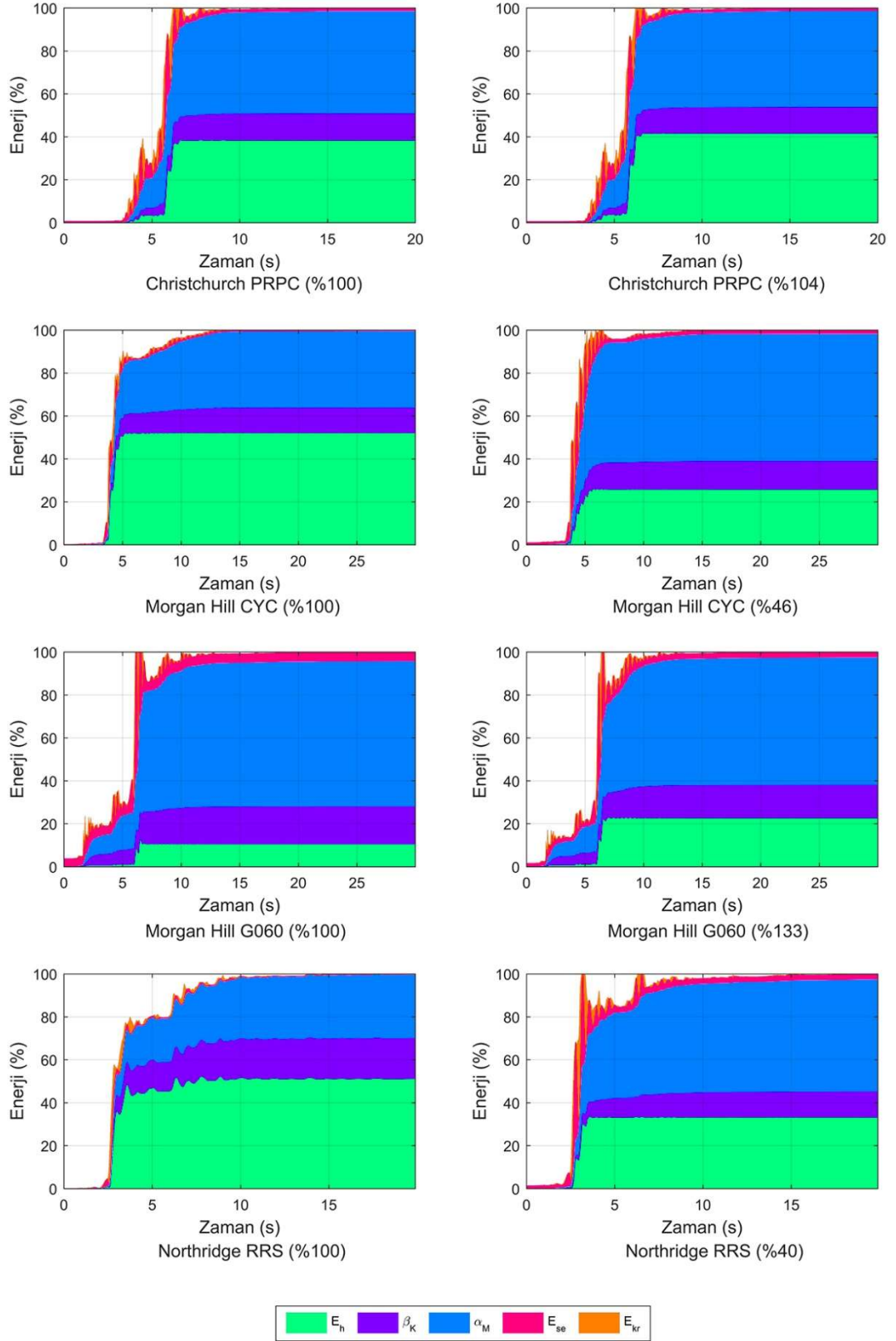
PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	Arias Şiddeti (m/s)	EPA (cm/s ²)	t_{eff} (s)	Kayıt Süresi (s)	R_{rup} (km)	V_{s30} (m/s)
184.00	16.67	0.96	52.31	31.63	97.985	40.67	368.20

Elastik Periyot (T_0) Spektral Değerler				Çatlamış Kesit Periyodu (T_{cr}) Spektral Değerler			
S_a (cm/s ²)	S_v (cm/s)	S_d (cm)	V_{el} (cm/s)	S_{acr} (cm/s ²)	S_{vcr} (cm/s)	S_{dcr} (cm)	V_{elcr} (cm/s)
692.63	44.10	2.81	101.29	699.80	65.27	6.08	115.60

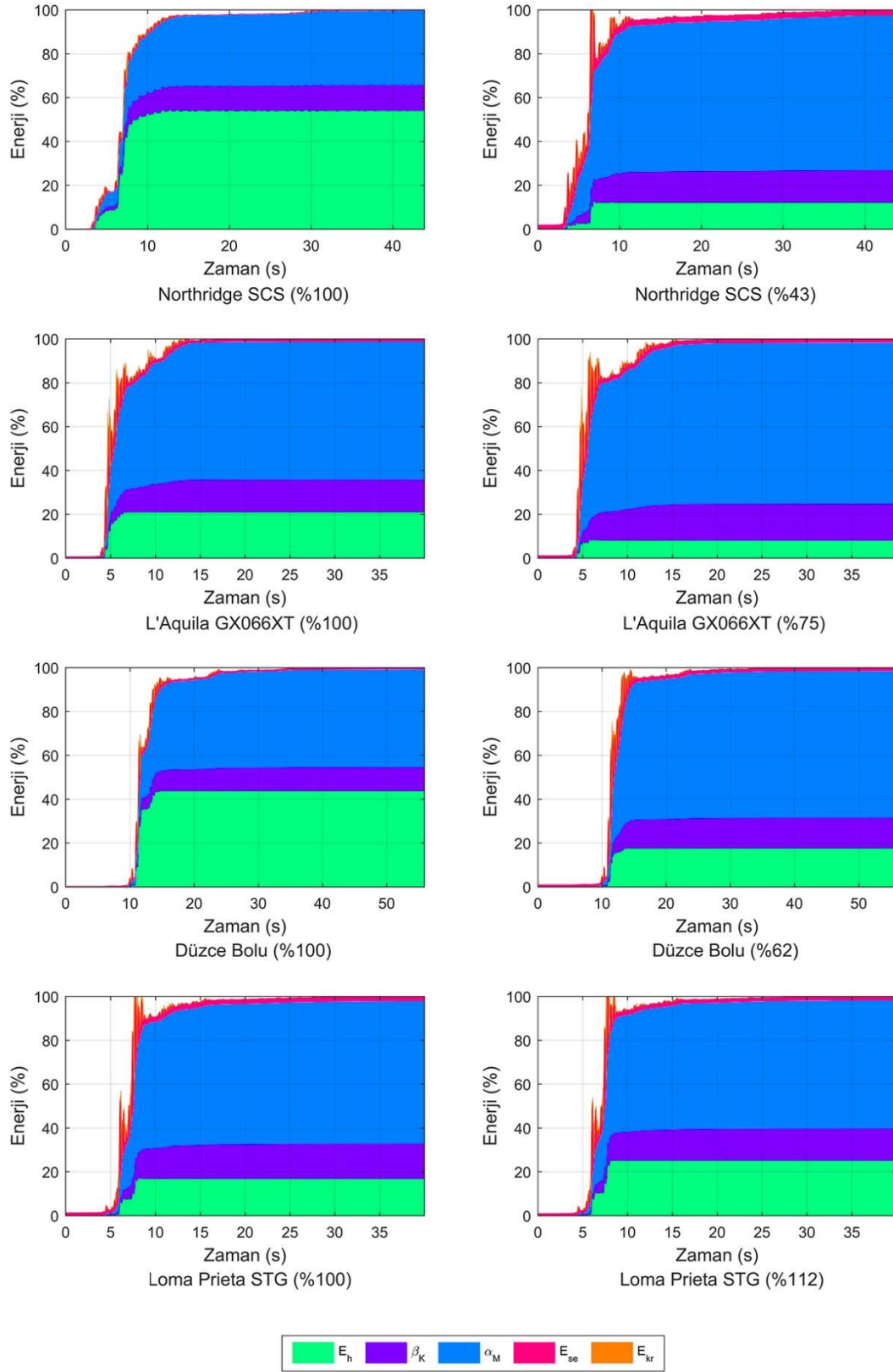


Şekil A. 36: Landers MVP 0° yer hareketi için ivme-zaman, ivme spektrumu, hız spektrumu, yerdeğiştirme spektrumu ve eşdeğer hız spektrumu grafikleri

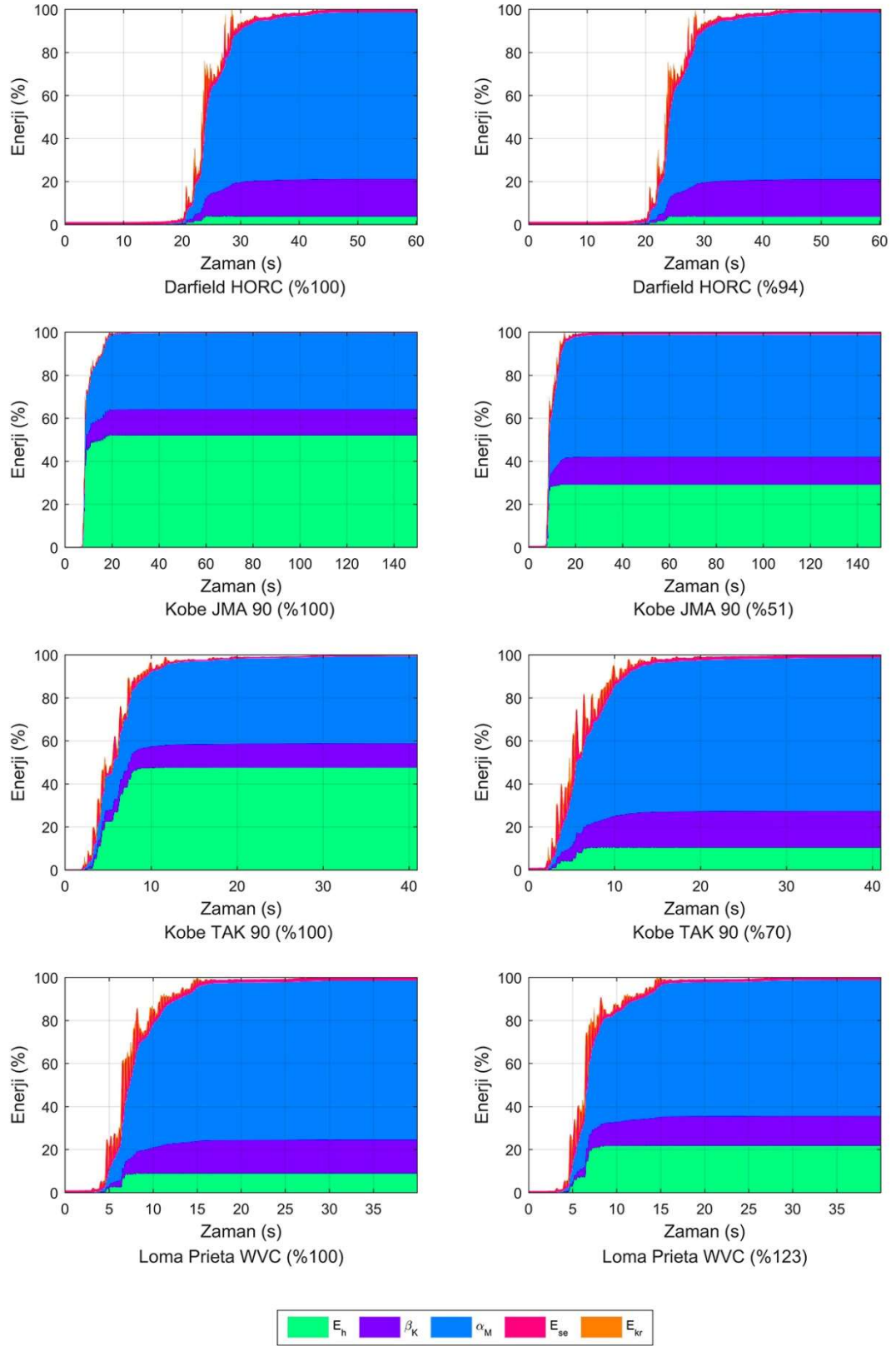
EK B



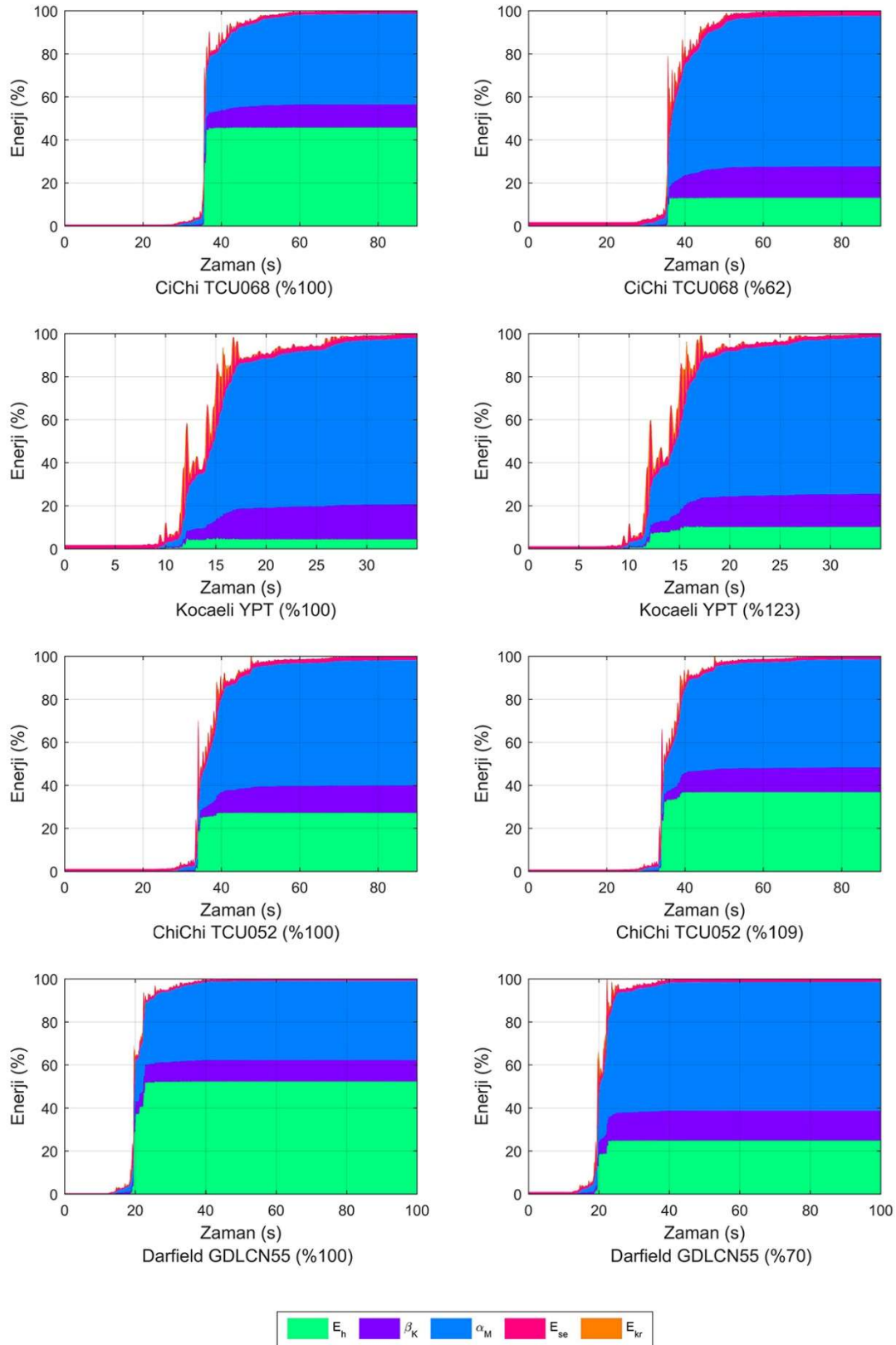
Şekil B. 1: Yakın kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 1



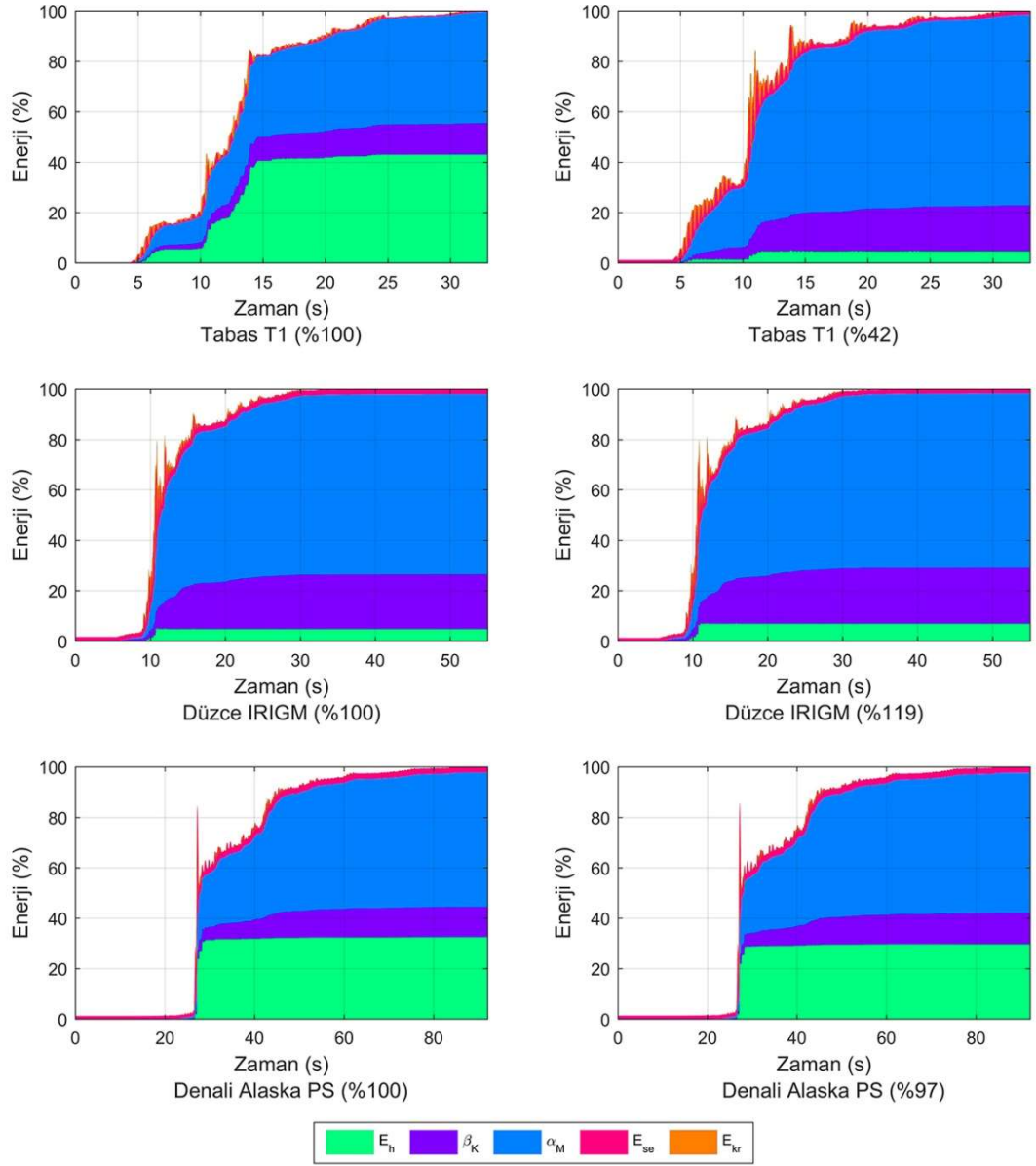
Şekil B. 2: Yakın kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 2



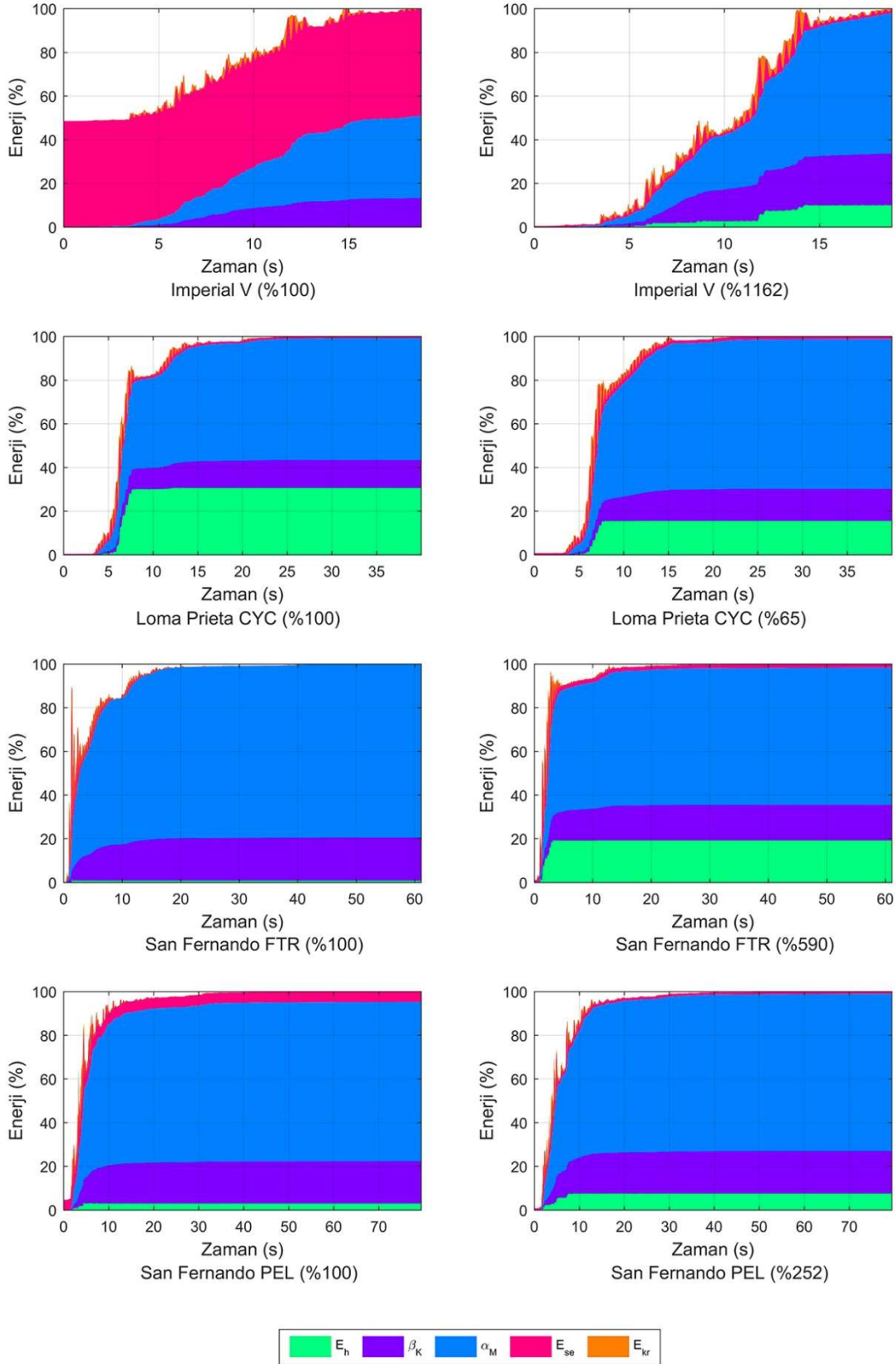
Şekil B. 3: Yakın kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 3



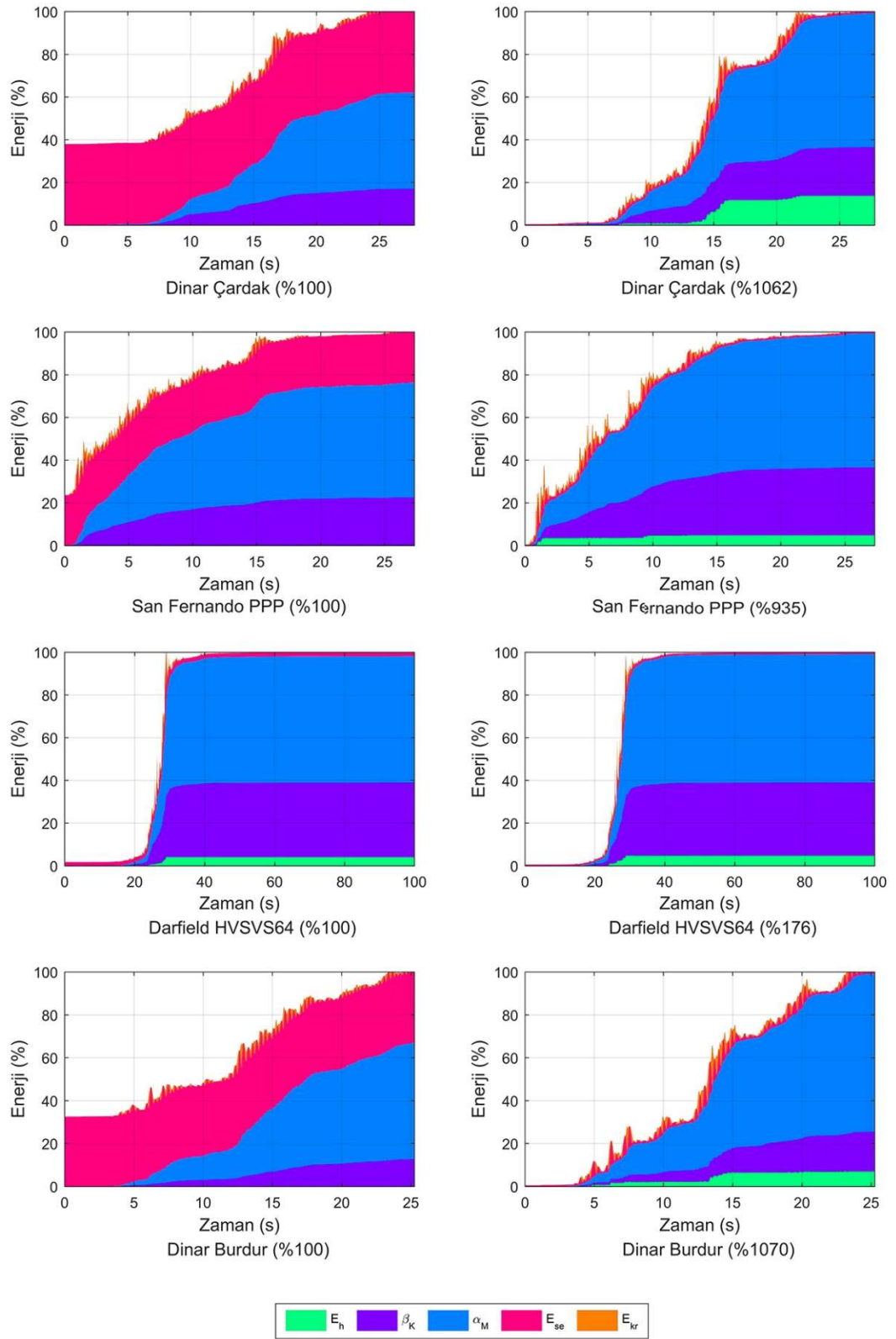
Şekil B. 4: Yakın kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 4



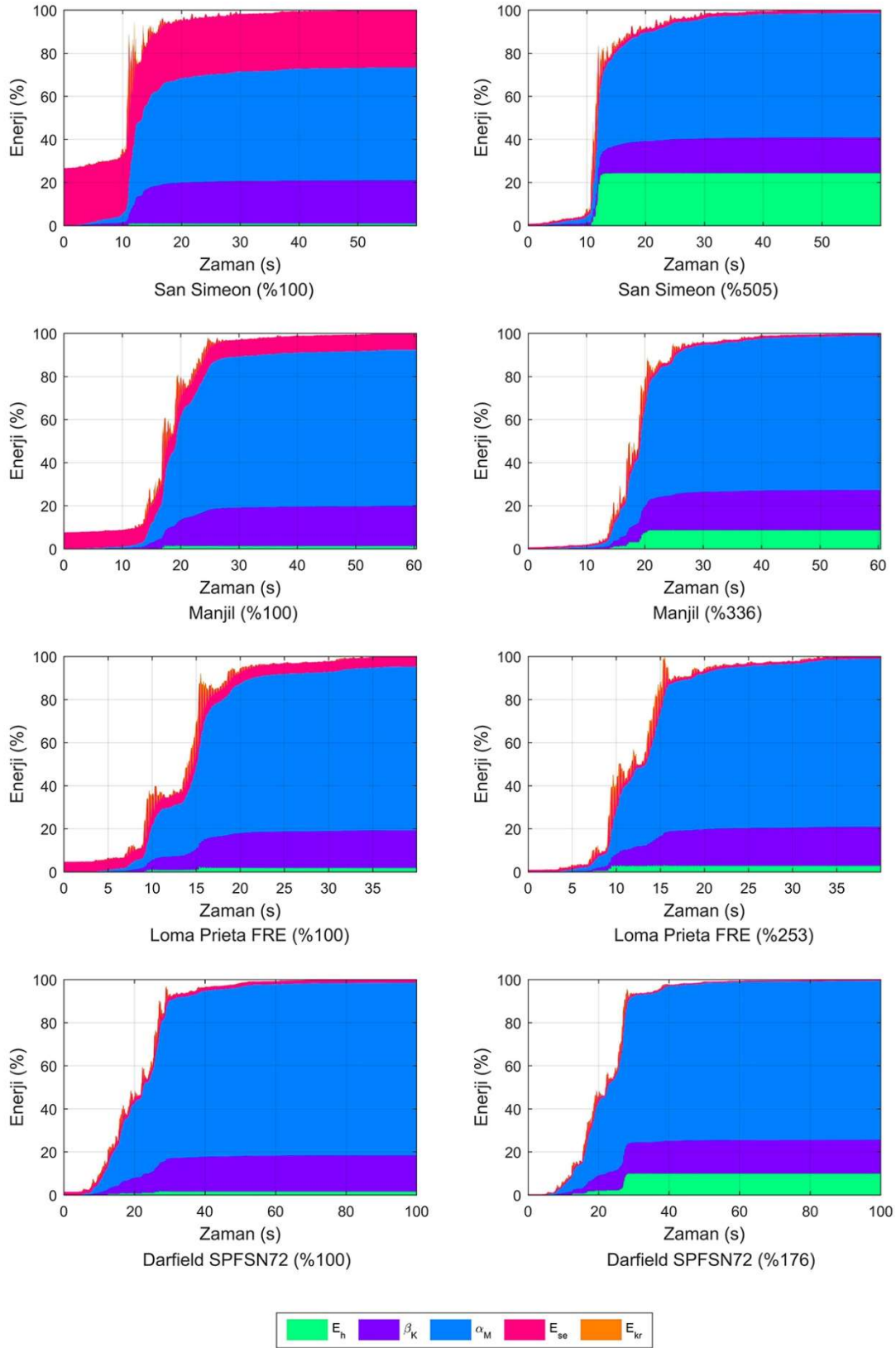
Şekil B. 5: Yakın kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 5



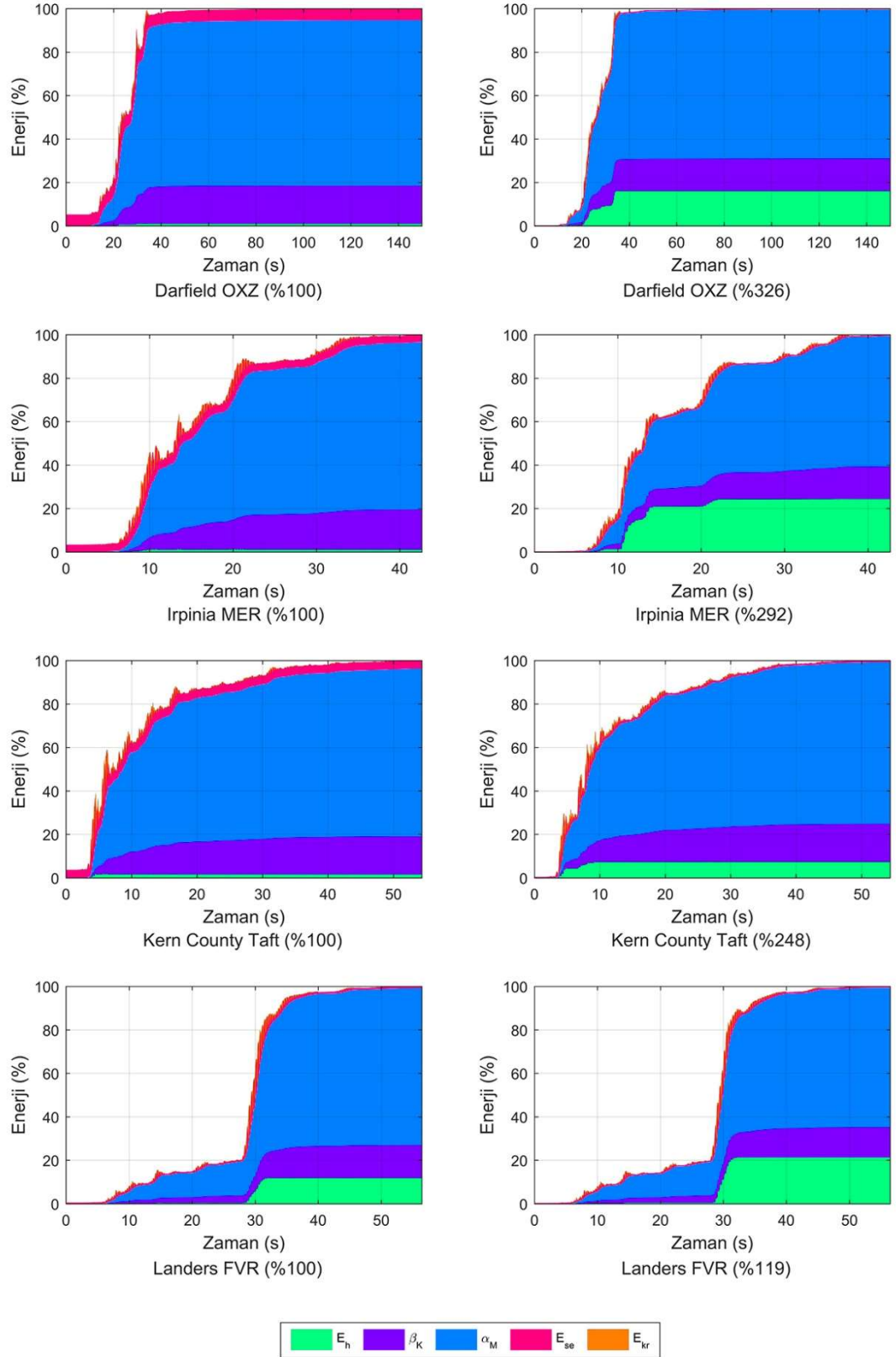
Şekil B. 6: Uzak kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 1



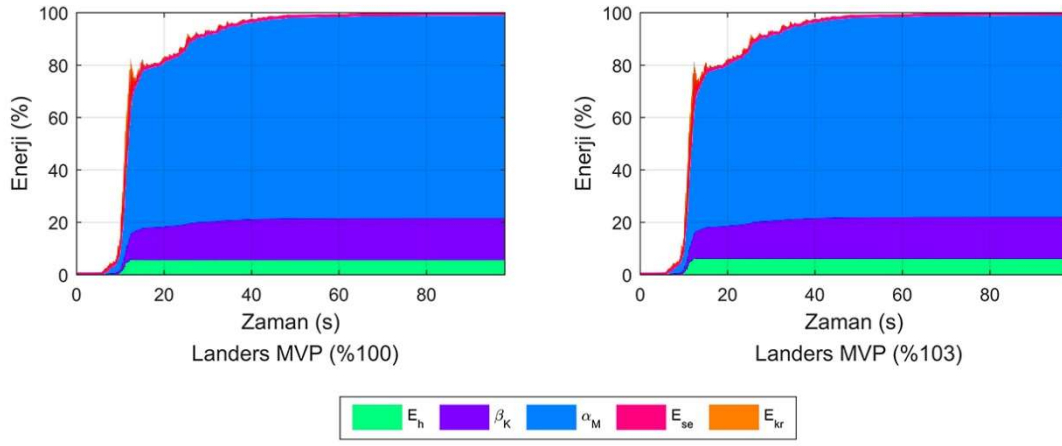
Şekil B. 7: Uzak kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 2



Şekil B. 8: Uzak kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 3



Şekil B. 9: Uzak kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 4



Şekil B. 10: Uzak kaynaklı yer hareketleri enerji yüzdesi-zaman grafiği 5

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Gökhan KOÇ
Doğum Tarihi ve Yeri : 15/07/1988-TRABZON
e-posta : gokhankocg@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü