

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM İVME KAYITLARINDAKİ GÜRÜLTÜNÜN YAPISAL
DAVRANIŞA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fatma Sevil MALCIOĞLU**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Deprem Mühendisliği

TEMMUZ 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM İVME KAYITLARINDAKİ GÜRÜLTÜNÜN YAPISAL
DAVRANIŞA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fatma Sevil MALCIOĞLU
(501081216)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Temmuz 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Temmuz 2011**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Beyza TAŞKIN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Zeki HASGÜR (İTÜ)
Prof.Dr. Feridun ÇILI (İTÜ)**

TEMMUZ 2011

Anneme ve teyzemin anısına,

ÖNSÖZ

Dünyada ve ülkemizde büyük ölçekli hasarları meydana getiren doğal afetlerden biri olan deprem, bir çok bilimin de araştırma konuları kapsamındadır. Türkiye'nin tektonik konumu ve son yıllarda artan depremselliği düşünülecek olursa, depreme dayanıklı yapı tasarımının ve mevcut yapı stoğunun deprem güvenliğinin belirlenmesi konularının oldukça önem kazandığı açıktır. Bu nedenle kullanılacak deprem ivme kayıtlarının, gerçek depremin karakteristiklerini yansıtması, yapısal çözümlemelerin daha gerçekçi olması için şarttır. Ayrıca mevcut 2007 tarihli Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik (DBYBHY)'in zaman tanım alanında hesap yöntemlerini kapsamına alması; hatta taslak halindeki İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (IYBDY)'nin zaman tanım alanında hesap yöntemlerini zorunlu kılması, kayıtların uygun bir şekilde işlenerek, barındırdığı gürültünün süzgeçlenmesinin önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir. Bu nedenle, çalışmanın konusunda oluşturan, çevresel, trafik, aysal ve güneşsel etkiler gibi nedenlerle deprem sinyaline katılan gürültünün, deprem ivme kayıtlarına ve özellikle bu gürültü oranlarının yapısal davranışa etkisinin araştırılması önem oluşturmaktadır.

Önem arzeden bu konunun bu tez çalışmasının konusu olmasını sağlayan ve bu çalışma sürecinde yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Beyza TAŞKIN'a, Araş. Gör. Ülgen MERT TUĞSAL'a, sinyal işleme konusunda değerli bilgilerini esirgemeyen İTÜ Elektrik ve Elektronik Fakültesi öğretim görevlisi Sayın Prof. Dr. Tayfun AKGÜL ve Araş. Gör. Süleyman BAYKUT'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmayı, BAP 34150 no'lu proje ile destekleyen İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca yanımda olup, kararlarımın arkasında duran ve bu tez çalışması boyunca manevi desteklerini esirgemeyen sevgili annem Semra ZORLUER'e ve yüksek lisansımı tamamlamı içtenlikle isteyen, özlemle andığım teyzem Şefika OKUTMAN'a ve tüm yardımlarından dolayı yakın arkadaşım Tuğba AVCI ÖZSOY'a ve mesai arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2011

Fatma Sevil Malcıoğlu

(İnşaat ve Jeofizik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Özeti	1
2. DEPREMLER VE KUVVETLİ YER HAREKETİNİN ÖZELLİKLERİ.....	11
2.1 Depremler.....	11
2.1.1 Yer kürenin yapısı ve levha tektoniği kuramı	11
2.1.2 Reid elastik kırılma teorisi ve sismik dalgalar	14
2.2 Kullanılan Deprem İvme Geçmişi Çeşitleri	17
2.2.1 Gerçek deprem ivme kaydı	17
2.2.1.1 Deprem kayıtçıları	17
2.2.1.2 Kuvvetli hareket kayıt şebekeleri	19
2.2.1.3 Gerçek deprem kaydı kullanımının üstünlükleri ve zorlukları	21
2.2.1.4 Gerçek deprem kayıtlarındaki gürültüler	23
2.2.2 Yapay deprem hareketleri	27
2.2.2.1 Yapay deprem ivme geçmişi kullanım nedenleri ve zorlukları	28
2.2.2.2 Çalışmada kullanılan algoritma	29
2.2.3 Benzeştirilmiş deprem yer hareketleri	32
2.2.4 DBYBHY yer hareketi koşulları	33
2.3 Kuvvetli Yer Hareketlerinin İşlenmesi.....	34
2.3.1 Yer hareketlerinin zaman ortamındaki karşılıkları	35
2.3.2 Yer hareketlerinin frekans ortamındaki karşılıkları	36
2.3.2.1 Fourier genlik ve faz spektrumu	37
2.3.2.2 Fourier güç spektrumu	41
2.3.3 Yer hareketlerinin düzeltilmesi ve süzgeçlenmesi.....	42
2.3.4 Yer hareketlerinin mühendislik özellikleri	45
2.3.4.1 Yer hareketi parametreleri	45
2.3.4.2 Mühendislik şiddetleri	47
3. TSD SİSTEMİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ	
 SPEKTRUMU	49
3.1 Doğrusal Davranış Spektrumu	49
3.1.1 Tek kütle sisteminin titreşimi.....	49
3.1.2 Doğrusal davranış spektrumunun belirlenmesi	53

3.2 Doğrusal Olmayan Davranış Spektrumu.....	54
3.2.1 Çevrimsel davranış modelleri.....	55
3.2.2 Süneklik ve dayanım azalması katsayısı spektrumları.....	60
4. TSD SİSTEMİN DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEMESİ.....	65
4.1 Üretilen Yapay Yer Hareketleri.....	66
4.2 Yapay Yer Hareketlerine Gürültünün Eklenmesi.....	71
4.2.1 Sinyal/gürültü oranlarının belirlenmesi.....	71
4.2.2 Gürültü barındıran yapay yer hareketleri	74
4.2.3 DYYH'lerinin Fourier genlik spektrumları ve mühendislik şiddetleri.....	75
4.3 Yer Hareketleri Altında Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Çözümlemeler.....	81
4.3.1 Doğrusal davranış spektrumları	81
4.3.2 Sabit dayanım azalması katsayısı ve süneklik spektrumları	84
4.4 Örnek Betonarme Bir Çerçeve Sistemin İrdelenmesi	92
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR.....	101
EKLER	107
EK A.1	108
EK B.1	109
EK C.1	111
EK D.1	121
EK E.1	123
EK F.1	126
EK G.1	128
EK H.1	132

KISALTMALAR

AFYBAY	: Afyon Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü
BALMET	: Balıkesir Meteoroloji İstasyonu
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DB	: Doğu-Batı
DYYH	: Düzeltilmiş Yapay Yer Hareketi
CEYTAR	: Ceyhan Tarım İlçe Müdürlüğü
COSMOS	: The Consortium of Organizations for Strong-Motion
CSMIP	: The California Strong-Motion Instrumentation Program
EPP	: Elastoplastik (Elastic-Perfectly Plastic)
ERZMET	: Erzincan Meteoroloji İstasyonu
GDYYH	: Gürültülü Düzeltilmiş Yapay Yer Hareketi
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
İSTBAY	: İstanbul Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KG	: Kuzey-Güney
K-NET	: Kyoshin Net
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü
LDEO	: Lamont-Doherty Earth Observatory
MATLAB	: Matrix Laboratory
NEHRP	: National Earthquake Hazard Reduction Program
PGA	: En büyük Yer İvmesi (Peak Ground Acceleration)
PGV	: En büyük Yer Hızı (Peak Ground Velocity)
PGD	: En büyük Yerdeğiştirme (Peak Ground Displacement)
PEER	: The Pacific Earthquake Research Center
RMS	: Karelerin Toplamının Karekökü (Root Mean Square)
SARJEO	: Sarayköy Jeotermal Lojmanları
SNR	: Signal to Noise Ratio
T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti
TARSCTHS	: Target Acceleration Response Spectra Compatible Time Histories
TSD	: Tek Serbestlik Dereceli
USGS	: United States Geological Survey

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Yapay yer hareketi karakteristik parametreleri.	68
Çizelge 4.2 : TARSCTHS programına girilen spektrum ve periyot değerleri.	68
Çizelge 4.3 : Türkiye'de meydana gelmiş depremler için hesaplanan S/G oranları. .	73
Çizelge 4.4 : Üretilen yapay yer hareketlerine ait mühendislik şiddetleri.....	79
Çizelge 4.5 : Üretilen yapay depremlerin yer hareketi parametreleri.....	80
Çizelge 4.6 : Doğrusal olmayan çözümleme için girdi parametreleri.	88
Çizelge 4.7 : Betonarme çerçeve sistem kesit boyutları ve donatı miktarları.	93

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Yerkürenin katmanları.....	12
Şekil 2.2 : Litosferdeki levha hareketleri.....	13
Şekil 2.3 : Elastik kırılma teorisine göre sol yanal atımlı fayın harekete geçmesi ile depremin oluşumu.....	14
Şekil 2.4 : Fay düzlemi parametreleri.....	15
Şekil 2.5 : Oluşum mekanizmalarına göre faylanma türleri.....	16
Şekil 2.6 : Deprem parametreleri.....	16
Şekil 2.7 : Sismogram üzerinde cisim ve yüzey dalgaları.....	17
Şekil 2.8 : Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından işletilmekte olan Nisan Türkiye kuvvetli yer hareketi gözlem istasyonları dağılımı.....	21
Şekil 2.9 : Ceyhan 1998 depremi davranış spektrumu ile DBYBHY 2007 tasarım spektrumları karşılaştırılması.....	22
Şekil 2.10 : A-Deterministik sinyal (basit sinüs dalgası), B-C-D-aşamalı olarak arttırılan gürültülü sinüs sinyalleri.....	24
Şekil 2.11 : 07.04.1995 Tonga depreminin New York-Hudson kaydındaki gürültü ve gürültünün spektrumu.....	26
Şekil 2.12 : TARCTHS programının akış şeması.....	31
Şekil 2.13 : Doğrusal ivme varsayımı.....	35
Şekil 2.14 : Periyodik bir fonksiyonun sinüs bileşenleri ile ifadesi.....	37
Şekil 2.15 : Zaman eksenindeki kaymadan kaynaklanan hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişlerindeki bozulmalar.....	43
Şekil 2.16 : (a) Alçak geçiren filtre, (b) Yüksek geçiren filtre, (c) Band geçiren filtre, (d) Band durdurucu filtre, (e) Çentik filtresi.....	44
Şekil 2.17 : 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına uyumlu üretilen yapay yer hareketinin Arias şiddeti grafiği ve etkin süre.....	48
Şekil 3.1 : TSD sistemi ifade eden tek kütle modeli.....	50
Şekil 3.2 : İmpuls katarı.....	53
Şekil 3.3 : Betonarme bir eleman için kuvvet-şekildeğiştirme diyagramı (çevrimsel davranış modeli).....	56
Şekil 3.4 : Elasto-plastik (<i>Elastic Perfectly Plastic</i>) çevrimsel davranış modeli.....	56
Şekil 3.5 : (a) Çift doğrulu ve (b) rijitliği azalan çift doğrulu çevrimsel davranış modeli.....	57
Şekil 3.6 : (a) Clough modeli ve (b) Mahin ve Bertero tarafından değiştirilmiş Clough Modeli (Modified Clough Model) (BISPEC, 2010).	58
Şekil 3.7 : (a) Merkeze yönelen (Origin oriented) ve (b) En büyük değere yönelen (Peak oriented) çevrimsel davranış modelleri.....	58
Şekil 3.8 : Çift doğrulu elastik davranış modeli.....	59
Şekil 3.9 : (a) Çift doğrulu bayrak, (b) Çift doğrulu kayma davranış modeli.....	60
Şekil 3.10 : Doğrusal olmayan TSD sisteme ait kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ve eşdeğer doğrusal sistem.....	61

Şekil 4.1: Çalışmada gerçekleştirilen incelemelere ait genel akış şeması.	65
Şekil 4.2: TARSCHTS programı girdi dosyası.	67
Şekil 4.3: 1. derece deprem bölgesi Z1, Z2 ve Z3 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uyumlu yapay yer hareketi zaman geçmişleri.	70
Şekil 4.4: 15.02.2007 Akdeniz depremi Muğla Bodrum Meteoroloji Müdürlüğü (a) KG bileşen kaydı (b) DB bileşen kaydı.	72
Şekil 4.5: 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uyumlu S/G 5, 10,50,100 ve 150 oranında GDYYH'leri.	75
Şekil 4.6: 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uyumlu GDYYH'lerinin Fourier Genlik Spektrumları.	76
Şekil 4.7: 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uyumlu yapay yer hareketi Fourier Genlik spektrumu.	77
Şekil 4.8: 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına DYYH'ne eklenen gürültü sinyallerinin Fourier Genlik spektrumları.	77
Şekil 4.9: 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait GDYYH'lerinin ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrumları.	82
Şekil 4.10: 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait GDYYH'lerine eklenen gürültü sinyallerinin ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrumları.	83
Şekil 4.11: BISPEC programı ana sayfası.	85
Şekil 4.12: BISPEC programı (a) yer hareketlerinin düzenlendiği pencere, (b),(c) yer hareketlerinin tanımlandığı pencereler.	87
Şekil 4.13: BISPEC programı doğrusal olmayan spektral çözümleme sonuç penceresi.	89
Şekil 4.14: 1Z3 için tasarım spektrumuna uygun üretilen farklı gürültü oranlarına sahip depremlerin sabit dayanım azaltma katsayısı spektrumları.	90
Şekil 4.15: 1Z3 için tasarım spektrumuna uygun üretilen farklı gürültü oranlarına sahip depremlerin sabit süneklilik spektrumları.	91
Şekil 4.16: Örnek betonarme çerçeve sistemin genel özellikleri.	92
Şekil 4.17: S/G oranı 5 ve 150 ile DYYH için yerdeğiştirme-taban kesme kuvveti ilişkisi.	94
Şekil 5.1 : 1. derece Z3 zemin sınıfı için normalize sabit dayanım azalması katsayısı spektrumları.	97
Şekil 5.2 : 1Z1, 1Z2 ve 1Z3 için S/G oranı 5 ve 150 değerlerinde gürültü barındıran hareketler altında sabit dayanım azalması katsayısı spektrumları.	98
Şekil A.1 : Gerçek deprem kayıtlarının davranış spektrumları ile DBYBHY (2007) tasarım spektrumları arasındaki uyumsuzluk.	108
Şekil B.1 : (a) Yer hareketi zaman geçmişlerinin elde edilmesinde kullanılan algoritma. (b) Algortimanın çalıştırılması ve "DETREND"komutu.	109
Şekil B.2 : (a) Yer hareketlerinin S/G oranlarının belirlenmesi için algoritma, (b) Yer hareketlerini grültü eklenmesi amacıyla kullanılan algoritma.	110
Şekil C.1 : 19.06.2007 Manisa-Akhisar depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.	111
Şekil C.2 : 31.01.2007 Gökova Körfezi depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.	112
Şekil C.3 : 03.01.2011 Aydın-Kuşadası depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.	113
Şekil C.4 : 05.02.2011 Denizli depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.	114
Şekil C.5 : 05.02.2011 Denizli depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.	115
Şekil C.6 : 23.07.2003 Denizli-Buldan depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.	116

Şekil C.7 :	02.02.2011 Kastamonu depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları. .	117
Şekil C.8 :	17.09.2010Malatya-Pötürge depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.	118
Şekil C.9 :	01.06.2003 Bingöl depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.....	119
Şekil C.10 :	06.02.2011Aydın-Kuşadasıdepremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.	120
Şekil D.1 :	1. derece Z1 zemin sınıfı için üretilen GDYYH'leri.	121
Şekil D.2 :	1. derece Z2 zemin sınıfı için üretilen GDYYH'leri.	122
Şekil E.1 :	1. derece Z1 zemin sınıfı için üretilen GDYYH'lerinin Fourier Genlik Spektrumları.....	123
Şekil E.2 :	1. derece Z3 zemin sınıfı için üretilen GDYYH'lerinin Fourier Genlik Spektrumları.....	124
Şekil E.3 :	1. derece Z1, Z2 ve Z3 zemin sınıfları için üretilen DYYH'lerinin Fourier Genlik Spektrumları.	125
Şekil F.1 :	1. derece Z1 zemin sınıfı DYYH'lerin davranış spektrumları.	126
Şekil F.2 :	1. derece deprem bölgesi Z2 zemin sınıfına ait GDYYH'lerinin ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrumları.....	127
Şekil G.1 :	1. derece Z1 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uygun üretilen farklı gürültü oranlarına sahip depremlerin sabit dayanım azalması katsayısı spektrumları.....	128
Şekil G.2 :	1. derece Z1 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uygun üretilen farklı gürültü oranlarına sahip depremlerin sabit süneklik spektrumları	129
Şekil G.3 :	1. derece Z2 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uygun üretilen farklı gürültü oranlarına sahip depremlerin sabit dayanım azalması katsayısı spektrumları.....	130
Şekil G.4 :	1. derece Z2 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uygun üretilen farklı gürültü oranlarına sahip depremlerin sabit süneklik spektrumları.	131
Şekil H.1 :	1. derece Z1 zemin sınıfı için normalize sabit dayanım azalması katsayısı spektrumları.....	132
Şekil H.2 :	1. derece Z2 zemin sınıfı için normalize sabit dayanım azalması katsayısı spektrumları.....	133

SEMBOL LİSTESİ

δ	: Fayın eğim açısı
λ	: Kayma doğrultusu
$\bar{U}$	: Doğrultu açısı
$a(t)$	: İvme
$\dot{a}(t)$	: Hız
$\ddot{a}(t)$	: Yerdeğiştirme
$s(t)$	: Sinyal
$n(t)$	: Gürültü sinyali
σ_s	: Yer hareketinin ortalama değeri civarındaki değışintisi
σ_n	: Gürültü sinyalinin ortalama değeri civarındaki değışintisi
μ_s	: Yer hareketinin ortalama değeri
μ_n	: Gürültü sinyalinin ortalama değeri
$x_r(t)$	: Rastgele süreç
A_n	: Genlik
ω_n	: Açısal frekans
θ_r	: Faz açısı
$G(\omega)$	: Güç yoğunluk fonksiyonu
$\beta(t)$	: Zarf fonksiyonu
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
g	: Yerçekimi ivmesi
T	: Periyot
$S_{ac}(T)$	: Elastik spektral ivme
$A(T)$	: Spektral ivme katsayısı
I	: Bina önem katsayısı
$R_a(T_n)$	: Azaltma katsayısı
Δt	: Zaman artımı
A_k, B_k	: Sölu Fourier katsayıları
N	: Örnek nokta sayısı
f	: Frekans
ϕ	: Faz açısı
X	: Genlik
C	: Kompleks genlik
I_{RS}	: İvmelerin karelerinin karekökü
I_{RMS}	: İvmelerin karelerinin ortalamasının karekökü
t_{eff}	: Etkin süre
$SI_{0.2}$	: Housner şiddeti
a_{eff}	: Etkin ivme
I_{EAP}	: Deprem hücum gücü
EPA	: Efektif en büyük ivme
EPV	: Efektif en büyük hız
m	: Kütle
k_e	: Yay katsayısı

c	: Sönüm katsayısı
c_{cr}	: Kritik sönüm katsayısı
x	: Kütlenin zemine göre yerdeğiştirmesi
y	: Zeminin yerdeğiştirmesi
ω	: Sönümsüz doğal açısal frekans
ω_d	: Sönümlü doğal açısal frekans
I	: İmpuls
F	: Kuvvet
S_{a,p}	: Sözde (Psödo) ivme spektrumu
S_{v,p}	: Sözde (Psödo) hız spektrumu
S_{d,p}	: Sözde (Psödo) yerdeğiştirme spektrumu
f_e	: Doğrusal elastik dayanım istemi
f_y	: Akma dayanımı
f_d	: Tasarım dayanımı
u_e	: Doğrusal elastik dayanıma karşı gelen yerdeğiştirme
u_y	: Akma dayanımına karşı gelen yerdeğiştirme
u_d	: Tasarım dayanımına karşı gelen yerdeğiştirme
u_m	: Doğrusal olmayan sistemin en büyük yerdeğiştirmesi
μ	: Süneklik katsayısı
R_y	: Dayanım azaltma katsayısı
C_μ	: Sabit süneklik spektrumu
C_R	: Sabit dayanım azaltma katsayısı spektrumu
L_μ	: İvme duyarlı bölgeden hız duyarlı bölgeye geçişteki C _μ
L_R	: İvme duyarlı bölgeden hız duyarlı bölgeye geçişteki C _R

DEPREM İVME KAYITLARINDAKİ GÜRÜLTÜNÜN YAPISAL DAVRANIŞA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Deprem mühendisliği alanında deprem ivme izlerinin değerlendirilmesi oldukça büyük önem taşımaktadır. Bilgisayar teknolojinin gelişmesine koşut olarak gelişen hesaplama teknikleri, gerek yeni tasarlanacak yapılar için, gerekse mevcut yapıların sismik performanslarının değerlendirilmesi sürecinde zaman tanım alanında yapılacak olan yapısal çözümlemelerin önünü açmış; hatta mevcut deprem yönetmelikleri ve kimi standartlarda dinamik analiz yöntemleri alternatif çözüm teknikleri olarak yer almıştır. Zaman tanım alanında gerçekleştirilecek olan analizlerde bilindiği üzere ya gerçek deprem ivme kayıtları, ya da benzeştirilmiş veya yapay yer hareketleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, gerçek deprem kayıtlarından elde edilen davranış spektrumlarının, 2007 tarihli Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'de belirtilen tasarım spektrumları ile uyuşmaması ve yapay yer hareketlerinden elde edilen davranış spektrumlarının tasarım spektrumlarına uygun olması nedeniyle yapay yer hareketleri üretilmiştir. Bu çalışmanın amacı, yapı sistemlerinin zaman tanım alanında doğrusal ya da doğrusal olmayan çözümlemelerinde kullanılan gerçek ivme kayıtlarının barındırdıkları gürültünün, yapısal davranış üzerinde ne denli etkin olduğunun ve yapısal istemleri hangi düzeyde etkilediğinin incelenmesidir.

Çalışmanın ilk aşamasında, DBYBHY (2007) esaslarınca tanımlanan birinci derece deprem bölgesi ve üç zemin sınıfı için tanımlanan tasarım spektrumları ile uyumlu olarak TARCTHS bilgisayar programı ile 3 adet yapay kuvvetli yer hareketi üretilmiştir. Üretilen yapay yer hareketlerinin gürültülerden arındırılması ve fiziksel açıdan anlamlı olması amacıyla filtreleme ve zaman eksenini düzeltmeleri uygulanmıştır. Diğer yandan gerçek depremler esnasında alınan ivme kayıtlarının barındırdıkları gürültü düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı Kuvvetli Yer Hareketi veri tabanındaki deprem kayıtları incelenmiş ve 6 adet farklı Sinyal/Gürültü oranı (S/G) seçilmiştir. Belirtilen farklı gürültü düzeyleri (*signal-to-noise ratio*), üretilen yapay yer hareketlerine, MATLAB bilgisayar programında geliştirilen bir algoritma yardımıyla eklenerek, gürültü içeriği bilinen yeni ivme izleri elde edilmiştir. Gürültü barındıran yer hareketlerinin yıkıcı nitelikleri hareketlere ait mühendislik şiddetleri belirlenmek suretiyle, Türkiye'de yaşanmış büyük depremlerde kaydedilen yer hareketleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son aşamasında farklı sayıda kata, yapısal rijitliğe ve süneklik düzeyine sahip betonarme yapı sistemlerini temsil etmesi bakımından 0.05 s' den, 5 s' ye kadar değişen, 40 farklı periyot değeri için eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sistemler, gerek tasarım spektrumuna uyumlu üretilen yapay yer hareketi; gerekse farklı düzeyde gürültünün eklenmesiyle elde edilen ivme izleri etkisinde BISPEC bilgisayar programı yardımıyla dinamik analize tabi tutulmuş ve yapısal karşılıklar belirlenmiştir. TSD sistemin çözümlemesinin ardından tek katlı ve iki açıklıklı örnek

bir betonarme çerçeve sistem belirlenmiş ve belirlenen bu sistemin gürültü barındıran yer hareketleri ile gürültüsüz yapay yer hareketi etkisi altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemesi DRAIN 2D-X gerçekleştirilmiştir. Böylece yer hareketlerindeki gürültü içeriğinin örnek yapının davranışına etkisi incelenmiştir. İncelemenin sonunda gürültü düzeyinin yapısal istemleri ne ölçüde etkilediği karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF NOISE CONTENT IN THE RECORDED STRONG MOTIONS IN STRUCTURAL BEHAVIOR

SUMMARY

Within the scope of earthquake engineering, evaluations of earthquake time histories have an important role especially for tectonically active countries. Calculation methods improving with computer technologies pioneered both newly designing structures and time history analysis for determination of the seismic performance of existing structures; even, dynamic analysis methods took part as alternative techniques in available seismic codes and different standards. As it is known, either real earthquake acceleration records, artificial or simulated ground motions are being used in time history analysis. In this thesis, artificial ground motions were generated because of the incompatibility of the response spectra obtained from real earthquake records and design spectra described in 2007 Turkish Seismic Code. Response spectra obtained from artificial ground motions are fitted with design spectra. The aim of this study is to determine the effect of noise in the real acceleration records that are being used for the linear and nonlinear time history analysis of structures.

In the first part of the this study, 3 artificial ground motions compatible with design spectra for three different earthquake zones (Z1, Z2, Z3) and soil classes in 2007 Turkish Seismic Code were generated with TARSCTHS software. So as to remove noise effect from ground motions, baseline corrections were applied to these artificial ground motions. On the otherhand, the 6 different noise levels (*Signal to Noise Ratio*-SNR) of the real earthquake acceleration records obtained from strong motion database of Republic of Turkey Prime Ministry Disaster and Emergency Management Presidency Earthquake Department were determined. These noise levels were added to artificial ground motions with algorithm developed by MATLAB. By defining engineering intensities, destructive status of noise content in ground motions were compared with real accelograms recorded during huge earthquakes in Turkey. In the last part of this study, to represent structural systems of different stories, rigidity, and ductility, 40 single degree of freedom systems with different periods from 0.05 s to 5 s were analyzed by BISPEC program under the effect of 723 artificial ground motions. After that, in this study, to a reinforced concrete (RC) frame system with two spans and one storey was modeled and accomplished nonlinear time history analysis under the artificial ground motions. At the end of the study, the effect of noise level to structures was presented comparatively.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Bu araştırma, yapısal çözümlemelerde kullanılmakta olan gerçek deprem ivme kayıtlarındaki gürültü oranlarının belirlenmesinin yanı sıra, deprem kayıtlarındaki gürültünün, gürültü düzeyinin ve frekans içeriğinin farklı karakteristik özelliklere sahip yapı sistemlerini temsil eden eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli (TSD) Sistem'in sismik davranışına olan etkilerinin araştırılmasını amaçlamaktadır. Böylece deprem veri bankalarından ham olarak elde edilebilen gerçek deprem ivme kayıtlarının, yapısal çözümlemelerde ham veri olarak kullanılmasının ne ölçüde gerçekçi olduğunu tespit etmek üzere bir açıklık sağlayacağı öngörülmektedir.

1.2 Literatür Özeti

Deprem mühendisliğinin araştırma konuları kapsamında özellikle son 30 yıldır, hem gerçek deprem kayıtları, hem de yapay olarak üretilen deprem yer hareketleri üzerine çok sayıda çalışma yapıldığı bilinmektedir. Özellikle deprem mühendisliği açısından, deprem ivme kayıtlarının yapısal çözümlemelerde büyük önem oluşturması nedeniyle, bu konu üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak, gerçek deprem ivme kayıtlarındaki gürültünün yapısal çözümlemelere etkisi üzerine yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu bilinmektedir.

Gerçek deprem ivme kayıtlarının davranış spektrumlarının, yönetmeliklerde belirlenen tasarım spektrumları ile uyumlu olmaması, deprem kayıtlarının ölçeklenmesi üzerine çalışmaların önem kazanmasına ve gelişmesine neden olduğu kadar, tasarım spektrumlarına uyumlu yapay yer hareketlerinin üretilmesi konusundaki bir çok çalışmanın nedeni olarak görülmektedir.

Housner (1955), bir ivme kaydının, zamana karşı, çok sayıda rastgele tekil ivme darbelerinin birleşimi ile oluştuğunun varsayıldığını belirtmiştir. Hudson (1956), ivme kayıtlarının davranış spektrumlarını belirlemek için çeşitli yöntemleri karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, davranış spektrumlarının yer hareketinin etkisi altında

yapısal davranışı belirlemesinin yanı sıra, hareketin çeşitli karakteristik özelliklerini belirlemede de yararlı olduğunu belirlemiştir. Berg ve Housner (1961) ise ElCentro 1934, ElCentro 1940, Olympia 1949 ve Taft, California 1952 depremlerinin ivme kayıtlarını bilgisayar yardımıyla integre ederek hız ve yerdeğiştirme değerleri elde etmiştir. Housner (1947), Hershberger (1955), Brady (1966), Boyce (1970) gibi birçok araştırmacının çalışmasında deprem ivme kayıtlarına uygulanan sıfır temel çizgisi düzeltmesinin genellikle parabolik şekilde alındığı ve Hudson ve diğ. (1969)'da ise birinci dereceden daha fazla dereceli eğrilerin temel çizgisi düzeltmesinde, fiziksel bir anlamı olmamasına rağmen, genellikle kayıtlarda parabolik temel çizgisi düzeltmesi kullanıldığının belirtildiği Trifunac (1971)'de yer almaktadır. Aynı çalışmada, deprem ivme kayıtlarından en büyük bilgiyi elde etmek için, kayıtların sayısallaştırılması ve işlenmesi için en uygun yöntemlerin geliştirilmesi gerektiğini belirtmekle birlikte, çalışmada sıfır temel çizgisi düzeltmesi (zero baseline correction) yöntemleri üzerine değinilmiştir. Bu amaçla, standart temel çizgisi düzeltmesi için, sayısal ivme verilerinin yüksek geçirimli filtrelenmesine dayanan yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemin parabolik temel çizgisi düzeltmesinden farklı olarak, kaydın uzunluğundan bağımsız frekans transfer fonksiyonlarını iyi tanımladığı belirtilmektedir. Ayrıca çalışmada deprem ivme kaydındaki kaymaları düzeltmek amacıyla yapılan temel çizgisi düzeltmesi yöntemini içeren bir akış şeması verilmiştir. Yapay yer hareketleri üretilmesi amacıyla, Trifunac (1971), Tsai (1972) gibi bir çok çalışmada çeşitli yöntemler önerilmektedir. Newmark ve diğ. (1973)'de en büyük yatay ivme değerinin depreme dayanıklı yapı tasarımında özellikle nükleer santrallerin tasarımında, genel olarak yer hareketi zaman geçmişlerinin veya davranış spektrumlarının ölçeklenmesi amacıyla kullanıldığı belirtilmektedir. Ayrıca çalışmada, en büyük ivme (**Peak Ground Acceleration-PGA**), hız (**Peak Ground Velocity-PGV**) ve yerdeğiştirme (**Peak Ground Displacement-PGD**) değerleri, tasarım amacıyla oluşturulan elastik davranış spektrumunda kullanılmıştır. Bakun ve diğ. (1978), büyüklükleri fazla olmayan iki depremin P dalgası üzerindeki direktivite etkisini göstermesinin ardından, bu çalışmanın yüksek frekanslı ivmelerdeki direktivite etkisini göstermesi açısından ilk çalışmalardan olduğu belirtilmektedir. Boore (1980), Kuzey Amerika'nın batısındaki depremlerin kuvvetli hareket verilerinden en büyük ivme, hız ve yerdeğiştirme değerlerini, fay yüzeyine uzaklığının fonksiyonu olarak belirleyebilmek amacıyla seçilmiş farklı büyüklük değerlerinde üç grup oluşturmuştur. San Fernando

depreminin içinde bulunduğu gruptan elde edilen sonuçlarda, büyük yapıların temelinde kaydedilen ile küçük yapıların temelinde belirlenen yatay ivmenin en büyük değeri ile, en büyük hız ve yerdeğiştirme değerlerinde istatistiksel açıdan önemli farklılıklar gözlenmiştir. Büyük yapıların temelinde elde edilen en büyük ivme değeri küçük yapılarda kaydedilene göre daha az olmasına rağmen, en büyük hız ve yerdeğiştirme değerleri daha fazla olarak belirlenmiştir. Zemin açısından ise San Fernando depreminde kaya zeminlerde kaydedilen ile daha yumuşak zeminlerdeki en büyük yatay ivme değerleri arasında pek fazla farklılık gözlenmemesine rağmen, zayıf zemin sınıfına sahip bölgelerde en büyük yatay yer değiştirme ve hız değerlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Deprem kaydının en büyük ivme, yerdeğiştirme ve hız değerlerinin uzaklıkla değişimi, regresyon eğrileri olarak çalışmada verilmiş ve yakın bölgelerde hasar miktarının daha fazla olacağı tespit edilmiştir. Aynı yıl yayınlanan çalışmada Boore (1980), önceki çalışmaya yeni veri olarak, farklı büyüklüklere sahip yedi adet deprem ekleyerek, regresyon eğrilerini geliştirmiştir. Hasgür (1982), deprem benzetimi için rastgele titreşim kuramına dayalı stokastik harmonik model fiziksel spektrum ile bağlantılı olarak üretmiştir. Çalışmada, durağan dışı 64 ivme izi üretilmekle birlikte, W.D. Mark tarafından önerilen stokastik durağan dışı fiziksel spektrum uygulanarak, her yatay ivmenin; zamana ve frekansa göre değişen spektrumu ile, güç değişimleri elde edilmiştir. Ayrıca, yapay yer hareketlerinin üretilmesi ve kullanılmasının nedenleri de çalışmada yer almaktadır. Hedef spektrumlara uygun yapay yer hareketi Lilhanand ve Tseng (1988), tarafından geliştirilmiş olan yöntemden yararlanılarak elde edilmiştir. Hedef spektrum olarak, Katayama yöntemiyle zaman alanında çok sönümlü karşılık spektrumları kullanılmıştır. Sonuç olarak, İstanbul ve çevresinde yıllık, yıllık maksimum büyüklüğün ortalaması ve 85 yıllık bir periyotta meydana gelmesi beklenen büyüklük değerleri saptanmış olup, bu bölgede yapılacak yapılar için alınması gerek deprem ivme değeri belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada belirlenen azalım eğrilerinin Türkiye’de elde edilen verilere uyumlu olduğu saptanmıştır. Yapay yer hareketi üretimi kapsamında, yöntemden kaynaklanan olumsuzluklara dikkat çekilmiş olup, ivme spektrumu için uzun periyotlarda tam yakınsama sağlandığına dikkat çekilmiştir. Boatwright (1982), Livermore depremi ana şoku ve artçı şokların kuvvetli hareket kayıtlarının, azimut veya istasyonun konumu ile oluşan sistematik değişimleri incelenmiştir. Ana şok ve artçı şok için, en büyük ivme değerlerinin episentral azimutla değişiminin farklı olduğu tespit edilmiştir. Ana şok

ivme değerleri güneye, artçı ŗok ise kuzey batıya doğru daha büyük değerler almaktadır. Aynı istasyondan elde edilen ivme değerlerindeki zemin etkilerinin giderilmesi amacıyla ivme değerlerinin oranlanması iŗlemi, kaynak direktivitesinin, en büyük ivme değerlerinde 10 kat kadar toplam deęiŗime neden olduğunu gösterir. Bu deęiŗim  boyutta incelendiğinde, kuvvetli direktivite etkisinin, tek yönlü kırılmaların sonucu olduğu anlaŗılmıŗtır. Kaydedilen depremlerin RMS (*Root Mean Square*) ivme değeri, en büyük hız değeri ve yayılan enerjinin akısı belirlenerek, RMS ivme değerindeki deęiŗim ile en büyük ivme değerindeki deęiŗim arasındaki iliŗki incelenmiŗtir. Bu analiz için, Boatwright (1982) tarafından önerilen deterministik model ve Hanks ve McGuire'ın modeline yakın bir stokastik model kullanılarak elde edilen ivme dalga ŗeklinin teorik modelinden yararlanılmıŗtır. En büyük hız değerleri ile yayılan enerjinin akı değeri arasında bir iliŗkinin olduğu alıŗmada belirtilmiŗtir. Boore (1983), kuvvetli hareket sismolojisinin yıllar içindeki geliŗimi üzerine bilgiler içermektedir. alıŗma, veri toplama ve veri iŗlem konusunda genel bir bakıŗ ile baŗlayıp, kuvvetli hareket verilerinin ampirik zmlmeleri zerine alıŗmalar ile devam etmektedir. Bu ampirik alıŗmalar, kuvvetli hareket kayıtlarının karakteristiklerinin araŗtırılması ile birlikte azalım iliŗkilerini içermektedir. Ayrıca alıŗmada, kuvvetli yer hareketi tahmini için kaynak, yayılma yolu ve zemin davranıŗı gibi gerekli parametreler üzerine durulmuŗtur. Trifunac (1989), deprem ivme kayıtlarının davranıŗ spektrumlarını düzeltmek amacıyla iterasyona dayanan bir algoritma nerilmıŗtir. Geliŗtirilen algoritma, hedeflenen tasarım spektrumunun ŗekli ve genliği ile eŗleŗecek ŗekilde deprem ivme kaydını modifiye etmeye dayanmaktadır. Ohsaki (1991)'nin alıŗması, spektral analiz konusunda ayrıntılı bilgi içermekle birlikte, ayrıca yer hareketlerinin karakteristiklerinin belirlenmesi için de eŗitli zmlme yöntemlerini kapsamaktadır. Bunun yanı sıra, FORTRAN programlama dilini kullanarak, yer hareketlerinin geniŗ bir perspektifle incelenmesi üzerine program örnekleri alıŗmada bulunmaktadır. Hasgür (1991), yapıların tasarlanması aŗamasında zemin hareketinin yıkıcılığının belirlenmesi amacıyla, ivmelerin karelerinin karekökü (I_{RS}), ivmelerin ortalamasının karelerinin karekökü (I_{RMS}), etkin ivme (a_{eff}), Housner ŗiddeti ($SI_{0,2}$), etkin süre (t_{eff}) gibi bazılarının sadece kuvvetli hareket özellikleri ile ilgili olduğu ve bazılarının hem kuvvetli yer hareketinin özellikleri ile, hem de yapının davranıŗı ile tanımlanan, eŗitli parametrelerin önerildiği belirtilmektedir. Aynı kapsamda, depremin süresini, etkin ivmesini ve Housner ŗiddetini birleŗtiren Deprem Hücum

Gücü (I_{EAP}) parametresini çalışmada önermiştir. Çalışmada kullanılan deprem kayıtlarının içinde Katayama yöntemi ile benzeştirilmiş yer hareketinin bulunması, hasar yapma gücü açısından gerçek deprem kayıtları ile karşılaştırma yapmayı sağlamaktadır. Ayrıca çalışmada, El Centro NS (1940) ve Managua (1972) depremlerinin de mühendislik şiddetleri belirlenmiş ve Türkiye'deki depremlerin mühendislik şiddeti değerleri ile karşılaştırılmıştır. Özellikle bu iki depremin ivme ve etkin ivme değerlerinin fazla olmasına rağmen, diğer şiddetlerinin düşük değerlerde olması bu depremlerin yıkıcı nitelikte olmadığını ve darbe tipi deprem sınıflandırmasında olduğunu göstermiştir. Çalışmada, dinamik incelemeler kapsamında, perde-çerçeve taşıyıcı sistemli çok katlı yapının ve kayma tipi davranış gösteren bir toprak barajın spektrum çözümlemesi yapılmıştır. Taşkın ve Hasgür (1994), İstanbul ve çevresinde $200 \times 300 \text{ km}^2$ 'lik bir alan içerisinde 1901-1986 yılları arasında meydana gelen depremlerin kaynak tiplerini belirleyerek, bu depremlerden elde edilen veriler ve Estava azalım ilişkisi kullanılarak söz konusu bölge için sismik risk analizi gerçekleştirilmiştir. Kramer (1996), çalışmasında geoteknik deprem mühendisliği üzerine geniş bilgiler vermekle birlikte, kuvvetli yer hareketi genel özellikleri, yer hareketi parametreleri ve sismik dalgalar üzerine bilgiler içermektedir. Ayrıca, belirli bir bölgedeki deprem tehlikesini nicel olarak hesaplamayı sağlayan sismik tehlike analizi üzerine açıklamalar mevcuttur. Kuvvetli yer hareketinin ölçümünden başlayarak, verilerin işlenmesi, yer hareketi parametreleri, spektral analiz üzerine bilgilerin yanı sıra, gerçek deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi, zaman ve frekans tanım alanında yapay yer hareketi üretimi ve yapay yer hareketi üretiminde Green fonksiyonu teknikleri üzerine geniş bir çerçevede açıklamalar içermektedir. Cha ve diğ. (1997), faz fark spektrumu ile zarf eğrisi arasındaki ilişki kullanılarak yapay deprem hareketi üretmeyi amaçlamıştır. Faz fark dağılımlarının yer hareketinin ana özelliklerine sahip olması çalışmanın ana fikri olarak söylenebilir. Bu amaçla, çeşitli zarf eğrileri kullanılarak faz farkının dağılımının, bir yapay depremin şekline benzer olduğu gösterilmiştir. Ohsaki (1984) ve Jennings (1968) tarafından önerilen zarf eğrileri kullanıldığında, faz fark spektrumu, zarf eğrisi ve zaman geçmişi birbirini ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Fakat iki maksimumlu bir zarf eğrisi kullanıldığında, zarf eğrisi ve faz fark spektrumu benzerlik gösterirken, zaman geçmişi ile farklılık göstermektedir. Faz fark spektrumu ve dalga şeklinin zarf eğrisi arasındaki bu benzerlikler, çalışmada tam olarak açıklanamamıştır. Park ve Chang (1997), faz fark dağılımlarını

kullanarak, yapay yollarla deprem yer hareketi üretmiştir. Zaman geçmişinin üretilmesi için ilk önce kaydın hızlı Fourier dönüşümü alınmış ve faz farklarının rastgele dağıldığı görülmüştür. Fakat ardışık iki frekansın faz farklarının dağılımı incelendiğinde, normal dağılıma yakın bir dağılım olduğu görülmüştür. Daha sonra Kanai-Tajimi filtresi kullanılarak zaman geçmişleri türetilmiştir. Elde edilen kayıtların tasarım spektrumu, Reg. Guide1.6 standartında tanımlanan tasarım spektrumuna iterasyonlarla uygun hale getirilmiştir. Üretilen 500 adet zaman geçmişinin güç yoğunluk spektrumlarına bakıldığında hepsinin VanMarcke'nin güç yoğunluk spektrumu ile uyumlu olduğu saptanmıştır. Güç yoğunluk spektrumu, Kanai-Tajimi ile üretilmesine rağmen, sonuçlar tasarım spektrumu ile uyumlu olduğundan Vanmarcke'nin güç yoğunluk spektrumu ile de uyumludur. Papageorgiou (2000), kuvvetli yer hareketi benzetimi ve çözümlemesi üzerine bilgiler içermektedir. Çalışmada kuvvetli yer hareketi sentezleme teknikleri kapsamında, stokastik ve kinematik olmak üzere iki tür yaklaşımdan bahsedilmektedir. Ayrıca deprem kaynak modeli için kullanılan Spesifik Barrier Model üzerine açıklamaları da içermektedir. Çalışmanın sonucu olarak, litosferdeki dağılma etkilerinin (scattering effects) yer hareketi üretiminde önem oluşturduğu belirtilmiştir. 1988 Saguenay depremi kullanılarak, benzetimin geçerliliği karşılaştırılmıştır. Zaslavsky ve diğ. (2000), Ölü deniz rift sisteminde Parsa bölgesinde belirlenen altı yerde, jeolojik ve topoğrafik etkilerden kaynaklanan büyütmelerin tanımlanması için, çevre gürültüsü ve depremlerin orta ve zayıf hareketlerini kullanmıştır. Bu amaçla çalışmada kullanılan üç yöntemden biri olan Nakamura yönteminin esası, mikrotremör ölçümlerinin yatay ve düşey spektral oranlarının hesaplanmasına dayanmaktadır. Nakamura zemin davranışının gürültünün yatay bileşeninin spektrumunun, düşey bileşen spektrumuna oranı ile tahmin edilebileceğini ifade etmiştir. Stein ve Wyssession (2002), altıncı bölümde yer gürültüsü (Earth Noise) başlığı altında, deprem kayıtlarında depremin esas özelliklerini belirleyen kayıttan önce gözlenen öncü gürültüler (pre-signal noise) üzerine bilgiler içermektedir. Bu gürültülere, ay ve güneş hareketlerinden kaynaklı etkilerden başlayarak, günlük trafik etkilerine kadar birçok etmenin neden olabileceğinin üzerinde durulmuştur. Zare (2004), moment büyüklüğü 6.5 olan, 26 Aralık 2003'de meydana gelen Bam depremi üzerine bilgiler içermektedir. Bölgenin sismotektoniği kapsamında, odak mekanizması, fay çizikleri, kaynak parametreleri, sismik boşluklar ve artçı şoklar üzerine bilgiler içermektedir. Ayrıca, Bam

depreminin 22 istasyonda kaydedilen kuvvetli hareket kayıtları filtrelenerek, tüm bileşenlerin en büyük ivme değerleri belirlenmiştir. Aynı zamanda sinyal/gürültü oranları belirlenerek, hızlı fourier dönüşümü gerçekleştirilmiştir. H/V oranları belirlenerek, zemin hakim frekansı saptanmış ve zeminin depreme tepkisini sınıflandırabilmeyi sağlamıştır. Ayrıca kuvvetli hareket kayıtlarının azalimleri çalışmada tespit edilmiştir. Erdik (2004), Türkiye'deki, kuvvetli hareket toplama, verilerin işlenmesi ve kullanımı üzerine bilgiler içermektedir. Özellikle ulusal kuvvetli hareket şebekesi başlığı altında, 1973 yılında kurulan Deprem Araştırma Dairesi'nin kayıtçı çeşitleri ve özellikleri belirtilmiştir. Ayrıca İstanbul acil müdahale ve erken uyarı sistemi üzerine çalışmalar hakkında bilgi içermesinin yanı sıra, yapısal monitörleme, kayıtçıların test edilmesi ve kalibrasyonu, veri erişilebilirliği gibi birçok konuya değinilmiştir. Kuvvetli hareket verilerinin işlenmesi kapsamında ise, verilerin filtrelenmesi, zaman eksenine göre düzeltilmesi, ivme kaydının integrasyonu ile hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişlerinin belirlenmesi konularına da çalışmada yer verilmiştir. Zhao ve Zhang (2006), hedef spektrumla uyumlu olmasının yanı sıra, buna ek olarak öngörülen bir en büyük hız değeri ile de uyumlu olacak bir yapay deprem yer hareketi üretmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada önerilen zaman alanında dar bantlı zaman geçmişlerinin üst üste bindirilmesi yöntemi ile, deprem ivme hareketinin üretilmesinde hedef spektrum ile uyumluluğunun geliştirilmesinin yanı sıra, öngörülen en büyük yer hız değerinin elde edileceği ilk ivme zaman geçmişini de düzenler. Sonuç olarak, yapay deprem kaydı için kullanılan Fourier genlik spektrumunun geliştirilmesi ile makalede önerilen üst üste bindirme yöntemi birlikte kullanılmıştır. Çalışmada verilen sayısal örnekler önerilen metodun yüksek hassasiyetli olduğunu göstermektedir. Çolak ve diğ. (2006), yer değiştirme kayıtlarındaki gürültüyü en aza indirebilmek amacıyla, Daubechies Dalgacık dönüşümünü kullanan ve yüksek frekans bantlarında enerji değişimini esas alan bir algoritma önermiştir. Süleyman Demirel Üniversitesi, Deprem Araştırma Merkezinin 3 bileşenli sismometrelerinden elde edilen 04.02.2002'de Sultandağ/Afyon'da meydana gelen artçı şok üzerinde P ve S dalgalarının tespitinin önerilen algoritma ile mümkün olacağını belirtilmiştir. Bayrak ve diğ. (2007), 1900-2005 yılları arasında Türkiye'deki depremlerin Arias şiddeti değerleri, Yunanistan ve Ege adaları için Tselentis ve diğ. (2005), tarafından geliştirilen deneysel ilişki kullanılarak hesaplanmış ve Gumbel uç değerler yöntemi ile %90 olasılıkla çeşitli geri dönüş periyotları için Arias şiddetine dayalı sismik risk haritaları hazırlanmıştır. Sonuç

olarak hesaplanan değerlerin, Türkiye'nin tektoniği ile uyumlu olduğu ve geri dönüşüm periyodu arttıķķa, Arias şiddetlerinin artmakta olduğu çalışmada belirtilmiştir. zdemir ve Fahjan (2007), PEER kuvvetli yer hareketi veri bankasından elde edilen deprem ivme kayıtları, DBYBHY (2007) tasarım spektrumuna göre zaman ve frekans tanım alanında leklendirmiştir. Her iki yöntemle ölçeklendirilen deprem ivme kayıtlarının yapısal çözümlemelere olan etkisinin araştırılması amacıyla, hem zaman tanım alanında, hem de frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiş kayıtların farklı taşıyıcı sistem davranış katsayıları (R) için doğrusal elastik olmayan ivme davranış spektrumlarının ortalamaları karşılaştırılmalı olarak ve sabit sistem davranış katsayısı kullanılarak yer değiştirme süneklik taleplerinin ortalamaları çalışma kapsamında verilmiştir. Sonuç olarak, frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak elde edilen kayıtlar, zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi uygulananlara göre tasarım spektrumu ile daha uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Akkar ve Bommer (2007), deprem ivme kayıtlarının en büyük hız değeri için, tahmin denklemlerinin, en büyük ivme ve davranış spektrumu değerlerinin tahmini için geliştirilen yöntemler ile karşılaştırıldığında fazla olmadığını belirtmektedir. Bu kapsamda, çalışma, sismik olarak aktif olduğu bilinen orta Asya ve Avrupa'daki kuvvetli hareket veri tabanındaki kayıtları kullanarak, en büyük hız değeri tahmini için yeni denklemler türetmiştir. Ayrıca, türetilen denklemlerin, Avrupa için daha önce geliştirilmiş denklemler ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Tuğsal ve diğ. (2007), özellikle Kuzey Anadolu Fay hattı üzerinde meydana gelen $M \geq 6$ olan ve yıkıcı özellikte depremlerin filtrelenip, kalibre edilerek ve altı adet mühendislik şiddetleri hesaplanarak 25 farklı kuvvetli yer hareketi seçilerek deprem toplumu oluşturulmuştur. Tek bir yapısal sönüm oranı için, pekleşme oranı, dayanım azaltma katsayısı ve süneklik oranları için farklı değerler alınarak, 134 farklı periyota sahip eşdeğer TSD sistemin çift doğrulu davranış modeli varsayılarak doğrusal olmayan dinamik analizi yapılmış ve doğrusal olmayan yerdeğiştirme istemleri hesaplanmıştır. Çalışmada, sonuç olarak alınan parametrelerin değişimi ile TSD sistemin davranışındaki değişim üzerine açıklamalar getirilmiştir. Fahjan (2008), deprem ivme kayıtlarının, tam artımsal yöntem ile elde edilen davranış spektrumlarını elde etmesinin ardından, zaman tanım alanında ölçekleme katsayılarını belirleyerek, tasarım spektrumlarına uygun tepki spektrumlarını elde etmiştir. Bu alışma, belirli bir bölgedeki tasarım ivme spektrumuna uygun deprem ivme kaydının seçilmesini ve kaydın ölçeklendirilmesini

gerek teorik, gerekse uygulama örnekleri ile açıklamıştır. Hasgür ve diğ. (2009), doğrusal olmayan dinamik çözümleme kapsamında taşıyıcı elemanların doğrusal olmayan davranış halinde çift doğrulu çevrim modeli ve pekleşme oranının (α), %3 olduğu kabulü ile, çerçevelerden oluşan taşıyıcı sisteme sahip altı adet betonarme konut binası 7 adet benzeştirilmiş yer hareketi etkisi altında çözülmüştür. Yapısal modellemede dolgu duvarlarının bulunduğu durum ile bulunmadığı durum için iki ayrı çözümleme yapılmış, iki model arasındaki karşılaştırma sonucunda, dolgu duvarlarının varlığının rijitliği arttırdığı belirtilmiş olup, taşıyıcı sistem elemanlarının mevcut eğilme ve kesme kuvveti kapasiteleri ile yerdeğiştirme ve kesme kuvveti istemleri karşılaştırıldığında mevcut yapının belirlenen deprem toplumu etkisinde en az orta hasar göreceği tespit edilmiştir. Akkar ve Boore (2009), deprem ivme kayıtlarındaki uzun periyotlu gürültü içeriğinin, ivme kaydının taban çizgisindeki (baseline) değişimlerden kaynaklı olduğunu belirtmekle birlikte, bu değişimlerin, yerin deprem anındaki gerçek hareketinden (bölgesel kalıcı deformasyon, devrilme ve dönme) kaynaklı olabilmesinin yanı sıra, aleltiler etkiler veya analog kayıtların sayısallaştırılması işlemi ile de meydana gelen etkilerden kaynaklabileceğine dikkat çekmektedir. Çalışmada, ivme kayıtlarındaki uzun periyotlu gürültü içeriğinin, hız zaman geçmişinde doğrusal bir davranışa neden olduğu gözlenmiştir ve çalışmanın esasını bu gözlem oluşturmaktadır. Yararlı spektral yerdeğiştirmelerin, periyot aralığının tanımlanmasında yardımcı olabilecek, Monte Carlo zaman eksenine göre düzeltme yöntemi, çalışmanın esas katkısını oluşturmaktadır.

2. DEPREMLER VE KUVVETLİ YER HAREKETİNİN ÖZELLİKLERİ

2.1 Depremler

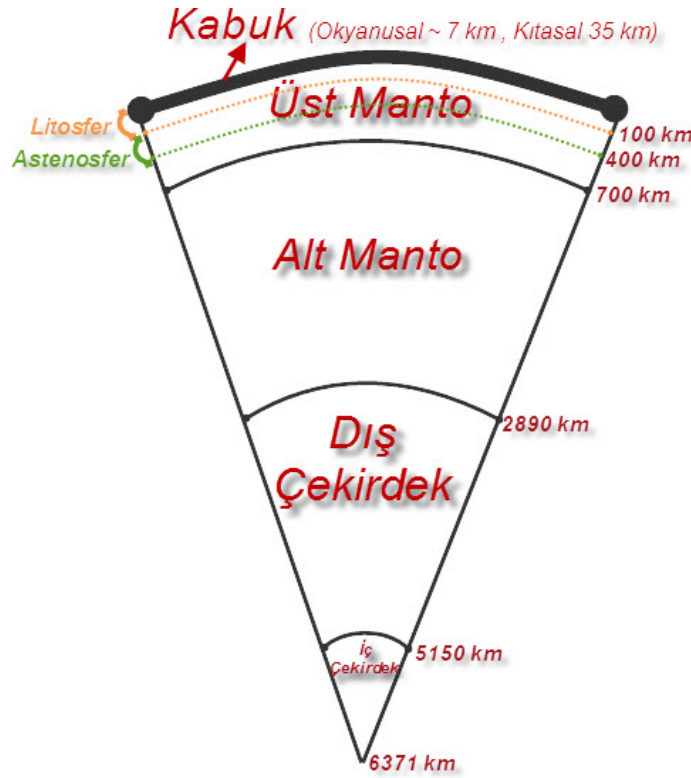
Deprem kayıtlarının incelenmesi öncesinde, depremin oluşumu hakkında bilgi edinmek yararlı olacaktır. Bu bölüm kapsamında yerin içyapısı üzerine yapılacak bilgilendirmenin ardından, yerkürenin hareketlerine açıklık getiren Levha Tektoniği (Plate Tectonics) kuramı hakkında bilgi verilecektir. Ayrıca, depremlerin oluşumunu ve faylanmayı açıklayan Elastik Geri Sekme Teorisi (Elastic Rebound Theory) ve depremler sonucu yayılan sismik dalgalar, deprem kayıtlarının incelenmesi öncesi bilinmesi gerekli konular arasındadır. Bu bölüm kapsamında açıklanan bilgiler depremlerin daha iyi tanınması hususunda faydalı olacaktır.

2.1.1 Yer kürenin yapısı ve levha tektoniği kuramı

Yerküre genel olarak Yer Kabuğu, Manto ve Çekirdek olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır (Şekil 2.1). Yerkürenin en dış kısmını oluşturan katı kabuk karalarda, ortalama olarak 35 km kalınlığında olup, bu değer 70 km kalınlığa kadar varabilmektedir. Okyanus tabanında ise kabuk kalınlığı 8-10 km civarındadır. Yerkabuğunun kimyasal ve mineralojik açıdan değişik özelliklere sahip olduğu bilinmekle birlikte, genel olarak “sial” ve “sima” adı verilen iki kısımdan oluştuğu söylenebilir. Granitik kısım olarak da adlandırılan sial kısmı genellikle yoğunlukları düşük granit, kumtaşı, kireç taşı gibi kayaçlardan oluşmaktadır. Sial kısmının altında ise sima ya da bazaltik kısım olarak adlandırılan daha yüksek yoğunluklu bazalt cinsinden kayaçlardan oluşan katman yer almaktadır. Okyanusal Kabuk, granitik katmana sahip değildir ve bu nedenle de yoğunluğu kıtasal kabuğa göre daha yüksektir. Okyanusal Kabuğun yoğunluğu yaklaşık 3 g/cm^3 iken, kıtasal kabuğun yoğunluğu ise 2.7 g/cm^3 olarak bilinmektedir (Ketin, 1998).

Yerkabuğu ile Manto arasında, Mohorovicic süreksizliği olarak adlandırılan kimyasal ve fiziksel özelliğin değiştiği bir süreksizlik yüzeyi yer almaktadır. Bu süreksizlik yüzeyinin altında cisimlerin yoğunluğunda ve sismik P hızlarında yükselme meydana gelmektedir. Manto tabakası içinde 35 km’den 700 km’ye kadar

olan kısım üst Manto, 700 km ile 2890 km arası ise Alt Manto olarak sınıflandırılmıştır. Yerkabuğunun altında Üst Mantonun yaklaşık 100 km'lik bir kısmı da katı yapıya sahiptir. Kabuk ile Mantonun katı yapıya sahip bu kısmı birlikte Litosfer olarak adlandırılır ve yumuşak ve akıcı Astenosfer katmanı üzerinde yer almaktadır. Bileşimi yönünden Üst Mantodan farklılık gösteren Alt Manto, silikatların ve oksitlerin daha yoğun olan polimorf türlerinden meydana gelmiştir. Manto bölgesi deniz tabanı yayılmaları, kıtaların kayması, kıvrımlı dağ oluşumları, volkanik olaylar, büyük depremler gibi yer kabuğunda meydana gelen büyük olayların oluşumuna neden olan enerjilerin ve kuvvetlerin kaynağı durumunda olduğu bilinmektedir.

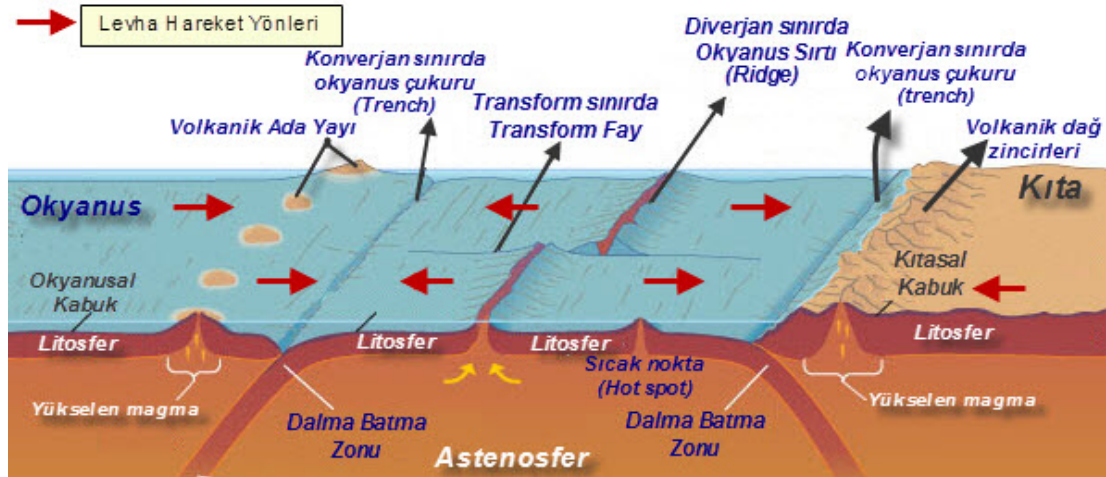


Şekil 2.1 : Yerkürenin katmanları (Bott, 1982).

Manto bölgesinin altında 2890 km ile 6371 km arasında Manto katmanından iki kat daha yoğun olan yerkürenin Çekirdek kısmı yer almaktadır. Çekirdeğin 5150 km'ye kadar olan kısmı Dış Çekirdek, 5150 ile 6371 km arası ise İç Çekirdektir. Alt Mantodan, Dış Çekirdeğe geçiş de cisimlerin fiziksel ve bileşimsel özelliklerinde önemli değişiklikler meydana gelmesi nedeniyle Manto ile Çekirdek arasında Wiechert-Gutenberg süreksizliği adı verilen bir geçiş sınırına neden olmaktadır. Bu süreksizlik sınırında, yoğunluk artarken, sismik P dalgalarının hızında ise düşüş görülmektedir. S dalgaları ise dış çekirdeğin yapısının sıvılaşmış özellik göstermesi

nedeniyle bu sınır bölgesinden geçememektedir. Dış Çekirdeğin ana maddesinin ergimiş haldeki demir-nikel karışımı olduğu, buna karşılık İç Çekirdeğin ise kristal halde demir-nikel karışımından oluştuğu tahmin edilmektedir (Ketin, 1998).

Katmanlı bir içyapıya sahip olan yerkürenin hareketlerini esas alan Levha Tektoniği kuramına göre katı kayaçlardan oluşmuş olan rijit Litosfer, Avrasya, Pasifik, Avustralya, Kuzey Amerika, Güney Amerika, Afrika ve Antartika olmak üzere yedi büyük levhadan ve Nazca Kokos, Filipinler gibi birçok alt levhacıktan oluşmaktadır. Bu levha ve levhacıklar ise yumuşak ve akıcı bir yapıya sahip Astenosfer tabakası üzerinde hareket etmektedir. Dünya üzerindeki depremlerin merkezüssü dağılımlarına bakıldığında, depremlerin bu levhaların sınırları boyunca yoğunluk oluşturduğu görülmektedir. Bu durum levhaların sürekli hareket halinde olduğunun bir göstergesidir. Levhaların hareketleri göz önüne alınarak levha sınırları açılma (divergent) levha sınırları, yaklaşma (convergent) levha sınırları ve dönüşüm (transform) faylı sınırlar olarak üç şekilde açıklanabilir. Şekil 2.2’de levha hareketleri ve bu hareketler sonucunda oluşan yapılar görülmektedir (Ketin, 1998).



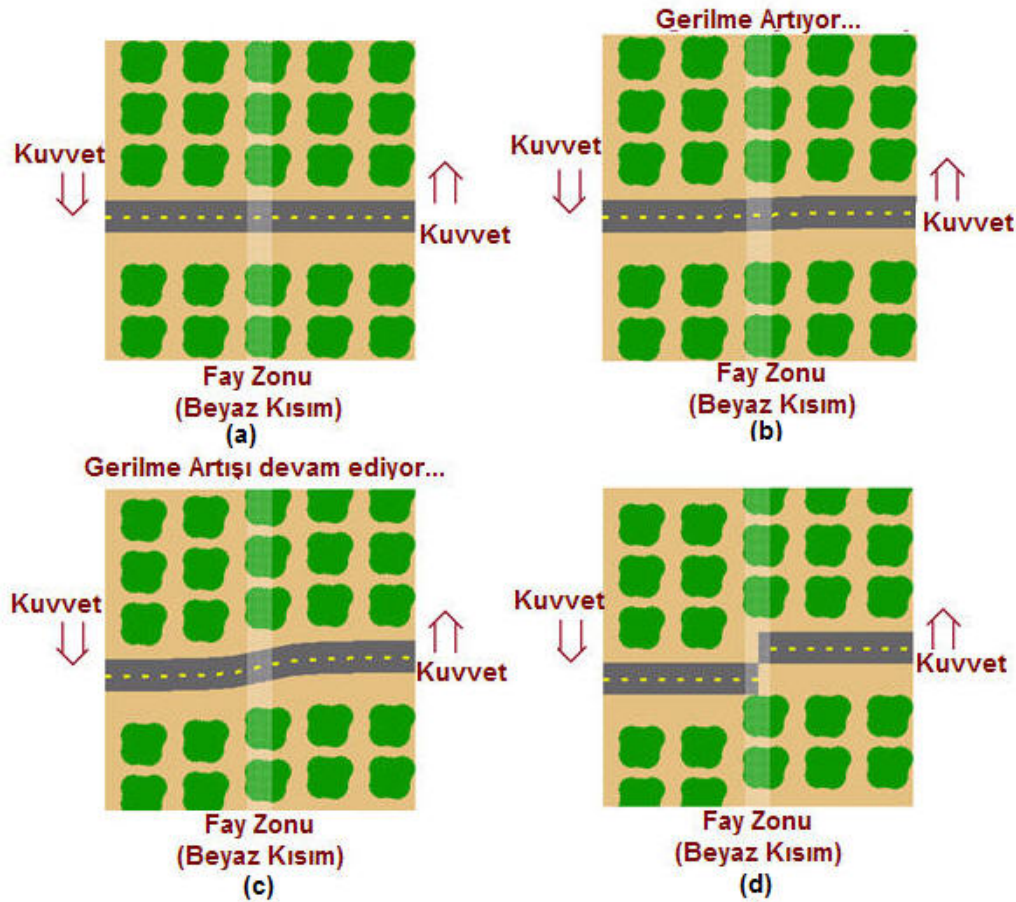
Şekil 2.2 : Litosferdeki levha hareketleri [Url-1].

Açılma levha sınırları boyunca birbirinden uzaklaşan levhalar arasındaki boşluk, astenosferden gelen sıvı magma ile dolar ve uzaklaşan levhaların kenarlarına eklenerek yeni okyanus tabanını oluşturur. Bu sıvı magmanın yayılma merkezinde birikmesiyle de okyanus sırtı adı verilen yapılar meydana gelmektedir. Yakınlaşma levha sınırları ise birbirine doğru hareket eden iki levha arasında oluşmaktadır. Yakınlaşan levhalar, iki okyanusal levhanın ya da bir kıtasal ve bir okyanusal levhanın birbirine doğru hareketi ile dalma-batma zonlarını (subduction zones) oluştururken, iki kıtasal levhanın birbiri ile karşılaşmasında çarpışma (collision)

meydana gelmektedir. Dönüşüm levha sınırları ise iki levhanın yatay olarak birbirlerinin yanından kayması ile oluşmaktadır (Ketin, 1998).

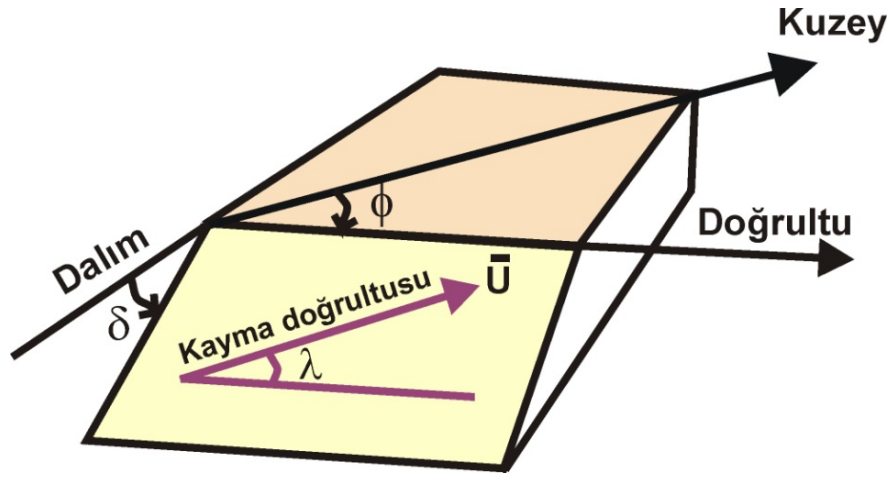
2.1.2 Reid elastik kırılma teorisi ve sismik dalgalar

Fayların ve faylanmaya bağlı olarak meydana gelmekte olan depremlerin oluşumu H.F. Reid tarafından 1911 yılında elastik kırılma teorisi (Elastic Rebound Theory) ile açıklanmaktadır. Teori Şekil 2.3 üzerinden açıklanacak olursa, (a) durumu başlangıç durumu olarak tanımlanabilir ve fay zone boyunca hiçbir şekil değiştirme gözlenmemektedir. Fay zonunun her iki yanında oluşan elastik deformasyon, elastik deformasyon enerjisinin birikmesine neden olmaktadır. Böylece (b) ve (c) şekillerinde fay zonuna dik olarak yer alan yolda gerilme artışı ile deformasyon oluşumu gözlenmektedir. (d) şeklinde ise biriken enerji kayaç kütesinin elastik kırılma direncini geçtiğinde kırılma meydana gelmekte ve boşalan elastik şekil değiştirme enerjisi sismik dalgalar halinde ortama yayılmaktadır. Elastik kırılma teorisine göre depremlerin oluşumu bu şekilde açıklanmaktadır (Ketin, 1998).



Şekil 2.3 : Elastik kırılma teorisine göre sol yanal atımlı fayın harekete geçmesi ile depremin oluşumu [Url-2].

Elastik kırılma teorisi kapsamında yerdeğiştirmenin meydana gelmesiyle faylar oluşmaktadır. Kayma hareketinin meydana geldiği düzlem, fay düzlemi olarak adlandırılır. Bu düzlem üzerinde hareketin yönüne bağlı olarak meydana gelen fay çizikleri fayın doğrultusunun belirlenmesi açısından önemlidir. Fayın eğim açısı (δ), doğrultusu, kayma açısı (λ), kayma doğrultusu ($\bar{U}$) ve doğrultu açısı (ϕ) gibi fay düzlemi parametreleri ile fay geometrisinin tanımlamak mümkündür (Aki ve Richards, 1980). şekil 2.4’de, eğim atımlı bir fay modeli üzerinde fay düzlemi parametreleri görölmektedir. Kuzey yönü ile fayın doğrultusu arasındaki açı, fayın doğrultu açısı (ϕ) olarak tanımlanmaktadır. Fayın kayma açısı (λ) ise kayma doğrultusu ile fayın doğrultusu arasında kalan açıdır.

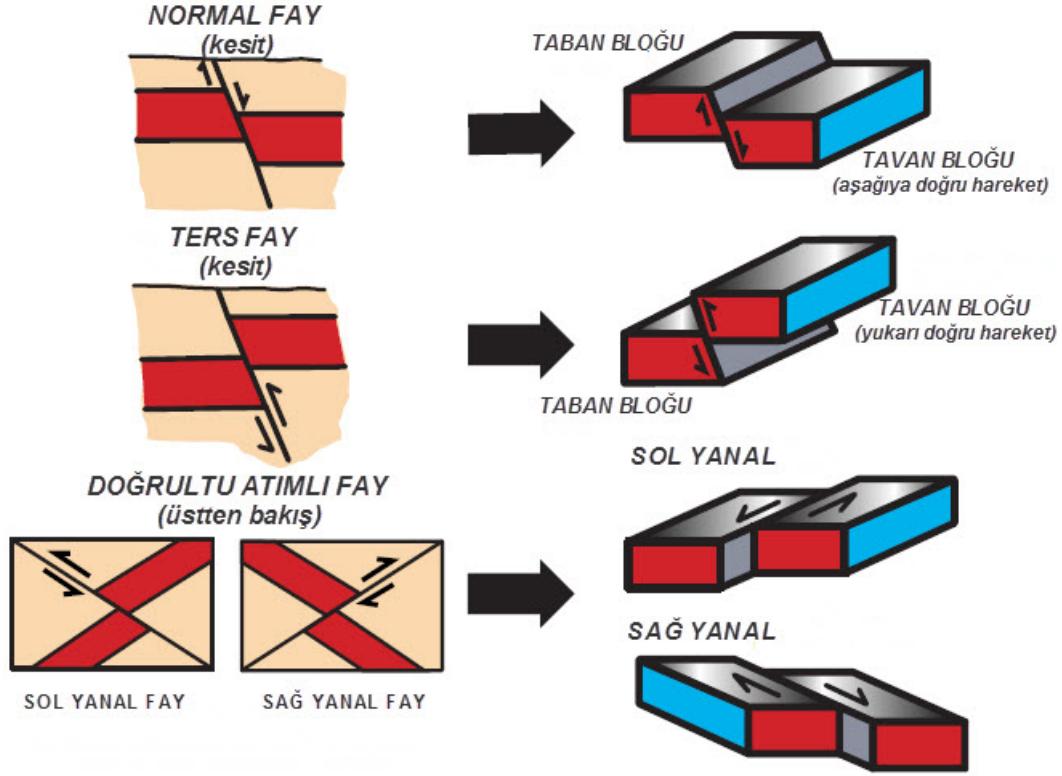


şekil 2.4 : Fay düzlemi parametreleri (Aki ve Richards, 1980).

Faylar oluşum mekanizmaları dikkate alınarak doğrultu atımlı, normal ve ters fay; atımlarına göre ise eğim atımlı, doğrultu atımlı ve oblik atımlı faylar olarak sınıflandırılmaktadır.

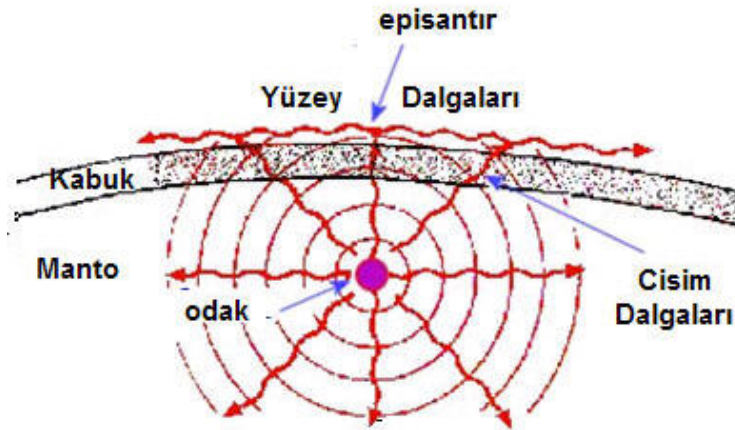
Fay düzlemi üzerindeki tavan bloğunun taban bloğu üzerinde aşağı doğru hareketi normal faylanma, yukarı hareketi ise ters faylanma olarak adlandırılır. Bunlar eğim atımlı faylanma kapsamındadır.

Doğrultu atımlı faylar ise fayın doğrultusu boyunca blokların hareketi ile meydana gelmektedir. Bir bloktan diğere bloğa bakıldığında hareket yönü sağa doğru ise sağ yanal, sola doğru ise sol yanal doğrultu atımlı faylanma olarak adlandırılır. Bahsedilen faylanma türleri şekil 2.5’de görölmektedir. Oblik faylanma ise, hem eğim atımlı faylanmanın, hem de yanal ötelenmenin meydana geldiği faylanma çeşitidir (Ketin, 1998).



Şekil 2.5 : Oluşum mekanizmalarına göre faylanma türleri [Url-3].

Deprem meydana gelmesi sırasında ortama yayılan sismik dalgalar, cisim ve yüzey dalgaları olmak üzere iki kategoride sınıflandırılmaktadır. Cisim dalgaları, P (birincil, basınç) ve S (ikincil, kayma) dalgaları, yüzey dalgaları ise Rayleigh ve Love dalgaları olmak üzere gruplandırılır. Şekil 2.6'da odak noktasında meydana gelen deprem nedeni ile oluşan sismik dalgaların yer içinde yayılımı görülmektedir. (Stein ve Wysession, 2002).



Şekil 2.6 : Deprem parametreleri (James, 2003).

Hızları en yüksek olan ve bu nedenle kayıtcıya ilk ulaşan dalgalar olan P dalgaları, dalga yayılımına paralel bir yerdeğiştirme oluşturup, hacimsel değişikliğe neden

olurken, kayıtcıya ikincil olarak ulaşan S dalgaları ise yayılım doğrultusuna dik bir yerdeğiştirme üretmekte ve hacimsel bir değişim meydana getirmemektedir. Cisim dalgalarına göre hızları daha düşük olan ve kayıtcıya en son ulaşan yüzey dalgaları, yeryüzüne yakın bir şekilde yayılırlar ve büyük bir depremde dünyayı birkaç kez dolaştıktan sonra belli bir gecikme ile kayıtcıya ulaşırlar. Şekil 2.7'deki şekilde cisim ve yüzey dalgalarının sismogram üzerinde varışları görülmektedir (Stein ve Wysession, 2002).



Şekil 2.7 : Sismogram üzerinde cisim ve yüzey dalgaları [Url-4].

2.2 Kullanılan Deprem İvme Geçmişi Çeşitleri

DBYBHY (2007)'ye göre deprem etkisi altında binaların zaman tanım alanında çözümlenmesi kapsamında, gerçek deprem ivme kaydı, yapay yer hareketi ivme geçmişi veya benzeştirilmiş yer hareketi ivme geçmişi kullanılması mümkündür. Bu nedenle, her üç türdeki ivme geçmişlerinin elde edilmesi ya da üretilmesi önem oluşturmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde deprem etkisi altında zaman tanım alanında hesap yöntemlerinde kullanılabilinen bu üç tür kuvvetli yer hareketi ele alınmıştır.

2.2.1 Gerçek deprem ivme kaydı

2.2.1.1 Deprem kayıtları

Deprem hareketi hakkında en gerçekçi bilgi, deprem süresince hareketin ölçülmesi ile elde edilen kayıtlar ve bu kayıtların değerlendirilmesi ile sağlanmaktadır. Yer hareketinin deprem süresince ölçümü için yerdeğiştirme sismografi, hız sismografi

ve ivme sismografi olmak üzere üç sismograftan bahsetmek mümkündür. Sismografların çalışma prensibi, sabit bir noktadan asılı bir sarkacın hareketi ile yer hareketinin ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır. Sarkacın doğal periyodunun, yer hareketinin periyodundan büyük olması durumunda, sarkacın yerdeğiştirmesi, yer hareketinin yerdeğiştirmesi ile orantılı olmaktadır ve bu tür sismograflar Yerdeğiştirme Sismografi ya da Uzun Periyot Sismografi olarak adlandırılmaktadır. Sarkacın periyodu, yer hareketinin periyoduna göre oldukça kısa olarak düzenlenirse, sarkacın yerdeğiştirmesi, yer hareketinin ivmesi ile orantılı olmaktadır ve İvme Sismografi ya da Kısa Periyot Sismografi olarak adlandırılır. Sarkacın yerdeğiştirmesi ile yer hareketinin hızının orantılı olduğu sismograflar ise Hız Sismografi olarak adlandırılır ve sarkaç ile hareketin periyodu birbirine oldukça yakın olarak düzenlenmektedir. Yer hareketinin hassas bir şekilde ölçümü için kullanılan bu sismograflar, depremin merkezüssüne yakın bölgelerdeki yer hareketini ölçmek için uygun değıllerdir. Depremin yapılar üzerindeki hasarı ancak depremin oluşturduğu yer hareketi belirli bir şiddeti aşınca ortaya çıkmaktadır ve yapılarda bu hasara neden olan yer hareketleri, ‘Kuvvetli Yer Hareketi’ olarak isimlendirilir. Bu hareketlerin büyütmesinin fazla olması nedeniyle, depremin merkezüssüne yakın bir bölgedeki bir sismograf bu kuvvetli hareketleri tespit edemez. Bu nedenle sismograflarda bir takım değışiklikler yapılarak, normal halde sükunette olan ve deprem ivmesi belli bir değıeri aştıktan sonra kayda geçen Kuvvetli Hareket İvme Ölçerleri geliştirilmiştir (Celep ve Kumbasar, 2004). Deprem sırasındaki kuvvetli yer hareketi ivmesini zamanın fonksiyonu olarak KG ve DB olmak üzere iki yatay ve bir düşey bileşen olmak üzere ölçebilirler. İvme ölçerlerin ana özellikleri aşığıdaki gibi sıralanabilir.

- 1.Yüksek dinamik aralıklı olmalıdır (>100 dB)
- 2.Doğal periyotları genellikle 0.05 s ile 0.10 s arasındadır.
- 3.Sönümleri kritik sönümün %60 ile %70’i civarındadır.
- 4.Genellikle 0.001 g ile 1.0 g arasında hassas bir ölçüm yapabilirler.
- 5.Akü ya da pil ile çalışabilmelidir.
- 6.Zor hava ve mevsim koşullarına, toz, nem ve sıcaklığa dayanmalıdır.
- 7.Darbeye dayanıklı, kompakt ve portatif olmalıdır.

- 8.Gerektiğinde arazide araçsız taşınabilir ağırlıkta olmalıdır.
- 9.Kolay yerleştirilebilir ve ayarlanabilir olmalıdır.
- 10.Uzun süre bakılmadan çalışabilmelidir.
- 11.Çok sayıda deprem kaydedebilecek hafıza özelliği olmalıdır.
- 12.Üzerindeki bilgilerin başka bir ortama aktarımı hızlı ve kolay olmalıdır.
- 13.Frekans tepki fonksiyonu geniş bantlı olmalıdır (Celep ve Kumbasar 2004, Eyidoğan 2006).

Analog ya da dijital olabilen bu ivme ölçerler, cm/s^2 (gal) birimi ile ölçüm yapmaktadır ve yerçekimi ivmesi ($g=981 \text{ cm/s}^2$)'nin kesri olarak kayıt alırlar (Çeken, 2007).

Dünyada kuvvetli yer hareketi kayıtçılarının gelişimi, 1931 yılına dayanmaktadır. İlk model, bir mekanik-optik kayıt sistemi ile ivme ve yerdeğiştirme ölçümünün her ikisinin birleştirildiği bir kayıtçı olarak bilinmektedir (UNESCO, 1972). 1970'li yıllara kadar dinamik aralığı 50 dB olan ve optik kayıt sistemine sahip analog kayıtçılar kullanılmıştır (Çeken, 2007). 1972 yılının sonuna kadar, sismik olarak aktif ülkelerde 2000 kadar ivme ölçer yerleştirilmiştir (UNESCO, 1972). 2000 yılında ise bu sayının dünya genelinde 10000-20000 arasında olduğu bilinmektedir. Ülkemizde kullanılan en eski ivme ölçer modeli ise Kinometrics firması (ABD) tarafından geliştirilen ve üç bileşenli analog bir kayıtçı olan SMA-1 adındaki kuvvetli hareket kayıtçıları olarak bilinmektedir. İlk sayısal kayıtçılar ise SIG firması (İsviçre) tarafından geliştirilen saniyede 128 örnek alabilen, 72 dB duyarlılıklı, 3 eksenli jeofon tipi algılayıcıya ve 12 bit dijital çeviriciye sahip olan SM-2 kayıtçılarıdır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte, 135 dB gibi yüksek dinamik aralığa sahip ve yüksek çözünürlüklü kayıtçılar geliştirilmiş ve gelişmiş bu kayıtçılar sayesinde küçük lokal depremler, artçı şoklar ve uzak mesafe depremlerinin kuvvetli hareket kayıtları saptanabilmektedir (Çeken, 2007).

2.2.1.2 Kuvvetli hareket kayıt şebekeleri

Günümüzde birçok farklı kaynaktan kuvvetli yer hareketi kayıtlarına erişilmektedir. Bilinen ilk kuvvetli yer hareketi kaydı ABD'de 10 Mart 1933 California-Long Beach'de ve ülkemizde ise 1976 Denizli depremi sırasında kaydedilmiştir (Çeken, 2007). Özellikle 1970 senesinden sonra iyi kalitede kuvvetli hareket kaydına

ulaşabilmek mümkündür. Kuvvetli yer hareketi kayıtlarına, dünyada ve ülkemizde bulunan çeşitli veri bankalarından erişilebilir. World Data Center of Solid Earth, COSMOS (The Consortium of Organizations for Strong-Motion Observation Systems), PEER (The Pacific Earthquake Engineering Research Center), ESD (European Strong Motion Database), CSMIP (The California Strong-Motion Instrumentation Program) ve bir Japon Hükümeti projesi olan K-NET (Kyoshin Net) dünyada kuvvetli yer hareketi kayıtlarına ulaşılabilinecek veri bankaları arasında söylenebilir (Elnashai ve Di Sarno, 2008).

Türkiye de ise kuvvetli kayıt şebekesi ilk olarak 1973'te Bayındırlık ve İskan Bakanlığı-Afet İşleri Genel Müdürlüğü bünyesindeki Deprem Araştırma Dairesi tarafından kurulmaya başlanmıştır (Erdik, 2004). Günümüzde T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı bünyesindeki Deprem Dairesi Başkanlığı Kuvvetli Yer Hareketi Gözlemleri Çalışma Grubu ülke genelinde kurulu bulunan deprem ivme kayıt şebekesinin ülke ihtiyacına cevap verecek şekilde geliştirilmesini sağlamak, mevcut ağların bakımı, onarımı, kullanılan cihazların geliştirilmesi için çalışmalar yapmak ve yaptırmak, deprem zararlarının azaltılması konusunda araştırmalar yapmak deprem ve etkilerini incelemek, elde edilen sonuçlara göre Türkiye'nin deprem durumunu gösteren yayınları ve haritaları hazırlamak, geliştirmek ve afet uygulaması hizmetleri konularında ilgili kamu kurum ve kuruluşları ile işbirliği ve koordinasyon sağlamak misyonu ile çalışmalarına devam etmektedir. Kurum tarafından işletilen kuvvetli yer hareketi kayıt şebekesi istasyonları Şekil 2.1'de görüldüğü üzere, öncelikli olarak Türkiye'de büyük depremlerin olduğu ya da olması beklenen Kuzey Anadolu Fay (KAF) Zonu, Doğu Anadolu Fay (DAF) Zonu ve Ege Horst-Graben sistemleri boyunca yerleştirilmiştir. İstasyon yerleri genellikle, kamu kurumlarına ait binaların bahçelerinde, açık alanda özel yapılmış betonarme ve/veya konteynır içerisinde olmak üzere konuşlandırılmıştır.

Kuvvetli hareket şebekesinde 1993 yılından itibaren sayısal kayıtçılar getirilmiş ve 2006 yılında eski analog kayıtçılar sayısal hale getirilerek, günümüzde tamamen sayısal kayıtçılar ile ölçüm yapılması sağlanmıştır. Tüm ağların merkez ile iletişimi ise ADSL ve GPRS ile sağlanmaktadır. Nisan 2010 itibari ile GSR-16,18, SM-2, CMG-5TD,ETNA ve QDR modellerinde olmak üzere çalışır halde toplam 290 sayısal kayıtçı bulunmaktadır. Şekil 2.8' de bu kayıtçıların ülke üzerindeki dağılımı görülmektedir [Url-5].



Şekil 2.8 : Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından işletilmekte olan Nisan Türkiye kuvvetli yer hareketi gözlem istasyonları dağılımı [Url-5].

Bunun dışında, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü İstanbul Erken Uyarı ve Acil Müdahale Projesi kapsamında, İstanbul ve çevresinde acil müdahale için 100 adet, erken uyarı içinse 10 adet sayısal kuvvetli yer hareket istasyonu kurulmuş olup, elde edilen kayıtlara internet üzerinden erişim sağlanmaktadır. Ayrıca Kocaeli ve Düzce depremleri sonrasında Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü, İTÜ, KRDAE, Deprem Dairesi Başkanlığı, USGS tarafından elde edilen kuvvetli hareket kayıtlarını derlemiştir. 1994-2001 tarihleri arasında 42 kuvvetli hareket kayıtçısı tarafından kaydedilen ve büyüklükleri $M_w 7.4$ - $M_d 2.6$ arasında değişen 392 adet depremden elde edilen 1161 tane kayıt toplanmıştır.

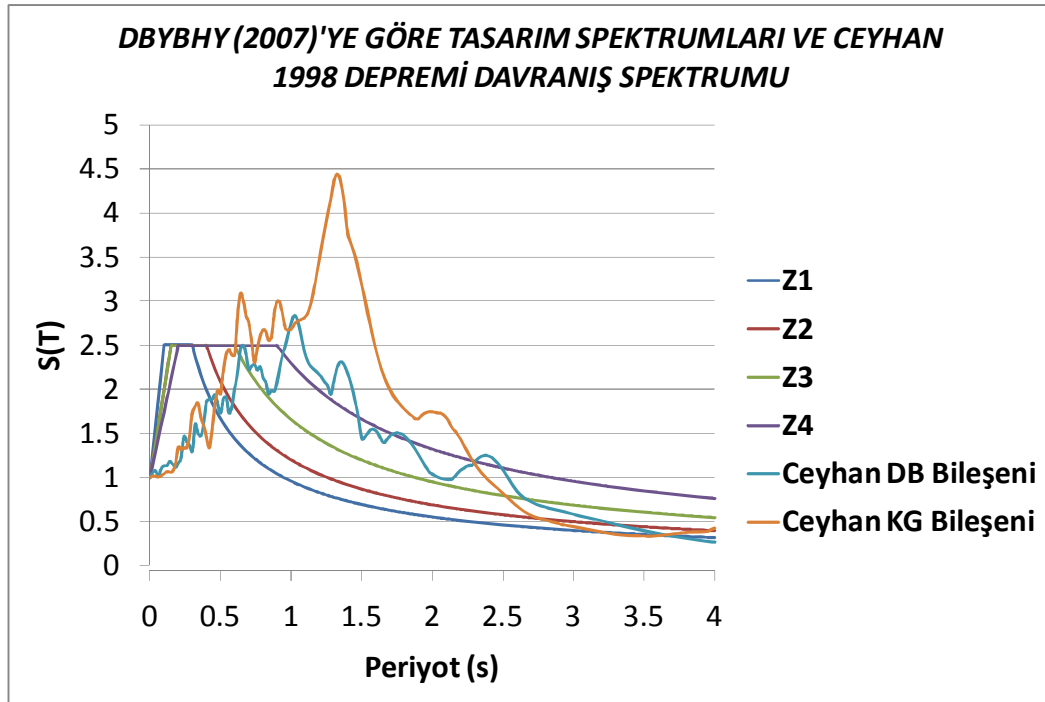
Ayrıca, Deprem Dairesi Başkanlığı, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, USGS, LDEO ve diğer kurumların geçici istasyonlarından elde edilen 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ve artçıları ile 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinin kuvvetli hareket kayıtlarının derlenerek bir veri bankası oluşturulması üzerine USGS tarafından bir proje oluşturulmuştur. Tüm verilere internet üzerinden erişilmektedir (Erdik, 2004).

2.2.1.3 Gerçek deprem kaydı kullanımının üstünlükleri ve zorlukları

Gerçek deprem kayıtlarının kullanımı, yer hareketinin doğasını, faz özelliklerini genliğini, süresini ve frekans içeriğini yansıtması açısından büyük önem

oluşturmaktadır. Bunların yanı sıra, kayıtların meydana geldiği depremin kaynağı, içinde sismik dalgalar halinde yayıldıkları ortam ve zemin özellikleri gibi birçok özelliği de içeriğinde barındırmaktadır. Depremi ana özelliklerini yansıtmaması açısından gerçek deprem kaydı kullanımının yararı açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca günümüzde kuvvetli yer hareketi şebekelerinin artması ve teknolojinin ilerlemesi ile gerçek deprem kayıtlarına ulaşımın kolaylaşması, kullanımı arttırmaktadır (Özdemir ve Fahjan, 2007).

Gerçek deprem kayıtlarının davranış spektrumları incelendiğinde, yönetmeliklerde verilen tasarım spektrumlarından oldukça farklı bir davranış sergilemesi gerçek deprem kaydı kullanımının eksikliği olarak söylenebilir. Şekil 2.9'de örnek olması bakımından Ceyhan 1998 depreminin Ceyhan Tarım İlçe Müdürlüğü (CeyTar) KG ve DB bileşenlerinin en büyük ivmeye göre normalize edilmiş davranış spektrumları ile DBYBHY (2007)'de dört farklı zemin sınıfı için belirtilen tasarım spektrumları karşılaştırılmıştır. Tasarım spektrumları ile depremin davranış spektrumunun birbirinden oldukça farklı davranış gösterdiği açıkça görülmektedir. EK A' de 1984 Balıkesir, 1992 Erzincan, 1999 Kocaeli, 2002 Çay ve 2003 Buldan depremleri için elde edilen davranış spektrumları ile DBYBHY (2007)'de belirtilen tasarım spektrumları karşılaştırmaları yer almaktadır.



Şekil 2.9 : Ceyhan 1998 depremi davranış spektrumu ile DBYBHY 2007 tasarım spektrumları karşılaştırılması.

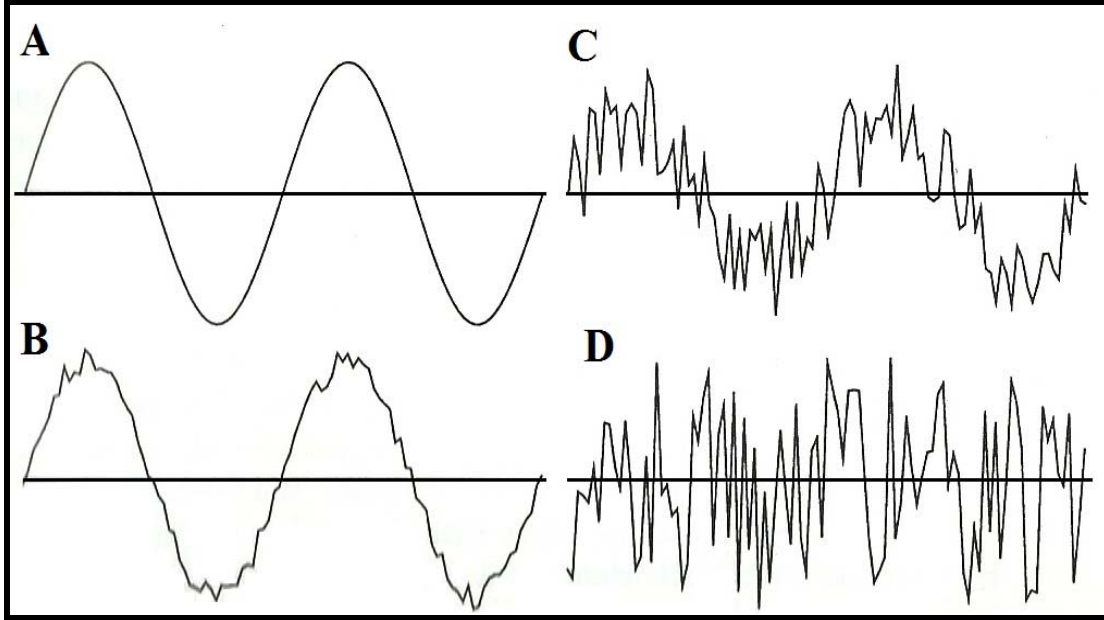
Bu nedenle, deprem yükleri etkisinde yapısal çözümlerlerde kullanılacak uygun kayıtların seçilmesi oldukça önem taşımakta olup ve bu durum gerçek deprem kaydı kullanımının zorluğu olarak söylenebilir. Gerçek deprem kayıtları ya tasarım ivme spektrumuna, ya da büyüklük, mesafe ve zemin sınıfı gibi minimum parametreleri verilen deprem senaryosuna dayandırılarak seçilmektedir. Belirli bir bölge için seçilecek kayıtlar hem sismik risk analizi sonucu elde edilen davranış spektrumu ile, hem de jeolojik ve sismolojik şartlar ile uygunluk göstermelidir. Bu durumda, depremin büyüklüğü, depremin faya olan uzaklığı ve zemin koşullarının hepsini birden sağlayacak tek bir deprem kaydının seçilmesi oldukça zor olacaktır. Depremin büyüklüğü, yer hareketinin süresini ve frekans içeriğini etkilemektedir. Bu nedenle, büyüklüğü uygun olacak kayıtların seçilmesi gerekmektedir. Yakın fay etkisi durumunda harekete ait karakteristikler oldukça farklılık göstermesi nedeniyle seçilecek deprem mesafesi de önem oluşturmaktadır. Ayrıca, yumuşak zeminlerde hareketin yükseltgenmesi nedeni ile zemin koşulları deprem kayıtları üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Tüm bu faktörlerin dikkate alınarak uygun gerçek deprem kaydı seçimi, önemli bir zorluk oluşturmaktadır (Özdemir ve Fahjan, 2007).

2.2.1.4 Gerçek deprem kayıtlarındaki gürültüler

Zaman eksenini üzerinde tanımlanan yer hareketinin en önemli özelliği, sinyalin deterministik ya da olasılıksal şekilde olmasıdır. Deterministik özelliğe sahip sinyaller, olasılıksal olmayan algoritmalar ile geliştirilirken, stokastik sinyaller rastgele özelliğe sahiptir. Bir sinyal ne kadar deterministik olursa olsun, tamamen gürültü barındırmadığını yani saf deterministik özelliğe sahip olduğunu söylemek mümkün değildir. Tamamen stokastik özellikteki bir sinyal ise deterministik eleman barındırmayıp, tamamen olasılıksal elemanlar içermektedir. Sinyal işleme dilinde bu tür sinyaller "saf gürültü" olarak adlandırılmaktadır. (2.1) denklemi incelendiğinde, $a(t)$ ile gösterilen bir ivme izi, deterministik kısım $s(t)$ ile gürültü içeren kısım $n(t)$ 'nin birleşiminden oluşmaktadır. Diğer bir deyişle $s(t)$, gürültü barındırmayan ve depremde oluşan yer ivmelerini göstermektedir.

$$a(t) = s(t) + n(t) \quad (2.1)$$

Şekil 2.10 (A)'da deterministik özelliğe sahip basit sinüs sinyali, B, C ve D şekillerinde ise bu sinyale, miktarı arttırılan gürültünün eklenmesi ile elde edilen yeni sinyaller görülmektedir (Stein, 2000).



Şekil 2.10 : A-Deterministik sinyal (basit sinüs dalgası), B-C-D-aşamalı olarak arttırılan gürültülü sinüs sinyalleri (Stein, 2000).

Bir sinyalin barındırdığı gürültü, sinyal/gürültü oranı (Signal to Noise Ratio-SNR) ile belirlenmektedir. SNR değeri, (2.2) denkleminde görüldüğü üzere, deterministik sinyal kısmının enerjisinin, gürültünün enerjisine oranı olarak tanımlanır ve birimi dB'dir.

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \frac{E_s}{E_n} = 10(\log_{10} E_s - \log_{10} E_n) \quad (2.2)$$

(2.2) ile verilen bağıntıda enerji terimleri göz önüne alındığında, sinyal/gürültü oranı (SNR), Denklem (2.3) 'de verildiği haliyle teorik olarak esas yer hareketinin ortalama değeri (mean) civarındaki değişintisi (variation) σ_s 'in, gürültü sinyali için hesaplanan σ_n değerine oranının logaritmasının 10 katı olarak tanımlanmaktadır (Stein, 2000).

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \left[\frac{E(s - \mu_s)^2}{E(n - \mu_n)^2} \right] \quad (2.3)$$

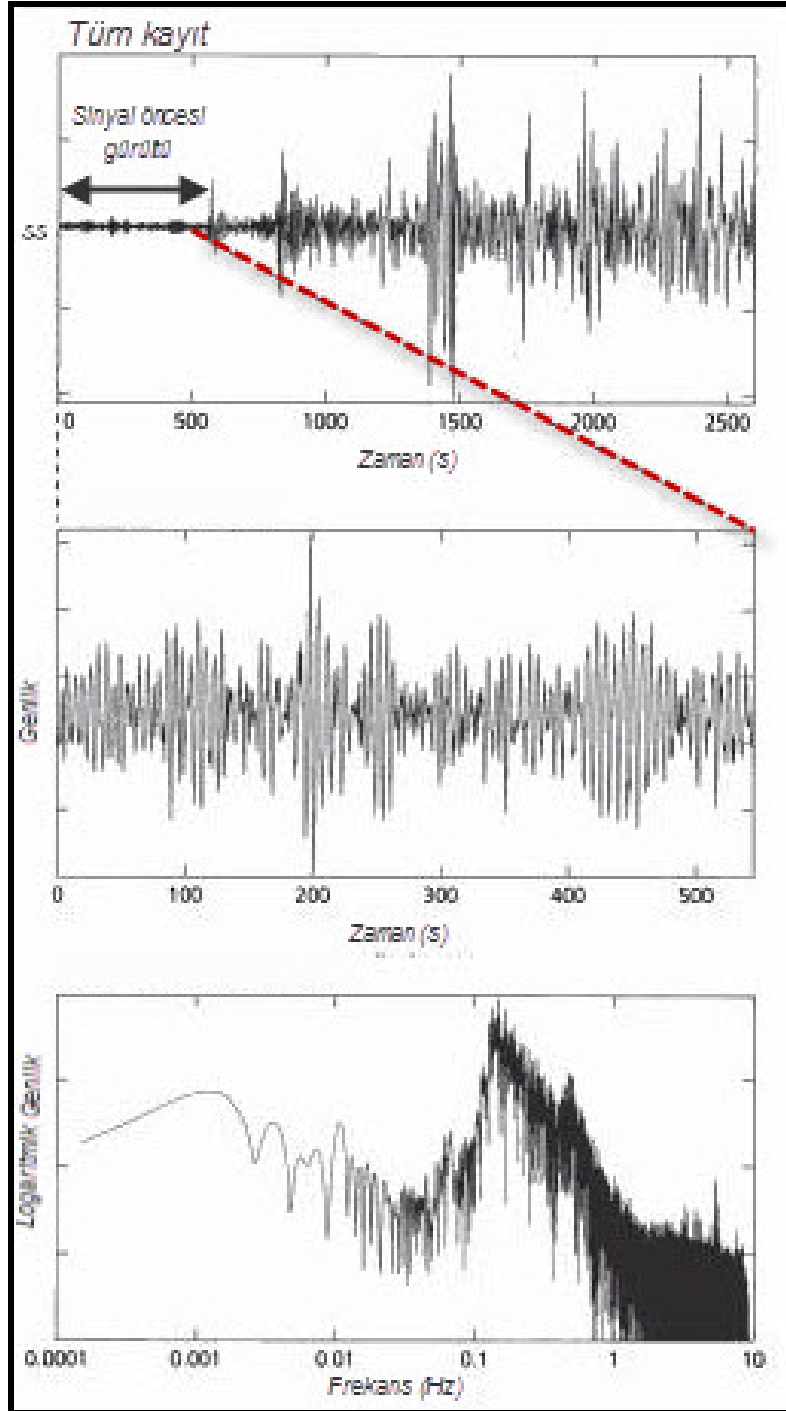
Kaydedilen sismik sinyallerin değerlendirilmesinde en büyük sorunlardan biri sinyal içindeki gürültüdür. Deprem olmadığı durumlarda sinyal/gürültü oranının 1 olması gerekmektedir. Fakat istasyonun bulunduğu yerdeki çeşitli etkiler, sinyalin yayıldığı ortamdan kaynaklanan gürültüler gibi birçok nedenle S/G oranı bu teorik değeri alamamaktadır ve sinyalin esas yapısında bozulmalar meydana gelmektedir (Sacci, 2002). Genellikle periyotları 1-10 s arasında değişen bu gürültülerin deprem sinyallerinde gözlenmesine neden olan faktörler arasında, güneşsel ve aysal gelgitler, sıcaklıktaki ve atmosfer basıncındaki değişimler, fırtınalar, insanların yaptığı aktiviteler, okyanus dalgaları ya da kayıtçı cihazın kendisinden kaynaklanan hususlar gibi birçok etkenden bahsetmek mümkündür. Özellikle okyanus ortasındaki adalara ya da kıyı şeritlerine yakın bölgelere yerleştirilmiş kayıtçılardan elde edilen kayıtlarda gürültünün oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. Kayıtlarda, rüzgar, fırtına, yağmur gibi faktörler yüksek frekanslı gürültüler meydana getirirken, kamyonlar, trenler, makineler gibi insan odaklı faaliyetler sinyallerdeki gürültü oranını arttırmaktadır (Gülbüz ve diğ., 2008).

Şekil 2.11' de 7 Nisan 1995 tarihinde meydana gelen Tonga depremi New York-Hudson kaydı görülmektedir. Kaydın altında yer alan şekilde ise, P dalgası varış anı öncesinde belirlenen gürültü kısmı ile bu gürültünün frekans-genlik ilişkisi yer almaktadır.

Deprem meydana geldiğinde oluşan sismik dalgaların içinde mikroseizim yada yer gürültüsü olarak adlandırılan titreşimler bulunmaktadır. Zeminin yapısına bağlı olarak titreşim frekansının değiştiği bu salınımların kolayca elde edilebilmesi için çevresel gürültüden etkilenmemesi oldukça önemlidir. Özellikle uzun periyotlu atmosferik olaylar, yerel ya da uzak kaynaklı olabilen trafik gibi gürültüler, doğal olan bu titreşimlerin saptanmasında büyük sorun oluşturmaktadır (Stein ve Wyssession, 2002).

Yerin gürültü kayıtlarının incelenmesi ile zemin özellikleri bakımından yararlı bilgilerin elde edilmesi mümkündür. Nakamura yönteminin esası, mikrotremör ölçümlerinin yatay ve düşey spektral oranlarının hesaplanmasına dayanmaktadır. Nakamura, zemin davranışının, gürültünün yatay bileşen spektrumunun, düşey bileşen spektrumuna oranı ile tahmin edilebileceğini ifade etmiştir. Nakamura yöntemi ile elde edilen sonuçlar, yüzey depozitlerinin zemin davranışının tahmini

için mikrotrem6r 6l6mlerinin kullanılmasını desteklemesinin yanı sıra, telesismik dalgalardan yararlanılarak yer içi 6zerine yapılan çalışmalarda da kullanılmaktadır (Sacci, 2002).



şekil 2.11 : 07.04.1995 Tonga depreminin New York-Hudson kaydındaki g6r6lt6 ve g6r6lt6n6n spektrumu (Stein ve Wyssession, 2002).

Sinyallerdeki g6r6lt6n6n artması nedeniyle deprem faz okumalarının yani P ve S dalgalarının varış zamanlarının tespitinin g6leştiği bilinmektedir. 6zellikle birden

fazla istasyondan kayıt alınamamışsa, deprem kayıtlarındaki gürültünün sinyalden çıkarılması oldukça güçtür. Bu gürültülerin deprem sinyali içinde en az seviyeye indirmek için, deprem kayıtçılarının bulunduğu istasyonların yer tespiti oldukça önem taşımaktadır. Deprem kaydının çevre gürültüsünden etkilenmemesi amacıyla, istasyonların sağlam zeminler üzerine kurulması tercih edilmektedir [Url-5]. Yeryüzünden derinlere indikçe gürültü içeriğinin azalması nedeniyle, bazı kayıtçıların yeraltına gömüldüğü bilinmektedir. Böylece elde edilen kayıtlar, yeryüzünde meydana gelen ısı değişimlerinden de etkilenmemektedir (Stein ve Wysession, 2002). Ayrıca, kayıtçıların yerleştirileceği istasyonların gürültü analizlerinin gerçekleştirilip, kabul edilebilir gürültü seviyesine sahip en uygun yeri tespit etmek mümkündür (Stein ve Wysession, 2002).

2.2.2 Yapay deprem hareketleri

Zaman tanım alanında hesap yöntemleri kullanılarak yapılan yapısal çözümlemelerde yapay deprem ivme izleri de kullanılabilir. Bu yöntemde kullanılacak ivme geçmişleri türlerinin yönetmeliklerde verilen tasarım spektrumları ile uygun olması deprem mühendisliği açısından oldukça önem oluşturmaktadır. Önceden kaydedilmiş deprem ivme kayıtlarının ölçeklenmesi yöntemi ile davranış spektrumları, tasarım ivme spektrumlarına uyumlu deprem ivme geçmişlerinin elde edilmesinin yanı sıra, geniş periyot aralığında davranış spektrumu, elastik tasarım ivme spektrumuna benzeyen deprem ivme geçmişleri üretilmesi de mümkündür.

Gerçek deprem kayıtlarının davranış spektrumlarının, tasarım ivme spektrumuna uygun hale gelmesi amacıyla deprem kayıtlarına uygulanacak ölçekleme yöntemleri genel olarak zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında olmak üzere iki grupta toplanabilir. Ayrıca bazı özel çalışmalar kapsamında, ivme geçmişlerinin çevrim sayısını arttırmadan frekans içeriği ve süreyi değiştiren zaman ekseninde ölçekleme yöntemlerinden bahsedilebilir.

Zaman tanım alanında ölçekleme yönteminde, istenilen periyot aralığında gerçek deprem ivme kaydı aynı miktarda yukarı ve aşağı ölçeklenmesi ile kaydın genliği değiştirilerek ve kaydın frekans içeriği değişmeden tasarım ivme spektrumuna uygun bir deprem ivme geçmişi elde edilmeye çalışılmaktadır.

Frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi ise, gerçek deprem ivme kaydının, tasarım ivme spektrumunun, kaydın davranış spektrumuna oranı ile frekans tanım alanında filtrelenmesi esasına dayanmaktadır (Özdemir ve Fahjan, 2007).

Gerçek deprem kayıtları kullanılmadan tasarım ivme spektrumuna uyumlu deprem ivme geçmişlerinin üretilmesi kapsamında, genel yaklaşım davranış spektrumu, hedef spektrumuna uyumlu beyaz gürültü sinyali üretilmesidir. Hedef spektrum genel olarak sabit bir risk spektrumu ya da yönetmeliklerde belirlenen tasarım spektrumu olabilir.

Yapay deprem kaydı üretimi için üç ana etmenden bahsetmek mümkündür. Bunlar güç spektral yoğunluk fonksiyonu, rastgele faz açısı üreticisi ve bir zarf fonksiyonudur. İteratif bir yöntem kullanılarak tasarım ivme spektrumu ile uyumlu deprem ivme geçmişi elde edilmektedir. Eşleşmedeki doğruluğun derecesi, deprem ivme geçmişi üretimi süresince yapılan iterasyon sayısı ile ilişkilidir. Çalışmada kullanılan algoritma kapsamında bu konu daha ayrıntılı ele alınacaktır (Elnashai ve Di Sarno, 2008).

2.2.2.1 Yapay deprem ivme geçmişi kullanım nedenleri ve zorlukları

Zaman tanım alanında hesap yöntemleri kapsamında yapay deprem kaydı kullanımının en büyük üstünlüklerinden, yönetmeliklerde verilen tasarım spektrumları ile uygun olmayan davranış spektrumlarının deprem hesaplamalarında kullanılması deprem mühendisliği açısından büyük problem oluşturmaktadır. Bu durumda tasarım spektrumlarına uyumlu yapay deprem kaydı üretimi oldukça yarar sağlayacağı açıkça görülmektedir. Ayrıca, yapay yer hareketlerinin kullanılması ile, önceki depremlerde kayda sahip olmayan yörelerdeki yapılar için zaman tanım alanında hesap yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Yapay yer hareketlerinin yararlarının yanı sıra, üretilmesindeki zorluklardan da bahsetmek yerinde olacaktır. Yapay deprem ivme kayıtlarının üretimi sırasında çevrim sayısının çok fazla artması, gerçek durum ile uyuşmayacak kadar büyük enerji açığa çıkmasına neden olmaktadır. Bu durum yapay kayıtların kullanımındaki sakıncalardan biri olarak sayılabilir.

Yönetmeliklerde yer alan tasarım ivme spektrumları, birden fazla sismik kaynağın etkisine karşı gelen istatistiksel bir analizin sonucunda oluşturulmuştur. Bu durumda, tasarım spektrumunda farklı periyotlara karşı gelen ivme değerleri, farklı

kaynaklardan elde edilmiş olabilir. Bu nedenle, çok sayıda kaydedilmiş hareketlerin ortalamasını simgeleyen tasarım ivme spektrumuna uyumlu tek bir kaydın elde edilmeye çalışılması, yapay yer hareketi kullanımındaki zorluklardan ve dikkatli olunmadığı takdirde üretilen yer hareketini gerçekçilikten uzaklaştıran bir husus olarak belirtilebilir (Özdemir ve Fahjan, 2007).

2.2.2.2 Çalışmada kullanılan algoritma

Bu çalışmada teorik olarak Deodatis (1996)'nın çalışmasını esas alarak Papageorgiou ve diğ. (2000) tarafından geliştirilen Fortran tabanlı TARSCTHS bilgisayar programı kullanılmıştır. Durağan olmayan statik vektör yöntemlerini kullanarak yapay yer hareketi üreten bu algoritma, istenen hareketin faz açılarının rastgele üretilerek ve güç spektral yoğunluk fonksiyonu kullanılarak frekans alanında iteratif bir yöntem ile yönetmelik tasarım ivme spektrumuna uyumlu yapay deprem ivme geçmişleri üretmektedir.

Programın ilk adımında farklı faz açıları ve ayrık frekanslar için rastgele sinüzoidal hareketler üretilmektedir. Denklem (2.4) herhangi bir rastgele süreci göstermektedir ve $x_r(t)$ rastgele sürecin r . elemanı olarak tanımlanmaktadır.

$$x_r(t) = A_n \cdot \sin(\omega_n t + \theta_r) \quad r = 1, 2, \dots, \infty \quad (2.4)$$

Rastgele süreç, her bir harmonik dalgaının genliğine A_n , ω_n açısal frekansına, θ_r sinüzoidal hareketlerin rastgele faz açılarına bağlı olduğu görülmektedir. r indisi tüm parametrelerde kaçınıcı değer olduğunu göstermektedir. θ rastgele faz açıları, 0 ile 2π aralığında ve $1/2\pi$ şiddetindeki normal dağılımlı olasılık yoğunluk fonksiyonuna uyumlu olacak şekilde rastgele faz açısı üreticisi ile elde edilen değerlerdir. A_n genlik değeri ise, spektral güç yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak elde edilmektedir (Papageorgiou ve diğ., 2000).

Üretilecek hareketin, yerel zemin koşullarını temsil edebilmesi amacıyla filtrelenmesi gerekmektedir (Clough ve Penzien, 1993). TARSCTHS programının algoritmasında bu filtreler spektral güç yoğunluk fonksiyonun içerisinde bulunmaktadır. Denklem (2.5) filtre uygulanmış durumda güç yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir.

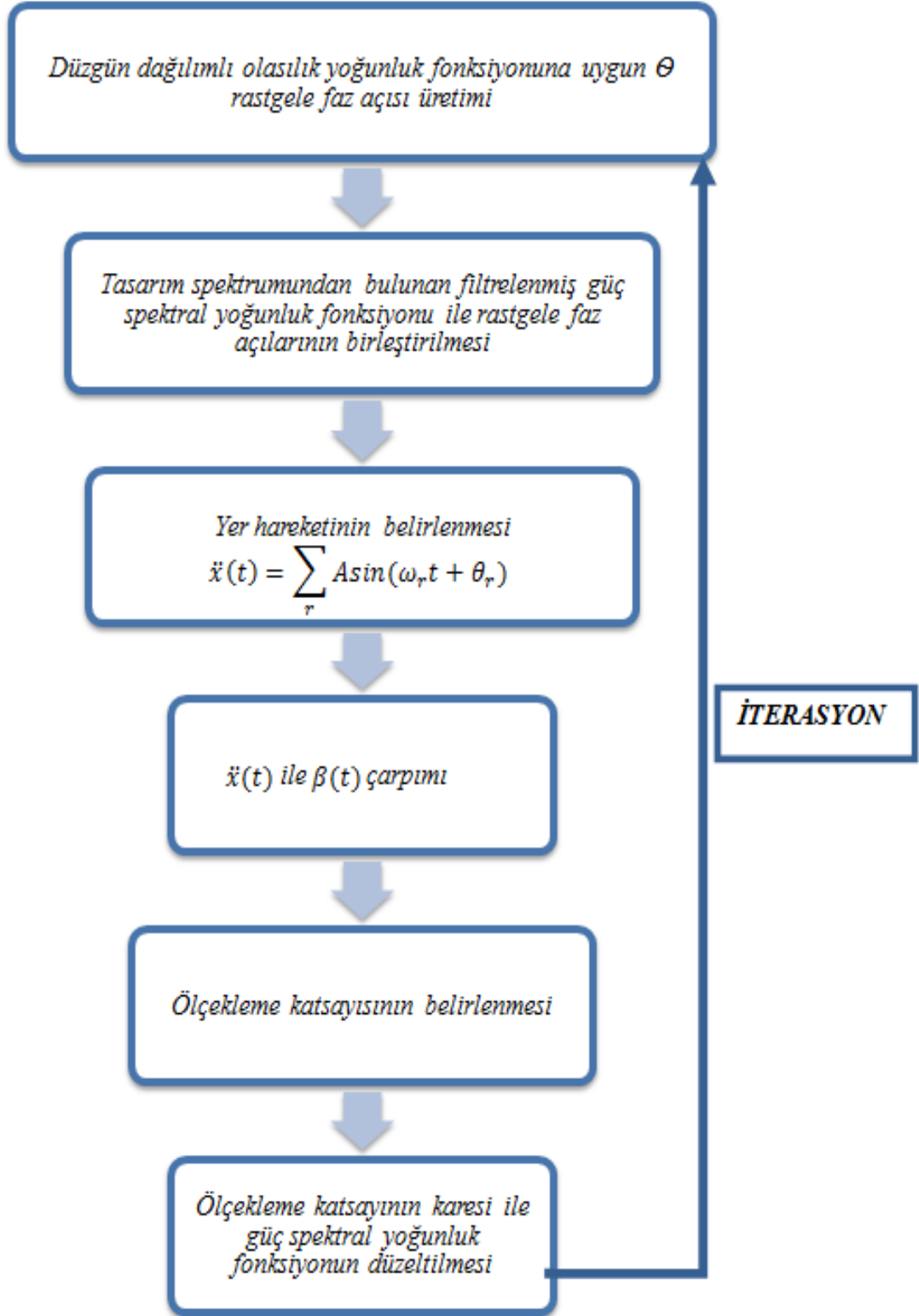
$$G(\omega) = \frac{\left[1 + 4\xi^2 g \left(\frac{\omega}{\omega_g} \right)^2 \right] G_0}{\left[\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_g} \right)^2 \right)^2 + 4\xi^2 g \left(\frac{\omega}{\omega_g} \right)^2 \right]} \quad (2.5)$$

Böylelikle tasarım ivme spektrumundan bulunan güç spektral yoğunluk fonksiyonu ile rastgele faz açılarının birleştirilmesi ile sinüzoidal hareketler elde edilmiş olur. Bu sinüzoidal hareketlerin toplanıp, bir zarf fonksiyonu ile çarpılması sonucunda yapay hareket elde edilir. Durağan tipte olan dalga şeklini, durağan olmayan bir forma dönüştürmek amacıyla $\beta(t)$ zarf fonksiyonu ile çarpılarak elde edilen yapay hareketin davranış spektrumunun, tasarım ivme spektrumuna uyumlu bir hale gelmesi gerekmektedir. Bu nedenle, algoritmada seçilen frekans değerlerinde karşılık spektrumu ile tasarım ivme spektrumunun ordinatları arasındaki ölçekleme katsayısı belirlenerek ve belirli frekans değerlerinde ve adım sayısında iteratif bir yöntem kullanılarak yaklaşım sağlanmaya çalışılmaktadır.

$$S_{x_r}(\omega) \cong \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{\left| \int_{-s/2}^{s/2} x_r(t) e^{-i\omega t} dt \right|^2}{2\pi s} \quad (2.6)$$

Denklem (2.6)'de tanımlanan üretilmiş kaydın güç spektral yoğunluk fonksiyonu, ölçekleme katsayısının karesi ile ayarlanarak üretilen yapay hareket düzeltilmektedir. İterasyonun son adımında yeterli yaklaşıklık sağlandığında, frekans tanım alanından Fourier dönüşümü ile zaman tanım alanına geçilir ve tasarım spektrumuna uyumlu yapay yer hareketi üretilmiş olur.

Hedef bir spektruma uyumlu yapay yer hareketinin üretilmesinde TARSCTHS bilgisayar programı tarafından kullanılan algoritmanın işleyişi, genel olarak rastgele üretilen faz açılarının birleştirilerek yer hareketinin belirlenmesinin ardından, yer hareketinin belirli bir zarf fonksiyonu ile çarpılarak güç spektral fonksiyonunun iteratif bir yöntemle ölçeklenerek elde edilmesi ile ifade edilebilir. Şekil 2.12'de program tarafından kullanılan algoritmanın genel bir akış şeması yer almaktadır.



Şekil 2.12 : TARCTHS programının akış şeması (Papageorgiou ve diğ., 2000).

2.2.3 Benzeştirilmiş deprem yer hareketleri

Benzeştirilmiş yer hareketleri, deprem dalgalarının yayıldığı ortamın ve zeminin özelliklerinin dikkate alınması ile sismolojik kaynak modellerine dayandırılarak elde edilen ivme geçmişi türleridir. Kaynak ve dalga yayılım özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş olarak üretilen deprem yer hareketleri, belirlenen bir alan için, büyüklük ve mesafeye bağlı olarak tanımlanan senaryo depremine uygun bir şekilde üretilir. Uygun kaynağın, zeminin ve yayılım ortamının tanımlanması bu tür yer hareketleri üretimindeki en büyük zorluk olarak söylenebilir (Fahjan, 2008). Bu tür deprem yer hareketlerinin üretimi için genel olarak iki modelden bahsetmek mümkündür. Bunlardan biri dinamik modeller, diğeri ise kinematik modellerdir.

Dinamik modeller genel olarak deprem süresince meydana gelen kuvvetleri esas alarak oluşturulan modellerdir. Dinamik modellerin temel esası, sürtünme ya da fay üzerindeki pürüzlü tabaka nedeniyle oluşan kırılmaya karşı koyan kuvvetleri ve faylanma sürecini devam ettiren tektonik kuvvetleri içeren fay kırılma dinamiğidir. Bu modellerin kullanımının esas uygulaması, depremin oluşumu ve yayılımının daha iyi anlaşılması amacıyla önceki depremlerin kırılma mekanizmalarının incelenmesi ve yorumlanması olarak gösterilebilir.

Benzeştirilmiş deprem yer hareketleri için kullanılan bir diğerk model ise kinematik modellerdir. Bu modellerin esası ise kırılma sürecinin, zamanın ve konumunun fonksiyonu olarak fayın yerdeğıştirmesi açısından ele alınmasıdır. Burada fayın yerdeğıştirmesi olarak belirtilen parametre, kayma fonksiyonu olarak bilinir ve yeni deprem yer hareketi üretiminde Green fonksiyonları kayma fonksiyonu olarak sıkça kullanılmaktadır (Cimellaro, 2007).

Kinematik modeller için ilk olarak deterministik yöntemlerden bahsedilebilir. Ayrıca, ω^2 yöntemi olarak da bilinen sınırlı bantlı Gauss gürültüsünün yüksek frekanslı deprem hareketlerine karşı geldiğı kabul edilen rastgele vektörlerin toplamına dayanan stokastik yöntemler bir diğerk benzeştirilmiş deprem yer hareketi üretimi için kullanılan yöntem olarak söylenebilir. Artçı şokların kullanılması ile kaynak yayılımının ve yayılım modelinin belirlendiğı ampirik Green fonksiyonları yönteminin yanı sıra, yarı ampirik Green fonksiyonları tekniğinden de bahsetmek mümkündür. Deprem kaynağının, dairesel şokların süperpozisyonu olarak tanımlandığı kompozit kaynak modelleri yapay yer hareketi üretimi için

kullanılabilen bir diğer yöntemdir. Deterministik olarak hesaplanan yer hareketi ile stokastik olarak hesaplanan yer hareketini birleşimi olarak belirlenen Green fonksiyonlarının hesabına dayanmaktadır (Hamzehloo, 2005).

2.2.4 DBYBHY yer hareketi koşulları

Deprem bölgelerinde yeniden yapılacak, değiştirilecek, büyütülecek resmi ve özel tüm binaların ve bina türü yapıların tamamının ya da bölümlerinin depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı ile mevcut binaların deprem öncesinde veya sonrasında performanslarının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için gerekli kurallar ve minimum koşulları belirlemeyi amaçlayan DBYBHY kapsamında, deprem hesap yöntemleri için eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemleri olmak üzere üç hesap yöntemi ile hesap yapılabileceği belirtilmektedir.

DBYBHY’ye göre, bu yöntemlerden zaman tanım alanında hesap yöntemleri kapsamında deprem hesabı için yapay yollarla üretilen deprem ivme geçmişleri, kaydedilmiş deprem yer hareketleri ve benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir. Bu üç tür yer hareketleri için koşullar, DBYBHY’in “Madde 2.9: Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri” kısmında açıklanmıştır. Bu koşullar, çalışmanın bu bölümünde açıklanacaktır.

Yerel zemin koşulları uygun bir biçimde göz önüne alınarak kaydedilmiş, kaynak ve dalga yayılım özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş ve tasarım spektrumuna uygun olarak yapay yollarla üretilen yer hareketleri için;

- 1.En az üç deprem yer hareketi üretilmelidir.
- 2.Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın doğal titreşim periyotunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır.
- 3.Deprem yer hareketinin sıfır periyota karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması, A_0 etkin yer ivmesi katsayısı ile g yerçekimi ivmesinin çarpımından daha küçük olmamalıdır.
- 4.%5 sönüm oranı için $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlarda spektral ivme değerlerinin ortalaması, $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90’nın dan az olmamalıdır.

Yer hareketi koşullarının bu kısmında, T_1 göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim periyottur. $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivme ise DBYBHY’de “ Madde 2.4: Elastik Deprem Yüklerinin Tanımlanması: Spektral İvme Katsayısı” başlığı altında tanımlanmıştır. Buna göre, $S_{ae}(T)$, $A(T)$ deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan spektral ivme katsayısı ile g yerçekimi ivmesinin çarpımı olarak (2.7)’de birinci ifadedeki gibi belirlenmektedir. (2.7)’deki ikinci ifadede ise $A(T)$ spektral ivme katsayısının, A_0 etkin yer ivmesi katsayısı, I bina önem katsayısı ve $S(T)$ spektrum katsayısına bağlı olarak belirlendiği görülmektedir.

$$S_{ae}(T) = A(T)g \quad (2.7)$$

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

5.Zaman tanım alanında doğrusal elastik çözümleme yapılması durumunda ise; azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesinde esas alınacak ivme değerleri (2.8) ile belirlenecektir. Elastik spektral ivme değerleri denklemde görüldüğü üzere, $R_a(T_n)$ ile azaltılacaktır.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (2.8)$$

6.Zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır (DBYBHY, 2007).

2.3 Kuvvetli Yer Hareketlerinin İşlenmesi

Kuvvetli yer hareketlerinin işlenerek, deprem mühendisliği açısından önem oluşturan parametrelerin tespiti ile zaman ve frekans ortamında yer hareketlerinin karşılıklarının belirlenmesi gerek deprem hareketinin fiziksel özelliği; gerekse elde edilen yer hareketlerinin niteliklerinin tanımlanması açısından önem taşımaktadır. Özellikle yer hareketlerinin işlenmesi öncesinde, çalışmanın konusunu da oluşturan gürültü içeriği nedeniyle, deprem kayıtlarında meydana gelen bozulmaların giderilmesi de diğer bir gerekliliktir.

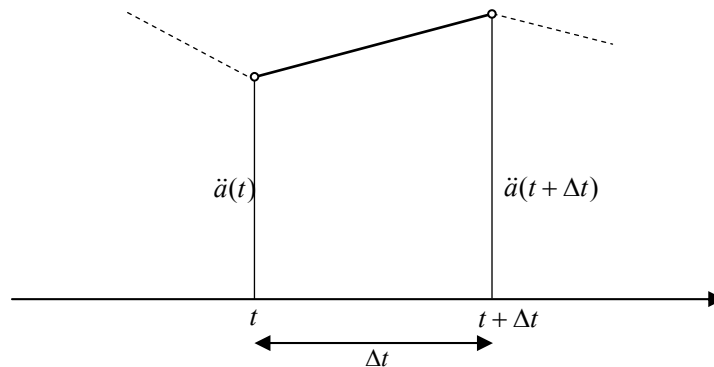
2.3.1 Yer hareketlerinin zaman ortamındaki karşılıkları

Zamana bağılı olarak deprem ivme değerlerini ifade eden, kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılarak, hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişleri doğrudan doğruya sayısal integrasyon yöntemi ile elde edilmektedir. Doğrudan doğruya sayısal integrasyon yönteminin uygulanması için Newmark tarafından önerilen ve geliştirilen Newmark sayısal integrasyon yöntemi, Newmark yönteminde Δt zaman aralığında yapılan basit bir düzenlemeyi içeren Wilson θ faktörü yöntemi, Newmark yönteminin yeniden düzenlenmesi ile elde edilen Hilber, Hughes ve Taylor α yöntemi, trapez kuralına dayanan doğrusal ivme varsayımı gibi çeşitli metotlar kullanılabilir (Wilson, 2002). Burada basitlik oluşturma açısından doğrusal ivme yöntemi ile hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişi ifadelerinin elde edilmesi açıklanmaya çalışılacaktır.

$\ddot{a}(t)$ ve $\ddot{a}(t + \Delta t)$, t ve $t + \Delta t$ anlarındaki deprem ivme değerlerini, $\dot{a}(t)$ ve $\dot{a}(t + \Delta t)$, t ve $t + \Delta t$ anlarındaki deprem hız değerlerini, $a(t)$ ve $a(t + \Delta t)$ ise t ve $t + \Delta t$ anlarındaki deprem yerdeğiştirme değerlerini ifade etmektedir. Yer hareketinin hız ve yerdeğiştirmesinin $t + \Delta t$ anındaki Taylor açılımı yazılırsa, Denklem (2.9)'da belirtilen ifadeler elde edilmektedir (Ohsaki, 1976).

$$\begin{aligned}\dot{a}(t + \Delta t) &= \dot{a}(t) + (\Delta t)\ddot{a}(t) + \frac{1}{2}(\Delta t)^2\dddot{a}(t) + \dots \\ a(t + \Delta t) &= a(t) + (\Delta t)\dot{a}(t) + \frac{1}{2}(\Delta t)^2\ddot{a}(t) + \frac{1}{6}(\Delta t)^3\dddot{a}(t) + \dots\end{aligned}\tag{2.9}$$

Daha öncede belirtildiği üzere, Şekil 2.13'de belirtilen integrasyon yönteminde kullanılan doğrusal ivme varsayımı esasınca, zaman içinde yer hareketi ivmesinin doğrusal bir değişim gösterdiği varsayılmaktadır.



Şekil 2.13 : Doğrusal ivme varsayımı (Ohsaki, 1976).

Böylece, t anındaki yerdeğiştirmenin üçüncü türevi Denklem (2.10) ile ifade edildiği şekilde belirlenmektedir. Ayrıca, Taylor açılımında devam eden dördüncü ve daha yüksek türevler de, bu yaklaşım uyarınca sıfır olmaktadır.

$$\ddot{a}(t) = \frac{\ddot{a}(t + \Delta t) - \ddot{a}(t)}{\Delta t} \quad (2.10)$$

Denklem (2.10) ifadesi, Denklem (2.9)'daki yerdeğiştirmenin üçüncü türevinin bulunduğu yerlere yazılırsa, Denklem (2.11)'de belirtilen yer hareketinin, $t + \Delta t$ anındaki hız ve yerdeğiştirme ifadeleri elde edilmektedir.

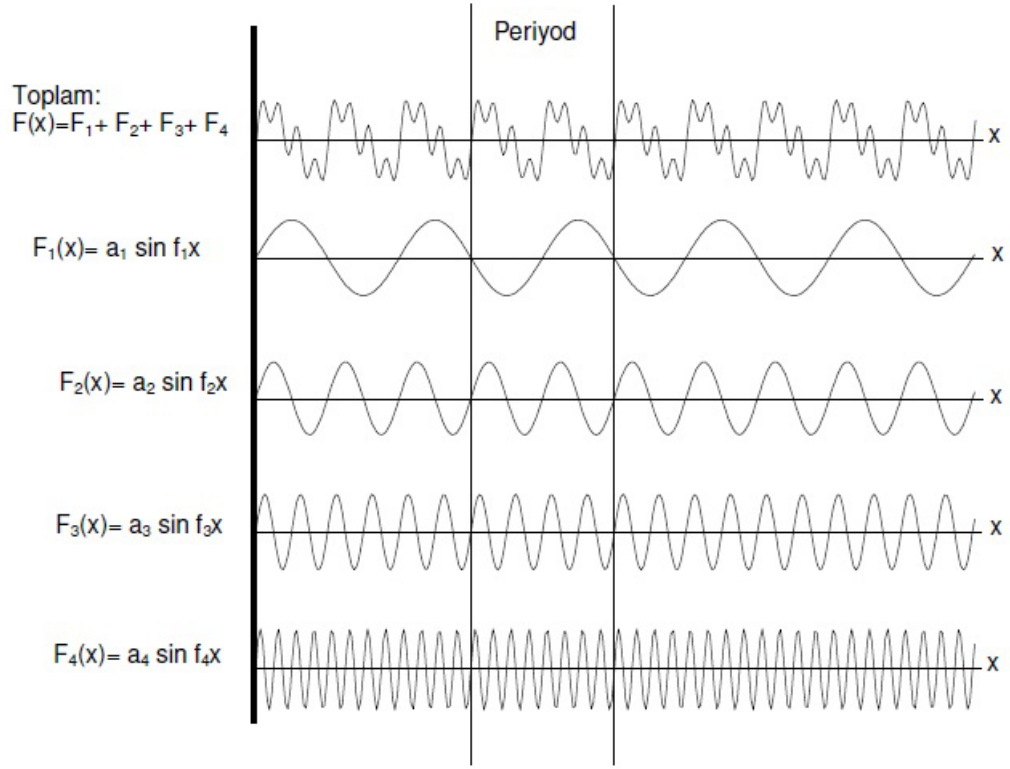
$$\begin{aligned} \dot{a}(t + \Delta t) &= \dot{a}(t) + \frac{1}{2}(\Delta t)\ddot{a}(t) + \frac{1}{2}(\Delta t)\ddot{a}(t + \Delta t) \\ a(t + \Delta t) &= a(t) + (\Delta t)\dot{a}(t) + \frac{1}{3}(\Delta t)^2\ddot{a}(t) + \frac{1}{6}(\Delta t)^2\ddot{a}(t + \Delta t) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Bu ifadeler doğrultusunda, t anındaki durum bilindiği takdirde, başlangıç koşulları da kullanılarak, $t + \Delta t$ anındaki durumlar elde edilebilmektedir. Böylece yer hareketinin ivme zaman geçmişi bilinmesi durumunda, hız ve yerdeğiştirme -zaman geçmişlerinin elde edilebileceği açıkça görölmektedir (Ohsaki, 1976).

2.3.2 Yer hareketlerinin frekans ortamındaki karşılıkları

Zaman geçmişleri kaydedilen ya da yapay olarak üretilen yer hareketlerinin frekans ortamında ifade ettiği anlam, özellikle deprem mühendisliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Zaman geçmişi bilinen yer hareketi kaydı belirli sayıda frekans bileşenlerinden oluşmakta olup, bu bileşenlerin bulunması amacıyla yer hareketinin frekans ortamındaki karşılıkları belirlenmektedir (Pınar ve Akçığ, 1995). Şekil 2.14'de, ilk sırada bulunan basit bir periyodik fonksiyonun, F_1 , F_2 , F_3 ve F_4 olarak tanımlanan farklı frekans bileşenli sinüs fonksiyonlarının birleşiminden meydana geldiği görölmektedir (Baran, 2008).

Zaman ortamında görölemeyen bazı olaylar frekans ortamında rahatça görölebilmektedir. Yer hareketinin gürültülü barındıran kısmının zaman ortamına göre daha kolayca belirlenerek, süzgeçleme işleminin gerçekleştirilmesi de, frekans ortamında yer hareketini incelemenin diğer bir yararı olarak belirtilebilir (Pınar ve Akçığ, 1995).



Şekil 2.14 : Periyodik bir fonksiyonun sinüs bileşenleri ile ifadesi (Baran, 2008).

2.3.2.1 Fourier genlik ve faz spektrumu

Sabit aralıklarla tekrarlanan bir periyodik fonksiyon, farklı frekans, genlik ve faz açısına sahip basit harmonik terimlerin toplamı olarak ifade edilen Fourier analizi ile temsil edilebilmektedir (Kramer, 2003). Yer hareketinin de, periyodik bir fonksiyon olarak kabul edildiği düşünüldüğünde, deprem sinyallerinin de bu bileşenlerden meydana geldiği açıktır. Bu nedenle, Fourier genlik ve faz spektrumunu açıklamak amacıyla ilk olarak sonlu Fourier açılımı üzerine bir takım bilgiler vermek yerinde olacaktır.

$a(t)$, yer hareketi zaman geçmişinde, eşit aralıklar ile ivme değerleri okunduğunda, sayısal bir zaman serisi elde edilir. Bu zaman serisini tanımlayacak matematiksel bir ifadenin bulunması gerektiği açıkça görülmektedir. T , toplam süre, Δt , zaman serisinde okunan örnek nokta aralığı ile N , tüm zaman serisinde okunan örnek sayısının çarpımına eşittir. m , örnek nokta numarası, 0 'dan başlayarak, $(N-1)$ 'e kadar değişmektedir. Zaman serisi üzerindeki bu N adet noktadan çok sayıda fonksiyon geçmesine rağmen, sonlu Fourier açılımının anlatımında, trigonometrik bir fonksiyon (Denklem (2.12)) ele alınmaktadır. Denklem (2.12)'de A ve B , 0 'dan başlayarak, k değerine kadar giden sabitleri ifade etmektedir.

$$A_0 + A_1 \cos t + A_2 \cos 2t + \dots + A_k \cos kt + \dots + B_0 + B_1 \sin t + B_2 \sin 2t + \dots + B_k \sin kt \quad (2.12)$$

(2.12)'de görülen trigonometrik ifade de, orijinal zaman geçmişlerine benzetmek ve ileride yapılacak işlemlerde kolaylık sağlamak amacıyla gerekli düzenlemeler yapıp, sonsuz adet örnek nokta $k = N/2$ değerinde kesilirse, (2.13) ile ifade edilmekte olan zaman serisinin matematiksel tanımı elde edilmiş olunur.

$$a_m = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{N/2-1} \left[A_k \cos \frac{2\pi km}{N} + B_k \sin \frac{2\pi km}{N} \right] + \frac{A_{N/2}}{2} \cos \frac{2\pi(N/2)m}{N} \quad (2.13)$$

(2.13)'de, her m değeri için bir denklem yazılabileceğinden, N adet denklem elde edilebilmektedir. İfade de N adet bulunan A ve B katsayıları, denklemin bilinmeyenlerini oluşturmaktadır. Bu durum da lineer denklem takımının çözümü için, N adet bilinmeyen ve bu bilinmeyenlerin çözümünde kullanılacak olan N adet denklem bulunmaktadır. N bilinmeyenli denklem takımının çözümünde kullanılacak gerekli trigonometrik ifadeler belirlenip, yerine yazılarak ve çeşitli matematiksel işlemler yapılarak, bilinmeyen A ve B katsayıları (2.14)'de ifade edildiği şekilde elde edilmektedir.

$$A_k = \frac{2}{N} \sum_{m=0}^{N-1} a_m \cos \frac{2\pi km}{N} \quad (2.14)$$

$$B_k = \frac{2}{N} \sum_{m=0}^{N-1} a_m \sin \frac{2\pi km}{N}$$

x_m ifadesinin de zamanın fonksiyonu olarak belirtilmesi amacıyla, m örnek nokta sayısı yerine, zaman değişkeni t 'nin, örnek nokta aralığı Δt 'ye bölümü (2.13) ifadesinde yazılabilir.

Bu durumda (2.15) ifadesinde belirtilen zamana bağlı değişen $a(t)$ fonksiyonuna "Sonlu Fourier Açılımı", (2.14) ile belirtilen A_k ve B_k katsayılarına da "Sonlu Fourier Katsayıları" denmektedir. $\tilde{a}(t)$ fonksiyonu bilinen olup, A_k ve B_k katsayılarının hesaplanarak belirlenmesine, "Ayrık Fourier Dönüşümü", katsayılar bilinen olması durumunda ise, $\tilde{a}(t)$ asıl örnek değerlerin elde edilmesine "Ters Fourier Dönüşümü" adı verilmektedir.

$$\tilde{a}(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{N/2-1} \left[A_k \cos \frac{2\pi kt}{N\Delta t} + B_k \sin \frac{2\pi kt}{N\Delta t} \right] + \frac{A_{N/2}}{2} \cos \frac{2\pi(N/2)t}{N\Delta t} \quad (2.15)$$

(2.15) denklemini incelenecek olursa, ifadenin ilk terimi olan $A_0/2$ bütün örnek değerlerin ortalaması olup, dalga formunun sıfır çizgisine uzaklığını belirtmektedir. Sinüs ve kosinüs'lü ifadeler içeren ikinci terim asıl dalga formunu göstermektedir. Bu durumda esas dalganın sinüs ve kosinüs dalgalarına ayrıştığını söylemek mümkündür. Bu sinüs ve kosinüs dalgalarının 1 saniyedeki tekrar sayısı f_k , (2.16)'de belirtildiği gibidir. Dalgaların bir kere tekrarı için gerekli zaman ise T_k ile ifade edilmekte olup, $1/f_k$ olarak belirlenmektedir. Burada f_k , frekans, T_k ise periyot parametrelerini ifade eder.

$$f_k = \frac{k}{N\Delta t} = \frac{1}{T_k} \quad (2.16)$$

f_k değeri (2.15) ile belirtilen ifade de yazılırsa, (2.17) ifadesi elde edilmektedir. Böyle bir fonksiyonda f_k değerinin artması, yüksek frekanslı dalga formunu yani hızlı titreşimi göstermektedir.

$$\tilde{a}(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{N/2-1} [A_k \cos 2\pi f_k t + B_k \sin 2\pi f_k t] + \frac{A_{N/2}}{2} \cos 2\pi f_{N/2} t \quad (2.17)$$

Denklem (2.17)'de görüldüğü üzere, dalga formunun, k değerleri 1'den, $N/2-1$ e kadar değişen kosinüs ve sinüs'lü terimlerin toplamına, $N/2$ 'inci kosinüslü değer eklenmesinden oluştuğu görülmektedir. Bu durumda esas dalga formunun, $N/2$ adet farklı frekans barındıran dalgaya ayrılmış olduğu anlaşılmaktadır. k değeri arttıkça, frekans değerinin de arttığı bilinmektedir. $k=1$ için 1. mod frekansı olan f_1 frekansı, temel frekans olarak adlandırılmakta olup, en küçük değere sahiptir. Bu frekans değeri (2.18) ifadesi belirlenmekte olup, frekansın periyot değerinin tersi olduğu düşünüldüğünde, asıl dalganın tüm kayıt süresini periyot değeri olarak aldığı frekansın temel frekans olduğu anlaşılmaktadır. Bu frekans değeri tüm dalganın içerdiği çeşitli frekans değerlerinin içinde en küçük değere sahip olanıdır.

$$f_1 = \frac{1}{N\Delta t} \quad (2.18)$$

$k=N/2$ değeri için tanımlanan $f_{N/2}$ frekansı ise, diğer bir özel frekans olan en yüksek modun frekansıdır ve Nyquist frekansı olarak adlandırılır. (2.19) doğrultusunda, bu frekans değerine karşı gelen periyot değeri ise örnek değer aralığının iki katına karşı gelmektedir.

$$f_{N/2} = \frac{1}{2\Delta t} \quad (2.19)$$

Nyquist frekansından daha yüksek frekanslı bileşenlerin Fourier yaklaşımı ile belirlenmesi mümkün değildir. Bu durumun nedenlerinden biri, sonlu Fourier açılımının elde edilmesinde, çözülen N bilinmeyenli denklemde bilinmeyen sayısı, denklem sayısından fazla olacaktır. Bu nedenle sonlu Fourier katsayıları düzgün bir biçimde elde edilememektedir. Fourier analizinde yüksek frekanslı bileşenlerin meydana getirdiği hataya "aliasing" adı verilmektedir.

Sonlu Fourier katsayılarının geometrik anlamlarının incelenmesi amacıyla, (2.17) denklemi, genlikleri farklı sinüs ve kosinüs dalgalarının birbirine eklenmesi ile elde edilen (2.20)'deki trigonometrik bağıntılara göre uyarlanacaktır.

$$\begin{aligned} a \cos \alpha + b \sin \alpha &= \sqrt{a^2 + b^2} \cos(\alpha + \phi) \\ \phi &= \tan^{-1}\left(-\frac{b}{a}\right); \sin \phi = -\frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}; \cos \phi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Bu amaçla öncelikle, denklemin ikinci terimi göz önüne alınırsa, uyarlama sonucunda (2.21) denklemindeki bağıntılar elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} X_k &= \sqrt{A_k^2 + B_k^2}; \quad \phi_k = \tan^{-1}\left(-\frac{B_k}{A_k}\right) \\ A_k \cos(2\pi f_k t) + B_k \sin(2\pi f_k t) &= X_k \cos(2\pi f_k t + \phi_k) \end{aligned} \quad (2.21)$$

(2.21) bağıntıları yardımıyla, (2.17) denklemindeki birinci ve üçüncü terimler de çözümlendiğinde, (2.22)'de belirtilen bağıntı elde edilmektedir. Bu bağıntıda, X_k ; dalganın k . mod bileşenindeki titreşiminin genliğini, ϕ_k ; k . mod bileşeninin faz açısını göstermektedir.

$$\tilde{a}(t) = \frac{X_0}{2} + \sum_{k=1}^{N/2-1} [X_k \cos(2\pi f_k t + \phi_k) + B_k \sin(2\pi f_k t + \phi_k)] + \frac{X_{N/2}}{2} \cos 2\pi f_{N/2} t \quad (2.22)$$

Frekansa karşı, X_k genlik değerlerinin çizilmesi ile Fourier Genlik Spektrumu, $\square_k$, faz açılarının grafiklenmesi ile de, Fourier Faz spektrumu elde edilmektedir (Ohsaki, 1976).

Fourier Genlik Spektrumu, yer hareketinin genliğinin, yer hareketinin barındırdığı çeşitli frekans değerlerinde nasıl değiştiğini göstermektedir. Genlik spektrumunun dar görünüşü, esas dalga formunun yani ivme zaman geçmişinin düz ve sinüzoidal olduğunu, geniş bir görünüme sahip olması ise, yer hareketi zaman geçmişinin çeşitli frekans bileşeninde dalgalar içerdiğini göstermektedir. Fourier faz spektrumu yer hareketi zaman geçmişini etkilemesi açısından önemlidir. Çünkü faz açıları, harmonik dalgaların en büyük tepe noktalarının olduğu zamanları kontrol etmektedir (Kramer, 2003).

2.3.2.2 Fourier güç spektrumu

Eğer sonlu Fourier serisi, sonlu kompleks Fourier serisi şeklinde yazılacak olursa, Fourier katsayıları cinsinden kompleks Fourier katsayısı (kompleks genlik; C_k) ve sonlu kompleks Fourier serisi (2.23)'de belirtildiği şekilde ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} C_k &= \frac{A_k - iB_k}{2} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \\ a_m &= \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{i(2\pi km/N)} \quad m = 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (2.23)$$

Fourier genlik ve faz spektrumunun açıklanmasında belirtilmiş olan a_m örnek değerlerinin karelerinin toplamının, örnek değer sayısına bölümü "ortalama güç" olarak tanımlanmaktadır ve (2.25)'de belirtilmektedir.

$$OrtalamaGüç = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} a_m^2 = \sum_{k=0}^{N-1} |C_k|^2 \quad (2.24)$$

Bu ifade düzenlenecek olursa, (2.25) ile belirtilen ifade elde edilir ve bu ifade, ortalama gücün her dalga bileşeninden gelen miktara göre ayrıldığını göstermektedir. Eğer her dalga bileşeninin frekansı ile (2.25) denklemi ile belirtilen ifade arasındaki ilişki grafiksel olarak belirlenecek olursa, dalganın "güç spektrumu" elde edilmiş olur.

$$\sum_{m=0}^{N-1} a_m^2 \Delta t = T |C_0|^2 + 2 \sum_{k=1}^{N/2-1} (T |C_k|^2) + T |C_{N/2}|^2 \quad (2.25)$$

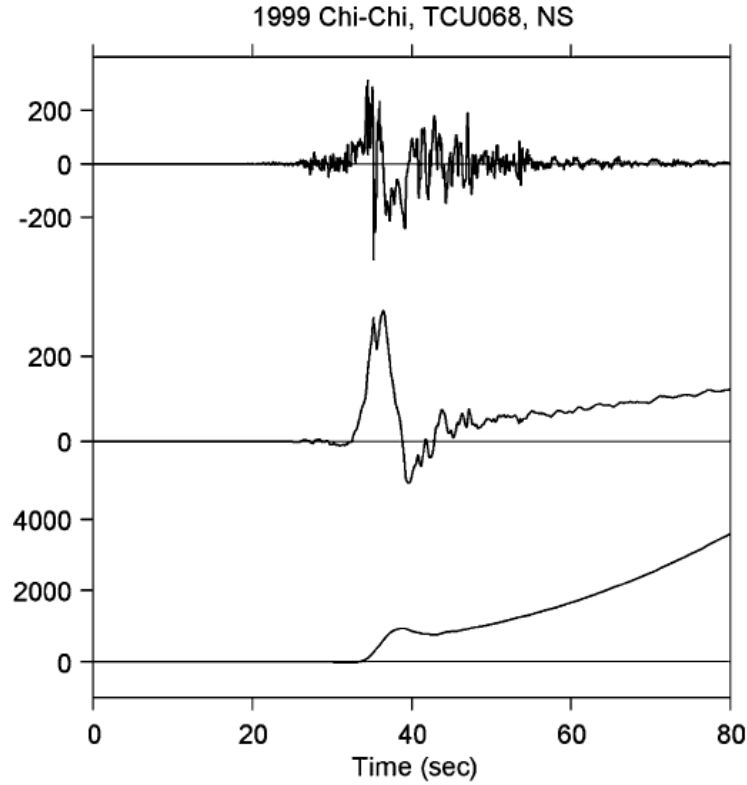
Güç spektrumu ile Fourier spektrumu anlam bakımından birbiri ile yakındır. Güç spektrumu, Fourier spektrumunun karelerini göstermekte olduğundan, dalganın her bir bileşeninin yapılar üzerinde göstereceği etki daha baskın bir şekilde görülmektedir. Fourier spektrumundan farklı olarak, güç spektrumu, faz kaymalarını içermez. C_k^2 kompleks Fourier katsayılarının karesi, incelendiğinde, sonlu Fourier katsayılarının karelerinin toplamını ifade ettiği görülmektedir. Bu ifadenin toplam süre ile çarpımı ise güç spektrumu değerlerini gösterir. Böylece güç spektrumu değerleri, Δ_k kayma açısı değerlerinden bağımsız bir ifade olarak görülmektedir. Bu nedenle, genlik değerlerini içersinde barındıran güç spektrumu kullanılarak, farklı faz açıları için sonsuz sayıda dalga elde edilebilir fakat sonsuz sayıda faz açısı olması sebebiyle esas dalgayı bilmek mümkün olamamaktadır (Ohsaki, 1976).

2.3.3 Yer hareketlerinin düzeltilmesi ve süzgeçlenmesi

Kuvvetli yer hareketleri farklı nedenlerden dolayı kayıtçı tarafından kaydedilirken bir dizi ilave sinyali de içermektedir. Bu çalışmanın da konusunu oluşturan gürültü kavramı, kayıtların bu tür hatalar barındırmasının başlıca nedenlerindendir. Daha önceki bölümlerde açıklandığı üzere, gerçek deprem kayıtlarının barındırdığı yüksek ya da düşük frekanslı olabilen gürültü, okyanus dalgaları, trafik, rüzgar, basınç değişimleri gibi bir çok kaynaktan meydana gelebilir. Bu nedenle, gerçek deprem kayıtlarında hatalara neden olabilen gürültüler gerek zaman ekseni düzeltilmesi, gerek filtreleme işlemleri ile yer hareketlerinden ayrılmalıdır (Kramer, 2003). Yüksek ya da alçak frekanslı (veya periyotlu) olabilen gürültüleri, deprem yer hareketlerinden ayıklamak amacıyla gerçekleştirilen işlemleri, yüksek frekans ve alçak frekans süzgeçlenmesi olarak iki kısma ayırmak mümkündür (Seo, 2005).

Kayıtçının alet tepkisi olarak adlandırılan ve dinamik özelliklerinden kaynaklı olarak yer hareketi kaydında hatalar meydana gelmektedir (Kramer, 2003). Bu tür hatalardan kaynaklanan analog ve dijital kayıtların zaman ekseninde meydana gelen kaymalar ve bozulmalar nedeniyle, ivme zaman geçmişinin integre edilmesi ile elde edilen hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişlerinin anlamsız olmasına neden olmaktadır. 2.15' daki şekilde görülen 1999 Chi-Chi depremindeki zaman eksenine göre hatalardan dolayı, hız ve yerdeğiştirme eğrileri, fiziksel kurallara aykırı bir

grafik olarak elde edilmiştir. Görüldüğü üzere, depremin sonunda meydana gelen yerdeğiştirmenin sıfır olması gerekmesine rağmen, yerdeğiştirme zaman geçmişi sıfırda kapanmamaktadır. Bu durum, ivme kaydından, doğrunun ya da düşük dereceli polinomların çıkarılması ile düzeltilmektedir (Boore ve Bommer, 2004).

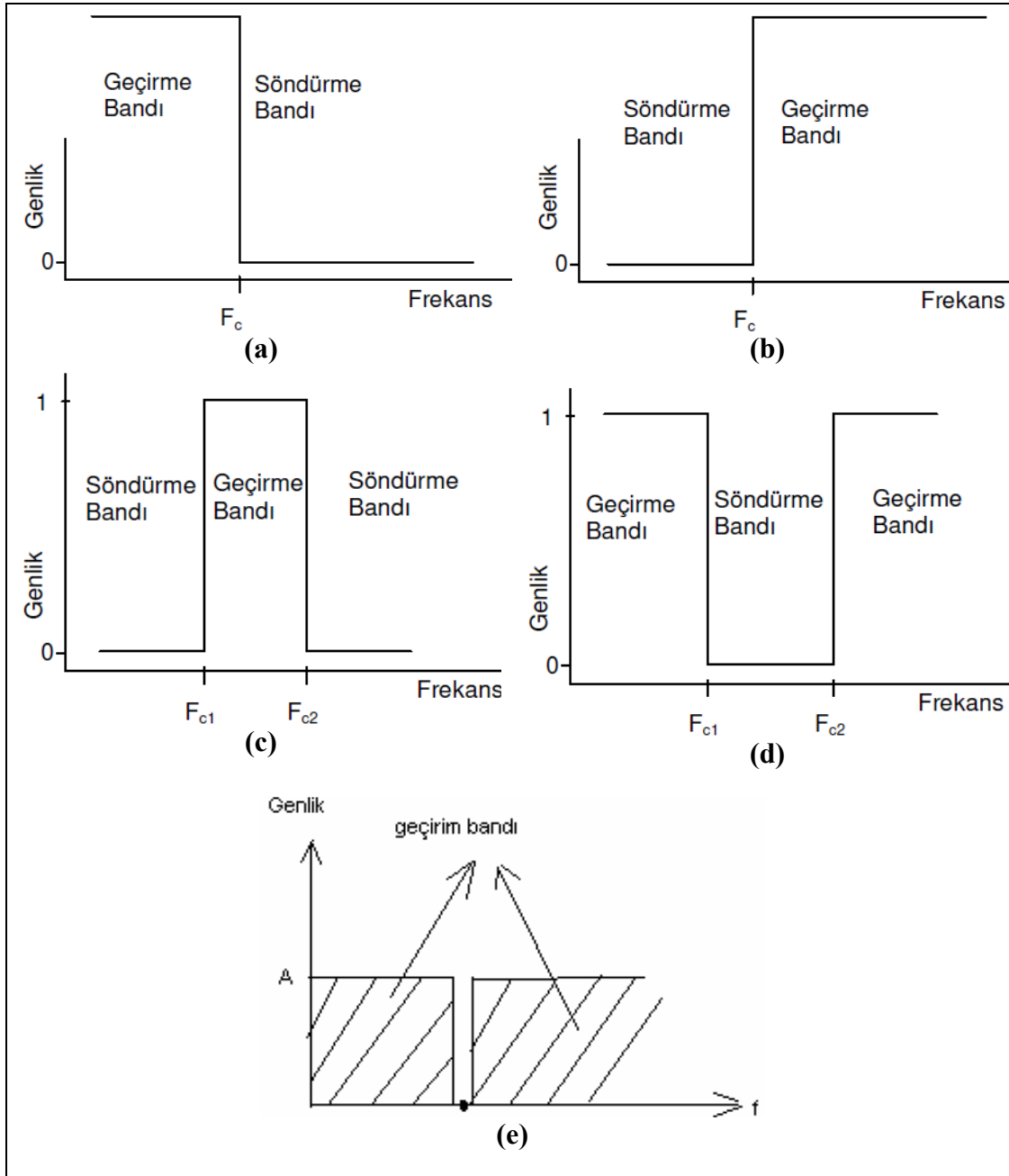


Şekil 2.15 : Zaman eksenindeki kaymadan kaynaklanan hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişlerindeki bozulmalar (Boore ve Bommer, 2004).

Deprem kayıtlarının barındırdığı gürültüler çeşitli frekanslarda olabilir. Bu amaçla, deprem hareketinden, gürültü olarak ifade edilen rastgele sinyalleri elemek için çeşitli filtreler geliştirilmiştir.

Alçak geçiren (Low Pass) filtre, belli bir frekans değerinden, daha küçük frekanslı sinüzoidal bileşenleri geçiren, daha yüksek frekanslıları ise süzgeçleyen filtre olarak bilinmektedir. 2.16 (a)'daki şekilde alçak geçiren süzgecin tanımı yapılmaktadır. Burada F_c ile belirtilen frekans, sınır frekansı olup, kesme frekansı adını almaktadır. Şekil 2.16 (b)'de tanımlanan süzgeç ise yüksek geçiren (High Pass) filtre olarak adlandırılmakta ve F_c frekans değerinden, daha yüksek frekanslı sinüzoidal bileşenleri geçirmektedir. Bu frekans değerinden küçük frekanslı bileşenleri ise süzgeçlemektedir. Band geçiren (Band Pass) süzgeç ise belirlenen iki kesme frekansı arasındaki bileşenleri geçirirken, bu frekans değerlerinin dışında kalan bileşenleri

ayıklamaktadır. Şekil 2.16 (c)'de bu türden bir filtre mevcuttur. Şekil 2.16 (d)'de görülen band durduran (Band Block) filtre ise, band geçiren filtrenin tam tersi olup, iki kesme frekansı arasındaki bileşenleri geçirmeyip, dışında kalan frekanslardaki sinüzoidal bileşenleri geçirmektedir. Diğer bir filtre tipi ise, çentik (Notch) filtresi 2.16 (e) olarak adlandırılan ve belirli bir frekanstaki bileşeni geçirmeyen, diğer tüm frekanslardaki bileşenleri geçiren süzgeç tipidir.



Şekil 2.16 : (a) Alçak geçiren filtre, (b) Yüksek geçiren filtre, (c) Band geçiren filtre, (d) Band durduran filtre (Baran, 2008), (e) Çentik filtresi [Url-6]

2.3.4 Yer hareketlerinin mühendislik özellikleri

Yer hareketleri altında oluşturulacak yapıların tasarımında yer hareketi parametreleri önemli bir yer tutmaktadır. Bunun yanı sıra, literatürde yer alan farklı mühendislik şiddetleri de, yer hareketinin mühendislik özelliklerini yansıtmak amacıyla oldukça yarar sağlamaktadır.

2.3.4.1 Yer hareketi parametreleri

Genlik, frekans içeriği ve süre, deprem ivme hareketlerinin mühendislik açısından önem oluşturan özellikleri olarak sayılabilir. Bunlara dayalı olarak amaçla geliştirilen bir takım parametreler mevcuttur.

Genlik parametreleri, yer hareketi ivme, hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişlerinin en büyük değerleri olan, en büyük ivme (PGA), hız (PGV) ve yerdeğiştirme (PGD) parametreleridir. Yer hareketlerinin tanımlanmasında sıkça kullanılan PGA, yatay ve düşey ivme olmak üzere hareketin iki bileşeni içinde tanımlanmaktadır. Fakat düşey yatay ivme, yatay ivmeye göre yapılarda daha az etki oluşturmaktadır. Deprem yapıları ani etkisine atalet kuvvetleri karşı koymaktadır ve yatay ivmenin, bu atalet kuvvetleri ile doğrudan ilişkili olması açısından önemlidir. Bu konu üzerine daha ayrıntılı açıklama, davranış spektrumlarının belirlenmesi konusunda belirtilmiştir. Yer hareketlerinin, yatay bileşenleri yapı üzerinde kesme kuvvetlerine neden olurken, düşey ivmeler ve yerçekimi ivmeleri altında yapılar üzerinde basınç gerilmeleri meydana gelmektedir. Yapıların kesme ve çekme kuvvetlerine karşı dayanımının, basınç kuvvetlerine göre daha az olması, yatay ivme değerinin mühendislik açısından daha önemli olduğunun bir göstergesidir (Çeken, 2007). Ayrıca, en büyük düşey ivme değerinin, en büyük yatay ivme değerinin yaklaşık üçte ikisi olduğu kabul edilmesi de, yatay ivme değerlerinin etkinliğini açıklamaktadır (Newmark ve Hall, 1982). PGV, en büyük hız değeri ise, yer hareketinin orta frekanslarında etkindir ve bu frekans seviyesine sahip yapılar için oluşacak hasarı daha iyi tanımlamaktadır. PGD, en büyük yer değiştirme ise yüksek periyotlarda yani düşük frekanslara duyarlı bölge içerisinde kalmaktadır. Fakat bir önceki bölümde ifade edilen, integralin toplama özelliği nedeniyle ivme geçmişinde olan hatalar en çok yer değiştirme zaman geçmişinde gözlemlendiğinden, PGD değerini belirlenmesi zor olmaktadır. Ayrıca devamlı en büyük ivme ve hız olarak ifade edilen, diğer bir yer hareketi parametresi Nutli (1979) tarafından tanımlanmıştır. İvmenin veya hızın

zamana göre üçüncü ya da beşinci devrinin en büyük mutlak değeri olarak tanımlanan bu parametreler, yer hareketinin yapı üzerinde yıkıcılığını belirtmek açısından önem oluşturmaktadır.

Davranış spektrumlarının, yer hareketinin, yapılar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi açısından büyük öneme sahip olduğu bilinmektedir. En büyük spektral ivme, hız ve yerdeğiştirme değerlerinin farklı frekans veya periyotlarda meydana geldiği, spektrumlardan anlaşılmaktadır. Düşük frekanslarda yani yüksek periyotlarda ortalama yerdeğiştirme değerlerinin yaklaşık sabit olması nedeni ile bu bölgeye yerdeğiştirme kontrollü bölge adı verilmektedir. Aynı şekilde, yüksek frekanslarda ivme değerlerinin, sabit değerler alması nedeniyle ivme kontrollü bölge, orta frekanslarda hızın sabit olması nedeniyle de, bu bölgeye hız kontrolü bölge denmektedir. Doğrusal olmayan davranış sergileyen yapılar için elde edilen süneklik, dayanım azaltma katsayısı spektrumları da yer hareketinin yapılar üzerindeki etkisini göstermesi açısından oldukça önemlidir.

Yer hareketinin frekans ortamına dönüştürülmesi ile elde edilen frekans içeriği parametreleri de, depremin frekans ortamındaki özelliklerini yansıtması açısından oldukça önemli olup, yer hareketinin frekans içeriğini temsil etmesi açısından, Fourier Genlik Spektrumunda en büyük değere karşı gelen periyot değeri olarak tanımlanan baskın periyot (T_p) oldukça önemlidir. Ayrıca, spektral değerlerin baskın periyot etrafındaki dağılımlarının belirlenmesi açısından bant genişliğinin tespiti de, yer hareketinin özelliklerini belirlemede yardımcı parametrelerdendir. Bant genişliği, genellikle en büyük spektrum gücünün yarısındaki düzeyde ölçülmektedir. Vanmarcke (1976) tarafından önerilen, güç spektrum fonksiyonun en fazla olduğu yerdeki frekans olarak tanımlanan merkezi frekans ve bu frekans değeri etrafındaki saçılmaları ifade edilen şekil faktörü de yer hareketi parametreleri olarak sayılabilir.

Yer hareketlerinin süresi, depremin özelliklerinin anlaşılmasında ve yapılar üzerindeki hasarın belirlenmesinde oldukça önemli bir faktördür. Yüksek PGA içeren yer hareketleri genellikle daha yıkıcı özellikte olsa da, PGA değerlerinin yüksek frekanslarda (düşük periyotlarda) oluşması nedeniyle ayrıca deprem süresinin de kısa olduğu durumlarda, yapıları fazla zorlayamadığından, hasara neden olamamaktadır. Çünkü sürenin kısa olması nedeniyle, yeterli yük çevrimleri oluşamamaktadır. Buna karşın, orta genlikli bir yer hareketi sürenin uzun olması nedeniyle, yük çevrimlerinin meydana gelmesinin sağlayarak, hasar oluşumuna

neden olabilir. Süre, fayın uzunluğunun artması ile artmaktadır. Çünkü kırılacak alan büyüdükçe, fayı kırma süresi de artmaktadır. Bu nedenle, depremin süresi, kaynak mekanizması ile yakından ilişkilidir. Örneğin, 1989 Loma Prieta depreminde, çift yönlü yırtılma durumunda, depremin süresi oldukça kısa olmuştur (Kramer, 2003).

2.3.4.2 Mühendislik şiddetleri

Yapıların tasarlanmasında yer hareketinin yıkıcı nitelikte olup olmadığı meydana getirdiği güç kavramı oldukça büyük önem taşımaktadır. Depremin yıkıcılığının belirlenmesi için çeşitli mühendislik şiddetleri önerilmiştir. Bu şiddetlerin bir kısmı, tamamen yer hareketi ile ilgili iken, bir kısmı da hem yer hareketi özelliklerini, hem de yapıların dinamik özelliklerini birlikte ele alan mühendislik şiddetleridir.

İvmelerin karelerinin karekökü olarak tanımlanan **(2.26)** I_{RS} şiddeti, yalnız yer hareketi özelliklerini içeren mühendislik şiddetlerindendir.

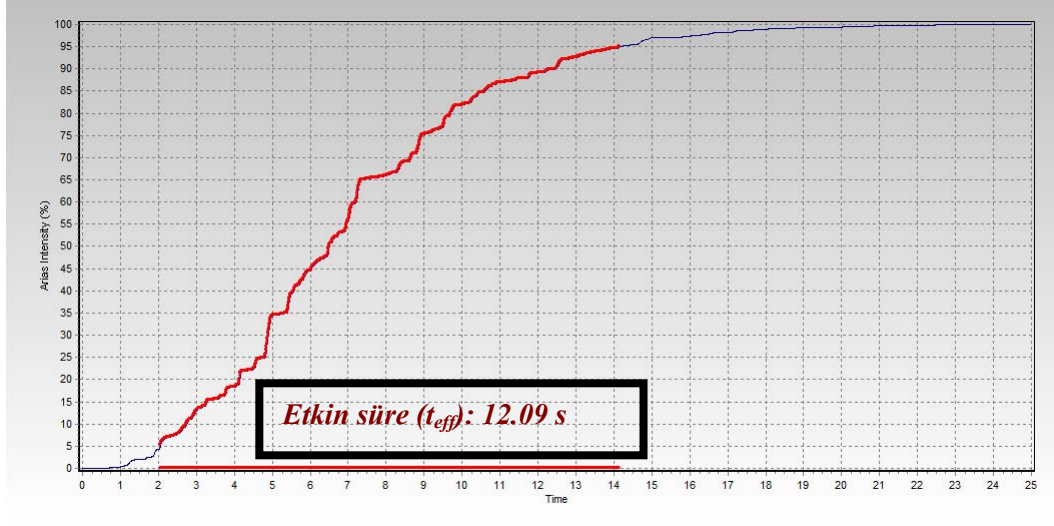
$$I_{RS} = \left[\int_0^{t_d} a^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (2.26)$$

(2.27) ile belirtilen, I_{RMS} şiddeti ise ivmelerin karelerinin ortalamasının karekökü olarak tanımlanmaktadır. Her iki parametre de $a(t)$ ile belirtilen yer hareketi ivmesi olup, depremin süresi ise t_d ile ifade edilmiştir.

$$I_{RMS} = \left[\frac{1}{t_d} \int_0^{t_d} (a(t))^{1/2} dt \right]^{1/2} = \frac{1}{t_d} I_{RS} \quad (2.27)$$

Etkin süre olarak bilinen t_{eff} , yer hareketinin Arias şiddeti olarak tanımlanan gücünün %5 ile %95 değerleri arasında kalan süre olarak tanımlanmaktadır. Arias şiddeti, birim ağırlığa düşen enerjidir ve yayılan enerjinin doğal frekanslara göre uniform dağıldığı varsayımı yapılmaktadır. Şekil 2.17'de belirtilen şiddet grafiği ve etkin süre görülmektedir.

Bu parametrelerin yanı sıra, Housner şiddeti **(2.28)** olarak bilinen %20 sönümlü hız spektrumunun, 0.1 ve 2.5 s'li periyotlar arasında, altında kalan alanı ifade eden şiddet parametresi de oldukça yaygın kullanılan önemli bir parametredir.



Şekil 2.17 : 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına uyumlu üretilen yapay yer hareketinin Arias şiddeti grafiği ve etkin süre.

$$SI_{0.2} = \int_{0.1}^{2.5} S_v(0.2; T) dT \quad (2.28)$$

Etkin ivme ise, %5 sönümlü hız spektrumu alanının %90'nı verecek olan yer hareketinin en büyük ivme değeridir.

Deprem hücum gücü olarak bilinen parametre ise, etkin ivme ile etkin sürenin çarpımının, Housner şiddetine bölümü ile ifade edilmektedir. (2.29) ile hesaplanan edilen deprem hücum gücü ifadesinde, 2.4 sayısı Housner şiddetinin elde edildiği periyot aralığıdır (Hasgür, 1991).

$$IEAP = \frac{aeff \cdot t_{eff}}{SI_{0.2} / 2.4} \quad (2.29)$$

Efektif en büyük ivme ve hız olarak tanımlanan parametreler Denklem (2.30) ile ifade edilmekte ve periyot aralığı 0.1 ile 0.5 s olan spektral ivmelerin 2.5'e bölünmesi ile elde edilen, ortalama değerler olarak bilinmektedir. Bu parametreleri, bölgesel olarak ortaya çıkan en büyük ivmelerin etkilerini azaltması açısından önemlidir (Kramer, 2003).

$$EPA = \frac{S_{a, \max}}{2.5} ; \quad EPV = \frac{S_{v, \max}}{2.5} \quad (2.30)$$

3. TSD SİSTEMİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ SPEKTRUMU

Önceki bölümde açıklanan Fourier Spektrumu, yapı sisteminin karakteristiklerinden bağımsız olarak yer hareketinin tamamen kendi özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Davranış spektrumu ise, yer hareketine maruz kalan bir yapının bu hareketten ne derece de etkileneceğinin incelenmesi açısından önemlidir. TSD sistemlerin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisinin doğrusal ya da doğrusal olmamasına göre davranış spektrumları da ikiye ayrılmaktadır. Bu bölüm kapsamında ilk önce doğrusal davranış spektrumu, daha sonra da doğrusal olmayan davranış spektrumu açıklanacaktır.

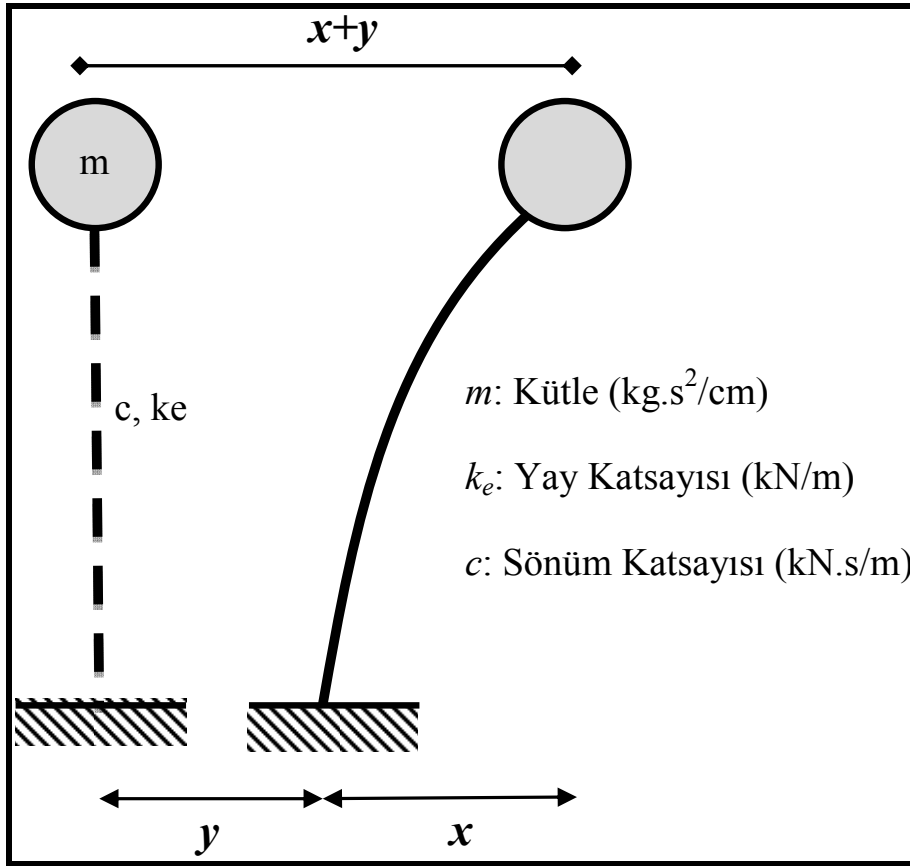
3.1 Doğrusal Davranış Spektrumu

3.1.1 Tek kütle sisteminin titreşimi

Titreşen sistemleri iki ana sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlardan ilki, içerisinde birim şekil değiştirmelerin meydana gelmediği rijit sistemler, diğeri ise içindeki noktaların birbirinden farklı hareket edebildiği esnek sistemler olarak adlandırılmaktadır ve esnek sistemler, kütlelerin dağılımı ile tanımlanmaktadır (Kramer, 2003). Davranış spektrumunun açıklanmasının öncesinde, tek kütle sisteminin titreşiminin esaslarının anlatılması, davranış spektrumunun temelini oluşturması bakımından daha yerinde olacaktır.

Şekil 3.1' de, sadece yatay olarak hareket edebilen, dönme, burulma gibi diğer serbestlikleri ihmal edilen TSD sistem modeli görülmektedir. Bu model yapı sistemleri açısından değerlendirilecek olursa, m kütlesi, yapı ağırlığını; k_e yay katsayısı, yapının zemine göre yerdeğiştirmesinin ardından tekrar ilk haline ulaştıran elastik kuvveti ve c sönüm katsayısı ise, yapının titreşime maruz kalmasının ardından, titreşimin zayıflamasını sağlayan sönümleyiciyi ifade etmektedir. Bu sistem modelinde, zemine mesnetlenen kısmın, eğilme şekil değiştirmesi yaptığı

kabul edilirse, kütle dönmektedir, bu nedenle, mesnetlenen kısmın kayma yerdeğiştirmesi yaptığı varsayılmaktadır.



Şekil 3.1 : TSD sistemi ifade eden tek kütle modeli.

TSDS modeline yer hareketinin etkimesi halinde, zeminin y kadar ve kütlenin, zemine göre x kadar bağıl yerdeğiştirdiğı kabul edilirse, sistemin mutlak yerdeğiştirmesi $(x+y)$ kadar olmaktadır. Kütle ile ivmenin çarpımının, etkiyen kuvvete eşit olduğunu ifade eden Newton'un 2. yasası ile hareket denklemi, Denklem 3.1'de görüldüğü şekilde yazılabilir. Mutlak yerdeğiştirmenin zamana göre ikinci türevi olan ivme ile m kütlesinin çarpılması sonucunda, m kütlesinin eylemsizlik kuvveti elde edilmektedir. Bağıl yerdeğiştirmenin birinci türevi ile sönüm katsayısının çarpımı, sönümleyici kuvveti ifade ederken, bağıl yerdeğiştirme ile yay katsayısının çarpılması ise sistemin ilk haline dönmesini sağlayan elastik kuvveti göstermektedir.

$$m(\ddot{x} + \ddot{y}) + c\dot{x} + kx = 0 \Rightarrow m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{y} \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'in sönümsüz hal için çözümünde, sinüs ve kosinüs'lü ifadelerin olması nedeniyle, sistem ω açısal frekanslı harmonik bir titreşim göstermektedir. Bu frekansa, sönümsüz "doğal açısal frekans" adı verilmekte ve (3.2) ile ifade edilmektedir.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (rad / s) \quad (3.2)$$

Depremde ortaya çıkan yer hareketinin davranış spektrumunu elde etmek amacıyla, 2. dereceden doğrusal adi diferansiyel denklem niteliğindeki (3.1) ile ifade edilen hareket denklemi, TSD sistem modeli için, sönümün bulunduğu fakat zeminin hareket etmediği varsayımı göz önüne alınarak çözülecektir.

Bu durumda, Denklem (3.1) ifadesi ile belirtilen hareket denklemi, (3.3) ifadesine dönüşmektedir. Burada ξ ile belirtilen parametre sönüm oranı olup, TSD sistemin sönümünün, titreşimin meydana gelip, gelmemesi arasında kalan sınıra karşı gelen kritik sönüme oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \Rightarrow \ddot{x} + 2\xi\omega\dot{x} + \omega^2x = 0 \Leftarrow \begin{matrix} x(0) = 0 \\ \dot{x}(0) = \dot{x}_0 \end{matrix} \quad (3.3)$$

Belirtilen ifadeler doğrultusunda ve başlangıç koşulları altında, (3.3) denklemi çözümlendiğinde, Denklem (3.4) ile ifade edilen yerdeğiştirme ve hız ifadesi elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} x &= \frac{\dot{x}_0}{\omega_d} e^{-\xi\omega t} \sin \omega_d t \\ \dot{x} &= \frac{\dot{x}_0}{\omega_d} e^{-\xi\omega t} (-h\omega \sin \omega_d t + \omega_d \cos \omega_d t) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Burada ω_d ile belirtilen parametre, sönümlü doğal açısal frekanstır. Hareket denkleminin çözümü incelendiğinde, sönümün etkisi ile genliğin üstel olarak azaldığı görülmektedir. Bu nedenle, TSD sistemin doğal frekansı, (3.5) ile ifade edilen sönüm katsayısına, m kütesine ve k yay katsayısına bağlı olan ω_d sönümlü doğal açısal frekansıdır.

$$\omega_d = \omega \sqrt{1 - \xi^2} = \omega \sqrt{1 - \left(\frac{c}{c_{cr}}\right)^2} = \omega \sqrt{1 - \left(\frac{c}{2m\omega}\right)^2} = \left(\sqrt{\frac{k}{m}}\right) \sqrt{1 - \left(\frac{c}{2m\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\right)}\right)^2} \quad (3.5)$$

Eğer TSD sistemin kütlesine Δt zaman aralığında çok kısa, F kuvveti etkiyecek olursa, kuvvetle, etki süresini çarpımı olan impuls, kütle ile hızın çarpımına yani momentumun değişimine eşittir. Tek bir impulsun sisteme etkisi denklem (3.6)'daki gibi olup, $t=0$ anında başlangıç hızı impulsun, kütleyle oranı ile ifade edilirken, denklemin, integre edilmesi ile yerdeğiştirme ifadesinde elde edilmektedir.

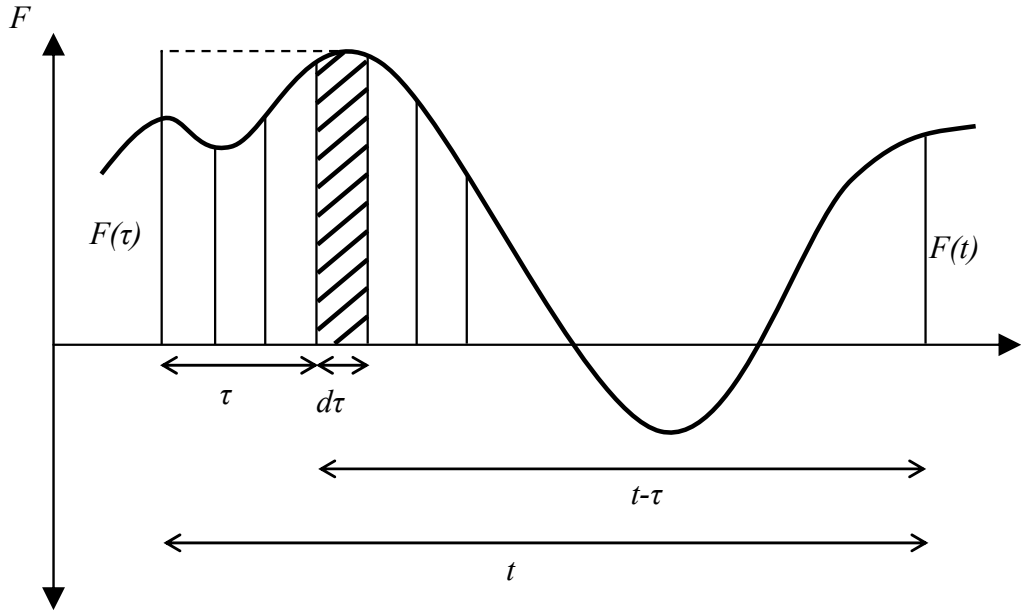
$$\begin{aligned} m\dot{x} = F\Delta t = I &\Rightarrow \dot{x}(0) = \dot{x}_0 = \frac{F\Delta t}{m} = \frac{I}{m} \\ mx &= \frac{1}{2} F(\Delta t)^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)'da, başlangıç anında TSD sistemin hızı belirtilen ifade olup, yerdeğiştirmesi ise sonsuz küçük Δt 'nin karesinin oldukça küçük bir değer düşünüldüğünde, sıfır olacağı açıktır. Belirtilen başlangıç koşulları altındaki serbest titreşimin çözümünden elde edilen hız ve yerdeğiştirme ifadeleri (3.4) ile belirtilmiştir. Bu ifadelerde, (3.6) ile belirtilen başlangıç yerdeğiştirmesi ve hızı yerine yazıldığında, Denklem (3.7) ile belirtilen TSD sistemin impuls kuvvetine ne şekilde tepki gösterdiği belirlenmektedir.

$$\begin{aligned} x &= \frac{I}{m\omega_d} e^{-\xi\omega t} \sin \omega_d t \\ \dot{x} &= \frac{I}{m\omega_d} e^{-\xi\omega t} (-h\omega \sin \omega_d t + \omega_d \cos \omega_d t) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Tek impuls etkisinde elde edilen çözümler, zamana göre eğri şeklinde değişen herhangi bir kuvvetin TSD sisteme etkimesi halinde de geçerli olmaktadır. Şekil 3.2' de görülen eğri küçük zaman dilimlerine bölünecek olursa, her bir zaman dilimine impuls kuvveti etkimiş olarak düşünülebilir. Bu durumda tüm eğri boyunca, $d\tau$ zaman aralıklı birbirine bağlanmış sonsuz impuls kuvveti etkiyen bölgeler oluşacaktır.

Burada t , tüm süre olup, impulsun davranışının belirlendiği zamandır. τ ise impulsun etkidiği zaman olduğu kabul edilirse, impuls etkidikten sonra geçen zaman $t-\tau$ olarak belirlenmektedir.



Şekil 3.2 : İmpuls katarı (Ohsaki., 1976).

Bu durumda impuls ifadesi, τ anındaki F kuvvetinin, $d\tau$ zaman aralığı ile çarpımı olup, (3.7) ifadesinde yerine yazılırsa ve yine bu ifadenin $\tau=0$ ' dan, $\tau=t$ değerine kadar integrali alınırsa, Duhamel integrali olarak adlandırılan Denklem (3.8) ifadeleri elde edilir (Ohsaki, 1976).

$$x = \int_0^t \frac{F(\tau)}{m\omega_d} e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau$$

$$\dot{x} = \int_0^t \frac{F(\tau)}{m\omega_d} e^{-\xi\omega(t-\tau)} (-\xi\omega \sin \omega_d(t-\tau) + \omega_d \cos \omega_d(t-\tau)) d\tau \quad (3.8)$$

3.1.2 Doğrusal davranış spektrumunun belirlenmesi

$F(\tau)$ impuls kuvveti, TSD sistemde zeminin y kadar yerdeğiştirmesi sonucu oluşan ivme değerinin (deprem ivmesinin), m kütlesi ile çarpımını ifade eden deprem hareketinden kaynaklanan eylemsizlik kuvveti olduğu kabul edilirse, (3.8) ifadesi, (3.9) ifadesi şeklinde yazılabilir. Aynı zamanda, Leibnitz kuralının kullanılması ile hız tepkisinin türevi alınarak elde edilen ivme tepkisi de (3.9) ifadesinde yer almaktadır. Bu ifadelere genel olarak yerdeğiştirme, hız ve ivme davranış spektrumları adı verilmektedir.

$$\begin{aligned}
x(t) &= -\frac{1}{\omega_d} \int_0^t \ddot{y}(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau \\
\dot{x}(t) &= -\int_0^t \ddot{y}(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \left(\cos \omega_d(t-\tau) - \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin \omega_d(t-\tau) \right) d\tau \\
\ddot{x}(t) + \ddot{y}(t) &= -\omega_d \int_0^t \ddot{y}(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \left(\left(1 - \frac{\xi^2}{1-\xi^2} \right) \sin \omega_d(t-\tau) + \dots \right. \\
&\quad \left. \dots + \frac{2\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cos \omega_d(t-\tau) \right) d\tau
\end{aligned} \tag{3.9}$$

Davranış spektrumlarının en büyük mutlak değerleri alındığında, sinüs ve kosinüslü terimlerin aynı olduğu kabul edilebildiği için, bu ifadelerin birbiri arasında bir ilişki kurulabilir. Deprem etkisi altında TSD sistemin en büyük mutlak yerdeğiştirme, hız ve ivme değerleri ve birbirleri ile olan ilişkileri (3.10) ile belirtilmektedir ve bu şekilde belirlenen deprem spektrumlarına sözde (pseudo) spektrumlar denir.

$$\begin{aligned}
|x(t)|_{\max} &= S_{d,p} = \frac{1}{\omega} S_{v,p} \\
|\dot{x}(t)|_{\max} &= S_{v,p} \\
|\ddot{x}(t) + \ddot{y}(t)|_{\max} &= S_{a,p} = \omega S_{v,p}
\end{aligned} \tag{3.10}$$

Davranış spektrumları, karışık çok serbestlik dereceli sistemlerin TSD sistemlere (modlara) ayrılmış halini tanımlamaktadır. Tüm mod bileşenlerinin daha sonra birleştirilmesi ile tüm sistemin deprem davranış spektrumu elde edilebilir. Bu çözümleme yöntemi yapı dinamiği kuramınca modal analiz olarak bilinmektedir (Ohsaki, 1976).

3.2 Doğrusal Olmayan Davranış Spektrumu

Doğrusal davranış spektrumları, deprem etkisindeki yapıların davranışını iyi bir şekilde temsil etmektedir. Fakat sönümleme katsayısı veya rijitliği değişkenlik gösteren, doğrusal olmayan davranış sergileyen yapıların, yer hareketi altında göstereceği davranışın belirlenmesi amacıyla kullanılması pek doğru olmamaktadır. Çünkü şiddetli yer hareketleri altında elastik deprem yükleri çok büyük değerler aldığından, ekonomik bir sonuç elde edilememektedir.

Bu amaçla, doğrusal olmayan davranış sergileyen yapıların, yer hareketi etkisinde davranışının belirlenmesi amacıyla küçük zaman artışları ile artımsal hareket denklemlerinin belirlenerek, doğrudan integralinin alınması yaklaşımı kullanılmaktadır. Böylece, doğrusal elastik, doğrusal olmayan elastik ve doğrusal olmayan inelastik malzemelerin davranışları hesaplanarak, kuvvet ya da dayanımın, yerdeğiştirme ile ilişkisi belirlenmektedir. Doğrusal olmayan inelastik durum için bu yöntem ile elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri, çevrimsel bir davranış sergilemektedir (Kramer, 2003).

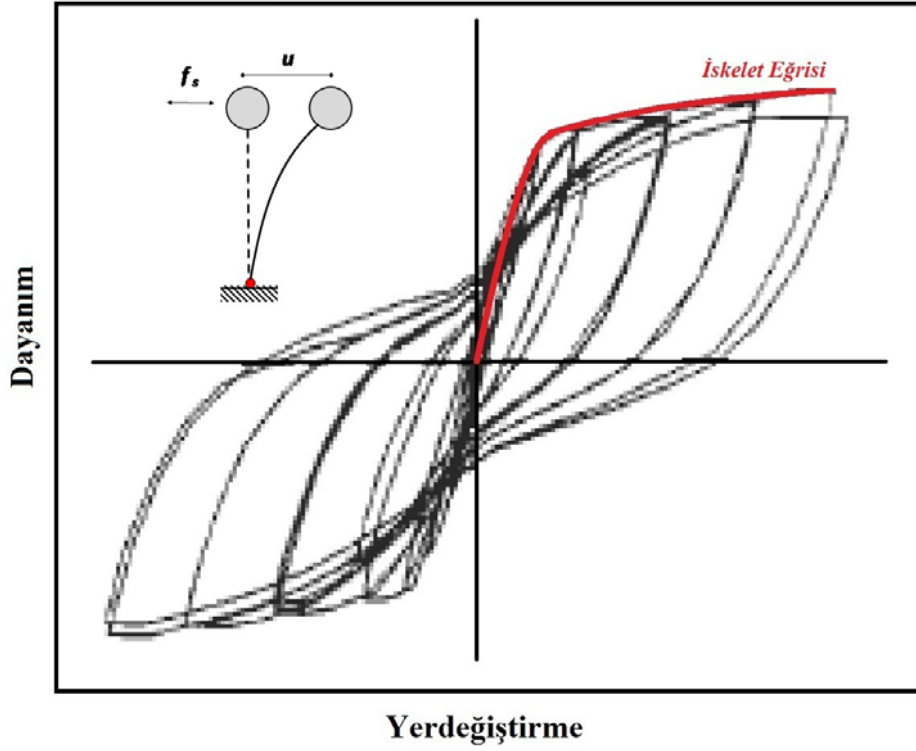
3.2.1 Çevrimsel davranış modelleri

Doğrusal olmayan davranış spektrumu yalnız, yer hareketinin özelliklerine bağlı olmayıp, aynı zamanda, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan çevrimsel özelliklerine de bağlıdır (Elnashai ve Di Sarno, 2008).

Örnek olarak, Şekil 3.3'de görülen düşey konsol bir betonarme eleman ele alınacak olursa; statik çevrimsel yükler altında, elemanın alt ucunda kırmızı daire ile belirtilen plastik mafsallı oluşacaktır. Bu yükler altında meydana gelen itme-çekme deneyinin sonucunda, çevrimsel davranış modellerinin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Elemanın tabanına yüklenen statik çevrimsel yükleme yerine, yer hareketinin etkimesi durumunda da, çevrimsel davranış modelleri aynı şekilde olmaktadır.

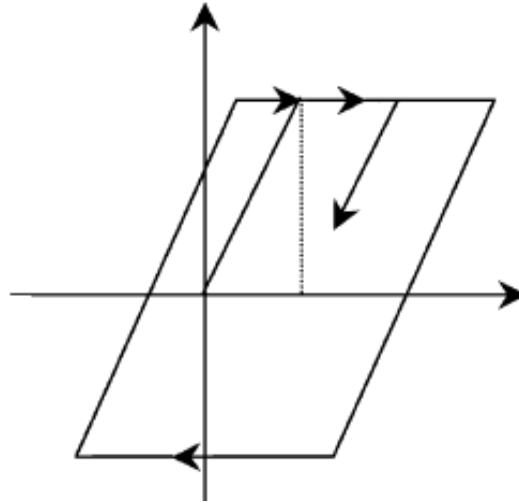
Bir betonarme eleman için genel olarak belirtilebilecek çevrimsel davranış modeli ve f_s yanal yükü altında u yerdeğiştirmesi yapan tek serbestlik dereceli sistem modeli Şekil 3.3'de görülmektedir. Şekil ayrıntılı olarak incelendiğinde, çevrimsel eğrilerin en büyük dayanım değerlerine ulaştığı tepe noktaları birleştirilerek, elde edilen ve (3.3)'de kırmızı renkte çizilmiş olan eğriye iskelet eğrisi adı verilmektedir. İskelet eğrisi ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde, küçük yerdeğiştirme değerlerinde, dayanımın doğrusal bir şekilde arttığı görülürken, belirli bir yerdeğiştirme değerinden sonra ise iskelet eğrisinin eğimin azalarak yatıklaştığı gözlenmektedir (Aydınoglu ve diğ., 2009).

Bu doğrusal olmayan davranışları sayısal olarak ifade etmek amacıyla bir takım idealleştirmeler yapılmıştır. Doğrusal olmayan TSD sistemlerin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri göz önüne alındığında, literatürde çeşitli çevrim modellerine rastlamak mümkündür.



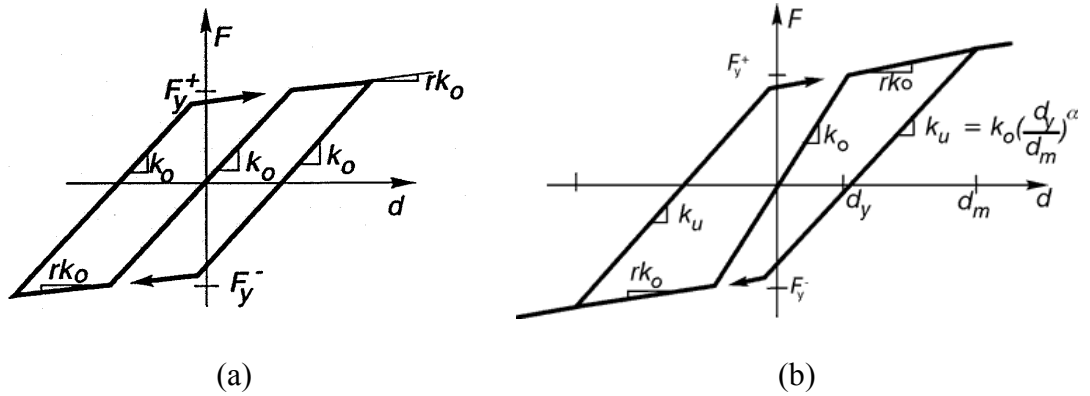
Şekil 3.3 : Betonarme bir eleman için kuvvet -şekildeğiştirme diyagramı (çevrimsel davranış modeli) (Aydinoğlu ve diğ., 2009).

Bu kapsamda, en çok kullanılan çevrimsel davranış modellerinden biri, akma süresince yanal rijitliğe sahip olmayan ve yükleme rijitliği ile yük boşalması rijitliği eşit olan elasto-plastik (EPP, *Elastic Perfectly Plastic*) çevrimsel davranış modelidir (3.4). Bu çevrimsel davranış, başlangıç rijitlik değeri ve akma dayanımı parametreleri ile tanımlanmaktadır (Miranda ve Ruiz-Garcia, 2002).



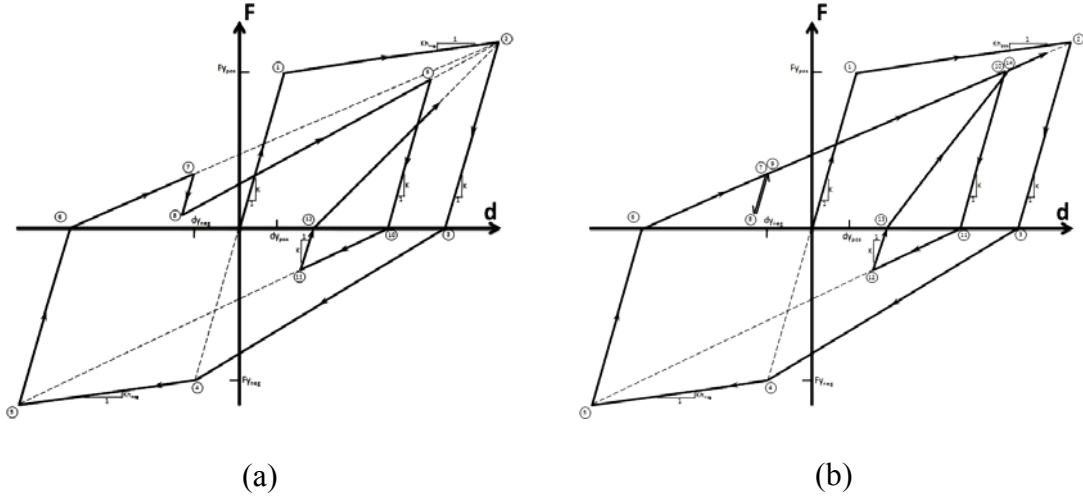
Şekil 3.4 : Elasto-plastik (*Elastic Perfectly Plastic*) çevrimsel davranış modeli (Miranda ve Ruiz-Garcia, 2002).

Bir diğer kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisini tanımlayan davranış ise, (3.5a)'da görülen çift doğrusu (bilinear model) çevrimsel davranış modelidir. Genel olarak iskelet eğrisi, akma dayanımına kadar elastik bir bölge içerir. Akma dayanımından sonra ise, bir rijitliği azalan pekleşme kolu ile eğri devam etmektedir. Daha sonra yumuşak bir tepe yapan model, boşalma eğrisine geçmektedir (Ayoub ve Chenouda, 2002). Rijitliği azalan çift doğrusu davranış modelinde, boşalma eğrisi, yükleme eğrisine paralel olmayıp, daha düşük bir rijitliğe sahiptir. (3.5b)'de belirtilen bu tür davranış, betonarme kirişlerdeki plastik mafsalların modellenmesinde kullanılmaktadır.



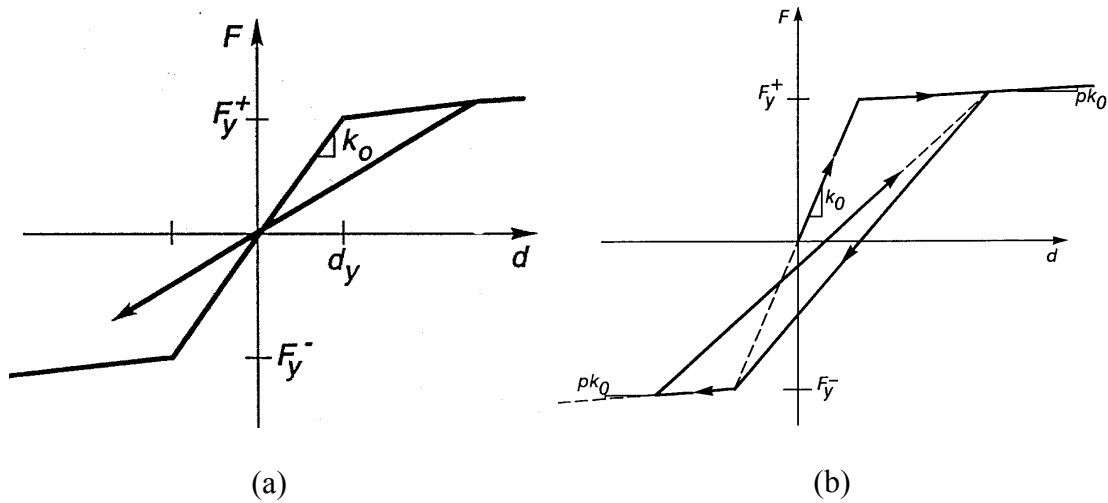
Şekil 3.5 : (a) Çift doğrusu ve (b) rijitliği azalan çift doğrusu çevrimsel davranış modeli. (BISPEC, 2010).

Çift doğrusu model yaklaşımı, Clough, geliştirilmiş Clough (modified Clough), başlangıca yönelen (origin-oriented), en büyük değere yönelen (peak-oriented), çift doğrusu elastik (bilinear elastic), çift doğrusu bayrak (bilinear flag), çift doğrusu kayma (bilinear slip) olarak adlandırılan kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerinin temelini oluşturmaktadır (BISPEC). Öne sürülen ilk çift doğrusu modellerden biri, rijitlik azalmasını göz önüne alan çevrim modelidir. İlk defa Clough (1966), tarafından öne sürülen model, çift doğrusu modele, akma sonrasında oluşan rijitlik azalmasının eklenmesi ile oluşturulmuştur (Taşkın ve diğ., 2008). Clough modelin de yük boşalması rijitliği, her zaman başlangıç elastik rijitliğe eşittir. Mahin ve Bertero tarafından tarafından öne sürülen ve geliştirilmiş Clough modeli, bir diğer çevrimsel davranış modelidir. Geleneksel Clough modelinde, yükleme ve boşalma eğrileri hep aynı noktaya yönelirken, değiştirilmiş Clough modelinde ise, B noktasından tekrar yüklenen eğri, A boşalma noktasına, bu noktadan da tekrar yüklendiğinde C noktasına yönelmektedir. Değiştirilmiş model, geleneksel Clough modeline göre daha gerçekçi bir yaklaşımdır (Miranda ve Ruiz-Garcia, 2002).



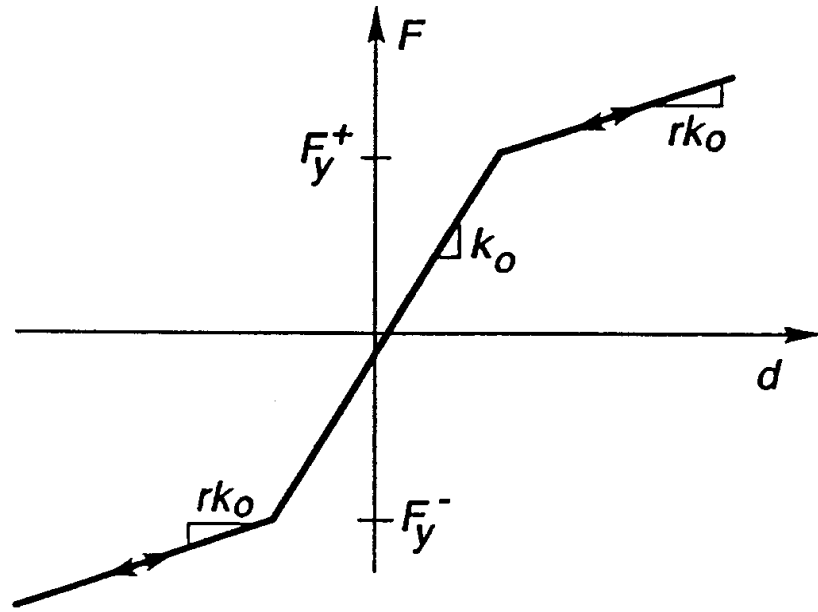
Şekil 3.6 : (a) Clough modeli ve (b) Mahin ve Bertero tarafından değiştirilmiş Clough Modeli (Modified Clough Model) (BISPEC, 2010).

Başlangıca yönelen ve en büyük değere yönelen çift doğrulu kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 3.7 (a)' da görülmektedir. Başlangıca yönelen davranış modeli, önemli derecede rijitlik azalmasını dikkate almaktadır. Bu model, herhangi bir yönde en büyük yerdeğiştirme değerine varmasının ardından, yeni bir yerdeğiştirme değerine ulaşp, rijitliği azalan bir davranış sergilemektedir. Yaklaşım tamamen gerçekçi olmamasına rağmen, perde duvarların ve önemli derecede rijitlik azalması sergileyen sistemlerin modellenmesinde kullanılmaktadır (BISPEC, 2010). Şekil 3.7 (b)' de belirtilen, en büyük değere yönelen çift doğrulu çevrimsel davranış modelinde ise, yerdeğiştirmenin artması ile rijitliğin azaldığı görülmektedir. Davranış, tekrar yükleme durumunda, her zaman bir önceki en büyük yerdeğiştirmeye ulaşmaktadır (Ibarra ve diğ., 2005).



Şekil 3.7 : (a) Merkeze yönelen (Origin oriented) ve (b) En büyük değere yönelen (Peak oriented) çevrimsel davranış modelleri (BISPEC, 2010).

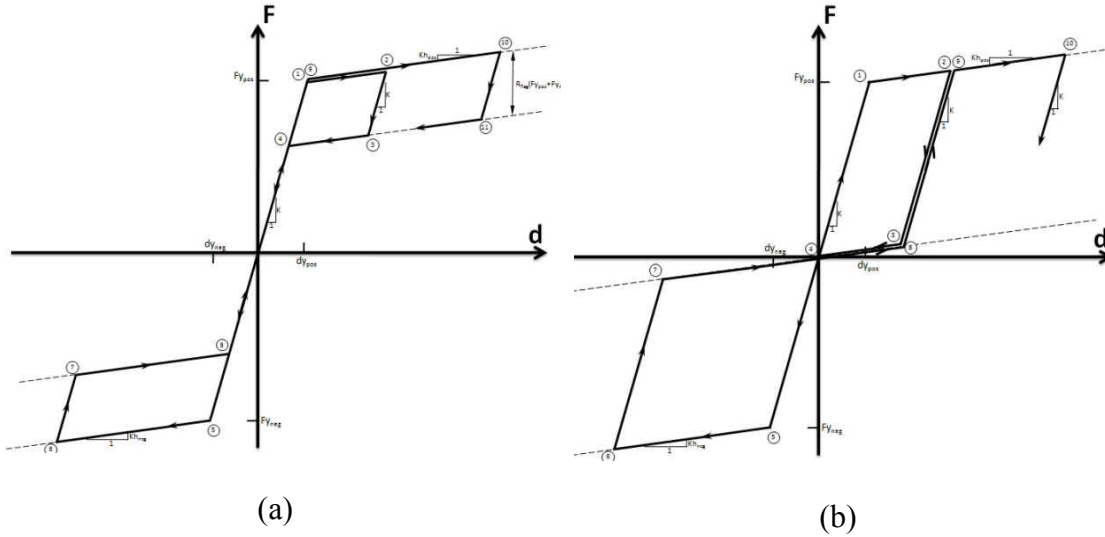
Çift doğrulu elastik davranış, rijitlik azalmasının yanı sıra, akma yerdeğiştirmesi ve dayanımı ile de tanımlanmaktadır. Genel olarak çift doğrulu plastik modele benzemesine rağmen, yükün boşalması sırasında (3.8)' de görüldüğü üzere, iskelet eğrisi boyunca tekrar geri dönmesi tamamen elastik bir yaklaşım olması açısından farklı bir davranış sergilediğini göstermektedir. Bu durum davranışın herhangi bir rezidüel yerdeğiştirme ve enerji dağılımının oluşturmadığını göstermesi açısından önemlidir.



Şekil 3.8 : Çift doğrulu elastik davranış modeli (BISPEC, 2010).

Şekil 3.9 (a)' belirtilen çift doğrulu bayrak modelinde, yükleme ve boşalma kollarını birbirlerine paralel bir davranış sergilediği görülmektedir. Enerji dağılımının meydana gelmesine rağmen, elastik model ile benzer olarak, arta kalan bir yerdeğiştirme oluşmamaktadır (BISPEC, 2010). Çift doğrulu bayrak modeli, kagır yapıları temsil edebilmesi açısından önemlidir (Steelman ve Hajjar, 2009).

Çift doğrulu kayma modeli ise, kayma davranışını temsil etmesi açısından önem oluşturmaktadır. Şekil 3.9 (b)'de görüldüğü üzere, model başlangıç yüklemesinde, çift doğrulu model davranışı ile benzer bir davranış sergilemekte iken sonraki çevrimlerde, pekleşme eğrisine ulaşana kadar yumuşama (softening) davranışı göstermektedir. Pekleşme bölgesine tekrar ulaştıktan sonra, iskelet eğrisi doğrultusunda davranış ilk hale ulaşır, çevrimsel bir davranış sergilemektedir (BISPEC, 2010).



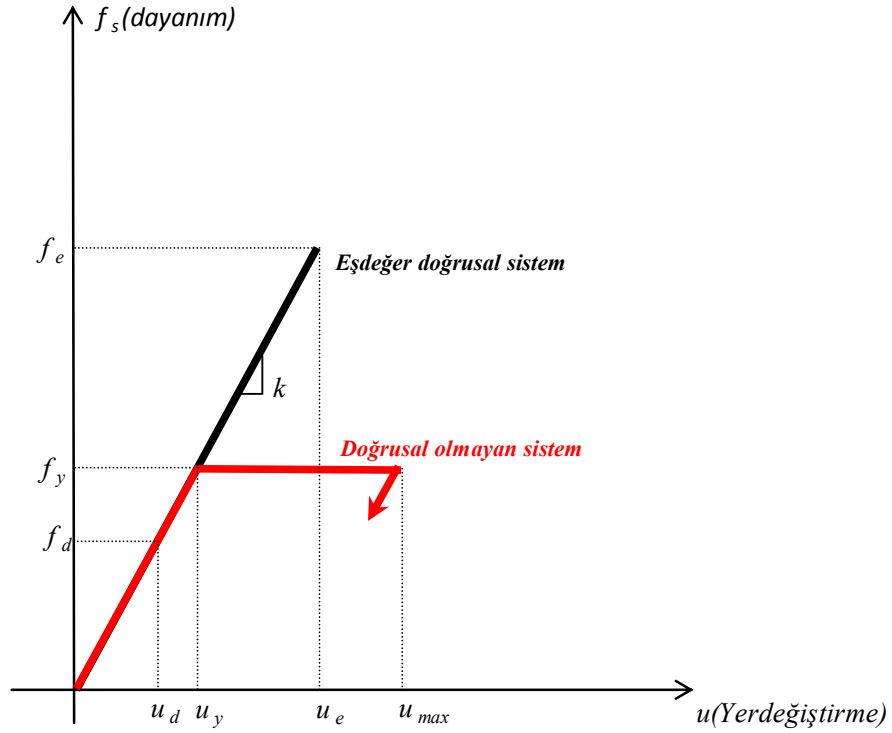
Şekil 3.9 : (a) Çift doğrulu bayrak, (b) Çift doğrulu kayma davranış modeli (BISPEC, 2010).

Diğer bir davranış modeli ise, Takeda, Sözen ve Nielsen tarafından önerilen, üç doğrulu zarf ile tanımlanan Takeda modelidir. Bu yaklaşım çevrimsel yüklemeye maruz bırakılan orta ölçekli betonarme yapıların deneysel sonuçlarına dayanmaktadır (Miranda ve Ruiz-Garcia, 2002). Bununla birlikte, en büyük değere yönelik davranış modeline benzeyen sıkıştırma (pinching) çevrimsel davranış modeli, önerilen bir diğer yaklaşımdır (Ibarra ve diğ., 2005), (Steelman ve Hajjar, 2009).

3.2.2 Süneklik ve dayanım azalması katsayısı spektrumları

Doğrusal olmayan davranış spektrumu, yalnız yer hareketinin özelliklerine bağlı olmayıp, aynı zamanda, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan çevrimsel özelliklerine de bağlıdır. Bu nedenle bir önceki bölümde açıklanmaya çalışılan çevrimsel davranış modelleri doğrultusunda, yer hareketinin etkisinde kalan elemanların süneklik ve dayanım azaltma katsayısı kavramları önem taşımaktadır.

Şekil 3.10'da idealleştirilmiş iki doğrulu iskelet eğrisine sahip TSD sistemin dayanım-yerdeğiştirme ilişkisi görülmektedir. İlk olarak eşdeğer doğrusal sistem gözönüne alınırsa, deprem etkisi altında TSD doğrusal sisteme etkiyen eşdeğer deprem yükü f_e ile gösterilmiştir. Eşdeğer deprem yükü, m sistemin kütlesi ile S_{ae} sistemin doğal titreşim periyoduna karşı gelen spektral ivmenin çarpımı ile belirlenmektedir.



Şekil 3.10 : Doğrusal olmayan TSD sisteme ait kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ve eşdeğer doğrusal sistem (Aydınoglu ve diğ., 2009).

Deprem etkisi altında, TSD sistemin doğrusal elastik kalması isteniyorsa, deprem, sistemden eşdeğer deprem yükü kadar bir dayanım isteyecektir. Bu nedenle, eşdeğer deprem yükü, depremin binadan elastik dayanım istemi olarak da adlandırılabilir. Fakat sistemin doğrusal elastik davranış gösterdiği kabul edilip, yapılacak tasarımın oldukça büyük enkesit ve fazla donatı gerektiren, ekonomik olmayan sonuçlara neden olacağı açıktır. Bu nedenle, sistemin belirli koşullar altında bir miktar hasar görmesi kabul edilebilir. Bu durumda, depremin binadan elastik dayanım istemi yerine daha düşük bir dayanım olan akma dayanımı yada sistemin dayanım kapasitesi (f_y) ile deprem kuvveti karşılanmaktadır. Bu durumda sistem, doğrusal elastik sistem yerine doğrusal olmayan sistem olarak kabul edilecektir. Fakat betonarme ve çelik yapılar ile ilgili yönetmeliklerinde verilen ve tasarımda kullanılan dayanım kapasitesi (f_d), çeşitli nedenlerden dolayı her zaman akma dayanımından küçüktür. Bu doğrultuda, doğrusal olmayan sistemleri tanımlaması açısından önemli olan dayanım azaltma katsayısı ve süneklik kavramlarının açıklanması gerekmektedir. Ayrıca tasarımda kullanılan dayanımın, akma dayanımından küçük olması nedeniyle dayanım fazlalığı katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı olarak bilinen iki parametre tanımlanmıştır. Dayanım azaltma katsayısı, akma dayanımı f_y 'nin, tasarım dayanımı, f_d 'ye oranı olarak tanımlanırken, doğrusal elastik

dayanım istemi f_e 'nin, tasarım dayanımı f_d 'ye oranı ise R_a , deprem yükü azaltma katsayısı olarak tanımlanmıştır.

Dayanım azaltma katsayısı R_y , ise yukarıda açıklanan depremin doğrusal sistemden talep ettiği dayanımın (f_e), doğrusal olmayan sistemin verebildiği dayanım kapasitesine (f_y) oranı olarak tanımlanmaktadır. Süneklik katsayısı μ ise, doğrusal olmayan sistemin en büyük yerdeğiştirmesinin (u_m), akma yerdeğiştirmesine (u_y), oranı olarak ifade edilmektedir. Her iki ifade de **(3.11)**'da görülmektedir.

$$R_y = \frac{f_e}{f_y} = \frac{u_e}{u_y} \quad ; \quad \mu = \frac{u_m}{u_y} \quad (3.11)$$

Süneklik katsayısının, dayanım azaltma katsayısına oranı ise, doğrusal olmayan sistemin en büyük yerdeğiştirmesinin, doğrusal sistemin en büyük yerdeğiştirmesine oranı olarak tanımlanmakta ve Denklem **(3.12)** ile ifade edilmektedir. Bu ifade de dayanım azaltma katsayısı (R_y), sabit tutularak, sabit dayanım azaltma katsayısı spektrumları (C_R) elde edilirken aynı şekilde süneklik katsayılarının sabit tutulması ile ise, sabit süneklik spektrumları (C_μ) elde edilmekte ve genel olarak bu spektrumlar, doğrusal olmayan yerdeğiştirme oranı spektrumları olarak adlandırılmaktadır (Chopra, 1995).

$$\frac{\mu}{R_y} = \frac{u_m}{u_e} \Rightarrow \begin{cases} C_R = \frac{u_m}{u_e} \rightarrow \text{Sabit } R_y \\ C_\mu = \frac{u_m}{u_e} \rightarrow \text{Sabit } \mu \end{cases} \quad (3.12)$$

Çeşitli araştırmacılar tarafından, doğrusal olmayan davranış spektrumlarının, doğrusal davranış spektrumlarına indirgenmesi amacıyla farklı periyot bölgelerinde doğrusal fonksiyonlar tanımlanmıştır.

Bu ifadeler içinde en yaygınlarından biri, Chopra ve Chintanapakdee (2004), tarafından yakın fay yer hareketlerini gözönüne alınarak önerilen sabit süneklik ve dayanım azaltma katsayılarıdır. Araştırma sonuçları, ivme, hız ve yerdeğiştirme duyarlı bölgeler için yorumlanmıştır. **(3.13)** ile belirtilen ortalama C_μ ifadesi, çift doğrulu elasto plastik sistemler için hesaplanmıştır.

$$\hat{C}_\mu = 1 + \left[\frac{1}{(L_\mu - 1)} + \left(\frac{a}{\mu^b} + c \right) \cdot \left(\frac{T_i}{T_s} \right)^d \right]^{-1} \quad (3.13)$$

Bu denklemde, a, b, c ve d regresyon katsayıları olup, çalışmada kullanılan yer hareketi toplumlarına bağlıdır. T_s , ivme ve hız duyarlı bölgeleri ayıran sınır periyotu ifade ederken, başlangıç periyodu ise T_i ile ifade edilmektedir. L_μ ile belirtilen parametre ise ivme duyarlı bölgeden, hız duyarlı bölgeye geçişteki sınır C_μ değerine karşı gelmekte ve (3.14)'de belirtilen bağıntı ile tanımlanmaktadır (Seo, 2005).

$$L_\mu = \left(\frac{u_m}{u_0} \right)_{T_n \approx 0} = \frac{\mu}{1 + \alpha(\mu - 1)} \quad (3.14)$$

Belirli bir periyot değerinden daha uzun periyotlu yani başlangıç rijitliği düşük yapılarda, eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca, dayanım azaltma katsayısı, süneklik katsayısına eşit olmaktadır. Eşit yerdeğiştirme kuralı, belirtilen türdeki göreceli esnek yapılarda doğrusal olmayan sistemin en büyük yerdeğiştirmesinin (u_m), doğrusal sistemin en büyük yerdeğiştirmesine (u_e) eşit olması kuralı olarak bilinmekte ve bu ilişki Denklem (3.15)'de deki ilk bağıntıda görülmektedir.

Başlangıç rijitliği yüksek yani doğal titreşim periyodu (T) belirlenen sınır periyot değerinden (T_s) düşük yapılarda ise, doğrusal olmayan sistemin en büyük yerdeğiştirmesinin (u_m), doğrusal sistemin en büyük yerdeğiştirmesinden (u_e) çok büyük olması nedeniyle, dayanım azaltma katsayısı, süneklik katsayısından daha küçük bir değer almaktadır ve bu iki parametre arasındaki ilişki (3.14)'deki ikinci bağıntı ile tanımlanmaktadır. Periyot değerinin sıfıra yaklaşması durumunda yani sonsuz rijit sistemlerde, dayanım azaltma katsayısının 1 değerine yaklaştığı görülmektedir.

$$\begin{aligned} u_m &\cong u_e \Rightarrow R_y \cong \mu \\ u_m &\gg u_e \Rightarrow R_y \cong 1 + (\mu - 1) \frac{T}{T_s} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Aynı çalışmada önerilen ortalama C_R ifadesi ise Denklem (3.16) ile tanımlanmaktadır.

$$\hat{C}_R = 1 + \left[\frac{1}{(L_R - 1)} + \left(\frac{a}{R^b} + c \right) \cdot \left(\frac{T_i}{T_s} \right)^d \right]^{-1} \quad (3.16)$$

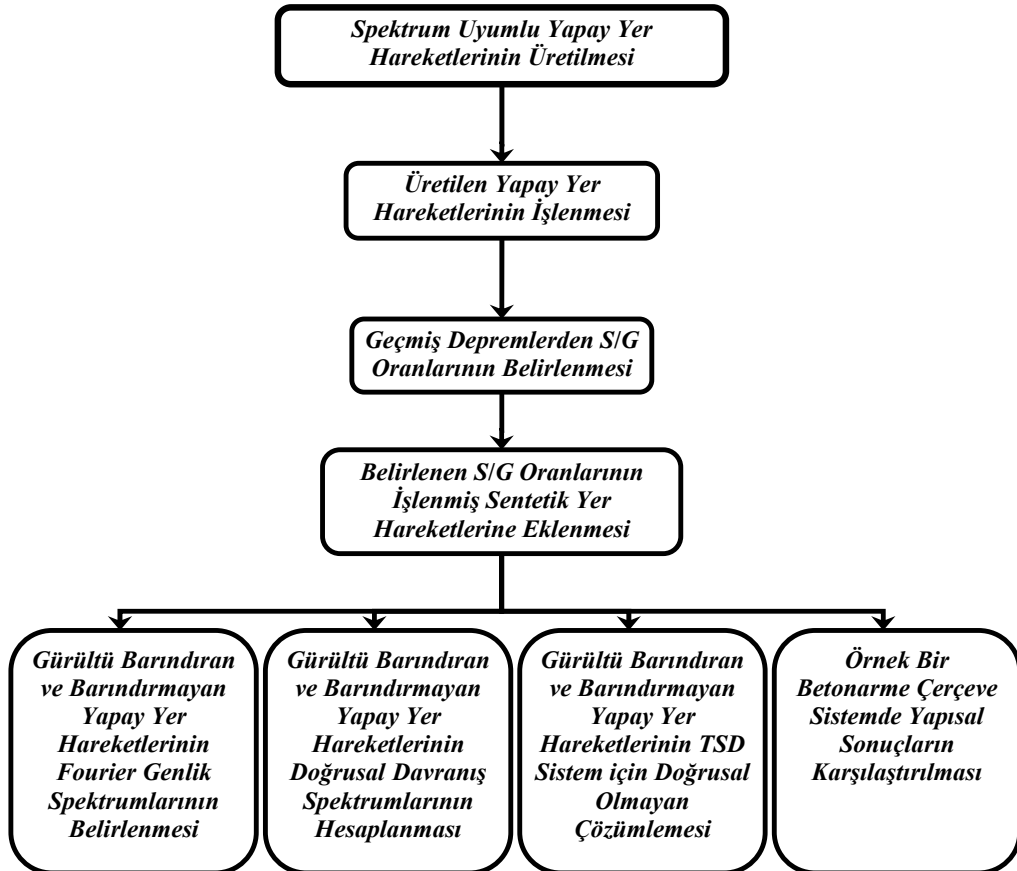
Denklem (3.16)'deki L_R ile belirtilen parametre, aynı L_μ gibi kısa periyotlardaki eşdeğer kuvvet kuralı uyarınca ivme ve hız geçiş sınırındaki C_R değerine karşı gelmekte ve Denklem (3.17)'da belirtilen bağıntı ile tanımlanmaktadır.

$$L_R = \left(\frac{u_m}{u_0} \right)_{T_n \approx 0} = \frac{1}{R_y} \left(1 + \frac{R_y - 1}{\alpha} \right) \quad (3.17)$$

(3.17)'da α ile belirtilen parametre, akma sonrası rijitlik oranı olarak tanımlanmaktadır ve ivmeye duyarlı periyot bölgesinde C_R değerinin belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır (Seo, 2005).

4. TSD SİSTEMİN DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEMESİ

Çalışmanın, ilk aşamasında, gürültü barındırmadığı kabul edilen ve DBYBHY-2007'de tanımlanan 1. derece deprem bölgesi için Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminlere ait tasarım spektrumları ile uyumlu yapay yer hareketleri üretilmiştir. Daha sonra geçmiş depremler göz önüne alınarak belirlenen Sinyal/Gürültü (*Signal to Noise Ratio*) oranlarınca üretilen gürültü sinyali, yapay yer hareketlerine eklenmiştir. Böylelikle elde edilen farklı yer hareketleri, TSD sistemin farklı doğrusal olmayan davranış modelleri için çözümlenmiştir. Ayrıca hareketlerin doğrusal davranış spektrumları ile frekans ortamındaki karşılıklarının anlaşılabilmesi amacıyla Fourier Genlik Spektrumları hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen genel işlemler Şekil 4.1'deki akış şeması ile özetlenmektedir.



Şekil 4.1: Çalışmada gerçekleştirilen incelemelere ait genel akış şeması.

4.1 Üretilen Yapay Yer Hareketleri

Çalışmada DBYBHY (2007)'de tanımlanan 1. derece deprem bölgesine ve üç farklı zemin sınıfına ait tasarım spektrumları ile uyumlu yapay yer hareketleri, TARSCHTS programı ile üretilmiştir (Papageorgiou ve diğ., 2000). Şekil 4.2'de gösterilen şekilde programın girdi dosyası görülmektedir. Girdi dosyasındaki parametreler dört ana bölümde incelenebilir.

İlk kısımda, depremin moment büyüklüğü (RM_w), merkezüssü uzaklığı (EPDIS), sönüm oranı (DAMP), süre (IDURPM), toplam veri sayısı (NT) ve zaman artımı (DT) parametrelerinin tanımlanması gerekmektedir. Yer hareketinin süresi, program tarafından iki farklı şekilde hesaplanabilmektedir. Program, yer hareketi süresini programa girilen moment büyüklüğü ve merkezüssü uzaklığına bağlı olan "Özelleştirilmiş Bariyer Modeli (Specific Barrier Model)" ile hesaplama tercihinin sunmasının yanı sıra, toplam veri sayısı ile zaman artımının çarpımı gözönüne alınarak da süreyi belirleyebilmektedir. Programda, süre kısmının "0" olarak tanımlanması Bariyer Model ile hesaplamayı ifade ederken, "1" ile tanımlanması ise süre hesaplanmasında belirtilen ikinci yöntemin kullanılmasını sağlamaktadır. Şekil 4.2'de de görüldüğü üzere çalışmada "1" seçeneği tanımlanmış ve hareketin süresi, toplam veri sayısı ile zaman artımının çarpımı ile hesaplanmıştır.

İkinci kısımda ise, NEHRP (*National Earthquake Hazard Reduction Program*)'de tanımlanan tasarım spektrumlarına uygun yer hareketi üretilmesi istendiğinde programa tanımlanması gereken ifadeler yer almaktadır. Bu çalışmada, DBYBHY (2007)'de belirtilen tasarım spektrumlarına uygun yer hareketi üretilmesi amaçlandığından, "NEHRP" seçeneği "0" olarak tanımlanıp, kullanıcı tanımlı spektrum değerlerinin ifade edilmesini sağlayan üçüncü satırdaki girdi parametrelerine geçilmektedir. Böylece ikinci kısımdaki diğer girdi parametreleri program tarafından göz ardı edilebilmektedir.

Girdi dosyasının üçüncü bölümünde ise, kullanıcı tanımlı spektrum değerleri kullanılması durumunda, programa tanımlanması gerekli parametreler yer almaktadır. Programda "ITRSTP" olarak belirtilen girdi parametresi, programa hedef olarak verilecek tasarım spektrumunun çeşitini ifade etmekte ve "0", ivme (cm/s^2), "1", hız (cm/s) ve "2" yerdeğiştirme (cm) cinsinden tasarım spektrumunu tanımlamayı

sağlamaktadır. "ITRSFCN" olarak ifade edilen parametre ise, spektrumun yatay ekseninin frekans (Hz), açısal frekans (rad/s) veya periyot (s) cinsinden ifade edilmesini sağlamaktadır. Eğer yatay eksenin frekans olarak belirtilmesi istenirse, "0", açısal frekans için "1", periyot için ise "2" değerleri kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında yatay eksen programa periyot olarak tanımlanmıştır. Yine üçüncü bölümünde "NTRS" ifadesi, tanımlanacak olan tasarım spektrumu veri sayısını ifade etmekte ve en fazla 20 değer programa tanımlanabilmektedir. "NSPEC" ise interpolate edilecek spektrumların veri sayısını ifade etmektedir. Girdi dosyasının dördüncü bölümünde ise, kullanıcı tanımlı spektrum seçilmesi durumunda, en fazla 20 satır olacak şekilde spektrum değerleri tanımlanmaktadır. Burada ilk sütun üçüncü bölümdeki seçime bağlı olarak periyot, frekans ya da açısal frekans değerlerini, ikinci sütun ise ivme, hız ya da yerdeğiştirme değerlerini ifade etmektedir. Çalışmada DBYBHY (2007)'de tanımlanan ivme tasarım spektrumları, Şekil 4.2'de "4" ile numaralandırılmış satırlarda periyota bağlı olarak tanımlanmıştır.

RMW	EPDIS	DAMP	IDURPM	NT	DT
6.5	30.0	0.05	1	5001	0.005

1

2

3

4

ITRSTP ITRSFCN NTRS NSPEC

0 2 20 187

0.025 490.5

0.050 588.6

0.075 686.7

0.100 784.8

0.125 882.9

0.150 981.0

0.200 981.0

0.250 981.0

0.300 981.0

0.350 981.0

0.400 981.0

0.500 820.61

0.600 709.26

0.700 626.96

0.800 563.44

0.900 512.77

1.000 471.32

2.000 270.70

3.000 195.69

4.000 155.48

St 1, Stn 1

Şekil 4.2: TARSCTHS programı girdi dosyası.

TARSCTHS programı girdi dosyasında kullanılan parametreler Çizelge 4.1'de özetlenmiş ve sönüm oranı %5, merkezüssü uzaklığı 30 km ve moment büyüklüğü

6.5 kabul edilen 0.005 s aralıklarla toplam 25 s süreli üç farklı zemin sınıfını temsil etmek amacıyla toplam 3 adet yapay yer hareketi elde edilmiştir.

Çizelge 4.1 : Yapay yer hareketi karakteristik parametreleri.

Deprem Bölgesi Derecesi	1
Yerel Zemin Sınıfları	Z1, Z2, Z3
Sönüm Oranı (ξ ; %)	5
Yer Hareketi Veri Sayısı	5001
Yer Hareketinin Toplam Süresi (t_d ; s)	25
Zaman Aralığı (Δt ; s)	0.005
Merkezüssü Uzaklığı, (R_{epi} ; km)	30
Moment Büyüklüğü (M_w)	6.5

DBYBHY'de belirtilen 1.derece deprem bölgesi Z1, Z2 ve Z3 zemin sınıfları için programa girilen tasarım spektrumu ivme ve periyot verileri Çizelge 4.2'de görülmektedir. Belirtilen girdi parametrelerini kullanarak ve Bölüm 2'de açıklanan algoritma doğrultusunda yapay yer hareketleri üretilmiştir.

Çizelge 4.2 : TARSC THS programına girilen spektrum ve periyot değerleri.

<i>ZEMİN SINIFLARI</i>	<i>Z1</i>		<i>Z2</i>		<i>Z3</i>	
<i>DEPREM BÖLGESİ DERECEŚİ</i>	<i>T(s)</i>	<i>S_{ae}(T)</i>	<i>T(s)</i>	<i>S_{ae}(T)</i>	<i>T(s)</i>	<i>S_{ae}(T)</i>
<i>1. DERECE DEPREM BÖLGESİ</i>	0.01	451.26	0.01	431.64	0.01	431.64
	0.03	568.98	0.04	549.36	0.04	549.36
	0.05	686.70	0.07	667.08	0.07	667.08
	0.07	804.42	0.10	784.80	0.10	784.80
	0.09	922.14	0.14	941.76	0.14	941.76
	0.10	981.00	0.15	981.00	0.15	981.00
	0.15	981.00	0.20	981.00	0.20	981.00
	0.18	981.00	0.22	981.00	0.30	981.00
	0.20	981.00	0.25	981.00	0.35	981.00
	0.23	981.00	0.28	981.00	0.40	981.00
	0.25	981.00	0.30	981.00	0.45	981.00
	0.28	981.00	0.35	981.00	0.50	981.00
	0.30	981.00	0.40	981.00	0.60	981.00
	1.00	374.43	1.00	471.32	1.00	651.91
	1.50	270.70	1.50	340.76	1.50	471.32
	2.00	215.05	2.00	270.70	2.00	374.43
	2.50	179.89	2.50	226.45	2.50	313.21
	3.00	155.48	3.00	195.71	3.00	270.70
	3.50	137.44	3.50	173.01	3.50	239.30
	4.00	123.51	4.00	155.48	4.00	215.05

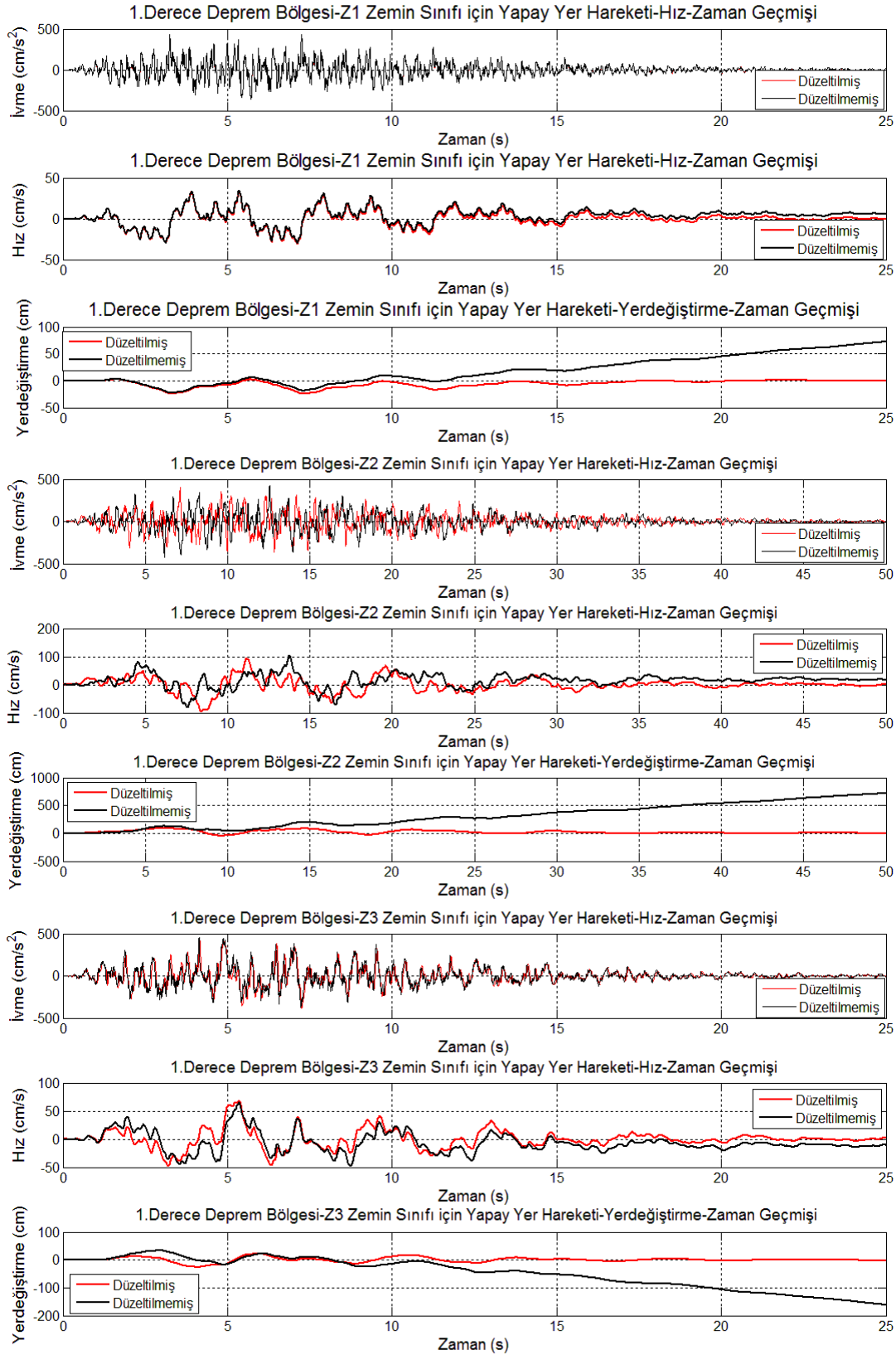
Elde edilen üç adet yapay yer hareketinin gürültüden arındırılması amacıyla hareketler süzgeçlenmiş; ayrıca fiziksel davranışa uygunluğun sağlanması amacıyla da ivme izlerine zaman eksenini düzeltmesi uygulanmıştır. Bu aşamada, zaman eksenini düzeltmesi için MATLAB yazılımının içerisinde bulundurduğu "DETREND" komutundan yararlanılmıştır. Komut, yer hareketi vektöründen, yer hareketi ivmesinin ortalama değerlerinin çıkarılması esasına dayanmaktadır. Ayrıca, üretilen yapay yer hareketlerinin gürültüden arındırılması için bant geçiren süzgeç uygulanmıştır.

Şekil 4.3' de DBYBHY (2007)'de tanımlanan 1. derece deprem bölgesi, Z1, Z2 ve Z3 zemin sınıflarına ait tasarım spektrumuna uyumlu elde edilen yapay yer hareketlerinin ivme, hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişleri ile birlikte bant geçiren süzgeç ile filtrelenmiş ve zaman eksenini düzeltmesi yapılmış zaman geçmişleri görülmektedir.

Zaman geçmişlerinde, siyah ile çizilmiş olan grafikler düzeltilmemiş ivme, hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişlerini ifade ederken, kırmızı ile belirtilen grafikler süzgeçlenmiş ve zaman eksenini düzeltmesi uygulanmış ivme zaman geçmişi ile hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişlerini göstermektedir.

Zaman eksenine göre düzeltmenin uygulanmasından sonra, üretilen 3 adet yapay yer hareketinde de hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişlerinin 25 s'lik hareket sonrasında sıfır değerine kapanmaktadır. Süzgeçleme ve zaman eksenini düzeltmesi uygulanarak elde edilen gürültüsüz yapay yer hareketleri çalışmada DYYH (*Düzeltilmiş Yapay Yer Hareketi*) adı ile belirtilecektir.

İvme, hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişlerinin elde edilmesinde kullanılan ve MATLAB programında geliştirilen algoritma EKB1-Şekil B1(a)'da görülebilmektedir. Belirtilen algoritmanın çalıştırıldığı ve ivme zaman geçmişlerine DETREND komutu ile zaman eksenini düzeltmesinin uygulandığı ana dosya ise EKB1-Şekil B1 (b)'de yer almaktadır.



Şekil 4.3: 1. derece deprem bölgesi Z1, Z2 ve Z3 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uyumlu yapay yer hareketi zaman geçmişleri.

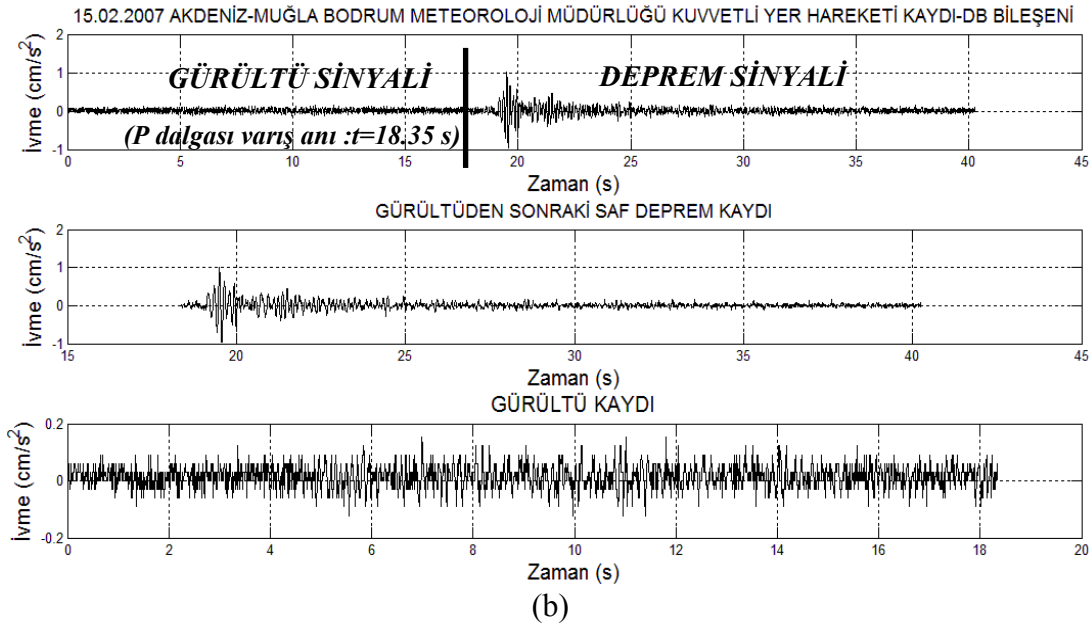
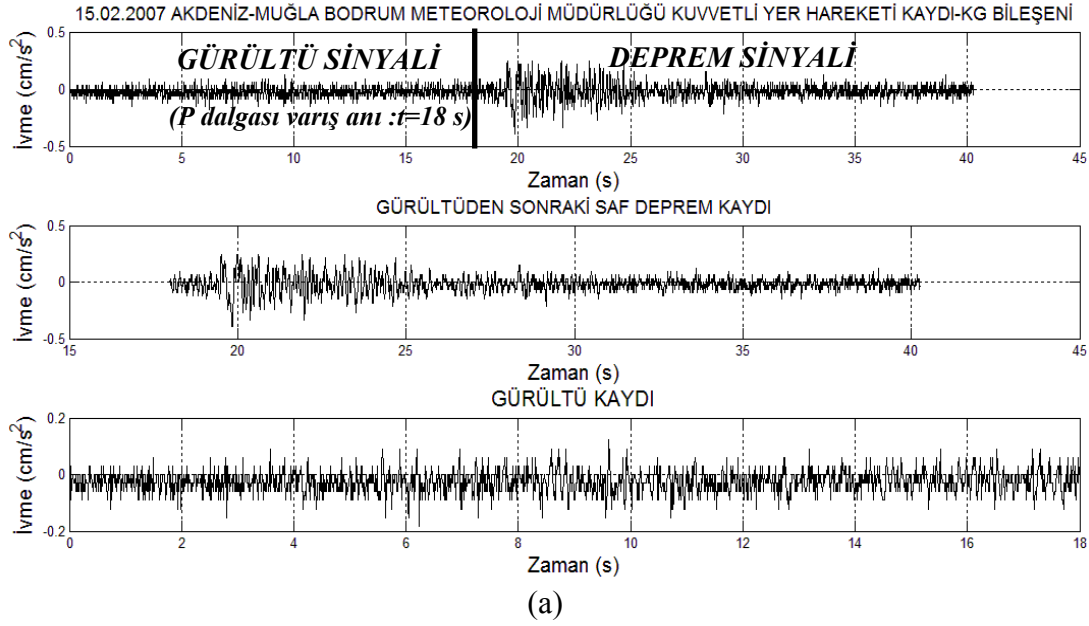
4.2 Yapay Yer Hareketlerine Gürültünün Eklenmesi

4.2.1 Sinyal/gürültü oranlarının belirlenmesi

Gürültü barındıran yapay yer hareketlerinin üretilmesi öncesinde, eklenecek S/G oranlarının anlamlı olması amacıyla T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı kuvvetli yer hareketi veri tabanındaki deprem ivme kayıtları taranarak, gerçek deprem kayıtlarının S/G oranları belirlenmiştir. Bu amaçla, deprem öncesi kayıtlara sahip (pre-event recording) yer hareketleri seçilerek, yer hareketinin P dalgası varış anı belirlenmiş ve kaydın P dalgası varış anından önceki kısmı gürültü sinyali, sonraki kısmı ise deprem kaydı olarak kabul edilmiştir. Şekil 4.4'de 15.02.2007 Akdeniz depremi, Bodrum Meteoroloji Müdürlüğünde alınan kuvvetli yer hareketinin KG eve DB kayıtları görülmektedir. KG bileşenli kayıta, en üstte tüm deprem kaydı ve bu kayıt için P dalgası varış zamanının 18 s olarak belirlendiği belirtilmiştir. İkinci şekilde ise, deprem kaydı varsayımı yapılan kısımdan, üçüncü şekilde görülen P dalgası varış anı öncesinde (pre-event) belirlenen gürültü sinyalinin çıkarılması ile elde edilen saf yer hareketi görülmektedir. Aynı şekiller DB kaydı içinde belirtilmiş ve P dalgası varış anı 18.35 s olarak bulunmuştur. Çizelge 4.3'de verilen diğer depremlerin kayıtları EK C1'deki şekillerde yer almaktadır. Bu belirlenen bu deprem kayıtlarının S/G oranlarının belirlenmesi amacıyla geliştirilen algoritma ise EKB1-Şekil B2 (a)'da görülmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde de açıklandığı üzere, elde edilen saf yer hareketinin gücünün, gürültü sinyalinin gücüne oranlanması ile gerçek deprem kayıtlarının her üç bileşeni için S/G oranları belirlenmiştir. Çizelge 4.3'de taranan deprem yer hareketlerinin S/G oranları ve en büyük ivme değerleri yer almaktadır. Böylece, ülkemizde alınan kayıtlardaki S/G oranlarının 2 ile 150 değerleri arasında değişkenlik gösterdiği anlaşılmaktadır. 6 Şubat 2011 tarihinde meydana gelen Aydın, Kuşadası depremi Kuşadası Meteoroloji Müdürlüğü kaydının en yüksek S/G oranına sahip olduğu görülmektedir. Bu durumda yer hareketini etkileyen gürültü miktarının az olduğunu söylemek mümkün olacaktır. 15.02.2007 tarihinde Akdeniz açıklarında meydana gelen depremin Bodrum Meteoroloji istasyonunda alınan her iki bileşen kaydında da S/G oranlarının düşük olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle KG bileşeninin kayıtlarında, S/G oranının 2'ye kadar düştüğü gözlenmektedir. Bu durumda, deprem sinyalinin yarısı kadar bir gürültü içeriğinin kaydı etkilediği

söylenbilir. Deprem deniz de meydana gelmiş olması deprem kaydının gürültü içeriğinin fazla olmasının nedenlerinden biri olarak sayılabilir. Ayrıca depremin KG bileşenli kaydının en büyük ivmesinin de düşük olması nedeniyle S/G oranının da yüksek belirlendiği söylenbilir. DB bileşenli kaydın en büyük ivme değerine bakıldığında, KG bileşenine göre fazla olması belirlenen S/G oranında da artışa neden olmaktadır.



Şekil 4.4: 15.02.2007 Akdeniz depremi Muğla Bodrum Meteoroloji Müdürlüğü (a) KG bileşen kaydı (b) DB bileşen kaydı.

Çizelge 4.3 : Türkiye'de meydana gelmiş depremler için hesaplanan S/G oranları.

TARİH	MERKEZÜSSÜ	İSTASYON	BİLEŞEN	t_p (s)	PGA (gal)	SNR
15.02.2007	AKDENİZ	Bodrum Meteoroloji İst. Müd.	K-G	18.00	0.244	2.022
			D-B	18.35	1.007	12.377
19.06.2007	MANİSA, Akhisar	Bodrum Meteoroloji İst. Müd.	K-G	14.40	1.007	19.839
			D-B	14.52	0.610	15.483
			DÜŞEY	14.50	0.519	7.001
31.01.2007	GÖKOVA Körfezi	Bodrum Meteoroloji İst. Müd.	K-G	15.50	1.343	22.725
			D-B	15.38	1.282	23.063
			DÜŞEY	14.79	0.855	13.008
03.01.2011	AYDIN, Kuşadası	Selçuk Meteoroloji İst.Müd.	K-G	4.00	10.024	33.555
			D-B	4.24	9.598	30.100
			DÜŞEY	3.75	5.000	33.100
05.02.2011	DENİZLİ	Pamukkale Ün. Kampüsü	K-G	4.70	1.477	50.097
			D-B	4.54	1.361	48.174
			DÜŞEY	4.58	2.263	50.264
05.02.2011	DENİZLİ	Babadağ İstanbul Camii	K-G	3.60	4.320	56.932
			D-B	3.50	2.429	56.877
			DÜŞEY	3.35	2.558	57.346
23.07.2003	DENİZLİ, Buldan	Sarayköy Jeotermal Loj.	K-G	20.02	86.647	75.533
			D-B	20.02	123.230	86.513
			DÜŞEY	19.79	60.683	92.565
02.02.2011	KASTAMONU	Kastamonu Bay.İşkan Müd.	K-G	5.50	6.808	98.969
			D-B	5.59	7.131	94.778
			DÜŞEY	5.04	7.989	97.229
17.09.2010	MALATYA, Pötürge	Gerger Hükümet Konağı	K-G	9.50	133.491	109.579
			D-B	9.65	103.412	108.493
			DÜŞEY	9.40	73.181	105.021
01.05.2003	BİNGÖL	Bingöl Bay.İşkan Müd.	K-G	19.80	398.407	144.106
			D-B	19.84	276.825	134.858
			DÜŞEY	19.84	472.260	134.953
06.02.2011	AYDIN, Kuşadası	Kuşadası Meteoroloji Müd.	K-G	20.20	41.092	146.905
			D-B	20.28	32.165	146.010
			DÜŞEY	20.20	21.581	147.767

Bu doğrultuda, yapay yer hareketlerine eklenecek olan S/G oranları, 5, 10, 25, 50, 100 ve 150 olarak saptanması, Çizelge 4.3' de belirtilen oranlar doğrultusunda gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Bu çalışmada, S/G=5 değerinde gürültü barındıran yer hareketi, gürültü miktarı en yüksek olan yapay yer hareketini temsil ederken, S/G=150 oranında gürültü barındıran yer hareketi ise en az gürültü içeren hareketi ifade etmektedir.

4.2.2 Gürültü barındıran yapay yer hareketleri

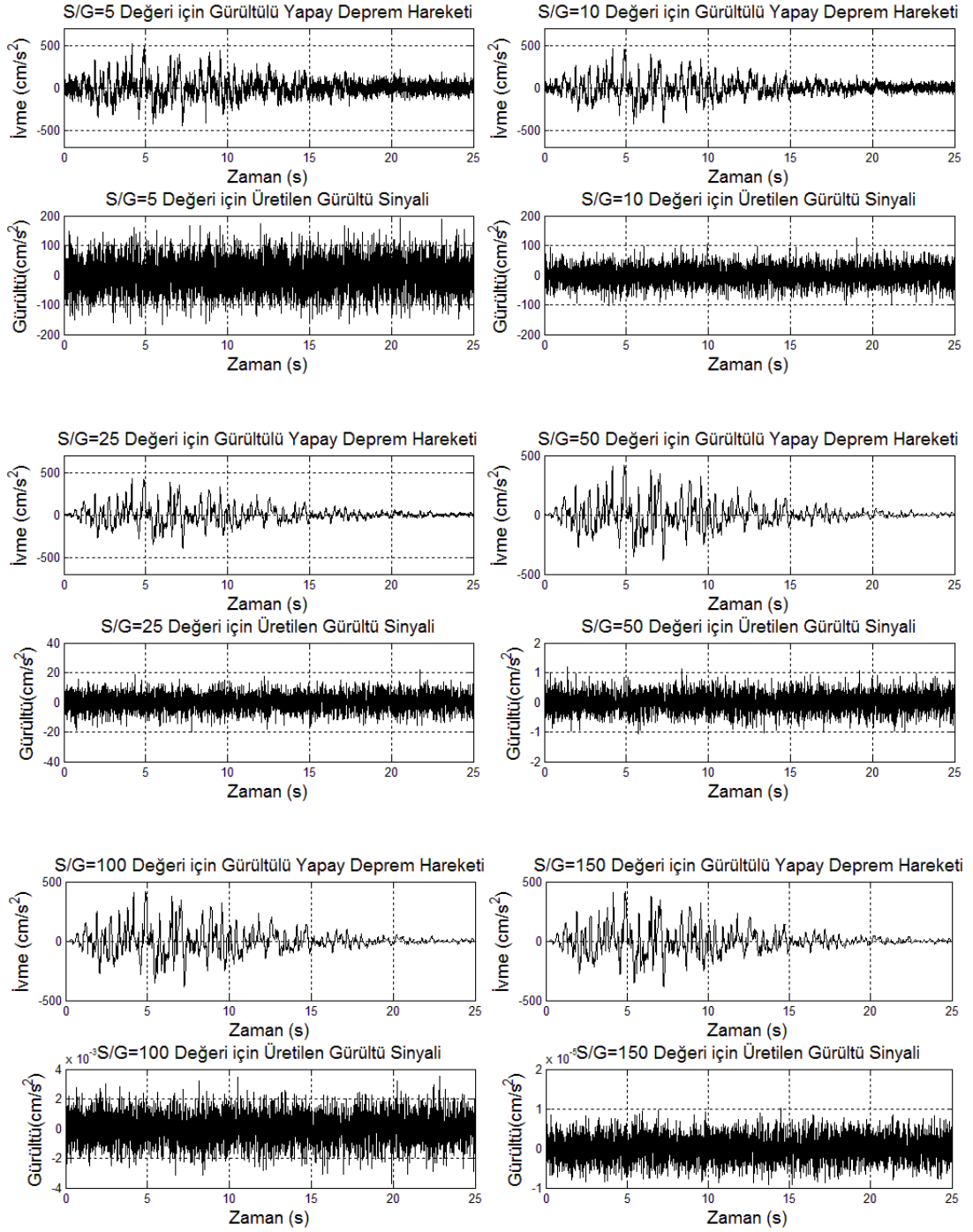
Birinci derece deprem bölgesi ve üç farklı zemin sınıfı için elde edilen 3 adet yapay yer hareketinin her birine, belirtilen 6 adet S/G oranınca gürültü sinyali eklenerek, gürültü barındıran yer hareketleri elde edilmiştir. Çözümleme esnasında oluşabilecek hataları azaltmak amacıyla, her bir gürültü düzeyi için, 40 adet gürültü içeren yer hareketi üretilerek, her bir zemin sınıfı için 240 adet, toplamda ise 720 adet gürültü barındıran (GDYYH) ve 3 adet gürültüsüz yapay yer hareketi (DYYH) oluşturulmuştur. Daha sonra üretilen tüm gürültü içeren yer hareketlerinden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak, sonuçların daha anlamlı olması sağlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, MATLAB programında geliştirilen bir algorithmadan (EKB1-Şekil B2 (b)) yararlanılmıştır.

Bu algoritmanın temeli, MATLAB programının içerisinde bulundurduğu "awgn" komutu olarak bilinen, gürültü barındırmayan yapay yer hareketine, istenilen gürültü oranınca beyaz gürültü eklenmesi prensibine dayanmaktadır.

Şekil 4.3'de görsel karışıklığa engel olmak amacıyla, örnek olarak seçilen 1. derece deprem bölgesi ve Z3 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uyumlu üretilen yapay deprem yer hareketine, belirtilen S/G oranlarına uygun olacak şekilde gürültü sinyalinin eklenmesi ile elde edilen 40 adet yapay yer hareketi ve eklenen gürültü sinyalinden oluşan 1. grup deprem toplumu görülmektedir.

S/G=5 için elde edilen gürültü sinyalinin en fazla 100 cm/s^2 civarında bir genliğe sahip olduğu görülürken, S/G=10, 25, 50 ve 100 için bu değerler sırasıyla 50 cm/s^2 , 10 cm/s^2 , 1 cm/s^2 ve $2 \times 10^{-3} \text{ cm/s}^2$ değerlerini alarak devamlı düşüş göstermektedir. S/G=150 için ise en büyük genlik değerinin, 1×10^{-5} 'e kadar küçük değerlere sahip olduğu tespit edilmektedir. S/G oranının artmasıyla, yer hareketindeki gürültünün etkisi de azalmaktadır. Böylece, S/G=5 için üretilen yapay yer hareketinde gürültünün daha etkin olacağı açıktır.

Belirtilen DBYBHY (2007)' de tanımlanan birinci derece deprem bölgesindeki diğer üç zemin sınıfı için, farklı S/G oranlarınca gürültü barındıracak şekilde üretilen 40 adet yapay yer hareketinden örnek oluşturması açısından her zemin sınıfı için bir toplum EKD1-ŞekilD1' de görülmektedir.

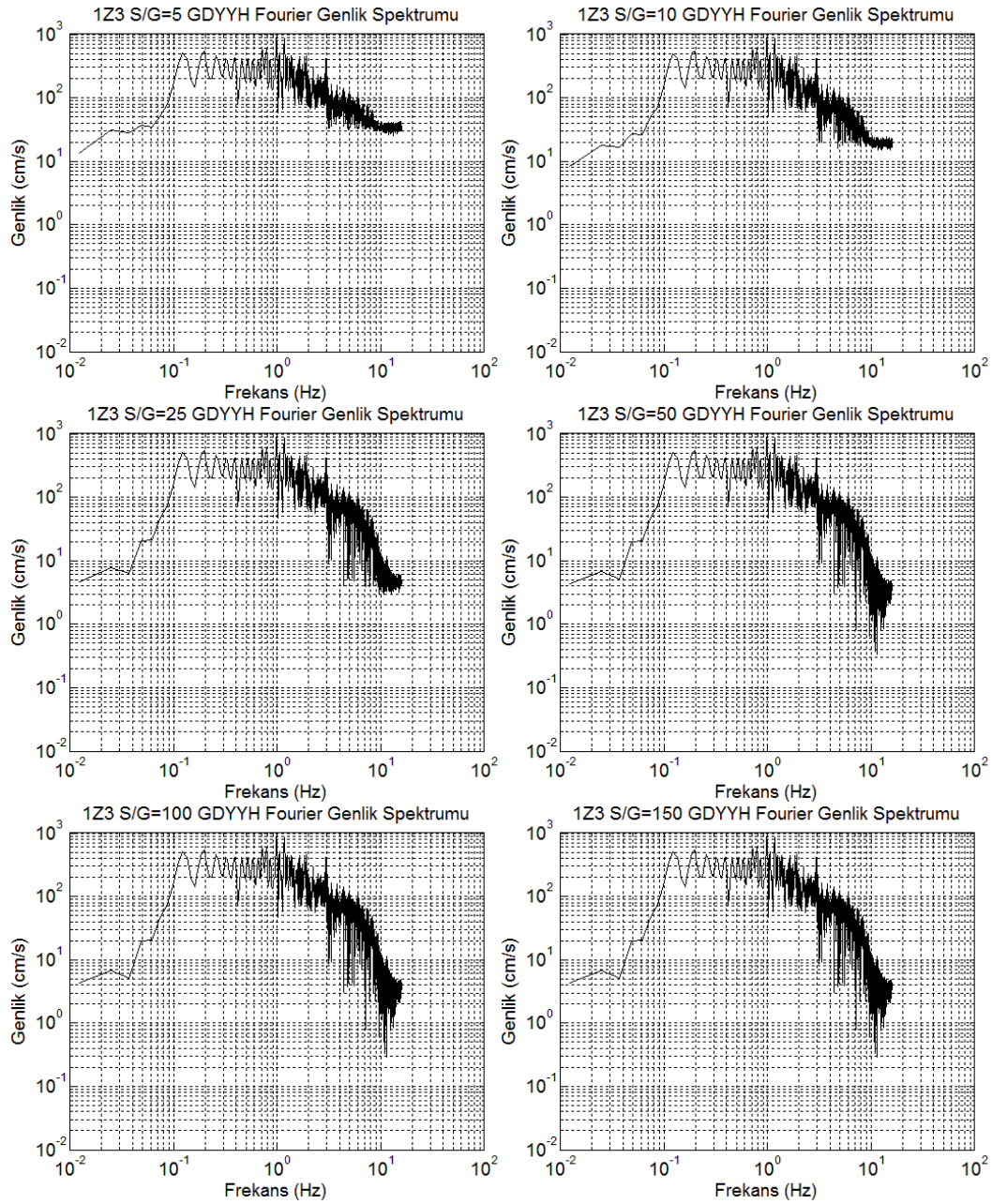


Şekil 4.5: 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uyumlu S/G 5, 10,50,100 ve 150 oranında GDYYH'leri.

4.2.3 DYYH'lerinin Fourier genlik spektrumları ve mühendislik şiddetleri

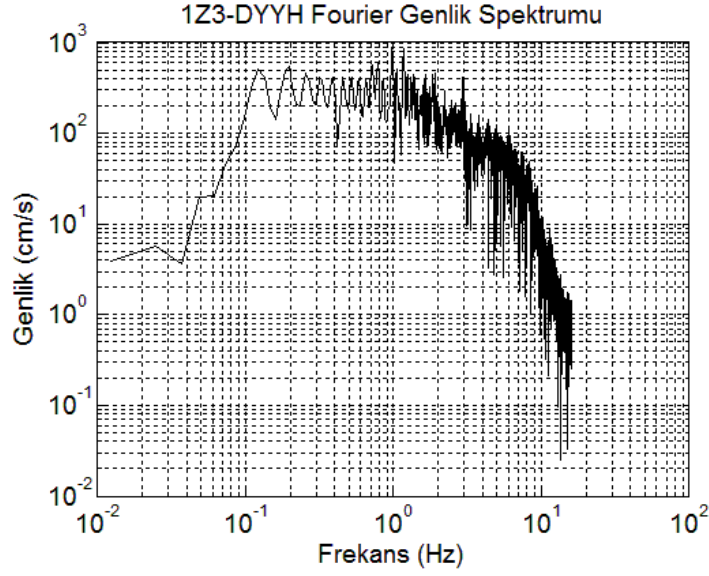
Yer hareketlerinin frekans ortamındaki özelliklerinin ve gürültü miktarlarının daha iyi anlaşılması açısından MATLAB yazılımı yardımıyla geliştirilmiş bir algoritma ile belirtilen yer hareketlerinin Fourier Genlik Spektrumları oluşturulmuştur. Şekil 4.4' de Z3 zemin sınıfına ait S/G oranı 5, 10, 25, 50, 100 ve 150 değerleri için 40 adet

gürültülü yapay yer hareketinin Fourier Genlik değerlerinin ortalaması alınarak elde edilen hareketlerin Fourier Genlik Spektrumları görülmektedir.



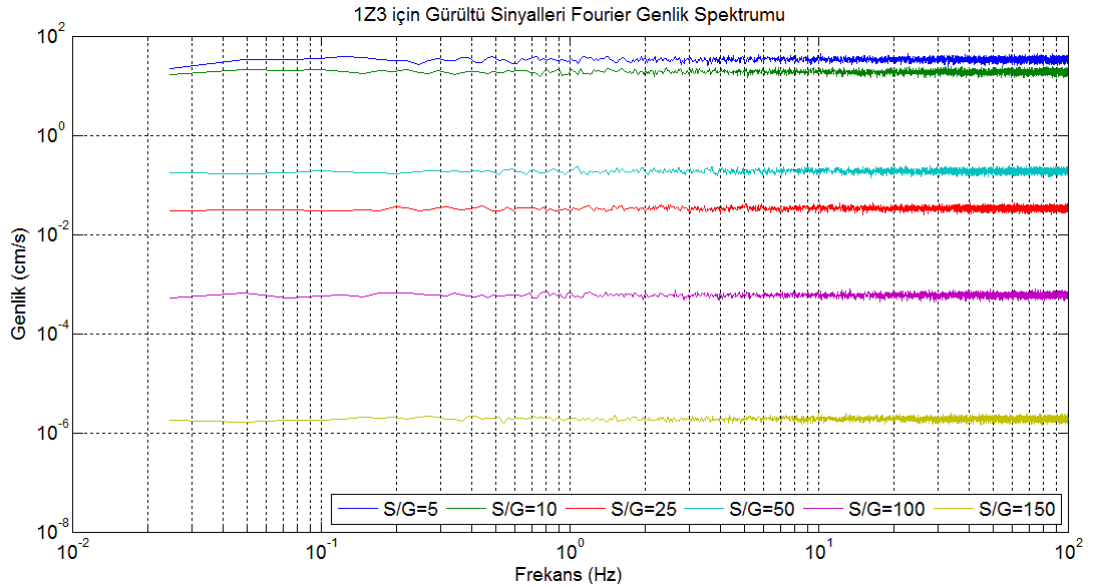
Şekil 4.6: 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uyumlu GDYYH'lerinin Fourier Genlik Spektrumları

Şekil 4.4'de S/G oranı 5 ve 150 değerlerinin Fourier Genlik Spektrumları incelendiğinde, yüksek gürültü düzeyine sahip S/G oranı 5 olan hareketin spektrumu ile S/G oranı 150 olan hareketin spektrumu arasındaki farklılık oldukça belirgin bir şekilde gözlenirken, S/G oranının artmasıyla Fourier Genlik Spektrumunda oluşan farklılaşmanın azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.7: 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uyumlu yapay yer hareketi Fourier Genlik spektrumu.

Şekil 4.7'deki gürültü barındırmayan yapay yer hareketi ile Şekil (4.6)'daki gürültülü hareketlerin Fourier Genlik Spektrumları karşılaştırıldığında gürültü miktarı yüksek olan S/G oranı 5 olan hareketin spektrumunun, DYYH'nin spektrumuna göre farklılaşma gösterdiği anlaşılmaktadır. Buna karşılık, S/G oranı 150 olan hareketin Fourier Genlik Spektrumunun, gürültüsüz hareketinki ile benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8: 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına DYYH'ne eklenen gürültü sinyallerinin Fourier Genlik spektrumları.

Belirtilen diğer zemin sınıfları için, farklı S/G oranlarınca gürültü barındıracak şekilde üretilen yapay yer hareketlerinin Fourier Genlik Spektrumları EK E1-Şekil

E1, E2, E3 ve E4' de görülmektedir. Ayrıca, EK E1-Şekil E5'de ise üç zemin sınıfı için üretilen gürültü barındırmayan DYYH'lerinin Fourier Genlik Spektrumları görülmektedir.

Önceki bölümde açıklanan 3 adet DYYH ve 40 adet GDYYH'lerinin mühendislik açısından şiddetlerinin belirlenmesi amacıyla, 6 adet mühendislik şiddeti hesaplanmıştır. Çalışmada ilk olarak yer hareketlerinin etkin süreleri (t_{eff}) ve etkin ivmeleri (a_{eff}), Housner şiddetleri ($SI_{0.2}$) belirlenmiş, sonrasında bu mühendislik şiddetlerine bağlı olarak geliştirilen deprem hücum gücü (I_{EAP}) elde edilmiştir. Son olarak ise yer hareketinin gücünün belirlenmesi amacıyla, deprem ivmelerinin karelerinin karekökü (I_{RS}) ile ivmelerinin karelerinin ortalamasının karekökü (I_{RMS}) hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, her bir S/G oranı için üretilen 40 adet yer hareketinin mühendislik şiddetlerinin ve en büyük ivme, hız ve yerdeğiştirme değerlerinin ortalamaları alınmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4 ve 4.5 'de verilmiştir.

4.4'de belirtilen çizelgede belirtilen mühendislik şiddetleri üretilen tüm depremler için listelenmiştir. Özellikle deprem hücum gücü değerleri incelendiğinde, gürültü içeriğinin artmasıyla, üç zemin sınıfı içinde bu değerin arttığı gözlenmektedir. Özellikle S/G oranının 100 değerini almasından itibaren deprem hücum gücü değerlerinin DYYH'nin değerleri ile benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu duruma karşılık, üç zemin sınıfı içinde S/G oranı 5 için elde edilen değerin, DYYH'nin değerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca zemin sınıfının kötüleşmesiyle, bu değerin belirgin bir şekilde azaldığı söylemek mümkündür. Deprem gücünü ifade ettiği bilinen diğer parametreler I_{RS} ve I_{RMS} değerleri incelendiğinde ise, deprem hücum gücü ile paralel olarak, gürültü içeriğinin fazlalığının, bu değerleri de arttırdığı görülmektedir. Zemin sınıfının kötüleşmesiyle ise, deprem hücum gücünden farklı olarak I_{RS} ve I_{RMS} değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.5'de ise üretilen tüm depremlerin, yer hareketi parametreleri listelenmiştir. Çizelge incelendiğinde özellikle, S/G oranı 5 olan yer hareketlerinde gürültü içeriğine bağlı olarak PGA, PGV ve PGD'lerin en büyük değerlerini aldığı görülmektedir. S/G oranının artmasıyla ise bu değerlerde genel bir düşüş gözlenmekte ve özellikle S/G oranı 100 değerinden sonra DYYH'nin parametrelerine hızlı bir yaklaşma belirlenmiştir.

Çizelge 4.4 : Üretilen yapay yer hareketlerine ait mühendislik şiddetleri.

1. Derece Deprem Bölgesi için Zemin Sınıfları	<i>S/G ORANLARI</i>	<i>teff (s)</i>	<i>a_{eff} (cm/s²)</i>	<i>SI_{0.2}</i>	<i>IEAP</i>	<i>IRS</i>	<i>IRMS</i>
Z1 Zemin Sınıfı	<i>S/G=5</i>	18.263	313.850	78.683	174.833	494.667	98.933
	<i>S/G=10</i>	14.499	315.900	79.121	138,934	452.451	90.490
	<i>S/G=25</i>	11.978	319.525	81.195	113.128	431.925	86.385
	<i>S/G=50</i>	11.914	319.000	81.185	112.353	431.324	86.265
	<i>S/G=100</i>	11.915	319.000	81.186	112.361	431.321	86.264
	<i>S/G=150</i>	11.915	319.000	81.186	112.361	431.321	86.264
	<i>DYYH</i>	11.915	319.000	81.186	112.361	431.321	86.264
Z2 Zemin Sınıfı	<i>S/G=5</i>	18.197	242.275	100.607	105.170	505.502	101.100
	<i>S/G=10</i>	14.429	266.500	102.305	89.683	461.485	92.297
	<i>S/G=25</i>	12.027	290.800	103.963	80.739	440.981	88.196
	<i>S/G=50</i>	11.904	290.025	104.366	79.393	440.320	88.064
	<i>S/G=100</i>	11.905	290.025	104.355	87.341	440.314	88.063
	<i>S/G=150</i>	11.905	290.000	104.355	87.341	440.314	88.063
	<i>DYYH</i>	11.905	290.000	104.355	87.341	440.314	88.063
Z3 Zemin Sınıfı	<i>S/G=5</i>	18.206	301.025	141.790	74.660	549.385	109.855
	<i>S/G=10</i>	14.477	292.250	142.463	64.996	502.499	100.480
	<i>S/G=25</i>	12.159	289.600	142.228	59.665	479.697	95.920
	<i>S/G=50</i>	12.090	289.000	142.201	59.179	478.893	95.760
	<i>S/G=100</i>	12.090	290.000	142.198	59.181	478.882	95.757
	<i>S/G=150</i>	12.090	290.00	142.199	59.175	478.882	95.757
	<i>DYYH</i>	12.090	293.000	142.199	59.787	477.604	95.521

Çizelge 4.5 : Üretilen yapay depremlerin yer hareketi parametreleri.

1. Derece Deprem Bölgesi için Zemin Sınıfları	<i>S/G ORANLARI</i>	<i>PGA (cm/s²)</i>	<i>PGV (cm/s)</i>	<i>PGD (cm)</i>
Z1 Zemin Sınıfı	<i>S/G=5</i>	481.687	35.587	21.730
	<i>S/G=10</i>	450.056	34.195	10.200
	<i>S/G=25</i>	430.466	33.893	3.144
	<i>S/G=50</i>	429.951	33.966	2.602
	<i>S/G=100</i>	429.969	33.969	2.606
	<i>S/G=150</i>	429.969	33.969	2.606
	<i>DYYH</i>	429.969	33.969	2.606
Z2 Zemin Sınıfı	<i>S/G=5</i>	460.091	47.197	32.821
	<i>S/G=10</i>	427.880	46.655	27.421
	<i>S/G=25</i>	408.769	46.704	23.822
	<i>S/G=50</i>	406.236	46.801	24.023
	<i>S/G=100</i>	406.171	46.798	24.021
	<i>S/G=150</i>	406.171	46.798	24.021
	<i>DYYH</i>	406.170	46.793	24.015
Z3 Zemin Sınıfı	<i>S/G=5</i>	504.661	66.780	30.807
	<i>S/G=10</i>	456.153	68.303	30.614
	<i>S/G=25</i>	418.5154	68.238	25.400
	<i>S/G=50</i>	413.491	68.037	24.787
	<i>S/G=100</i>	413.407	68.041	24.801
	<i>S/G=150</i>	413.407	68.041	24.801
	<i>DYYH</i>	413.333	67.399	22.442

4.3 Yer Hareketleri Altında Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Çözümlemeler

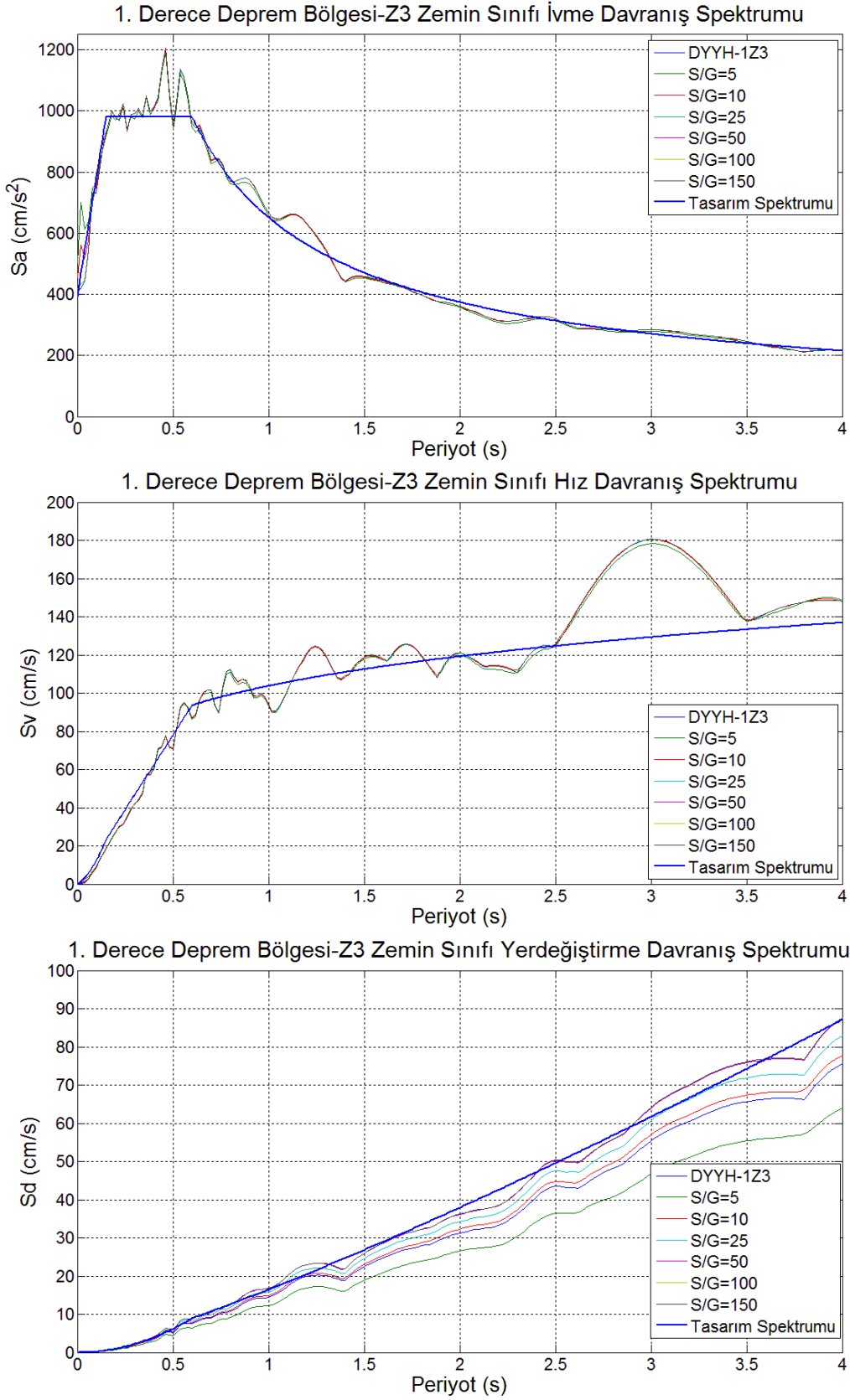
Sistemin doğrusal davranış sergilediği kabulü ile üretilen 3 adet DYYH ile toplamda 720 adet GDYYH etkisi altında TSD dereceli sistemin ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrumları hesaplanmış ve DBYBHY (2007)'de belirtilen tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, TSD sistemin doğrusal olmayan davranış modeline sahip olduğu kabul edilerek, dayanım azaltma katsayısı ve süreklilik spektrumları bu bölüm kapsamında incelenmiştir. Daha sonra, örnek betonarme bir çerçeve sistemin gürültü barındıran ve gürültüsüz hareketlerin etkisi altında, yerdeğiştirme ile taban kesme kuvveti ilişkisi belirlenerek, gürültü düzeyinin sisteme etkisi incelenmiştir.

4.3.1 Doğrusal davranış spektrumları

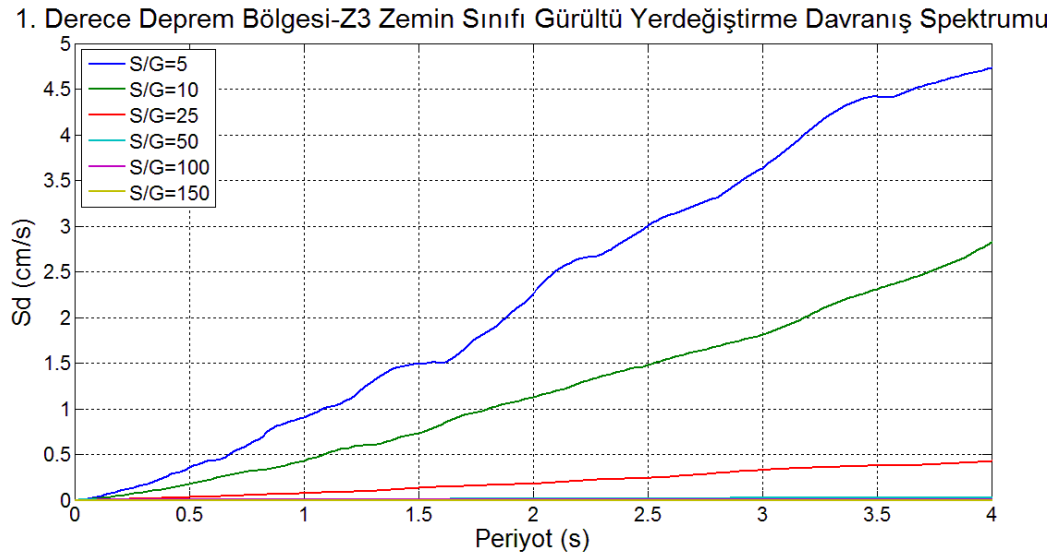
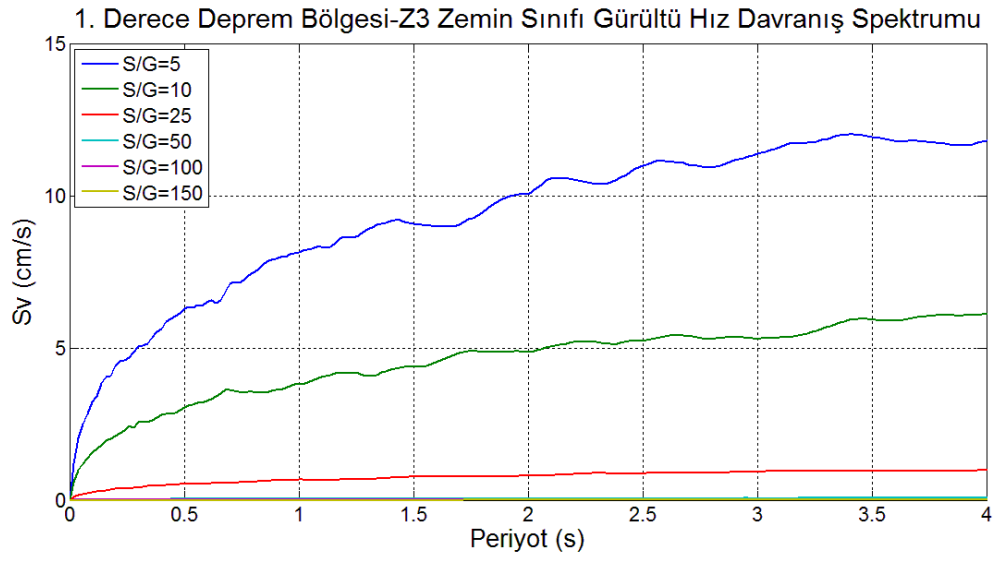
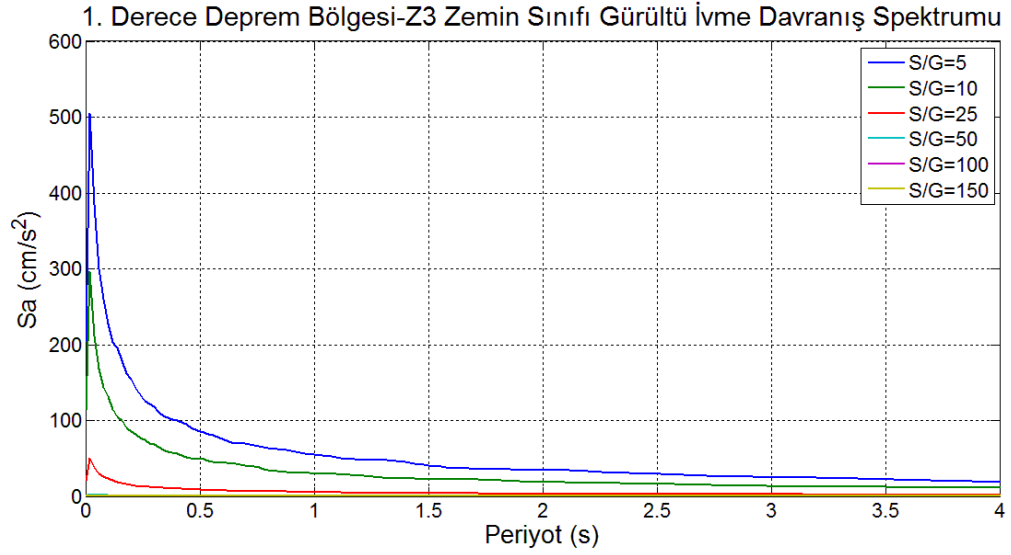
TSD sistemin davranışının doğrusal elastik olduğu kabulü ile ivme, hız ve yer değiştirme spektrumları yukarıda belirtilen toplam 723 adet yapay yer hareketi için elde edilmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere, her bir S/G oranı için üretilen 40 adet yer hareketinden elde edilen sonuçların ortalamasının alınması ile ivme hız ve yerdeğiştirme spektrumları hesaplanmıştır.

Şekil 4.9'da 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına uyumlu üretilen DYYH ve GDYYH'lerinin doğrusal davranış spektrumları görülmektedir. Yapay yer hareketlerinin doğrusal davranış spektrumlarının yürürlükteki deprem yönetmeliğinin içerdiği tasarım spektrumları ile karşılaştırılması amacıyla, şekillerde DBYBHY (2007)' de belirtilen tasarım spektrumları da yer almaktadır. İvme ve hız davranış spektrumu ile 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait tasarım spektrumunun birbirine uyumlu olduğu gözlenmektedir. Ayrıca Z3 zemin sınıfı tasarım spektrumuna uyumlu üretilen yapay yer hareketine eklenen gürültü sinyallerinin doğrusal davranış spektrumları Şekil 4.9'da yer almaktadır.

Diğer zemin sınıfları için üretilen hareketlerin ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrumları ise EK F1' deki şekillerde yer almaktadır. Z1 ve Z2 zemin sınıfına ait üretilen yer hareketlerinin doğrusal davranış spektrumlarında, tasarım spektrumları ile uyumlu olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 4.9: 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait GDYYH'lerinin ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrumları.



Şekil 4.10: 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait GDYYH'lerine eklenen gürültü sinyallerinin ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrumları.

4.3.2 Sabit dayanım azaltması katsayısı ve süneklik spektrumları

TSD sistemin davranışının doğrusal olmadığı kabulü ile betonarme yapıların davranışını iyi temsil ettiği bilinen Clough rijitlik azalmasını göz önüne alan model için BISPEC programında 723 adet yapay yer hareketi altında TSD sistemin dayanım azaltma katsayısı ve süneklik spektrumları elde edilmiştir.

Şekil 4.9'da BISPEC programının ana sayfası görülmektedir. Programın ana sayfasında, "Problem Type" kısmında yer hareketinin tek bileşeni (unidirectional) ya da iki bileşeni (bidirectional) için çözüm yapabilme seçeneği sunulmaktadır. Ayrıca yine bu kısımda spektral (spectral analysis) ya da tek dinamik çözümleme (single analysis) yapabilme seçeneği de yer almaktadır. Çalışmada yer hareketinin tek bileşeni için spektral çözümleme yapılması amaçlandığından, "Unidirectional-Spectral Analysis" seçeneği işaretlenmiştir.

Ana sayfada ikinci kısım genel özelliklere ayrılmış olup, tek serbestlik dereceli modelin kütlesinin, ağırlılığının ve P-Δ oranının girilmesi gerekmektedir. P-Δ oranının belirlenmesi ile, bu etkilerden meydana gelen rijitlik azalması programda dikkate alınmaktadır. Çalışmada birim kütle için çözümleme yapılmıştır. nc bölüm ise sönüm özelliklerini içermekte olup, çalışmada betonarme yapıları temsil etmesi açısından %5 sönüm kabulü yapılmış ve doğrusal olmayan ek viskoz sönüm göz önüne alınmamıştır.

Programın dördüncü kısmı, spektral analiz yapılması durumunda aktif olup, periyot ve frekans özellikleri ile dayanım ve süneklik bilgilerinin kullanıcı tarafından seçimini sağlamaktadır. Çalışmada, 0.05 s' den, 5 s' ye kadar değişen, 40 farklı periyot değeri için dayanım azaltma katsayısı ve süneklik, 2, 4, 6 ve 8 değerleri için sabit kabul edilerek, çzmlmeler yapılmıştır. Periyot aralıları 0.2 s ile 0.5 s arasında, 0.05 s, 0.5 s ile 1.0 s arası ise 0.1 s aralıklarla belirlenmiştir. 1 s 'den yüksek periyot değerlerinde ise, periyot artım değerleri 0.25 s kabul edilmiştir. Dayanım ve süneklik özelliklerinin ifade edileceği bölümde ise, program sabit dayanım, sabit normalize dayanım, sabit süneklik, sabit dayanım azaltma katsayısı ve sabit hasar indeksi seçeneklerini kullanıcıya sunmakla birlikte, değerlerin kullanıcı tarafından istenilen aralıklarla girilmesini de sağlamaktadır. Çalışmada, sabit dayanım azaltma katsayısının ve sünekliğin, 2, 4, 6 ve 8 değerleri için çözümlleme gerçekleştirilerek sabit dayanım azaltma katsayısı ve sabit süneklik spektrumları belirlenmiştir.

Programın beşinci kısmı, doğrusal olmayan davranışın özelliklerinin belirlenmesini içermekte ve üç ana bölümden meydana gelmektedir. İlk olarak doğrusal olmayan davranış için çift doğrulu, Clough rijitlik azalmasını göz önüne alan, geliştirilmiş Clough, çift doğrulu elastik, başlangıca yönelen, en büyük değere yönelen, çift doğrulu bayrak ve çift doğrulu kayma modellerini içeren dokuz farklı çevrimsel davranış modeli sunulmaktadır. Ayrıca doğrusal elastik model (linear elastic) seçilerek doğrusal davranış spektrumlarının belirlenmesi de mümkündür. Çalışmada TSD sistemin Clough rijitlik azalmasını göz önüne alan çevrimsel davranış modeline uygun olduğu kabul edilmiştir. Programda belirlenen iskelet eğrisinin, dayanım ve rijitlik oranlarının kullanıcı tarafından değiştirilebilmesinin yanı sıra, model özellikleri kısmında pekleşme rijitlik oranı da kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir. Çalışmada, Y_{neg}/Y_{pos} ile ifade edilen negatif akma dayanımının, pozitif akma dayanımına oranı 1 olarak alınmış ve pekleşme rijitlik oranı (K_h/K) ise 0.1 olarak programa tanımlanmıştır.

The screenshot displays the BISPEC program's main interface, which is organized into several sections for defining seismic analysis parameters:

- 1. Problem Type:** Options include Unidirectional, Single Analysis, Bidirectional, and Spectral Analysis. Spectral Analysis is selected.
- 2. General Properties:** Fields for Mass (Kip*s²/in), Weight (Kip), and P-Delta Ratio. Values are 1, 386.089, and 0 respectively.
- 3. Damping:** Includes Inherent Linear Viscous Damping (LVD) and Supplemental Nonlinear Viscous Damping (NLVD). LVD is checked with a value of 5%. NLVD is unchecked.
- 4. Spectra Parameters:**
 - 4a. Period/Frequency Range:** Options for First, Last, Number, and Custom. Custom is selected with values 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.1, 0.11, 0.12, 0.1.
 - 4b. Target Strength/Ductility Range:** Options for First, Last, Number, and Custom. Custom is selected with values 2, 4, 6, 8. A dropdown menu shows options like Constant R, Constant Strength (Kips), Constant Normalized Strength, Constant Ductility, Constant R, and Constant D.
- 5. Nonlinear Properties:**
 - 5a. Model Type:** Options include Linear Elastic, Bilinear, Clough (Stiffness Degrading), Modified Clough (Stiffness Degrading), Bilinear Elastic, Origin-Oriented, Peak-Oriented, Bilinear Flag, and Bilinear Slip. Bilinear is selected.
 - 5b. Strength and Stiffness Ratios:** Checkboxes for K2/K1, Y2/Y1, and Yneg/Ypos. All are checked with values 1.
 - 5c. Model Properties:** A table for Direction 1 and Direction 2 properties.

	Direction 1	Direction 2
Period (sec)	1	1
Stiffness K (Kips/in)	39.4784176	39.4784176
Positive Yield (Kips)	50	50
Positive Hardening Stiffness Ratio (Kh/K)	0.1	0.1
Negative Yield (Kips)	50	50
Negative Hardening Stiffness Ratio (Kh/K)	0.1	0.1

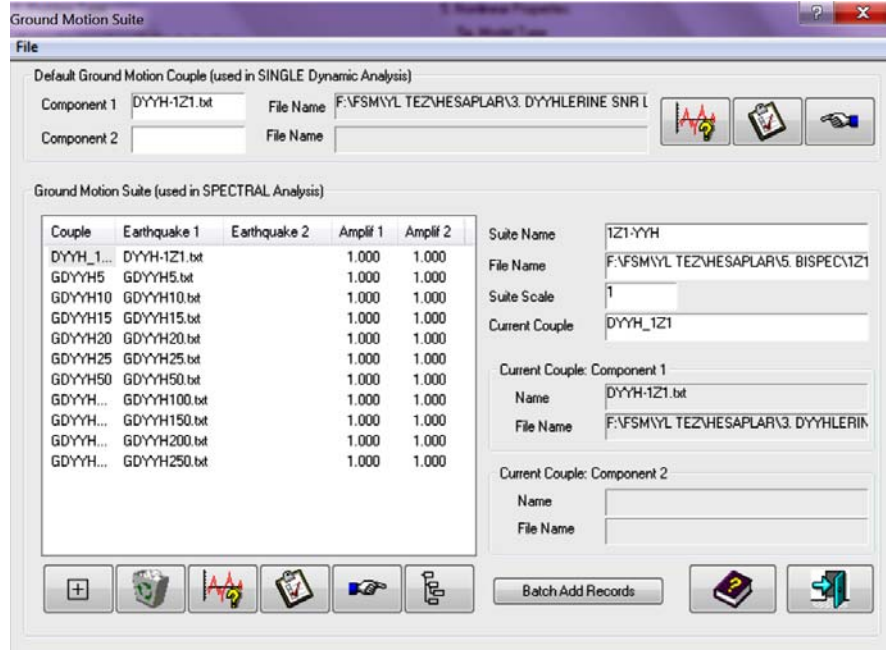
Şekil 4.11: BISPEC programı ana sayfası.

Gerekli tüm değerlerin programa tanıtılmasının ardından, üretilen 723 adet yer hareketinin programa tanıtılması amacıyla, programın ana sayfasında yer alan "Define Ground Motions" butonu ya da araç çubuğunda bulunan "Earthquake-Define" komutları ile Şekil 4.12 (a)'da yer alan "Ground Motion Suite" penceresi açılmaktadır. Bu pencere de ilk kısımda tek serbestlik dereceli sistemin dinamik çözümlemesi için yer hareketlerinin iki bileşeni de girilebilmektedir. Ayrıca hareketin her iki bileşen yer hareketinin de belirlenen katsayılar ile çarpılarak, arttırılabilir.

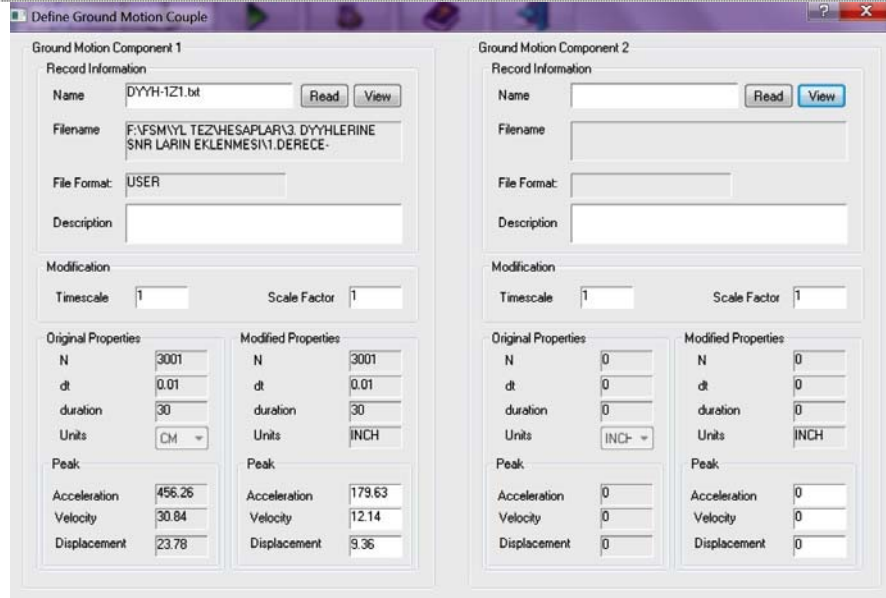
Çalışma kapsamında gerçekleştirilen spektral çözümleme için tanımlanacak yer hareketleri pencerenin ikinci kısmında yer almaktadır. Program, sol alt köşede bulunan "+" işareti ile Şekil 4.12 (b)'de yer alan pencereye yönlendirmektedir. Burada "read" seçeneği ile deprem 4.12 (c)'de yer alan pencere açılmakta ve farklı veri bankalarına göre deprem kaydı verisinin tanımlanmasının yanı sıra, kullanıcı tanımlı olarak da yer hareketi verisi seçilebilmektedir. Bu kapsamda, verinin başladığı ilk satır, son satır, zaman artımı ve birimi girilmesi istenmektedir. Burada tanımlanan değerler doğrultusunda Şekil 4.12 (b)'de yer alan yer hareketinin esas özellikleri otomatik olarak elde edilmektedir. "view" seçeneği kullanılarak, program, yer hareketinin ivme, hız ve yerdeğiştirme zaman geçmişlerini görüntüleyebilmektedir. Yine ekranın sağ tarafında ise yer hareketinin ikinci bileşenini tanımlamak mümkündür. Pencerenin sağ bölümünde ise deprem kaydının ikinci bileşenini de programa tanımlamak mümkündür.

Program çözümleme öncesinde, yer hareketlerinin gruplanmasını sağlayarak, istenilen deprem gruplarını oluşturma seçeneği sunmaktadır. Böylece çalışmada her bir gürültü oranı için üretilen 40 adet deprem, üç zemin sınıfı içinde kendi aralarında gruplanarak "SNR5_1Z1" şeklinde isimlendirilmiştir. Böylece çalışmada deprem grupları oluşturularak, çözümleme yapılmıştır.

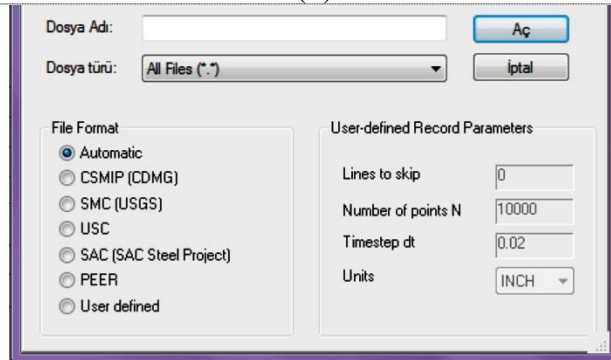
Çizelge 4.6' da ise BISPEC programında kullanılan parametrelerin değerleri tablo şeklinde belirtilmiştir. Çalışmada birim kütleye sahip TSD sistemin doğrusal olmayan çözümlemesinde, pekleşme oranı 0.1, negatif akma dayanımının, pozitif akma dayanımına oranı olarak tanımlanan " Y_{neg}/Y_{pos} " değeri ise 1 olarak seçilmiştir. Sabit dayanım azalması katsayısı ve süneklik değerleri ise, 2, 4, 6 ve 8 olarak belirlenmiş ve toplamda TSD sisteme 723 adet yer hareketi etkilmiştir.



(a)



(b)



(c)

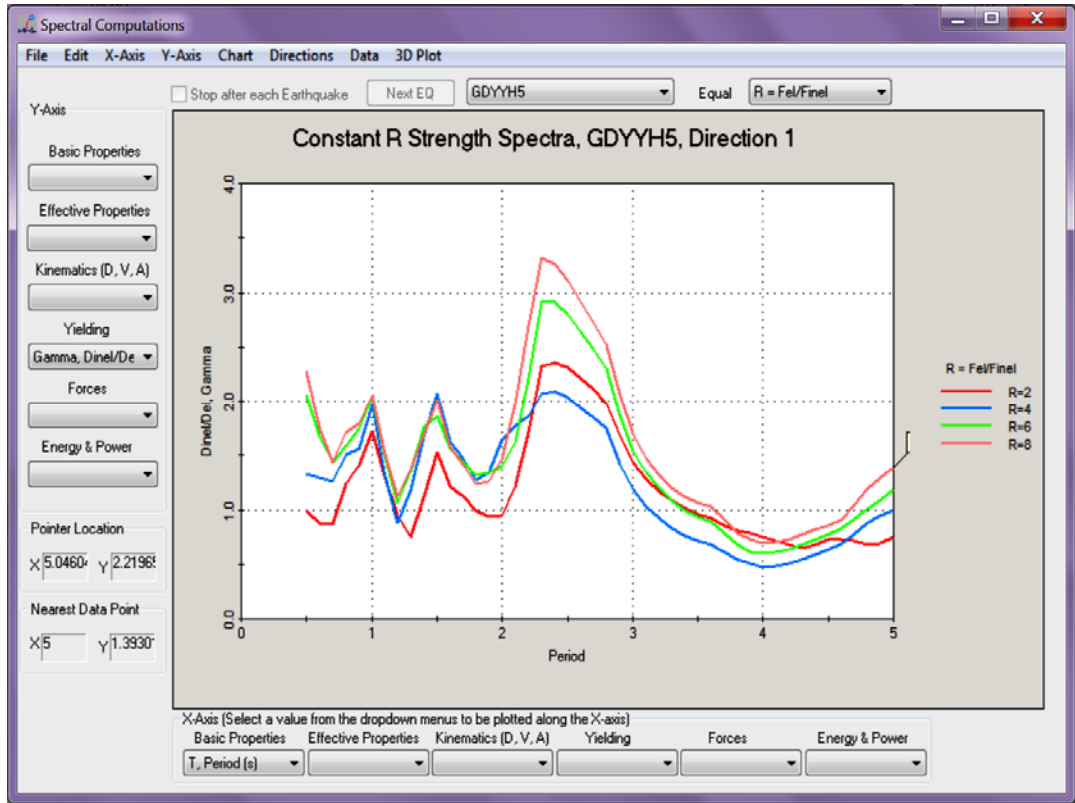
Şekil 4.12: BISPEC programı (a) yer hareketlerinin düzenlendiği pencere, (b),(c) yer hareketlerinin tanımlandığı pencereler.

Çizelge 4.6 : Doğrusal olmayan çözümleme için girdi parametreleri.

TSD Sisteme Etkiyen Yer Hareketi Adeti	723
TSD Sistemin Kütlesi ($\text{Kip.s}^2/\text{in}$)	1
Sönüm Oranı (ξ ; %)	5
Periyot Değerleri (s)	0.5~5
Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı/Sabit Süneklik Değerleri	2, 4, 6, 8
TSD Sistemin Doğrusal Olmayan Davranış Modeli	Clough Rijitlik Azalmasını Gözönüne alan model
Negatif Akma dayanımı/Positif Akma Dayanımı ($Y_{\text{neg}}/Y_{\text{pos}}$)	1
Pekleşme Oranı (K_h/K)	0.1

Çözümleme sonucunda, program Şekil 4.11' de belirtilen şekildeki gibi bir sonuç grafiği hesaplamaktadır. Yatay eksen ve düşey eksen özellikleri, pencerenin alt ve sol kısmında yer alan butonlar yardımıyla istenilen özellikte seçilebilmektedir. Çalışma kapsamında doğrusal olmayan yer değiştirme oranlarının belirlenmesi amaçlandığından, yatay eksen periyot ve düşey eksen ise program da "Gamma, ($D_{\text{inel}}/D_{\text{el}}$)" olarak tanımlanan doğrusal olmayan yer değiştirmenin, doğrusal yer değiştirmeye oranı olarak seçilmiştir.

Programdan her bir S/G oranı için elde edilen sonuçların ortalama değerleri alınmıştır. Çalışmada gürültü miktarlarının yapıya ne derece de etki ettiğinin belirlenmesi amaçlandığından, sabit dayanım azaltma katsayısı ya da süneklik değerleri için, her bir zemin sınıfına ait 6 adet gürültü düzeyi ve 1 adet DYYH için elde edilen doğrusal olmayan yer değiştirmelerin periyotla ilişkisi çizdirilerek, grafikler yeniden düzenlenmiştir.

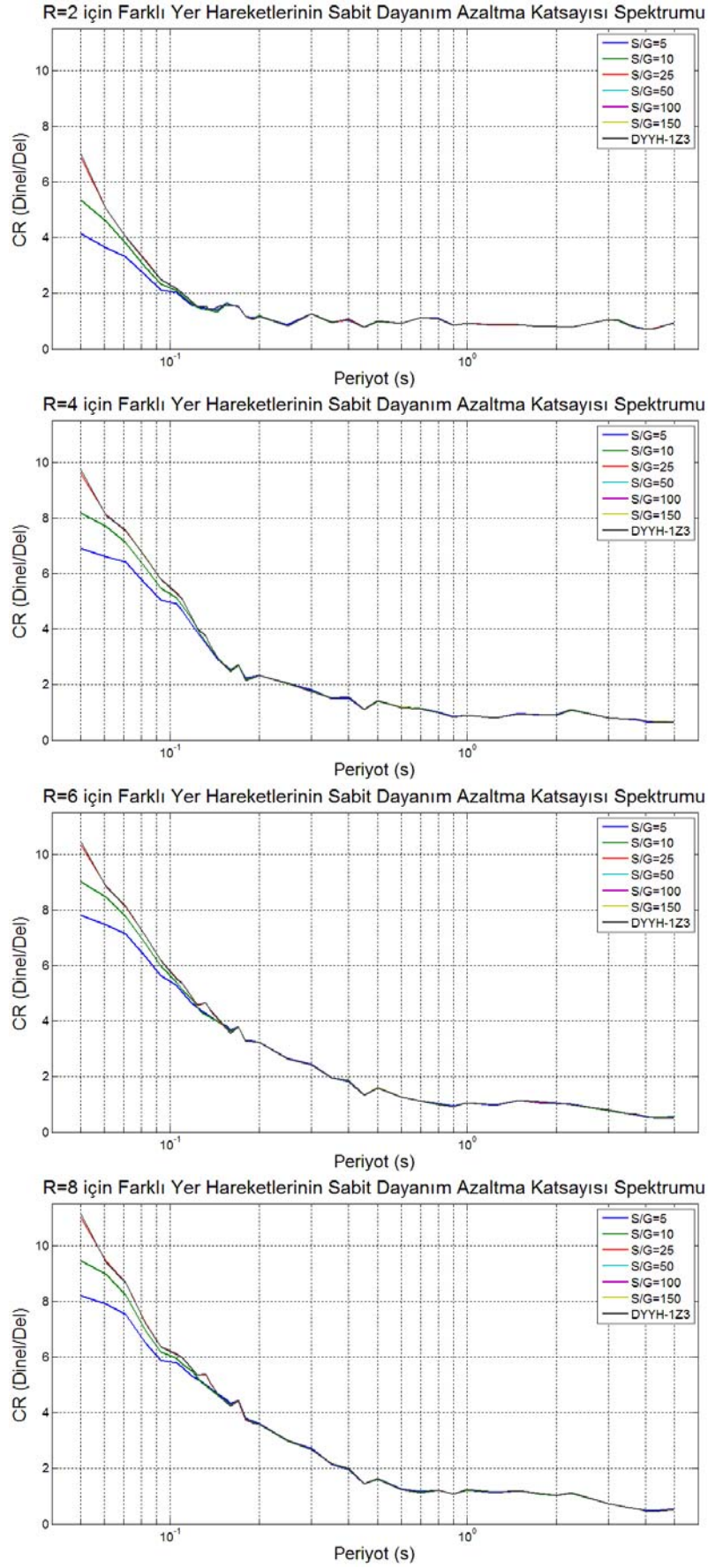


Şekil 4.13: BISPEC programı doğrusal olmayan spektral çözümleme sonuç penceresi.

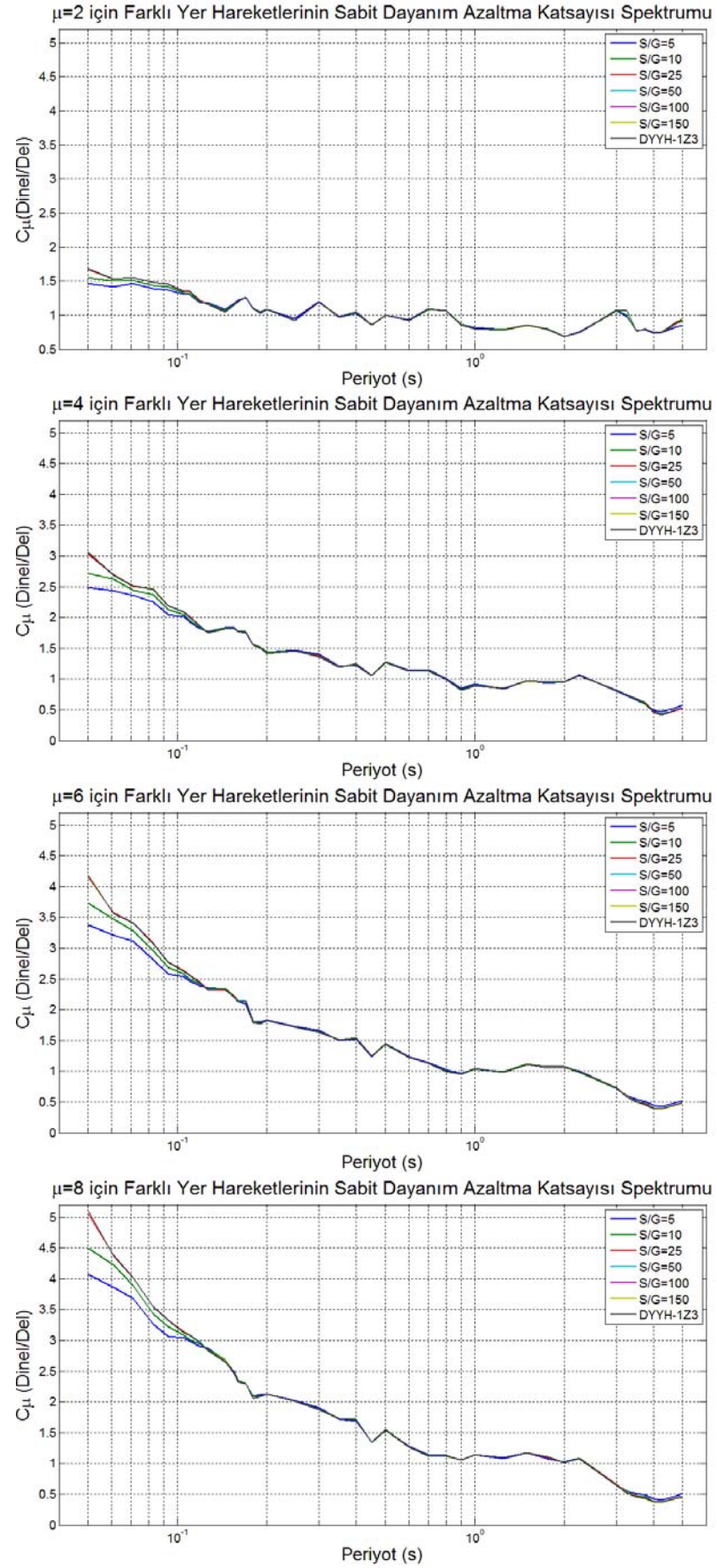
Belirtilen deprem grupları için BISPEC programı ile elde edilen sonuçlar, MATLAB yazılımı ile yeniden düzenlenerek sabit dayanım azalması katsayısı ve süneklik değerleri için, her bir yer hareketi grubunun doğrusal olmayan yerdeğiştirme oranları elde edilmiştir.

Şekil 4.12'de dört farklı sabit dayanım azaltma katsayısı için 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait deprem toplumunun (1Z3) farklı yapısal özelliklere sahip TSD sistemlere etkililmesi ile elde edilen doğrusal olmayan yerdeğiştirme oranlarının (C_R) periyot ile değişimi görülmektedir. Yine farklı yapısal özellikteki TSD sistemlere, aynı deprem toplumu etkililerek, dört farklı süneklik düzeyi için doğrusal olmayan yerdeğiştirme oranları (C_μ) belirlenmiştir. Elde edilen süneklik spektrumları Şekil 4.13'de periyota bağlı olarak belirtilmiştir. Grafiklerin daha anlaşılır olması açısından yatay eksen logaritmik ölçekte çizdirildiği şekillerde görülmektedir.

Diğer deprem grupları (1Z1, 1Z2) için elde edilen sabit dayanım azaltma katsayısı ve süneklik spektrumları ise EKG1'de yer almaktadır.



Şekil 4.14: 1Z3 için tasarım spektrumuna uygun üretilen farklı gürültü oranlarına sahip depremlerin sabit dayanım azaltma katsayısı spektrumları.

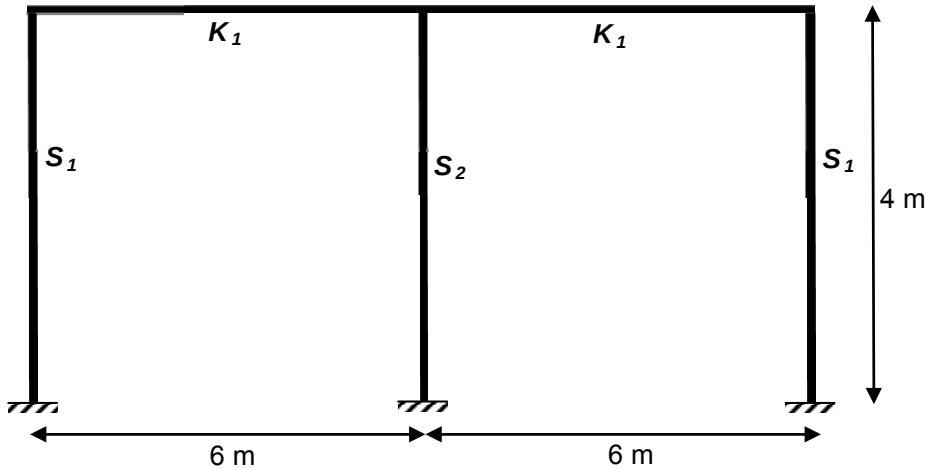


Şekil 4.15: 1Z3 için tasarım spektrumuna uygun üretilen farklı gürültü oranlarına sahip depremlerin sabit süneklik spektrumları.

4.4 Örnek Betonarme Bir Çerçeve Sistemin İrdelenmesi

Üç farklı zemin sınıfı için tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal olmayan çözümlemesinin ardından, S/G oranlarının çerçeve bir sistem üzerindeki etkisinin irdelenmesi amacıyla, 1975 yılında yürürlüğe konan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik esaslarına uygun yapılmış bir betonarme çerçeve sistemin üretilen yapay yer hareketleri etkisi altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemesi gerçekleştirilmiştir. Tek serbestlik dereceli sistemin çözümlemesinde S/G oranı 5 olan yer hareketi etkisi altında doğrusal olmayan yerdeğiştirme oranlarının farklılıklarının büyük olduğu görülmüştür. Bu nedenle, farklılıkların kolay anlaşılması amacıyla S/G oranı 5 ve 150 değerlerinde gürültü içeren yapay yer hareketleri ile 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uyumlu üretilmiş yapay yer hareketi etkisi altında betonarme çerçeve sistemin çözümlemesi DRAIN-2DX (Prakash ve diğ., 1993) programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sistemin doğrusal olmayan davranışı, tek serbestlik dereceli sistemin çözümlemesinde de kullanılan Clough rijitlik azalmasını gözönüne alan davranış modeli olarak seçilmiştir.

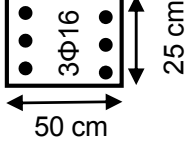
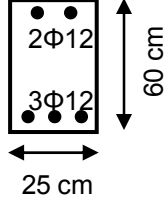
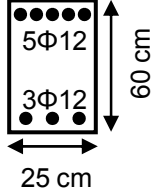
Çözümlemede modellenen çerçeve sistem tek katlı ve iki açıklı olarak tasarlanmıştır. Çerçeve sistemin kat yüksekliği 4 m ve açıklık boyutları ise 6'şar m olarak belirlenmiştir. Şekil 4.14' de çerçeve sistemin genel özellikleri yer almaktadır.



Şekil 4.16: Örnek betonarme çerçeve sistemin genel özellikleri.

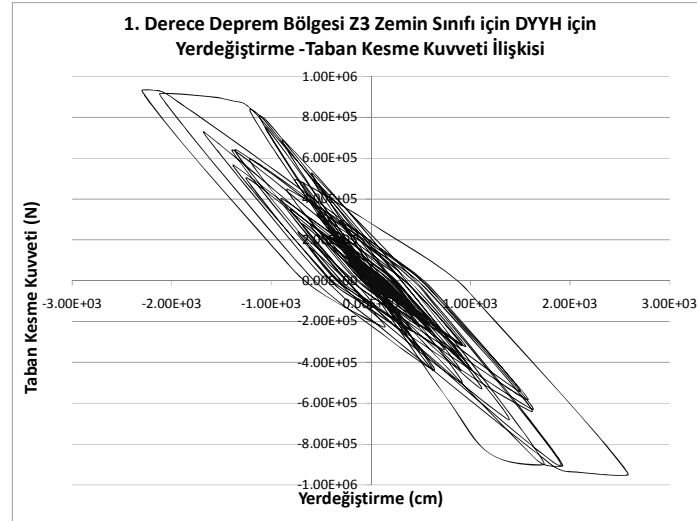
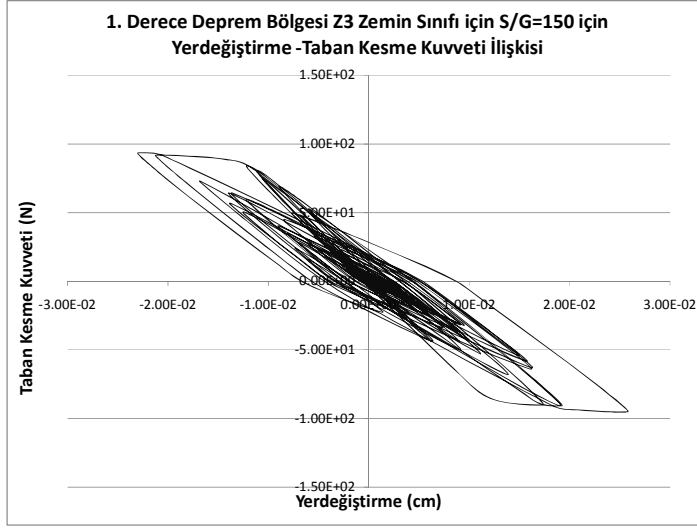
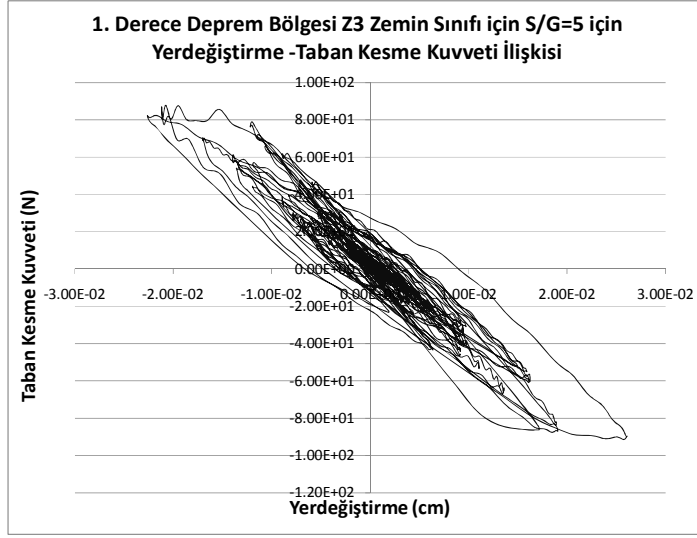
Betonarme çerçeve sistemde beton sınıfı C16 olarak seçilmiş ve S220 çeliği kullanıldığı kabul edilmiştir. Sistemin kiriş ve kolon kesit boyutları ile içerdikleri donatı miktarları Çizelge 4.7' de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Betonarme çerçeve sistem kesit boyutları ve donatı miktarları.

<i>Kiriş/Kolon İsimleri</i>	<i>Donatı Miktarları ve Kesit Boyutları</i>	<i>Donatı Pas Payı</i>
<i>S1 ve S2 Kolonları (Sağ -Sol ve Orta Mesnetler)</i>		3 cm
<i>K1 Kirişleri (Sağ ve Sol Kiriş)</i>		3 cm
<i>Orta Mesnette Kiriş Donatısı</i>		3 cm

Belirtilen örnek betonarme çerçeve sistem, her bir gürültü düzeyi için aynı yapay yer hareketinden üretilen 40 adet toplamda 80 adet farklı GYYH ve 1 adet DYYH etkisi altında zaman tanım alanında çözümlenmiş ve elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır.

Çözümleme sonucunda betonarme çerçeve sistemin periyot değeri 0.158 s olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 40 adet depremin taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirmesi hesaplanmış ve hesaplanan sonuçların ortalamasının alınmasıyla elde edilen çevrimsel grafikler Şekil 4.15' de belirtilmiştir. S/G oranı 150 olan yer hareketi etkisi altında kalan çerçeve sistemin, yerdeğiştirme'ye karşı taban kesme kuvveti ilişkisi, gürültü ilavesi yapılmamış yapay yer hareketi ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Buna karşılık, S/G oranı 5 olan yer hareketi etkisindeki sistemin yerdeğiştirme-taban kesme kuvveti ilişkisi sonucu elde edilen çevrimsel davranıştaki bozulmalar görülmektedir.



Şekil 4.17: S/G oranı 5 ve 150 ile DYYH için yerdeğiştirme-taban kesme kuvveti ilişkisi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada deprem ivme kayıtlarındaki gürültü bileşenlerinin, yapı sistemlerinin davranışları üzerinde oluşturdıkları etkiler incelenmiştir. Bu doğrultuda ilk aşamada TSD sistemin zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemesi yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise TSD sistemin çözümlemesinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda, betonarme bir çerçeve sistemin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi gerçekleştirilmiştir.

Her iki çözümlemede de kullanılacak yapay yer hareketlerinin belirlenmesi çalışmanın bir diğer aşaması olarak belirtilebilir. Bu amaçla, gerçek deprem kayıtlarının incelenmesi sonucunda elde edilen sinyal/gürültü oranları dikkate alınarak 6 değişik S/G oranı belirlenmiş, sonrasında yürürlükteki deprem yönetmeliğinde (DBYBHY-2007) tanımlanan 1. derece deprem bölgesi Z1, Z2 ve Z3 zemin sınıflarına ait tasarım spektrumları ile uyumlu yapay yer hareketleri üretilmiştir. Üretilen 3 adet yapay yer hareketine filtreleme işlemi ve zaman eksenini düzeltmesinin uygulanmasının ardından, belirlenen 6 farklı S/G oranı eklenmiş ve her bir S/G oranı için 40 adet gürültü içeren yapay yer hareketi elde edilerek, toplam 18 adet deprem toplumu oluşturulmuştur. Oluşturulan deprem toplumları, farklı yapısal özelliklere sahip eşdeğer TSD sistemlere etkilerek doğrusal olmayan dinamik çözümlemeler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, belirlenen dört farklı dayanım azalması katsayısı ve süneklik düzeyleri için doğrusal olmayan yerdeğiştirme oranları hesaplanmış ve her bir S/G oranı için elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda, özellikle S/G oranı 5 ve 10 değerleri için doğrusal olmayan yerdeğiştirme oranlarında büyük ölçüde bir farklılık gözlenmektedir. Bu doğrultuda sonuçların daha anlaşılabilir olması amacıyla, Şekil 5.1'de S/G oranı 5, 10 ve 150 ile 1. derece deprem bölgesi Z3 zemin sınıfı tasarım spektrumuna uyumlu üretilen yapay yer hareketi altında TSD sistemin normalize sabit dayanım azalması katsayısı spektrumları görülmektedir. S/G oranı 5, 10 ve 150 değerleri için doğrusal olmayan yerdeğiştirme oranları, DYYH-1Z3 için doğrusal

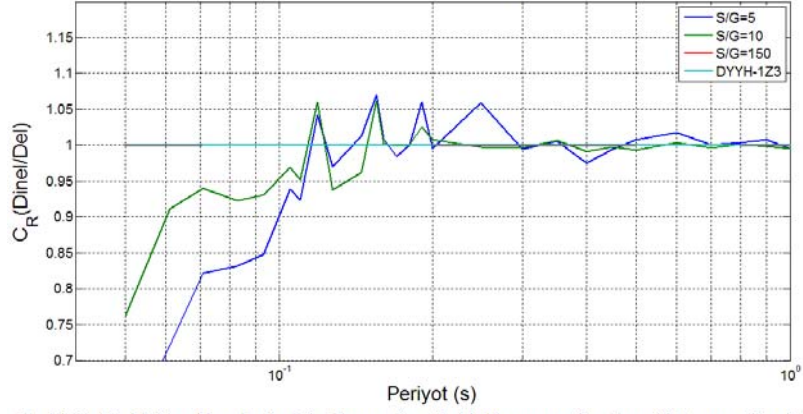
olmayan yerdeğiştirme oranına göre normalize edilmiştir. DYYH-1Z3 için normalize değerin 1 olduğu şekil 5.1'de açıkça görülürken, S/G oranı 150 değeri için normalize değerlerin DYYH-1Z3 ile benzer olduğuda anlaşılmaktadır. S/G= 5 ve 10 değerleri için elde edilen normalize grafiklerin ise 1 değerinden sapmalar gösterdiği görülmektedir. Özellikle, düşük periyotlarda, R=2 ve 4 değerlerinde 0.7'ye kadar düşerken, R=6 ve 8 değerleri için ise 0.75 değerini almadığı görülmektedir. 1. derece deprem bölgesi Z1 ve Z2 zemin sınıfları için elde edilen normalize grafikler EK.H'da verilen şekillerde yer almaktadır. Sonuç olarak, normalize grafikler incelendiğinde belirli bir düzeyde gürültü barındıran yapay yer hareketleri etkisi altında çözümleme sonucunda, doğrusal olmayan yerdeğiştirme oranlarında büyük farklılıklar gözlenmekte olduğu görülmektedir.

Zemin sınıflarına göre gürültü içeriğinin etkisinin anlaşılması amacıyla, TSD sistemin farklılaşmanın kolay anlaşılabilir olması amacıyla S/G oranı 5 ve 150 değerlerinde gürültü barındıran yapay yer hareketleri altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemesinin sonuçları üç farklı zemin sınıfı için dayanım azalması katsayısı spektrumları tek bir grafikte toplanmıştır. Dört dayanım azalması katsayısı için elde edilen grafikler şekil 5.2'de yer almaktadır. şekil 5.2 incelendiğinde, zemin sınıfının artmasıyla, doğrusal olmayan yerdeğiştirme oranlarında gürültü nedeniyle meydana gelen farklılaşmanın arttığı açıkça görülmektedir. Diğer bir deyişle, yer hareketindeki gürültü içeriğinin fazlalığı, zayıf zeminlerdeki yapıları daha büyük oranda etkilemektedir.

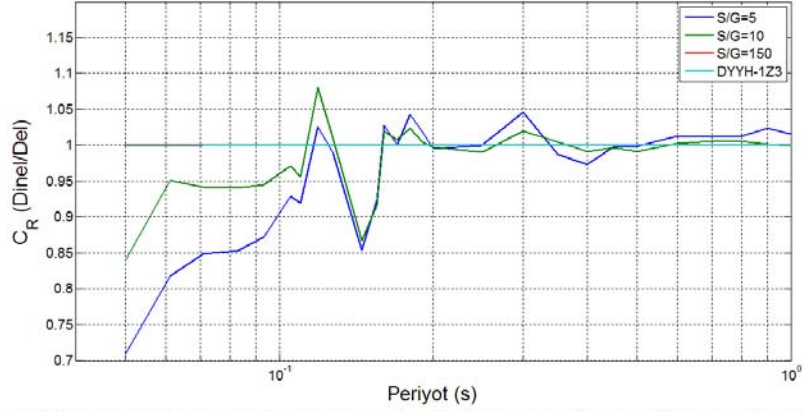
Araştırmanın sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- S/G oranının küçük değerleri için, yer hareketlerinin mühendislik şiddetlerinde artış gözlenirken, oranın büyümesi ile mühendislik şiddetlerinin gürültüsüz yer hareketinin mühendislik şiddetlerine yakınladığı gözlenmektedir.
- Farklı taşıma kapasitelerine sahip mevcut yapıları temsil etmek bakımından dört farklı düzeyde dayanım azalması katsayısına sahip sistemler için yapılan analizlerde, özellikle kısa periyotlara sahip yapılarda S/G oranının küçük değerleri için yerdeğiştirme istemlerinin gürültüsüz kuvvetli hareket istemlerine göre belirgin düzeyde düşük kaldığı anlaşılmaktadır.

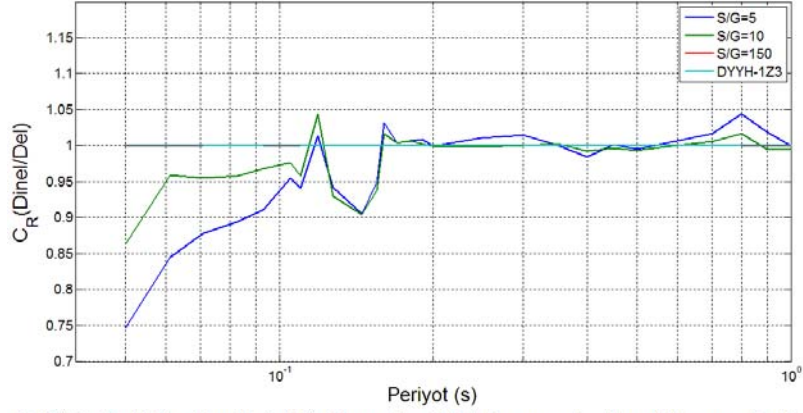
R=2 için Farklı Yer Hareketlerinin Normalize Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı Spektrumu



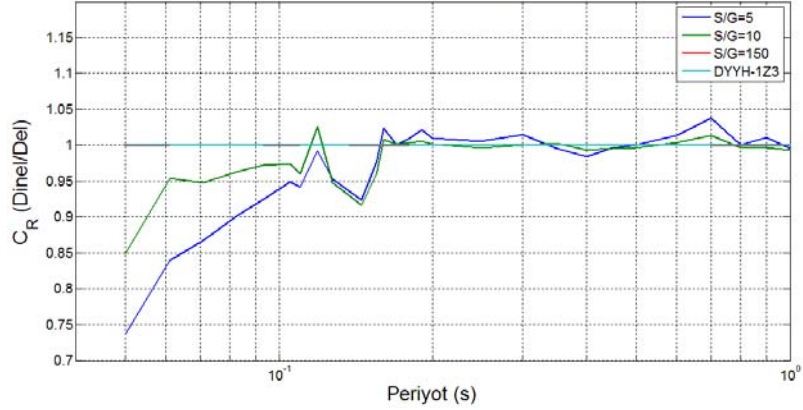
R=4 için Farklı Yer Hareketlerinin Normalize Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı Spektrumu



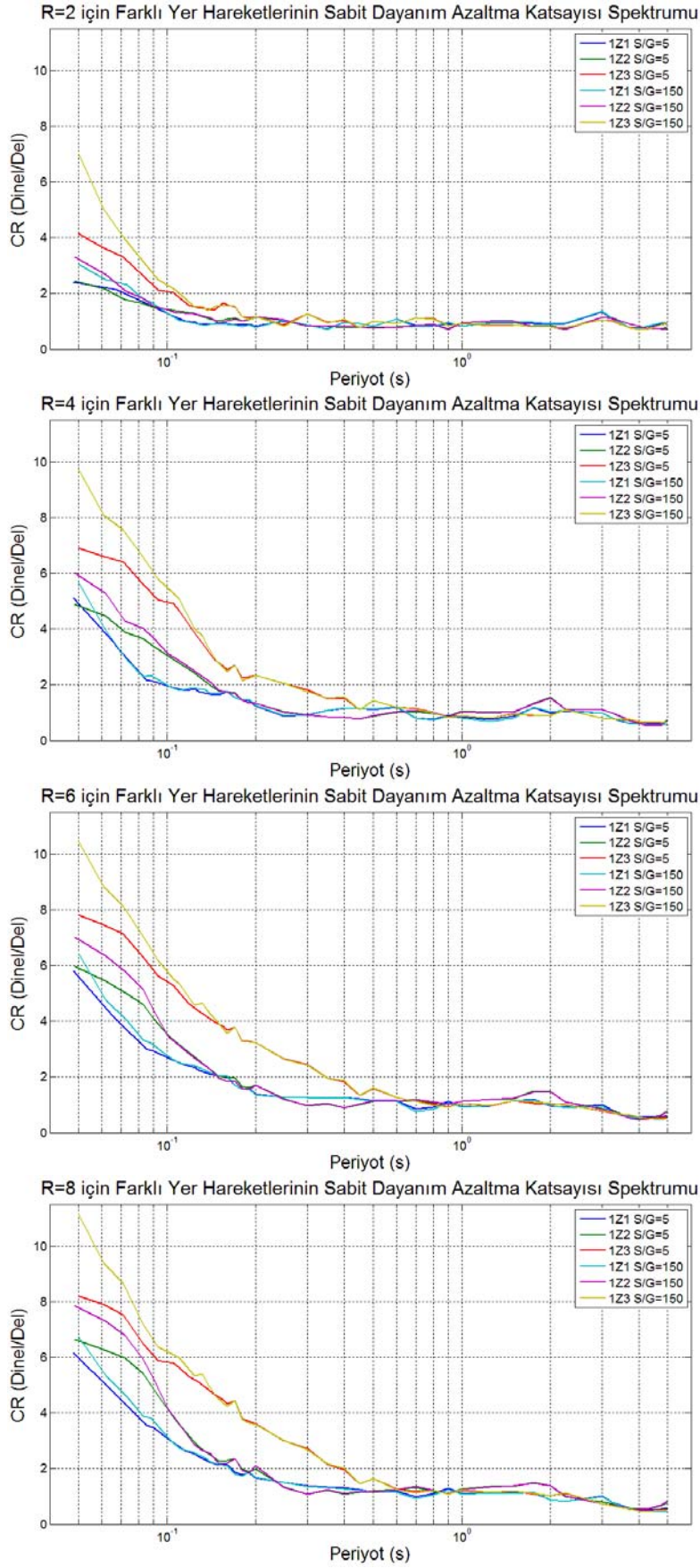
R=6 için Farklı Yer Hareketlerinin Normalize Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı Spektrumu



R=8 için Farklı Yer Hareketlerinin Normalize Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı Spektrumu



Şekil 5.1 : 1. derece Z3 zemin sınıfı için normalize sabit dayanım azalması katsayısı spektrumları.



Şekil 5.2 : 1Z1, 1Z2 ve 1Z3 için S/G oranı 5 ve 150 değerlerinde gürültü barındıran hareketler altında sabit dayanım azalması katsayısı spektrumları.

- Yine kısa periyot bölgesi için, S/G oranının küçük değerleri süneklik düzeyi bilinen sistemler için benzer olarak düşük doğrusal olmayan yerdeğiştirme istemi ortaya çıkartmaktadır.
- Yüksek süneklik düzeyi veya büyük dayanım azalması katsayısına sahip yapılar için yerdeğiştirme istemlerindeki farklılaşma oranları da artmaktadır.
- Orta ve uzun periyotlu sistemler için S/G oranının etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir.
- S/G oranı yükseldikçe doğrusal olmayan istemler, gürültüsüz yer hareketi istemleri ile örtüşmektedir.
- Zayıf zeminlerde, gürültü barındıran yer hareketi ile gürültüsüz yer hareketi etkisi altında TSD sistemin doğrusal olmayan yerdeğiştirme oranları arasındaki farklılaşma daha büyük olduğu belirlenmiştir.
- Örnek betonarme çerçeve sistemin zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemesi sonucunda elde edilen yerdeğiştirme taban kesme kuvvetinin çevrimsel ilişkisinde de gürültünün etkisi görülmektedir.

Çalışmanın sonucunda, yer hareketlerinin barındırdığı gürültü içeriğinin yapısal davranışı etkilediği görülmektedir. Çalışmanın daha anlamlı sonuçlara ulaşabilmesi için veri sayısının arttırılarak, çözümlemeler tekrarlanmalıdır. Yer hareketlerinin içerdiği gürültü miktarının yapılara etkisinin incelenmesi kapsamında, hareketlerin düzensiz yapılara etkililerek sonuçların karşılaştırılması, çalışmanın genişletilmesi açısından yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aki, K., and Richards, P.,** 1980. *Quantitative Seismology: Theory and Methods*. W. H. Freeman and Co., New York.
- Akcar, S., Boore, D.M.,** 2009. On Baseline Corrections and Uncertainty in Response Spectra for Baseline Variations Commonly Encountered in Digital Accelerograph Records, *Bull. Seism. Soc. Am.* **99**, No.3 pp. 1671-1690.
- Akcar, S., Bommer, J.,** 2007. Empirical Prediction Equations for Peak Ground Velocity Derived from Strong Motion Records from Europe and the Middle East, *Bull. Seism. Soc. Am.* **97**, No.2 pp. 511-530.
- Ayoub, A. and Chenouda, M.,** 2002. Response Spectra of Degrading Structural Systems, *Engineering Structures*, **31** (2009), pp.1393-1402.
- Aydinoğlu, N., Celep, Z., Özer, E. ve Sucuoğlu, H.,** 2009. *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Bakun, W. H., Stewart, R. M. and Bufe, C. G.,** 1978. Directivity in the high-frequency radiation of small earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.* **68**, pp. 1253
- Baran, T.,** 2008. Yapıların Dinamik Davranışının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Bayrak, Y., Çınar, H., Öztürk, S., Karşı, H.,** 2007. Aletsel Dönem deprem Kataloğu Kullanılarak Türkiye için Hesaplanan Arias Şiddeti Haritaları. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, Ekim 16-20.
- Berg, G.V. and Housner, G.W.,** 1961. Integrated Velocity and Displacement of Strong Earthquake Ground Motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **51**, No.2, pp. 175-189
- BISPEC Professional,** 2010. V:2.03, Earthquake Solutions Inc., Albany, CA, USA
- Boatwright, J., Boore, D.M., and Porcella, R.L.,** 1982. Analysis Of The Ground Accelerations Radiated By The 1980 Livermore Valley Earthquakes For Directivity And Dynamic Source Characteristics. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **72**, No.6, pp. 1843-1865
- Boore, D.M., Joyner, W.B., Adolph, A., Oliver, III. and Page, R.A.,** 1980. Peak Acceleration, Velocity, and Displacement from Strong Motion records. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **70**, No.1, pp. 305-321
- Boore, D.M., Porcella, R.L.,** 1980. Peak Acceleration From Strong-Motion Records: A Postscript. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **70**, No.6, pp. 2295-2297

- Boore, D.M.**, 1983. Strong-Motion Seismology. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, **21**, No.6, pp. 1308-1318.
- Boyce, W.H.**, 1970. Integration of accelograms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **60**, pp. 261-263.
- Bott, M. H. P.**, 1982. *The Interior of the Earth, Its Structure, Constitution and Evolution*. Elsevier Science Publishing, New York, USA.
- Boore, D. M., and Bommer, J. J.**, 2004. Processing of Strong Motion Accelerograms: needs, options and Consequences, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **25** (2005), pp.93-115
- Brady, A.G.**, 1966. *Study of response to earthquake ground motion*. Earthquake engineering research laboratory, California Institute of Technology.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2004. *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. 3. Baskı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Cha, J.S., Lee, J., R., Yun, K., H.**, 1997. An Artificial Earthquake Generation Using the Phase Differentiation. *Transactions of the 14th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 14)*, K21/4 pp. 309-316, Lyon, France.
- Cimellaro, G. P.**, 2007. *An Introduction to Methods to Simulate Earthquake Ground Motions*. University at Buffalo, The State University of New York, USA.
- Chopra, A. K.**, 1995. *Dynamics of Structures : Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Clough, R. W., ve Penzien, J.**, 1993. *Dynamics of Structures*. Second Edition, Mc Graw-Hill, Inc, USA.
- Çeken, U.**, 2007. Marmara Bölgesinin Kuvvetli Yer Hareketi Azalım İlişkisi Modeli, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Çolak, Ö.,H., Destici, C., Özen, ., Arman, H., Çerezci, O.**, 2006. Sismogram Kayıtlarında P ve S Dalgası Varı Zamanlarının Dalgacı Dönüşümü Kullanılarak Tespiti. *URSI Türkiye 2006 3. Bilim Kongresi ve 4. Ulusal Genel Kurul Toplantısı*.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.**, 2007. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Maya Basın, İstanbul.
- Elnashai, A., ve Di Sarno, L.**, 2008. *Fundamentals of Earthquake Engineering*, A John Wiley & Sons, Ltd, Publication, West Sussex, UK.
- Erdik, M.**, 2004. Strong Motion Data Acquisition, Processing and Utilization in Turkey, *Cosmos Meetings & Workshops*, California, USA, May 26-27.
- Eyidoğan, H.**, 2006. *Mühendislik Sismolojisi Ders Notları*, İTÜ Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Fahjan, Y. M.**, 2008. Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY,2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 4423-4444, Yazı 292.

- Gürbüz, C., ve diğ.,** 2008. *İstanbul'un Anadolu Yakası için Zemin Sınıflamasına Yönelik Mikrotremör Çalışmaları Nihai Rapor*, B.Ü. KRDAE, İBB, İstanbul, Türkiye.
- Hamzehloo, H.,** 2005. Strong Ground Motion Modelling of Causative Fault for the 2002 Avaj Earthquake, Iran, *Tectonophysics*, **409**, pp.159-174
- Hasgür, Z.,** 1982. Benzetilmiş depremlerin zemin koşullarına bağlı olarak elde edilmesi. *Doktora Tezi*, İTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İstanbul, Türkiye.
- Hasgür, Z.,** 1991. Türkiye'de Gözlenmiş Deprem Şiddetleri'nin Yapı Mühendisliği Açısından İncelenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 319-333, Yazı 24.
- Hershberger, J.,** 1955. Ground Displacement Computed from Strong Motion Accelerograms. *Bulletin of the Seismological Society of America*. **45**, pp. 11-21.
- Housner, G.W.,** 1947. Recent developments in strong motion analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*. **61**, pp. 299-305.
- Housner, G.W.,** 1955. Properties of Strong Ground Motion Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*. **45**, No.3 pp.197-218.
- Hudson, D.E.,** 1966. Response Spectra Techniques in Engineering Seismology. *World Conference on Earthquake Engineering*, Berkeley, California.
- Hudson, D.E., Nigan, N.C., Trifunac, M.D.,** 1969. Analysis of strong motion accelerograph records. *Fourth World Conference of Earthquake Engineering*, Santiago, Chili.
- Ibarra, L. F., Ricardo, A. M. and Krawinkler, H.,** 2005. Influence Hysteretic Models that Incorporate Strength and Stiffness Deterioration, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **34**, pp.1489-1511.
- James, R.,** 2003. *Earthquakes and Maryland*. Maryland Geological Survey.
- Jennings, P.C., Housner, G.W., Tsai, N.C.,** 1968. *Simulated Earthquake Motions*. Earthquake Engineering research Laboratory, California Institute of Technology.
- Ketin, İ.,** 1998. *Genel Jeoloji, Yerbilimlerine Giriş*. 5. Baskı, İTÜ Vakfı Yayınları, No:22, İstanbul.
- Kramer, S. L.,** 2003. *Geoteknik Deprem Mühendisliği*. Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çeviren: Kamil Kayabalı, Fersa Matbaacılık, Ankara.
- Lee, W. V., ve Trifunac, M. D.,** 1989. A note of filtering strong motion accelerograms to produce response spectra of specified shape and amplitude. *European Earthquake Engineering* **2** pp. 38-45.
- Miranda, E. and Ruiz-Garcin, J.,** 2002. Influence of Stiffness Degradation on Strength Demands of Structures Built on Soft Soil Sites, *Soil Engineering Structures*, **24** (2002), pp.1271-1281.
- Newmark, N. M., Blume, J. A., and Kapur, K. K.,** 1973. Seismic design spectra for nuclear power plants, *Proc. Am. Soc. Civil Engineering*, J. Power Div. **99**, 287-303.

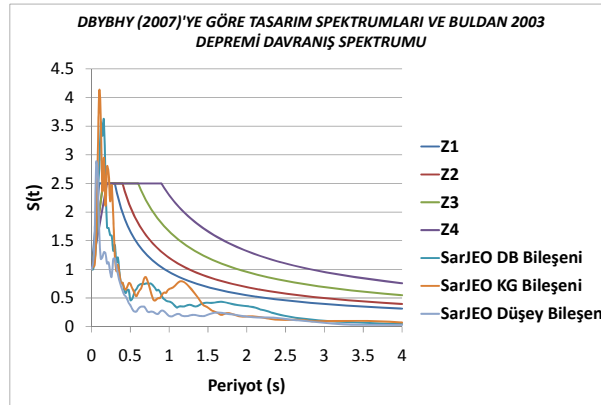
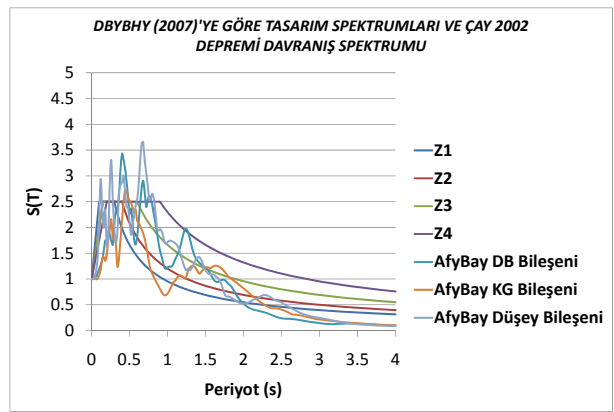
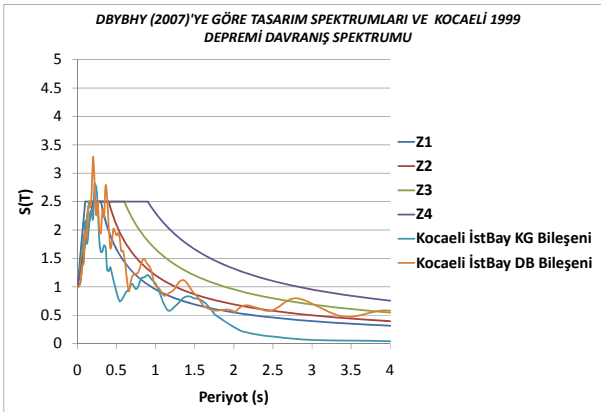
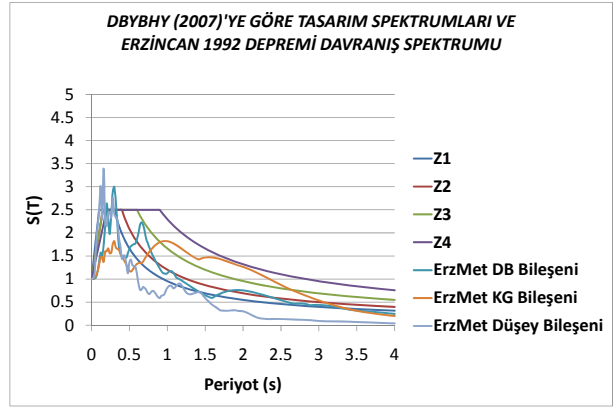
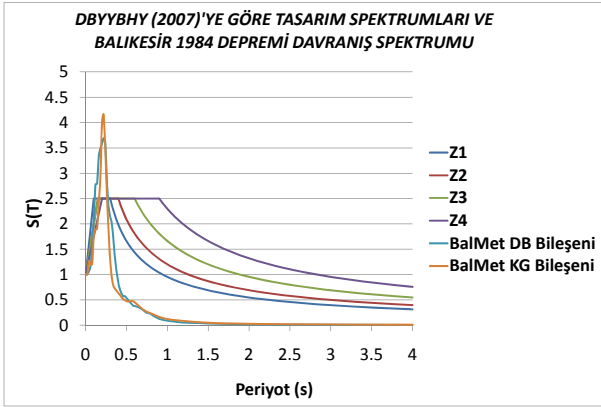
- Newmark, N. M. and Hall, W. J., 1982. *Earthquake Spectra and Design*. EERI Monograf, Berkeley, California.
- Ohsaki Y., Kanda, J., Iwasaki, R., Masao, T., Kitada, Y., Sakata, K., 1984. Improved methods for generation of simulated earthquake ground motions. *Proc. 8th WCEE*, San Francisco, USA.
- Ohsaki, Y., 1976. *Deprem Dalgasının Spektral Analizine Giriş*. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Çeviren: Muzaffer İpek, İstanbul.
- Özdemir, Z ve Fahjan, Y. M., 2007. Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, Ekim 16-20.
- Papageorgiou, A., Hall Dorsson , B. And Dong, G., 2000. *Target Acceleration Spectra Compatible Time Histories – TARCTHS user manual v. 1*, ESL Report, State University of Newyork
- Papageorgiou, A., (2000). Ground Motion Prediction Methodologies for Eastern North America. University of Buffalo, State University of New York.
- Park, K., S., Chang, S.P., 1997. Generation of Artificial Earthquake. *Transactions of the 14th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 14)*, K21/6 pp. 325-332. Lyon, France.
- Pınar, R., ve Akçığ, Z., 1995. *Jeofizikte Sinyal Kuramı ve Dönüşümler*. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Eğitim Yayınları No: 3, 408 s, Ankara.
- Prakash V., Powell, G.H. and Campbell, S., 1993. *Drain-2DX Base Program Description and User Guide, Structural Engineering Mechanics and Materials Report no. 93/17*, University of California, California.
- Sacci, M. D., 2002. *Digital Statistical and Transform Methods for Geophysical Signal Processing*. Department of Physics University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada
- Steelman, S. J., and Jerome, F. H., 2009. Influence of Inelastic Seismic Response Modelling on Regional Loss Estimation, *Engineering Structures*, 31 (2009), pp.2976-2987.
- Seo, C. Y., 2005. Influence of Ground Motion Charactesristics and Structural Parameters on Seismic Responses of SDOF Systems, *Doctorate of Philosophy*, Lehigh University, Pennsylvania.
- Stein, S., ve Wysession, M., 2002. *An Intruoduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Blackwell Publishing, Washington.
- Stein, J. Y., 2000. *Digital Signal Processing : A Computer Science Perspective*. John Wiley & Sons, Ltd, Publication, West Sussex, UK.
- Taşkın, B., Sezen, A., Kara, F. İ., ve Tuğsal, Ü. M., 2008. *Betonarme Yapıların Performansa Dayalı Tasarımında Türkiye Deprem Kayıtları Kullanılarak Hedef Deplasmanların Belirlenmesinde Ampirik İlişkilerin Türetilmesi*, (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Mühendislik Araştırma Grubu (MAG)), Proje no:106M048, İstanbul.

- Trifunac, M.D.**, 1971. Zero Baseline Correction of Strong Motion Accelerograms. *Bulletin of the Seismological Society of America*. **61**, No.5 pp. 1201-1211.
- Trifunac, M.D.**, 1971. A Method for Synthesizing Realistic Strong Ground Motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*. **61**, No.6 pp. 1739-1753.
- Tsai, N., C.**, 1982. Spectrum Compatible Motions for Design Purposes. *ASCE, EMD, EM2*, **98**, No. 2, pp. 345-356
- Tselentis, G-A., Danciu L, Gkika, F.**, 2005. Empirical Arias Intensity Attenuation Relationships for the Seismic Hazard Analysis of Greece. *Earthquake Resistant Engineering Structures ERES*, **33**, pp.33-42. Skiathos, Greece.
- Tuğsal Mert, Ü., Kara, F.İ., Taşkın, B., Sezen, A.**, 2007. Türkiye deprem kayıtları kullanılarak hedef yerdeğiştirmelerin hesabı için iki ampirik formül. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*,. syf. 119-130, İstanbul, Türkiye, Ekim 16-20.
- UNESCO**, 1972. *Report on Proceedings*, International Symposium Strong Earthquake, Mexico City.
- Url-1**<<http://media-2.web.britannica.com/eb-media/34/3534-004-8B3097CF.jpg>>, alındığı tarih 12.07.2010.
- Url-2**<<http://projects.crustal.ucsb.edu/understanding/elastic/rebound.html>>, alındığı tarih 14.06.2010.
- Url-3**<<http://www.dnr.sc.gov/geology/images/Faults-pg.pdf>>, alındığı tarih 12.07.2010.
- Url-4**<http://www.earthquakes.bgs.ac.uk/earthquakes/education/eq_booklet/dia_seismogram.jpg>, alındığı tarih 16.07.2010.
- Url-5**<<http://kyh.deprem.gov.tr>>, alındığı tarih 22.03.2010.
- Url-6**<http://jeofizik.comu.edu.tr/sayfalar/egitim/egitim/ders_notlari/jfm208/veri_islem_1_COMU.pdf>, alındığı tarih 06.02.2010.
- Wilson, E. L.**, 2002. *Three Dimensional Static and Dynamic Analysis*. 3rd Edition, Computers and Structures Inc. California, USA.
- Yalçınkaya, E., Pınar, A., Utkucu, M., Kanlı, A. İ. and Alptekin, Ö.**, 2003: İstanbul Üniversitesi Geniş Band Deprem Kayıtcısı için Uygun Yer Seçimi ve Örnek Uygulamalar. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*. C. **16** S. 1, ss. 11-21.
- Zaslavsky, Y., Shapira, A., Arzi, A., A.**, 2000. Amplification effects from earthquakes and ambient noise in the Dead Sea rift (Israel). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Elsevier Science*. **20**, pp. 187-207.
- Zhao, F., Zhang, Y.** 2006. Artificial ground motion compatible with specified peak velocity and target spectrum. *ACTA SEISMOLOGICA SINICA*. **19**, No.4 pp. 461-471.

EKLER

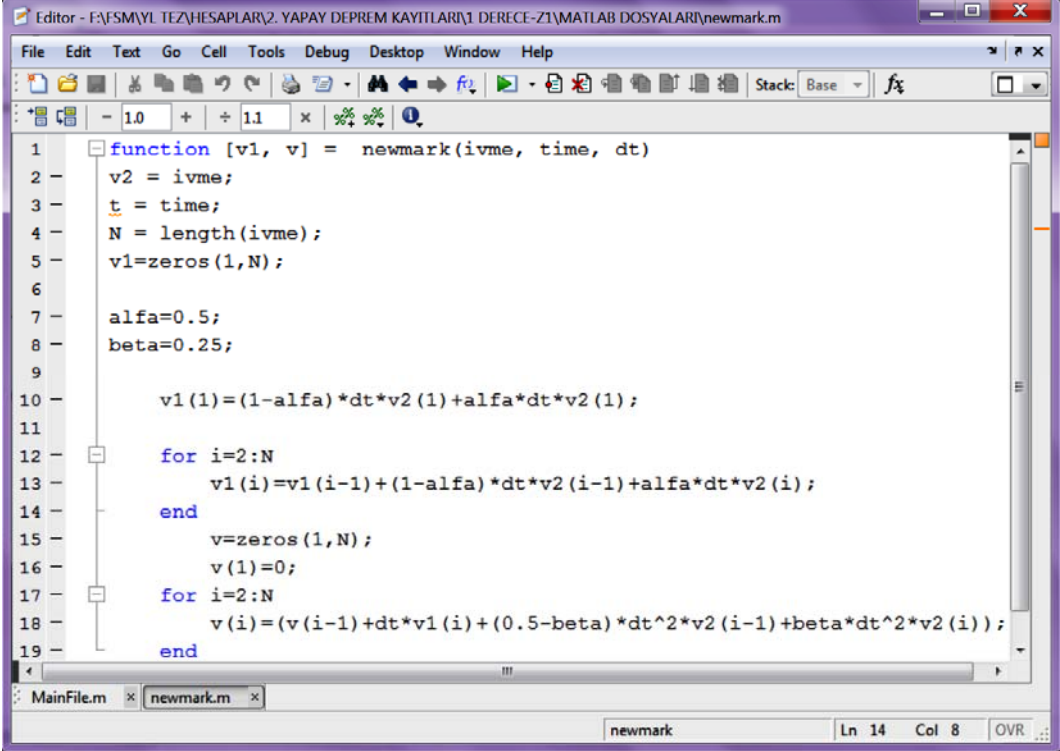
- EK A.1:** Gerçek deprem kayıtlarının davranış spektrumları ile DBYBHY (2007) tasarım spektrumları arasındaki uyumsuzluk.
- EK B.1:** Çalışmada kullanılan MATLAB algoritmaları.
- EK C.1:** S/G oranlarının tespitinde kullanılan deprem ivme ve gürültü kayıtları.
- EK D.1:** 1. derece deprem bölgesi için üretilen GDYYH'leri.
- EK E.1:** GDYYH'lerin Fourier Genlik Spektrumları.
- EK F.1:** Üretilen yapay yer hareketlerinin doğrusal davranış spektrumları.
- EK G.1:** Üretilen yapay yer hareketlerinin doğrusal olmayan yerdeğiştirme spektrumları.
- EK H.1:** Normalize sabit dayanım azalması katsayısı spektrumları.

EK A.1



Şekil A.1 : Gerçek deprem kayıtlarının davranış spektrumları ile DBYBHY (2007) tasarım spektrumları arasındaki uyumsuzluk.

EK B.1

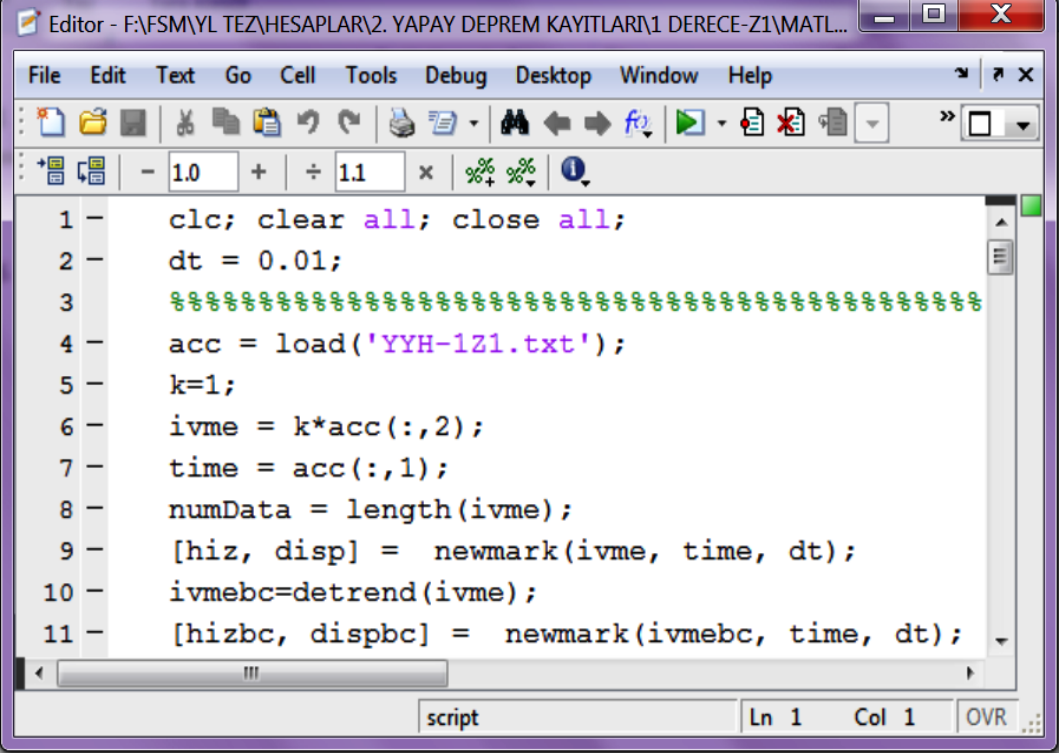


```

1 function [v1, v] = newmark(ivme, time, dt)
2     v2 = ivme;
3     t = time;
4     N = length(ivme);
5     v1=zeros(1,N);
6
7     alfa=0.5;
8     beta=0.25;
9
10    v1(1)=(1-alfa)*dt*v2(1)+alfa*dt*v2(1);
11
12    for i=2:N
13        v1(i)=v1(i-1)+(1-alfa)*dt*v2(i-1)+alfa*dt*v2(i);
14    end
15    v=zeros(1,N);
16    v(1)=0;
17    for i=2:N
18        v(i)=(v(i-1)+dt*v1(i)+(0.5-beta)*dt^2*v2(i-1)+beta*dt^2*v2(i));
19    end

```

(a)



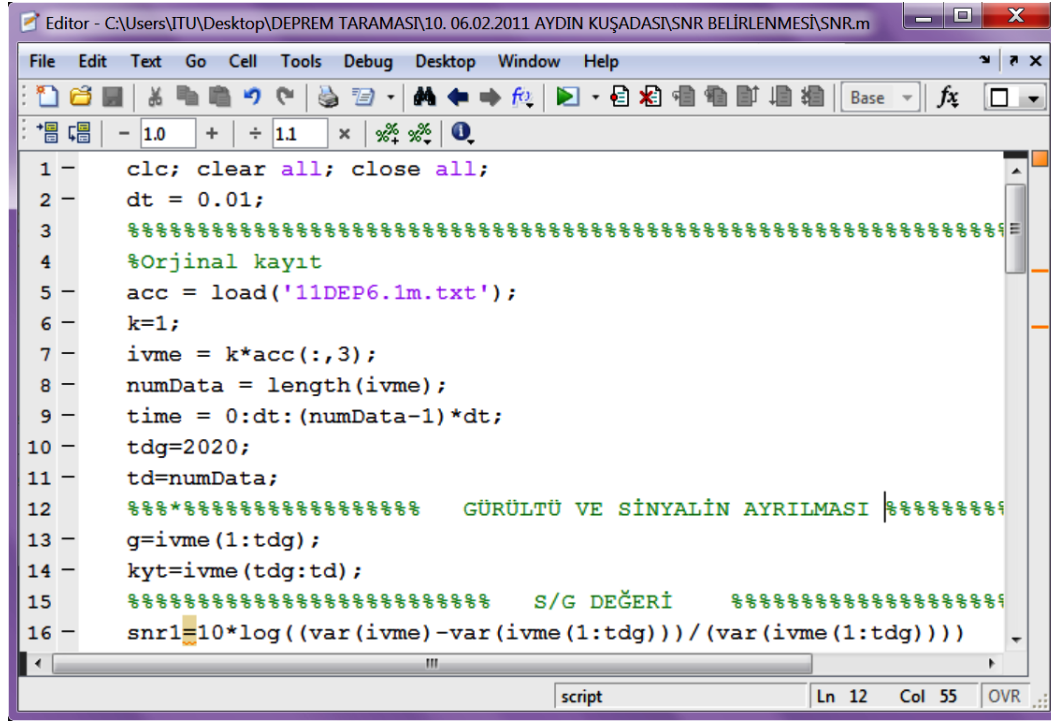
```

1 clc; clear all; close all;
2 dt = 0.01;
3 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
4 acc = load('YYH-121.txt');
5 k=1;
6 ivme = k*acc(:,2);
7 time = acc(:,1);
8 numData = length(ivme);
9 [hiz, disp] = newmark(ivme, time, dt);
10 ivmebc=detrend(ivme);
11 [hizbc, dispbc] = newmark(ivmebc, time, dt);

```

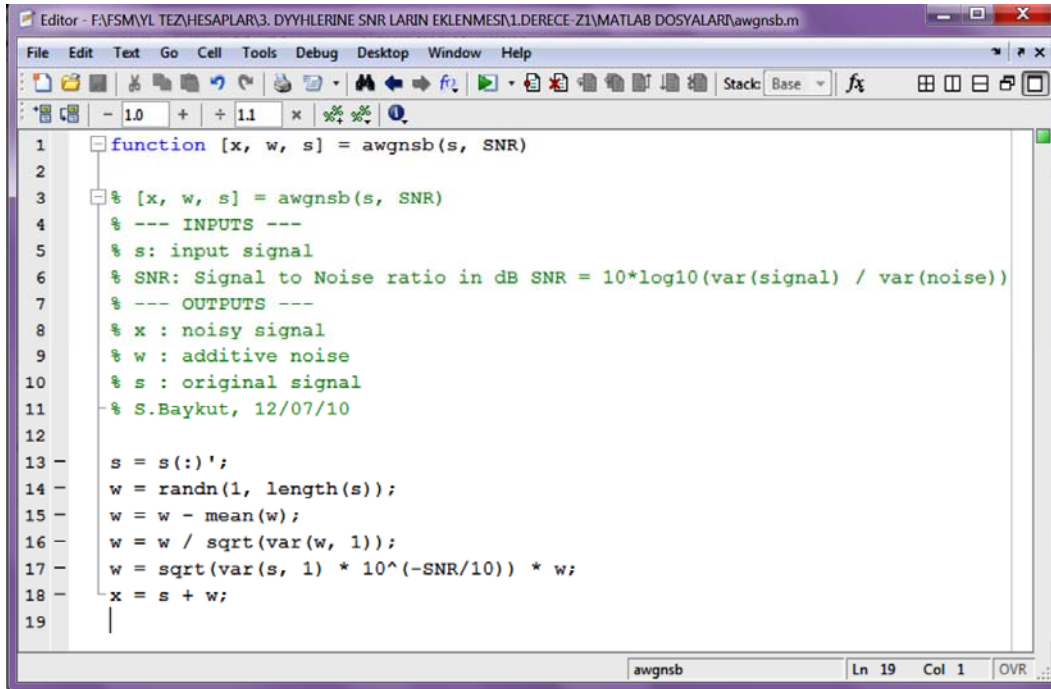
(b)

Şekil B.1 : (a) Yer hareketi zaman geçmişlerinin elde edilmesinde kullanılan algoritma. (b) Algoritmanın çalıştırılması ve "DETREND"komutu

A screenshot of a MATLAB script editor window. The title bar shows the file path: C:\Users\ITU\Desktop\DEPREM TARAMASI\10. 06.02.2011 AYDIN KUŞADASI\SNR BELİRLENMESI\SNR.m. The script contains 16 lines of code. Line 1: clc; clear all; close all;. Line 2: dt = 0.01;. Line 3: A green comment line: %%. Line 4: %Orjinal kayıt. Line 5: acc = load('11DEP6.1m.txt');. Line 6: k=1;. Line 7: ivme = k*acc(:,3);. Line 8: numData = length(ivme);. Line 9: time = 0:dt:(numData-1)*dt;. Line 10: tdg=2020;. Line 11: td=numData;. Line 12: A green comment line: %% GÜRÜLTÜ VE SİNYALİN AYRILMASI %%. Line 13: g=ivme(1:tdg);. Line 14: kyt=ivme(tdg:td);. Line 15: A green comment line: %% S/G DEĞERİ %%. Line 16: snr1=10*log((var(ivme)-var(ivme(1:tdg)))/(var(ivme(1:tdg)))). The status bar at the bottom shows 'script', 'Ln 12', 'Col 55', and 'OVR...'.

```
1 clc; clear all; close all;
2 dt = 0.01;
3 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
4 %Orjinal kayıt
5 acc = load('11DEP6.1m.txt');
6 k=1;
7 ivme = k*acc(:,3);
8 numData = length(ivme);
9 time = 0:dt:(numData-1)*dt;
10 tdg=2020;
11 td=numData;
12 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% GÜRÜLTÜ VE SİNYALİN AYRILMASI %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
13 g=ivme(1:tdg);
14 kyt=ivme(tdg:td);
15 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% S/G DEĞERİ %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
16 snr1=10*log((var(ivme)-var(ivme(1:tdg)))/(var(ivme(1:tdg)))).
```

(a)

A screenshot of a MATLAB function editor window. The title bar shows the file path: F:\FSM\YL TEZ\HESAPLAR\3. DİYİHLERİNE SNR LARIN EKLENMESİ\1.DERECE- Z1\MATLAB DOSYALARI\awgnsb.m. The function is named 'awgnsb' and takes two inputs: 's' and 'SNR'. The code includes comments for inputs and outputs, and a calculation for adding noise to the signal 's' based on the SNR. Line 1: function [x, w, s] = awgnsb(s, SNR). Line 2: A green comment line: % [x, w, s] = awgnsb(s, SNR). Line 3: A green comment line: % --- INPUTS ---. Line 4: A green comment line: % s: input signal. Line 5: A green comment line: % SNR: Signal to Noise ratio in dB SNR = 10*log10(var(signal) / var(noise)). Line 6: A green comment line: % --- OUTPUTS ---. Line 7: A green comment line: % x : noisy signal. Line 8: A green comment line: % w : additive noise. Line 9: A green comment line: % s : original signal. Line 10: A green comment line: % S.Baykut, 12/07/10. Line 11: A green comment line: % S.Baykut, 12/07/10. Line 12: A green comment line: % S.Baykut, 12/07/10. Line 13: s = s(:)';. Line 14: w = randn(1, length(s));. Line 15: w = w - mean(w);. Line 16: w = w / sqrt(var(w, 1));. Line 17: w = sqrt(var(s, 1) * 10^(-SNR/10)) * w;. Line 18: x = s + w;. Line 19: The status bar at the bottom shows 'awgnsb', 'Ln 19', 'Col 1', and 'OVR...'.

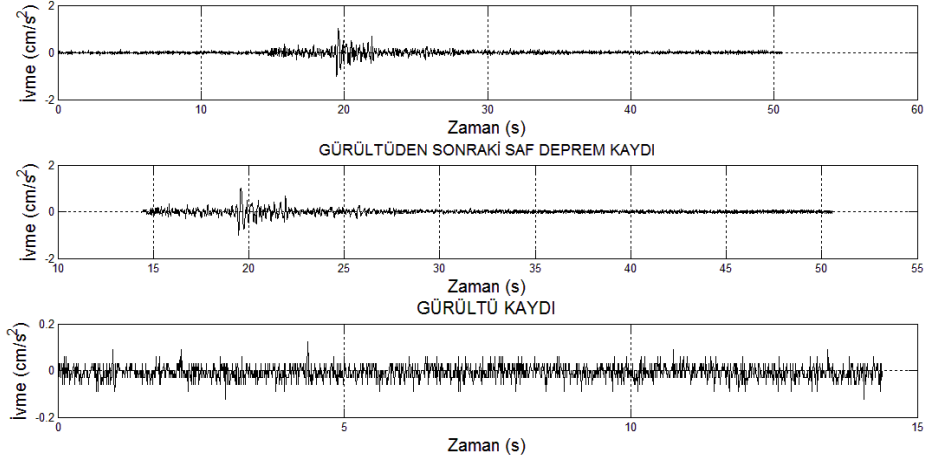
```
1 function [x, w, s] = awgnsb(s, SNR)
2 % [x, w, s] = awgnsb(s, SNR)
3 % --- INPUTS ---
4 % s: input signal
5 % SNR: Signal to Noise ratio in dB SNR = 10*log10(var(signal) / var(noise))
6 % --- OUTPUTS ---
7 % x : noisy signal
8 % w : additive noise
9 % s : original signal
10 % S.Baykut, 12/07/10
11 % S.Baykut, 12/07/10
12 % S.Baykut, 12/07/10
13 s = s(:)';
14 w = randn(1, length(s));
15 w = w - mean(w);
16 w = w / sqrt(var(w, 1));
17 w = sqrt(var(s, 1) * 10^(-SNR/10)) * w;
18 x = s + w;
19
```

(b)

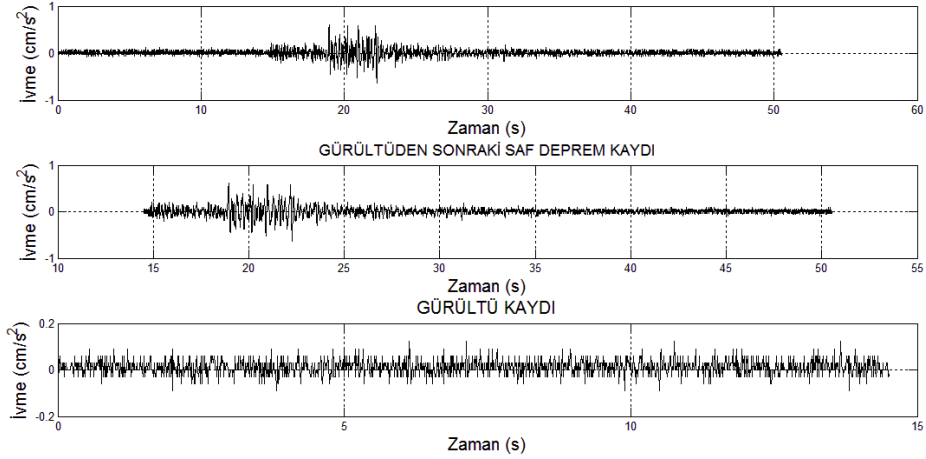
Şekil B.2 : (a) Yer hareketlerinin S/G oranlarının belirlenmesi için algoritma, (b) Yer hareketlerini gürültü eklenmesi amacıyla kullanılan algoritma.

EK C.1

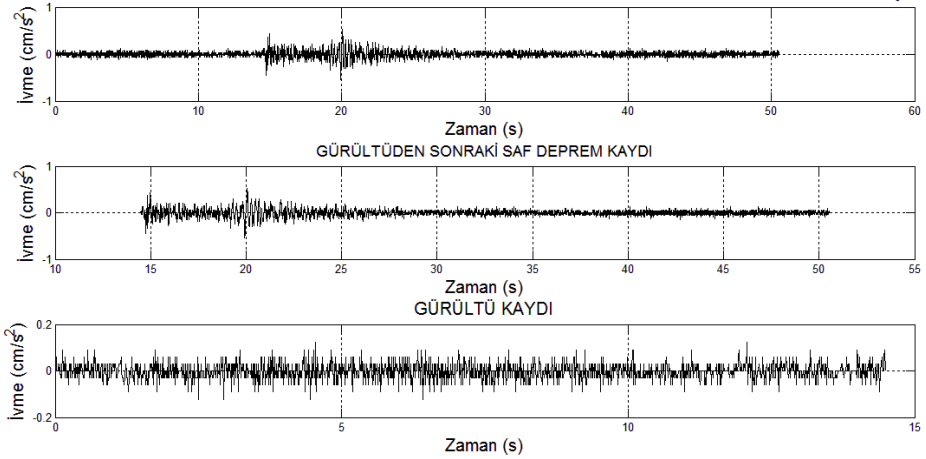
19.06.2007 MANİSA-AKHİSAR MUĞLA BODRUM METEOROLOJİ İSTASYON MUDURLUĞU KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYDI-KG BİLEŞENİ



19.06.2007 MANİSA-AKHİSAR MUĞLA BODRUM METEOROLOJİ İSTASYON MUDURLUĞU KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYDI-DB BİLEŞENİ

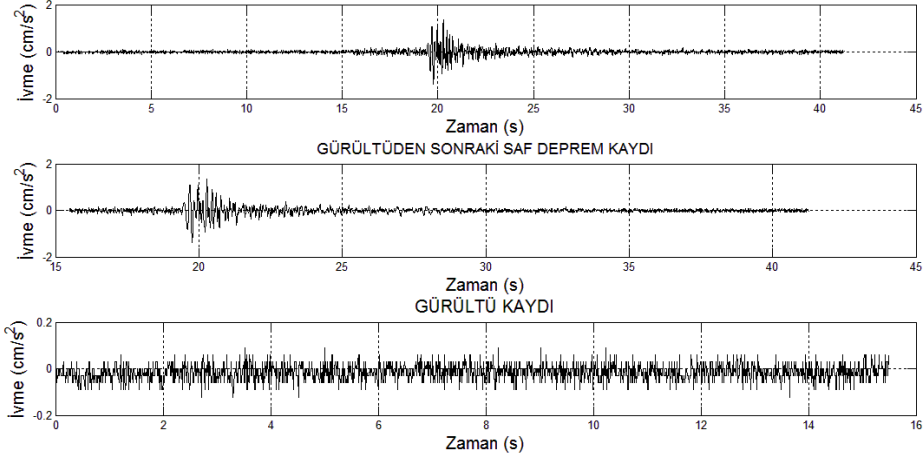


19.06.2007 MANİSA-AKHİSAR MUĞLA BODRUM METEOROLOJİ İSTASYON MUDURLUĞU KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYDI-DÜŞEY BİLEŞENİ

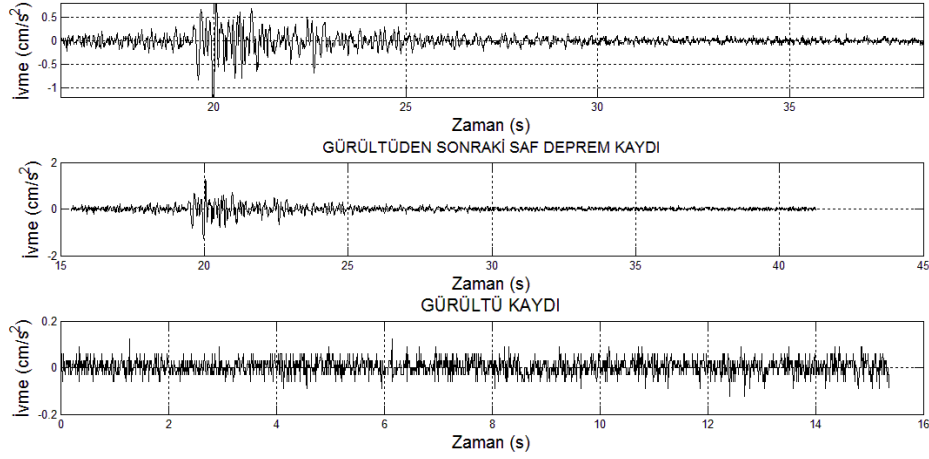


Şekil C.1 : 19.06.2007 Manisa-Akhisar depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.

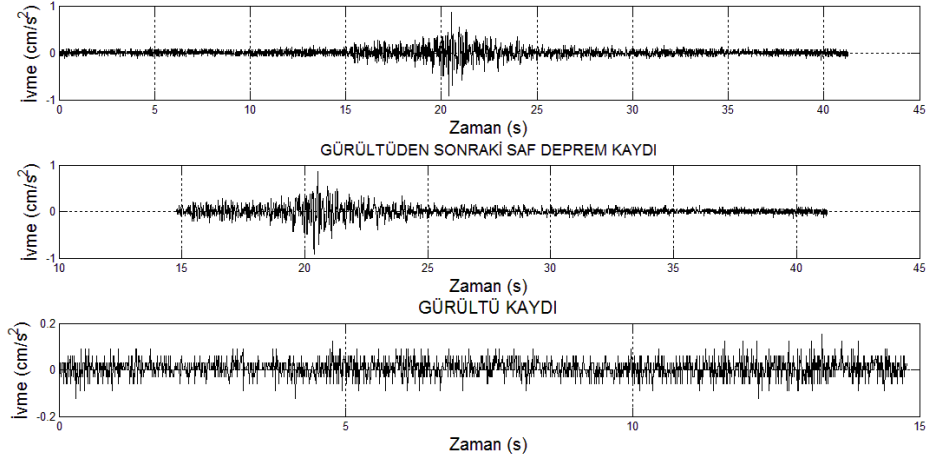
31.01.2007 GÖKOVA KÖRFEZİ MUĞLA BODRUM METEOROLOJİ İSTASYON MUDURLUĞU KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYDI-KG BİLEŞENİ



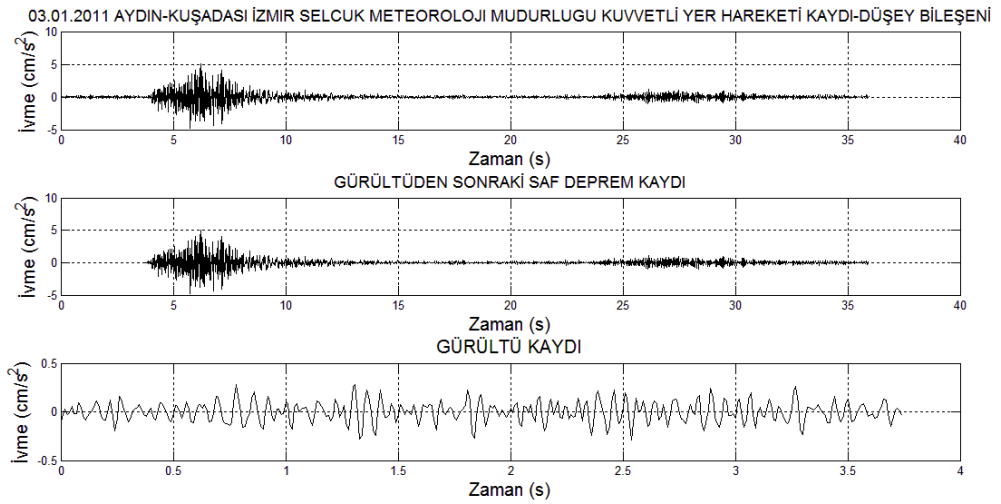
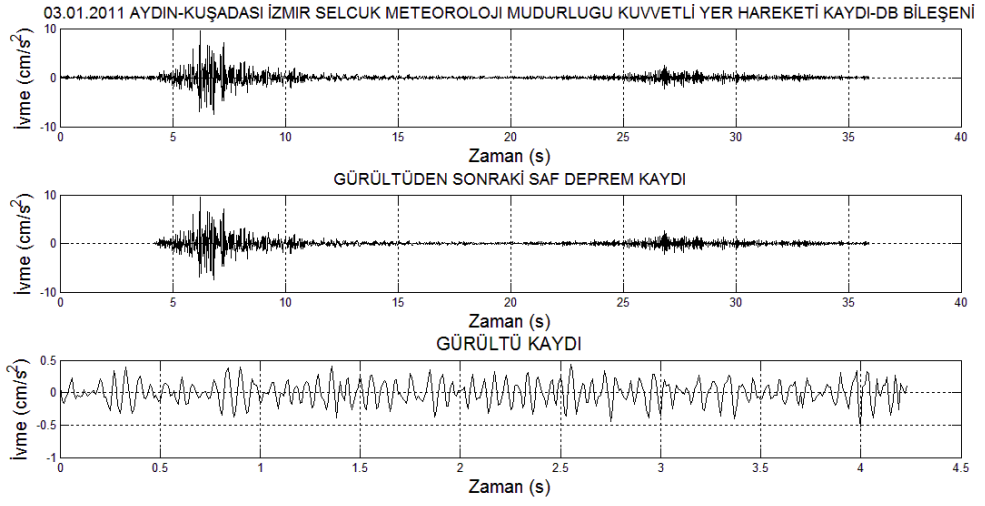
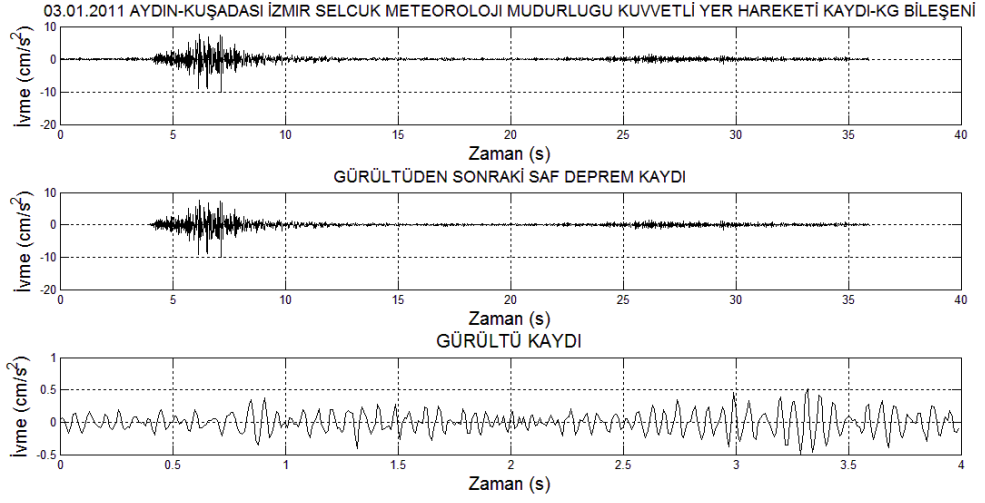
31.01.2007 GÖKOVA KÖRFEZİ MUĞLA BODRUM METEOROLOJİ İSTASYON MUDURLUĞU KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYDI-DB BİLEŞENİ



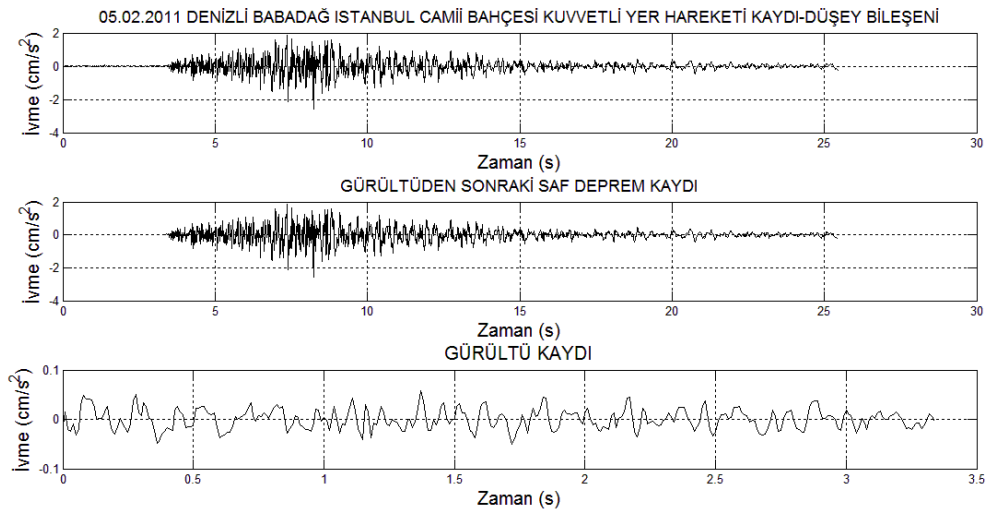
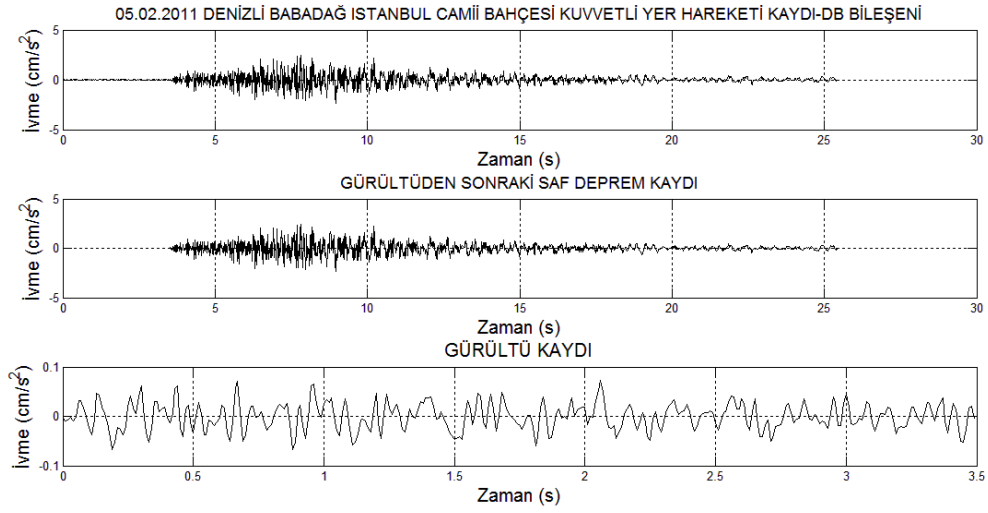
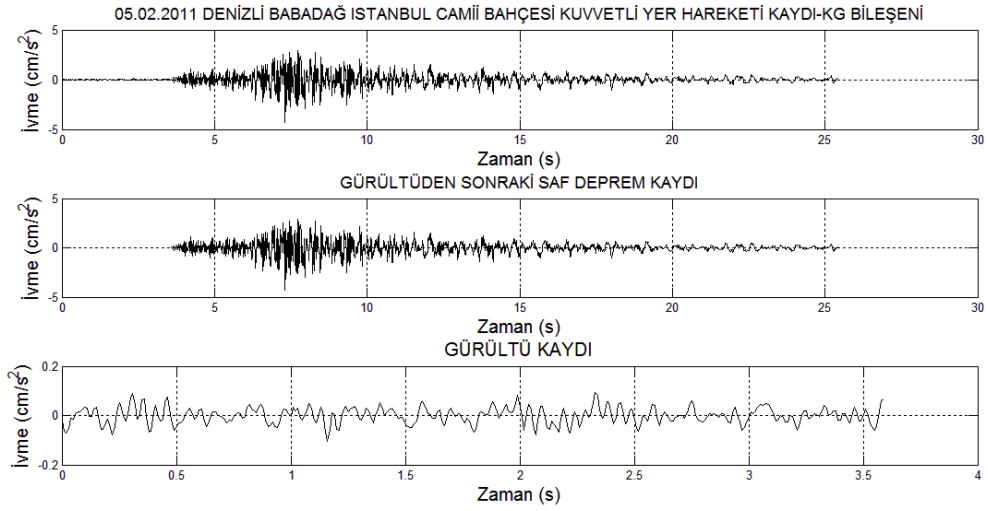
31.01.2007 GÖKOVA KÖRFEZİ MUĞLA BODRUM METEOROLOJİ İSTASYON MUDURLUĞU KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYDI-DÜŞEY BİLEŞENİ



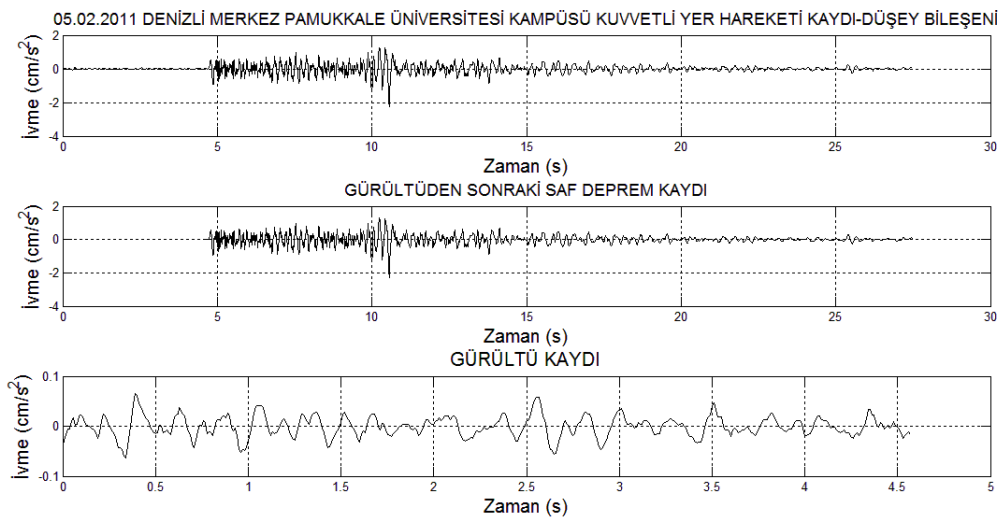
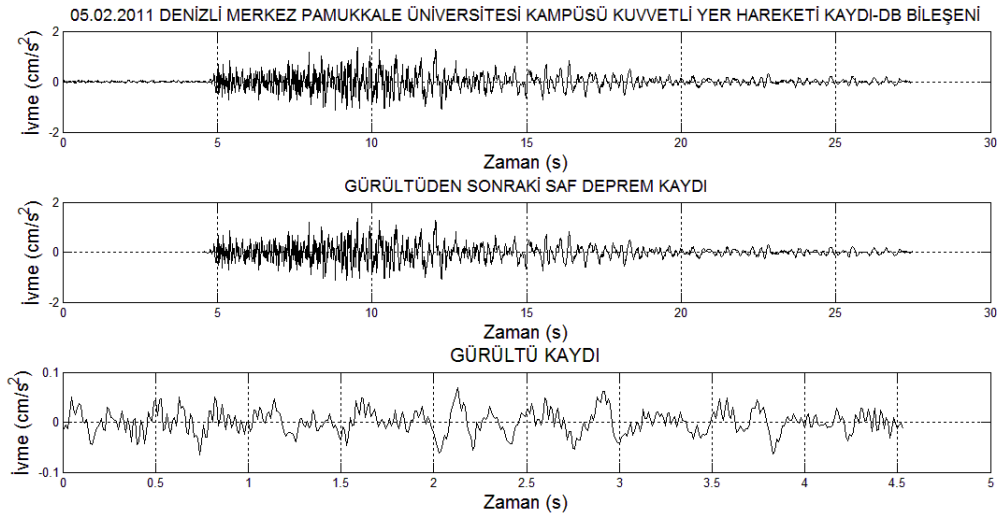
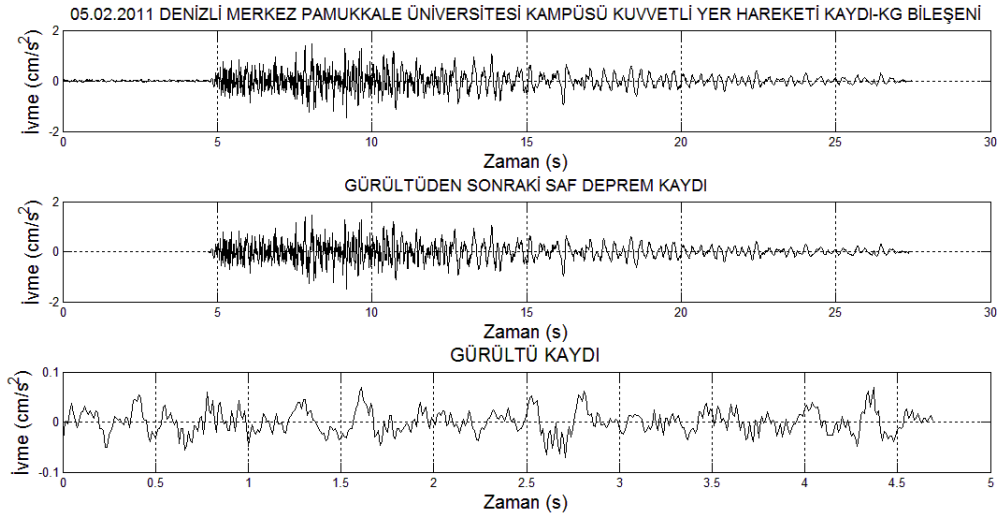
Şekil C.2 : 31.01.2007 Gökova Körfezi depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.



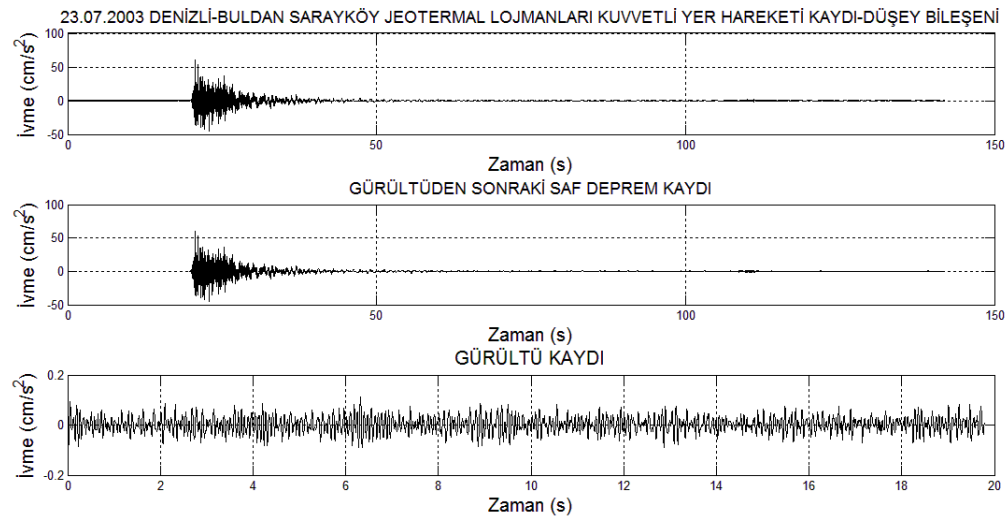
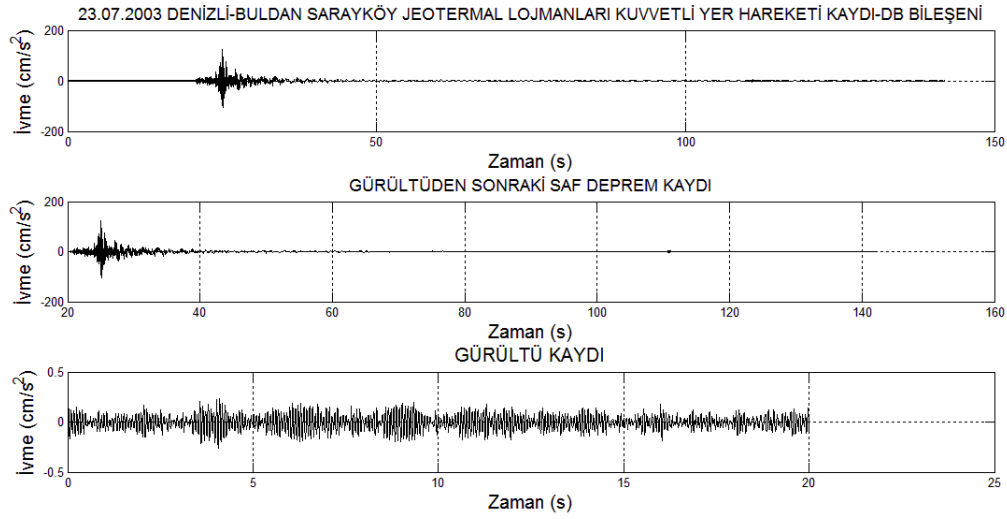
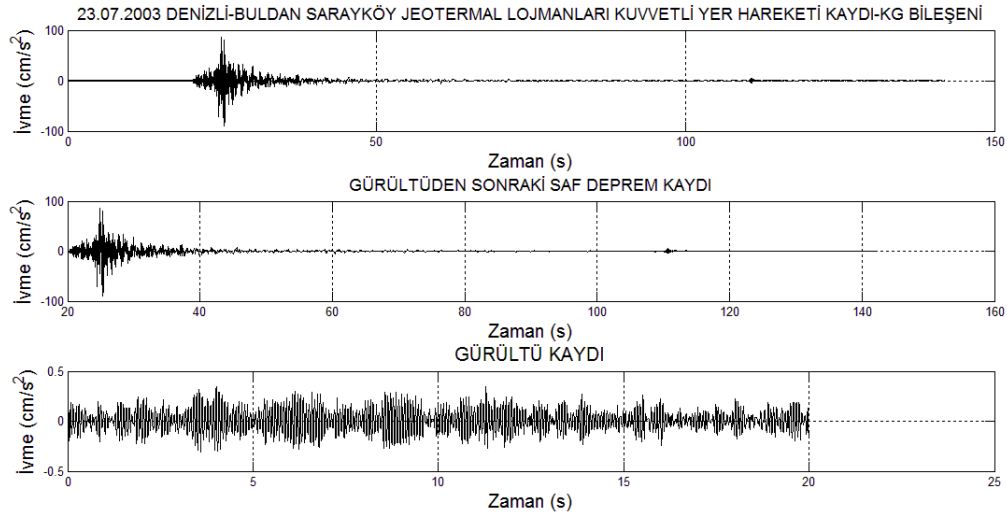
Şekil C.3 : 03.01.2011 Aydın-Kuşadası depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.



Şekil C.4 : 05.02.2011 Denizli depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.

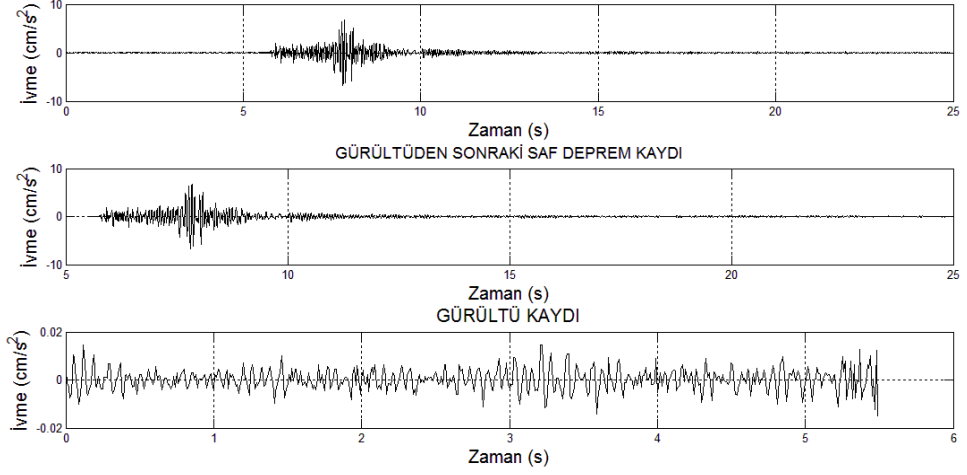


Şekil C.5 : 05.02.2011 Denizli depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.

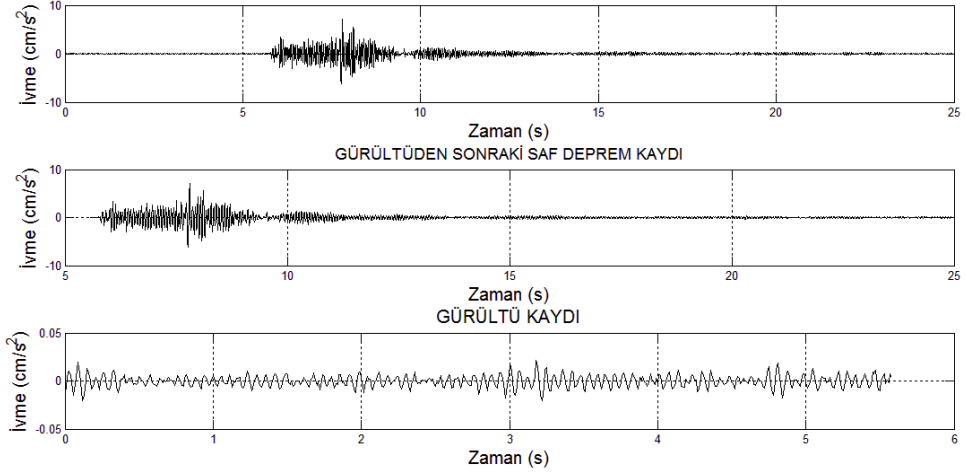


Şekil C.6 : 23.07.2003 Denizli-Buldan depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.

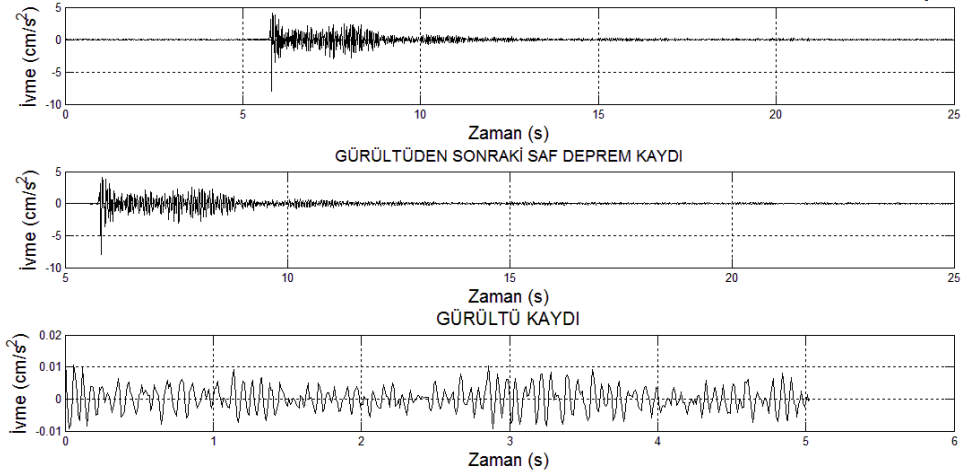
02.02.2011 KASTAMONU-MERKEZ KASTAMONU MERKEZ BAYINDIRLIK VE İSKAN MÜDÜRLÜĞÜ KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYDI-KG BİLEŞENİ



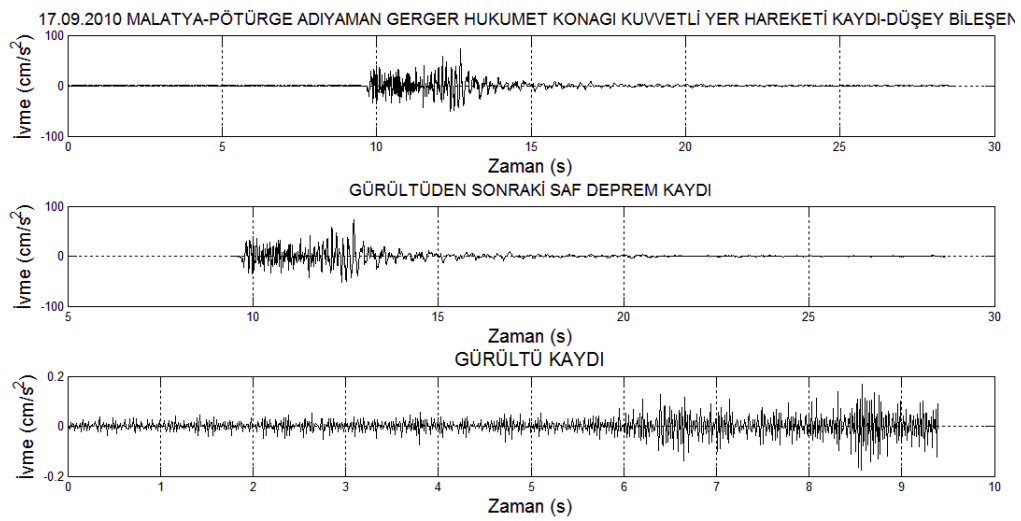
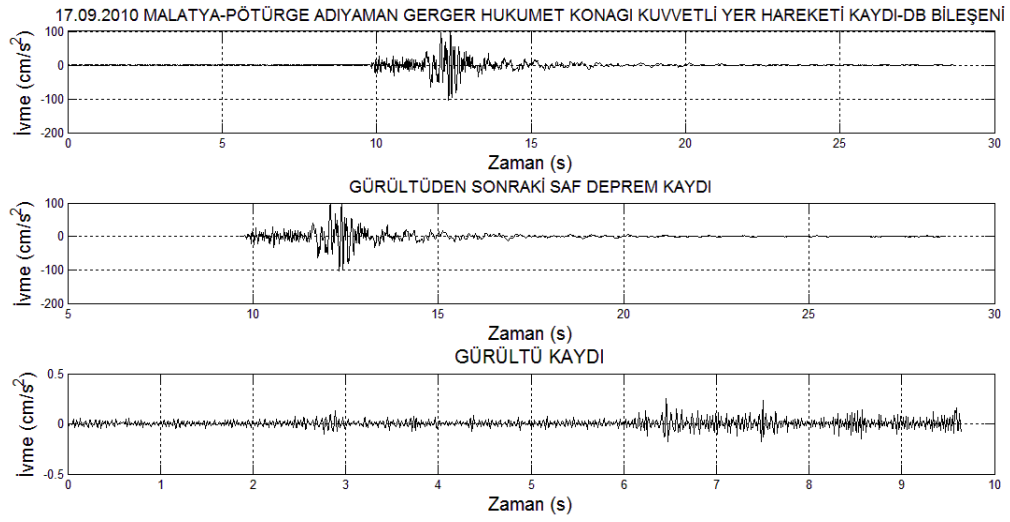
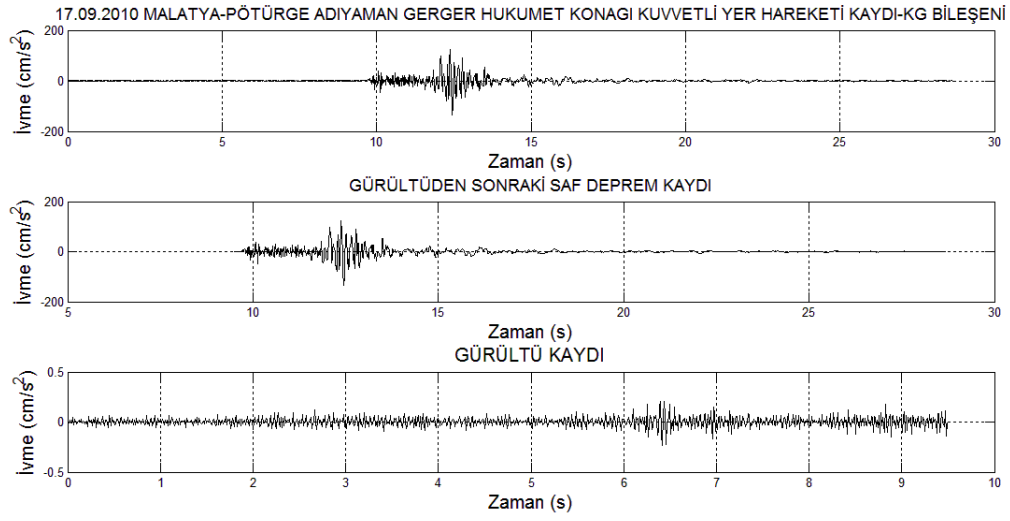
02.02.2011 KASTAMONU-MERKEZ KASTAMONU MERKEZ BAYINDIRLIK VE İSKAN MÜDÜRLÜĞÜ KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYDI-DB BİLEŞENİ



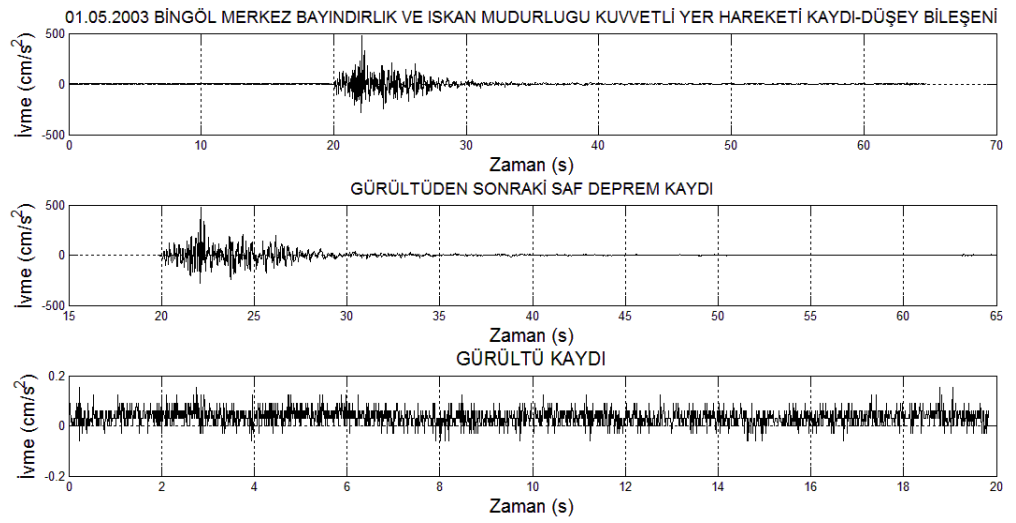
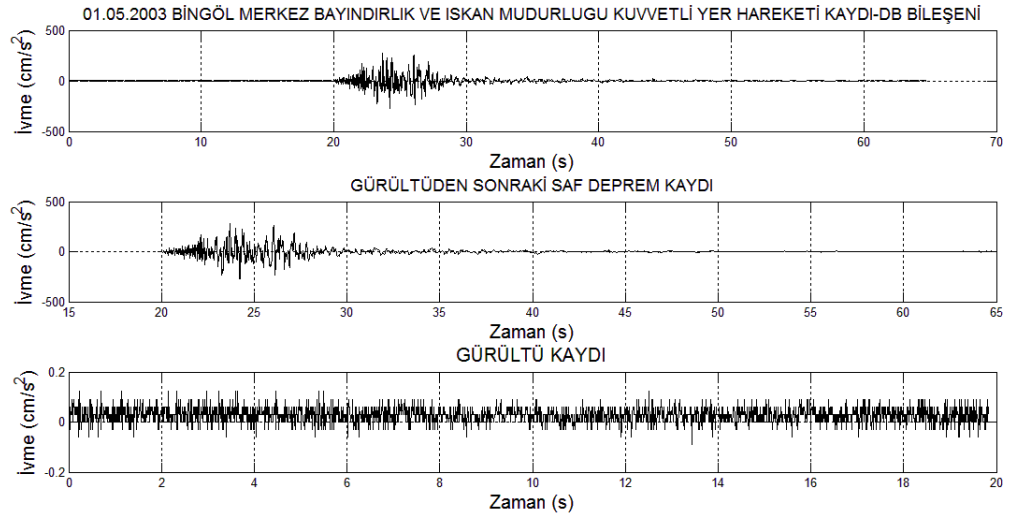
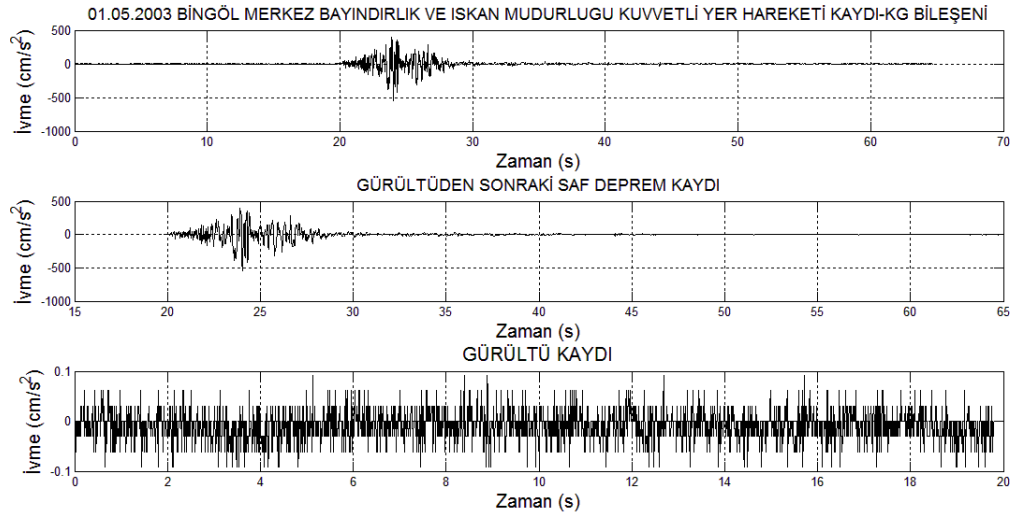
02.02.2011 KASTAMONU KASTAMONU MERKEZ BAYINDIRLIK VE İSKAN MÜDÜRLÜĞÜ KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYDI-DÜŞEY BİLEŞENİ



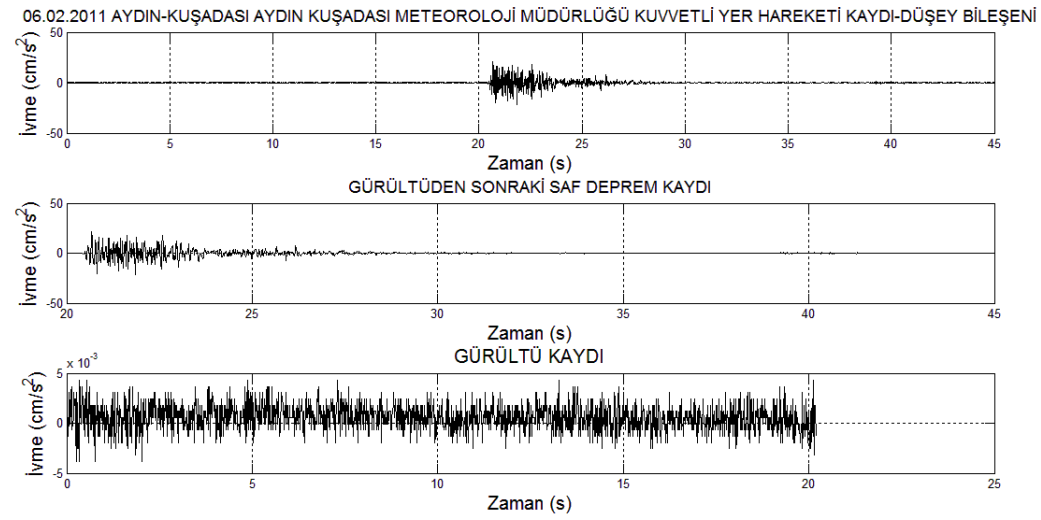
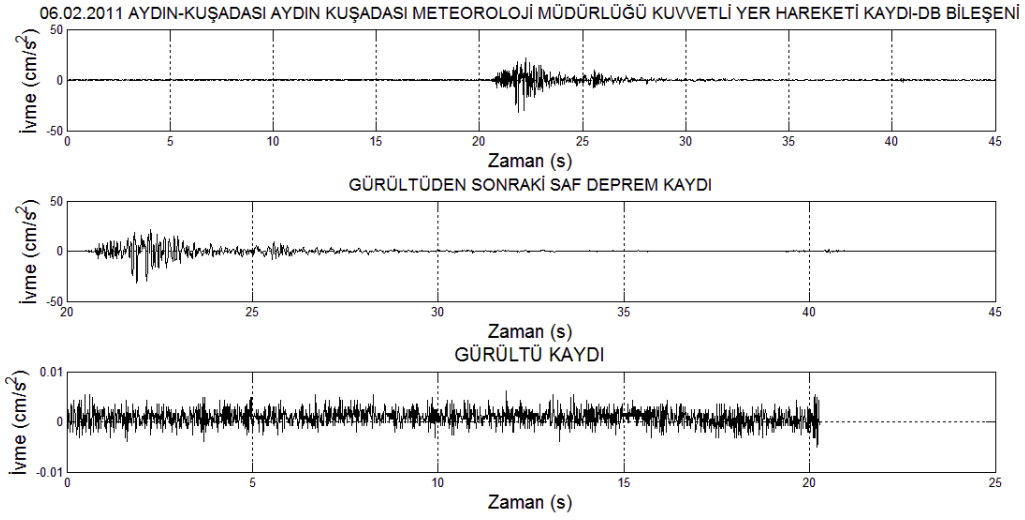
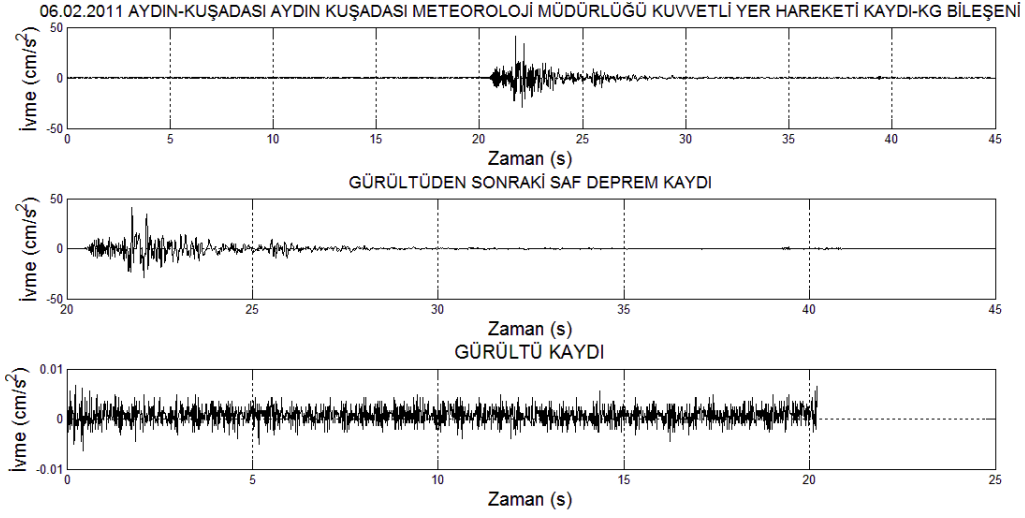
Şekil C.7 : 02.02.2011 Kastamonu depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.



Şekil C.8 : 17.09.2010Malatya-Pötürge depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.

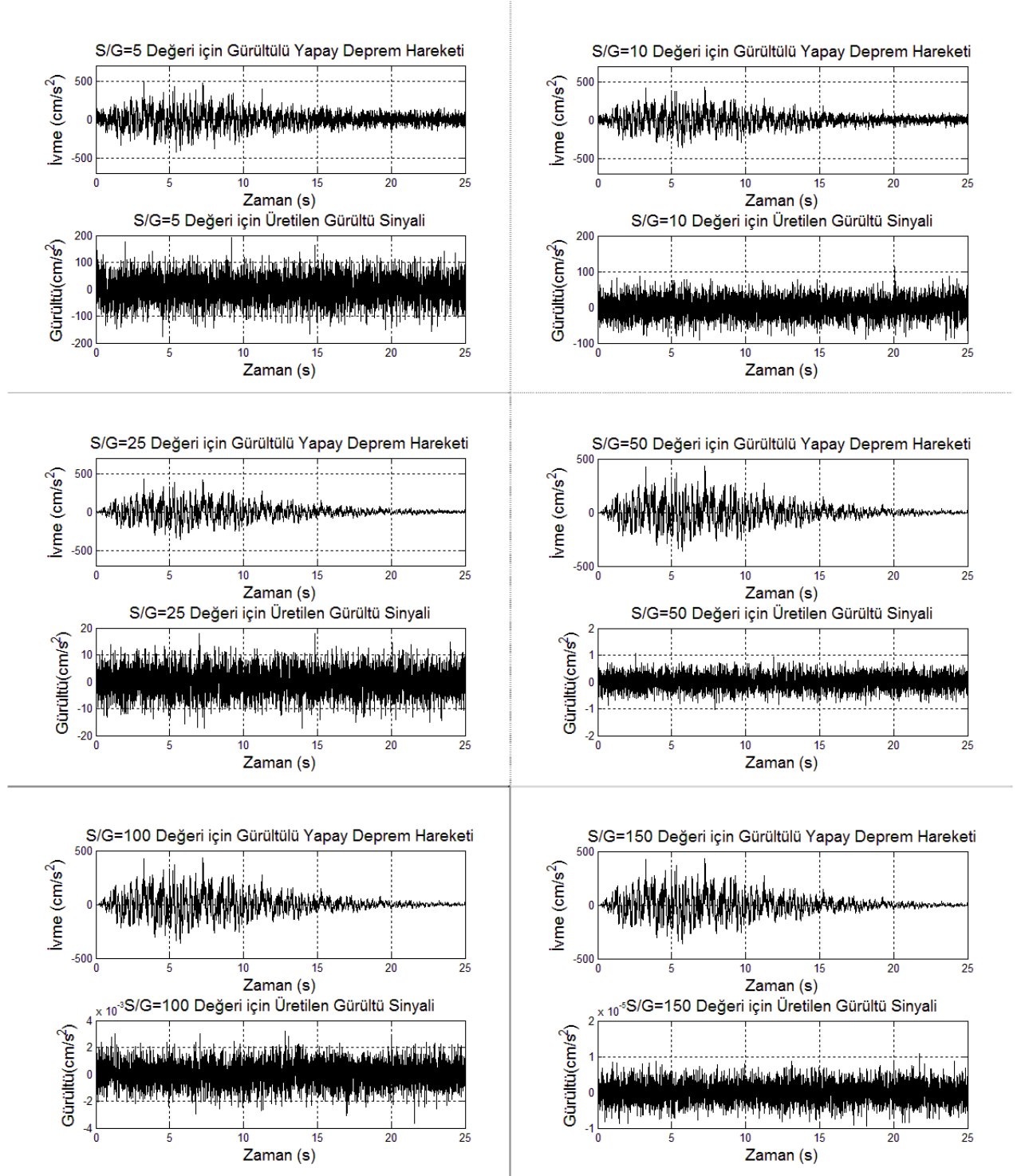


Şekil C.9 : 01.06.2003 Bingöl depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.

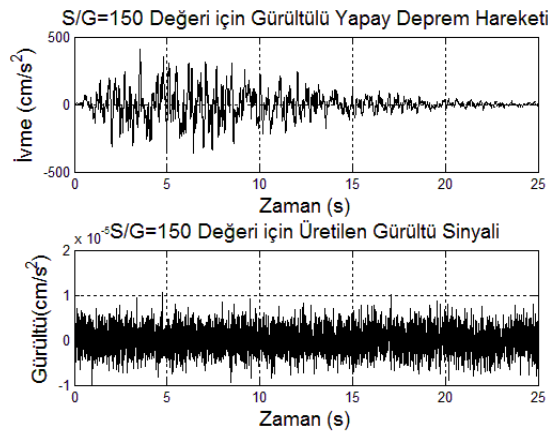
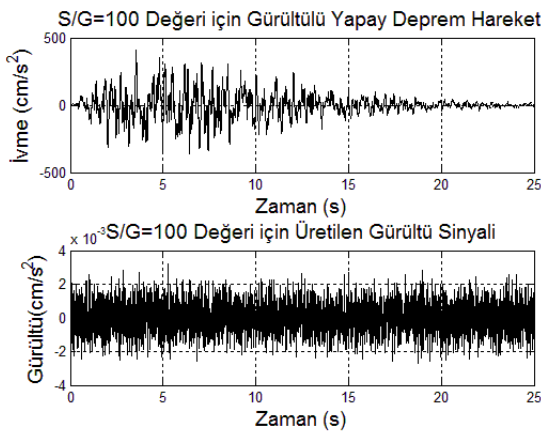
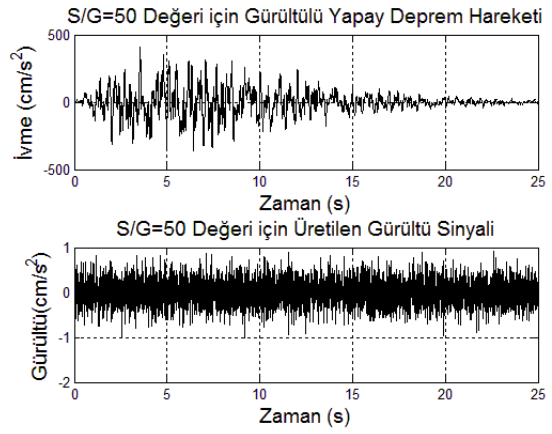
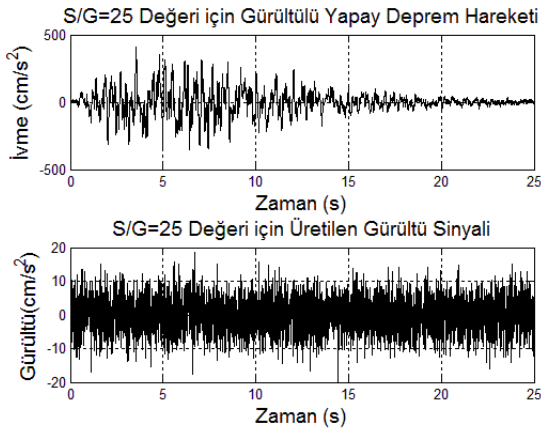
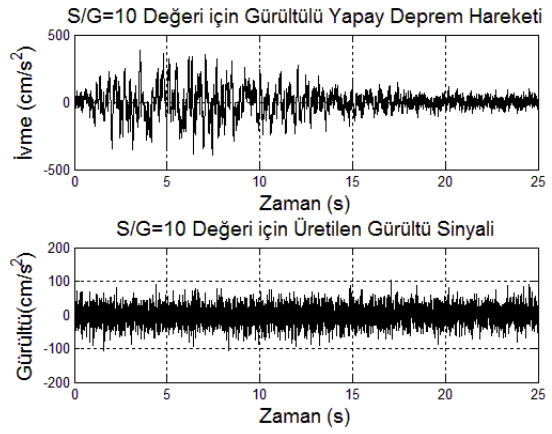
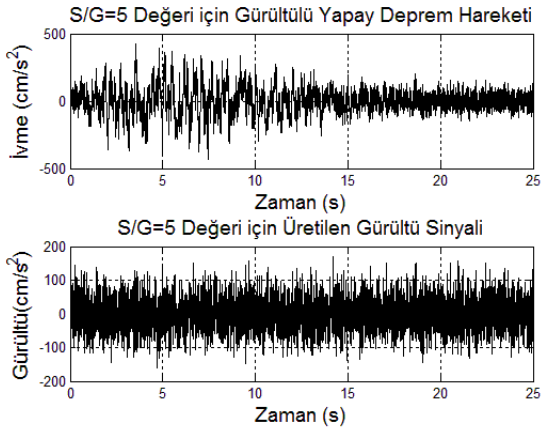


Şekil C.10 : 06.02.2011 Aydın-Kuşadası depremi kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları.

EK D.1

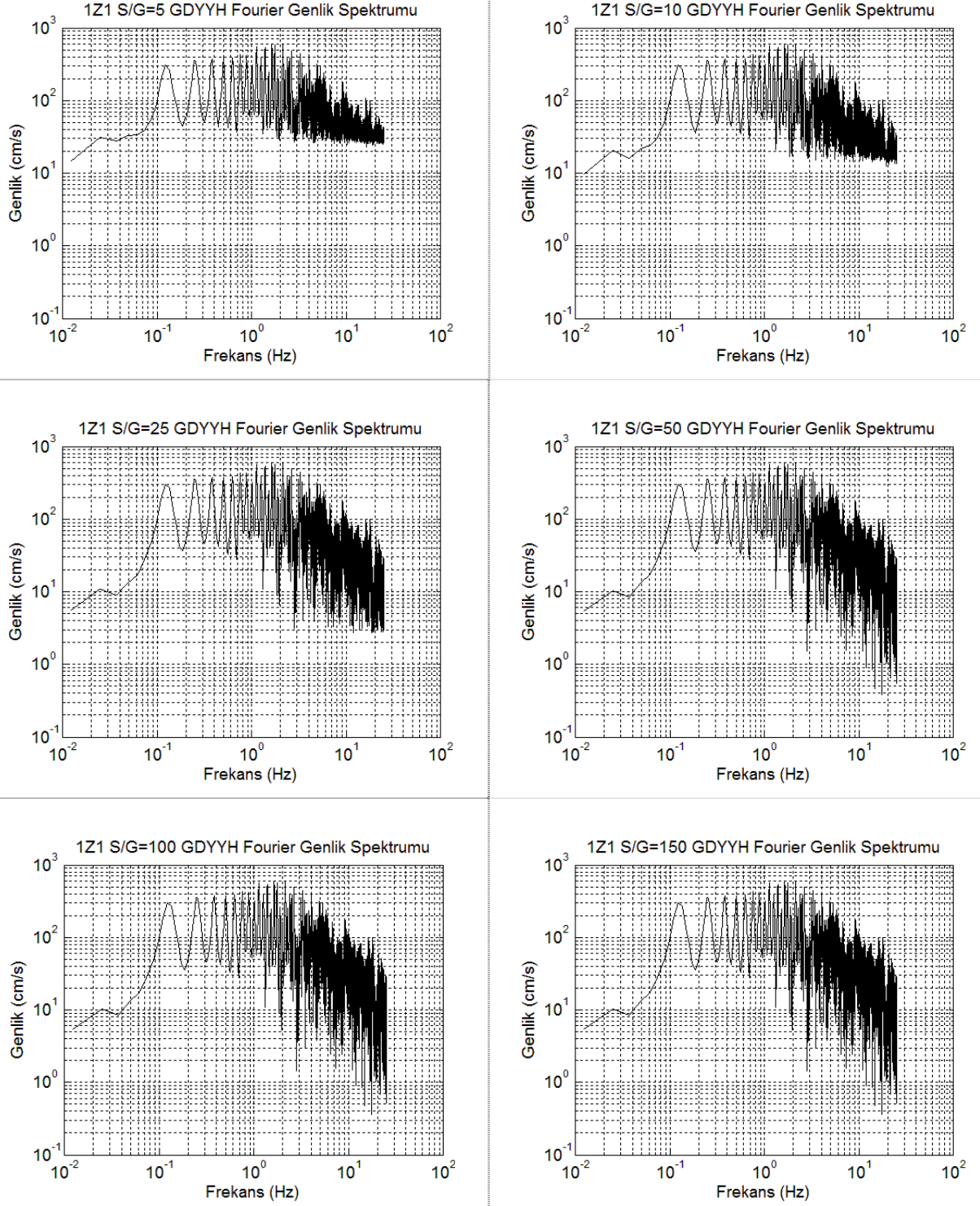


Şekil D.1 : 1. derece Z1 zemin sınıfı için üretilen GDYYH'leri.

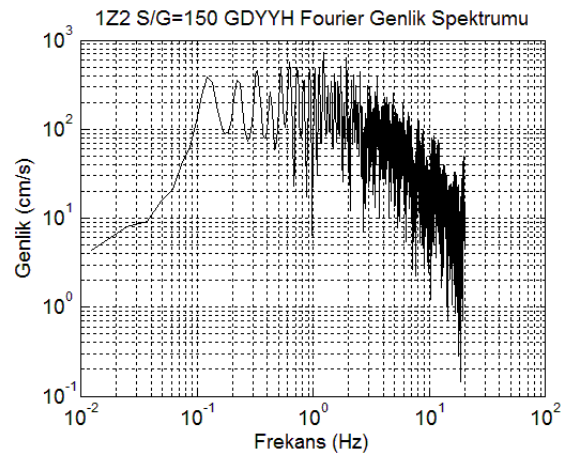
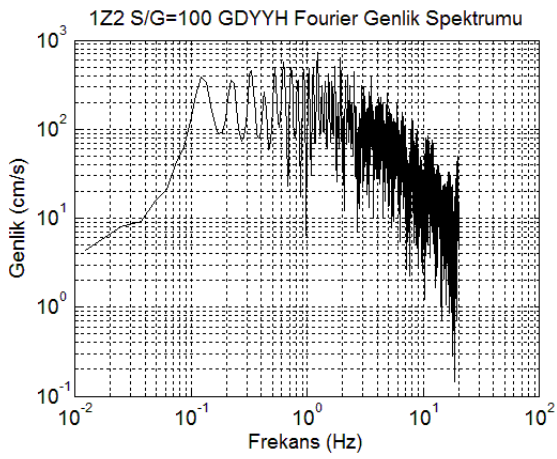
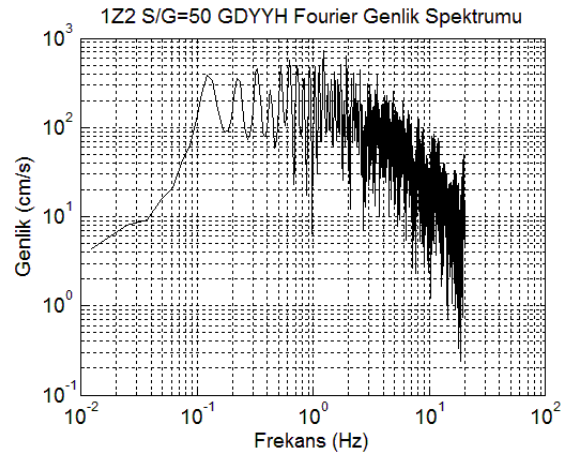
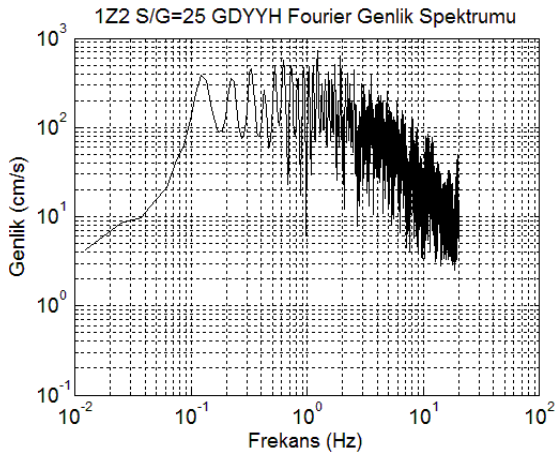
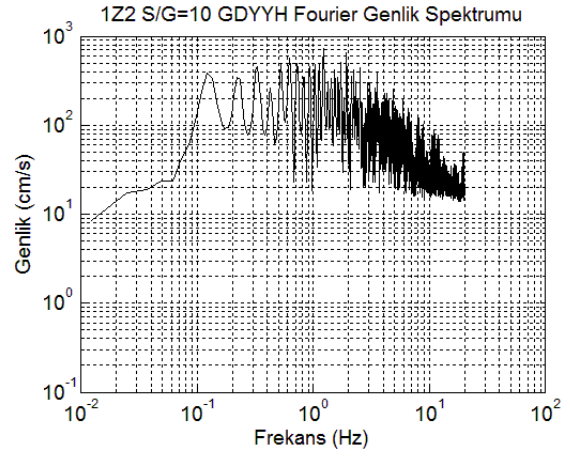
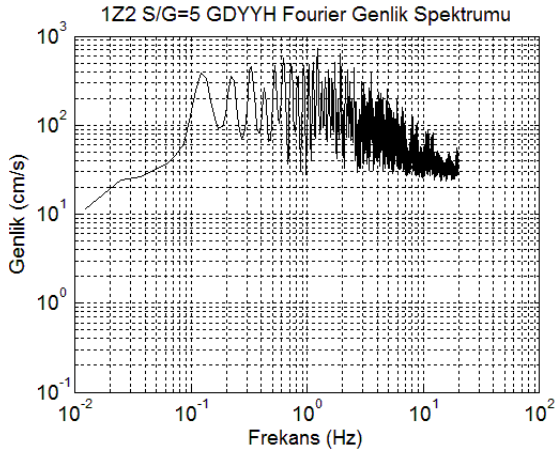


Şekil D.2 : 1. derece Z2 zemin sınıfı için üretilen GDYYH'leri.

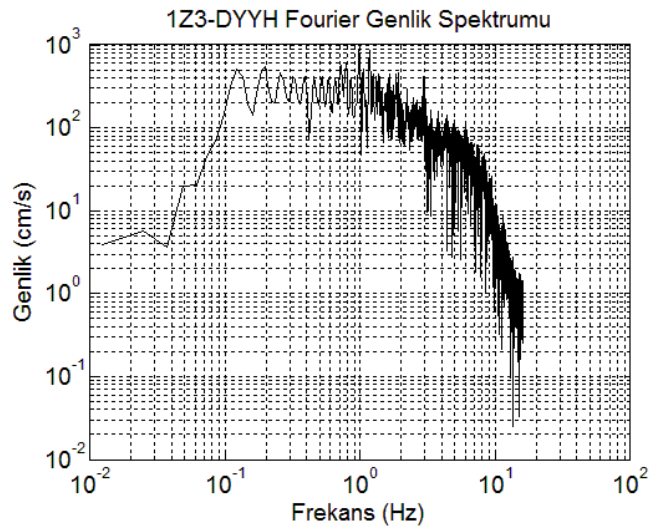
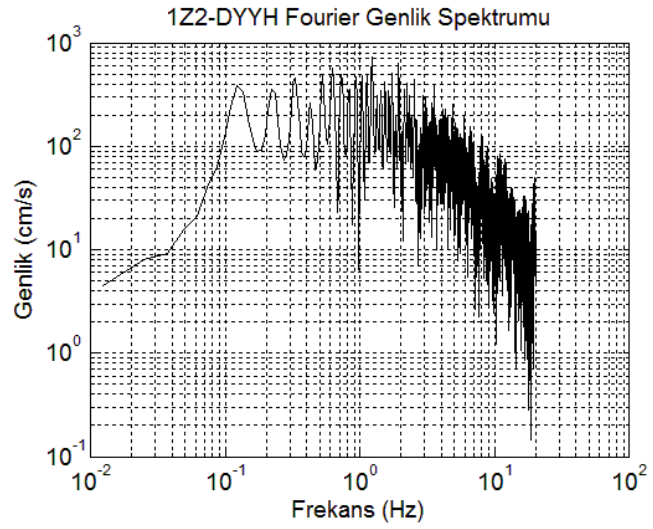
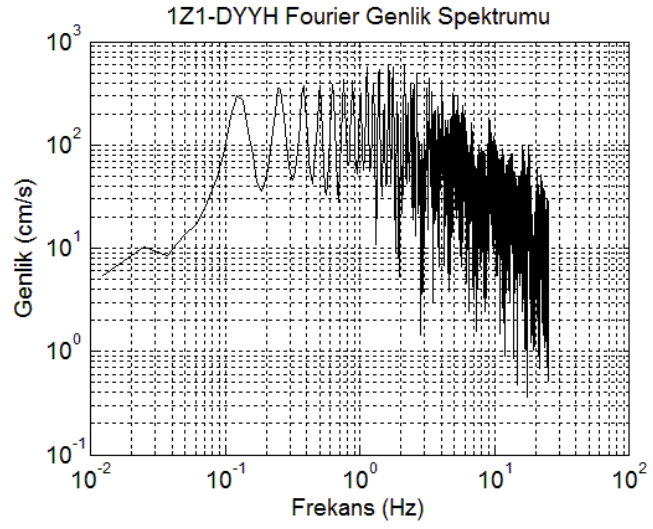
EK E.1



Şekil E.1 : 1. derece Z1 zemin sınıfı için üretilen GDYYH'lerinin Fourier genlik spektrumları.

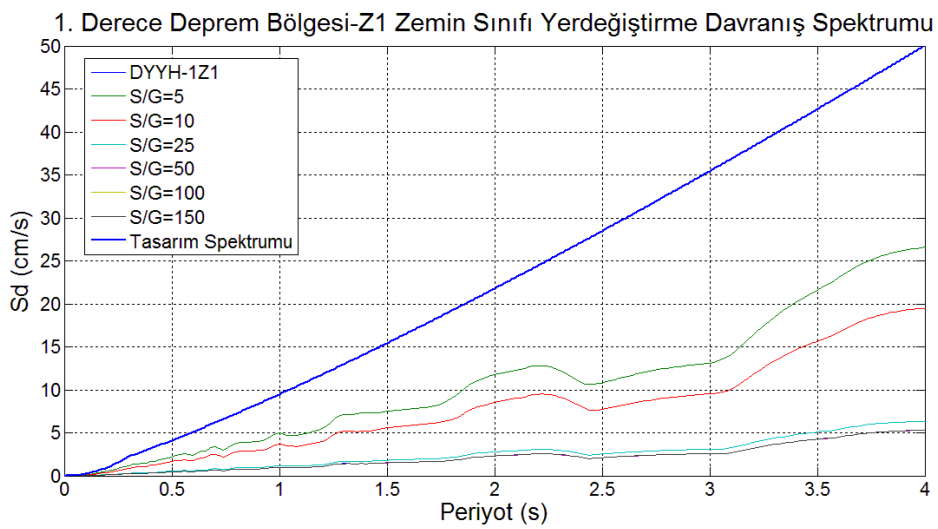
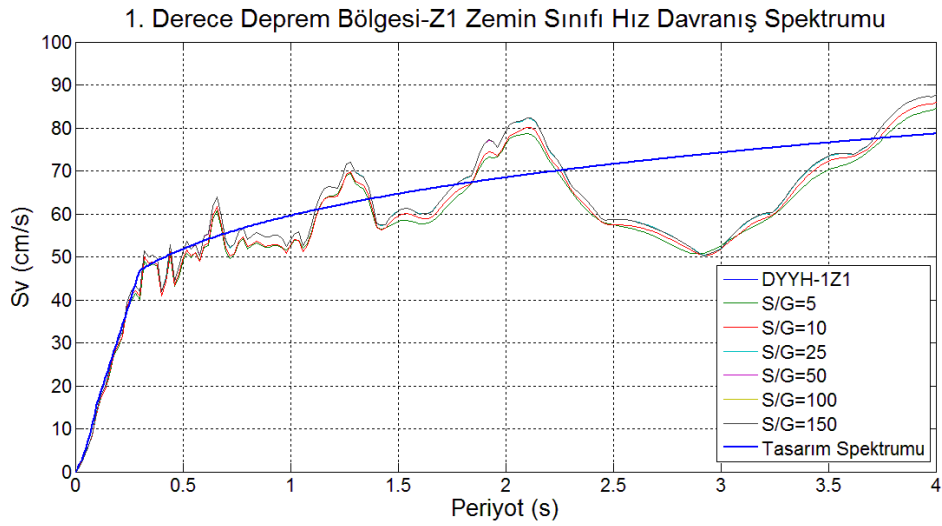
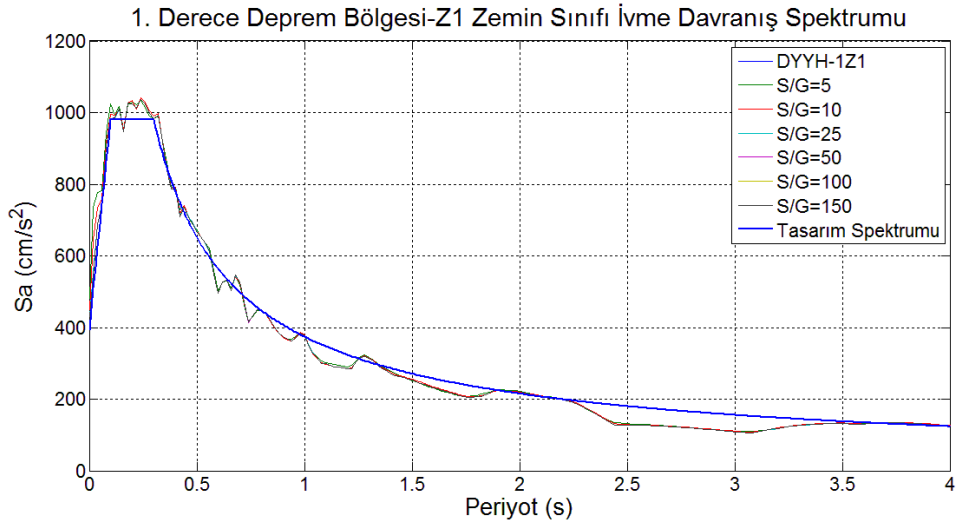


Şekil E.2 : 1. derece Z3 zemin sınıfı için üretilen GDYYH'lerinin Fourier genlik spektrumları.

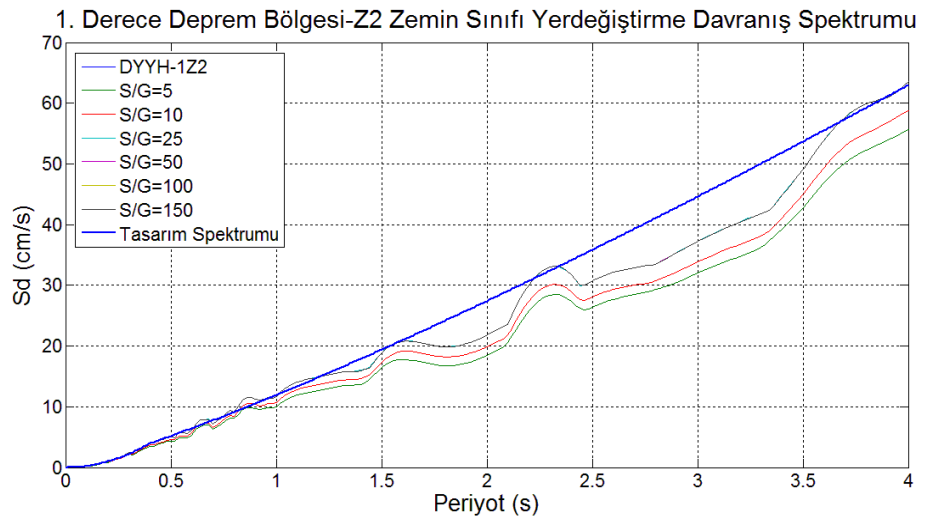
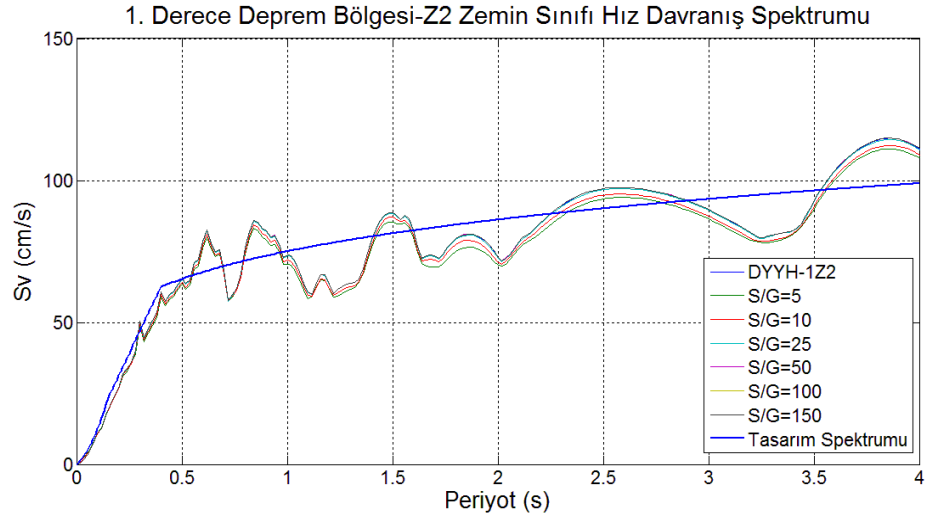
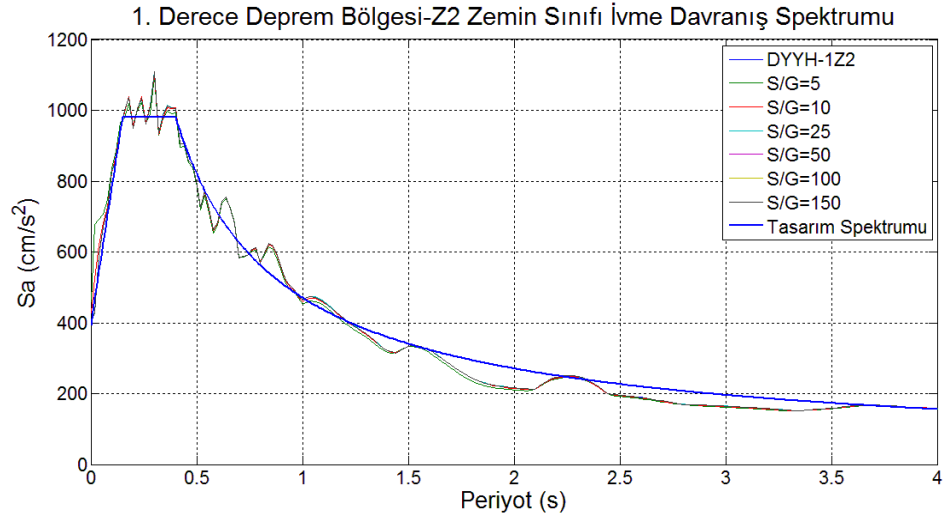


Şekil E.3 : 1. derece Z1, Z2 ve Z3 zemin sınıfları için üretilen DYYH'lerinin Fourier genlik spektrumları.

EK F.1

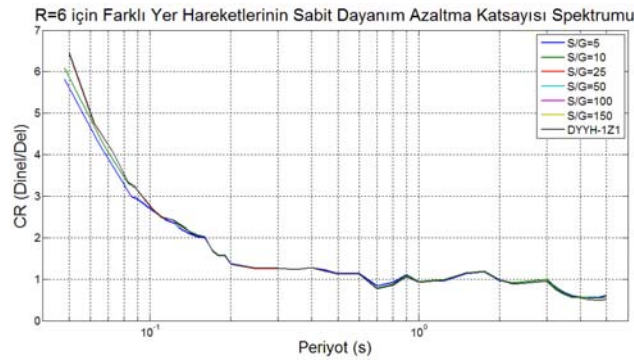
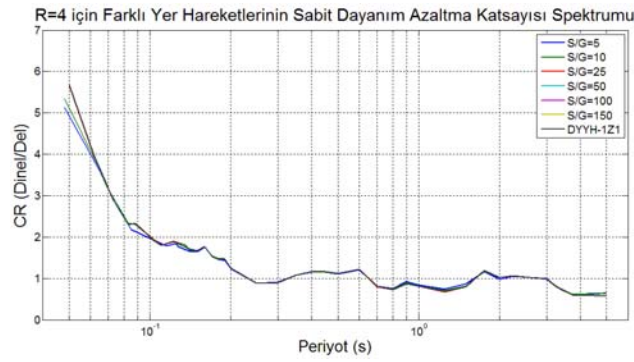
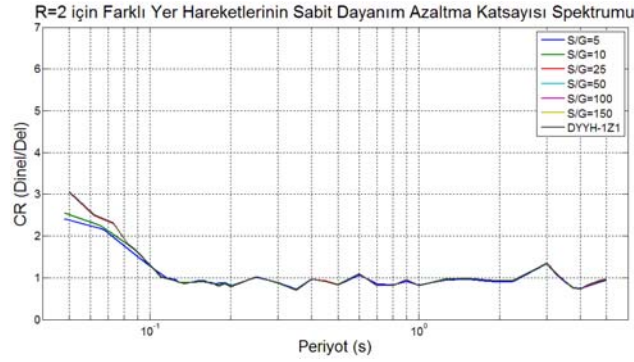


Şekil F.1 : 1. derece Z1 zemin sınıfı DYYH'lerin davranış spektrumları.

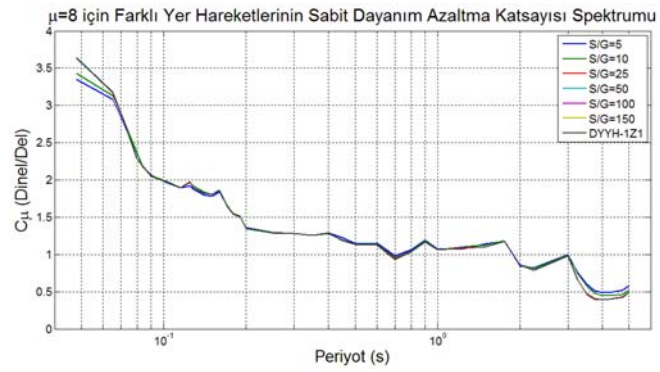
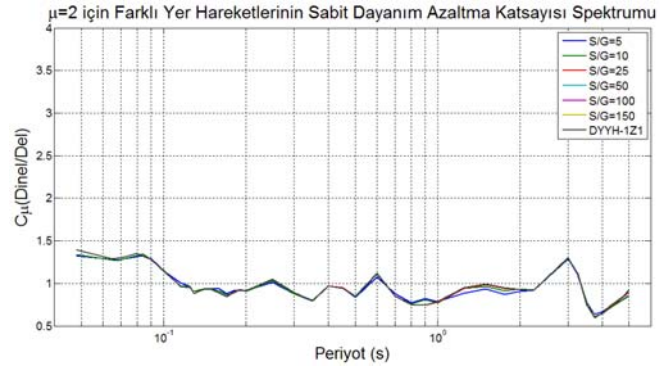


Şekil F.2 : 1. derece deprem bölgesi Z2 zemin sınıfına ait GDYYH'lerinin ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrumları.

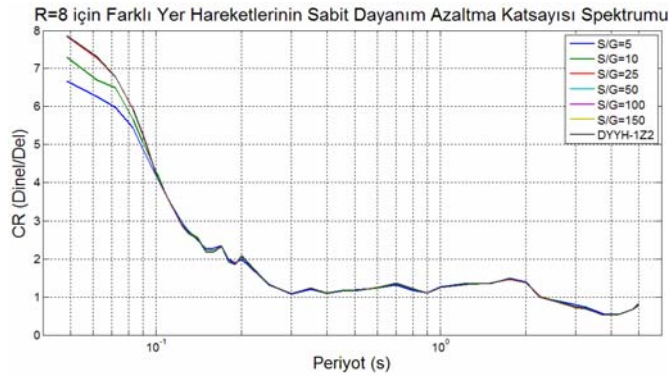
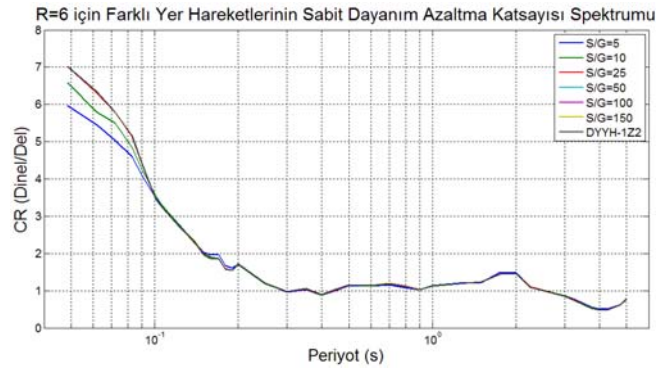
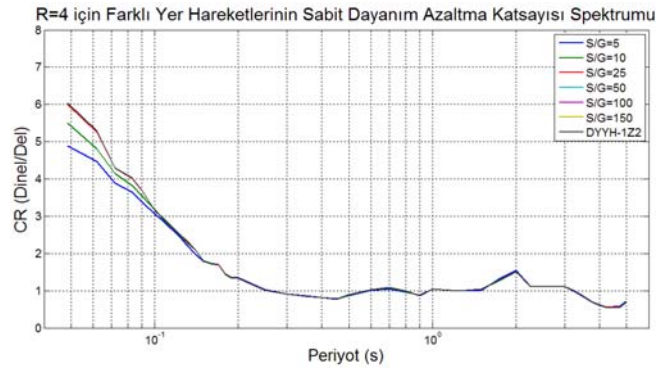
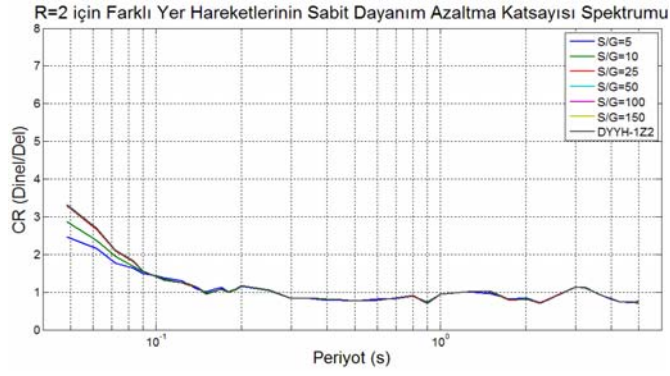
EK G.1



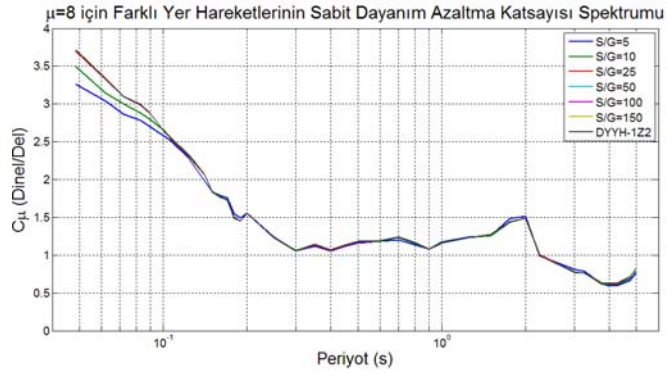
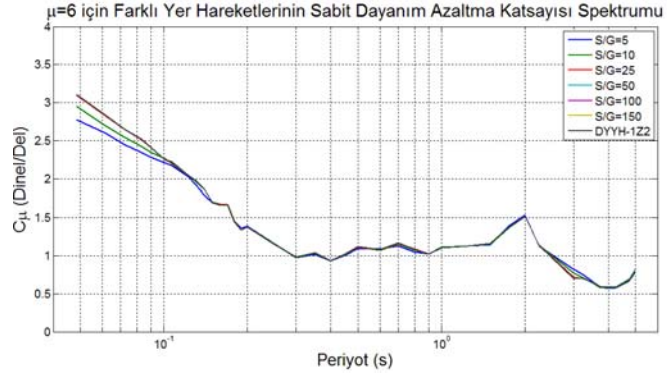
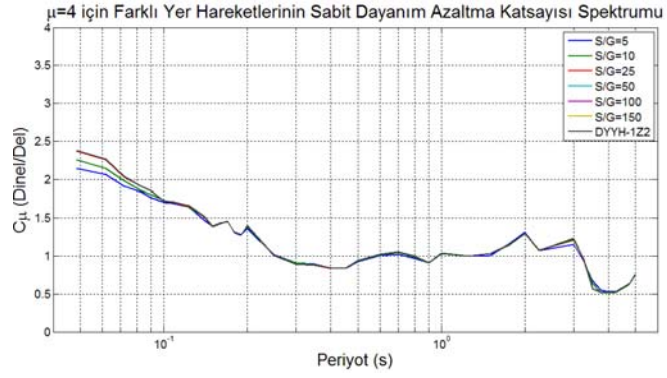
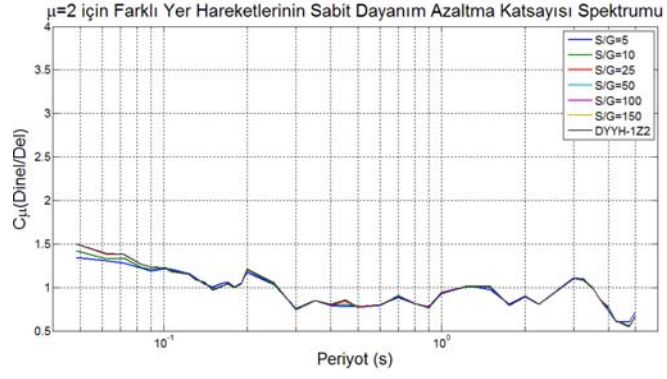
Şekil G.1 : 1. derece Z1 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uygun üretilen farklı gürültü oranlarına sahip depremlerin sabit dayanım azaltması katsayısı spektrumları.



Şekil G.2 : 1. derece Z1 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uygun üretilen farklı gürültü oranlarına sahip depremlerin sabit süneklik spektrumları.



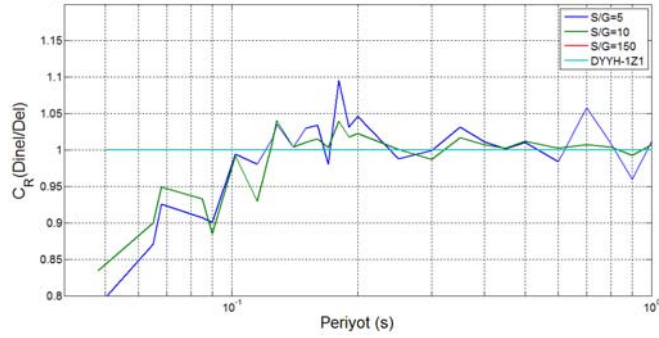
Şekil G.3 : 1. derece Z2 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uygun üretilen farklı gürültü oranlarına sahip depremlerin sabit dayanım azaltması katsayısı spektrumları.



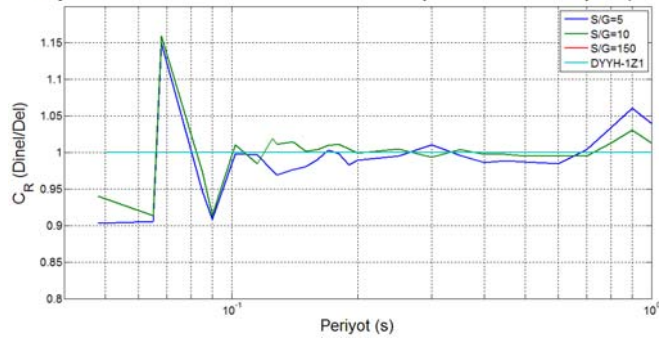
Şekil G.4 : 1. derece Z2 zemin sınıfına ait tasarım spektrumuna uygun üretilen farklı gürültü oranlarına sahip depremlerin sabit süneklik spektrumları.

EK H.1

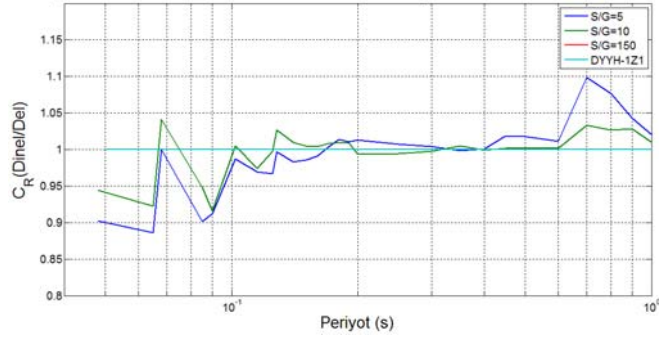
R=2 için Farklı Yer Hareketlerinin Normalize Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı Spektrumu



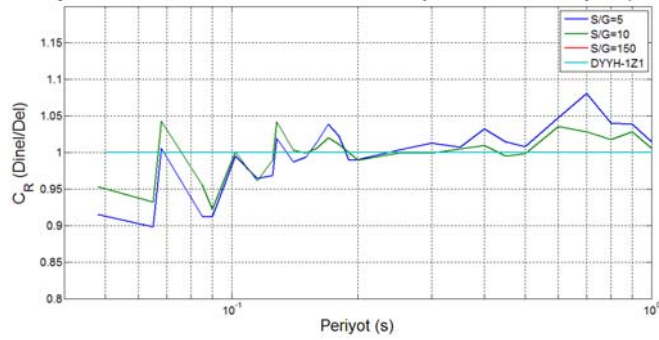
R=4 için Farklı Yer Hareketlerinin Normalize Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı Spektrumu



R=6 için Farklı Yer Hareketlerinin Normalize Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı Spektrumu

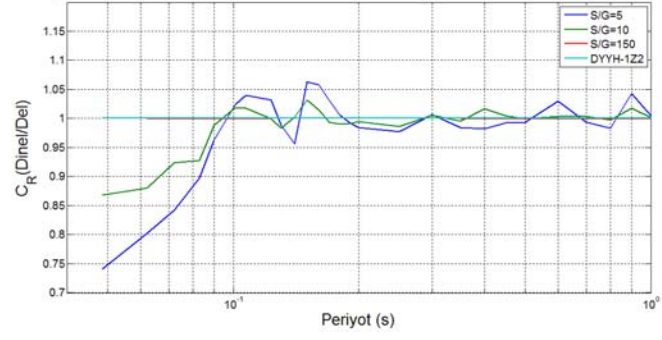


R=8 için Farklı Yer Hareketlerinin Normalize Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı Spektrumu

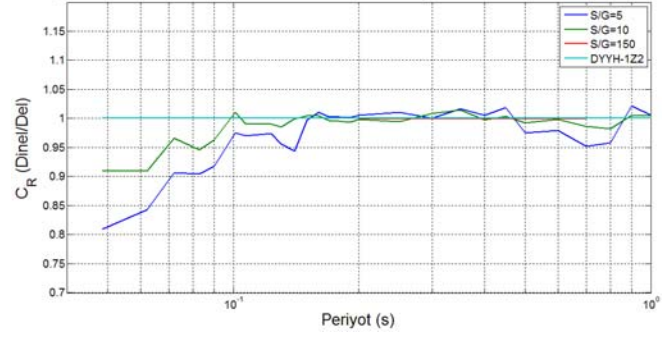


Şekil H.1 : 1. derece Z1 zemin sınıfı için normalize sabit dayanım azalması katsayısı spektrumları.

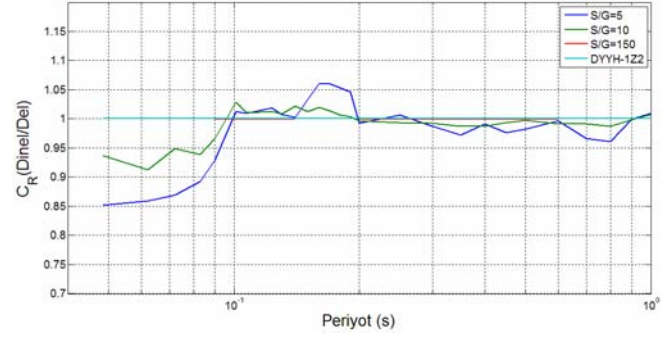
R=2 için Farklı Yer Hareketlerinin Normalize Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı Spektrumu



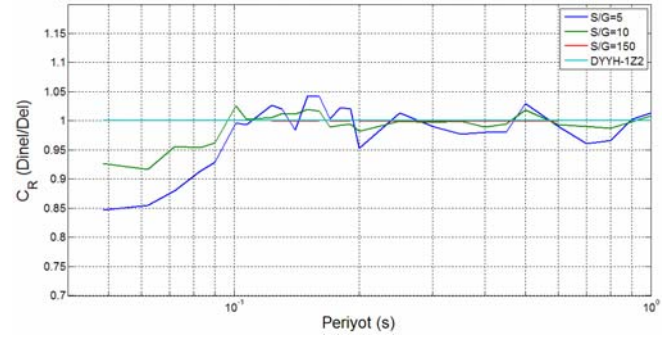
R=4 için Farklı Yer Hareketlerinin Normalize Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı Spektrumu



R=6 için Farklı Yer Hareketlerinin Normalize Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı Spektrumu



R=8 için Farklı Yer Hareketlerinin Normalize Sabit Dayanım Azaltma Katsayısı Spektrumu



Şekil H.2 : 1. derece Z2 zemin sınıfı için normalize sabit dayanım azaltması katsayıları spektrumları.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Fatma Sevil Malcioğlu
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul/02.06.1984
Adres : Merkez mh. Balıkçı bakkal sk. No:46/3 Zorluer apt.
Eyüp/İSTANBUL
Lisans Üniversite : İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği

Yayın Listesi:

- **Malcioğlu, F.S. and Taymaz, T.,** 2007. 21 February 2007 Sivrice-Elazığ Earthquake Source Mechanism Solution. *International Earthquake Symposium*, Kocaeli, Turkey, October 22-24.
- **Malcioğlu, F.S. and Taşkın, B.,** 2011. Deprem İvme Kayıtlarındaki Gürültünün Yapısal Davranışa Etkisinin İncelenmesi. 7. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 30 Mayıs-3 Haziran.