

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MARMARA BÖLGESİNİN KUVVETLİ YER  
HAREKETİ AZALIM İLİŞKİSİ MODELİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeof. Müh. Ulubey ÇEKEN**

**Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Günay BEYHAN**

**Haziran 2007**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARA BÖLGESİNİN KUVVETLİ YER  
HAREKETİ AZALIM İLİŞKİSİ MODELİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeof. Müh. Ulubey ÇEKEN**

**Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 07 / 06 / 2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Doç. Dr. Gündüz HORASAN**  
**Jüri Başkanı**

**Doç. Dr. Seyhan FIRAT**  
**Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Günay BEYHAN**  
**Üye**

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmam sırasında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Günay BEYHAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Tez İzleme Komitesi'nde bulunan ve değerli görüşleriyle tezimin şekillenmesine katkı sağlayan Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Müh. Böl.'den Doç. Dr. Gündüz HORASAN'a ve İnşaat Müh. Böl.'den Doç. Dr. Seyhan FIRAT'a;

Kuvvetli yer hareketi kayıtlarının değerlendirilmesi sırasında yazılımları ile çalışmalarına katkı sağlayan; Afet İşleri Gen. Müd'ğü DAD'nden Jeoloji Yük. Müh. Engin ÇORUH'a; analizler sırasında deneyimleriyle çalışmalarına katkısı olan Yrd. Doç. Dr. Turgay Beyaz'a; B.Ü..Kandilli Rasat. ve Deprem Araş. Enst.ait deprem kataloglarının sağlanmasında gösterdiği yardımlardan dolayı Dr. Doğan Kalafat'a;

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Afet İşleri Gen. Müd'ğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı'ndan; Daire Bşk. Bekir TÜZEL'e, Şube Md. Dr. Murat NURLU'ya, İnş. Yük. Müh. Nazan YILMAZ ÖZTÜRK'e, Jeof. Müh. Tülay URAN'a, Jeodezi ve Fotog. Müh. Süleyman BİRHAN'a ve Jeof. Müh. Recai F. KARTAL'a; Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi'nin işletilmesinde büyük emeği olan ve halen gayretli çalışmaları ile sistemin işlerliliğini sağlayan Afet İşleri Gen. Müd'ğü DAD'nden KYH Çalışma Grubu'na;

ayrı ayrı teşekkür ederim.

Yüksek Lisans tez çalışmamın her aşamasında, ilgi ve desteklerini esirgemeyen, manevi desteklerle bana güç kaynağı olan ve çalışmalarımda bana sabırla katlanan eşim Emine ve Oğlum Yusuf A. ÇEKEN'e en derin sevgi ve şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ .....	xiv
ÖZET .....	xvi
SUMMARY .....	xvii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
BÖLGENİN TEKTONİK KONUMU VE SİSMİSİTESİ .....	6
2.1. Türkiye'nin Plaka Tektoniği Ve Depremselliği .....	6
2.1.1. Tektonik .....	6
2.1.2. Depremsellik .....	7
2.2. Marmara Bölgesinin Tektoniği Ve Sismotektoniği .....	10
2.2.1. Marmara bölgesinin tektoniği .....	10
2.2.2. Marmara bölgesinin sismotektoniği .....	13
BÖLÜM 3.	
YER HAREKETİ PARAMETRELERİ VE ANALİZ TEKNİKLERİ .....	17
3.1. Deprem Parametreleri .....	17
3.1.1. Depremin yeri .....	17
3.1.2. Depremin şiddeti .....	19
3.1.3. Depremin büyüklüğü .....	20



3.1.3.1. Richter yerel magnitudü ( $M_L$ ) .....	20
3.1.3.2. Yüzey dalgası magnitudü ( $M_S$ ) .....	21
3.1.3.3. Cisim dalgası magnitudü ( $M_B$ ) .....	21
3.1.3.4. Süreye bağlı magnitudü ( $M_D$ ) .....	22
3.1.3.5. Moment magnitudü ( $M_W$ ) .....	23
3.1.4. Deprem enerjisi .....	26
3.2. Kuvvetli Yer Hareketi .....	27
3.2.1. Kuvvetli hareket kayıtlarının özellikleri .....	29
3.2.2. Kuvvetli yer hareketi parametreleri .....	30
3.2.2.1. Genlik parametreleri .....	31
3.2.1.2. Spektrum parametreleri .....	35
3.2.1.3. Spektral parametreler .....	38
3.2.1.4. Kuvvetli hareketini süresi .....	39
3.3. Analiz Teknikleri .....	40
3.3.1. Azalım ilişkileri metodolojisi .....	40
3.3.1.1. Azalım ilişkilerinin geliştirilmesi tekniği .....	41
3.3.2. Regresyon ve korelasyon analizi .....	43
3.3.2.1. Regresyon analizi ve amaçları .....	44
3.3.2.2. Basit regresyon analizi .....	44
3.3.2.3. Çoklu regresyon ve korelasyon analizi .....	46
3.3.2.4. Üç değişkenli regresyon denklemi .....	47
3.3.2.5. Korelasyon analizi .....	49
3.3.2.6. Korelasyon katsayısı ( $r$ ) .....	49
3.3.2.7. Korelasyon katsayısının standart hatası .....	50
3.3.2.8. Korelasyon katsayısının önem kontrolü ve ilgili testler.	51
3.3.2.9. Çoklu korelasyon analizi .....	53
3.4. Çok Katlı Regresyon Analizi .....	55

#### BÖLÜM 4.

MODEL PARAMETRELERİ.....	56
4.1. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları .....	56
4.2. Magnitud .....	60
4.2.1. Magnitud dönüşümü .....	62

4.3. Mesafe .....	67
4.4. Yerel Zemin Koşulları Etkisi .....	72
4.4.1. Zemin etkileri .....	73
4.4.1.1. Kayma - dalgası hızı ile zemin etkisi belirleme .....	74
4.4.1.2. Kuvvetli yer hareketi kayıtları ile zemin etkisi belirleme .....	74
4.4.1.3. Çalışmada esas alınan zemin koşulu kriteri .....	76
4.4.2. Topografya ve havza etkisi .....	79
4.5. Yapısal Etkiler .....	80
4.6. Fay Türü, Derinlik Ve Tekrarlanma Aralığı Etkisi .....	80
4.7. Fayın Yırtılma Yönü (Directivity) Etkisi .....	81

## BÖLÜM 5.

AZALIM İLİŞKİSİ VE DEĞERLENDİRMELER .....	83
5.1. Türkiye için Geliştirilen Azalım İlişkileri .....	83
5.1.1. İnan ve diğerleri (1996) .....	84
5.1.2. Aydan ve diğerleri (1996) .....	85
5.1.3. Gülkan ve Kalkan (2002) .....	86
5.1.4. Özbey ve diğerleri (2003) .....	87
5.1.5. Ulutaş ve diğerleri (2003) .....	88
5.1.6. Ulusay ve diğerleri (2004) .....	90
5.1.7. Kalkan ve Gülkan (2004) .....	91
5.1.8. Beyaz (2004) .....	92
5.2. Başka Ülkeler için Geliştirilmiş Azalım İlişkilerinden Örnekler .....	94
5.2.1. Ambraseys ve diğerleri (1996) .....	95
5.2.2. Abrahamson ve Silva (1997) .....	96
5.2.3. Sadigh ve diğerleri (1997) .....	97
5.2.4. Campbell (1997) .....	98
5.2.5. Boore ve diğerleri (1997) .....	99
5.3. Türkiye İçin Geliştirilen Azalım İlişkilerinin Değerlendirilmesi .....	100
5.3.1. Gülkan ve Kalkan (2002) ile Kalkan ve Gülkan (2004)'ın bağıntıları .....	101
5.3.2. Özbey vd. (2003)'nin önerdiği bağıntı .....	104
5.3.3. Ulusay vd. (2004)'nin önerdiği bağıntı .....	106

5.3.4. Beyaz (2004)'ın önerdiği bağıntı .....	108
5.4. Başka Ülkeler İçin Geliştirilmiş ve Türkiye'de Kullanılan Azalım İlişkileri .....	110
5.4.1. Boore vd. (1997)'nin önerdiği bağıntı .....	110
5.4.2. Sadigh vd. (1997)'nin önerdiği bağıntı .....	112
5.5. Regresyon Parametreleri .....	114
5.5.1. Kuvvetli yer hareketi veri seti .....	115
5.5.2. Magnitüd türü .....	115
5.5.3. Mesafe ölçütü .....	116
5.5.4. Zemin grubu tanımlaması .....	117
5.5.5 Fay tipi .....	118
5.6. Azalım İlişkisi Modelinin Geliştirilmesi .....	119
5.6.1. Regresyon modeli .....	119
5.6.2. Regresyon analizi .....	122
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	152
KAYNAKLAR .....	157
EKLER .....	172
ÖZGEÇMİŞ .....	214

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

DAD	: Deprem Araştırma Dairesi
FFT	: Hızlı Fourier Transformu
g	: Yerçekimi ivmesi
Hz	: Hertz
ISC	: Uluslararası Sismoloji Merkezi
İ.T.Ü	: İstanbul Teknik Üniversitesi
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
km	: Kilometre
KYH	: Kuvvetli Yer Hareketi
m	: Metre
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
$M_D$	: Süreye bağlı magnitüd
$M_L$	: Lokal magnitüd
$M_S$	: Yüzey dalgası magnitüdü
$M_W$	: Moment magnitüd
P	: Sıkışma dalgası
PGA	: Pik yer ivmesi
r	: Korelasyon katsayısı
PSA	: Pseudu spektral ivme
$R_{epi}$	: Deprem dış merkezine olan uzaklık
$R_{rup}$	: Fayın yüzey kırığına olan en yakın mesafe
S	: Kesme dalgası
SA	: Spektral İvme
sn	: Saniye
$V_{S30}$	: Üst 30 metredeki kayma-dalgası hızı
$\sigma$	: Standart sapma

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Türkiye 'nin belirgin neotektonik yapıları .....	7
Şekil 2.2.	Türkiye ve yakın civarındaki tarihsel ve aletsel dönemlerdeki depremlerin ( $M>5$ ) dağılımı (Erdik vd., 1999'dan) .....	8
Şekil 2.3.	1975-1998 dönemi arasında Türkiye ve yakın civarında meydana gelen depremlerin merkez üslerinin dağılımı ve odak derinlikleri (NEIC'den) .....	8
Şekil 2.4.	Aletsel dönemdeki depremlerin yer-zaman aralığı içerisindeki dağılımlarına göre belirlenmiş sismik boşlukların konumları ve 1995 sonrası oluşan büyük depremlerin lokasyonları (Demirtaş ve Yılmaz, 1996) .....	9
Şekil 2.5.	Marmara Denizi çevresinde Kuzey Anadolu Fayı'nın başlıca aktif kolları ve bu kollar üzerinde gerçekleşmiş tarihi depremler (Barka, 1997) .....	11
Şekil 2.6.	Marmara Denizi'nin yapısı (Le Pichon vd., 2001) .....	11
Şekil 2.7.	Marmara Bölgesinde meydana gelmiş tarihsel depremlerin (M.Ö. 2000-M.S. 1900) dağılımı (Afet İşleri Genel Müdürlüğü)..	15
Şekil 2.8.	Marmara bölgesindeki aletsel dönem depremlerin (01.01.1900 – 31.12.1997 yılları arasındaki depremler ISC kataloglarından, 01.01.1998 – günümüze kadar olan depremler ise DAD kataloglarından alınmıştır) dağılımı .....	15
Şekil 2.9.	1976-1990 arasında Marmara Bölgesi'nin sismisitesi ve önemli sismik boşluklarının lokasyonları (Barka, 1997'den) .....	16
Şekil 2.10.	1999 İzmit depremi öncesinde bölgedeki Coulomb gerilme dağılımı (optimum konumlu doğrultu-atımlı faylara ve 10 derinlikteki değişimlere göre hesaplanmış) (Çakır vd., 2003) .....	16
Şekil 3.1.	Deprem lokasyonunun tanımlamasında kullanılan notasyon .....	18

Şekil 3.2.	Moment magnitüd hesabı için örnek model .....	24
Şekil 3.3.	Değişik magnitüd türleri arasındaki ilişki ve magnitüd ölçeklerinin doygunluğu ( $M_W$ : Moment magnitüdü, $M_S$ : yüzey dalgası magnitüdü, $M_L$ : yerel magnitüd, $m_b$ : kısa periyodlu cisim dalgası magnitüdü ve $M_{JMA}$ : Japon Meteoroloji Kurumu magnitüdü) (Heaton <i>vd.</i> , 1982) .....	26
Şekil 3.4.	Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi bünyesinde işletilmekte olan Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi istasyon dağılım haritası ( <a href="http://angora.deprem.gov.tr">angora.deprem.gov.tr</a> adresinden alınmıştır) .....	28
Şekil 3.5.	Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi tarafından işletilmekte olan istasyon dağılım haritası ( <a href="http://www.koeri.boun.edu.tr">www.koeri.boun.edu.tr</a> adresinden alınmıştır) .....	29
Şekil 3.6.	17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi sırasında Sakarya istasyonundan alınan kuvvetli yer hareketi kaydının doğu-bati bileşeni ivme, hız ve yerdeğiştirme dalga formları .....	33
Şekil 3.7.	12 Kasım 1999 Düzce depremi ( $M_w$ :7.2) Bolu istasyonu kaydı yatay bileşenlerine ait ivme kayıtlarından görülen pik ivmeler, kuvvetli yer hareketinin genel karakteristiğini yansıtmamaktadır (Çeken, 2000) .....	34
Şekil 3.8.	En küçük kareler doğrusu (Gürsahal, 1998) .....	45
Şekil 3.9.	En küçük kareler düzlemi (Temur, 1995) .....	48
Şekil 3.10.	Korelasyon grafik örnekleri (Ergün, 1995) .....	49
Şekil 3.11.	Minimum kareler parabolü (Temur, 1995) .....	55
Şekil 4.1.	Kuvvetli yer hareketi istasyonları .....	57
Şekil 4.2.	Tek tip formata dönüştürülmüş sayısal kayıt örneği .....	58
Şekil 4.3.	Ardışık depremlerle hatalı okumalara neden olabilir türdeki tipik kayıt örneği .....	58
Şekil 4.4.	17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi Tekirdağ istasyonu kaydında görülen test kaydı .....	59
Şekil 4.5.	12 Kasım 1999 Düzce Depreminde Zeytinburnu istasyonu kaydında görülen eksen kayması ve düzeltilmiş şekli .....	59
Şekil 4.6.	Marmara bölgesinde meydana gelen depremler için $M_b$ - $M_d$	

	arasındaki ilişki (r: korelasyon katsayısı; ss: standart sapma) .....	62
Şekil 4.7.	$M_D - M_W$ dönüşümü için geliştirilen farklı ilişkilerin grafiksel karşılaştırılması .....	65
Şekil 4.8.	Kuvvetli yer hareketi azalım ilişkilerinde kullanılan farklı uzaklık tanımları (Shakal and Bernreuter, 1981) .....	67
Şekil 4.9.	Doğu Marmara bölgesinde Kuzey Anadolu Fay Sistemi ve 1999 depremleri yüzey kırıkları (MTA, 2003) .....	71
Şekil 4.10.	Yerel zemin koşullarının yer hareketi üzerindeki etkisi (Sucuoğlu, 1996'dan) .....	73
Şekil 4.11.	SKR ve SPN kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarından kaydedilmiş ivmenin zamana göre değişimi .....	75
Şekil 4.12.	SKR ve SPN istasyonlarından alınan ivme kayıtlarının tepki spektrumları (Doğu-Batı bileşenler) .....	76
Şekil 4.13.	Yanal atım faylar için yırtılma yönü parametreleri (Somerville vd., 1997) .....	82
Şekil 5.1a	Farklı magnitüd değerleri için gözlenen ivmelerin, A-B ve C grubu zeminler için Gülkan ve Kalkan (2002) ile Kalkan ve Gülkan (2004)'in model bağıntılarıyla karşılaştırılması .....	102
Şekil 5.1b	Farklı magnitüd değerleri için gözlenen ivmelerin, D grubu zeminler için Gülkan ve Kalkan (2002) ile Kalkan ve Gülkan (2004)'in model bağıntılarıyla karşılaştırılması .....	103
Şekil 5.2a.	Magnitüd değeri $5.0 \leq M_W < 5.5$ ve $5.5 \leq M_W < 6.5$ arasında gözlenen ivmelerin, A-B, ve C grubu zeminler için Özbey vd. (2003)'nin modeliyle karşılaştırılması .....	104
Şekil 5.2b.	Farklı magnitüd değerleri ( $M_W$ 5.2; 6.0 ve 7.0) için gözlenen ivmelerin, A-B, C ve D grubu zeminler için Özbey vd. (2003)'nin modeliyle karşılaştırılması .....	105
Şekil 5.3a.	Gözlenen pik ivmelerin, Ulusay vd. (2004)'nin model bağıntısıyla $M_W$ : 5; 6 ve 7 değerleri için karşılaştırmaları (zemin: A-B ; C , magnitüd: $4.5 \leq M_W < 5.5$ ; $5.5 \leq M_W < 6.5$ ve $6.5 \leq M_W < 7.5$ ) .....	107
Şekil 5.3b.	Gözlenen pik ivmelerin, D grubu zemin için Ulusay vd. (2004)'nin model bağıntısıyla $M_W$ : 5; 6 ve 7 değerleri için	

	karşılaştırmaları (magnitüd: $4.5 \leq M_w < 5.5$ ; $5.5 \leq M_w < 6.5$ ve $6.5 \leq M_w < 7.5$ ) .....	108
Şekil 5.4a.	Gözlenen en büyük yatay ivmelerin (PGA), Beyaz (2004)'ın model bağıntısıyla $M_w : 5$ ve $6$ değerleri için karşılaştırmaları (zemin: A - B, magnitüd aralıkları: $4.5 \leq M_w < 5.5$ ; $5.5 \leq M_w < 6.5$ ) .....	109
Şekil 5.4b.	Gözlenen en büyük yatay ivmelerin (PGA), Beyaz (2004)'ın model bağıntısıyla $M_w : 7$ değeri için karşılaştırılması (zemin: A - B, magnitüd aralıkları: $6.5 \leq M_w < 7.5$ ) .....	109
Şekil 5.5.	Pik ivmelerin (PGA), Boore vd. (1997)'nin modeliyle karşılaştırılması (zemin grupları: A-B ; C ve D , magnitüd aralığı: $5.5 \leq M_w < 6.5$ ile $6.5 \leq M_w < 7.5$ ) .....	111
Şekil 5.6.	Pik ivmelerin (PGA), Sadigh vd. (1997)'nin modeliyle karşılaştırılması (zemin grupları: A-B ve C-D , magnitüd aralığı: $5.5 \leq M_w < 6.5$ ile $6.5 \leq M_w < 7.5$ ) .....	113
Şekil 5.7.	Mesafe, magnitüd ve yerel zemin gruplarına göre, analizde kullanılan PGA veri tabanındaki verilerin dağılımı (her bir nokta bir kaydı göstermektedir) .....	121
Şekil 5.8.	Mesafe, magnitüd ve yerel zemin gruplarına göre, analizde kullanılan PSA verilerin dağılımı (her bir nokta bir kaydı göstermektedir) .....	122
Şekil 5.9.	En büyük yatay yer ivmesinin; (a) normal değerleri (b) logaritmik değerlerinin dağılım histogramları .....	124
Şekil 5.10.	Normal değerlerle pik yatay yer ivmesi ve mesafenin dağılımı ...	124
Şekil 5.11.	Analizde kullanılan LogPGA ve LogR değerlerinin % 95 güvenilirlik aralığındaki dağılımı ve doğrusal regresyon çizgisi (orta çizgi) .....	125
Şekil 5.12.	Magnitüd ve mesafeye göre ivme kayıtlarının dağılımı .....	126
Şekil 5.13.	Analizde kullanılan pik yatay yer ivmelerin (logaritmik değeri) magnitüd ile dağılımı .....	126
Şekil 5.14.	A-B grubu zeminler için gözlenen pik ivmelerin, $M_w$ ve $M_D$ için önerilen model eğrilerle karşılaştırılması (magnitüd: $4.5 \leq M_{w,D} < 5.5$ ; $5.5 \leq M_{w,D} < 6.5$ ; $6.5 \leq M_{w,D} < 7.5$ ) .....	130



Şekil 5.15.	C grubu zemin için gözlenen pik ivmelerin, $M_W$ ve $M_D$ için önerilen model eğrilerle karşılaştırılması (magnitüd aralığı: $4.5 \leq M_{W,D} < 5.5$ ; $5.5 \leq M_{W,D} < 6.5$ ; $6.5 \leq M_{W,D} < 7.5$ ) .....	131
Şekil 5.16.	D grubu zemin için gözlenen pik ivmelerin, $M_W$ ve $M_D$ için önerilen model eğrilerle karşılaştırılması (magnitüd aralığı: $4.5 \leq M_{W,D} < 5.5$ ; $5.5 \leq M_{W,D} < 6.5$ ; $6.5 \leq M_{W,D} < 7.5$ ) .....	132
Şekil 5.17.	“A-B” grubu zemin için önerilen azalım modelinin diğer sönüm eğrileriyle birlikte, 1999 Kocaeli depreminde ölçülen pik ivmelerle karşılaştırılması .....	133
Şekil 5.18.	“C” grubu zemin için önerilen azalım modelinin diğer sönüm eğrileriyle birlikte, 1999 Kocaeli depreminde ölçülen pik ivmelerle karşılaştırılması .....	134
Şekil 5.19.	“D” grubu zemin için önerilen azalım modelinin diğer sönüm eğrileriyle birlikte, 1999 Kocaeli depreminde ölçülen pik ivmelerle karşılaştırılması .....	134
Şekil 5.20.	“A-B” grubu zemin için önerilen azalım modelinin diğer sönüm eğrileriyle birlikte, 13 Eylül 1999 Kocaeli depremi artçı şoku sırasında ölçülen pik ivmelerle karşılaştırılması .....	135
Şekil 5.21.	“D” grubu zemin için önerilen azalım modelinin diğer sönüm eğrileriyle birlikte, 13 Eylül 1999 Kocaeli depremi artçı şoku sırasında ölçülen pik ivmelerle karşılaştırılması .....	135
Şekil 5.22.	“D” grubu zemin için önerilen azalım modelinin diğer sönüm eğrileriyle birlikte, 13 Eylül 1999 Kocaeli depremi artçı şoku sırasında ölçülen pik ivmelerle karşılaştırılması .....	136
Şekil 5.23.	A-B grubu zemin için spektral ivmelerin dağılımı ile önerilen ve örnek modellerin karşılaştırılması (periyodlar: 0.2 ve 1.0 sn ; magnitüd aralığı: $5.5 \leq M_W < 6.5$ ve $6.5 \leq M_W < 7.5$ ) .....	140
Şekil 5.24.	C grubu zemin için spektral ivmelerin dağılımı ile önerilen ve örnek modellerin karşılaştırılması (periyodlar: 0.2 ve 1.0 sn ; magnitüd aralığı: $5.5 \leq M_W < 6.5$ ve $6.5 \leq M_W < 7.5$ ) .....	141
Şekil 5.25.	D grubu zemin için spektral ivmelerin dağılımı ile önerilen ve örnek modellerin karşılaştırılması (periyodlar: 0.2 ve 1.0 sn ; magnitüd aralığı: $5.5 \leq M_W < 6.5$ ve $6.5 \leq M_W < 7.5$ ) .....	143

Şekil 5.26.	A-B ve D grubu zeminler için spektral ivmelerin dağılımı ile önerilen ve örnek modellerin karşılaştırılması (periyod: 0.5 sn ; magnitüd aralığı: $5.5 \leq M_W < 6.5$ ve $6.5 \leq M_W < 7.5$ ) .....	144
Şekil 5.27.	Bu çalışma ile önerilen % 5 sönüm oranı için spektral ivme azalım ilişkisinin farklı zemin koşulu, magnitüd ve mesafeye göre değişimi .....	145
Şekil 5.28.	Tepki spektrumlarının karşılaştırılması ( $M_W$ 7.0, zemin grubu A-B) .....	146
Şekil 5.29.	Tepki spektrumlarının karşılaştırılması ( $M_W$ 7.0, zemin grubu D) .....	147
Şekil 5.30.	TDY (2007) elastik tasarım ivme spektrumu ile önerilen ve örnek modellerin SKR kaydı ile karşılaştırılması ( $M_W$ 7.4, zemin grubu A-B) .....	148
Şekil 5.31.	TDY (2007) elastik tasarım ivme spektrumu ile önerilen ve örnek modellerin DZC kaydı ile karşılaştırılması ( $M_W$ 7.2, zemin grubu D) .....	148
Şekil 5.32.	PGA için, bu çalışma ile önerilen iki farklı modelin (Model-1 ve Model-4) karşılaştırılması (Mag.: $5.5 \leq M_W < 6.5$ ; $6.5 \leq M_W < 7.5$ ; zemin: A-B, C ve D) .....	150

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Korelasyon katsayısına (r) göre değişkenler arasındaki ilişki (Beyaz, 004) .....	50
Tablo 4.1.	$M_d - M_w$ arasında geliştirilen ilişkilerin sayısal karşılaştırılması	66
Tablo 4.2.	1998 Türkiye Deprem Yönetmeliği'ndeki zemin grupları .....	77
Tablo 4.3.	1998 Türkiye Deprem Yönetmeliği'ndeki yerel zemin sınıfları..	78
Tablo 4.4.	NEHRP 2000 Hükümlerindeki Zemin Sınıfları .....	78
Tablo 4.5.	Zemin sınıflamalarının karşılaştırılması .....	79
Tablo 5.1.	Ülkemiz araştırmacıları tarafından geliştirilen ve Türkiye'ye özel azalım ilişkileri .....	84
Tablo 5.2.	Azalım ilişkisi modelinde kullanılan zeminlerin tanımlanması .	118
Tablo 5.3.	Pik yatay ivme ( $p_{ga}$ ) ve farklı periyod değerlerine göre hesaplanan spektral ivme (%5 sönüm) için azalım ilişkileri regresyon katsayıları (Eşitlikler için, $R \leq 100$ km, $PGA \geq 10$ gal ve $M_w$ 5.0-7.5 aralığındadır) .....	139
Tablo C.1.	ARC - Arcelik İstasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri - Profil 1 .....	204
Tablo C.2.	ARC- Arcelik İstasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri - profil 2 .....	204
Tablo C.3.	ARC - Arçelik İstasyonuna Ait Kayma Dalgası Hız Profil Değerleri - Profil 3 .....	204
Tablo C.4.	ATS - Ambarlı İstasyonuna ait kayma dalgası hız profili .....	204
Tablo C.5.	BOL - Bolu İstasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri	205
Tablo C.6.	CNA - Çekmece İstasyonuna Ait Kayma Dalgası Hız Profil Değerleri .....	205
Tablo C.7.	DZC - Düzce İstasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri	205

Tablo C.8.	GBZ - Gebze istasyonuna ait kayma dalgası hız profil .....	205
Tablo C.9.	IZN - İznik istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri .	206
Tablo C.10.	IZT - İzmit istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri - profil 1 .....	206
Tablo C.11.	IZT - İzmit İstasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri - profil 2 .....	206
Tablo C.12.	SKR - Sakarya istasyonuna ait kayma dalgası hız profili .....	206
Tablo C.13.	YPT - Yarımca istasyonuna ait kayma dalgası hız profili .....	208
Tablo C.14.	BAL - Ballica istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri .....	207
Tablo C.15.	AYD - Aydınpınar istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri profil 1 .....	207
Tablo C.16.	AYD – Aydınpınar istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri profil 2 .....	207
Tablo C.17.	HAS - Hastane istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri .....	208
Tablo C.18.	HIL - Hilal istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri .	208
Tablo C.19.	BYT13 -Yalova Huzurevi 1. profile ait jeoteknik veriler .....	208
Tablo C.20.	BYT08 - Cargill Tarım Sanayi 1. profile ait jeoteknik veriler ..	209
Tablo C.21.	BYT03 – Demirtaş 1. profile ait jeoteknik veriler .....	209
Tablo C.22.	BYT01-Köy Hizmetleri 1. profile ait jeoteknik veriler .....	210
Tablo C.23.	BYT04 - Kurtulköy 1. profile ait jeoteknik veriler .....	210
Tablo C.24.	BYT06 – Umurbey 1. profile ait jeoteknik veriler .....	211
Tablo C.25.	BYT07 – Gemlik 2. profile ait jeoteknik veriler .....	211
Tablo C.26.	BYT12 – Soğucak 1. profile ait jeoteknik veriler .....	212
Tablo C.27.	BYT05 - Askeri Veteriner Okulu 1. profile ait jeoteknik veriler	212
Tablo C.28.	BYT09 – Gedelek 1. profile ait jeoteknik veriler .....	213

## ÖZET

Anahtar kelimeler: deprem, kuvvetli yer hareketi, azalım ilişkisi, sismik tehlike, ivme-ölçer ağı, ivme kayıt cihazı, kayma dalgası hızı, pik ivme, çoklu regresyon

Bu çalışmada, bölgesel bazda ve aynı tektonik oluşumda alınan ivme kayıtlarının mesafe, magnitüd ve yerel zemin koşullarının bir fonksiyonu olarak, Marmara Bölgesine özgü yeni ve güncel bir matematiksel bağıntının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için, 1983 yılından günümüze kadarki zaman aralığında, koordinatları 40-42 Kuzey enlemleri ve 26-32 Doğu boylamları arasında kalan bölgenin, deprem etkinliği kuvvetli yer hareketi kayıtları ile incelenmiştir. Bu zaman diliminde bölgede meydana gelen, büyüklüğü 4.0 ve üzeri 128 depremden alınan toplam 721 ivme kaydı, diğer deprem parametreleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, Marmara Bölgesinde konumlandırılmış 87 farklı noktadaki ivme-ölçer istasyonundan alınan ivme kayıtları kullanılmıştır. Yerel zemin koşulları, üst 30 m derinlik için ortalama kayma-dalgası hız değerlerine göre kategorize edilmiştir. Bölgede meydana gelen diğer depremlerle beraber, 1999 yılında oluşan iki tahripkar deprem sırasında ve sonrasında kaydedilen ana şok ve artçı şok kayıtları, bölge için yapılan model çalışmalarında kullanılmıştır. Ülkemizde ilk defa bu yoğunlukta sağlanan kayıtlarla, bölge için zengin bir veri kataloğu oluşturulmuştur. Hazırlanan veri seti kullanılarak sönüm denklem modelini elde etmek için istatistik yöntemlerden yararlanılmıştır.

Bunun için en büyük yatay yer ivmesi ve % 5 sönüme karşılık gelen elastik spektral ivmelerin, depremin büyüklüğü, uzaklığı ve yerel zemin koşullarının bir fonksiyonu olarak, en iyi istatistiksel uyumu sağlamak için birkaç matematiksel model uygulanmıştır. Çalışma sonunda, çoklu regresyon analiz yöntemi kullanılarak Marmara bölgesi için güncel bir ivme azalım ilişkisi modeli geliştirilmiştir.

# **STRONG GROUND MOTION ATTENUATION RELATIONSHIP MODEL FOR MARMARA REGION**

## **SUMMARY**

Key Words: earthquake, strong-motion, attenuation relationship, seismic hazard, strong motion network, accelerography, shear wave velocity, peak acceleration, multiple regression.

The aim of this study is to develop a new and up-to-date attenuation relationship for Marmara region as a function of distance, magnitude and local site conditions. Therefore, earthquake activity in the rectangular region bounded by 40-42 North latitudes and 26-32 East longitudes are examined with strong motion records from 1983 to the present time. 721 acceleration records taken from 128 earthquakes with magnitudes equal or greater than 4.0 are taken into consideration with other earthquake parameters. Acceleration records taken from accelerometers which were installed at 87 different locations in Marmara region are used in this study. Local soil conditions are categorized according to average shear-wave velocity within 30 m depth. Together with other earthquakes occurred in this region, main shock and aftershock records taken from two destructive earthquakes occurred in 1999 are used in model studies for the region. Great number of records obtained for the first time in our country form a powerful data base. Statistical methods are applied to obtain attenuation relationship model by using data set that is prepared.

Therefore, a number of mathematical models are applied to obtain best statistical fit to peak ground acceleration and 5 % damped elastic spectral accelerations as a function of earthquake magnitude, distance and local site conditions. As a result, a up-to-date ground acceleration attenuation model is developed for Marmara region by using multiple regression method.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Üzerine güvenle ayağımızı bastığımız ve hareketsiz görünen yerküre, değişen frekans ve genliklerde sürekli bir titreşim halindedir. Öyle ki, bu titreşimlerin büyük çoğunluğu ancak özel olarak tasarlanmış ölçüm cihazları tarafından tespit edilebilirler. Bununla beraber, güçlü depremler sırasında insanları ve çevresini etkileyen can ve mal kaybına yol açacak güce sahip aktiviteler ise, kuvvetli yer hareketi olarak tanımlanmaktadır. Kuvvetli yer hareketleri akselerograflarla (ivmeölçer) ölçülmektedir. Ölçülen kayıtlar, akselerogram (ivme kaydı) olarak adlandırılır.

Bir deprem sırasındaki yerin titreşimi, deprem odağından çevreye yayılarak ve etkinliği zemin koşullarına bağlı olarak odaktan uzaklaştıkça azalmaktadır. Yer hareketi parametrelerinin teşhisi ve değerlendirilmesi, gerçek depremler sırasında ölçülmüş kuvvetli yer hareketi ölçümlerinin incelenmesini gerektirir (Housner, 1982). Diğer bir ifadeyle, yer hareketlerini tanımak, depremler sırasında doğrudan kaydedilen ve analiz edilen gerçek kuvvetli yer hareketlerinden elde edilir. Ancak, her yerde böyle bir kaydın alınmasını beklemek olanaksızdır. İstatistiksel regresyon teknikleri kullanılarak farklı kaynaktan ve farklı zemin koşullarında oluşan depremlerin ivme değerlerinin bir arada kullanılmasıyla, deneysel (ampirik) bağıntılar oluşturularak bir bölge için en büyük ivme değerinin tahmini yapılabilir (Reiter, 1990). Bu yüzden, yeryüzünün çeşitli bölgeleri için geçerli olacak ivme azalım ilişkileri (sönüm denklemleri) geliştirilmiştir.

Azalım ilişkileri, yer hareketi parametrelerinin odak noktasından uzaklaştıkça nasıl değişeceğini gösteren ve deneysel yollarla çıkarılan işlevlerdir. Dolayısıyla, M magnitudündeki bir depremin R odak mesafesinde yeryüzünün herhangi bir noktasında oluşacağı en büyük ivme değerini veren yer hareketi azalım ilişkilerine gerek vardır. Kuvvetli yer hareketinin uzaklığa bağlı olarak sönümünü ifade eden ilişkilerin değişik kullanım alanları vardır. Bunlardan bazıları deprem bölgeleri

haritaları, sismik tehlike analizleri, mikrobölgeleme çalışmaları, zemin sıvılaşması ve zemin tepki analizleridir. Bir çok araştırmacı, yeryüzünün çeşitli bölgeleri için geçerli olacak ivme azalım ilişkileri geliştirmişlerdir (Joyner ve Boore, 1981; Campbell, 1989; Joyner ve Boore, 1988; Fukushima and Tanaka, 1990; Abrahamson ve Litehiser, 1997b; Boore vd., 1997; Sadigh vd., 1997; Atkinson ve Boore, 2003). Bunun yanı sıra, Ülkemizdeki araştırmacılar tarafından 1976 yılından her bir çalışmanın yayınlandığı tarihe kadar ülkemizde oluşan depremlere ait ivme kayıtların bir bölümü kullanılarak Türkiye için önerilmiş sönüm denklemleri ( İnan vd., 1996; Aydan et al., 1996; Gülkan and Kalkan, 2002; Özbey et al., 2003; Ulutaş vd., 2003; Kalkan ve Gülkan, 2004; Ulusay et al., 2004; ve Beyaz, 2004) de bulunmaktadır. Türkiye’de ivme-ölçer istasyonlarının sınırlı sayıda olduğu dönemlerde alınan ivme kayıtlarının yetersizliği nedeniyle, genellikle yabancı araştırmacıların geliştirdikleri azalım bağıntıları kullanılmıştır. Ayrıca, aralarındaki sismotektonik benzerlikten dolayı farklı kabuk yapısına sahip bölgeler için türetilmiş bağıntı modelleri de Ülkemiz için tercih edilmiştir.

Bölgesel bazda yapılan bu çalışma, Türkiye’nin önemli deprem kuşaklarından olan ve Anadolu’yu D-B yönünde boydan boya kat eden, Kuzey Anadolu Fayı Sisteminin (KAFS) (Ketin, 1968) ana yapısal unsurlarından olan Kuzeybatı Anadolu kesimini kapsamaktadır. Bu kesim, genişliği 80-100 km’ye ulaşan bir zon oluşturur (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Barka, 1997; Armijo vd., 1999). Bölgede, KAFS’nin aktif ana fayları kuzey ve güney olmak üzere iki ana kola ayrılır. Bu iki ana kol dışında Adapazarı doğusunda yer alan Hendek ve Çilimli fayları da KAFS içindeki aktif faylardır (Koçyiğit vd., 1999b; Emre vd., 2000). Kuzey Anadolu Fay Sistemi, yaklaşık 1600 km uzunlukta sağ yönlü doğrultu atımlı transform nitelikli aktif bir levha sınırır (Şengör, 1979).

Bu çalışmada, kuvvetli yer hareketi kayıtları hangi jeolojik koşul, tektonik oluşum ve kaynak zonunda alındıysa, kayıtların alındığı zemin şartlarının etkisini bir dinamik parametre (kayma-dalgası hızı gibi) ile eşleştirdikten sonra, diğer bazı belirleyici parametrelerle birlikte bölgenin kendine özgü deprem tepkisinin analiz edilmesinin daha uygun olacağı öngörülmüştür. Bu bağlamda, sismik aktivitesi yüksek bu bölgedeki diri fay hatlarının, mesafeye bağlı olarak uzaktaki yapılara etki edecek



deprem yükünün tespiti ve dolayısıyla hasara neden olacak kesme kuvvetinin etkisi, bölgeye özgü geliştirilecek sönüm denklemi yardımıyla gerçek değerine yakın olarak tahmin edilebilir.

Özellikle, 1999 yılında Marmara Bölgesinde meydana gelen iki büyük depremden sonra yürürlüğe giren yasa ve yönetmelikler gerek depreme dayanıklı yapı tasarımı ve gerekse zemin dinamiği çalışmalarında kullanılan deprem parametrelerinin sağlıklı bir şekilde ortaya konması gerektiğini bir kez daha ön plana çıkarmıştır. Bölge için, yüksek duyarlılıkla geliştirilmiş bir azalım ilişkisinin ortaya konması, sismik tehlike analizlerinin daha sağlıklı yapılmasına, zeminlerle ilgili sınıflama, zemin büyütmesi çalışmaları, yapılardaki taban kesme kuvvetinde kullanılacak yatay yer ivmesi değerlerinin güvenilir şekilde elde edilmesine yarayacaktır.

Ayrıca, deprem yüklerinin gerçek değerlerine yakın olarak tahmin edilmesi ekonomik olarak da ciddi yarar sağlamaktadır. Örneğin, ülkeler için stratejik öneme sahip viyadük, tünel, baraj ve santraller gibi yerüstü veya yeraltı mühendislik yapıların bu önemli tasarım parametresinin doğru kestirilmesi uzun yıllar güvenle hizmet vermesini sağlar. Bu yapılara gelecek deprem yüklerinin gerçek değerinden yüksek hesaplanması, inşaatlarda gereğinden fazla malzeme kullanılmasına ve dolayısıyla gereksiz ekonomik kayıplara neden olacaktır. Bununla beraber, deprem yükünün gereğinden az alınarak hesaplamaların yapılması da, yapıların küçük bir sismik olayla yıkılmasına ve ekonomik kayıplara uğramasına neden olmaktadır.

Geçmişte tahrip edici depremler olduğu gibi, gelecekte de insanlığın sürekli beraber yaşamak zorunda kalacağı ve değiştiremeyeceği bu doğa olayı kaçınılmazdır. Ancak, depremlerin yıkıcı etkilerinden korunmak veya deprem hasarını en aza indirmek mümkündür. Başlıca korunma yolu yerel zemin koşulları ve muhtemel deprem yüklerinin doğru teşhis edildiği alanlara, depreme dayanıklı yapılar yapmaktır. Deprem tehlikesi belirlemede en önemli dinamik parametreyi ise, depremin ivmesi teşkil etmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan taban kesme kuvvetinin iki önemli ögesinden biri, zemin yüzeyindeki yatay yer ivmesidir. Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınan parametrelerden, etkin yer ivmesi

katsayısının sağlıklı olarak belirlenmesi, inşaat yerinde beklenen maksimum yatay yer ivmesinin doğru bir şekilde tahmin edilmesine bağlıdır.

Bir bölgede en büyük yatay yer ivmesinin değerini belirleyen önemli parametreler; depremin büyüklüğü, kaynak zonu ve sığ kabuk yapısına bağlı heterojen yapıdır. Dünya genelinde veya farklı bölgelerde yapılan deneysel çalışmalar, bir ülkenin herhangi bir küçük bölgesi için çok iyi sonuç vermesi beklenmez. Bu yüzden daha güvenilir sonuçlara ulaşılması için bölgesel bazda deprem enerjisi sönümü ya da diğer bir deyişle ivme-azalım ilişkilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Dünya genelinde yapılan araştırmalardan, bölge sathında geliştirilen azalım ilişkileri çok sınırlıdır. Bunun en önemli nedeni yeterli deprem verisi olmamasıdır. Ülkemizin bu bölgesinde (Marmara) deprem kayıt ağı, diğer bölgelere göre oranla çok daha yoğundur. Bununla beraber, önemli sismik potansiyele ve aktiviteye sahip bölgenin, özellikle 1999 yılında meydana gelen ana şok ve artçı şok depremlerle zengin bir deprem veri kütüğü oluşturulmuştur. Bu veri setiyle, bölgenin kendine özgü ve daha tutarlı bir değerlendirmesi ümit verici olmuştur. Bu tür araştırmalarda güçlü veri kaynağı ve verilerdeki temsil dağılımı çok önemlidir. Verilerdeki nitelik, örnek dağılımı ve temsil sayısı çoğaldıkça, yapılacak değerlendirmenin de gerçeğe yaklaşması o oranda artacaktır. Bu açıdan, bölgeden alınan verilerle bölge için yapılacak bir değerlendirmenin, diğer genelleştirilmiş değerlendirmelerden daha isabetli olacağı kanaati oluşmuştur.

Bu çalışma kapsamında, Marmara Bölgesinde farklı kurumlar tarafından (Deprem Araştırma Dairesi, Kandilli Rasathanesi, İTÜ) işletilmekte olan ivme-ölçer ağlarından elde edilen ivme değerleri kullanılmıştır. Kayıtların önemli bir bölümü, 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinin ana şok kayıtları ve artçı şokları sırasında kayıt alan geçici istasyonlardan alınan verilerdir. Bölgede günümüze kadar kaydedilen ve bir çoğu ilk defa bu çalışmada kullanılan artçı deprem kayıtlarıyla beraber bir veri seti oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan bütün sismik olaylara ait parametreler yeniden incelenmiştir. Bütün depremlerin büyüklüğü moment magnitüd ( $M_w$ ) ölçeğine dönüştürülmüştür. Bölgede, günümüze (Mayıs, 2007) kadar kaydedilen ve ilk defa bu çalışmada kullanılan deprem kayıtları yer almaktadır.

Moment magnitüdü  $M_w \geq 4.0$  olan 128 adet depremden, diğer deprem parametreleriyle (tarih, zaman, koordinat, derinlik vb.) beraber, pik ivme değeri genellikle kayıtçılar için eşik değer olarak öngörülen  $1 \text{ cm/sn}^2$  üzerindeki toplam 721 kadar ivme kaydından oluşan bir katalog oluşturulmuştur. İvme değerleri, zemin koşulları ( $V_{S30}$ ) ile ilişkilendirilmiş katsayılarla beraber analiz edilmiştir. En büyük yatay yer ivmesinin (PGA); depremin büyüklüğü, uzaklık ve yerel zemin koşullarının bir fonksiyonu olarak en iyi istatistiksel uyumu sağlamak için birkaç matematiksel yaklaşıma gidilmiştir. Çoklu regresyon analiz yöntemi kullanılarak Marmara Bölgesi için güncel bir deprem ivme azalım ilişkisi bağıntısı geliştirilmiştir. Bölgeye özgü geliştirilen bu azalım ilişkisi, yerli ve yabancı sönüm denklemleriyle karşılaştırılmış ve güvenilir sonuçlar alınmıştır.

## **BÖLÜM 2. BÖLGENİN TEKTONİK KONUMU VE SİSMİSİTESİ**

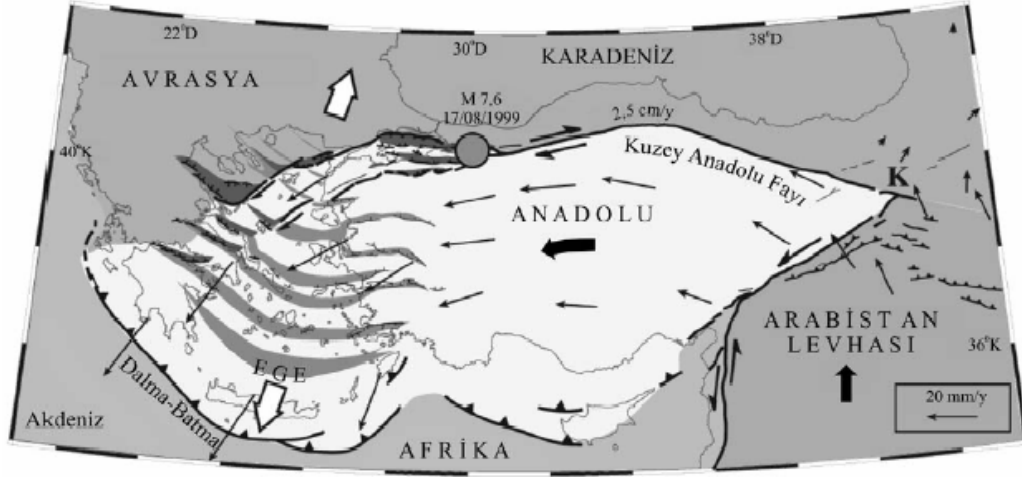
### **2.1. Türkiye'nin Plaka Tektoniği Ve Depremselliği**

#### **2.1.1. Tektonik**

Türkiye, Akdeniz'den Asya'ya B-D doğrultusunda uzanan Alp-Himalaya orojenik sisteminin Akdeniz'deki bir parçasıdır. Alp orojenezi, Avrupa ve Asya arasındaki sıkışma hareketinin, Himalaya orojenezi ise Hindistan-Asya çarpışmasının birer sonucudur. Türkiye'deki neotektonik dönem, Geç Miyosen'de Arap Levhası ile Anadolu Levhası arasında yer alan Neo-Tetis Okyanusu'nun güney kolunun Bitlis-Zagros Sütur Kuşağı boyunca kapanmasıyla başlamıştır (Şengör, 1979; Yılmaz, 1992; Görür, 1992). Arap Yarımadası, Anadolu Levhası ile çarpışmasının ardından, kuzeye doğru hareketine devam ederek Doğu Anadolu'nun sıkışmasına yol açmış, bu durum bölgede kıta kabuğunun sıkışarak yükselmesine ve kalınlaşmasına neden olmuştur. Anadolu Levhası bu sıkışma rejimini başlangıçta kalınlaşma ile karşılaşmışsa da daha sonra, daha serbest olan batıdaki alanlara doğru Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Transform Fayları boyunca kaçmaya başlamıştır. Bu iki fay boyunca batıya kaçan Anadolu Levhası burada Helenik yayının da etkisi ile genişlemiş, böylece Ege Graben Sistemi oluşmuştur (Şekil 2.1).

Türkiye'nin tektonik gelişimi, Afrika kıtasının kuzeye doğru olan hareketi sonucu Afrika ve Avrasya plakaları arasındaki Levantin Okyanusunun kapanıp kara haline gelmesiyle ilişkilidir (Ketin, 1973). Arap plakasının Afrika plakasına göre kuzeye doğru devam eden göreceli hareketi, Avrasya Plakasının güney bölümünde kısılma ve daralmaya neden olmuş ve Doğu Anadolu plakasının gelişmesine yol açmıştır. Bu hareketin yarattığı kısılıp-daralma, Avrasya plakasının güney kesiminin Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) olmak üzere iki büyük kırık boyunca parçalanarak Anadolu plakacığının oluşmasına neden olmuştur.

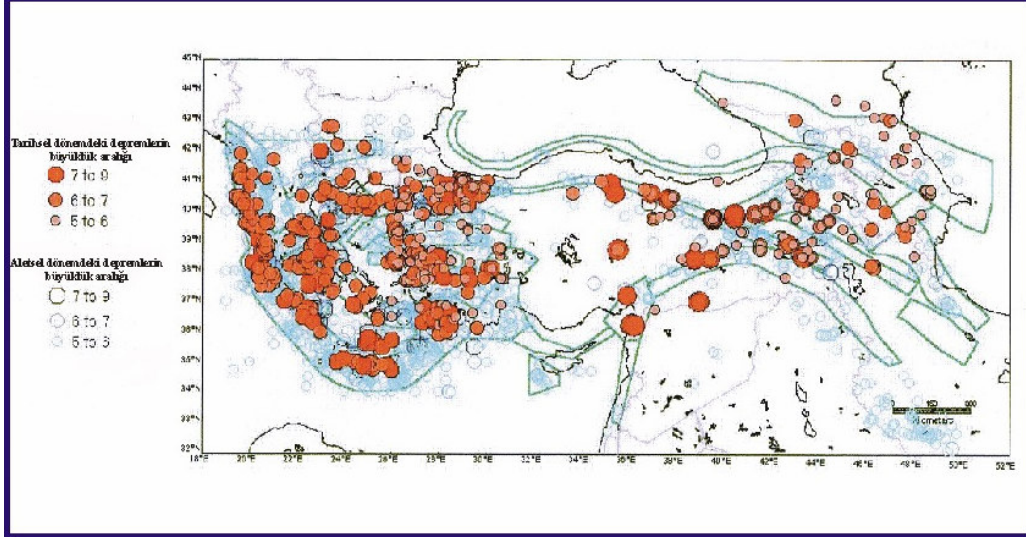
Anadolu plakacığı, yaklaşık 4 milyon yıldır KAFZ ve DAFZ boyunca 1-3 cm/yıl'lık bir hızla B-GB'ya doğru hareketini sürdürmektedir. Dolayısıyla bu iki fay zonu, günümüze değin ülkemizde meydana gelen pek çok deprem için birer deprem kuşağı olarak rol oynamıştır (Kasapoğlu vd., 1999).



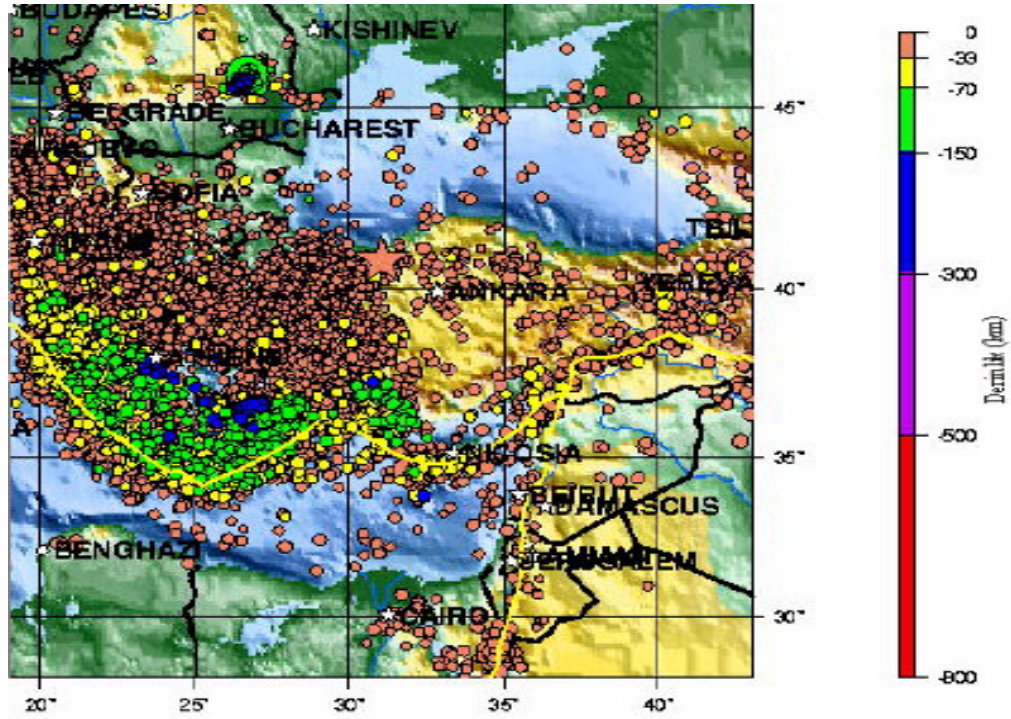
Şekil 2.1. Türkiye 'nin belirgin neotektonik yapıları (Armijo vd., 1999)

### 2.1.2. Depremsellik

Türkiye'de tarihsel ve aletsel dönemlerde meydana gelen ve büyüklüğü 5 ve 5'ten fazla olan depremlerin merkez üstlerinin dağılımı Şekil 2.2'deki haritada gösterilmiştir. Ayrıca, National Earthquake Information Center (NEIC) tarafından ülkemize ait deprem kayıtlarından derlenen ve 1975-1998 dönemini kapsayan veriler çerçevesinde büyüklüğü 3'ten fazla olan depremlerin merkez üstleri ve derinliklerini gösteren harita ise Şekil 2.3'te verilmiştir.



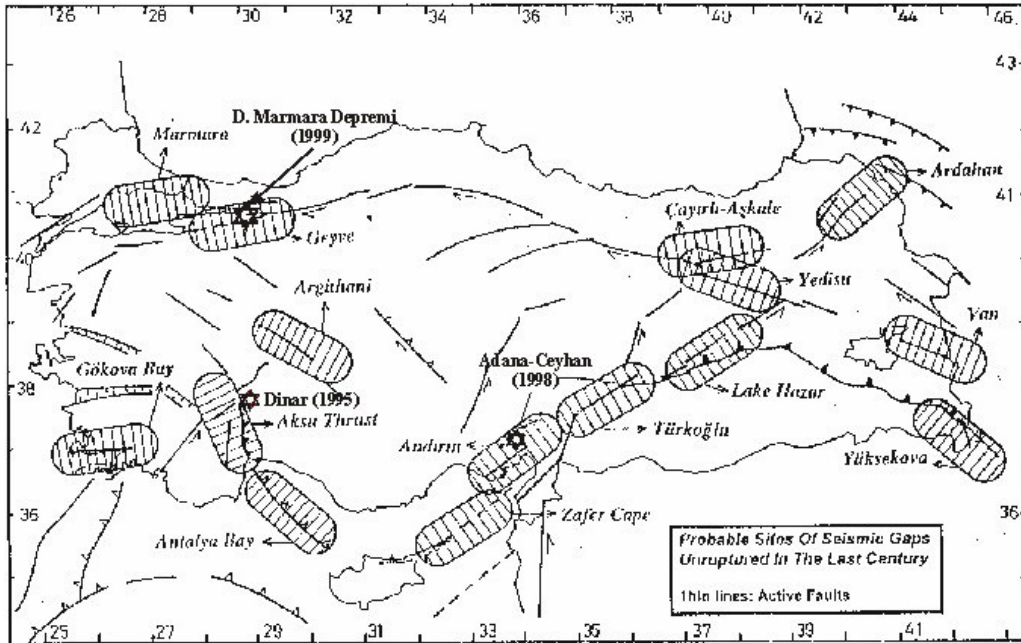
Şekil 2.2 Türkiye ve yakın civarındaki tarihsel ve aletsel dönemlerdeki depremlerin ( $M > 5$ ) dağılımı (Erdik vd., 1999' dan)



Şekil 2.3. 1975-1998 dönemi arasında Türkiye ve yakın civarında meydana gelen depremlerin merkez üslerinin dağılımı ve odak derinlikleri (NEIC'den)

Her iki haritadan da görüleceği gibi, merkez üstlerinin özellikle KAFZ ile Batı Türkiye'deki graben sistemi ve kısmen de DAFZ üzerinde yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Gerek KAFZ boyunca, gerekse Batı Anadolu'daki graben havzalarında deprem odaklarının 10 ile 20 km arasında değişen derinliklerde yer alması, bunların sığ odaklı olduklarını göstermektedir. Buna karşın, DAFZ boyunca meydana gelen depremler diğer bölgelerdekine oranla biraz daha derin odaklı olup, bu durum Arap plakası ve Anadolu plakacığı arasındaki bir yitim (dalım) zonunun varlığıyla ilişkilidir (Kasapoğlu vd., 1999).

1900-1995 yılları arasında yer alan aletsel dönemde ülkemizde meydana gelen depremlerin yer-zaman aralığı içerisindeki dağılımları (Şekil 2.4) incelendiğinde, tüm Türkiye'de kırılmaya uğramamış ve günümüzde zamansal bir boşluk modeli gösteren bölge sayısının muhtemelen 15 civarında olduğu anlaşılmaktadır (Demirtaş ve Yılmaz, 1996). Bunlardan konumları Şekil 2.4'de gösterilen üç sismik boşlukta 1995 Dinar, 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Doğu Marmara depremleri meydana gelmiştir.



Şekil 2.4. Aletsel dönemdeki depremlerin yer-zaman aralığı içerisindeki dağılımlarına göre belirlenmiş sismik boşlukların konumları ve 1995 sonrası oluşan büyük depremlerin lokasyonları (Demirtaş ve Yılmaz, 1996)

## 2.2. Marmara Bölgesinin Tektoniği Ve Sismotektoniği

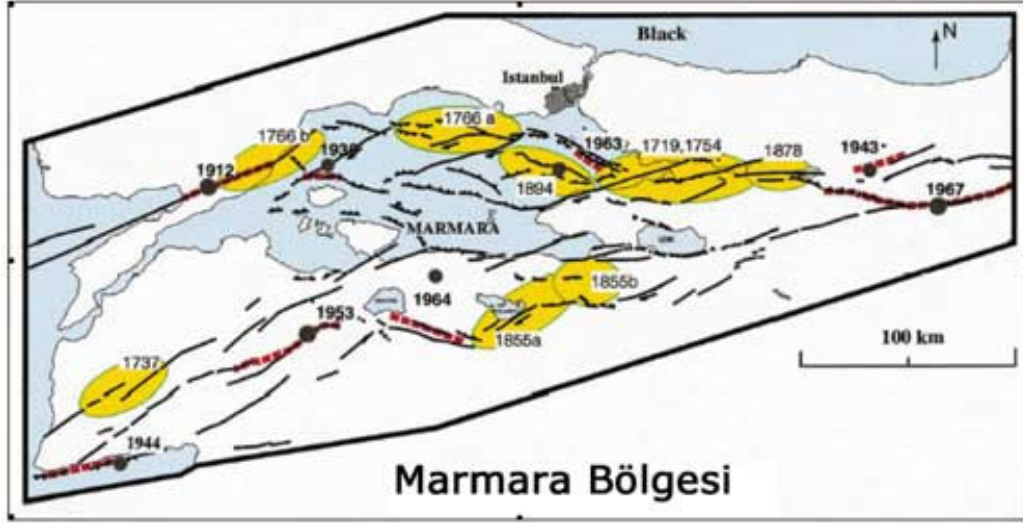
### 2.2.1. Marmara bölgesinin tektoniği

Başta İzmit Körfezi olmak üzere, Marmara Bölgesinin tektoniğinin araştırılmasına yönelik bugüne değin çok sayıda çalışma yapılmıştır (Barka ve Cadinsky-Cade, 1988; Bargu ve Yüksel, 1993; Koral ve Eryılmaz, 1995; Barka, 1997 ; Okay vd.,1999a). Bölgenin tektonizmasıyla ilgili pek çok husus açıklığa kavuşturulmuş olmakla birlikte, halen tartışmaya açık olan konular bulunmaktadır. Barka (1997)'nın, Marmara Bölgesi'nin güncel tektoniğini incelediği çalışmasında, bölgeye ait önceki araştırmaları özetleyerek, Kuzey Anadolu Fayı'nın Mudurnu Vadisi civarında üç kola ayrıldığını belirtmektedir. Bu kollar; İzmit'ten geçip Marmara Denizi ve Saros Körfezi boyunca Yunanistan'a kadar uzanan kuzey kol, Geyve, İznik, Mudanya, Bandırma ve Biga'yı izleyen bir hat boyunca merkezi kol ve Bursa, Manyas Gölü, Balıkesir üzerinden Edremit Körfezi'ne kadar uzanan güney koldur. Marmara Denizindeki çukurluklar ile Sapanca, İznik ve Manyas gölleri, KAFZ'na ait kolların doğrultu atımlı hareketiyle ilişkili olan çek-ayır (pull-apart) mekanizmasının ürünleri olarak değerlendirilmektedir.

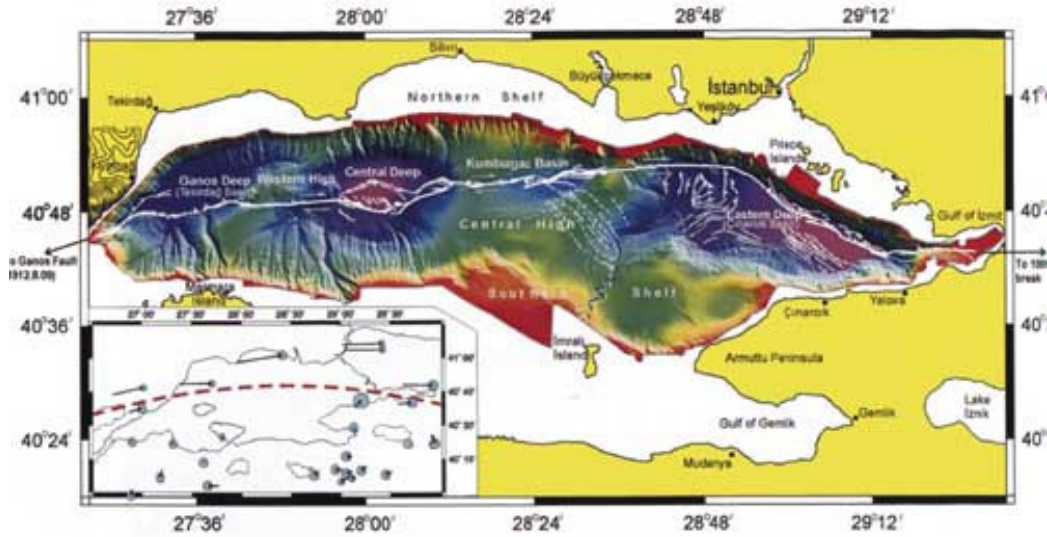
Kuzey Anadolu Fayı'nın batı alanlardaki gerilmeli tektoniği, Marmara Denizi'nin batimetri ile karşılaştırıldığında Marmara Denizi içerisindeki çukurlukların üç büyük çek-ayır havzaya karşılık geldiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu görüşten hareketle Marathon Oil firmasının yapmış olduğu ancak yayımlanmamış sismik kesitleri de kullanarak Barka ve Kadinsky-Cade (1988) Marmara Denizi'nin bir çek ayır havzalar dizisi şeklinde açıldığı görüşünü ileri sürmüşlerdir (Şekil 2.5). Buna bağlı olarak Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içerisinde çok parçalı bir yapıda olduğu ileri sürülmüştür.

Yakın zamanda Le Pichon vd. (2001) Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içerisindeki geometrisini Le Suroit gemisi ile elde edilen veriler ışığında yorumlamışlardır. Batimetri ve sismik yansıma profillerine dayanan bu araştırmaya göre Marmara Denizi'nin yapısı, Şekil 2.6'da gösterilmiştir.





Şekil 2.5. Marmara Denizi çevresinde Kuzey Anadolu Fayı'nın başlıca aktif kolları ve bu kollar üzerinde gerçekleşmiş tarihi depremler (Barka, 1997) Sarı alanlar 1700-1900 yılları arasında kırılan fay segmentleri ve etkiledikleri alanları göstermektedir



Şekil 2.6. Marmara Denizi'nin yapısı (Le Pichon vd., 2001)

Bu haritalara göre Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi'ne İzmit Körfezi doğusundan giren ana kolu Körfez çıkışında, Çınarcık Çukurluğu içerisine girmekte ve bu çukurluğu kuzeyden sınırlar bir şekilde, Adaların güney ve batısına kadar izlenmektedir. Çınarcık Çukurluğu'nun güneyinde Çınarcık-Yalova arasında uzanan

ve bilhassa 17 Ağustos Depremi'nin artçıları ile açık bir biçimde takip edilebilen fay bu haritada (sığ sularda çalışılmamış olmasından dolayı) görülememektedir. Bu fay ile Çınarcık Çukurluğu arasında ise az eğimli bir şelf bulunmaktadır (Okay vd., 2000).

Güney Şelf'in haritada izlenen en önemli unsurlarından biri de İmralı Adası'nın hemen batısından geçerek Çınarcık Çukurluğu'nun batısına uzanan ve bugün Marmara Denizi'nin suları altında kalmış bir nehir yatağıdır. Bu yatak Marmara Denizi'nin henüz olmadığı dönemlerde güney alanlardan kuzeye, olasılıkla Karadeniz'e kadar uzanıyordu. Nehir yatağının menderesli yapısı yatak eğiminin düşük olduğunu işaret etmektedir.

Adaların güneyinden sonra ana fay kolu dönerek doğu-batı uzanım kazanır. Yeşilköy açıklarındaki bu dönüş alanı kuzey-güney gidişli bindirme fayları ile karakterize edilir. Bu durum fayın dönüşünün burada sıkışmalı bir etki yarattığını işaret etmektedir.

Çınarcık Çukurluğu, batıda Orta Marmara Yükselimi ile sınırlanır. Bu yükselimin kuzeyinden devam eden ana fay, Kumburgaz Havzası'ndan geçerek batıdaki Orta Marmara Havzası'na (ya da çukurluğu) girer. İçerisi tutturulmamış yumuşak ve suya doygun çökellerle dolu olan bu çukurluk içerisinde fay diğer kesimlerdeki kadar iyi izlenememekte, çok sayıda küçük faylar şeklinde izlenmektedir. Le Pichon vd. (2001) nin makalesinde bir kısım yazarlar burada fayın tek parça olduğunu belirterek fayın saçılmasının havzayı dolduran çökellerin yapısından kaynaklandığını kabul etmişler, aynı makalenin yazarlarından bir kısmı ise bu yoruma katılmamışlardır. Bu yazarlara göre fay burada farklı segmentlerden oluşmaktadır.

Orta Marmara Havzası'nın batı sınırını oluşturan Batı Marmara Yükselimi'nde ana fayın izi son derece belirgindir. Burada sırtı keskin bir biçimde kesen fay batıya doğru Tekirdağ Havzası içerisine girer. Havzanın güneyinden geçen ana fay daha sonra karaya çıkarak Ganos dağlarının güneyinden Saros Körfezi'ne devam eder.

Yukarıda tanımlanan hali ile Marmara Denizi içerisindeki Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolu, 17 Ağustos 1999 depremini oluşturan fay ile 9 Ağustos 1912 Şarköy-Mürefte depremini oluşturan fayı birbirine bağlayan tek bir parça faydan oluşmaktadır. Bu fay üzerinde geçmişte yaşanan büyük depremler olmuştur. Bilindiği gibi Marmara çevresi 1509, 1766 ve 1894'te büyük depremlerden etkilenmişlerdir. Marmara Denizi içerisi ve çevresinde yapılan araştırmalar Marmara Denizi içerisindeki bu fayın da yakın bir zamanda kırılma olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir.

Kuzey Anadolu Fay Zonu, çok sayıda segment ile bu segmentleri oluşturan kademeli ve sağ yanal atımlı faylar tarafından temsil edilmektedir. KAFZ'nun Doğu Marmara Depremi'nde rol oynayan kuzey kolu, biri Sapanca-Gölcük segmenti, diğeri ise Karamürsel segmenti veya fayı olmak üzere iki segmentten oluşmaktadır (Koral ve Eryılmaz, 1995; Barka, 1997). Sapanca-Gölcük segmenti, Sapanca Gölü ile İzmit Körfezi arasında yaklaşık D-B doğrultusunda uzanırken, İzmit Körfezinden itibaren Gölcük civarında GB'ya doğru yön değiştirmektedir. Hava fotoğraflarından yapılan değerlendirmeler (Barka, 1997) ve Gölcük ile Hersek deltası arasında kalan kıyı çizgisinin çok düzgün olması (Koral ve Eryılmaz, 1995), KD-GB doğrultulu Karamürsel segmentinin Gölcük'ten itibaren kıyının çok yakınından geçtiği, ancak Hersek deltasının batısına kadar devam etmediği şeklinde değerlendirilmektedir (Şekil 2.5b). Karamürsel segmentinin kuzeyinde, Hereke'den başlayıp Marmara Denizi'nin içinden ve Hersek deltasının kuzeyinden Çınarcık'a doğru geçen, KD-GB doğrultulu Yarımca-Yalova segmenti yer almaktadır (Barka, 1997).

### **2.2.2. Marmara bölgesinin sismotektoniği**

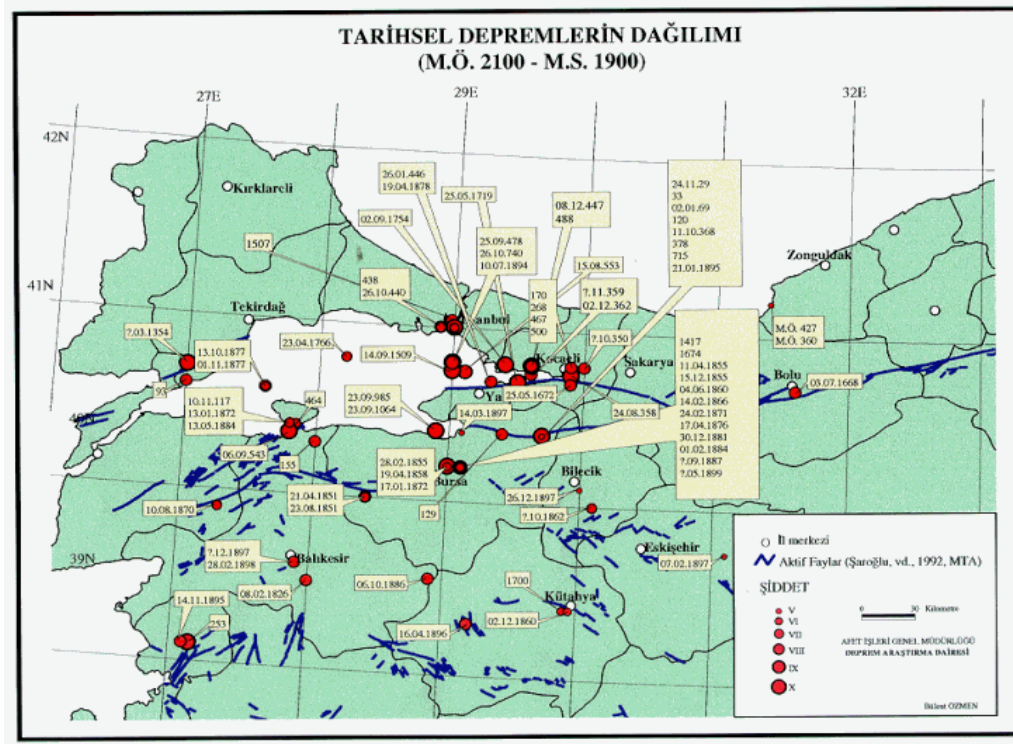
1997 yılında Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi tarafından yeniden düzenlenen Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, Marmara Bölgesi önemli ölçüde I. ve II. derecede tehlikeli alanları içermektedir. Bölgenin sismotektoniği çok sayıda araştırmaya konu olmuş ve bu araştırmaların sonuçları en son Üçer vd. (1997) ile Barka (1997) tarafından derlenip değerlendirilmiştir.

Şekil 2.7’de bölgede oluşmuş tarihsel depremlerin, Şekil 2.8’de ise aletsel dönem (01.01.1900 – 31.12.1997 yılları arasındaki depremler ISC kataloglarından, 01.01.1998 – günümüze kadar olan depremler ise DAD kataloglarından alınmıştır) depremlerin merkez üslerinin dağılımı gösterilmiştir. Her iki şekilde görülen merkez üstü dağılımından, depremlerin KAFZ’nun Doğu Marmara Depremi’ne neden olan kuzey kolu üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, kuzey kolunun diğer kollara oranla daha aktif olduğunun ve depremlerin 2000 yılı aşan bir süreden beri bu kol boyunca devam ettiğinin göstergesidir.

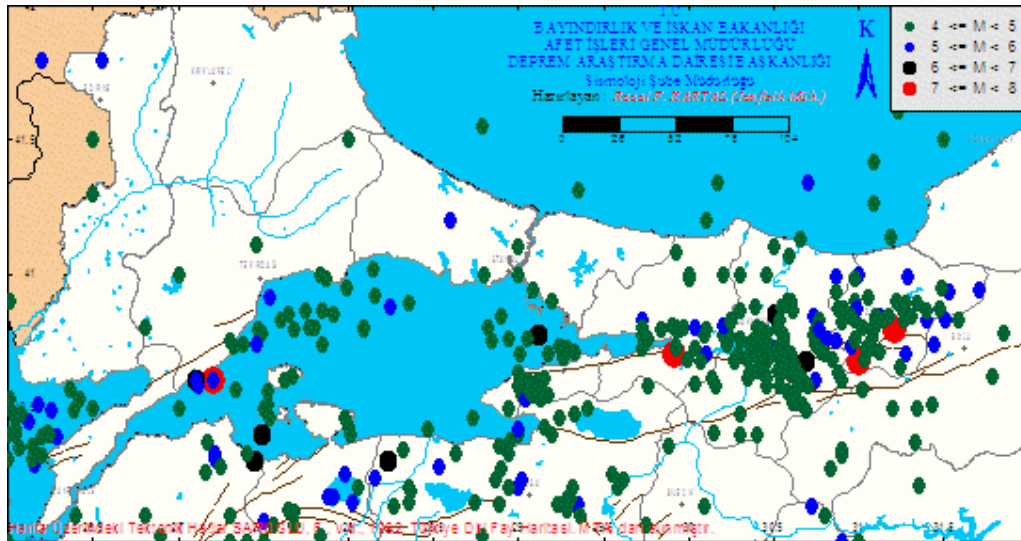
Marmara Bölgesi’nin doğu ve batı kesimlerinde meydana gelmiş olan bazı önemli depremlerin değişik araştırmacılarca yapılan fay düzlemi çözümleri Barka (1997) tarafından derlenmiş olup, bu çözümler, bölgedeki depremlerin önemli bir bölümünün sağ yanal atımlı bir faylanmayla meydana geldiğini göstermektedir.

Yüksel (1995), 1900-1986 yılları arasında Marmara Bölgesi’nde büyüklüğü  $M \geq 4.5$  olan toplam 119 adet deprem için yaptığı değerlendirmeye göre, bölgede meydana gelebilecek olası bir depremin açığa çıkaracağı enerjinin, büyüklüğü 6.5’ten yüksek bir depremin enerjisine eşit olacağını belirtmiştir. Barka (1997) ve Üçer vd. (1997), Marmara Bölgesi’nde düşük sismisiteye sahip üç alanın (Şekil 2.9) sismik boşluk olabileceğini belirtmişlerdir. Bunlardan en doğuda bulunan alanda 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi meydana gelmiştir.

Ayrıca, bu bölgedeki bir sismik boşluğun varlığı Toksöz vd. (1979) tarafından, 1999 depreminden çok daha önce Kuzey Anadolu fayı (KAF) üzerinde meydana gelen depremlerin zamansal ve alansal göçü dikkate alarak, İzmit körfezi bölgesinin 6.0 veya daha büyük bir depremin tehdidi altında olduğu belirtilmiştir. Gerek Toksöz vd. (1979)’nin aletsel dönemde meydana gelen depremlerin dağılımını ve gerekse en son Stein vd. (1997)’nin iki boyutlu elastik sınır eleman yöntemini esas alarak yaptıkları modelleme çalışmalarının sonuçları da KAFZ boyunca Sapanca ile Yalova arasındaki bölgede bir sismik boşluğun varlığını göstermiştir.

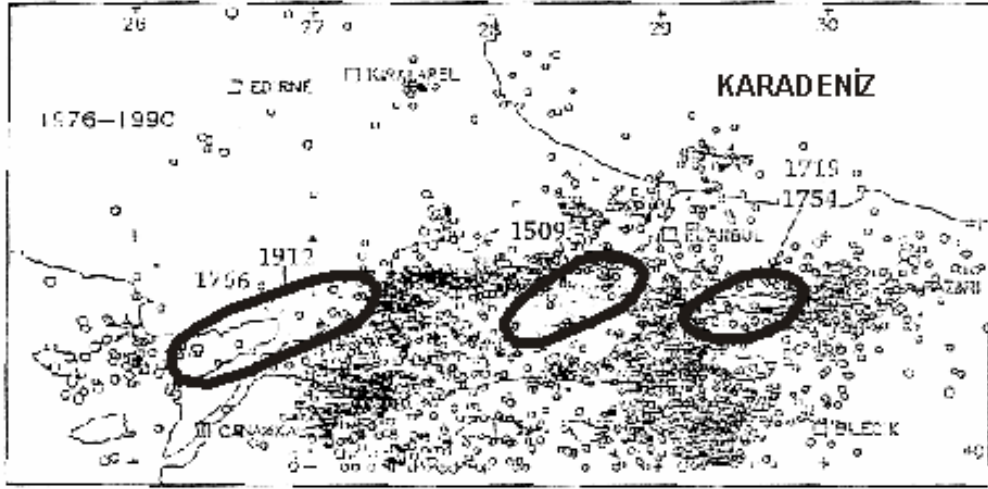


Şekil 2.7. Marmara Bölgesinde meydana gelmiş tarihsel depremlerin (M.Ö. 2000-M.S. 1900) dağılımı (Afet İşleri Genel Müdürlüğü)



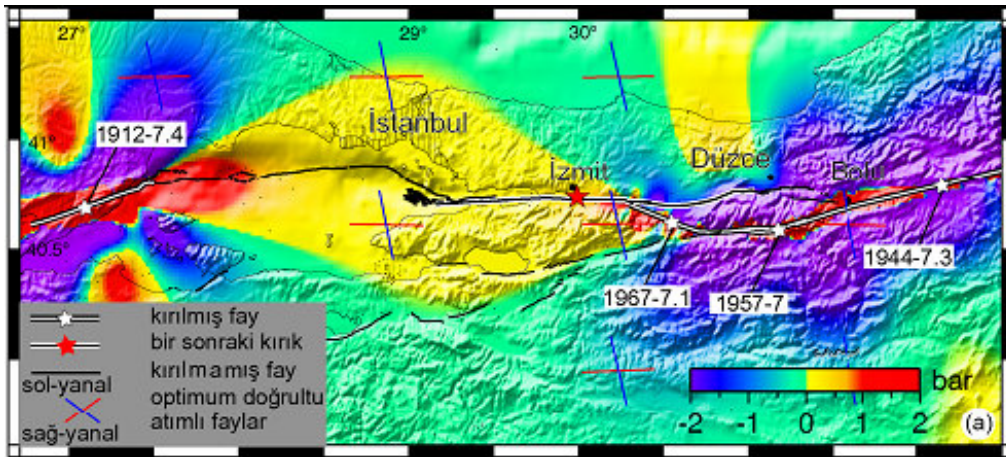
Şekil 2.8 Marmara bölgesindeki aletsel dönem depremlerin (01.01.1900 – 31.12.1997 yılları arasındaki depremler ISC kataloglarından, 01.01.1998 – günümüze kadar olan depremler ise DAD kataloglarından alınmıştır) dağılımı





Şekil 2.9. 1976-1990 arasında Marmara Bölgesi'nin sismisitesi ve önemli sismik boşluklarının lokasyonları (Barka, 1997'den)

Coulomb gerilme değişimi haritasından (Şekil 2.10), daha önce oluşan depremlerin Marmara denizi bölgesini, doğuda İzmit ve batıda Ganos ve civarı olmak üzere her iki taraftan gerdiği ortaya çıkmaktadır. 1999 öncesi depremler İzmit depremi merkezi civarında gerilmenin yaklaşık 0.3 bar artmasına neden olmuştur. Bu bölgede 1766 yılından beri (236 yıldır) büyük bir depremin olmadığı ve büyük depremlerin burada yaklaşık 250 yılda bir tekrarlandığı düşünüldüğünde (Ambraseys ve Finkel 1991; Ambraseys, 2001), Marmara bölgesi ve özellikle İstanbul yakın bir depremin ciddi tehdidi altındadır (Çakır vd., 2003).



Şekil 2.10. 1999 İzmit depremi öncesinde bölgedeki Coulomb gerilme dağılımı (optimum konumlu doğrultu-atımlı faylara ve 10 derinlikteki değişimlere göre hesaplanmış) (Çakır vd., 2003)

## **BÖLÜM 3. YER HAREKETİ PARAMETRELERİ VE ANALİZ TEKNİKLERİ**

### **3.1. Deprem Parametreleri**

#### **3.1.1. Deprem yeri**

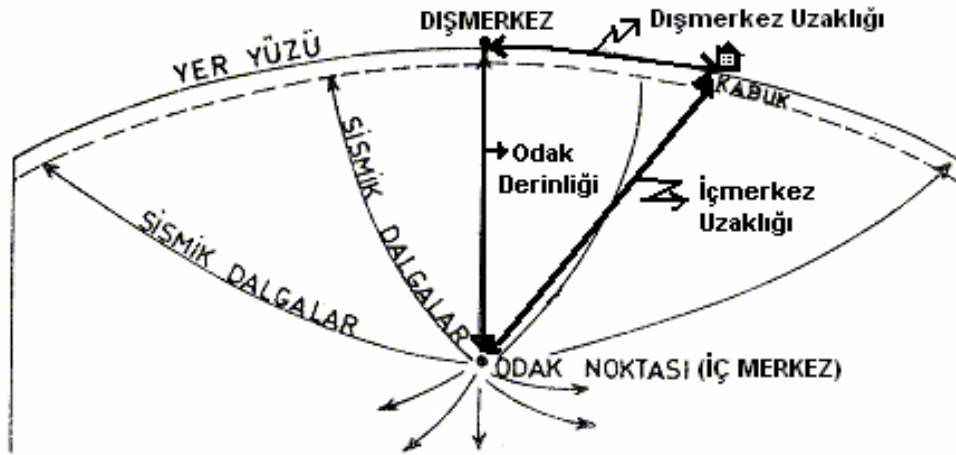
Bir depremin yerini tanımlamak için, kabul edilmiş tanımsal bir terminolojinin kullanılması gereklidir. Herhangi bir depremin tarif edilmesi ve anlaşılması için “Deprem Parametreleri” olarak tanımlanan bazı kavramlardan söz edilmelidir. Aşağıda kısaca açıklanan bu parametreler, Şekil 3.1’de verilen diyagram da gösterilmiştir. Depremler, faylar boyunca kayaların yenilmesiyle meydana gelmektedir ve yenilme fay düzlemi yüzeyinde binlerce km karelik alanı kaplayabilir, bir başlangıç noktası bulunmalıdır. Yırtılmanın ilk olarak başladığı ve sismik dalgaların açığa çıktığı noktaya odak veya içmerkez denir. Yırtılma, odaktan itibaren fay üzerinde 2 ile 3 km/s hızlarında yayılır (Bolt, 1989). Yırtılma yer yüzeyine kadar ulaşabilse de, odak yer yüzeyinden odak derinliği (veya içmerkez derinliği) mesafesi kadar aşağıda kalmıştır. Odağın yer yüzeyindeki izdüşüm noktasına dışmerkez denir. Bir gözlemci veya saha ile dışmerkez arasındaki uzaklığa dışmerkez uzaklığı; gözlemci ile odak arasındaki mesafeye ise odak uzaklığı veya içmerkez uzaklığı denir (Kramer, 1996).

Bir depremin yeri genellikle önce dışmerkezi cinsinden tanımlanır. Kesin olmayan dışmerkez tanımlaması sade ve kolay bir işlemdir fakat, kesin lokasyonun tespiti son derece karmaşık olabilir. Kesin olmayan lokasyon tanımlaması en azından üç sismograf istasyonuna ait P ve S dalgalarının göreceli geliş zamanlarına göre yapılır. Belirli bir sismograf istasyonuna ilk olarak gelen dalgalar, P dalgalarıdır. Çünkü bunlar S dalgalarından daha hızlıdır. Geliş zamanları arasındaki fark P ve S dalgalarının hızlarına ve sismograf istasyonu ile deprem odağı arasındaki uzaklığa

bağlıdır ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir:

$$d = \frac{\Delta t_{p-s}}{1/v_s - 1/v_p} \quad (3.1)$$

Burada,  $\Delta t_{p-s}$ : ilk P ve S dalgalarının geliş zamanları arasındaki fark ve  $v_p$  ile  $v_s$  de sırasıyla P ve S dalgası hızlarıdır. Kayada P dalgası hızı genellikle 3 ile 8 km/s arasında; S dalgası hızı da 2 ile 5 km/s arasındadır. Sadece bir sismograf istasyonu ile dışmerkez uzaklığını belirlemek mümkündür fakat dışmerkezin yönü bulunamaz. Bu sınırlı bilgi, dışmerkez uzaklığı yarıçap alınarak daire çizmek suretiyle grafiğe aktarılır. İkinci sismograf istasyonuna ait bilgi de grafiğe eklendiğinde dışmerkezin muhtemel lokasyonu iki dairenin arakesitindeki alana indirgenmiş olacaktır. Buradan anlaşılacağı gibi, dışmerkezin en muhtemel yerini tayin etmek için, üçüncü bir sismografa ihtiyaç vardır. Daha çok sayıda sismograftan yararlanarak ve yerin üç boyutlu sismik hız modeli ile birlikte sayısal optimizasyon tekniklerini kullanarak dışmerkez veya içmerkez lokasyonları daha da hassas bir şekilde tayin edilebilmektedir. Bu tekniklerin doğruluk derecesi; sismografların sayısı, kalitesi ve coğrafi dağılımı ile sismik hız modelinin doğruluk derecesine bağlıdır (Dewey, 1979).



Şekil 3.1. Deprem lokasyonunun tanımlanmasında kullanılan notasyon



### 3.1.2. Depremi şiddeti

Herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Bu etki, depremin büyüklüğü, odak derinliği, uzaklığı yapıların depreme karşı gösterdiği dayanıklılık gibi parametreler ile değişkenlik göstermektedir. Şiddet depremin kaynağındaki büyüklüğü hakkında doğru bilgi vermemekle beraber, deprem dolayısıyla oluşan hasarı yukarıda belirtilen etkenlere bağlı olarak yansıtır.

Depremin şiddeti, depremlerin gözlenen etkileri sonucunda ve uzun yılların vermiş olduğu deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan "Şiddet Cetvelleri"ne göre değerlendirilmektedir. Deprem şiddet cetvelleri, depremin etkisinde kalan canlı ve cansız her şeyin depreme gösterdiği tepkiyi değerlendirmektedir. Önceden hazırlanmış olan bu cetveller, her şiddet derecesindeki depremlerin insanlar, yapılar ve arazi üzerinde meydana getireceği etkileri belirlemektedir.

Ayrıca depremin şiddeti, kuvvetli yer hareketinin düzeyini belirlemede, deprem etkilerini karşılaştırmada ve deprem kayıplarını tahmin etmede kullanılabilir. Kuvvetli yer hareketi kayıtçılarının geliştirilmesinden önceki dönemlerde meydana gelen depremler için, şiddet verilerinden yararlanarak ivme değerleri tahmin edilebilmektedir. Bunun için, çok sayıda şiddet-ivme ampirik ilişkileri ( Trifunac ve Brady, 1975a; Krinitzsky ve Chang, 1978) geliştirilmiştir. Şiddet tahminleri sonucu oluşturulan eş-şiddet haritalarından yararlanarak uzaklığa bağlı olarak sarsıntının dağılımı kestirilebilir. Bu tahminler, Şiddet Cetveli'ndeki derece tanımına uygun olarak değerlendirilmektedir.

Günümüzde kullanılan batılıca şiddet cetvelleri değiştirilmiş "Mercalli Cetveli (MMI)" ve "Medvedev-Spoonheuer-Karnik (MSK)" şiddet cetvelidir. Her iki cetvelde de XII şiddet derecesini kapsamaktadır. Şiddeti VI-XII arasındaki depremler, yapılarda meydana getirdiği hasarlar, arazide oluşturduğu kırılma, yarılma ve heyelan gibi bulgulara dayandırılarak değerlendirilmektedir.

### 3.1.3. Deprem büyüklüğü (magnitüdü)

Deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin doğrudan doğruya ölçülmesi olanağı olmadığından, Prof. C. Richter tarafından 1930 yıllarında bulunan bir yöntemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan "Magnitüd" tanımlanmıştır. Magnitüd, yer sarsıntısının, sismik cihazlarla ölçülen bazı özelliklerine dayanarak tanımlanmasıdır (Richter, 1958; Kramer 1996).

Deprem büyüklüğü hesabı için birbirinden farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler; depremin büyüklüğü ve uzaklığına göre deprem dalgalarında meydana gelen değişiklikleri kullanır. Depremin büyüklüğü hesaplanırken, mesafeye ve depremin büyüklük aralığına göre ölçeklendirilmiş yöntemlerden en uygun olanının seçilerek kullanılması gerekmektedir. Belirli bir yöntem belirli bir büyüklük aralığında ve belirli bir uzaklıktaki deprem için geçerliken, farklı büyüklük ve farklı uzaklıktaki bir deprem için daha farklı bir yöntemi kullanmak gerekir. Birbirinden farklı dalga özelliklerine göre geliştirilmiş yöntemler aynı deprem için uygulandığında, genelde farklı değerler elde edilir.

Bir depremin farklı ortamlarda ve dışmerkezden uzaklığına bağlı olarak meydana getirdiği birbirinden farklı hareket özellikleri göz önüne alınarak farklı büyüklük tanımlamaları yapılmış ve bu özelliklerine göre adlandırılmışlardır. Günümüze kadar birçok magnitüd tanımlaması yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

#### 3.1.3.1. Richter yerel magnitüdü ( $M_L$ )

1935 yılında Charles Richter güney California'daki sığ, yerel (dışmerkezi yaklaşık 600 km'den küçük) depremlerden bir magnitüd ölçeği geliştirmek için Wood-Anderson sismometresini kullanmıştır. Richter, günümüzde yerel magnitüd olarak bilinen büyüklüğü, deprem dışmerkezinden 100 km uzaktaki bir Wood-Anderson sismometresinde (mikron cinsinden) kaydedilmiş maksimum genliğin (10 tabanına göre) logaritmasını yerel (lokal) magnitüd ( $M_L$ ) olarak tanımlamıştır (Richter 1958, Båth 1973). Bu yöntem (Richter yerel magnitüd tanımlaması),  $M < 6,0$  ve 600 km'den daha yakın mesafede oluşan depremlerin büyüklüğünü belirlemek için

kullanılır. Richter yerel magnitüdü ( $M_L$ ) çok iyi bilinmesine ve yaygın olarak kullanılmasına rağmen deprem büyüklüğünü belirlemede her zaman için uygun bir ölçek olmadığı belirtilmektedir (Kramer, 1996).

### 3.1.3.2. Yüzey dalgası magnitüdü ( $M_S$ )

Yüzey dalgaları yakın istasyonlarda iyi gelişmezler. Depremin kaynağından yaklaşık 500-600 km veya uzak mesafelerde çok iyi gelişirler. Uzak (600-2000 km arası) mesafelerde özellikle cisim dalgaları sönümlenmekte ve saçılmaktadır. Bu durumda, yer hareketinde yüzey dalgaları daha baskın olmaktadır. Dolayısıyla, farklı bir magnitüd ölçeğine ihtiyaç duyulmuştur. Yüzey dalgası magnitüdü, genellikle derinliği 70 km'den daha sığ, uzak (yaklaşık 1000 km'den fazla), orta ve büyük ölçekteki depremlerin boyutunu tanımlamada kullanılır. Periyodu yaklaşık olarak 20 saniye olan Rayleigh dalgalarının yatay bileşenlerinin mikron cinsinden en büyük değerinin logaritması alınarak "yüzey dalgası magnitüdü" tanımlanmıştır (Gutenberg ve Richter 1936). Bu tür dalgalar yeryüzünde kaynaktan itibaren çok uzak mesafelere yayılabildiği için; uzak mesafelerde yapılan ölçümlerde daha güvenilir ve hassastır. Bu yöntem,  $M \geq 6,0$  olan (bazı araştırmacılara göre  $M \geq 5,5$  olan) depremleri ölçmek için geliştirilmiştir. Yüzey dalgası magnitüdü yaygın olarak kullanılan ölçeklerden birisidir. Yüzey dalgası kullanılarak magnitüd hesabı aşağıdaki denklem yardımıyla yapılmaktadır (Båth 1973):

$$M_S = \log \frac{a}{T} + 1.66 \log \Delta^0 + 3.3 \quad (T=20 \text{ s için}) \quad (3.2)$$

Burada; M: Depremin büyüklüğü, a: Rayleigh yüzey dalgasının yatay bileşeninin genliği, T: Periyod (10-30 s aralığında) ve  $\Delta^0$ : Oluşan depremin mesafesi (odak uzaklığı-derece olarak)'dır.

### 3.1.3.3. Cisim dalgası magnitüdü ( $M_b$ )

Derin odaklı depremlerin yüzey dalgaları çoğu zaman bunların yüzey dalgası magnitüdü ile değerlendirilmesine imkan vermeyecek kadar küçük olmaktadır. Cisim

dalgası magnitüdü (Gutenberg, 1945) P dalgalarının odak derinliğinden kuvvetlice etkilenmeyen ilk birkaç devrinin genliğine dayalı, dünyanın her tarafında kullanılan bir magnitüd ölçeğidir (Bolt, 1989). Cisim dalgası magnitüdü,

$$M_b = \log A - \log T + 0.01\Delta + 5,9 \quad (3.3)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada, A: mikron cinsinden P dalgası genliği ve T: P dalgasının periyodudur (genellikle yaklaşık olarak bir saniye). Cisim dalgası magnitüdü ayrıca periyodu bir saniye olan yüksek modlu Rayleigh dalgalarının genliğinden de bulunabilir (Nuttli, 1973). Bu işlemde elde edilen magnitüd,  $M_{bLg}$ , daha çok kıta içi depremlerini tanımlamada kullanılmaktadır (Kramer, 1996).

#### 3.1.3.4. Süreye bağlı magnitüd ( $M_D$ )

Bu magnitüd ölçeği, küçük ( $M < 5.0$ ) ve yakın (Uzaklık  $< 300$  km) depremler için kullanılmaktadır. Depremin büyüklüğü arttıkça, sismometre üzerinde daha uzun süre salınımlar oluşacağından, sismometre üzerinde ne kadar uzun süreli bir titreşim oluşturduğu ölçülür ve deprem kaynağının uzaklığı ile ölçeklenir. Özellikle de “rasathane sismolojisinde” magnitüdü belli olmayan depremlerin büyüklük tayininde, bölgenin sismik etkinliğinin araştırılmasında ve deprem kataloglarının oluşturulmasında önemlidir (Kalafat vd., 1998). Büyük bir depremin, sismometre üzerinde daha uzun süreli bir salınımına neden olacağı düşüncesinden hareketle geliştirilmiştir. Bu amaçla, deprem kaydındaki sinyalin genliği yerine, sinyalin süresi (duration) ölçülerek depremin magnitüdü tayin edilmektedir.

Uzun süreli depremler yüksek ivmenin ve yüksek magnitüd değerinin sebebidir (Richter, 1958). Ancak depremin büyüklüğü verilmeden, oluş süresinin verilmesi önemli bir eksiklik olacaktır. Deprem ne kadar büyük olursa olsun çok kısa süren depremler önemli hasar oluşturmayabilirler. Ancak, uzun süren depremler büyük hasarlar oluşturmaktadır. Yani, bir depremin oluşturacağı hasar süreye bağlı olarak artmaktadır.

Kırık/Fay uzunluğunun, magnitudü belirlerken kullanılan genliğe ait enerjinin dalga boyunu geçtiği hallerde; bu ölçekler doygunluğa ulaşır, gerçek büyüklüğü yansıtmaz ve yanılgılara neden olurlar (Kanamori, 1977). Akkargan vd. (2000)'ne göre, Gölcük (Kocaeli) 1999 depreminde, magnitud DAD tarafından önce süreye bağlı olarak hesaplanmış ( $M_d = 6.8$ ), ancak kırık boyu/uzunluğu 50 km'yi geçtiği için magnitud doygunluğu oluşmuş ve süre magnitudü gerçek büyüklüğü temsil edememiştir.

### 3.1.3.5. Moment magnitudü ( $M_w$ )

Bu büyüklük türü, diğer ölçeklere göre en güvenilir olanıdır. Bilim dünyasında, eğer bir deprem için moment büyüklüğü hesaplanabilmişse, diğer büyüklük türlerine gerek kalmadığı düşünülür. Belirleme açısından hepsinden çok daha karmaşıktır. Esas olarak depremin oluşumunun matematiksel bir modelinin yapılmasına karşılık gelir. Uygulamada, sadece belli bir büyüklüğün üzerindeki depremler için ( $M > 4.0$ ) Moment büyüklüğü hesaplanabilir (KOERI, 2006).

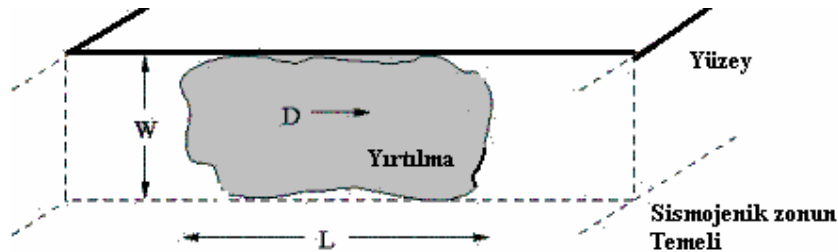
Deprem sonucu oluşan bir fayın boyutu, depremde açığa çıkan enerjiyle, dolayısıyla depremin büyüklüğü ile ilişkilidir. Bir depremde açığa çıkan enerji miktarı artarken yer sarsıntısının özellikleri her zaman aynı oranda artmamakta ve/veya cihaz ölçümlerine birebir yansımamaktadır. Bu duruma, 1960 San Francisco ve 1960 Şili depremleri güzel birer örnektir (Coduto, 1998). Her iki depremin yüzey dalgası magnitudü  $M_s$  8.3 olarak hesaplanmasına rağmen Şili depreminin yüzey kırığı, San Francisco depreminden daha büyük boyutta bir yırtılma gerçekleşmiştir. Dolayısıyla, açığa çıkan enerji miktarları da farklı olmuştur. Açığa çıkan enerji miktarlarına göre, San Francisco depremi  $M_w=7.9$ , Şili depremi ise,  $M_w = 9.5$  olarak hesaplanmıştır (Boore, 1977). Bu örnekte görüldüğü üzere, bazı magnitud türleri açığa çıkan enerjiyi tam olarak yansıtmamaktadır.

Kuvvetli depremlerde ölçülen yer sarsıntısı karakteristikleri küçük depremlerinkine kıyasla deprem büyüklüğüne daha az duyarlıdır. Bu özellik magnitud doygunluğu olarak adlandırılır. İlk kez Kanomori (1977) tarafından belirtilen magnitud satürasyonu (doygunluğu) görüşüne göre, klasik olarak genlik ve süre okumalarından saptanan magnitud ölçekleri ancak fay boyunun 5-50 km olduğu depremlerde gerçek

büyüklüğü temsil edebilirler. Aksi takdirde, yani fay boyunun, magnitudü belirlerken kullanılan genliğe ait enerjinin dalga boyunu geçtiği hallerde, bu ölçekler gerçek büyüklüğü satüre olmaları (doğunluğa ulaşmaları) nedeniyle, temsil etmekten uzaktırlar (Kanamori, 1977). Bunun nedeni, sismogram üzerinde okunan genliğin sınırlı band genişliğine sahip aletlerce kaydedilmiş olmasıdır. Ayrıca kaynaktaki orijinal genliğin, istasyona gelene kadar hareket ettiği ortamdan etkilendiği de söylenebilir. Bu nedenle kırılan fayın uzunluğunun 50 km'yi geçtiği depremlerde genlik ölçümüne dayalı magnitudü belirlenmesi yerine sismik moment kullanılarak moment magnitudünün hesaplanması en doğru yöntem olmaktadır.

Richter yerel magnitudü 6.0-7.0 arasında, yüzey dalgası magnitudü de  $M_S=8.0$  civarında doğunluğa ulaşmaktadır (Kramer, 1996). Çok büyük depremlerin boyutunu tanımlamak için, yer sarsıntısı özelliklerine dayalı olmayan ve sonuçta doğunluğa ulaşmayan bir büyüklük ölçüğünün tanımlanması gereklidir. Doğunluk problemi olmayan tek magnitudü ölçüğü moment magnitudüdür (Kanamori, 1977; Hanks ve Kanamori, 1979). Moment magnitudünün temelini oluşturan sismik moment fay uzunluğu ile ilişkili olup, diğer magnitudü türleri fay uzunluğuyla ilişkili değildir (Kanamori ve Anderson, 1975).

Moment magnitudünün faylanmanın boyutları konusunda verdiği bilgiler, saha verileri ile de uyumlu olmaktadır (Şekil 3.2). Moment magnitudü, günümüzde hasar analizlerinde sıkça kullanılan azalım ilişkileri, şiddet dağılımlarının kestirilmesi gibi çalışmalarda esas parametre olarak tercih edilmektedir.



Şekil 3.2. Moment magnitudü hesabı için örnek model

Son yıllarda sismolojik amaçlı çalışmalar ve ağlarda meydana gelen ilerlemeler ile veri işlem tekniklerindeki gelişmelerle birlikte Moment Magnitüd kullanımı yaygınlaşmıştır. Fay ortamı, sismik moment ve moment magnitüdü sırasıyla aşağıda verilen bağıntularla hesaplanır (Kanamori ve Anderson, 1975; Kramer, 1996).

$$A = L * W \quad (3.4)$$

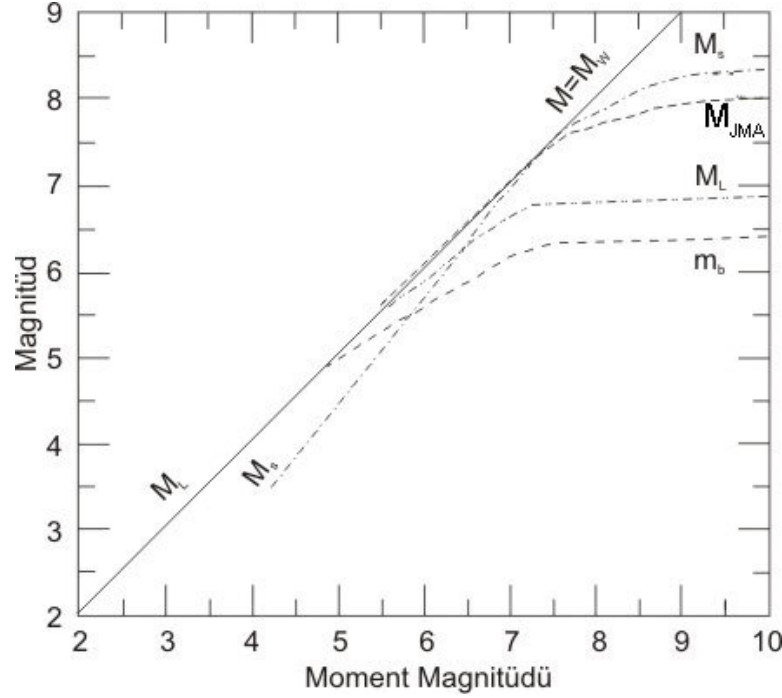
$$M_0 = A * \mu * D, (\mu = 3 * 10^{11}) \quad (3.5)$$

$$M_w = (2/3 * \log M_0) - 10.73 \quad (3.6)$$

Burada; D = Ortalama ötelenme miktarı (cm),  $\mu$  = Rijidite (dyne/cm<sup>2</sup>), A = Faylanma alanı (cm<sup>2</sup>), L = Yüzey kırığı (km), W = Kırılma derinliği (km), M<sub>0</sub> = Sismik moment (dyne.cm), M<sub>w</sub> = Moment magnitüdü (birimsiz) ifade etmektedir.

Keilis-Borok (1960) ile Julian ve Anderson (1968) tarafından P ve S dalgası spektrumlarından yararlanılarak öne sürülen bağıntularla (Aki, 1966; Hanks ve Wyss, 1972), frekans grafiklerinde köşe frekansı kullanılarak (Papageorgiou ve Aki 1983a; Papageorgiou ve Aki, 1983b) frekans grafiğinin eğimli kısmına ve düzleştiği ya da düzleşmeye başladığı yerlere çizilen doğruların kesişme noktası belirlenerek, son yıllarda elde edilen bilimsel bulgulara dayanılarak (Boore, 2002; Boore, 2003) ve deprem kayıtlarındaki pik yatay hız değerini temel alan bağıntular kullanılarak (Mahdyiar vd., 1986) veya köşe frekansı ile ilişkili olarak geliştirilen nomograflar yardımıyla (Mahdyiar, 1987) sismik moment değeri hesaplanabilmektedir. Bu nedenle  $M \geq 4,0$  olan depremler için de sismik moment değerini hesaplamak mümkündür.

Deprem büyüklüğünü ifade etmek için kullanılan M<sub>L</sub>, M<sub>b</sub>, M<sub>S</sub> ve M<sub>d</sub> ölçekleri depremlerin büyüklüklerini karşılaştırmak için bir fikir verir. Ancak, en anlamlı büyüklük tanımlaması sismik moment (M<sub>0</sub>) ile yapılandır. Bir fay boyunca meydana gelen kırılma, bir kuvvet çifti oluşturan eşit ve zıt yönlü iki kuvvetin/kuvvet çiftinin momenti olup, sismik moment olarak tanımlanır (Kanamori and Anderson 1975). Çeşitli magnitüd türleri arasındaki ilişki ve magnitüd ölçeklerinin doygunluğu Heaton vd. (1982) tarafından grafik olarak ifade edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Değişik magnitüd türleri arasındaki ilişki ve magnitüd ölçeklerinin doygunluğu ( $M_w$ : Moment magnitüdü,  $M_s$ : yüzey dalgası magnitüdü,  $M_L$ : yerel magnitüd,  $m_b$ : kısa periyodlu cisim dalgası magnitüdü ve  $M_{JMA}$ : Japon Meteoroloji Kurumu magnitüdü) (Heaton *vd.*, 1982)

### 3.1.4. Depremi enerjisi

Depremi nicelik olarak belirleyen en önemli fiziksel parametrelerden biri de depremin enerjisidir. Depremi enerjisi, genellikle yüzey dalgası magnitüdü ( $M_s$ ) ile istatistiksel ilişkilerle belirlenen bağıntı yardımıyla hesaplanır. Gutenberg ve Richter (1956) depremin enerjisi için aşağıdaki bağıntıyı geliştirmişlerdir:

$$\text{Log}E = 1.5 * M_s + 11.8 \quad (3.7)$$

Bağıntıdaki  $E$ 'nin birimi erg cinsinden ifade edilmektedir. Bu bağıntı ile, depremin büyüklüğündeki bir birim artışa karşın, sismik enerjide 32 kat artış görülmektedir. Büyüklüğü 7 olan bir depremin açığa çıkaracağı enerji, büyüklüğü 5 olan bir depremin enerjisinden 1000 kat daha fazladır. Hiroşima'ya atılan atom bombası (20.000 ton TNT'ye eşdeğer) enerji açısından, 6 büyüklüğündeki bir depreme karşılık gelen çarpıcı bir örnektir.



### 3.2. Kuvvetli Yer Hareketi

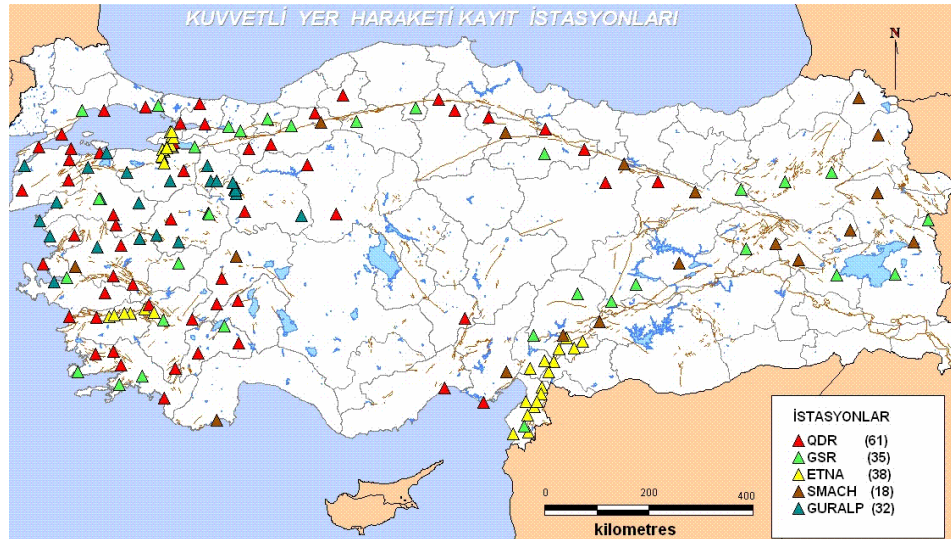
Kuvvetli yer hareketi disiplini, her tür yapıya depremle gelen ve hasar yapabilen kuvvetlerin ölçülmesi, özelliklerinin incelenmesi ve burada elde edilen verilerle depreme dayanıklı yapı yapma tekniklerinin geliştirilmesini amaçlar. Deprem yeryüzü üzerinde bir noktadaki etkisinin değerlendirilmesi, o noktadaki yer hareketi ivmesinin kaydedilmesi ile saptanır. Depremlerin oluşturduğu yer sarsıntılarının bilgileri elde etmeden, tehlikeleri gerçekçi bir şekilde değerlendirmek veya uygun sismik tasarım yöntemleri geliştirmek mümkün değildir (Kramer, 1996). Deprem sırasında yer hareketinin hiçbir değişikliğe uğratmadan kaydedilmesi ve yapılara gelen deprem kuvvetinin sayısal olarak saptanması, deprem-yer-yapı arasındaki ilişkiyi çok net belirlemekte ve depreme dayanıklı yapı tasarımında en önemli dinamik parametreyi oluşturmaktadır. Bu dinamik parametreler ise, duyarlılığı az olan ve büyük depremleri kaydedebilecek kuvvetli hareket kaydedicilerinden (akselerograf) yararlanarak elde edilmektedir.

Yakın alanda büyük depremleri kaydedebilen, zemin parametrelerinin ve depremlerde yapılara gelen yatay yüklerin bilinmesi için, 1930'lu yıllardan itibaren kuvvetli hareket kaydedicileri (ivme-ölçerler) geliştirilmeye başlamıştır. Kuvvetli yer hareketi genellikle ivme-ölçerlerle (akselerograflarla) ölçülür. Depremler sırasında yer hareketinin ivmesi ölçülür ve alınan kayıtlara da akselerogram (ivme kaydı) denir. İvme kayıtları,  $\text{cm/s}^2$  (gal) biriminde ölçülür ve yer çekimi ivmesi ( $g=981 \text{ cm/s}^2$ )'nin yaklaşık 1/1000'i değerine tekabül eder.

Yıkıcı yer hareketinin sağlıklı ilk ölçümleri, 10 Mart 1933 Long Beach (California) depremi sırasında kaydedilmiştir (Hudson, 1984). 1970'li yıllara kadar, dinamik aralığı (dynamic range) 50 dB olan ve optik kayıt sistemine sahip (ışığa duyarlı kağıt veya 35-70 mm film) analog kayıtçılar kullanılmıştır. Gelişen teknolojiye paralel günümüzde 135 dB gibi yüksek dinamik aralığına ve yüksek çözünürlüğe sahip üç bileşenli sayısal (digital) kayıtçılar geliştirilmiştir. Son yıllarda geliştirilen bu yüksek duyarlılıklı kayıtçılar sayesinde, küçük lokal depremler, artçı kayıtlar ve uzak mesafelerdeki depremler kaydedilebilir hale gelmiştir. Modern sayısal kayıtçılarla

0.1 cm/sn<sup>2</sup> ve daha küçük pik ivmeler ölçülebilmektedir. İnsanların hissedebileceği ivme değeri 1 cm/sn<sup>2</sup> olarak kabul edilmektedir.

Günümüzde bir çok ülkede farklı kaynaklardan sağlanan çok sayıda kuvvetli yer hareketi kayıtları mevcuttur. 2000 yılı itibariyle dünya genelinde 10.000 – 20.000 arasında kuvvetli yer hareketi kayıtçısı olduğu tahmin edilmektedir (Anderson, 2001). Türkiye de kuvvetli yer hareketi kayıt şebekesi 1973 yılından itibaren kurulmaya başlamıştır. Ülke genelinde, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi bünyesinde işletilmekte olan Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesinin halen 184 adet ivme kayıtçısı çalışır haldedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi bünyesinde işletilmekte olan Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi istasyon dağılım haritası (<http://angora.deprem.gov.tr> adresinden alınmıştır)

Bununla beraber, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli rasathanesi tarafından işletilen ve İstanbul metropolünde konuşlandırılmış 100 kadar kayıt istasyonu bulunmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi tarafından işletilmekte olan istasyon dağılım haritası ([www.koeri.boun.edu.tr](http://www.koeri.boun.edu.tr) adresinden alınmıştır)

### 3.2.1. Kuvvetli hareket kayıtlarının özellikleri

Bu çalışmada kullanılan veriler, Marmara bölgesinde çeşitli lokasyonlarda konuşlandırılmış, farklı kurumlarca işletilen ve teknolojik gelişimlerine göre farklılık gösteren 8 ayrı tür ivme-ölçerden alınmıştır. Bu aletler, sadece yer ivmesinin belirli bir tetik değerini geçtiği anda kayıt almaya başlar. Aletin ölçtüğü değer birimi  $\text{cm/sn}^2$  (gal) olup, yerçekimi ivmesi ( $g=981 \text{ cm/sn}^2$ )'nin kesri olarak kayıt alırlar (Çeken, 2000).

Günümüzde, analog ve sayısal olmak üzere üç bileşenli akselerograflar (ivme-ölçer) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde kullanılan bu tür cihaz envanterinin en eski modeli; Kinometrics firması (ABD) tarafından 1960 sonrası geliştirilen SMA-1 olarak adlandırılan kuvvetli hareket kayıtlarıdır. Bu kayıtlar, 70 mm'lik fotoğraf filmi üzerine kayıt alabilen üç bileşenli analog cihazlardır. Film üzerine kaydedilen deprem kaydı, özel geliştirilmiş yazılım tarafından sayısal hale getirilmektedir. Sayısal akselerografların ilk versiyonlarından olan SM-2; saniyede 128 örnek

alabilen, 72 dB duyarlıklılı, 3 eksenli jeofon tipi algılayıcısı (sensör), 12 bit dijital çeviricisi olan ivme-ölçerlerdir. SIG firması (İsviçre) tarafından geliştirilen cihaz, aldığı sayısal kaydı ve o andaki kayıtçının genel durum bilgileri, saat senkronizasyon bilgileri ile birlikte hafıza kartında (S-RAM, PCMCIA) saklı tutar. Belirlenen tetik seviyesini aşınca kayıt alırlar. Alınan kayıtlar, doğrudan (RS-232) veya uzaktan kontrol modem vasıtasıyla (dial-up) bağlantı sağlanarak transfer edilir. GSR-12, GeoSys tarafından (İsviçre), GSR serisi ivme-ölçerlerin 12 bit teknolojisi ile üretilmiş ilk versiyonudur. Değişik tetikleme seçenekleri seçimi (STA/LTA, Level) ile beraber aldığı kaydı hafıza kartında (SSM, PCMCIA) saklamaktadır. GSR-16 ve GSR-18, 16 ve 18 bit'lik dijital çeviricisi olan, aldığı kaydı hafızasına kaydettikten sonra, otomatik olarak belirtilen telefon numarasını modemi vasıtasıyla arayabilen, 3 eksenli güç dengeli (force-balance) algılayıcısı (sensör) olan, 120 dB duyarlıklılı ve GPS ile uyumlu ivme-ölçerlerdir. Kinematics'in ürettiği sayısal cihazların ilk versiyonlarından olan diğer bir model, 12 bit çözünürlüğe sahip SSA-12 olup, 100-200 örnekleme aralığında kayıt alabilmektedirler. ETNA ve K2 model (Kinematics) cihazlar, modern teknoloji ürünü olup yüksek çözünürlüğe (18 ve 24 bit), 108 ve 114 dB duyarlılığa ve yüksek depolama kapasitesine ( $\geq 85$  Mb) sahip, GPS ile uyumlu, RS-232, modem veya diğer iletişim araçlarıyla (Internet, uydu vb.) veri transferi sağlanabilmektedir. Örnekleme aralığı, 20-250 arasında opsiyonel olarak verilen değerler tercih edilebilmektedir. Diğer bir sayısal kayıtçı, AKASHI firması (Japon) tarafından üretilen Jep-6A3 cihazıdır. Üç bileşenli, jeofon tipi sensör ve 24 bit sayısal dönüştürücüye sahip ve GPS ile uyumludur.

### **3.2.2. Kuvvetli yer hareketi parametreleri**

Depreme karşı mühendislik tasarımda en önemli dinamik parametreyi yer hareketini ivmesi teşkil eder. Yer hareketinin ivmesi, deprem tehlike ve riskini belirlemede de en önemli unsurlardan biridir. Depremler sırasında kaydedilen yer hareketinin ivmesi, önemli mühendislik bilgileri içeren sinyallerdir. Bu sinyaller hareketinin genliği, frekans içeriği, süresi gibi yapıları etkileyen ve bir bakıma hareketin şiddetini temsil eden bir çok parametreyi ihtiva ederler. Bu parametrelerden bazılarına aşağıda yer verilmiştir.

### 3.2.2.1. Genlik parametreleri

Yer hareketinin tanımlanması genellikle zaman kayıtları yardımıyla yapılır. Deprem dalgalarının her bir kısmı belirli bir ivme değerine sahiptir. Deprem anında yerin hangi hız ve miktarla sarsıldığını belirlemek açısından ivme önemli bir kavramdır. Ancak, hareketin etkilerini tam olarak belirlemek için hız, yerdeğiştirme (ötelenme), güç ve tepki spektrumu gibi hareketle ilgili parametrelerin de belirlenmesi gerekir.

**Pik İvme:** Belirli bir yer hareketinin genliğini belirlemede en yaygın ölçü olarak en büyük yer ivmesi (PGA: peak ground acceleration) veya pik yatay ivme (PHA: peak horizontal acceleration) olarak ifade edilmektedir. Yaygın olarak kullanılan biçimiyle PGA, bir hareket bileşeni için çok basit olarak o bileşenin mutlak değer olarak en büyük genlik değeridir.

Depremi ani hareketi sonucu, yapılar bu harekete karşı kütlelerinin ataleti (durağanlığı) ile karşı koyar. Yatay ivmeler, atalet kuvvetleri ile olan doğal ilişkilerinden dolayı, genellikle yer hareketini tanımlamada sıkça kullanılır. Yer hareketinin yatay bileşenleri, yapılar üzerinde genellikle düşey ivmelerden (PVA: peak vertical acceleration) daha etkilidir. Yapılar, düşey ivmelerin ve yerçekimi ivmesinin yarattığı basınç gerilmelerine karşı yeterli dayanım gösterebildiği halde, yatay ivmelerin oluşturduğu kesme ve çekme kuvvetlerine karşı daha az dayanım gösterir.

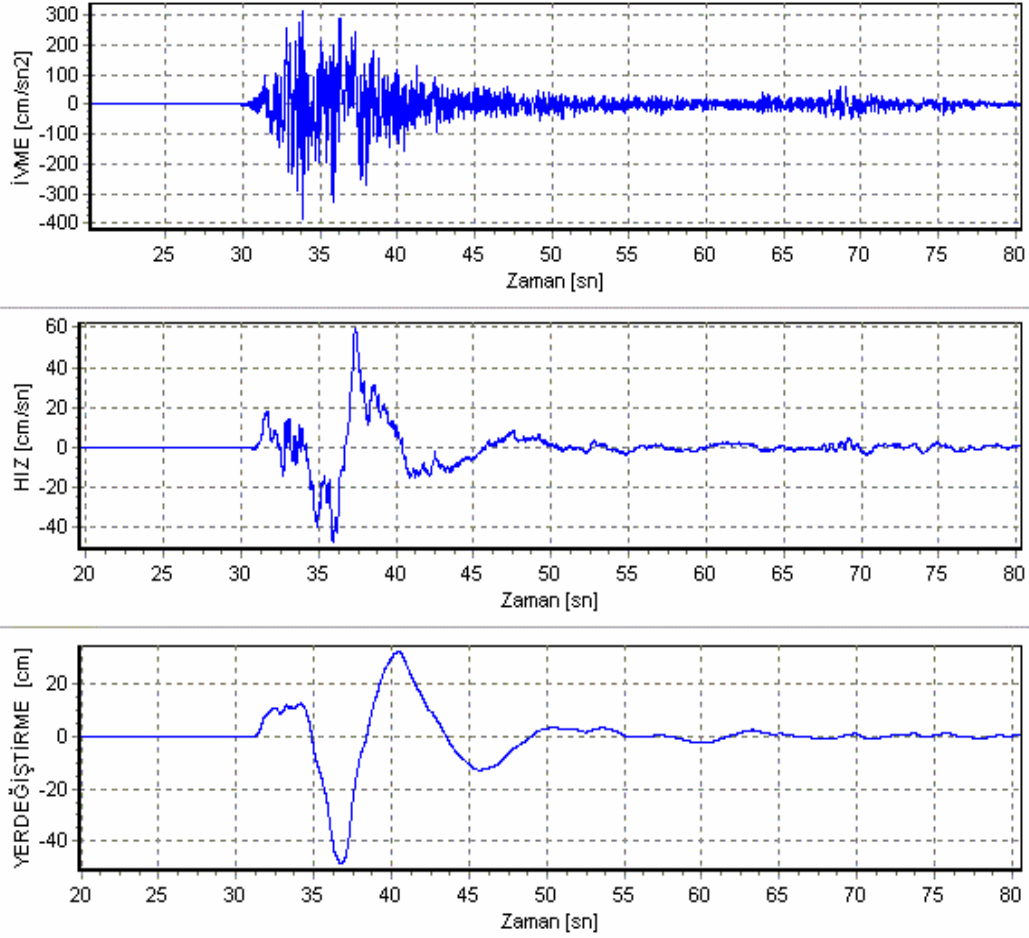
Mühendislik tasarımlarında pik düşey ivme PVA genellikle PHA'nın üçte ikisi kadar kabul edilmektedir (Newmark and Hall, 1982). Ancak son zamanlarda yapılan gözlemler PVA'nın PHA'ya oranının oldukça değişken olduğunu; orta ve büyük ölçekteki deprem kaynaklarının yakınında bu oranın üçte ikiden büyük ve daha uzak mesafelerde ise üçte ikiden küçük olduğunu göstermiştir (Campbell, 1985; Abrahamson ve Litehiser, 1989). Bu özelliklerden dolayı sönüm denklemleri oluşturulmasında pik yatay yer ivmesi daha çok tercih edilmektedir (Peng vd., 1985a; Peng vd., 1985b; Ambraseys vd, 1996; Dahle vd., 1995; Sadigh ve Egan, 1998; Ambraseys ve Douglas, 2000). Çok kısa süren yüksek pik ivmeler yapı türlerinde az hasara neden olabilir. Pik ivmeler çok yüksek frekanslarda olduğundan ve deprem

süresi de uzun olmadığından, çok sayıda deprem 0,5 g'den daha büyük pik ivmeler ürettiği halde yapılarda önemli bir hasara yol açmamıştır (Kramer, 1996).

**Pik Hız:** Yer hareketi genliğinin tanımlanmasında diğer önemli bir parametre de depremin pik yatay hızıdır (PHV). Hız, yer hareketinin yüksek frekans içeriğine daha az duyarlı olduğundan; orta frekanslardaki yer hareketinin genliği PHA'ya göre PHV ile daha iyi belirlenmektedir. Bu orta frekans aralığındaki yüklemelere karşı duyarlı yapı ve tesisler (yüksek veya esnek binalar, köprüler vb.) için potansiyel hasarı sağlıklı bir şekilde belirlemede PHV çok daha üstündür. PHV ayrıca deprem şiddeti ile deneştirilmiştir (Trifunac ve Brady, 1975; Krinitzsky ve Chang, 1988).

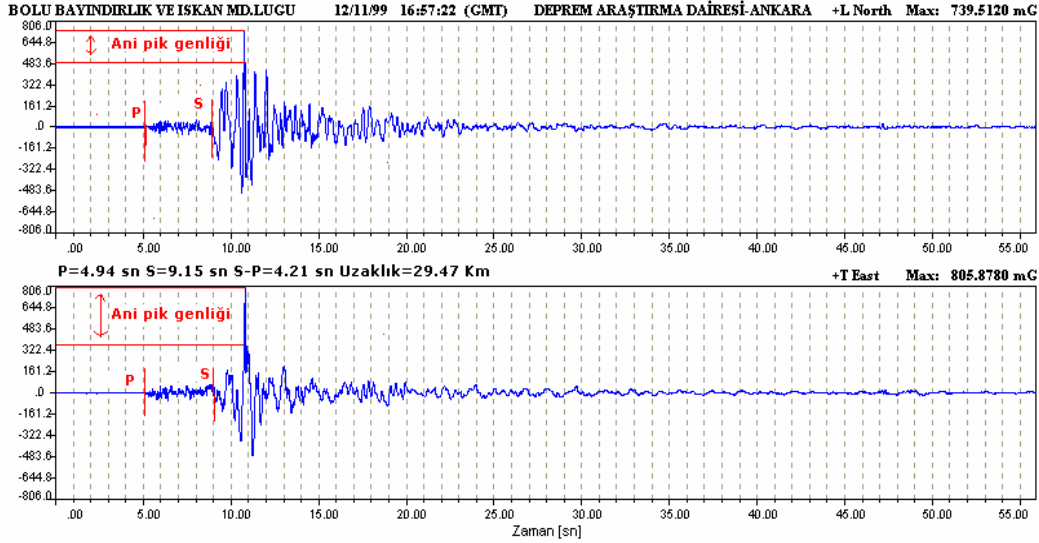
**Pik Yerdeğiştirme:** Pik ivme ve pik hızdan başka bir önemli yer hareketi parametresi de pik yer değiştirmedir. Pik yer değiştirme, bir deprem hareketinin genellikle düşük frekanslı bileşenleri ile ilişkilidir. Ancak, süzgeçleme ve akselerogramların integrali sırasındaki sinyal değerlendirme -hesaplama- hataları ve uzun periyodlu gürültüden dolayı doğru bir şekilde tanımlanmaları genellikle zor olmaktadır (Campbell, 1985; Joyner ve Boore, 1988). Yerdeğiştirme sonuçta yer hareketinin bir ölçüsü olarak pik ivme veya pik hıza göre daha az kullanılmaktadır (Kramer, 1996). Tipik bir yer hareketi tanımlanmasına ilişkin ivme, hız ve yerdeğiştirme zaman kayıtlarına ait dalga formları grafik olarak Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

**Efektif İvme:** Yukarıda belirtilen parametreler kolayca tanımlanabilir olsa da, zamana bağlı yer hareketi değişiminin içinde yalnızca bir döneme ait pik genliğini ifade etmektedirler. Yapılara depremle gelen ve hasar yapabilen yüklerin belirlenmesinde pik genlikler önemli parametreler iken, kimi zaman yapı hasarı daha ziyade yüksek genlikli dönemlerin birkaç kez tekrarını gerektirir. Bazı kayıtlarda ise, diğer dönemlere göre çok büyük olan tek devirli pik genlikler ile karakterize edilmektedir.



Şekil 3.6. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi sırasında Sakarya istasyonundan alınan kuvvetli yer hareketi kaydının doğu-batı bileşeni ivme, hız ve yerdeğiştirme dalga formları

Şekil 3.7’de Bolu kaydında görüldüğü üzere, tüm kayıt içinde diğer dönemlere göre oldukça büyük olan ve tek bir döneme ait olarak ani bir pik genlik oluşmuştur. Kayıt incelendiğinde, 0.08 sn içerisinde yaklaşık 0.48g’den 0.80g’ye ani pik (pulse) oluştuğu görülmektedir. Çok yüksek bir frekans içeren bu pikin bina hasarında ve ivme spektrumunda etkin bir değeri yoktur. Dalga formu bir bütün olarak ele alınırsa depremin ivmesini, kuvvetli S dalgasının 4 sn içerisinde tekerrür eden ve maksimum 0.48g’e varan genliğinin oluşturduğu görülmektedir (Çeken, 2000).



Şekil 3.7. 12 Kasım 1999 Düzce depremi (Mw:7.2) Bolu istasyonu kaydı yatay bileşenlerine ait ivme kayıtlarından görülen pik ivmeler, kuvvetli yer hareketinin genel karakteristiğini yansıtmamaktadır (Çeken, 2000)

Efektif tasarım ivmesi: Yüksek frekanslı büyük ivme pulslarının gerek ivme spektrumunda ve gerekse düşük doğal frekanslı yapılar üzerinde etkin bir değeri yoktur. Benjamin ve Associates (1988) yapılar üzerinde etkili olan efektif tasarım ivmesini, yüksek frekanslı büyük ivme pulsları çoğu yapılarda küçük bir tepkiye neden olduğundan dolayı, 8 ile 9 Hz'den büyük ivmeleri filtrelemek suretiyle geriye kalan pik ivmeler şeklinde tanımlamaktadırlar.

Efektif pik ivme: Applied Technology Council (1978), standart tepki spektrumlarının normalize edilmesinde kullanılan iki faktör tanımlamıştır. Efektif pik ivme (EPA) 0.1 ile 0.5 sn periyod aralığında 2.5 ile bölünen ortalama spektral ivme olarak tanımlanmıştır (%5 sönümlenme spektrumu için standart genlik faktörü). Efektif pik hız (EPV) 0.1 ile 0.5 sn periyod aralığında 2.5 ile bölünen ortalama spektral hız olarak tanımlanmıştır. Spektral ivme ve hızların belirli bir periyod aralığında ortalamalarının alınması işlemi ile EPA ve EPV tepki spektrumlardaki lokal piklerin etkileri asgariye indirilmektedir (Kramer, 2006).



### 3.2.1.2. Spektrum parametreleri

Herhangi bir doğal olayın sonucu olarak gözlenen veriler tanımsal ve rasgele olarak iki sınıfta toplanabilir. Tanımsal veriler bir matematiksel bağıntı ile gösterilebilirler. Örneğin serbest düşmeye bırakılmış bir cismin belirli zamanlardaki konumu, hızı ve ivmesi önceden bağıntılardan saptanabilir. Ancak, deprem yükleri rasgele olduklarından spektrumları da belirli bir fonksiyon ile tarif edilemez. Bu sebeple, gelecekteki bir anlık değer önceden kestirilemez. Aşağıda verilen analiz yöntemleri ile deprem karakteristikleri hakkında geniş bilgi sağlanacağı gibi, kuvvetli hareket kayıtlarının taşıdığı bilgilerden yararlanarak zeminin ve yapıların deprem hareketine karşı tepkisi de incelenebilir.

Frekans içeriği parametreleri: Deprem kayıtları, geniş bir frekans aralığında dağılım gösterirler. Bir yer hareketi genliğinin değişik frekanslar arasında nasıl dağıldığı, frekans içeriği ile tanımlanmaktadır. Depremler sırasında yapısal yıkımı belirleyen önemli etkenlerden biri de depremin frekans içeriğidir. Büyük depremler küçük depremlere nispeten daha uzun periyodlu yer hareketi oluştururlar. Bu açıdan yer hareketinin frekans içeriği, depremin büyüklüğü ile ilişkilidir. Sismik dalgalar bir faydan uzaklaşırken yüksek frekans bileşenleri saçılır ve düşük frekanslı bileşenlerden daha hızlı bir şekilde sönümlenir. Bunun sonucunda, frekans içeriği mesafeye bağlı olarak da değişim gösterir. Dolayısıyla, yer hareketinin frekans içeriğini dikkate almadan hareketin özellikleri yeterince tanımlanmış sayılmaz (Kramer, 2006).

Fourier spektrumları: Deprem dalgası bileşenlerine ayrılırken, hangi dalga bileşeninin genliğinin küçük olduğunu belirtmek, deprem dalgasının karakteri bakımından çok önemlidir. Özellikle, büyük genlikli bir bileşen bulunması halinde bu bileşenin hakim durumda olduğu söylenir. Böyle bir dalga bileşenini frekans veya periyoduna, hakim frekans ve hakim periyod denir. Bunun için, zamana göre çizilmiş yer hareketi, Fourier dönüşümü uygulanarak frekans alemine dönüştürülür. Fourier spektrumu, asıl dalganın hangi frekans bileşenlerini içerdiğini ve hangi bileşenlerin genliğinin büyük olduğunu göstermek bakımından, o deprem dalgasının yapılar yapacağı etkinin kestirilmesinde yarar sağlar (Ohsaki, 1976).

Kuvvetli hareket kayıtlarının sayısal verileri eşit aralıklarla okunursa, okunan örnek değerler bir dizi oluşturur. Böyle bir sayısal diziye zaman serisi denir. Örnek nokta aralığı  $\Delta t$ , örnek sayısı  $N$  olursa, süre

$$T = N \cdot \Delta t \quad (3.8)$$

olur. İvme kayıtlarının sayısal hale getirilmesi sırasında alışlagelmiş örnekleme aralığı  $\Delta t = 0.01$  sn dir. Bu nedenle Nyquist frekansı,

$$f_{N/2} = \frac{1}{2 \cdot (0.01)} = 50 \text{ Hz} \quad (3.9)$$

olur. Nyquist frekansı ( $f_{N/2}$ ), yakalanabilecek frekansların limiti olup bir çeşit ayrıştırma gücüdür. Fourier spektrumuna göre, Nyquist frekansından daha yüksek frekanslı bileşenleri ortaya çıkarmak mümkün değildir.

Kuvvetli yer hareketinin Fourier genlik spektrumu, hareketin genliğinin frekansa göre nasıl dağıldığını yansıtır. Yayvan bir spektrum penceresi, çok değişik frekansların ihtiva edildiği düzensiz değişen bir hareketi temsil eder. Dar bant genişliğine sahip olan spektrumda baskın periyod belirgin ve frekans seçilebilirliği daha güvenilirdir. Kuvvetli hareketin alındığı ortam zemin özellikte ise düşük frekanslı (uzun periyodlu), kaya ortamında ise yüksek frekansla (kısa periyod) temsil edilir.

Gerçek deprem hareketlerinin Fourier genlik spektrumları düzleştirilip logaritmik ölçeklerde grafiğe aktarıldığında, karakteristik şekilleri daha kolay görülebilir. Fourier ivme genlikleri düşük tarafta köşe frekansı (corner frequency,  $f_c$ ) ve yüksek tarafta da kesme frekansı (cutoff frequency,  $f_{\max}$ ) ile sınırlanmış geniş bir orta aralıkta en büyük olma eğilimindedir. Köşe frekansının teorik olarak sismik momentin küp kökü ile ters orantılı olduğu gösterilebilir (Brune, 1970; Brune, 1971). Hem yakın alan etkisi (Hanks, 1982) hem de kaynak etkisi (Papageorgiou ve Aki 1983a; Papageorgiou ve Aki, 1983b) olarak karakterize edilmektedir ve belirli bir coğrafi bölge için genellikle sabit olduğu kabul edilir.

Güç spektrumu: Güç spektrumu, Fourier spektrumu değerlerinin karelerini göstermektedir. Fourier spektrumuna göre daha iyi bir görünüş elde edilir. Dalga bileşenlerinin yapılar üzerinde meydana getireceği etki , güç spektrumunda daha belirgin olmaktadır (Ohsaki, 1976). Bir yer hareketinin frekans içeriği güç spektrumu veya güç spektrumu yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanabilir. Güç spektrumu yoğunluk fonksiyonu ile bir yer hareketinin istatistiksel özellikleri bulunabilir ve rastgele titreşim teknikleri kullanılarak tepki hesaplanabilir (Clough ve Penzien, 1975; Vanmarcke, 1976; Yang, 1986).

Tepki spektrumları: Deprem dalgasının yalnız kayda bakılarak anlaşılamayan çeşitli karakteristikleri, özellikle yapılar üzerindeki etkisi tepki spektrumlarında açıkça görülür. Fourier spektrumu, deprem dalgasının kendi frekans özelliklerini ifade eder ve yapı kavramı ile ilişkisi yoktur. Buna karşılık tepki spektrumu, belli bir deprem dalgasının, tek dereceli serbestlikli (TDS) sistemi ile ifade edilen yapıların maruz kalacağı en büyük etkiyi ifade etmektedir. İvme, hız ve yerdeğiştirme tepki spektrumlarının hepsine birden genel bir terim olarak “tepki (response) spektrumu” denir.

Bu parametrelerin her birinin maksimum değerleri TDS sistemin sadece doğal frekans ve sönümleme oranına bağlıdır. İvme, hız ve yerdeğiştirmenin maksimum değerleri sırasıyla, spektral ivme ( $S_a$ ), spektral hız ( $S_v$ ) ve spektral yerdeğiştirme ( $S_d$ ) olarak ifade edilir. Doğal periyodu sıfır (sonsuz doğal frekans) olan bir TDS sistemin rijit olduğuna ve spektral ivmesinin de pik yer ivmesine eşit olduğu kabul edilir. Spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme aşağıdaki basit bağıntılarla birbirleriyle yaklaşık olarak ilişkilendirilebilmektedir.

$$S_d = |u|_{\max} \quad (3.10)$$

$$S_v = \left| \dot{u} \right|_{\max} \approx \omega_0 S_d \approx PSV \quad (3.11)$$

$$S_a = \left| \ddot{u} \right|_{\max} \approx \omega_0 PSV \approx PSA \quad (3.12)$$

Burada,  $u$  ve  $\omega_0$  TDS sistemin yerdeğiştirme ve doğal frekansdır. PSV pseudo-spektral-hız ve PSA da pseudo-spektral-ivmedir. PSV ve PSA hız ve ivmenin gerçek maksimum değerleri olmasa da, kaydedilmiş kuvvetli yer hareketlerinin en büyük değerlerine çok yakındır. Pseudo-spektral değerlerin pratikte spektral değerlere genellikle eşit olduğu kabul edilir (Kramer, 2006).

İvme tepki spektrumu, yapılaraya etkiyen kuvveti, yani zeminden yapıya deprem kuvvetini verir. Mühendislik yapısının doğal periyoduyla sönüm oranına göre, ivme tepki spektrumundan okunan maksimum tepki değerleri, yapıya etkiyen mutlak ivme değerleri olup, bununla yapının  $m$  kütlesi çarpılırsa deprem esnasında yapıda oluşan maksimum kesme kuvveti elde edilir. İnşaat mühendisliği uygulamalarında deprem kuvvetlerini tanımlamak için en çok kullanılan yaklaşımlar ivme kayıtlarından ivme, hız ve yerdeğiştirme tepki spektrumlarının hesaplanmasıdır. Hız tepki spektrumu, depremde hareketle oluşan enerjinin bir kısmı yapılar tarafından absorbe edilir. Bu spektrum, yapılaraya geçen maksimum enerjiyi verir. Yerdeğiştirme tepki spektrumu ise, yerdeğiştirmenin veya şekil değerştirmenin büyüklüğünü göstermekte olup yapı içindeki gerilmelerle ilişkilidir (Ohsaki, 1976). Tepki spektrumları sayesinde depremin özellikleri ile yapının özellikleri birbirinden ayrılabilmiştir. Değerşkenleri bilinen bir yapının tepki spektrumu, bilinen bir depremde maruz kalacağı en büyük deprem kuvvetinin hesaplanabilmesi imkan dahilinde olmuştur (İpek, 1987).

### 3.2.1.3. Spektral parametreler

Bir önceki bölümde açıklandığı üzere, kuvvetli yer hareketini karakterize etmede kullanılabilen spektrumların her biri karmaşık fonksiyonlar olup, zamana bağlı kayıtlarda olduğu gibi bunları tam anlamıyla tanımlayabilmek için çok miktarda veri gerekmektedir. Her bir spektrumdan önemli bilgiler çıkarabilmek amacıyla çok sayıda spektral parametre öne sürülmüştür (Kramer, 1996).

Baskın periyod: Bir yer hareketinin frekans içeriğini temsil eden kullanışlı tek parametre baskın periyodudur ( $T_p$ ). Baskın periyod, Fourier genlik spektrumunda en büyük değere karşılık gelen titreşim periyodu olarak tanımlanmaktadır. Fourier genlik spektrumunda istenmeyen pik etkisinden kaçınmak için baskın periyod

genellikle düzleştirilmiş spektrumdan elde edilmektedir. Frekans içeriği konusunda baskın periyod bazı bilgiler sağlarken, farklı frekans içeriğine sahip hareketlerin aynı baskın periyoda sahip olabileceğini de unutmamak gerekir. Mesafeye bağlı olarak frekans içeriğinin değişiminin bir özelliği Fourier genlik spektrumunun maksimum değerinin düşük frekanslara (uzun periyodlara) kaymasıdır. Bunun sonucunda, artan uzaklıkla birlikte baskın periyod da büyür (Kramer, 1996).

Bant genişliği: Fourier genlik spektrumunun en büyük değeri baskın periyodu belirlemede kullanılabilir, ancak spektral genliklerin baskın periyod etrafından nasıl saçıldıklarına ilişkin bilgi vermez. Bant genişliği, genellikle Fourier spektrumunun maksimum genliğinin  $1/\sqrt{2}$  ile çarpılmasıyla elde edilir.

#### **3.2.1.4. Kuvvetli hareketini süresi**

Bir deprem anında kuvvetli sarsıntının süresi, yapısal hasar üzerinde ve mühendislik yapı problemlerinde önemli rol oynamaktadır. Genliği yüksek fakat kısa süreli bir hareket, yapılarda yıkıcı düzeyde tepkilerin birikmesine yol açabilecek yeterlilikte yük çevrilmeleri oluşturmayabilir. Ancak, genliği orta düzeyde, fakat uzun süreli bir hareket, yeterli miktarda yük çevrilmeleri oluşturarak, önemli derecede hasara neden olabilir.

Kuvvetli yer hareketinin süresi genellikle depremin büyüklüğü ile artmakla beraber odak uzaklığı (Dobry, 1978), sarsıntının şiddeti ve jeolojik koşulların etkisi ile artış göstermektedir (Trifunac, 1976). Yer hareketinin etkili süresinin artması, yapılarda hasar birikmesine neden olur ve dolayısıyla yer hareketinin şiddetini ifade eden diğer bir parametredir. Kuvvetli hareketin süresi ile ilgili mühendislik literatüründe basit hesaplamalarla değişik yaklaşımlar vardır. Birinci tanımlama, genellikle ivme kaydı üzerinde 50 gal (0.05 g) ve daha büyük değerleri için, ilk ve son pik ivme değerleri arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanır (Page vd., 1975). Diğer tanımlama ise, maksimum ivmenin karesinin entegralinde elde edilen kümülatif enerjiyi temel alır; toplam enerjinin tavsiye edilen oranda birikmesi için gereken zaman aralığı olup, yer hareketin bir yer partikülü üzerinde yaptığı toplam işin (Arias şiddeti) %5'den %95'e

(Husid ve diğ., 1969) veya %90'a (Trifunac ve Brady, 1975) kadar arttığı süre, "etkili süre" diye adlandırılmaktadır. Arias şiddeti ( $I_A$ ) (Arias, 1970),

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_f} a^2(t) dt, \quad (3.13)$$

yukarıda verilen bağıntıyla (Denklem 3.13) tanımlanmaktadır. Burada  $a$  = ivme,  $g$  = yer çekimi ivmesi,  $t$  = zaman ve  $t_f$  = toplam kayıt uzunluğudur.

### 3.3. Analiz Teknikleri

#### 3.3.1. Azalım ilişkileri metodolojisi

Azalım ilişkileri; depremin büyüklüğü, uzaklık, kaynak mekanizması ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak kuvvetli yer hareketinin farklı parametrelerinin medyan ve standart sapmalarını veren, log-normal dağılıma sahip olduğu kabul edilen ampirik bir tanımlamadır (Ansal vd., 2004). Kuvvetli yer hareketinin; genliği, süresi, frekans içeriğinin değişimi genellikle kaynak mekanizması, kaynak uzaklığı, yayılım hattı jeolojisi, topografya ve yerel zemin koşullarının bir fonksiyonudur. Deprem dalgaları yayılım hattı boyunca;

- ortamdaki anizotropi ve heterojen yapı,
- azalım faktörleri (geometrik azalım, yutulma – absorpsiyon ve saçılma),
- yansıma, kırılma, dalga tipi dönüşümü ve
- dalga girişimleri

nedenleri ile değişikliğe uğrarlar.

Bir bölgede herhangi bir büyüklükte oluşan bir depremin, belirli bir uzaklıktaki kuvvetli yer hareketinin belirlenmesi, deprem tehlike çalışmaları için temel oluşturur. Depreme dayanıklı yapı ve tesislerin uygun şekilde tasarlanması için bunların maruz kalacakları yer sarsıntısı düzeyinin hesaplanması gerekir. Sarsıntının düzeyi en uygun şekilde yer hareketi karakteristikleri cinsinden tanımlandığından, yer hareketi

parametrelerini hesaplama yöntemlerine gerek duyulur. Farklı kaynak ve farklı zemin koşullarından alınan depremlerin ivme değerlerinin kullanılmasıyla deneysel bağıntılar oluşturularak bir bölge için en büyük yer hareketinin değeri tahmin edilebilir. Sismik tehlikenin belirlenmesi, kuvvetli yer hareketi yayılımını ve değişimini depremin büyüklüğü ile kaynak ve incelenen saha arasındaki mesafenin fonksiyonu olarak tanımlayabilecek, uygun kuvvetli yer hareketi azalım ilişkilerini gerektirmektedir.

### 3.3.1.1. Azalım ilişkilerinin geliştirilmesi tekniği

Yer hareketi tahmini ya da azalım modelleri, zemin hareketi parametrelerinin özelliklerinin odak noktasından ya da sismik kaynağın seçilen bir noktasından uzaklaştıkça nasıl değişeceğini gösteren denklemlerdir. Bu denklemler genellikle M magnitüdündeki bir depremin, R uzaklığındaki inşaat sahasında yaratacağı en büyük zemin hareketi parametresinin değerini veren bir fonksiyon şeklindedir. Uzaklık olarak, merkez-üstü, odak ya da sismik kaynak üzerindeki bir noktadan ölçülen mesafeler alınmaktadır. Ayrıca inşaat sahasının zemin özelliklerini yansıtan bir parametre de bu ilişkilerde yer alabilmektedir. Bazı azalım ilişkileri fayın türünü de göz önünde tutmaktadır. Bu azalım ilişkilerinin genel yapısı aşağıda verilen denklem ile tanımlanabilir (Araya ve Der Kiureghian, 1988):

$$Y = N_y f(M, R, SP_i) \quad (3.14)$$

Burada, Y: tahmin edilecek olan kuvvetli yer hareketi parametresi (bağımlı değişken);  $N_y$ : azalım ilişkisindeki (ortalama tahmin eğrisi) belirsizlik (saçılım) için rassal düzeltme katsayısı; R: depremden inşaat sahasına olan “tanımlanmış” uzaklık ölçüsü; M: deprem büyüklüğünü gösteren herhangi bir ölçekteki magnitüd değeri;  $SP_i$ : deprem kaynağı, dalga yayılma hattı, yerel zemin koşulları ile ilgili parametreler.

Yer hareketi tahmin ilişkisi genellikle en küçük kareler yönteminin gözlemsel kuvvetli hareket verisi uygulanması ile elde edilen bir eğri şeklindedir. Zaman içinde daha fazla gözlemsel veri toplandıkça bu eğriler güncellenmektedirler. Literatürdeki

çoğu azalım ilişkilerinin her 3 ile 5 yılda bir veya iyi bir ölçüm şebekesine sahip bölgelerde büyük depremlerin oluşumundan kısa bir zaman sonra güncelleştirildiğini görmekteyiz.

Azalım ilişkilerinin fonksiyonel şekli, genellikle yer hareketi sürecinin mekaniğini olabildiğince yakın olarak yansıtabilecek şekilde seçilmektedir. Bu yaklaşım sayesinde ampirik katsayıların sayısı azaltılmakta ve azalım ilişkilerinin veri tabanında kötü bir şekilde temsil edilmiş magnitüd ve mesafe gibi şartlara uygulanması daha büyük bir güvenle yapılmaktadır. Azalım ilişkilerinin en çok karşılaşılan şekilleri aşağıdaki gözlemlere dayanmaktadır (Kramer,1996; Beyaz, 2004):

1. Kuvvetli yer hareketi (KYH) parametrelerinin pik değerleri yaklaşık olarak log-normal dağılım gösterir (yani, parametrelerin logaritması yaklaşık olarak normal dağılım gösterir). Sonuçta; regresyon analizi, Y'nin kendisi üzerinde değil de logaritması üzerinde yapılır (Chiaruttini ve Siro 1981, McCue vd., 1988; Theodulidis ve Papazachos, 1992; Sadigh vd., 1993). Fakat, bazı araştırmacılar KYH parametrelerinin ln-normal dağılıma uyduğunu kabul etmektedir (Campbell ve Bozorgnia, 2003).
2. Deprem magnitüdü tipik olarak belirli bir pik hareket parametresinin logaritması olarak tanımlanır. Buna göre; LogY ile magnitüd (M) arasında pozitif ve doğru orantılı ilişki olmalıdır (Ambraseys ve Simpson, 1996). Ancak, Youngs vd. (1988), Campbell (1989) ve Crouse (1991) gibi bazı araştırmacılara göre bu ilişki, LnY ile M arasındadır.
3. Gerilme dalgalarının deprem kaynağından dışarı doğru uzaklaşırken yayılmaları, cisim dalgası (P ve S dalgaları) genliklerinin  $1/R$  (R: mesafe)'ye göre azalmasına ve yüzey dalgası (başlıca Rayleigh dalgası) genliklerinin de  $1/\sqrt{R}$ 'ye göre azalmasına neden olmaktadır (Bolt ve Abrahamson 1982).
4. Fay yırtılmasının büyüklüğü deprem büyüklüğü ile birlikte artar. Sonuçta, bir proje ortamında kuvvetli hareket üreten dalgaların bir kısmı R mesafesinden



gelirken bir kısmı da daha büyük uzaklıklardan gelir. Bu nedenle, etkin uzaklık  $R'$ 'den daha büyüktür ve aradaki oran artan deprem büyüklüğü ile paraleldir.

5. Gerilme dalgalarıyla taşınan deprem enerjisinin bir kısmı deprem dış merkezinden itibaren kat ettiği yol üzerinde karşılaştığı malzemelerce soğurulmaktadır (cisim/ortam sönümlemesi). Bu cisim sönümlemesi yer hareketi genliklerinin mesafe ( $R$ )'ye göre üssel olarak azalmasına etki eder.
6. Yer hareketi parametreleri (sözgelimi doğrultu atımlı, normal veya ters faylanma gibi) kaynak karakteristikleri (Youngs vd., 1997; Sadigh vd., 1993; Ambraseys ve Douglas, 2000) ile (sert kaya, yumuşak kaya, alüvyon vb. gibi) proje sahası özelliklerinden etkilenebilir (Dahle vd., 1995; Ambraseys vd., 1996; Sadigh ve Egan, 1998; Zaré vd., 1999).

Yukarıda verilen gözlemlerin birleştirilmesi ile tipik bir azalım ilişkisi modeli oluşturulabilir. Ancak, herhangi bir azalım ilişkisi kullanılırken  $M$  ve  $R$  gibi parametrelerin nasıl tanımlandığını bilmek ve bunları uygun bir şekilde kullanmak çok önemlidir. Farklı azalım ilişkilerinin genellikle farklı veri gruplarından elde edildiğini unutmamak gerekir. Dünya genelinde yapılan çalışmalarda depremin kaynak mekanizması ve sığ yer yapısındaki heterojen yapı fazla dikkate alınmaz. Bu yüzden farklı ülkelerin farklı bölgeleri için, bu çalışmaların iyi sonuç vermesi beklenemez. Yer hareketi parametrelerini uygun bir şekilde kestirebilmek için, onunla ilişkili şartlar ile tutarlı verilere dayalı bir tahmini hesaplama bağıntısı geliştirilmelidir. Bu bağıntının geliştirilmesi genellikle en küçük kareler yöntemine dayalı çoklu regresyon analizleri yoluyla yapılmaktadır.

### 3.3.2. Regresyon ve korelasyon analizi

Bilimin temel amaçlarından biri de değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemektir. Bu ilişkileri belirlemede kullanılan en önemli araç ise, istatistik bilimidir. İstatistik, değişkenler arasındaki ilişkilerin derecelerini ve bu ilişkilerin fonksiyonel şekillerini belirlemede bizlere yardımcı olur. İki veya daha çok değişken arasında ilişki olup olmadığını, varsa yönünü ve gücünü gösteren çok yaygın bir istatistik analiz tekniği,

korelasyon ve regresyon analizidir (Ergün, 1995). İstatistikte değişkenler arasındaki ilişkinin derecesine korelasyon katsayısı, değişkenler arasındaki ilişkinin fonksiyonel şekline ise, regresyon denklemi adı verilir (Gürsakal, 1998).

### 3.3.2.1. Regresyon analizi ve amaçları

Değişkenler arasındaki ilişkilerin fonksiyonel şekillerini belirlerken, neden durumda olan değişkenlere bağımsız, sonuç durumunda olan değişkenleri ise, bağımlı değişken olarak tanımlanır. Bir bağımlı değişken, birden fazla bağımsız değişkenle ilişkili olması mümkündür. Regresyon denklemi yardımıyla, bağımsız değişkene verilen herhangi bir değere göre bağımlı değişkenin alacağı değer hesaplanabilir. Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişki ve bağıntıların araştırılması olarak kısaca tarif edilebilir. Regresyon analizi tek bir bağımsız değişkenle ilgileniliyorsa, basit regresyon; birden çok bağımsız değişkenle bağımlı değişken belirlenmeye çalışılıyorsa çoklu regresyon incelenmesi yapılır.

### 3.3.2.2. Basit regresyon analizi

Biri bağımlı (y) diğeri bağımsız (x) gibi iki değişken arasındaki ilişkinin doğrusal biçimini basit regresyon analizi ile incelenir. Dağılım grafiklerindeki noktalar bir doğru etrafındadır. Bu doğrunun denklemi;

$$y = a_0 + a_1 * x + \varepsilon \quad (3.15)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada;

y: bağımlı değişken,

x: bağımsız değişken,

$a_0$  : regresyon doğrusunun Y eksenini kestiği değer,

$a_1$  : regresyon doğrusunun eğimi,

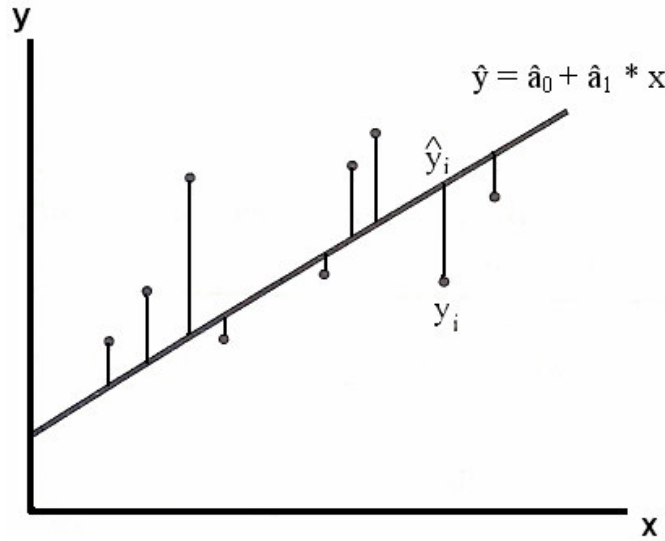
$\varepsilon$  : rassal hatadır.

Verilere en iyi uyan doğruyu bulmak için en küçük kareler ölçütü uygulanır. Bir serpilme diyagramındaki noktaların doğrusal regresyon denkleminde olan

sapmalarının, diğer bir deyişle gerçek  $y$  değerleri ile doğru üzerinde yer alan teorik  $\hat{y}$  değerleri arasındaki farklar olan hataların kareleri toplamını (HKT) minimize eden doğru seçilir:

$$HKT = \sum (y - \hat{y})^2 \quad (3.16)$$

bu koşulu sağlayan doğru, en küçük kareler doğrusu adını alır (Gürsakal, 1998). Dağılım diyagramında, değişkenleri temsil eden noktaların dağılımının matematiksel gösterimi olan en küçük kareler doğrusu çizilebilir (Şekil 3.8). En küçük kareler metoduyla bulunan denklemlerle, doğru çiziminde oluşabilecek hatalar önlenir ve değişkenler arasındaki ilişki en iyi şekilde ifade edilebilir. Dağılım diyagramındaki doğru, noktaların kendisine olan dik uzaklıklarının karelerinin toplamının minimum değerini almasını sağlayacak şekilde çizilmelidir.



Şekil 3.8. En küçük kareler doğrusu (Gürsakal, 1998)

En küçük kareler doğrusu:

$$\sum (y - \hat{y})^2 = \sum (y - \hat{a}_0 - \hat{a}_1 * x)^2 \quad (3.17)$$

denklemini minimize edilerek bulunur. Parametrelerin tahmini, kısmi türevlerin alınıp sıfıra eşitlenmeleri yoluyla hesaplanır. Diğer bir deyişle, bu denklemin bir kez  $\hat{a}_0$  ve bir kez de  $\hat{a}_1$ 'e göre türevlerinin sıfıra eşit olması gerekir.

$$\sum_{i=1}^n [2(y_i - \hat{a}_0 - \hat{a}_1 * x_i)(-x_i)] = 0 \quad (3.18)$$

$$\sum_{i=1}^n [2(y_i - \hat{a}_0 - \hat{a}_1 * x_i)(-1)] = 0 \quad (3.19)$$

yukarıdaki iki denklem sadeleştirilince, aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

$$\sum_{i=1}^n y_i = n \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.20)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = \hat{a}_0 \sum_{i=1}^n x_i + \hat{a}_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (3.21)$$

Bu iki denklemden bulunan  $\hat{a}_0$  ve  $\hat{a}_1$  değerleri aşağıdadır.

$$\hat{a}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (3.22)$$

$$\hat{a}_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (3.23)$$

### 3.3.2.3. Çoklu regresyon ve korelasyon analizi

Basit regresyon analizinde, bağımlı ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiler analiz edilir. Çoklu regresyon analizinde ise, incelenen bir bağımlı değişkeni bir çok bağımsız değişken etkileyebilir. Bir bağımlı değişkene karşılık birden fazla bağımsız değişkenin ilişkisinin araştırılmasına çoklu regresyon analizi denir. Dağılım

diyagramında yatay düzlem üzerine bağımsız değişken sayısı kadar eksen yerleştirdiği için; yüzey, hacim veya daha çok boyutlu şekiller oluşur. Genel olarak;

$$Y_i = \beta_0 + \beta_{1i} * X_{1i} + \beta_{2i} * X_{2i} + \dots + \beta_p * X_{pi} + e_i \quad (3.24)$$

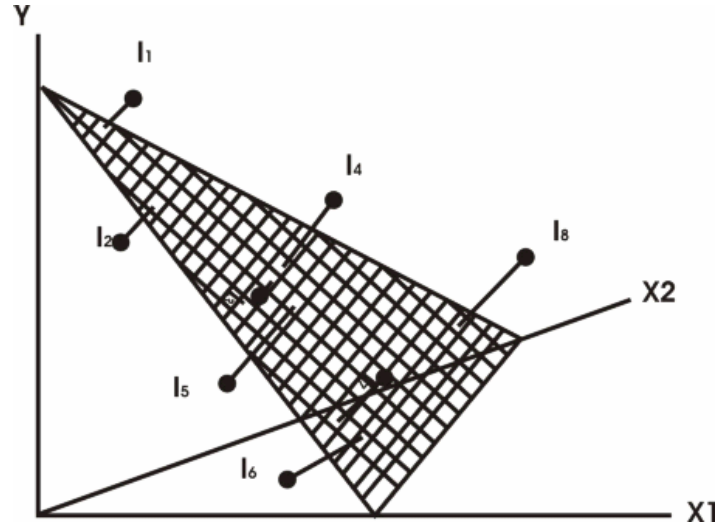
denklemleriyle ifade edilir. Burada,  $X_{pi}$ ,  $i$  olayı için  $p$  bağımsız değişkeninin değerini ve  $\beta$  ise, bilinmeyen parametreleri gösterir. Çoklu regresyon işlemlerinin hesaplaması oldukça zor ve uzun zaman alır. Ancak, günümüzde yazılmış olan bilgisayar paket programları sayesinde oldukça çabuk ve güvenli olarak yapılabilmektedir.

### 3.3.2.4. Üç değişkenli regresyon denklemi

İki bağımsız değişkenli regresyon denklemi çoklu regresyon işlemlerinin en basit şeklidir.  $Y$  gibi bir bağımlı,  $X$  ve  $Z$  gibi iki bağımsız değişkenli bir çoklu regresyon denkleminin parametrelerini tahmin edebilmek için:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Z + \varepsilon \quad (3.25)$$

şeklinde bir model kullanılır. Bu kez iki bağımsız ve bir bağımlı değişken olduğu için en küçük kareler doğrusuna değil en küçük kareler düzlemine olan uzaklıkların kareler toplamı minimize edilir. Denklem (3.21)'e ait dağılım bir düzlem oluşturmakta (Şekil 3.9) ve dağılım diyagramında noktaların düzleme olan mesafelerinin karelerinin toplamı minimum değeri almaktadır (Temur, 1995). Bu nedenle denklemin oluşturduğu şekil “en küçük kareler düzlemi” olarak adlandırılmaktadır. Denklemdaki  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  katsayıları hem matris işlemleri ile hem de cebirsel işlemlerle hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.9. En küçük kareler düzlemi (Temur, 1995)

Regresyon denkleminin parametrelerini tahmin etmek için, en küçük kareler düzlemine olan uzaklıklarının kareleri toplamını minimize edilir:

$$\sum (y - \hat{y})^2 = \sum (y - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x - \hat{\beta}_2 z)^2 \quad (3.26)$$

Regresyon denkleminin kısmi türevlerinin alınıp sıfıra eşitlenmeleri yoluyla, aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\sum_{i=1}^n y_i = n \cdot \beta_0 + \beta_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + \beta_2 \cdot \sum_{i=1}^n z_i \quad (3.27)$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i \cdot x_i) = \beta_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + \beta_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + \beta_2 \cdot \sum_{i=1}^n (x_i \cdot z_i) \quad (3.28)$$

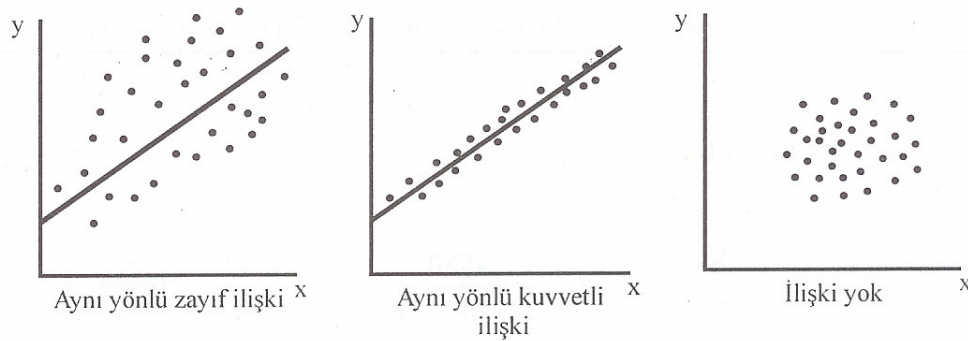
$$\sum_{i=1}^n (y_i \cdot z_i) = \beta_0 \cdot \sum_{i=1}^n z_i + \beta_1 \cdot \sum_{i=1}^n (x_i \cdot z_i) + \beta_2 \cdot \sum_{i=1}^n z_i^2 \quad (3.29)$$

Yukarıda sıralanan denklem sisteminin çözümü ile regresyon denkleminin parametre tahminleri elde edilir.

### 3.3.2.5. Korelasyon analizi

İki veya daha çok değişken arasında ilişki olup olmadığını; varsa yönünü ve gücünü gösteren çok yaygın bir istatistik analiz tekniği, korelasyon analizidir (Ergün, 1995).

İki değişken arasındaki ilişkinin değişik biçimleri olabilir. Bunların en karakteristik olanları şunlardır.



Şekil 3.10. Korelasyon grafik örnekleri (Ergün, 1995)

Yukarıdaki şekillerin ilkinde, iki değişken arasında pozitif yönde zayıf bir ilişki görülmektedir. İkincisinde, pozitif yönde doğrusal bir ilişki vardır. Üçüncüsünde ise, herhangi bir ilişki fark edilmemektedir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemenin ilk adımı, bir serpmme grafiğine bakmaktır. Eğer değişkenler arasında bir ilişki görülüyorsa, bu ilişkinin gücünü sayısal olarak ölçmek için “korelasyon katsayısı” hesaplanmalıdır.

### 3.3.2.6. Korelasyon katsayısı (r)

Bu katsayı, bir değişkende herhangi bir değişme olduğunda diğer değişkende ne kadar değişme olacağı hakkında bilgi verir. Yani, korelasyon katsayısı büyükse, bir değişkendeki artma ve azalmalar diğer değişkende de artma ve azalmalara neden olur. Değişkenler arasında ve/veya değişkenlerle çevre şartları arasında korelasyonun varlığı ve derecesi korelasyon katsayısı (r) olarak kabul edilir. Korelasyon katsayısı 1 ile -1 arasında değişir, dolayısıyla ondalık olarak belirtilen bir değerdir. Katsayı

hesabında farklı metot ve formüller vardır. En çok tercih edilen Pearson korelasyon katsayısı formülü aşağıdadır (Ergün, 1995):

$$r = \frac{n * \sum_{i=1}^n (x_i * y_i) - \sum_{i=1}^n x_i * \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n * \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} * \sqrt{n * \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad (3.29)$$

Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki ilişkinin kuvvetini verir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Korelasyon katsayısına (r) göre değişkenler arasındaki ilişki (Beyaz, 2004)

Korelasyon katsayısı (R)	Değişkenler arasındaki ilişkinin kuvvet derecesi
-1,000 - -0,850	Çok kuvvetli negatif korelasyon
-0,849 - -0,600	Kuvvetli negatif korelasyon
-0,599 - -0,450	Zayıf negatif korelasyon
-0,449 - -0,300	Çok zayıf negatif korelasyon
-0,299 - 0,300	Korelasyon ilişkisi yok
0,301 - 0,450	Çok zayıf pozitif korelasyon
0,451 - 0,600	Zayıf pozitif korelasyon
0,601 - 0,850	Kuvvetli pozitif korelasyon
0,851 - 1,000	Çok kuvvetli pozitif korelasyon

### 3.3.2.7. Korelasyon katsayısının standart hatası

İstatistikte, her değer kendi standart hatası ile birlikte anlam taşır. Standart hata ne kadar küçük ise korelasyon katsayısı o kadar anlamlıdır. Korelasyon katsayısının standart hatası aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır (Kutsal ve Muluk, 1972):

$$S_r = \sqrt{\frac{(1-r^2)}{(n-2)}} \quad (3.30)$$



Burada,

- Sr: Korelasyon katsayısının standart hatası,
- r: Korelasyon katsayısının kısaltılmış şekli,
- n: Değişken (varyant) sayısıdır.

### 3.3.2.8. Korelasyon katsayısının önem kontrolü ve ilgili testler

t-Testi: Korelasyon katsayısının önemli olup olmadığını anlamak için t değeri hesaplanır ve t tablosunda, aynı serbestlik derecesinde %5 olasılık sınırında bulunan t değeri ile karşılaştırılır. Korelasyon katsayısı serbestlik derecesi n-2 dir. Çünkü, korelasyon katsayısı hem x ve hem de y değeri ile ilgilidir (Kutsal ve Muluk, 1972).

$$t = \frac{r}{Sr} \quad (3.31)$$

Burada,

- t: t değeri
- r: korelasyon katsayısı
- Sr: Korelasyon katsayısının standart hatası

Hesaplanan t değeri, t tablosundaki %5 olasılık sınırında bulunan t değerinden küçük ise, korelasyon katsayısı önemsiz sayılır.

Bu test yardımıyla; her bir örnekle, verilerin ortalamasının eşitliği sınanır. Üç farklı varsayımı kullanır:

- Veri değişkenlerinin eşit olması,
- Veri değişkenlerinin eşit olmaması ve
- İki örneğin işlemde önceki ve işlemde sonraki gözlemleri temsil etmesidir.

Hesaplanan bir t-istatistik değeri bu amaç için hazırlanmış tablolar (t-tablosu) yardımıyla bulunabilir. Verilere bağlı olarak, negatif veya pozitif bir değer alabilir.

F-Testi: t testi, iki ortalama arasındaki farkların anlamlılığını test ediyordu. F testi ise, ikiden çok ortalama arasındaki farkların anlamlılığını test eder. Bir çok regresyon

modelinin genel anlamda yararlı olup olmadığı F testi (varyans analizi) ile test edilir. F değeri, regresyon modelinin datalara ne kadar uygun olduğunu göstermektedir. Örneğin, iki değişken arasında belirgin bir ilişki olup olmadığını ve regresyon doğrusunu çizmeden önce, doğrusallıktan ayrılış önem testi yapılır. Bu bir F testidir ve eğer anlamlı çıkmazsa, iki değişken arasında ilişki doğrusal bir ilişki değildir. Dolayısıyla, regresyon doğrusu ile gösterilemez (Ergün, 1995).

F testi uygulayabilmek için regresyon kareler toplamı (RKT), regresyondan ayrılış kareler toplamı (RAKT), kareler ortalaması ve serbestlik derecesi bulunmalıdır. İki değişkenli bir varyans analizinde, RKT ve RAKT aşağıdaki formül yardımıyla bulunur:

$$RKT = ((S_{xy} - ((S_x * S_y) / n))^2 / (S_x^2 - (S_x)^2 / n)) \quad (3.32)$$

$$RAKT = (S_y^2 - (S_y)^2 / n) - RKT \quad (3.33)$$

Burada,

$S_{xy}$ : x ve y değişken değerleri çarpımlarının toplamı,

$S_x$ : x değişken değerlerinin,

$S_y$ : y değişken değerlerinin,

$S_x^2$ : x değişken değerleri karelerinin

$S_y^2$ : y değişken değerleri karelerinin toplamıdır.

Regresyon için serbestlik derecesi  $p=1$  (p, formüldeki bağımsız değişken sayısıdır), residual için  $N-p-1$ 'dir. RKT ve RAKT'in serbestlik derecelerine bölünerek kareler ortalamaları bulunur. Regresyon kareler ortalaması, regresyondan ayrılış kareler ortalamalarına bölünerek F değeri bulunur.

Bulunan F değeri, tablodan 0.05 olasılık sınırından elde edilen F değeri ile karşılaştırılır. Bulunan değer, 0.05'in altında olduğu zaman anlamlıdır ve model uygunluğunu gösterir.

Yukarıda açıklanan varyans analizi ikiden fazla grup veya örnek için de aynı değerler yardımıyla gruplar arası farkın önemliliği, önemlilik derecesi, ve önem farkı meydana getiren sebepler araştırılır (Kutsal ve Muluk, 1972).

Anova: Anova (analysis of variance) denilen çok yönlü varyans analizinde, iki ve daha fazla bağımsız değişken kullanılmakta ve bu değişkenler içindeki bir çok grup ortalamaları arasındaki anlamlı ilişkiler araştırılmaktadır (Ergün, 1995). Burada testi veya sınaması yapılan veri gruplarının faktör sayısı (değişken grubu sayısı) ve örnek sayısı önemlidir. Anova, değişkenlerin özelliklerine göre birbirinden farklı birkaç test yöntemi kullanılarak yapılmaktadır:

i. Tek etkenli anova testi: İki veya daha fazla değişken olduğunda kullanılır. İki veya daha çok örnek için verilerde basit bir varyans çözümlemesi yaparak; Temel olasılık dağılımlarının tüm örnekler için aynı olmadığı yönündeki alternatif varsayıma karşılık, her örneğin aynı temel olasılık dağılımından alındığı varsayımının doğruluğunu inceler.

ii. Yinelemeli çift etkenli anova testi: Bu yöntemin anlamlılığı; verilerin iki farklı boyutta sınıflandırılmasıyla sağlanmaktadır. Bu yöntem yardımıyla:

- Değişkenlerden birini yok sayarak, diğer iki değişken arasındaki ilişki,
- Yok sayılan değişkenle diğer iki değişkenden herhangi birisi arasındaki ilişki,
- İlk iki aşamada yok sayılan değişkenler arasında bir ilişki, gibi farklı durumlar incelenir.

iii. Yinelemesiz çift etkenli anova testi: Yinelemeli çift etkenli anova da olduğu gibi; veriler iki farklı boyut üzerinde sınıflandırılabilirliğinde yararlıdır. Ancak, bu yöntemin her değişken çifti için yalnızca tek bir gözlem olduğunu varsaymaktır.

### 3.3.2.9. Çoklu korelasyon analizi

Birden çok  $x$  ve bir  $y$  değişkeni arasındaki ilişkinin özellikleri, çoklu korelasyon analizi ile yapılmaktadır. Her bir  $x_i$  değişkeninin  $y$  değişkeni üzerindeki etkisinin

yönünü ve kuvvetini dikkate alan korelasyon katsayısı (r), 3 değişkenli olaylarda aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$r = \sqrt{\frac{b_1 * (\sum_{i=1}^n (X_{1i} * Y_i) - X_1 * \sum_{i=1}^n Y_i) + b_2 * (\sum_{i=1}^n (X_{2i} * Y_i) - X_2 * \sum_{i=1}^n Y_i)}{YOAKT}} \quad (3.34)$$

YOAKT: Y ortalamalarından ayrılış kareler toplamı

Elde edilen çoklu korelasyon katsayısının (r) karesine “çoklu belirlilik katsayısı” denilmektedir. Çoklu belirlilik katsayısı ( $r^2$ ), modeldeki serbest değişkenlerin toplam değişkenliğin yüzde kaçını açıklayabildiğini gösterir (Gürsakar, 1998).

$X_i$  bağımsız değişkenlerinden biri için, diğer bağımsız değişkenlerin tamamının sabit olduğu varsayılarak, korelasyon ve determinasyon katsayısının hesaplanması sonucu elde edilen değerler “kısmi korelasyon ve determinasyon katsayısı” olarak kabul edilir. Korelasyon katsayısıyla aynı simge ile tanımlanır. Ancak, hangi değişkeni temsil ettiğini göstermesi açısından değişken numarası alt indis olarak yazılır (Örneğin;  $R_3$ : Y ile  $X_3$  arasındaki korelasyonu belirtir ve  $X_1, X_2, X_4, \dots, X_n$  değişkenlerinin sabit olduğu kabul edilir). Üç değişken içeren olaylarda kısmi korelasyon katsayısı ( $r_j$ ) şöyle ifade edilebilir:

$$r_j = \sqrt{\frac{b_j * (\sum_{i=1}^n (X_{ji} * Y_i) - X_j * \sum_{i=1}^n Y_i)}{YOAKT - b_k * (\sum_{i=1}^n (X_{ki} * Y_i) - X_k * \sum_{i=1}^n Y_i)}} \quad (3.35)$$

j: Kısmi korelasyonu incelenen bağımsız değişkenin numarası

k: Diğer bağımsız değişkenin numarası

Kısmi determinasyon katsayısı ( $d_j$ ), kısmi korelasyon katsayısının karesine eşittir:

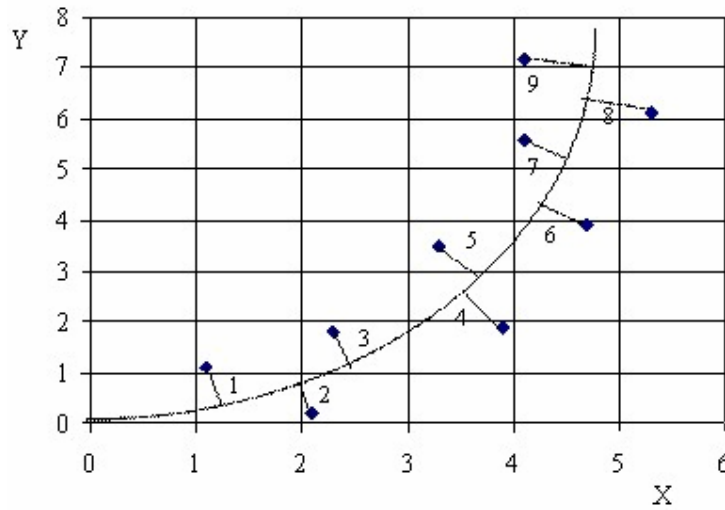
$$d_j = R_j^2 \quad (3.36)$$

### 3.4. Çok Katlı Regresyon Analizi

Çok katlı regresyon analizinin en basit şekli, ikinci dereceden regresyon denkleminin gösterimi olup:

$$Y = a + b_1 * X + b_2 * X^2 \quad (3.37)$$

ifadesi bir parabol denklemdir. Dağılım diyagramında noktaların parabole dik uzaklıklarının karelerinin toplamı minimum olduğundan “minimum kareler parabolü” olarak adlandırılır (Şekil 3.11). Parabol denklemindeki katsayılar (a, b<sub>1</sub> ve b<sub>2</sub>), denklem sisteminin çözümü ile bulunmaktadır.



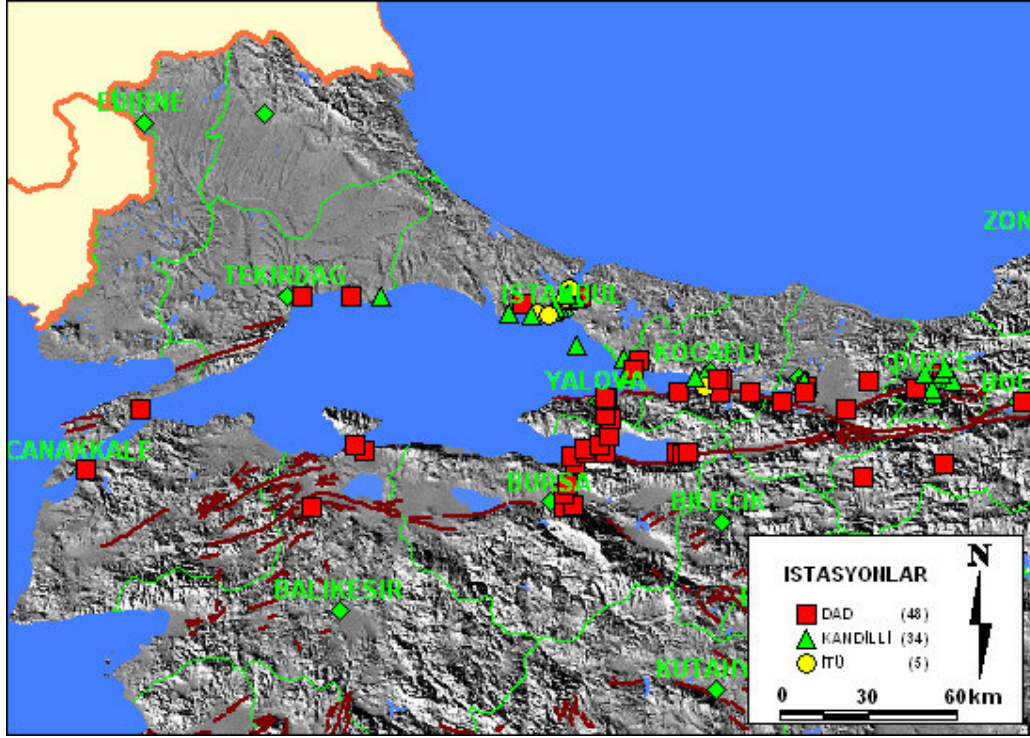
Şekil 3.11. Minimum kareler parabolü (Temur, 1995)

## BÖLÜM 4. MODEL PARAMETRELERİ

### 4.1. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları

Çalışma kapsamında kullanılan kuvvetli yer hareketi veri seti, farklı kurumlar tarafından (Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi - DAD, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü - KRDAE ve İstanbul Teknik Üniversitesi - İTÜ) ulusal ve yerel ölçekte işletilen şebekelerin, Marmara Bölgesindeki ivme-ölçer istasyonlarından elde edilen kayıtları içermektedir. Özellikle, 1999 yılında bölgede meydana gelen 17 Ağustos Kocaeli ve 12 Kasım Düzce depremleri sırası ve sonrasında alınan kayıtlar, bölge için iyi bir veri tabanı teşkil etmiştir. DAD'nin bölgedeki kalıcı istasyonları ve 17 Ağustos depreminden sonra DAD-Potsdam Üniversitesi işbirliğiyle kurulan geçici istasyonlarla beraber 48 farklı noktadan (Şekil 4.1) alınan toplam 448 kadar ivme kaydı kullanılmıştır. Ayrıca veri kataloğunda, KRDAE'nin bölgedeki kalıcı ve geçici olmak üzere 34 istasyonunda toplam 252 ve İTÜ'nün 5 istasyonundan toplam 21 ivme kaydı yer almaktadır (Şekil 4.1). Veri seti, büyüklüğü  $M_w \geq 4$  olan 128 depreme ait toplam 721 üç bileşen ivme kaydından oluşmaktadır (Ek B).

Her üç kurum tarafından alınan farklı formatlardaki sayısal veriler, özel bir yazılımla tek tip bir formata dönüştürülmüştür (Şekil 4.2). Ayrıca, farklı birimlerde (g, mG,  $\text{cm/sn}^2$ ) verilen kayıtlar, yerçekimi ivmesinin ( $981 \text{ cm/sn}^2$ ) kesri olarak gal ( $\text{cm/sn}^2$ ) birimine dönüştürülerek tek tip veri seti oluşturulmuştur. Bu dönüşümle, azalım denklemi modellenmesinde kullanılacak her bir kaydın başlık bilgileri bulunmaktadır. Bu bilgiler; depremin oluş tarihi, saati ve koordinatı, kaydı alan istasyonun adı, koordinatı, cihaza ait önemli bilgiler, üç bileşen maksimum pik ivmeler, örnekleme aralığı, deprem öncesi ve sonrası süreler, veri sayısı, depremin büyüklüğü, depremin derinliği gibi özellikleri içermektedir.



Şekil 4.1. Kuvvetli yer hareketi istasyonları

Her bir deprem kaydının, özel geliştirilmiş ivme analiz programı tarafından zaman serisi dalga formu incelenmiştir. Aynı sayısal veride hatalı okumalara sebep olacak ardışık depremler (Şekil 4.3), test kaydı gibi anormal pikler (Şekil 4.4) ve temel çizgisi kaymaları teşhis edilerek gerekli düzeltmeler yapılmıştır (Şekil 4.5). Daha önce aynı kayıtları kullanan bazı araştırmacılar bu düzeltmeleri yapmadıklarından dolayı hatalı veri kullanmışlardır. Örneğin, Kalkan (2001) tez çalışmasında Şekil 4.4 da görüldüğü gibi, depremde çok kısa bir süre önce kayıtcının aldığı periyodik test kaydındaki genlik değerini kullanmıştır. Yine, Ulusay vd (2004) çalışmasında, Şekil 4.5 de görülen eksen kaymasına benzer gerekli bir düzeltmeyi 17 Ağustos 1999 depremi ZYT, MCD ve MSK kayıtlarında doğru yapılmadığından dolayı hatalı veri kullanılmıştır.

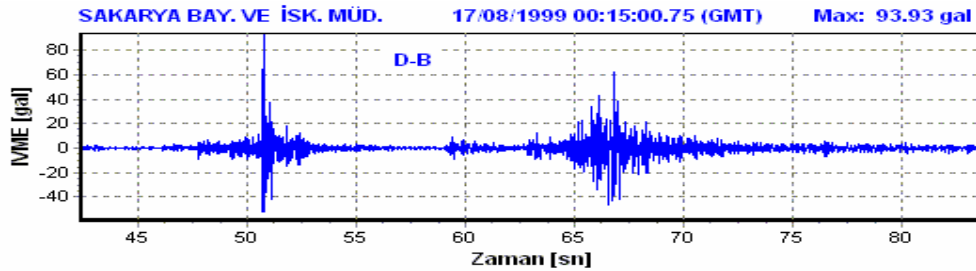
```

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE                :İstanbul Bay. İsk. Müd. lüğü
RECORDER TYPE        :GSR16 (GeoSys)
RECORDER SERIAL NO   :236
COORDINATES          :41.058N - 29.013E
NATURAL FREQUENCY(Hz) :
CRITICAL DAMPING     :
TRIGGER DATE         :17/08/1999 00:01:54 (GMT)
PRE-EVENT TIME(sec)  : 30
TIME SYNC STATUS     :OK
DIRECTIONS           :+L NORTH +T EAST +V UP
NO. OF DATA         : 13879
SAMPLE INTERVAL      : .01000000
MAX. VALUES(mG)     :N-S) 60.6690 (E-W) 42.6640 (V) 36.2240
EQ DATE              :17/08/1999 00:01:37 (GMT)
EQ EPICENTER COORD. :40.76N - 29.97E
EQ MAGNITUDE         : 7.4 MW
EQ DEPTH(km)        : 18.0
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

      L           T           V
      .031000     .061000     .000000
      .031000     .031000     .000000
      .000000     .031000     .000000
      .000000     .000000     -.031000
      .           .           .
-40.375000      22.400000      20.447000
-48.706000      15.472000      12.604000
-57.190000      11.200000       7.202000
-60.669000       8.026000       .824000
-59.021000       5.249000      -7.233000
-54.901000       3.784000      -9.948999
-47.394000       4.303000      -7.660000
      .           .           .
      .           .           .
      .           .           .

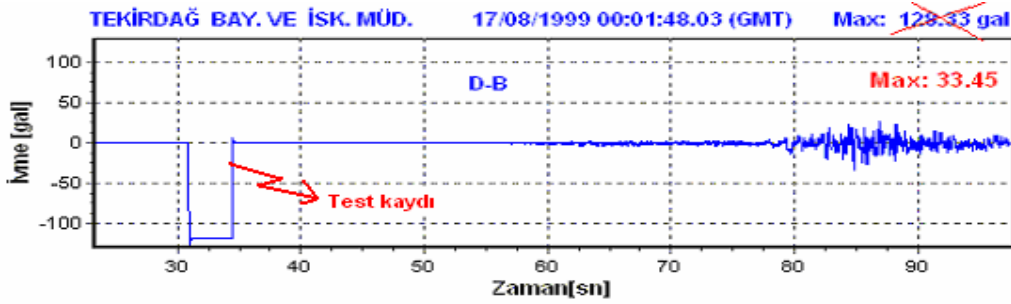
```

Şekil 4.2. Tek tip formata dönüştürülmüş sayısal kayıt örneği

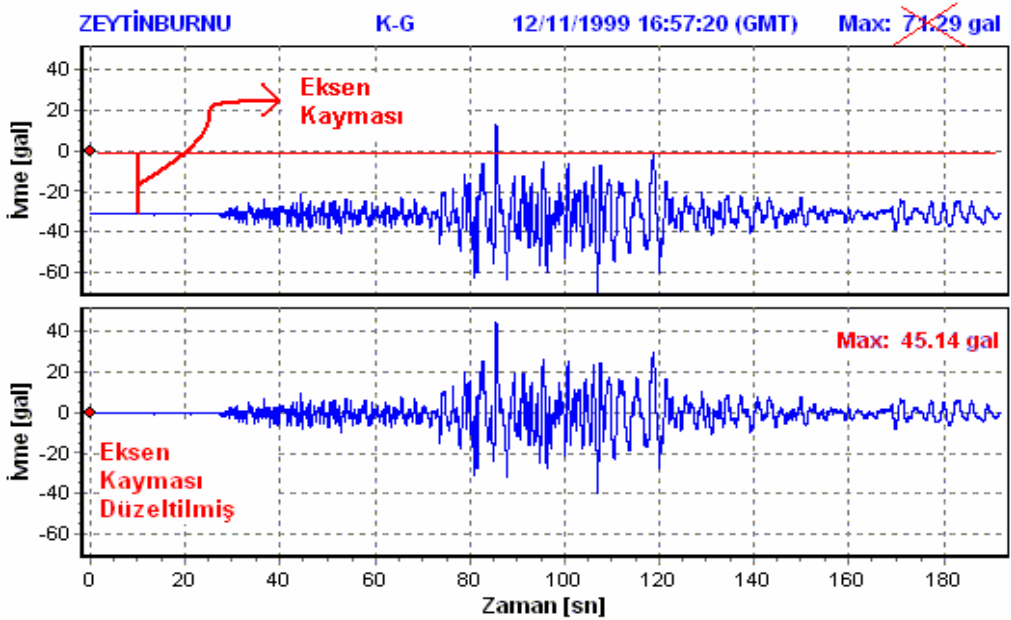


Şekil 4.3. Ardışık depremlerle hatalı okumalara neden olabilir türdeki tipik kayıt örneği





Şekil 4.4. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi Tekirdağ istasyonu kaydında görülen test kaydı



Şekil 4.5. 12 Kasım 1999 Düzce Depreminde Zeytinburnu istasyonu kaydında görülen eksen kayması ve düzeltilmiş şekli

Veri seçim kriteri: Çalışmada, farklı zemin koşullarında alınan veriler kullanılmıştır. Üç bileşen ivme kayıtlarının (bir düşey ve iki yatay bileşen), iki yatay bileşeninden mutlak değer olarak en büyük pik ivmeye (PGA: Peak Ground acceleration) sahip değer esas alınmıştır. Sayısal veriler, önemli bir değer yitimine neden olmayacak şekilde; 0.2 Hz Low-Cut ve 25 Hz High-Cut frekans aralığında Butterworth-Band geçişli filtre penceresinden incelenmiştir. Kayıtlarda görülen temel çizgisi kayması giderildikten (base line correction) sonra değerlendirmeye alınmıştır. Literatürde en büyük pik ivme, PGA olarak yaygın tanımlandığı için, bu çalışmada da aynı tanımlama yapılmıştır. Çalışmada, insanların hissedebilir eşik değeri olarak kabul

edilen minimum  $PGA \geq 1\text{cm/sn}^2$  (gal) ivme değerine sahip akselerogramlar temel alınmıştır. Kullanılan kayıtlar, doğrudan akselerogramdan ölçülmüş ham (düzeltilmemiş) veriler olduğu için, beklenmeyen anormal pik değere sahip (12 Kasım 1999 depremi Bolu kaydı gibi) kayıtlara (Bkz. Şekil 3.7) yer verilmemiştir. Aynı noktada aynı deprem için birden çok kayıt varsa, kullanılmamaya dikkat edilmiştir. Her bir ivme kaydına ait üç bileşen maksimum pik değerleri, istasyon bilgileri, zemin sınıfı ve diğer deprem parametreleri ile beraber EK B’de verilmiştir.

Verilerin temini: Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi (DAD) tarafından, ulusal ölçekte kuvvetli yer hareketi kayıt şebekesinin kurulduğu 1976 yılından günümüze (2007 yılına) kadar ülke genelinde meydana gelmiş kuvvetli yer hareketi kayıtları sayısal olarak arşivi mevcut olup, bu arşiv her yeni depremle güncellenmektedir. Bu kayıtlar, tüm araştırmacıların ve bilim dünyasının hizmetine Internet (<http://angora.deprem.gov.tr>) aracılığıyla sunulmaktadır. Ayrıca, isteyen araştırmacı bu verileri disket, CD veya taşınabilir belleklerle de temin edebilmektedir.

KRDAE ve İTÜ’nün yerel ölçekte işlettiği istasyon kayıtları ise, deprem kayıtlarının ilgili kurumdan istenmesi halinde, mevcut kayıtlar kopyalanarak araştırmacılara gönderilmektedir. KRDAE ve İTÜ’nün verileri, Özbey ve Fahjan (2004) tarafından bir CD ortamında oluşturulan veri setinden alınmıştır. Ayrıca, KRDAE tarafından gönderilen bu CD de; DAD, KRDAE, İTÜ USGS ve Mısırlı araştırmacıların bölgedeki geçici istasyonları tarafından alınan kayıtlar yer almaktadır. Ayrıca, Columbia Üniversitesi Lamont Doberty Yer Gözlemevi (CULDYG) tarafından 12 Kasım 1999 Düzce depremi sonrasında 8 tane geçici istasyon bölgeye kurulmuştur. Ancak, yabancı kuruluşlarca alınan kayıtların istasyon bilgileri, sayısal datalar ve başlık (header) bilgilerine erişilemediğinde, güvenilir veri grubuna dahil edilmemiştir.

## 4.2. Magnitüd

Türkiye’de meydana gelmiş depremlerin büyüklüğü tanımlanırken, farklı magnitüd (büyüklük) ölçekleri ( $M_b$ ,  $M_s$ ,  $M_L$ ,  $M_d$  ve  $M_w$ ) kullanılmıştır. Depremlerin bu farklı

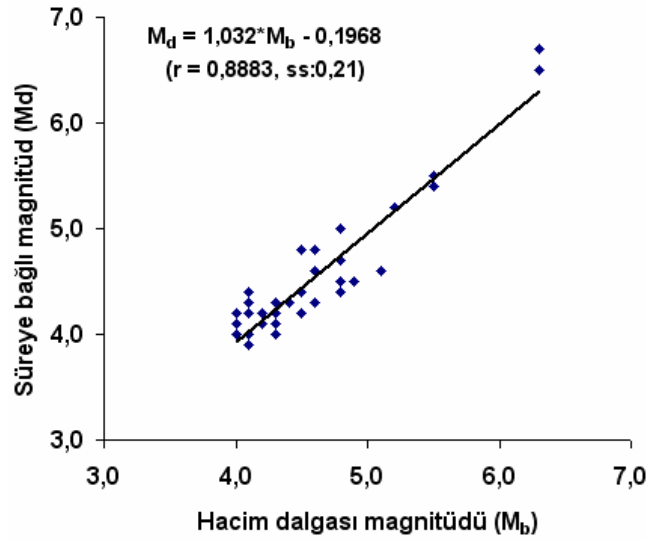
magnitüd ölçekleriyle bir arada ifade edildiği bir katalog mevcut değildir. Ülkemizde ulusal ölçekte sismolojik şebekeler işleten kurumlardan gerek DAD ve gerekse KRDAE'nin kataloglarında, çoğunlukla süreye bağlı ( $M_d$ ) magnitüd verilmektedir. Dolayısıyla, magnitüd parametresi olarak  $M_d$ , bu çalışmada kullanılan veri tabanının büyük bir kesimini temsil etmektedir. Magnitüd parametresi seçiminde; bölgedeki istasyonlarının yoğunluğu ve sistematik bir hata öngörüsü ile tek kurum verisi kullanmanın daha doğru olacağı kanaatiyle, KRDAE'nin katalog bilgileri (Kalafat vd., 2000, Kalafat vd., 2001) tercih edilmiştir. Katalog bilgilerinden 28 tane depremin büyüklüğü  $M_b$  ölçeğinde verilmiştir. İlerleyen bölümde açıklandığı gibi,  $M_b - M_d$  arasında geliştirilen dönüşüm bağıntısı ile magnitüd parametresi tek tip ölçeğe dönüşmüş ve büyüklük olarak  $M_d \geq 4$  seviyesi esas alınmıştır.

Deprem büyüklükleri için günümüzde moment ( $M_w$ ) magnitüdü tercih edilen ölçektir. Son zamanlarda, bir çok araştırmacı yaptıkları çalışmalarda  $M_w$  ölçeğini kullanmışlardır (Ambraseys ve Douglas, 2003; Atkinson ve Boore, 2003; Boore vd., 1997; Bozorgnia, 2000; Campbell ve Bozorgnia, 2003a; Fukushima vd., 2003; Gülkan ve Kalkan, 2002; Sadigh vd., 1997). Sismolojik çalışmalar ve deprem kayıt ağlarında meydana gelen ilerlemeler ile veri işlem tekniklerindeki gelişmelerle beraber moment magnitüdü kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Moment magnitüdün faylanmanın boyutları konusunda verdiği bilgiler, saha verileri ile de uyumlu olmaktadır. Moment magnitüd, günümüzde hasar analizlerinde sıkça kullanılan azalım ilişkileri ve şiddet dağılımlarının kestirilmesi çalışmalarında esas parametre olarak tercih edilmektedir.

Moment magnitüdü, en güvenilir deprem büyüklüğü ölçeği olmasının yanında hesaplanması açısından diğer ölçeklere göre çok daha karmaşıktır. Özel bir bilgi birikimi, değerlendirme tekniği yanında hesaplaması uzun süre almaktadır. Zaten dünya genelinde sınırlı sayıda sismolojik gözlemevi, belirli bir büyüklük üzerindeki depremler için  $M_w$  büyüklüğünü hesaplamaktadırlar. Bu yüzden, ölçekler arası ilişkilendirilmiş ampirik bağıntılar magnitüd dönüşümlerinde kullanılmaktadır. Ancak, farklı magnitüd ölçeklerine göre hesaplanan deprem büyüklük değerinin,  $M_w$  ölçeğine dönüştürülmesi oldukça önemli bir sorun teşkil etmektedir.

#### 4.2.1 Magnitüd dönüşümü

$M_d$ 'ye dönüşüm: Bu çalışma için oluşturulan veri kataloğunda deprem büyüklüğü çoğunlukla  $M_d$  ölçeğinde verilmiştir. Bununla birlikte, çalışma bölgesinde meydana gelen 40 kadar farklı deprem için hesaplanan iki tür ölçek ( $M_b$  ve  $M_d$ ) (bazı depremlerin büyüklüğü, her iki ölçek için de aynı değer hesaplanmıştır) arasında, standart en küçük kareler regresyon metodu kullanılarak,



Şekil 4.6. Marmara bölgesinde meydana gelen depremler için  $M_b$ - $M_d$  arasındaki ilişki (r: korelasyon katsayısı; ss: standart sapma)

Denklem 4.1 elde edilmiştir. Ölçekler arasındaki ilişki, Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Elde edilen bağıntı kullanılarak, veri kataloğundaki hacim dalgası magnitüdü ile verilen ( $M_b$ ) 28 tane depremin büyüklüğü, süreye bağlı magnitüd ( $M_d$ )'e dönüştürülmüştür. Denklem için korelasyon katsayısı;  $r=0,888$  ve standart sapma;  $ss=0,21$  olarak hesaplanmıştır. Benzer bir ampirik dönüşüm bağıntısı Kalafat (2002) tarafından, Türkiye genelinde meydana gelen depremler kullanılarak geliştirilmiştir (Denklem 4.2). Marmara bölgesinde meydana gelen depremlerle yapılan analiz, daha iyi bir korelasyon gösterdiği için,  $M_b$  ve  $M_d$  ilişkisi için Denklem 4.1 tercih edilmiştir.

$$M_d = 1.032 \times M_b - 0.1968 \quad (4.1)$$

$$M_d = 0.81 \times M_b + 0.76 \quad (4.2)$$

$M_w$ 'ye dönüşüm: Kataloglarda yer alan değişik magnitüd ölçeklerinin tek bir ölçeğe dönüştürülmesinde moment magnitudün ( $M_w$ ) esas alınması uygun olacaktır (Yüccemen vd., 2006). Bu amaçla, değişik ampirik dönüşüm ilişkileri geliştirilmiştir. Türkiye'de meydana gelen depremlerin farklı büyüklük ( $M_w$  ve  $M_d$ ) değerlerini kullanarak Ulusay vd. (2004) Denklem 4.3'de gösterilen ilişkiyi çıkartmışlardır. Denklem için korelasyon katsayısı,  $r=0,94$  ve standart sapma ( $ss$ )= $0,716$  hesaplanmıştır. Bu ilişkinin elde edilmesinde standart en küçük kareler regresyonu kullanılmıştır. Bu yöntem, aralarında bağıntı kurulacak değişkenlerden yalnızca bağımlı değişkende ( $M_w$ ) hata olması durumunu göz önüne almaktadır.

$$M_w = 0,9495 \times M_d - 0.4181 \quad (4.3)$$

Duda ve Nuttli (1974)'e göre; her bir tektonik bölgenin kendine has ölçekler arasında birbirine dönüşümü sağlayacak genelleştirilmiş bağıntılarının olması gereklidir (Stewart, 1975). Bu görüşe ilişkin, çalışma kapsamında Marmara bölgesinde meydana gelen ve katalog bilgilerinde yer alan depremlerden  $M_d$  ve  $M_w$  magnitüd ölçekleriyle hesaplanmış sınırlı sayıdaki veri ile yeni bir ilişki çıkarılmıştır. Bu ilişkinin elde edilmesinde yaygın olarak kullanılan standart en küçük kareler metodu kullanılarak Denklem 4.4 elde edilmiştir. Denklem için korelasyon katsayısı,  $r=0,93$  ve standart sapma ( $ss$ )= $0,29$  hesaplanmıştır.

$$M_w = 1.219 \times M_d - 0.866 \quad (4.4)$$

Deprem büyüklüklerinin çeşitli nedenlerden kaynaklanan belirsizlikler yüzünden hatasız olarak belirlenmesi mümkün değildir. Dolayısıyla aralarında bağıntı kurulacak olan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin her ikisinin de hata içermesi kaçınılmazdır. Böyle bir durumda regresyon analizi yapılabilmesi için ortogonal regresyon yönteminin kullanılması uygun olacaktır. Casterello vd. (2004) standart regresyon yoluyla elde edilen dönüşüm denklemlerindeki yanlılığı incelemiş ve

geliştirdikleri “Unified Italian Catalogue”da 0.4 magnitüd değerlerine erişen hataların olabileceğini belirtmişlerdir (Yüçemen vd., 2006).

Deniz (2006), ortogonal regresyon yöntemi kullanarak Denklem 4.5a ve standart en küçük kareler metoduyla Denklem 4.5b bağıntılarını geliştirmiştir. Çalışma sırasında, son yüzyıl içerisinde Türkiye de meydana gelmiş bütün depremlerden oluşan bir veri tabanını kullanarak  $M_d$  ve  $M_w$  arasındaki dönüşüm ilişkilerini elde etmiştir.

$$M_w = 1.27 \times M_d - 1.12 \quad (4.5a)$$

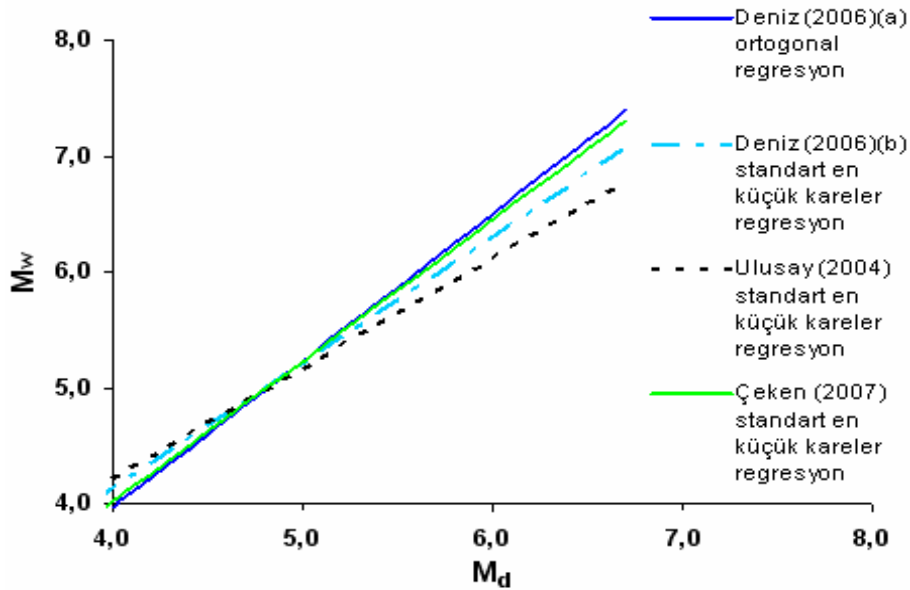
$$M_w = 1.09 \times M_d - 0.24 \quad (4.5b)$$

Çalışma kapsamında yer alan veri setindeki (Ek B)  $M_d$  değerleri; yukarıdaki her üç araştırmadan sağlanan dönüşüm denklemleriyle hesaplanan  $M_w$  değerleri, ilgili bağıntılarla beraber Tablo 4.1’de karşılaştırılmıştır. Ayrıca, çıkan sonuçlar grafik olarak Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Tablo ve grafikte görüldüğü üzere, dönüşüm bağıntıları ile elde edilen magnitüd değerleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Kullanılan değişik deprem katalogları, farklı tektonik rejimlerdeki deprem verileri ve uygulanan analiz teknikleri bu farklılıkları kaçınılmaz kılmaktadır.

Ulusay vd. (2004) tarafından verilen bağıntıya göre, 4.0-5.3 (dahil) arasındaki  $M_d$  değerine karşın,  $M_w$  değerlerinde 0.2 kadar sabit bir artış görülürken, 5.4 - 6.7 (dahil) arasındaki  $M_d$  değerine karşın,  $M_w$  de 0.1 kadar sabit bir artış vardır. Bu denklem, özellikle 1999 yılında bölgede meydana gelen 17 Ağustos Kocaeli ( $M_w$  : 7.4 ve  $M_d$  : 6.7) ve 12 Kasım Düzce ( $M_w$  : 7.2 ve  $M_d$  : 6.5) depremleri başta olmak üzere karakteristik büyük depremleri temsil etmediği görülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen ve Denklem 4.5’te verilen bağıntı, mevcut veri setindeki  $M_d$  ve  $M_w$  arasında iyi bir ilişkiyi temsil etmekle beraber, çok sınırlı sayıdaki (7) veriden elde edildiğinden dolayı, magnitüd dönüşümünde tercih edilmemiştir.

Deniz (2006)'in çalışmasında ortogonal regresyon yöntemiyle elde edilen Denklem 4.5a,  $M_d > 5.0$ 'dan büyük depremler için daha tutarlı  $M_w$  değeri (mevcut hesaplanmış depremlerle) alırken,  $M_d \leq 5.0$  için iyi bir temsil göstermemektedir. Bunun tersi, standart en küçük kareler metoduyla sağlanan Denklem 4.5b,  $M_d > 5.0$ 'dan büyük depremler için daha küçük  $M_w$  değerleri ve  $M_d \leq 5.0$  depremler için daha uygun bir ilişki vermektedir. Deniz (2006)'in çalışmasına göre, büyük depremler için ortogonal regresyon metodu tahminleri, standart en küçük kareler regresyon tahminlerine göre, daha büyük değerler aldığını göstermektedir. Küçük depremler için standart en küçük kareler regresyon tahminlerinin daha gerçekçi ve beklenen olduğuna dikkat edilmiştir. Bu sebeple, mevcut veri setinde magnitüd dönüşümünü uygularken;  $M_d \leq 5.0$  depremleri için Denklem 4.5b ve  $M_d > 5.0$  depremleri için Denklem 4.5.a ilişkisi kullanılmıştır.



Şekil 4.7.  $M_D - M_W$  dönüşümü için geliştirilen farklı ilişkilerin grafiksel karşılaştırılması

Çalışması kapsamında, 1983 yılından günümüze (2007) kadar Marmara bölgesinde meydana gelmiş, magnitüdü 4 ve daha büyük ( $M_d \geq 4$ ) olan depremler seçilerek incelenmiştir. Oluşturulan veri setindeki (Ek B) magnitüd türü,  $M_d$  ve  $M_w$  ölçeğinde verilmiştir. Diğer deprem parametreleri ile beraber model çalışmalarında her iki magnitüd türü ( $M_d$  ve  $M_w$ ) kullanılmıştır.

Tablo 4.1.  $M_d - M_w$  arasında geliştirilen ilişkilerin sayısal karşılaştırılması

Mag. ( $M_d$ )	Deniz (2006) (a) $M_w=1.27*M_d-1.12$	Deniz (2006) (b) $M_w=1.09*M_d-0.24$	Ulusay (2004) $M_w=0.9495*M_d+0.4181$	Çeken (2007) $M_w=1.219*M_d-0.866$
4.0	4.0	4.1	4.2	4.0
4.1	4.1	4.2	4.3	4.1
4.2	4.2	4.3	4.4	4.3
4.3	4.3	4.4	4.5	4.4
4.4	4.5	4.6	4.6	4.5
4.5	4.6	4.7	4.7	4.6
4.6	4.7	4.8	4.8	4.7
4.7	4.8	4.9	4.9	4.9
4.8	5.0	5.0	5.0	5.0
4.9	5.1	5.1	5.1	5.1
5.0	5.2	5.2	5.2	5.2
5.1	5.4	5.3	5.3	5.4
5.2	5.5	5.4	5.4	5.5
5.3	5.6	5.5	5.5	5.6
5.4	5.7	5.6	5.5	5.7
5.5	5.9	5.8	5.6	5.8
5.6	6.0	5.9	5.7	6.0
5.7	6.1	6.0	5.8	6.1
5.8	6.2	6.1	5.9	6.2
5.9	6.4	6.2	6.0	6.3
6.0	6.5	6.3	6.1	6.4
6.1	6.6	6.4	6.2	6.6
6.2	6.8	6.5	6.3	6.7
6.3	6.9	6.6	6.4	6.8
6.4	7.0	6.7	6.5	6.9
6.5	7.1	6.8	6.6	7.1
6.6	7.3	7.0	6.7	7.2
6.7	7.4	7.1	6.8	7.3

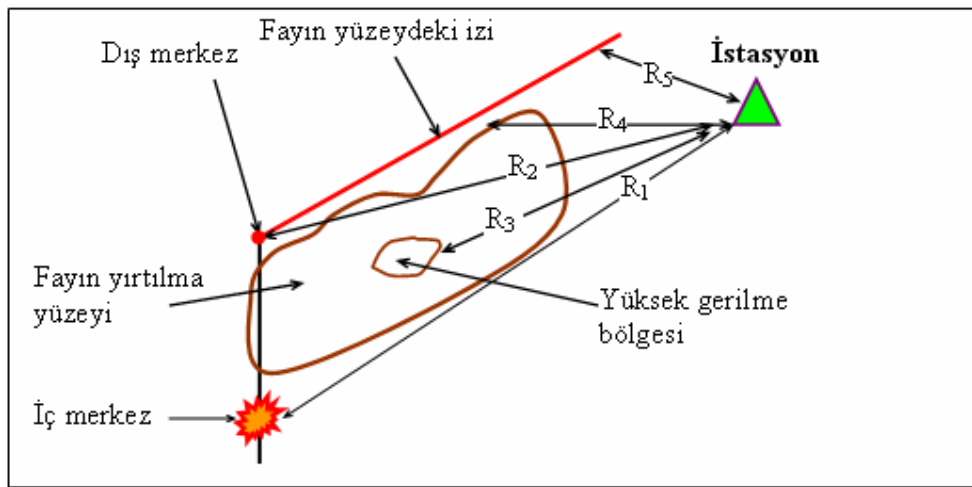


### 4.3. Mesafe

Kuvvetli hareket kayıtları için, kaynak uzaklığının tanımlanması kimi zaman ciddi bir belirsizlik içerir. Öyle ki, büyük bir deprem sırasında yüzey kırığı uzunluğu, onlarca ve hatta yüzlerce kilometre olarak gelişebilir. Dünya genelinde meydana gelen bir çok büyük deprem örneğinde (Parkfield 1966; Imperial Valley 1979, California) görüldüğü gibi ve yakın geçmişte Türkiye de meydana gelen iki büyük depremle (Kocaeli ve Düzce depremleri, 1999) de uzun yırtılma zonları oluşmuştur. Azalım ilişkisi analizlerinde, genellikle kolayca belirlenen dış merkez (epicentral) ve iç merkez (hypocentral) mesafeleri kullanılmaktadır.

Ancak, yırtılma yüzeyine yakın ivme-ölçer istasyonlarında kaydedilen pik ivmelerin, episantr veya hiposantir mesafelerine göre yüksek değerler verdiği ve kayıtlarda yakın kaynak etkisi görüldüğü bir kez daha kanıtlanmıştır. Örneğin; 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sırasında, episantrı 110 km mesafedeki Düzce istasyonunda ölçülen en büyük yatay ivmeyi ( $373 \text{ cm/sn}^2$ ), yüzey kırığına olan mesafe ile ilişkilendirip değerlendirmek daha tutarlı sonuç vermektedir.

Kuvvetli yer hareketi azalım ilişkisi geliştirilirken kaynak mesafesi için farklı ölçümler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Kuvvetli yer hareketi azalım ilişkilerinde kullanılan farklı uzaklık tanımları (Shakal and Bernreuter, 1981)

Depremi iç merkez ( $R_1$ ) ve dışmerkez ( $R_2$ ) uzaklıkları bir deprem sonrası en kolay belirlenen mesafelerdir. Ancak, faya ait yüzey kırıklığı uzunluğunun dışmerkez uzaklığının önemli bir kesrini teşkil etmesi durumunda, enerji boşalımı inceleme sahasına çok yakın olabilir ve böyle durumlarda  $R_1$  ve  $R_2$  uzaklıkları etkin uzaklığı doğru temsil etmeyebilir. En büyük yer hareketi genlikleri muhtemelen enerji boşalımının en büyük olduğu zonun yırtılmasıyla oluşacağından, maksimum genliği kestirmede kullanılan bağıntılar için en uygun uzaklığı ( $R_3$ ) temsil edecektir. Bununla beraber, bir depremden sonra bu lokasyonun belirlenmesi çok zor; depremden önce kestirilmesi ise neredeyse imkânsızdır. Yırtılma alanına en kısa uzaklık ( $R_4$ ) (temel kaya üzerindeki çökeller dahil edilmez) ve ( $R_5$ ) fay yırtılmasının yer yüzeyindeki izine en yakın uzaklıktır.  $R_4$  ve  $R_5$ 'in ikisi de azalım ilişkilerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Kramer, 1996).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, yüzey kırığına olan yakınlık mesafesi kullanımı yaygınlaşmaktadır. Joyner ve Boore (1981, 1982), kayıt istasyonu ile yer yüzeyindeki yırtılmanın düşey izdüşümüne olan uzaklığı, en yakın mesafe olarak tanımlamışlardır. Campbell (1981, 1988), yüzey kırığına (yırtılmaya) en yakın mesafeyi öngörmüştür. Fakat, bir sonraki çalışmasında (1988) yakın mesafe için “sismojenik yırtılma zonu” tanımlaması getirmiştir.

Bu çalışma kapsamında, öncelikle deprem bilgileri kataloğundaki episantür koordinatları ve ivme-ölçer istasyonların koordinatları kullanılarak, Denklem 4.6 formülü yardımıyla dış merkez ( $R_{epi}$ ) mesafesi hesaplanmıştır. Depremi odak derinliği ile dış merkez ( $R_{epi}$ ) mesafesinin kareleri toplamının karekökü alınarak, her bir ivme kaydı için iç merkez ( $R_{hyp}$ ) mesafesi belirlenmiştir. Daha sonra, her bir ivme kaydı üzerinde okunan P ve S dalgaları varış süreleri farkları (s-p) alınıp, Denklem 4.7 kullanılarak kayıt alınan her nokta için ikinci bir iç merkez ( $R_{hyp}$ ) mesafesi hesaplanmıştır. Belirli bir büyüklük ( $M_w \geq 4.0-4.5$ ) üzerindeki depremlerin dış merkezine yakın ( $R < 100\text{km}$ ) ve yeterli olay öncesi hafızası (pre-event memory) olan sayısal akselerograflarca alınan kayıtların, P ve S dalgalarının varışları iyi okunduğu zaman, iç merkez (hypocentral) uzaklığı çok basit hesaplanabilmektedir. Hiposantür ( $R_{hyp}$ ) mesafesi kontrolü için, her iki hesaplama sonucu karşılaştırılmıştır. Yakın aralıklarla ve kimi zaman episantıra çok yakın (5-30 km) olarak

konuşlandırılmış kuvvetli hareket kayıtçıları ile hesaplanan hiposantır mesafesi, bazen yüzlerce kilometre uzaklıklardaki zayıf hareket istasyon kayıtları ile yapılan değerlendirmeden daha iyi sonuç vermektedir. Dolayısıyla, her iki hesaplamada önemli mesafe farklılıkları görüldüğünde, yeniden değerlendirme yapılarak uygun olanı tercih edilmiştir.

$$R_{epi} = \sqrt{\left[ \left( (|E_{ist} - E_{epi}|) * 111.1949 \right)^2 + \left( (|B_{ist} - B_{epi}|) * \cos(E_{ist} * \pi / 180) * 111.1949 \right)^2 \right]} \quad (4.6)$$

$$R_{hypo} = \sqrt{R_{epi}^2 + h^2} \quad (4.7)$$

Burada;  $E_{ist}$  ve  $B_{ist}$ : sırasıyla, istasyon enlem ve boylam koordinatı,  $E_{epi}$  ve  $B_{epi}$  : depremin dışmerkez (epicenter) enlem ve boylam koordinatı,  $h$ : odak derinliği.

$$R_{hypo} = 8 * (t_s - t_p) \quad (4.8)$$

Burada;  $t_p$  ve  $t_s$  sırasıyla, P ve S dalgalarının varış zamanlarıdır.

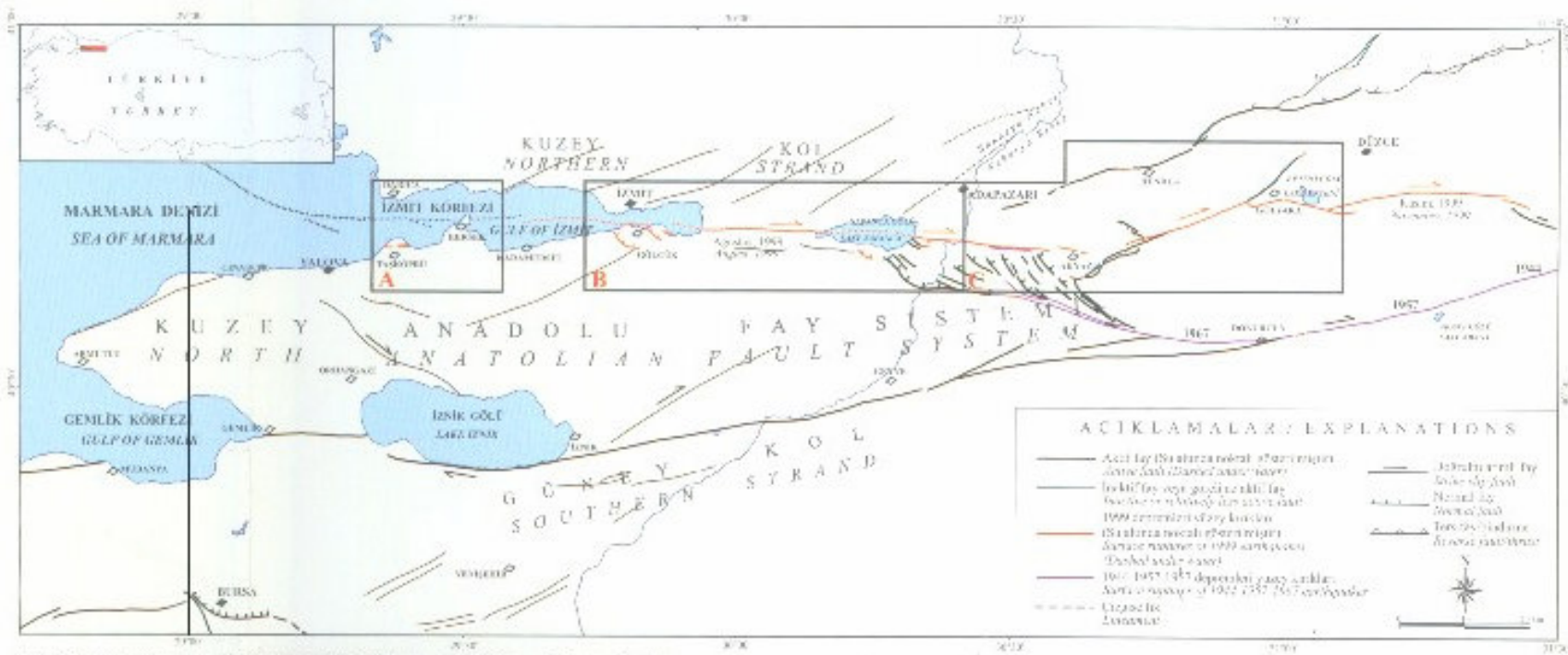
Mesafe, azalım ilişkisi için regresyon analizinde kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Mesafe ölçütü tutarlı belirlenmediği zaman, alınan sonuçlarda ciddi sapmalar meydana gelir. Yukarıda verilen her iki mesafe ölçütü ( $R_{hyp}$  ve  $R_{epi}$ ) kullanılarak yapılan analizde, iç merkez ( $R_{hyp}$ ) mesafesinin daha iyi bir ilişki (korelasyon) verdiği görülmüştür. Ancak, uzun yüzey kırığı meydana getiren büyük depremlerden (ör: 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri) alınan ivme kayıtları için , her iki ( $R_{epi}$ ,  $R_{hyp}$ ) mesafe ölçütünün de iyi sonuç vermediği tespit edilmiştir.

Bu tespit üzerine, faya ait yüzey kırığı ve yırtılmanın yer yüzündeki izine en kısa mesafe üzerinde çalışılmıştır. Bunun için, çalışma alanında (Marmara bölgesinde) meydana gelen ve uzun yüzey kırığı meydana getiren, 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinin yüzey kırıkları incelenmiştir. MTA (2003)'nın 17 Ağustos 1999 İzmit ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri yüzey kırığı haritası (Şekil 4.9) baz alınarak, ivme-ölçer istasyonlarının fay kırığının (rupture) yer yüzündeki izine en yakın uzaklıklarına ( $R_{rup}$ ) göre mesafeler yeniden hesaplanmıştır. Yırtılma izine en yakın mesafe ( $R_{rup}$ ), diğer parametrelerle beraber doğrusal regresyon analizi yapılarak,

tahmini bir “h” katsayısı elde edilmiştir. Yırtılma izine en yakın mesafenin ( $R_{rup}$ ) ve h değerinin kareleri toplamının karekökünden yeni bir mesafe ( $R_{rh}$ ) ölçütü belirlenmiştir.

Belirlenen bu mesafe ölçütü ( $R_{rh}$ ) kullanılarak yeniden bir analiz yapılmıştır. Analiz sonunda; özellikle, episanıra uzak, fakat yırtılma izine çok yakın (ör: 1999 Kocaeli depremi Düzce istasyonu kaydı için;  $R_{epi} = 110\text{km}$  ve  $R_{rup} = 10.6\text{km}$ ) noktalar için anormal değerler verdiği gözlenmiştir. Bilindiği üzere, büyük bir deprem sırasında gelişen yırtılma zonunda, depremin dış merkezine yakın civarlarda büyük atımlar (4-5 metreye varan) gelişirken, uzak kesimlerinde atım miktarı santimetre mertebesine inmektedir. Bu sebeple, en yakın yırtılma mesafesi belirlerken, büyük bir deprem sonucu yeryüzünde izlenebilen yırtılma boyunca her noktayı aynı etkiye sahip olarak değerlendirmek, bu çalışmada yaptığımız uygulama deneyiminde görüldüğü gibi hatalı sonuca götürmektedir.

Yapılan bu değerlendirmeler sonucu, yakın mesafe tayininde yeni bir düzeltme faktörünün gerektiği hipotezi üzerinde çalışılmıştır. Deprem etkisinin, odak noktasından ve/veya yüksek gerilme bölgesinden uzaklaştıkça azaldığı ve enerjinin önemli ölçüde soğurulduğu (absorb) gerçeğinden hareketle; mevcut doneler (mesafe, magnitüd, ivme, zemin koşulu) kullanılarak yapılan regresyon analizinde, Denklem 4.9 da verilen bir mesafe düzeltme ( $R_1$ ) bağıntısı geliştirilmiştir. Bu düzeltme operatörü ile, özellikle episanırdan çok uzak, ancak yüzey kırığına çok yakın olarak gözlenen kayıtlar için önemli bir uygunluk sağlanmıştır. Regresyon analizi sonucu, yapılan anlamlılık testlerinde ve belirlilik katsayısında ( $r=0,85$ ) önemli bir artış gözlenmiştir.



Doğu Marmara Bölgesinde Kuzey Anadolu Fay Sistemi ve 1999 depremleri yüzey kırıkları  
*Structural pattern of the North Anatolian Fault System in the Eastern Marmara region and surface rupture of the 1999 earthquakes*

Şekil 4.9. Doğu Marmara bölgesinde Kuzey Anadolu Fay Sistemi ve 1999 depremleri yüzey kırıkları (MTA, 2003)

$$R_1 = R_{rup} + 0.065 * \sqrt{(|R_{epi}^2 - R_{rup}^2|)} \quad (4.9)$$

Uzun yüzey kırığı, sığ ve büyük depremlerle oluşacağından dolayı, küçük depremler için zaten böyle bir tanımlama ( $R_{rup}$ ) beklenemez. Bu nedenle, yüzey kırığı oluşturmayan veya belirlenemeyen depremler için, h parametresi ile beraber episantr ( $R_{epi}$ ) mesafesi esas alınmıştır. Bu durumda, Denklem 4.9 verilen matematiksel ifadedeki yüzey kırığına olan en yakın mesafe için episantr mesafesi ( $R_{rup}=R_{epi}$ ) alınmaktadır. Fakat, Denklem 4.9 da elde edilen bağıntı, daha üzerinde çalışması gereken bir durum olduğu kanısıyla, bu çalışmada bir mesafe düzeltme operatörü olarak uygulanmamıştır.

#### 4.4. Yerel Zemin Koşulları Etkisi

Depremler sırasında, yer hareketinin özelliklerini kontrol eden en önemli etkenlerden biri de yerel zemin koşullarıdır. Yerel zemin şartları, kuvvetli yer hareketinin genlik, frekans içeriği ve süresi gibi önemli özelliklerini kuvvetle etkilemektedir. Yerel zemin koşulları, zemin tabakalarının kalınlığına, yoğunluğuna, havzanın geometrisine, sahanın topografyasına, dinamik özelliklerindeki değişmelere, ana kaya derinliğine ve yer altı suyu seviyesine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılıklar, yüzeydeki deprem hareketinin özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Literatürde yerel zemin koşullarının, deprem hasarına etkilerini deprem kayıtları esas alınarak yapılan çok sayıda araştırma (Kanai, 1952; Gutenberg, 1957; Idriss ve Seed, 1968; Borcherd, 1970; Rogers vd., 1984; Idriss, 1990; Makra vd., 2001; Ansal, 1994; Lachet vd., 1996) bulunmaktadır. Yerel zemin koşulları hasar dağılımı ve deprem kayıtları üzerinde belirleyici bir etki yaratabilmektedir (Bard, 1994).

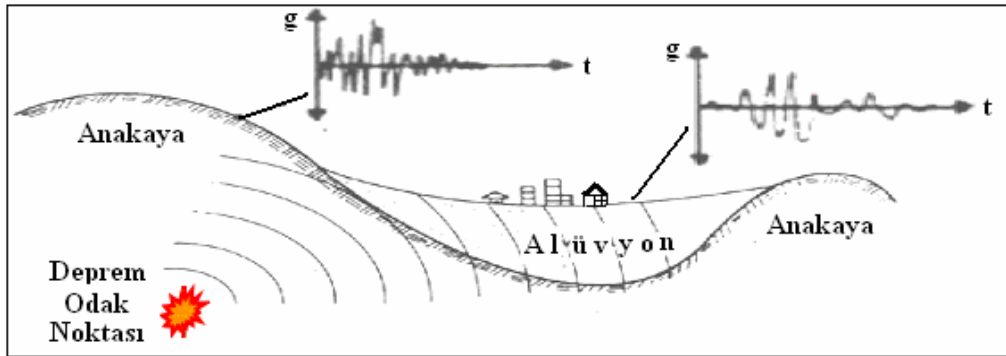
Zemin yüzeyi hareketlerinin yerel zemin şartlarından neden etkilenmesi gerektiği konusunda birkaç önemli teorik sebep vardır. Çoğu sahalarda yüzeye yakın malzemelerin yoğunluğu ( $\rho$ ) ve S-dalgası iletme hızı, büyük derinlerdekilere kıyasla daha düşüktür. Saçılma ve materyal sönümlenme etkilerinin ihmal edildiği durumda, elastik enerjinin korunması ilkesine göre derinden yüzeye doğru olan enerji akışı

$(\rho v_s \dot{u}^2)$  sabit olmalıdır. Bu nedenle, dalgalar yüzeye doğru yaklaşırken  $\rho$  ve  $v_s$  azaldığından, partikül hızı  $\dot{u}$  artmalıdır (Kramer, 1996). Dolayısıyla, yerel zemin büyütmesinin karakteri, özgül empedansla değişmektedir.

#### 4.4.1. Zemin etkileri

Değişik jeolojik koşullarda alınan kuvvetli hareket kayıtlarında; hareketin genliğinde, frekans içeriğinde ve süresinde önemli değişikliklerin gözlendiği bilinen bir durumdur. Bu değişimler, depremin hasar dağılımında büyük ölçüde etkilidir.

Eğer en üst katman alüvyon gibi yerkabuğunu oluşturan kayalara göre oldukça yumuşak toprak tabakalarından meydana geliyorsa, alüvyon yüzeyindeki yer hareketi kayalık yüzeylerdeki hareketten çok farklı oluşur (Şekil 4.10). Alüvyon yüzeyinde yüksek periyotlu salınımlar belirginleşir, düşük periyotlu (yüksek frekanslı) dalgalar ise kaybolur. Bu durumda alüvyon tabakası üzerinde yer alan yüksek periyotlu yapılar depremden daha çok etkilenir. Öte yandan kayalık bir zemin yüzeyindeki düşük periyotlu yapılar içinde aynı durum söz konusudur (Sucuoğlu, 1996). Aynı depremin etkisiyle alüvyon ve kayalık zeminlerde elde edilen yatay yer hareketleri ve yatay kuvvet spektrumları bu nedenle belirgin farklılıklar gösterirler (Seed vd., 1976).



Şekil 4.10. Yerel zemin koşullarının yer hareketi üzerindeki etkisi (Sucuoğlu, 1996'dan)

#### 4.4.1.1. Kayma - dalgası hızı ile zemin etkisi belirleme

Kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarındaki zemin koşullarını belirlemek için yapılan çalışmalara dayanarak, üst 30 metredeki ortalama kayma-dalgası hızının saha koşullarını tanımlamak için bir parametre olarak kullanılabilmesi gözlenmiştir (Borcherdt, 1992; Anderson vd., 1996). Buna bağlı olarak, yerel zemin sınıflarını birbirinden ayırmak için üç kriter belirlenmiştir: fiziksel özellikler, üst 30 metredeki ortalama kayma-dalgası hızı ve en küçük kalınlık. Bu kriterler, zemin sınıflarının haritalama amaçları için kullanılacak görünen büyütme özelliklerini tanımlamaktadır (Borcherdt, 1994).

Yerel zemin koşulları, farklı bölgelerdeki deprem kuvvetlerini büyütebilir veya küçültebilir. Fakat bazen zemin büyütmesini açıklamada, karmaşık tabakalaşma özelliklerini hesaba katmak için uygun bir basitleştirme gerekebilir. Yukarıda özetlendiği gibi, zemin profilinin üst 30 metresi zemin büyütmesinde önemli rol oynamaktadır ve eşdeğer kayma-dalgası hızı ( $V_{s30}$ ) zemin büyütmesini tahmin etmek için kullanılacak parametrelerden biridir (Joyner ve Fumal, 1984).

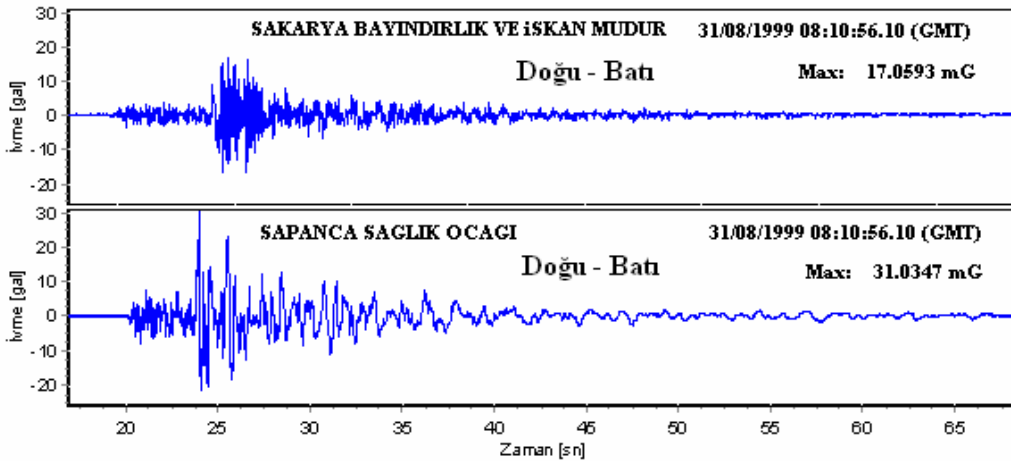
Bazı araştırmacılar (Rodriguez-Marek vd., 1999, 2001) ise, ortalama kayma dalgası hızı, saha davranışında ana kaya derinliğinin etkisini ihmal etmektedir. Bu araştırmacılar, deprem hareketini etkileyen üç faktör sıralamışlardır: bunlar sahanın hakim periyodu, yüzeysel ve alt tabakalarda yer alan zeminler arasındaki empedans oranı ve yer hareketinin şiddeti. Bu çalışmalarda önerilen zemin sınıflandırma sistemi iki ana ve iki tamamlayıcı parametreye dayanmaktadır. Burada ana parametreler (i) zemin türünün sert kaya, sağlam kaya, ayrılmış kaya, katı zemin, yumuşak zemin, potansiyel olarak sıvılaştırılabilir zemin gibi tanımları ve (ii) ana kaya derinliği veya önemli derecede empedans zıtlığı gözlenen derinliktir. Tamamlayıcı parametreler ise; (i) Holosen veya Pleistosen olarak zeminin yaşı ve (ii) ince veya kaba daneli zemin türüdür.

#### 4.4.1.2. Kuvvetli yer hareketi kayıtları ile zemin etkisi belirleme

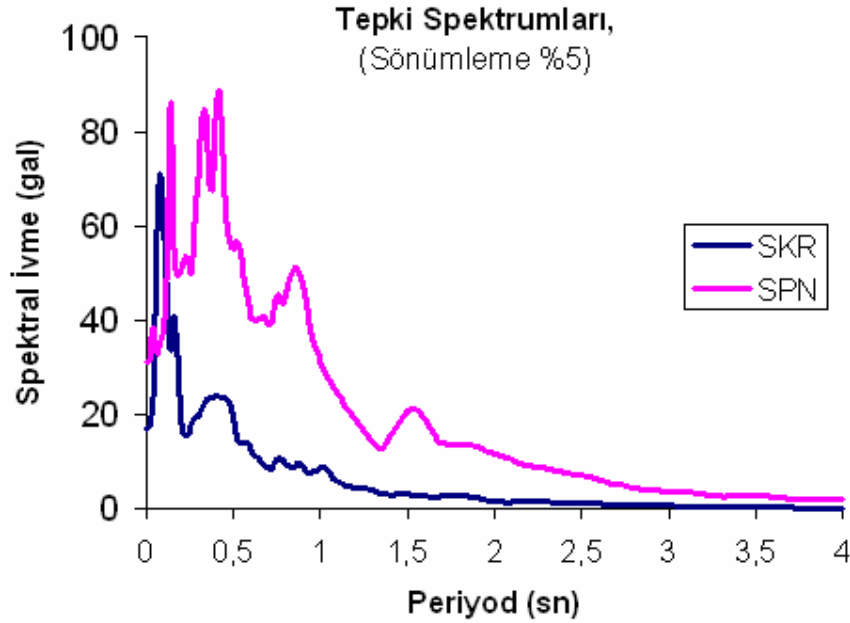


Farklı arazi koşullarında alınan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının yorumlanması ile zeminin gerçek büyütme fonksiyonu hesaplanabilmektedir. Bunun için, eldeki mevcut verilerle her bir istasyondan alınan kayıtların frekans analizi yapılmıştır. Aynı deprem için, değişik zemin şartlarında alınan kayıtlarda farklı frekans, genlik ve süreler tespit edilmiştir. Örneğin, Şekil 4.11’te yakın alanda meydana gelen bir deprem (Md:5.2) sırasında, alüvyon zemindeki Sapanca (SPN) ve sert zemindeki Sakarya (SKR) ivme-ölçer istasyonları tarafından kaydedilen ivme dalga formları gösterilmiştir. Bu kayıtlar depremin iç merkezine yaklaşık 30 (SPN) ve 36 km (SKR) uzaklıkta alınmıştır. Her iki kaydın zaman serisinde görüldüğü üzere, SPN’deki pik ivmeler SKR’nin yaklaşık iki katı mertebesinde olmuştur. Her iki sahaya ait tepki spektrumları Şekil 4.12’te verilmiştir. Açıkça görüleceği üzere, hareketlerin frekans içerikleri farklı olduğu gibi, SPN kaydı yumuşak zemin tarafından önemli ölçüde büyütülmüştür.

Aynı istasyon için farklı depremlerden alınan kayıtlarla yapılan analizlerle, o istasyon için bir baskın periyot ve büyütme değeri belirlemeye çalışılmıştır. Ancak, depremin büyüklük, kaynak, mesafe ve çevre gürültülerden kaynaklanan etkileri arındırıldıktan sonra bir yaklaşımda bulunulmalıdır. Özel bir çalışma gerektiren bu değerlendirmeler yapılmadan, sağlıklı bir sonuç alınamayacağı kanaatiyle, hesaplamalarda baskın periyot ve büyütme parametrelerine yer verilmemiştir.



Şekil 4.11. SKR ve SPN kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarından kaydedilmiş ivmenin zamana göre değişimi (D-B bileşenler)



Şekil 4.12. SKR ve SPN istasyonlarından alınan ivme kayıtlarının tepki spektrumları (D-B bileşenler)

#### 4.4.1.3. Çalışmada esas alınan zemin koşulu kriteri

Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY-2007), zemin koşullarını belirlemek için dört yerel zemin grubu (Tablo 4.2) ve zemin gruplarının en üst zemin tabaka kalınlıklarına göre de zemin sınıfı tanımlamıştır (Tablo 4.3). Bu çalışmada, kullanılan veri setindeki kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarının bulunduğu zemin etkilerini belirlemek için, kayma-dalgası hız ( $V_{S30}$ ) kriteri esas alınmıştır. Benzer şekilde, bir çok araştırmacı (Boore vd., 1993, 1997; Borchardt, 1994; Kalkan ve Gülkan, 2004; Sadıgh vd., 1993; Idriss, 1991a,b; Abrahamson ve Silva, 1995, 1996) geliştirdikleri azalım ilişkilerinde zemin sınıfı için, kayma-dalgası hızı parametresine göre tanımlama yapmışlardır. Hesaplamalarında, genellikle NEHRP hükümlerinde belirtilen ve Tablo 4.4'te verilen zemin sınıflaması (BSSC, 1994) değerlerini ve kimi araştırmacılarda, USGS (1994) ve UBC (1997) sınıflamalarını (Tablo 4.5) kullanmışlardır

TDY-2007 ile uyumlu olarak, ivme-ölçer lokasyonları da dört kategoride; A: kaya, B: sert zemin, C: yumuşak zemin ve D: alüvyon olarak değerlendirilmiştir. İstasyon yerlerinde yapılan sismik deneyler, kurumların verdiği zemin sınıfı bilgileri ve arazi gözlemleri birlikte değerlendirilerek belirlenen eşdeğer kayma-dalgası hızı,

Yönetmelikteki değerlerle ilişkilendirilmiştir. Buna göre, yerel zemin koşulları için tanımlanan indeks değişkenleri, çok yumuşak zemin için;  $S_D = 1$  ve  $S_B = S_C = 0$ , yumuşak zemin için;  $S_C = 1$  ve  $S_B = S_D = 0$  ve sert zemin için  $S_B = 1$  ve  $S_C = S_D = 0$  alınmıştır. A grubu zemini temsil eden veri sayısı çok az sayıda (13) olduğu için, A ve B grubu zeminler birlikte değerlendirilmiştir.

Tablo 4.2. 1998 Türkiye Deprem Yönetmeliği'ndeki zemin grupları

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penet. (N/30)	Rölatif Sıklık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı -Vs (m/s)
<b>A</b>	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar	-	-	>1000	>1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl	>50	85-100	-	>700
	3. Sert kil ve siltli kil	>32	-	>400	>700
<b>B</b>	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar	-	-	500-1000	700-1000
	2. Sıkı kum, çakıl	30-50	65-85	-	400-700
	3. Çok katı kil ve siltli kil	16-32	-	200-400	300-700
<b>C</b>	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	-	-	<500	400-700
	2. Orta sıkı kum, çakıl	10-30	35-65	-	200-400
	3. Katı kil ve siltli kil	8-16	-	100-200	200-300
<b>D</b>	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları	-	-	-	<200
	2. Gevşek kum	<10	<35	-	<200
	3. Yumuşak kil, siltli kil	<8	-	<100	<200

Tablo 4.3. 1998 Türkiye Deprem Yönetmeliği'ndeki yerel zemin sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 4.2'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h1)
Z1	(A) grubu zeminler h1 ≤ 15 m olan (B) grubu zeminler
Z2	h1 > 15 m olan (B) grubu zeminler h1 ≤ 15 m olan (C) grubu zeminler
Z3	15m < h1 ≤ 50m olan (C) grubu zeminler h1 ≤ 10 m olan (D) grubu zeminler
Z4	h1 > 50 m olan (C) grubu zeminler h1 > 10 m olan (D) grubu zeminler

Tablo 4.4. NEHRP 2000 Hükümlerindeki Zemin Sınıfları.

Zemin Sınıfı	Açıklama	Üst 30 metre için ortalama $V_s$ (m/sn)	Stand.Pen. Sayısı. N veya	Drenaj sız Kayma Muk.
A	Sert Kaya	>1500		
B	Kaya	760 -1500		
C	Çok sıkı zemin	360 - 760	>50	>100
D	Sert zemin	180 - 360	15-50	50 - 100
E	Yumuşak zemin	<180	<15	<50
F	1. Sismik yüklemeler altında potansiyel çökme veya göçme duyarlılığı olan zeminler, sıvılaşılabilen zeminler, hızlı ve yüksek derecede hassas killer ve zayıf çimentolanmış zeminler, vb. 2. Turbalar ve/veya yüksek derecede organik killer (H > 3 m kalınlığında turba ve/veya organik kil) 3. Çok yüksek plastisiteli killer (H > 8 m ve PI > 75) 4. Çok kalın yumuşak/orta sert killer (H > 36 m)			

Burada;  $V_s$  ve N üst 30 metre için hesaplanan ortalama değerler, Nch ve  $S_u$ 'da üst 30 metredeki kaba daneli ve ince daneli zemin tabakaları için ortalama değerlerdir.

Tablo 4.5. Zemin sınıflamalarının karşılaştırılması

2007 Deprem Yönetmeliği*	USGS Classification** Vs (m/sn)***	NEHRP 1994 Vs (m/sn)***	UBC 1997 Vs (m/sn)***
A > 700	A ≥ 750	A ≥ 1500	> 1524
B = 300 - 700	B = 360 - 750	B = 760 - 1500	762 - 1524
C = 200 - 400	C = 180 - 360	C = 360 - 760	366 - 762
D < 200	D ≤ 180	D = 180 - 360	183 - 366
		E ≤ 180	< 183

\* Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (alt değerler),

\*\* Boore vd., 1994,

\*\*\* Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı,

#### 4.4.2 Topografya ve havza etkisi

Topoğrafik düzensizlikler ve sedimanla dolu vadilerin deprem hareketinin değişimi üzerinde önemli etkileri vardır. Topoğrafya etkisi için, 1971 San Fernando depremi ( $M_L = 6.4$ ) sırasında güney California'daki Pacomia Baraj'nda kaydedilen kuvvetli yer hareketi kaydı bilinen bir örnektir. Burada, beklenenin çok üzerinde ve yaklaşık olarak 1.25g seviyesinde pik yatay ivmeler kaydedilmiştir. Fakat, ivme-ölçerlerin yerleştirildiği yer, baraja komşu kayalık bir sırtın oldukça dar olan tepesidir (Trifunac ve Hudson, 1971). Konuyla ilgili yapılan incelemeler, anormal derecede yüksek olan ivmelerin sırtın dinamik tepkisinden (topoğrafik etkiden) ileri geldiğini göstermiştir. Topoğrafik düzensizliklerin analizi, karmaşık bir problemdir. Düzensizliklerin geometrisi ve gelen dalgaların türü, frekansları ve geliş açısına bağlı olarak dalgaların etkileşimi, kompleks büyütme ve küçültme örnekleri oluşturabilir (Sanchez-Sesma ve Campilo, 1993).

Bununla beraber, basen kenarları da zemin büyütmesinde önemli rol oynamaktadır. Chin-Hsiung vd. (1998) Taipei Basenindeki yoğun kuvvetli yer hareketi ölçüm ağında alınan iki depremin ( $M_L = 6.5$  ve 6.7) kayıtlarını kullanarak, her iki depremde basenin farklı noktalarında alınan kayıtlar arasında gözlenen farklılıkların yanı sıra, en

büyük yer ivmesi, deprem süresi ve spektral ivmelerde de önemli farklılaşmalar olduğunu bildirmişlerdir.

Ancak, gerek yüzey topografyası ve gerekse havza geometrisinin etkilerini belirlemek için birtakım kompleks analizler (2 ve 3 boyutlu gelişmiş düzey analiz yöntemleri) gerekmektedir. Bu nedenle, topoğrafik ve basen kenarı büyütme etkileri, ilave birer parametre olarak ampirik bağıntıda tanımlanmamıştır.

#### **4.5 Yapısal Etkiler**

Kuvvetli yer hareketi istasyonlarının bir çoğu bina içlerinde (bodrum katında veya bina girişinde), özel yapılmış küçük kulübelerde, köprü veya baraj abatmanlarına (abutments) konuşlandırılmaktadır. Bu durumda, deprem sırasında cihazların kaydettikleri hareketler, içinde buldukları veya yakınında bulunan yapıların tepkisinden belirli frekanslarda etkilenebilmektedirler. Açık alanlardaki (yapıların etkilerinden uzak alana kurulu bulunan) ivme-ölçer cihazlarının kayıtları, kayıtcının içinde bulunduğu korunağın tepkisinden dahi etkilenebilmektedir (Bycroft, 1978: Crouse vd., 1984). Tipik alet korunaklarında bu etkiler genellikle yüksek frekanslarda önemlidir (Crouse ve Husmand, 1989). Bu çalışmada kullanılan kuvvetli hareket verilerinin büyük bir çoğunluğu, farklı özelliklerdeki binalardan alınan kayıtlardır. Çok çeşitlilik gösteren yapı özellikleri nedeniyle, yapı etkileri ayrı bir parametre olarak veri analizinde kullanılmamıştır.

#### **4.6 Fay Türü, Derinlik Ve Tekrarlanma Aralığı Etkisi**

Fayın tipi, depremin odak derinliği ve tekrarlanma zaman aralığı, kuvvetli yer hareketinin genliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çünkü bu etkiler, kaynaktaki stres durumu veya depremle birlikte streslerin değişimiyle ilişkili olduğu kabul edilmektedir. McGarr (1984)'a göre, kuvvetli hareket derinlikle artmalı, ters faylardaki yer hareketi normal faylardan daha büyük olmalı ve yanal-atım faylar arada bir değerde olmalı. Campbell (1998), sığ ve ters-atım depremlerdeki en büyük yatay ivme ve hızın, sırasıyla, 1.4 ve 1.6 ortalama bir çarpan olarak yanal-atım depremlerden daha büyük olduğunu kanıtlamıştır. Kanamori ve Allen (1986), aynı

büyükliğe sahip uzun tekrarlama süresi olan kısa fayların, uzun ortalama stres düşüm ve yüksek yer hareketi gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışmada kullanılan deprem kayıtları, yanal-atım karakteristiğine sahip aynı tür faylardan alındığı için, fayın türü için ayrıca bir parametre kullanılmamıştır.

#### 4.7 Fayın Yırılma Yönü (Directivity) Etkisi

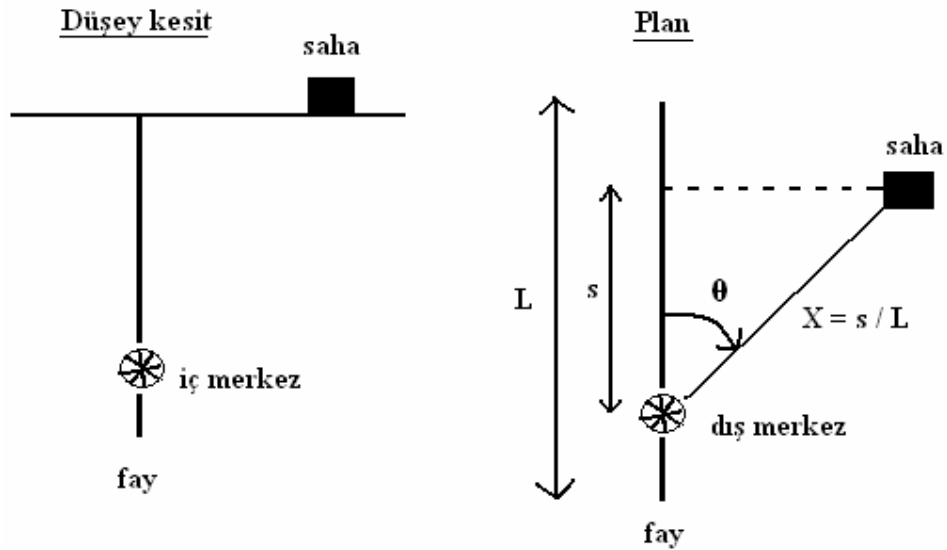
Küçük depremler sırasında meydana gelen yırılma yüzeyleri çok kısa mesafeli olduğu için, bu durum noktasal bir süreç olarak kabul edilebilir. Fakat, büyük depremler sırasında onlarca ve hatta yüzlerce km'lik mesafelere varan yırılmalar oluşabilmektedir. Dolayısıyla, yer hareketinin niteliği yırılma sürecinin karakteristiğinden etkilenmesi kaçınılmazdır. Örneğin, deprem dalgaları faydan değişik güçte ve yönde yayılır; bu şekildeki yönlendirme etkileri yer hareketi karakteristiklerinde azimutal farklılıklara yol açabilir (Benioff, 1955; Ben-Menachem, 1961). Ardışık yerdeğiştirmelerin oluşturduğu dalgalarının olumlu etkileri, yırılmanın kendisine doğru yaklaştığı yakın sahalarda çarpma adı verilen büyük yerdeğiştirmelerin kuvvetli palslarını (pulse) oluşturabilmektedir (Benioff, 1955). Fay yırılmasının yönlendirme etkisi, fay üzerindeki yırılma hareketinin, yer hareketi üzerindeki etkisi olarak bilinir. Bir fay düzlemi üzerinde belli bir hızla bir yırılmanın geliştiği durumda, yırılma hareketi yönündeki kayıt istasyonunda, yırılma yönüne ters yöndeki istasyonlara göre daha kısa süreli yer hareketi gözlenir.

Boatwright ve Boore (1982), yönlendirme (directivity) etkisiyle kuvvetli yer hareketinin önemli ölçüde etkilenebileceğini, ancak gelecekteki depremlerde yer hareketinin kestirimi için yönsellik etkilerini nasıl hesaba katabileceklerini açıkça belirtmemişlerdir. Campbell (1988), yırılma yönü etkisini bir parametre olarak yaptığı analizde kullanmıştır, ancak toplam 134 kayıttan yalnızca 3 tane kayıt için uygulamıştır, bu açıdan veri setindeki diğer kayıtların da yönlendirme etkisi ile bir miktar etkilenebileceği sonucuna varılır.

Somerville vd. (1997) yer hareketi azalım ilişkilerini, fay kırılmasının yönlendirilmesine göre geliştirmek için aktif tektonik bölgelerdeki sığ deprem kayıtlarını kullanmıştır. Bu araştırmada (Somerville, vd., 1997), yakın fay çevresindeki yer hareketinin

genliği ve süresinde, atıma paralel ve atıma dik doğrultudaki bileşenlerde oluşan değişmeler araştırılmış ve fay kırılmalarına yakın sahalardaki yer hareketi genliklerinin 0.6 saniyeden büyük spektral periyotlarda büyüdüğü belirtilmektedir. Bir sahaya doğru fay kırılması meydana gelmesi durumunda, spektral büyütme 0.6 saniyenin üzerindeki periyotlarda atıma dik yöndeki spektral ivme, atıma paralel yöndekinden daha büyük olmaktadır. Bu modele göre, yanal atım fayların düşey kesiti ve plan görünümü Şekil 4.13'te verilmiştir. Plan şematığına göre, azalım ilişkisi modellemesinde,  $X \cos \theta$  fonksiyonunun kullanımı öngörülmekte ve  $M > 6.5$  depremleri için Denklem 4.10 kullanılarak hesaplama yapılmaktadır.

$$y = C_1 + X \cos \theta \quad (4.10)$$



Şekil 4.13. Yanal atım faylar için yırtılma yönü parametreleri (Somerville vd., 1997)

Bu çalışmada kullanılan veri tabanında, iki büyük deprem (17 Ağustos ve 12 Kasım 1999) sırasında, alınan ana şok kayıtları sınırlı sayıda da olsa bir yönlenme etkisi beklenebilir. Ancak, gerek bu modele uygun sınırlı sayıda verinin olması ve gerekse mesafe ölçütü olarak fay kırığına en yakın mesafenin düşey izdüşümü kullanıldığı için, ayrıca kırılma yönü etkileri azalım ilişkisinin geliştirilmesinde dikkate alınmamıştır.



## **BÖLÜM 5. AZALIM İLİŞKİSİ VE DEĞERLENDİRMELER**

Bu bölümde zemin şartları, mesafe ve magnitüd bilgileri tanımlanmış parametrelerle kuvvetli yer hareketinin karakteristiğini belirleyecek bir fonksiyonun tespiti için yapılan çalışmalar yer almaktadır. Öncelikle, ülkemizde meydana gelen deprem kayıtlarına göre geliştirilen bağıntılar ile yabancı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş ve ülkemizde de yaygın olarak kullanılan önemli bağıntılara yer verilmiştir. Öte yandan, yerli ve yabancı araştırmacılarca geliştirilen azalım ilişkilerinin, mevcut verilerle değerlendirilmesi yapılmıştır.

Daha sonra çalışma kapsamındaki Marmara Bölgesinde alınan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının diğer deprem parametreleriyle beraber yapılan analizler ile elde edilen azalım ilişkisi bağıntılarına yer verilmiştir. Geliştirilen bu yeni bağıntılar diğer sönüm denklemleriyle karşılaştırılarak bir irdelemede bulunulmuştur.

### **5.1. Türkiye İçin Geliştirilen Azalım İlişkileri**

Türkiye'deki kuvvetli yer hareketi kayıt şebekelerinin kurulmaya başlandığı 1976 yılından günümüze, araştırmacılarımız tarafından her bir çalışmanın yayınlandığı tarihe kadar ülkemizde meydana gelen depremlere ait ivme kayıtların bir bölümü kullanılarak Türkiye için önerilmiş sönüm denklemleri (İnan vd., 1996; Aydan vd., 1996, 2001; Gülkan ve Kalkan, 2002; Özbey vd., 2003; Ulutaş vd., 2004; Ulusay vd., 2004; Kalkan ve Gülkan, 2004; Beyaz, 2004 ) bulunmaktadır.

Türkiye'ye özgü geliştirilmiş azalım ilişkisi modelleri tanımlanan parametrelerle beraber, üretildikleri yıla göre, Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Ülkemiz araştırmacıları tarafından geliştirilen ve Türkiye'ye özel azalım ilişkileri

Azalım İlişkileri	$\sigma$	Araştırmacı(lar)
$\text{LogPGA} = 0.65M - 0.9\text{logR} - 0.44$	**	İnan vd (1996)
$\text{PGA} = 2.8(e^{0.9M_S} e^{-0.025R} - 1)$	**	Aydan vd. (1996)
$\text{InY} = -0.682 + 0.258(M_W - 6) + 0.036(M_W - 6)^2 - 0.562\text{ln}(r) - 0.297\text{ln}(V_S/V_A)$ $r = \sqrt{r_{cd}^2 + h^2}$ $V_A = 1381$ ve $h = 4.48$	0.562	Gülkan ve Kalkan (2002)
$\text{log}(Y_{ij}) = a + b(M_{Wi} - 6) + c(M_{Wi} - 6)^2 + d \text{log}(\sqrt{R_{ij}^2 + h^2}) + eG_1 + fG_2$	***	Özbey vd. (2003)
$\text{LogA} = -0.753 + 0.737M_D - \text{Log}(R + 0.001868 * 10^{0.5M_D}) - 0.001047R$		Ulutaş vd. (2003)
$\text{PGA} = 2.18e^{0.0218(33.3M_W - Rc + 7.8427SA + 18.9282SB)}$	0.63	Ulusay vd. (2004)
$\text{InY} = 0.393 + 0.576(M_W - 6) - 0.107(M_W - 6)^2 - 0.899\text{ln}(r) - 0.200\text{ln}(V_S/V_A)$ $r = \sqrt{r_{cd}^2 + h^2}$ $V_A = 1112$ ve $h = 6.91$	0.612	Kalkan ve Gülkan (2004)
$\text{logA} = 2.08 + (0.0254M_W^2) - 1.001 \text{log}(R + 1)$	0.712	Beyaz (2004)

\* : Standart sapma

\*\* : Belirtilmemiş

\*\*\* : Spektral ivmelerin %5 sönüm oranı için, farklı periyot değerlerle değişen katsayılar önerildiğinden  $\sigma$  değişmektedir.

### 5.1.1. İnan ve diğerleri (1996)

İnan vd (1996) tarafından geliştirilen azalım ilişkisi (Denklem, 5.1), 1976-1996 yılları arasındaki ivme kayıtlarından oluşmaktadır. Kullanılan veriler arasında bir tasnif (magnitüd ölçeği, ivme genlik aralığı, kullanılan ivme bileşeni, fay türü, mesafe bilgisi ve zemin koşulları gibi) yapılmamıştır.

İnan vd (1996) tarafından önerilen bağıntı ölçülen deprem kayıtlarındaki pik yatay yer ivmesinin çok üzerinde değerler vermektedir. Örneğin, kullanılan katalogta yer alan ve en büyük magnitüd ve ölçülen ivme değerine sahip 13.03.1992 Erzincan depreminin ( $M_S = 6,8$ ), dış merkezine 12 km uzaklıkta ölçülen EW yönündeki pik yatay yer ivmesi  $470 \text{ cm/s}^2$ 'dir. Fakat, önerilen denklem kullanıldığında, en büyük yatay yer ivmesi,  $1020 \text{ cm/s}^2$  olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{LogPGA} = 0.65M - 0.9\log R - 0.44 \quad (5.1)$$

Burada;

PGA: en büyük yer ivmesi ( $\text{cm/sn}^2$ ),

R: episantr mesafesi (km),

M: depremin büyüklüğü

### 5.1.2. Aydan ve diğerleri (1996)

Aydan vd. (1996) tarafından önerilen sönüm denkleminin (Denklem 5.2) oluşturulmasında 1969-1995 yılları arasında Türkiye’de meydana gelmiş  $3,5 \leq M \leq 7,3$  olan 50 deprem kaydı kullanıldığı belirtilmektedir. Kullanıldığı belirtilen depremlerden sadece 30 tanesi aletsel (1976 yılında başlayan) dönemde ölçülmüş kayıtlardır.

Aletsel dönemde ölçülmüş kayıtlardan sönüm denklemi türetilmesinde kullanıldığı belirtilen depremlerden sadece 18 tanesinin ivme kaydı vardır, geriye kalan 32 depremin ivme kaydı bulunmamaktadır. İvme kaydı bulunmayan 32 deprem için kıyaslama yapılarak tahmini yöntemlerle ivme değerleri atanmıştır. Deprem büyüklüğü olarak  $M_b$ ,  $M_s$  ve Mercalli şiddeti ( $I_0$ ) ölçekleri kullanılmıştır. Aletsel dönemden önceki depremlerin büyüklükleri fay boyutlarından hareket ederek türetilen bağıntılar yardımıyla tahmin edilen değerler olup, gerçek deprem büyüklüğü değildir. Aletsel dönemde alınan kayıtların 4 tanesi kaya üzerinden diğer 14 kayıt ise zemin üzerine kurulu istasyonlar tarafından ölçülmüş deprem kayıtlarıdır (Beyaz, 2006). Kayıtlarda zemin koşulları etkileri için herhangi bir düzeltme parametresi kullanılmamıştır. Kullanılan depremlerin odak uzaklıkları kayıt istasyonuna 20 km’den daha fazladır.

$$\text{PGA} = 2.8(e^{0.9M_s} e^{-0.025R} - 1) \quad (5.2)$$

Burada;

PGA: en büyük yer ivmesi (g), R: episantr mesafesi (km),  $M_s$ : depremin yüzey dalgası büyüklüğü

### 5.1.3. Gülkan ve Kalkan (2002)

Gülkan ve Kalkan (2002) tarafından önerilen denklem, 1976-1999 yılları arasında Türkiye’de meydana gelmiş, büyüklüğü  $M_w \geq 5,0$  olan 19 depreme ait 47 deprem kaydının yatay bileşenine ait toplam 93 kayıt kullanılmıştır. Sönüm denkleminde, en büyük yatay yer ivmesi ve %5 sönüm oranına göre farklı periyot değerleri kullanılmıştır. Mesafe ölçütü olarak yüzey kırığına en yakın yatay mesafe ( $R_{cl}$ ) tanımlanmıştır. Zemin koşu için, Türkiye 1997 Deprem Yönetmeliğinde verilen zemin gruplarındaki kayma dalgası hız ( $V_s$ ) değerleri kullanılmıştır. Zemin grupları için ortalama kayma dalgası hızlarını; yumuşak zemin, zemin ve kaya olarak sınıflamış ve hız değerleri ise, sırasıyla 200, 400 ve 700 m/sn olarak belirlemiştir. Önerilen denklem, Boore vd. (1997) tarafından geliştirilen azalım bağıntısının fonksiyonel biçimini (Altbölüm 5..2.5) esas almaktadır (Denklem 5.3).

$$\ln Y = -0.682 + 0.258(M_w - 6) + 0.036(M_w - 6)^2 - 0.562 \ln(r) - 0.297 \ln(V_s/V_A) \quad (5.3)$$

$$r = \sqrt{r_{cl}^2 + h^2} \quad V_A = 1381 \text{ ve } h = 4.48$$

Burada;

Y: en büyük yatay yer ivmesi ( $\text{cm/sn}^2$ ),

$R_{CL}$ : yüzey kırığına en yakın yatay mesafe (km),

$M_w$ : depremin moment büyüklüğü,

h: fiktif derinlik (km),

$V_s$ : ortalama kayma-dalgası hızı (m/sn) ve

$V_A$ : fiktif hız (m/sn) dir.

Gülkan ve Kalkan (2002) azalım denklemi üzerine bazı değerlendirmeler:

- Mevcut istasyonlarının kurulu olduğu zeminlerin kayma-dalgası hızının ( $V_s$ ) gerçek değeri belli olmayıp yapılan tanımlamada; kaya, zemin ve yumuşak zemin türünde üç farklı grup olarak değerlendirilmiştir. Zemin grubu tanımlamasında gözlemsel verilerle ilişkilendirilen tahmini kayma-dalgası hızı, model için önemli bir dezavantajdır.

- Ülkemizin farklı deprem kaynak mekanizmasına sahip bölgelerinden alınan sınırlı sayıdaki kayıtlarla, faylanmanın etkileri dikkate alınmadan yapılan regresyon analizi iyi bir temsil örneği göstermeyebilir.
- Çalışmada kullanılan kayıtların yarısına yakın bir kısmı 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi kayıtlarıdır. Bu sebeple geliştirilen bağıntının, bu depremin genel karakteristik özelliklerinden büyük ölçüde etkilenecektir. Dolayısıyla, farklı bölge koşulları (kaynak mekanizması, jeolojik şartlar vb.) için duyarlılığı tartışılır.
- Kullanılan veri seti içerisinde aynı depreme ait aynı lokasyonda birbirinden farklı iki değer (CEK: Çekmece nükleer santral binası kayıtları gibi) kullanılmıştır. Az sayıdaki örnekle yapılan bu analizin istatistikteki örnekleme açısında yanıltıcı sonuçlara sebebiyet verebilir.
- Bazı kayıtlarda hatalı okumalar yapılmıştır (kaydın zaman serisine bakılmada, muhtemelen doğrudan başlık bilgisinden alınmış). Örneğin, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sırasında, Tekirdağ'daki ivme-ölçerin o sırada aldığı periyodik test kaydının akabinde deprem kaydı alınmıştır. Bu yüzden, esas ölçülen pik ivme değeri  $33.6 \text{ cm/sn}^2$  iken, test sinyaline ait olan pik yatay ivme değeri  $129 \text{ cm/sn}^2$  alınmıştır.

#### 5.1.4. Özbey ve diğerleri (2003)

Özbey ve diğerleri (2003)'nin azalım modeli, Türkiye'nin Kuzey Anadolu Fay Sisteminin yanal-atım karakteristiğindeki fay mekanizmasına sahip Kuzeybatı kesiminde, 1999 – 2000 yılları arasında meydana gelen depremlerden alınan ivme kayıtları kullanılarak, bölgeye özel olarak geliştirilmiş bir bağıntıdır (Denklem 5.4).

Büyüklüğü  $M_w \geq 5,0$  olan 17 depreme ait 195 ivme kaydı kullanılmıştır. Sönüm denklemi genel olarak; 17 Ağustos 1999 Kocaeli ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri ve bu iki depremin artçı sarsıntılarının kuvvetli yer hareketi verilerinden oluşmaktadır. Hesaplama, pik yer ivmesi ve spektral ivmenin her iki yatay

bileşenin geometrik ortalaması esas temel alınmıştır. Mesafe ölçütü, yırtılmanın düşey projeksiyonuna en yakın yatay uzaklık olarak tanımlanmıştır.

$$\log(Y_{ij}) = a + b(M_{wi}-6) + c(M_{wi}-6)^2 + d \log(\sqrt{R_{ij}^2 + h^2}) + eG_1 + fG_2 \quad (5.4)$$

Burada;

$Y_{ij}$ : yer hareketi parametresi (PGA, SA) cm/sn<sup>2</sup> cinsinden en büyük yatay yer ivmesinin iki bileşenin geometrik ortalaması,

$M_i$ : i'nci depremin moment manitüdü,

$R_{ij}$ : j'nci kaydın i'nci depremin yol açtığı kırığın izdüşümüne en yakın mesafesi,

a: 3,287; b: 0,503; c: -0,079; d: -1,1177; e: 0,141; f: 0,331; h: 14,82

Zemin parametresi olarak;

kaya (A ve B grubu) için,  $G_1 = 0$  ve  $G_2 = 0$ ;

zemin (C grubu) için,  $G_1 = 1$  ve  $G_2 = 0$  ve

yumuşak zemin (D grubu) için,  $G_1 = 0$  ve  $G_2 = 1$  değerleri kullanılmaktadır.

Özbeç ve diğerleri (2003) azalım denklemi üzerine bazı değerlendirmeler:

- Kullanılan kayıtların tamamı iki büyük depremin (17 Ağustos Kocaeli ve 12 Kasım Düzce, 1999) ana şok ve artçı şoklarından oluşmaktadır. Dolayısıyla, önerilen model, sadece bu iki depremin genel karakteristik özelliğini yansıtmaktadır.
- Kullanılan veri seti, çalışma metinlerinde yer almadığı için, bu konuda herhangi bir irdeleme yapılamamaktadır.

### 5.1.7. Ulutaş ve diğerleri (2003)

Ulutaş vd. (2003)'nin çalışmalarında kullanılan veri grubu,  $M_D \geq 4.0$  olan ve derinlikleri 22 km'den daha küçük 89 sığ depremden 882 kuzey-güney bileşen, 882 düşey bileşen ve 881 doğu-batı bileşen en büyük ivme değerini içermektedir. Depremlerden 80 kadarı 17 Ağustos 1999 ( $M_D = 6.7$ ) ve 12 Kasım 1999 ( $M_D = 6.5$ ) depremlerinin ana şok ve artçı şoklarını, 9 tane ise, bölgede meydana gelen diğer

depremleri içermektedir. Çalışmada, deprem büyüklüğü için  $M_D$  ölçeği kullanılmıştır. İvme değerleri için, her iki yatay bileşenin en büyüğü esas alınmıştır. Kullanılan bağıntının fonksiyonel biçimi için, Campell (1985) temel alınmıştır (Denklem 5.5).

Bu modeli kullanmalarının nedeni; ivme kayıtlarına doğrudan etki eden istasyonların bulunduğu jeolojinin önceden hesaba katılmaması ve fay ile istasyon arasındaki uzaklığın belirlenememesi durumunda, kayıt istasyonu ile alınan kaydın depremin dış merkezine olan uzaklığının kullanılabilmesi olarak öngörülmektedir.

$$\text{Log}A = -0.753 + 0,737M_D - \text{Log}(R + 0.001868 * 10^{0.5M_D}) - 0.001047R \quad (5.5)$$

Burada;

A: en büyük yatay yer ivmesi ( $\text{cm/sn}^2$ ), R: episantr mesafesi (km),

$M_D$ : depremin süreye bağlı büyüklüğü,

Ulutaş ve diğerleri (2004) azalım denklemi üzerine bazı değerlendirmeler:

- Kanamori (1977) tarafından belirtilen magnitüd saturasyonu (doygunluğu) görüşüne göre, klasik olarak genlik ve süre okumalarından saptanan magnitüd ölçekleri ancak fay boyunun 5-50 km olduğu depremlerde gerçek büyüklüğü temsil edebilirler. Dolayısıyla, veri grubunun genelini oluşturan iki büyük deprem ve artçılarını ihtiva eden bu çalışmada esas alınan  $M_D$  ölçeği ile geliştirilen bağıntı, tartışılmaya açıktır.
- Hiç şüphe yok ki, depremler sırasında yer hareketinin özelliklerini kontrol eden en önemli etkenlerden biri de yerel zemin koşullarıdır. Yerel zemin şartları, kuvvetli yer hareketinin genlik, frekans içeriği ve süresi gibi önemli özelliklerini kuvvetle etkilemektedir. Ulutaş vd. (2004)'nin, zemin koşulunu dikkate almadan yaptığı çalışma bu yönüyle de yeterli değildir.
- Büyük depremler sırasında, fayın yırtılma yüzeyine yakın ivme-ölçer istasyonlarında kaydedilen pik ivmelerin, episantr veya hiposantr mesafelerine

göre ampirik olarak yüksek değerler verdiği ve kayıtlarda yakın kaynak etkisi görüldüğü bilinen bir gerçektir. Ulutaş vd. (2004)'nin azalım ilişkisi, kayıt istasyonu ile depremin dış merkez uzaklığını kullanması da güvenilir bir sonuç değildir.

- Ayrıca, kullandığı veri setine erişilmediğinden, bu konuda her hangi bir irdelemede bulunulmamıştır. Yapılan analiz sonunda önemli istatistik bilgiler (korelasyon katsayısı ve standart sapma gibi) verilmemiştir.

### 5.1.5. Ulusay ve diğerleri (2004)

Ulusay ve diğerlerinin (2004) farklı zemin türlerine göre geliştirdikleri pik yer ivmesi ampirik ilişkisi, 1976- 2003 yılları arasında Türkiye genelinde meydana gelen 122 depremden elde edilen 221 kadar kuvvetli hareket kaydından oluşmaktadır. Deprem büyüklüğü için moment magnitüd ölçeği esas alınmış ve 4.1 ile 7.5 magnitüd arasındaki deprem verileri kullanılmıştır. Mesafe ölçütü olarak, depremin dış merkezine ( $R_{epi}$ ) olan uzaklık tanımlanmış ve 5 ile 100 km sınırları arasındaki veriler temel alınmıştır. Korelasyon katsayısı  $r = 0.63$  ve standart sapma  $SD = 86.4$  hesaplanmıştır. Bağıntının fonksiyonel biçimi katsayılarla beraber Denklem 5.6'da verilmiştir.

$$PGA=2.18e^{0.0218(33.3M_w - R_{epi} + 7.8427S_A + 18.9282S_B)} \quad (5.6)$$

Burada;

PGA: en büyük yatay yer ivmesi ( $cm/sn^2$ ),

$R_{epi}$ : episantr mesafesi (km),

$M_w$ : depremin moment büyüklüğü,

Zemin parametresi olarak;

kaya için,  $S_A = 0$  ve  $S_B = 0$ ; zemin için,  $S_A = 1$  ve  $S_B = 0$  ve yumuşak zemin için,  $S_A = 0$  ve  $S_A = 1$  değerleri kullanmaktadır.

Ulusay ve diğerleri (2004) azalım denklemi üzerine bazı değerlendirmeler:



- Ulusay vd. (2004)'nin çalışmalarında fay türü dikkate alınmamıştır. Bölüm 4.6'da detaylı açıklandığı üzere; fayın tipi, depremin odak derinliği ve tekrarlanma zaman aralığı, kuvvetli yer hareketinin genliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu sebeple, deprem kayıtlarının alındığı kaynak zonu etkileri belirleyici bir parametre olarak hesaplarda yer almalıdır. Aksi durumda, Ülkemizin farklı kaynak mekanizmasına sahip bölgelerinde alınan deprem kayıtlarının, fay türlerine göre değerlendirme yapmadan, aynı kategoride tutulması hatalara neden olabilir.
- Çalışmada, zemin etkileri üç kategoride değerlendirilmiştir. Bu genelde geçerli bir yaklaşım olmakla beraber, zemin bilgileri yerinde (in-situ) ölçülmüş değerler olmayıp, çoğunlukla gözlemsel verilere dayanan kurum bilgilerinden alınmıştır. Doğruluğu tartışılabilir bu bilgilerle zemin etkilerini belirlemeye çalışmak yeterli olmayabilir.
- Büyük depremler sırasında, fayın yırtılma yüzeyine yakın ivme-ölçer istasyonlarında kaydedilen pik ivmelerin, episantr veya hiposantr mesafelerine göre ampirik olarak yüksek değerler verdiği ve kayıtlarda yakın kaynak etkisi görüldüğü bilinen bir gerçektir. Bu sebeple, Ulusay vd. (2004)'nin azalım ilişkisi de, kayıt istasyonu ile depremin dış merkez uzaklığını ( $R_{epi}$ ) kullanması bakımından, uzun yüzey kırığı oluşturan büyük depremler için güvenilir bir sonuç değildir.
- Ulusay vd. (2004) çalışmasında, bazı kayıtlarda (17 Ağustos 1999 depremi ZYT, MCD ve MSK kayıtlarında olduğu gibi) çok bariz görülen eksen kayması düzeltmelerinin yapılmadığı veya doğru yapılmadığından dolayı hatalı veri kullanılmıştır.

#### **5.1.6. Kalkan ve Gülkan (2004)**

Kalkan ve Gülkan'ın, 2002 de geliştirilen azalım ilişkisi, bu kez 1976-2003 yılları arasında meydana gelen ve büyüklükleri ( $M_w$ ) 4.0 ile 4.7 arasında değişen 57

depremden elde edilen, 112 kayıt ile 2004 yılında güncellenmiştir (Denklem 5.7). Veri seti, 250 km mesafeden kaydedilen verileri de içermektedir.

Kullanılan denklem bir önceki (Bölüm 5.1.3) ile aynı formattadır (Denklem 5.7). Bu modelin geliştirilmesinde, öncekine oranla daha çok veri kullanılmıştır. İlerleyen bölümlerde görüleceği gibi, bu model öncekine göre çok daha tutarlı sonuçlar vermektedir.

$$\ln Y = 0.393 + 0.576(M_W - 6) - 0.107(M_W - 6)^2 - 0.899 \ln(r) - 0.200 \ln(V_S/V_A) \quad (5.7)$$

$$r = \sqrt{r_{cl}^2 + h^2} \quad ; \quad V_A = 1112 \text{ ve } h = 6.91$$

### 5.1.8. Beyaz (2004)

Beyaz (2004)'nin çalışmasında, 1976-2004 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen ve  $M \geq 4$ 'ten büyük depremlerden elde edilen kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılmıştır. Bütün depremlerin büyüklüğü moment ( $M_W$ ) ölçeğine dönüştürülmüştür. Kayıtlardaki zemin etkisini gidermek için, mevcut kayıtları birtakım süreçlerden geçirerek, temel kayayı temsil eden değerlere dönüştürülmesi temel alınmıştır. Bunun için, zemin üzerine kurulu 64 lokasyonda 25-100 m arasında değişen derinliklerde sondaj yapıldığı, zeminin düşey stratigrafisi belirlendiği ve kuyu jeofiziği yöntemiyle kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonunun zeminini oluşturan tabakaların S-dalgası iletme hızı ( $V_S$ ) ve stratigrafik profillerin çıkarıldığı belirtilmektedir (**Not:** çalışmasının sonunda yer alan Ek-II bu bilgilere yer verilmiş, ancak hangi istasyonlara ait olduğu belirsizdir).

Çalışmada kullanılmak üzere seçilen her bir deprem kaydının pik ivme değeri 20  $\text{cm/s}^2$ 'nin üzerinde seçilmiştir. Her iki yatay bileşenin ivme değerleri birlikte kullanılmıştır. Deprem dış merkezine olan uzaklık için 200 km.den fazla olan istasyon kayıtları kullanılmamıştır. Önerilen bağıntının fonksiyonel biçimi Denklem 5.8 de verilmiştir.

$$\log A = 2,08 + (0.0254M_W^2) - 1.001 \log(R+1) \quad (5.8)$$

Burada;

A: en büyük yatay yer ivmesi ( $\text{cm/sn}^2$ ),

R: episantr mesafesi (km),

$M_w$ : depremin moment büyüklüğü,

Beyaz (2004) azalım denklemi üzerine bazı değerlendirmeler:

- Türkiye genelinde alınmış veriler kullanılarak fay türü dikkate alınmamıştır. Bölüm 4.6'da detaylı açıklandığı üzere; fayın tipi, depremin odak derinliği ve tekrarlanma zaman aralığı, kuvvetli yer hareketinin genliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu yüzden, ülkemizin farklı kaynak mekanizmasına sahip bölgelerinde alınan deprem kayıtlarının, fay türlerine göre bir değerlendirme yapmadan aynı kategoride tutulması hatalara neden olabilir.
- Depremin dış merkezine olan uzaklık ( $R_{\text{epi}}$ ), mesafe ölçütü olarak kabul edilmiştir. Fakat, büyük depremler sırasında fayın yırtılma yüzeyine yakın ivmeölçer istasyonlarında kaydedilen pik ivmeler, episantr veya hiposantir mesafelerine göre ampirik olarak yüksek değerler vermektedir. Büyük depremler sırasında gelişen uzun yüzey kırıklarının, kayıtlarda yakın kaynak etkisi yarattığı bilinen bir gerçektir. Bu sebeple, Beyaz (2004)'ın azalım ilişkisi, uzun yüzey kırığı gelişen büyük depremler için episantr mesafesi kullanması iyi bir yaklaşım olarak kabul edilmemektedir.
- Her ne kadar bir takım kabullerle dekonvolüsyon işlemi uygulanarak, zemin kayıtları kayada kaydedilmiş veriler şekline dönüştürülmüşse de, zeminin kendi dinamik koşullarındaki tepkisini yansıtamaz. Kuvvetli yer hareketi kayıtları hangi jeolojik koşullarda alındıysa, ortamın etkisini bir dinamik parametre (kayma dalgası hızı gibi) ile eşleştirip, bu belirleyici parametre ile analizleri yapmak, zeminin kendi doğal şartlarında değerlendirilmesi açısından daha tercih edilen bir yaklaşımdır. Kaldı ki, modelin kaya zeminde hissedilmesi beklenen ortalama etkileri dikkate almakta olup, yerel zemin koşullarını hesaba katmamaktadır.

- Bu konudaki çalışmalarda görülen en önemli mahzurlardan biri de deprem ölçekleri arasındaki dönüşümlerdir. Beyaz (2004)'in çalışmasında magnitud ölçeğinde bir bütünlüğün sağlanması için, ölçekler arası birden fazla dönüşüm ve farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen bağıntılar uygulanmıştır. İki ölçek arasında bile dönüşümlerin güvenilirliği tartışılırken, birden fazla ölçek arasında dönüşüm yapılması ve değişik araştırmacıların ampirik ilişkilerinin kullanılması da küçük bir sistematik hatadan ziyade, daha karmaşık ve büyük hatalara neden olacaktır.
- Ayrıca, Beyaz (2004)'in çalışmasında her bir kuvvetli yer hareketi kaydının her iki yatay (DB ve KG) bileşenin pik yatay yer ivmesi değerleri birlikte kullanılarak analizi yapılmıştır. Bu durum, aynı nokta ve aynı deprem için birbirinden bazen çok farklı iki değer, o noktada beklenen en büyük pik ivme değerini iyi temsil edemeyeceği gibi, istatistik açıdan da sağlıklı bir örnek grubu oluşturmayabilir. Dolayısıyla, her iki yatay bileşenin aritmetik ortalaması, geometrik ortalaması veya en büyük genliğe sahip bileşen değerinin kullanılması genel kabuldür.

## 5.2. Başka Ülkeler İçin Geliştirilmiş Azalım İlişkilerinden Örnekler

Dünya genelinde muhtelif zamanlarda ve değişik araştırmacılar tarafından geliştirilmiş çok sayıda azalım ilişkisi bağıntısı mevcuttur. Ülkemizdeki deprem kaynak mekanizması açısından benzerlik gösteren veya tutarlı olacağı düşünülen ve yaygın olarak kullanılan bazı önemli sönüm denklemleri bulunmaktadır.

Bu bağıntıların zaman zaman değiştiği ve günümüzde de devam eden güncellemeleri mevcuttur. Her ne kadar daha güncel fonksiyonel biçimleri olsa da, başlıca kullanılan modeller; Ambraseys vd. (1996), Abrahamson ve Silva (1997), Sadigh vd. (1997), Campbell (1988) Joyner ve Boore (1988), Fukushima ve Tanaka (1990), olarak sıralanabilir. İlerleyen bölümlerde, bu bağıntılar kısaca açıklanmış ve bir kısmının mevcut verilerle uygunluğu irdelenmiştir.

### 5.2.1. Ambraseys ve diğeri (1996)

Ambraseys vd. (1996) tarafından önerilen azalım ilişkisi, Avrupa ve yakın bölgelerde meydana gelen 157 depremden alınan 422 kuvvetli hareket kaydını içermektedir. Çalışmadaki bağıntılar, %5 sönüm için daha büyük yatay ivme davranış ordinatları hesaplamakta ve yer hareketini yüzey dalgası büyüklüğü, uzaklık ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak vermektedir. Yerel zemin koşulları için; kaya, sıkı zemin ve yumuşak zemin ve çok yumuşak zemin olarak dört kategori öngörülmüştür. Ancak, çok yumuşak zemin için sadece 3 kayıt olduğundan yumuşak zemin grubuna dahil edilerek üç kategoride değerlendirilmiştir. Yer hareketi tahmini için kullanılan bağıntının formu aşağıdaki gibidir:

$$\log(Y) = C_1 + C_2 M + C_4 \log(r) + C_A S_A + C_S S_S \quad (5.9)$$

$$r = (d^2 + h_0^2)^{1/2}$$

Burada;

Y : g biriminde en büyük yatay ivme.

M<sub>S</sub> : yüzey dalgası büyüklüğü 4 < M < 7.5.

d : km biriminde fayın yüzey projeksiyonuna en yakın mesafe.

h<sub>0</sub> : C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> ve C<sub>4</sub> ile belirlenen bir sabit.

S<sub>A</sub>, sıkı zeminler için 1'e, diğer durumlar için 0'a eşit,

S<sub>S</sub>, yumuşak zeminler için 1'e, diğer durumlar için 0'a eşit olarak ifade edilmektedir.

Periyoda bağlı katsayılar C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>A</sub>, C<sub>S</sub> ve h<sub>0</sub> ile hata terimi σ çizelge olarak verilmektedir.

C<sub>1</sub> = -1.48, C<sub>2</sub> = 0.266, C<sub>4</sub> = -0.922, C<sub>A</sub> = 0.117, C<sub>S</sub> = 0.124, h<sub>0</sub> = 3.5 ve σ = 0.25.

Zemin koşullarını belirlemede kullanılan kriterler;

R Kaya: V<sub>s</sub> > 750 m/sn, ) SA = 0, SS = 0, 106 kayıt.

A Sert zemin: 360 < V<sub>s</sub> ≤ 750 m/sn, ) SA = 1, SS = 0, 226 kayıt.

S Yumuşak zemin: 180 < V<sub>s</sub> ≤ 360 m/sn, ) SA = 0, SS = 1, 81 kayıt.

L Çok yumuşak zemin: V<sub>s</sub> ≤ 180 m/sn, ) SA = 0, SS = 1, 3 kayıt.

### 5.2.2. Abrahamson ve Silva (1997)

Bu azalım ilişkisi,  $M_w$  değeri 4.5 ile 7.4 arasında değişen ve aralarında 1994 Northridge depremi ve artçı şoklarının da bulunduğu 58 depremden elde edilen 655 yer hareketi kaydı kullanılarak elde edilmiştir. Bu ilişki aktif tektonik bölgelerde oluşan sığ depremlerin yol açtığı ortalama yatay ve düşey yer hareketi bileşenlerinin tahmini için uygundur. Mesafe tanımlamasında, yırtılma yüzeyine en yakın mesafe ölçütü kullanılmıştır.

$$\ln Sa(g) = f_1(M, r_{rup}) + F \cdot f_3(M) + HW \cdot f_4(M, r_{rup}) + S \cdot f_5(PGA_{rock}) \quad (5.10)$$

Burada,

$Sa(g)$  : spektral ivme (g cinsinden)

$M$  : moment büyüklüğü

$r_{rup}$  : Kırılma düzlemine olan en yakın mesafe (km cinsinden)

$F$  : Fay türü (1 ters faylanma, 0.5 ters/oblik, ve 0 diğer durumlarda)

$HW$  : sarkma tarafı değişkeni (1 sarkma duvarı tarafı için, 0 diğer durumlarda)

$S$  : saha türü değişkeni (0 kaya veya sığ toprak, 1 derin toprak)

$$f_1(M, r_{rup}) = \begin{cases} a_1 + a_2 \cdot (M - c_1) + a_{12} \cdot (8.5 - M)^n + dd & M \leq c_1 \text{ ise} \\ a_1 + a_4 \cdot (M - c_1) + a_{12} \cdot (8.5 - M)^n + dd & \text{if } M > c_1 \text{ ise} \end{cases}$$

$$dd = [a_3 + a_{13} \cdot (M - c_1)] \cdot \ln R$$

$$R = \sqrt{r_{rup}^2 + c_4^2}$$

$$f_3(M) = \begin{cases} a_5 & M \leq 5.8 \\ a_5 + (a_6 - a_5)/(c_1 - 5.8) & 5.8 < M < c_1 \\ a_6 & M \geq c_1 \end{cases}$$

$$f_4(M, r_{rup}) = f_{HW}(M) \cdot f_{HW}(r_{rup})$$

$$f_{HW}(M) = \begin{cases} 0 & M \leq 5.5 \\ M - 5.5 & 5.5 < M < 6.5 \\ 1 & M \geq 6.5 \end{cases}$$

$$f_{HW}(r_{rup}) = \begin{cases} 0 & r_{rup} < 4 \\ a_9 \cdot (r_{rup} - 4)/4 & 4 < r_{rup} < 8 \\ a_9 & 8 < r_{rup} < 18 \\ a_9 \cdot [1 - (r_{rup} - 18)/7] & 18 < r_{rup} < 24 \\ 0 & r_{rup} > 25 \end{cases}$$

$$f_5(PGA_{rock}) = a_{10} + a_{11} \cdot \ln(PGA_{rock} + c_5)$$

$PGA_{rock}$ : kaya pik yer ivmesi (g cinsinden) (azalım ilişkisinde  $S=0$  kullanılarak hesaplanır).

### 5.2.3. Sadigh ve diğerleri (1997)

Sadigh vd. (1997) azalım ilişkisi, sıg kabuk (20-25 km) yapısına ait Kaliforniya depremlerinden elde edilen açık alan kuvvetli hareket verilerine dayanmaktadır. Çalışmada, pik yatay bileşen ivmelerin ve tepki spektral ivmelerin geometrik ortalamaları, yanal ve ters atımlı faylanma mekanizmaya sahip depremler, kaya ve derin toprak zeminler olmak üzere iki farklı zemin, moment büyüklükleri 4 ile 8'den büyük depremler arasında, yüzey kırığına 200 km'ye kadar mesafelerden alınan kayıtlar kullanılarak bağıntı geliştirmişlerdir. Mesafe için yüzey kırığına en yakın olan ( $R_{rup}$ ) mesafe tanımlamasını yapmışlardır. Küçük depremler sırasında yüzey kırığı tanımlanamadığı için, hiposantır ( $R_{hypo}$ ) mesafesi kullanılmıştır. Derin zemin verileri ise ana kaya üzerinde 20 metreden fazla zemin bulunan sahalardan alınmıştır. Çok yumuşak zeminlerden alınan veriler tercih edilmemiştir. Çalışmada, yatay spektral ivme davranışı (% 5 sönüm) zemin koşullarına göre iki ayrı bağıntı ile verilmiştir.

Kaya ortamları için yatay tepki spektral ivmelerin (%5 sönüm) azalım modeli aşağıdaki gibidir:

$$\ln Y = c_1 + c_2 M_w + c_3 (8.5 - M_w)^{2.5} + c_4 \ln(r_{rup} + e^{(c_5 + c_6 M_w)}) + c_7 \ln(r_{rup} + 2) \quad (5.11)$$

Burada,

$Y$  : yer hareketi parametresi (PGA, SA) g cinsinden

$M_w$  : moment büyüklüğü

$r_{rup}$  : kırılma yüzeyine en yakın mesafe (km cinsinden)

Not: Ters atımlı faylanma durumunda, yukarıdaki yan-atım genlikleri 1.2 ile çarpılır.

Derin toprak zemin ortamları için azalım ilişkisi formu ve katsayıları ise:

$$\ln Y = c_1 + c_2 M_w - c_3 \ln(r_{rup} + c_4 e^{c_5 \cdot M_w}) + c_6 + c_7 (8.5 - M_w)^{2.5} \quad (5.12)$$

Burada,

Y : yer hareketi parametresi (PGA, Sa) g cinsinden

$M_w$  : moment büyüklüğü

$r_{rup}$  : kırılma yüzeyine en yakın mesafe (km cinsinden)

$c_1 = -2.17$  yan-atım için,  $-1.92$  ters ve düşey atım depremleri için

$c_2 = 1.0$ ;  $c_3 = 1.70$ ;  $c_4 = 2.1863$ ;  $c_5 = 0.32$ ,  $M \leq 6.5$  ise;  $c_4 = 0.3825$ ;

$c_5 = 0.5882$ ,  $M > 6.5$  ise

#### 5.2.4. Campbell (1997)

Campbell (1997) tarafından önerilen azalım ilişkisi, dünya genelinde moment magnitudü 5'ten büyük olan depremlerden meydana gelmiş ve sismik kırılmanın 60 km çevresindeki tektonik bölgelerden alınan ivme kayıtlarının yatay ve düşey bileşenleri kullanılarak, en büyük yatay yer ivmesi (PGA) ve en büyük hız (PGV) ile %5 sönüm pseudo tepki spektral ivme (SA) değerlerini belirlemek için ampirik azalım ilişkileri geliştirilmiştir.

En büyük yatay yer ivmesi (PGA) için aşağıdaki modeli önermiştir:

$$\begin{aligned} \ln(A_H) = & -3.512 + 0.904M - 1.328 \ln[R_{SEIS}^2 + (0.149e^{0.647M})^2]^{1/2} \\ & + [1.125 - 0.112 \ln(R_{SEIS}) - 0.0957M] F + [0.440 - 0.171 \ln(R_{SEIS})] S_{SR} \\ & + [0.405 - 0.222 \ln(R_{SEIS})] S_{HR} + f_A(D) \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$f_A(D) = \begin{cases} 0 & D \geq 1 \text{ km ise} \\ \{ [a_{11} + a_{12} \ln(R_{SEIS})] - [a_9 + a_{10} \ln(R_{SEIS})] S_{SR} \} (1 - D)(1 - S_{SR}) & D < 1 \text{ km ise} \end{cases}$$



Burada:

$A_H$ : iki yatay bileşenin g biriminde geometrik ortalamalarının medyanı,

$M$ : moment büyüklüğü,

$R_{SEIS}$ : km biriminde fay üzerindeki sismik kırılmaya en yakın mesafe,

$F$ , yanal atımlı ve normal faylanma mekanizmalı depremler için 0'a, ters, ters oblik ve ters atımlı faylanma mekanizmalı depremler için 1'e eşit,

$S_{SR}$ , yumuşak zemin koşullarına sahip sahalar için 1'e eşit,

$S_{HR}$ , katı-kaya saha koşulları için 1'e eşit,

$S_{SR} = S_{HR}$  alüvyon üzerindeki sahalar için 0'a eşit,

$s$ : ortalaması sıfır olan ve standart sapmanın  $\ln(AH)$  standart hata tahminine eşit olduğu hata terimi olmaktadır.

### 5.2.5. Boore ve diğerleri (1997)

Boore ve diğerleri (1997) en büyük ivme (PGA) ve Spektral İvme (SA) azalım ilişkisi, Kuzey Amerika'dan seçilen  $M_w$  değeri 5.0'dan büyük sığ depremlerden elde edilen kuvvetli yer hareketi verilerine dayanmaktadır. Pik ivmeler doğrudan akselerogramdan ölçülmüştür. Bu bağıntılar, rasgele en büyük yatay ivme bileşenini ve yanal atımlı, ters atımlı veya tanımlanmamış faylanma mekanizmaları için % 5 sönümlü eşdeğer ivme davranış spektrumlarını moment, uzaklık ve yerel zemin koşullarını tahmin etmektedir. Yerel zemin koşulları kayma dalgası hızının üst 30 metredeki ortalama değeri ile ifade edilmektedir.

Yer hareketini tahmin etmek için kullanılan bağıntılardaki düzleştirilmiş katsayılar ağırlıklı, iki aşamalı regresyon işlemleri ile belirlenmiştir. İlk aşamada, faydan uzaklık ve yerel zemin koşullarına bağımlılık, her deprem için bir kaç büyütme katsayısı grupları ile bulunmaktadır. İkinci aşamada ise, deprem büyüklüğüne bağımlılığı elde etmek için büyütme katsayılarının deprem büyüklüğüne göre regresyon analizi yapılmaktadır. Bu çalışmada yer hareketi tahmininde kullanılan bağıntının genel hali:

$$\ln Y = b_1 + b_2(M_w - 6) + b_3(M_w - 6)^2 + b_5 \ln r + b_v \ln(V_S / V_A) \quad (5.14)$$

$$r = \sqrt{r_{jb}^2 + h^2}$$

$$b_1 = \begin{cases} b_{ISS} & \text{yan - atimli depremeler} \\ b_{IRS} & \text{ters - atimli depremler} \\ b_{IALL} & \text{mekanizma bilinmiyorsa} \end{cases}$$

Burada,

Y : yer hareketi parametresi (PGA, SA) g cinsinden

$M_w$  : moment büyüklüğü

$r_{jb}$  : kırılmanın düşey izdüşümüne en yakın mesafe (km cinsinden)

$V_s$  : 30 m'deki ortalama kayma dalgası hızı (m/sec cinsinden)

$b_1$  : fay mekanizması ile ilgili parametre,

$b_{ISS} = -0,313$ ,  $h = 5.57$  km,  $b_V = -0.371$  ve

$V_A = 1396$  en büyük yatay bileşenler için

$V_s$  değerleri; NEHRP'e göre B, C ve D için sırasıyla, 1070, 520 ve 250 m/sn

### 5.3. Türkiye İçin Geliştirilen Azalım İlişkilerinin Değerlendirilmesi

Türkiye için geliştirilen azalım ilişkileri yerel verileri kullanmasına karşın, tercih edilen magnitüd ölçeği, deprem büyüklük aralığı, bağıntının fonksiyonel türü, farklı mekanizmaya sahip deprem kaynaklarında alınan verilerin kullanımı ve kullanılan yöntemler açısından farklılıklar göstermektedir.

Ülkemiz için geliştirilen azalım ilişkilerinin en büyük yer ivmesi (PGA) ve spektral ivmenin (SA) genlik değerlerini yansıtmak için; zemin türü, mesafe ve deprem büyüklüğüne bağlı olarak incelenmiştir. Bazı bağıntılar sadece PGA değerini hesaplarlarken, bazıları ise hem PGA ve hem de SA'nın farklı periyot değerleri için hesaplama yapmaktadır. Dolayısıyla yapılan değerlendirme iki kategoride ele alınmıştır. Marmara bölgesinde kaydedilen mevcut verilerin en büyük ivme değerleri (Ek A) ile spektral ivme değerleri için, ilgili bağıntılarla ne derece tutarlı olduğunu gözlemek amacıyla, birtakım karşılaştırmalara gidilmiştir.

Yapılan karşılaştırmalarda PGA için; 4.5-5.4; 5.5-6.4 ve 6.5-7.4 büyüklükler aralığındaki depremlere ait farklı zemin koşulları ve mesafelerden alınan ivme kayıtları ayrı ayrı grafiklerde değerlendirilmiştir. Her bir grafik üzerinde farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılarla  $M_w=5.0$ ,  $M_w=6.0$  ve  $M_w=7.0$  değerleri

için oluşturulan eğrilerle, farklı mesafe ve zeminlerden kaydedilen mevcut ivme değerlerinin noktasal dağılımları arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan kıyaslamalarla pik yatay yer ivmesi değerlerini temsil eden noktalarının dağılımıyla, önerilen eğrilerle olan uyumu ve tutarlığı irdelenmiştir.

Bunun için, Gülkan ve Kalkan (2002), Özbey vd. (2003), Ulusay vd. (2004), Kalkan ve Gülkan (2004) ve Beyaz (2004) tarafından önerilen azalım denklemleri değerlendirilmiştir.

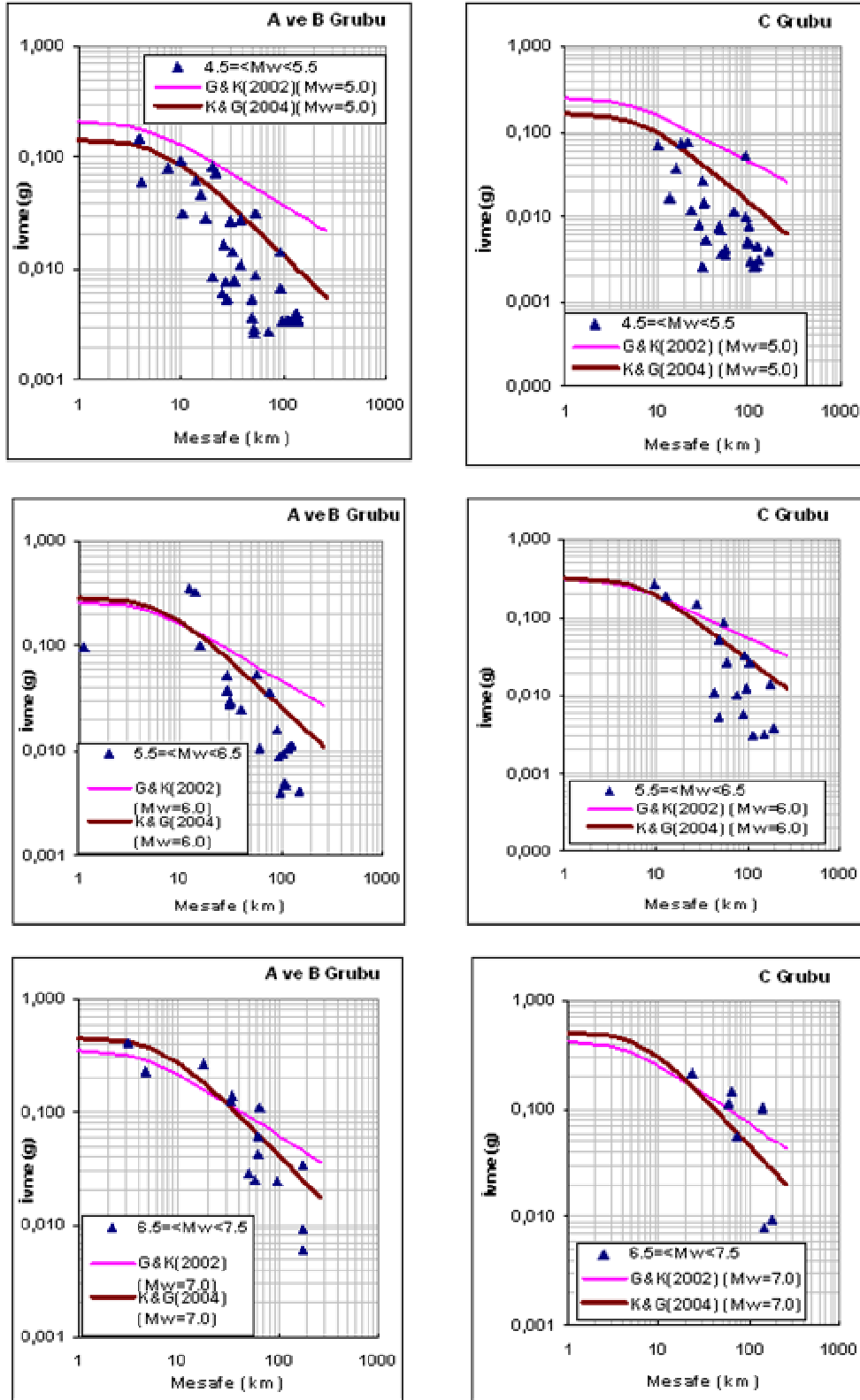
Kullandıkları veri bankasındaki belirsizlikler (magnitüd ölçeği, mesafe ölçütü, fay türü ve zemin koşulu için bir tasnifin olmayışı) ve mevcut veri tabanı ile uyumlu olmadıkları için İnan vd. (1996), Aydan vd. (1996) ve Ulutaş vd. (2004)'nin geliştirdikleri bağıntılar değerlendirilmemiştir.

Ayrıca, spektral ivmeler (SA) için moment magnitüdü  $M_w \geq 5.0$  olan deprem kayıtları değerlendirilmiştir. Farklı periyod değerleri için hesaplanan tepki spektrumları veri seti, 6.0 ve 7.0 magnitüd değerleri için Özbey vd. (2003) ile Kalkan ve Gülkan (2004) bağıntılarıyla mukayese edilmiştir. Önerilen bağıntılara göre oluşturulan eğriler kullanılarak farklı mesafe ve zemin koşullarındaki mevcut verilerin spektral ivme değerleri karşılaştırılmıştır (Alt Bölüm 5.6.2).

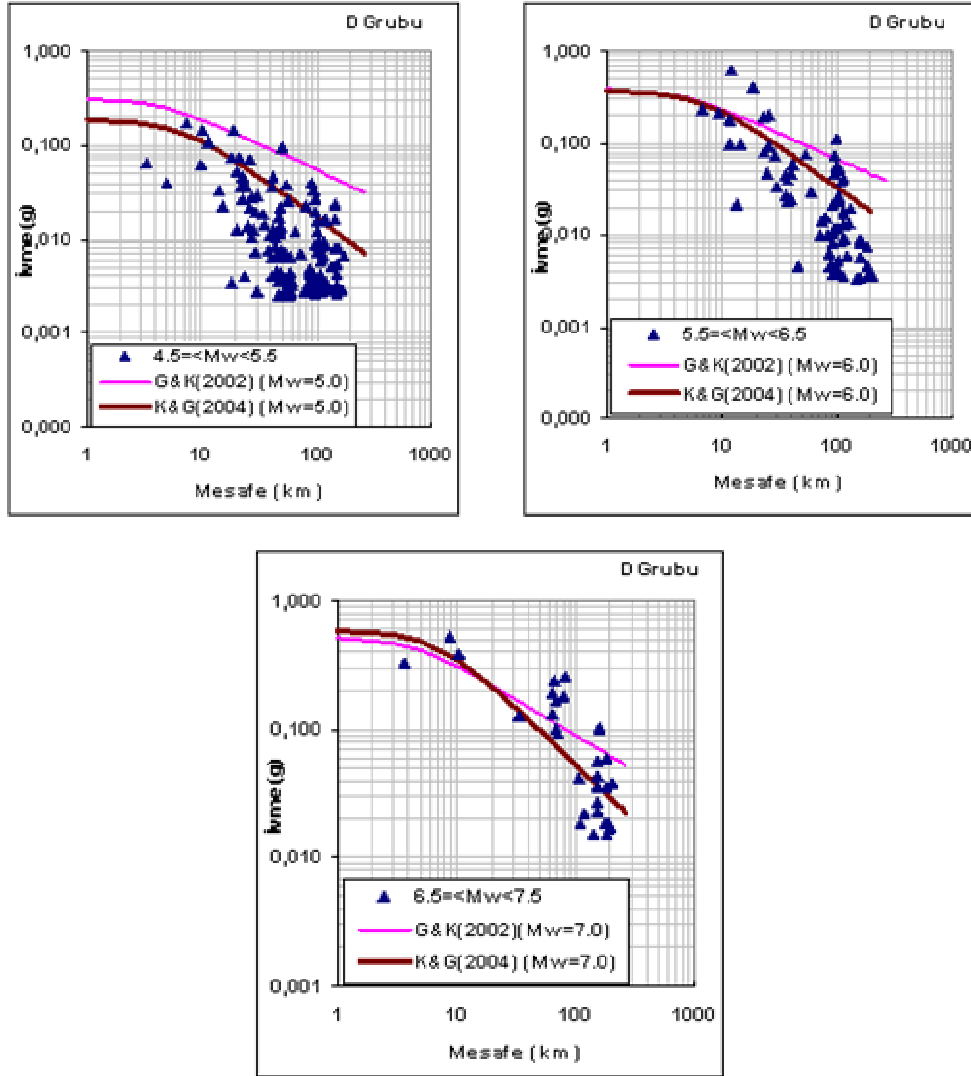
### **5.3.1. Gülkan ve Kalkan (2002) ile Kalkan ve Gülkan (2004)'in bağıntıları**

Önerilen bağıntıların fonksiyonel temelleri aynı oldukları için birlikte değerlendirilmiştir. Sonraki bağıntı, öncekine göre daha zengin bir veri tabanı ile elde edilmiştir. Her iki bağıntı kullanılarak elde edilen eğriler, mevcut pik yatay yer ivmesi değerleri ile kaya-sert, zemin ve yumuşak zemin üzerinden alınan verilerle ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırmalarla, model denklemlerin yüksek ivme değerlerini temsil ettiği görülmektedir. Grafikler incelendiğinde (Şekil 5.1a, b), Gülkan ve Kalkan (2002)'in bağıntısı mevcut verilere göre genellikle çok yüksek değerlerde seyrettiği ve



Şekil 5.1a. Farklı magnitud değerleri için gözlenen ivmelerin, A-B ve C grubu zeminler için Gülkan ve Kalkan (2002) ile Kalkan ve Gülkan (2004)'ın model bağıntılarıyla karşılaştırılması

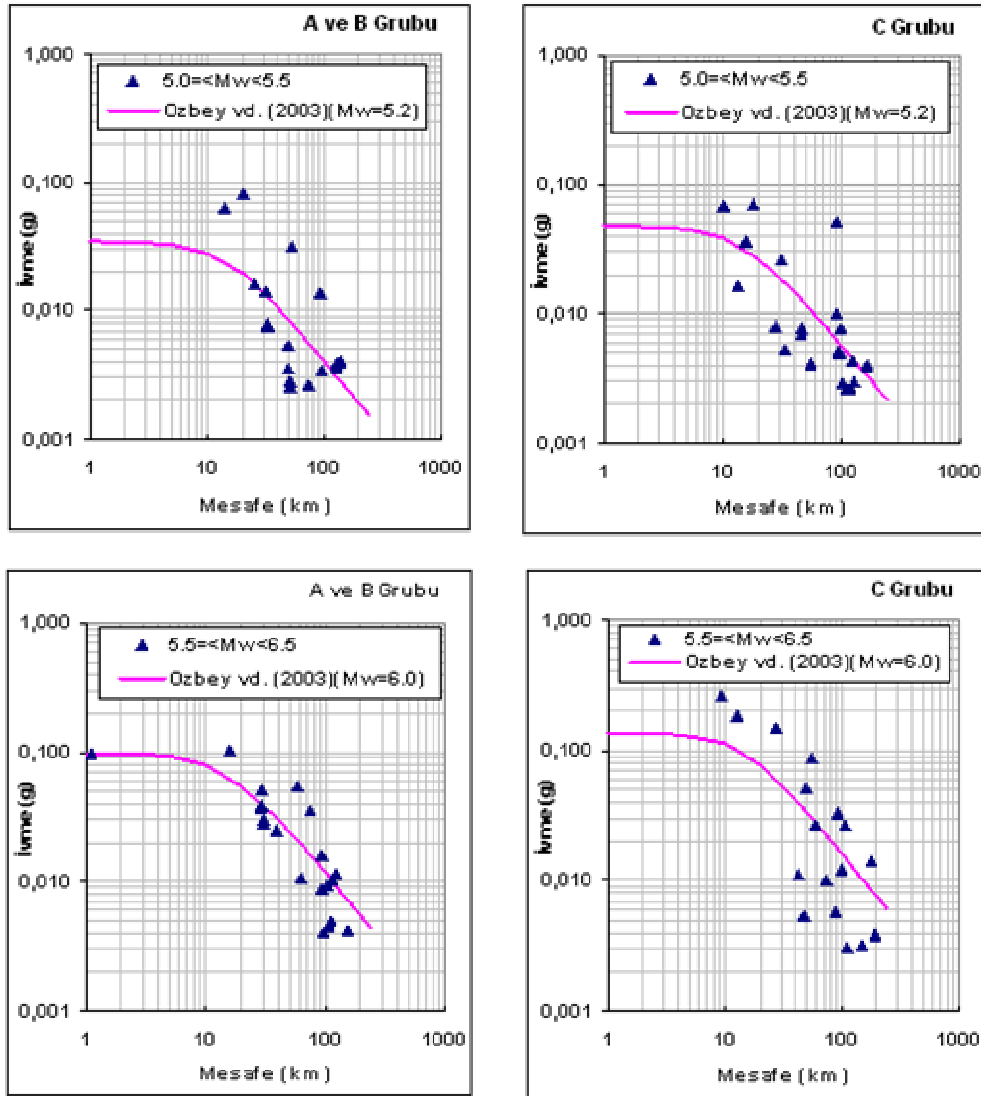


Şekil 5.1b. Farklı magnitüd değerleri için gözlenen ivmelerin, D grubu zeminler için Gülkan ve Kalkan (2002) ile Kalkan ve Gülkan (2004)'in model bağıntılarıyla karşılaştırılması

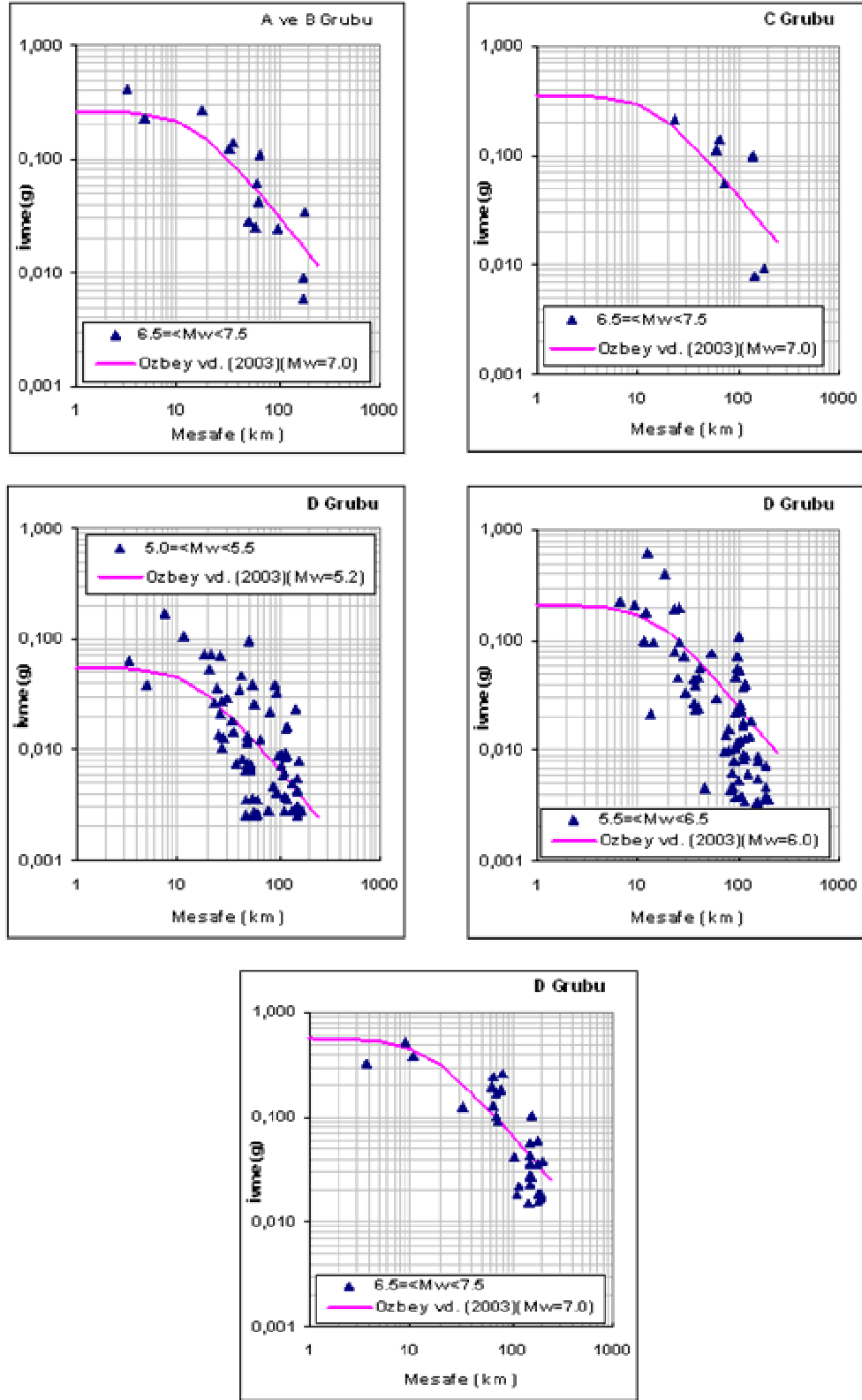
noktaların dağılımını temsil etmediği görülmektedir. Bununla beraber, Kalkan ve Gülkan (2004)'in modeli ise, mevcut kayıtları daha iyi bir uyum göstermektedir (Şekil 5.1b). Her üç zemin grubu (A-B, C ve D) için, büyüklüğü  $4.5 \leq M_w < 5.5$  arasındaki deprem kayıtlarının en büyük yatay yer ivmelerinin dağılımı ( $PGA \geq 3$  gal), model eğrilerin çok altında kalmaktadır. Genel anlamda, mevcut verilerle önerilen model bağıntıları temsil eden eğriler arasında iyi olmamakla beraber, büyük depremler için ( $M_w \geq 5,5$ ) kısmen daha uyumlu olduğu görülmektedir.

### 5.3.2. Özbey vd. (2003)'nin önerdiği bağıntı

Özbey vd. (2003)'nin çalışmasında kullandıkları veriler, bu çalışmada kullanılan mevcut veri setinde de yer almakta ve verilerin önemli bir kesimini oluşturmaktadır. Gerek bu çalışma ve gerekse Özbey vd. (2003)'nin çalışması genel çerçevede aynı bölge için yapılan bölgesel bazda birer değerlendirmedir. Bu açıdan, önerilen bağıntının mevcut verilerle uyumlu olması beklenen bir durumdur.



Şekil 5.2a. Magnitüd değeri  $5.0 \leq M_w < 5.5$  ve  $5.5 \leq M_w < 6.5$  arasında gözlenen ivmelerin, A-B, ve C grubu zeminler için Özbey vd. (2003)'nin modeliyle karşılaştırılması



Şekil 5.2b. Farklı magnitud değerleri ( $M_w$  5.2; 6.0 ve 7.0) için gözlenen ivmelerin, A-B, C ve D grubu zeminler için Özbey vd. (2003)'nin modeliyle karşılaştırılması

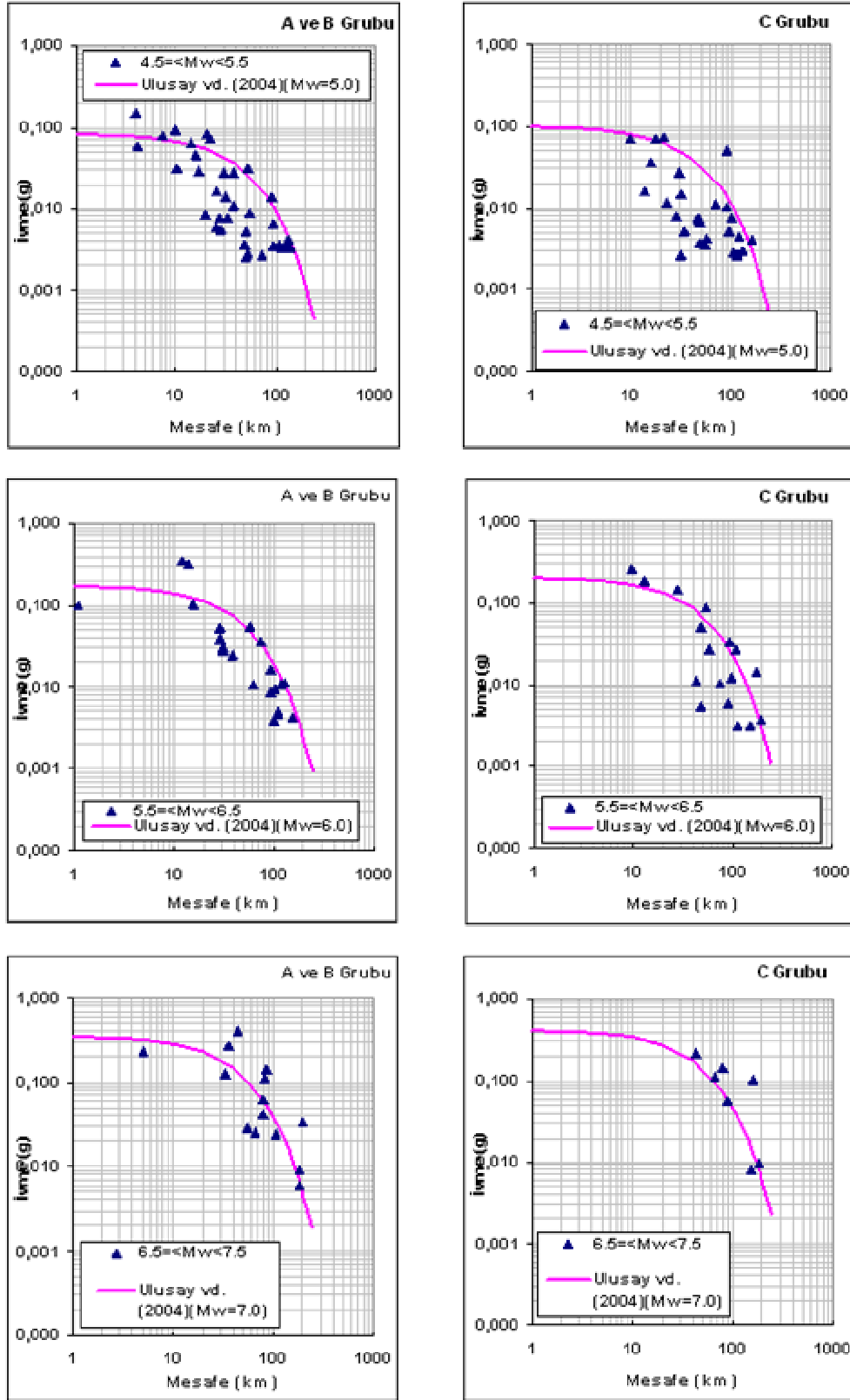
Özbey vd. (2003)'nin önerdiği bağıntı kullanılarak elde edilen eğriler, mevcut pik yatay yer ivmesi değerleri ile kaya-sert, zemin ve yumuşak zemin üzerinden alınan verilerle ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Gözlenen en büyük yatay ivmelerin ( $PGA \geq 3$  gal), Özbey vd. (2003)'nin model bağıntısıyla, farklı büyüklük ( $M_w : 5.2 ; 6.0$  ve  $7.0$ ) ve zeminlere göre (A-B ; C ve D), karşılaştırmalar yapılmıştır (Şekil 5.2a, b). Mevcut verilerle, önerilen modeli temsil eden eğriler arasında genel olarak bir uyum görülmektedir.

### 5.3.3. Ulusay vd. (2004)'nin önerdiği bağıntı

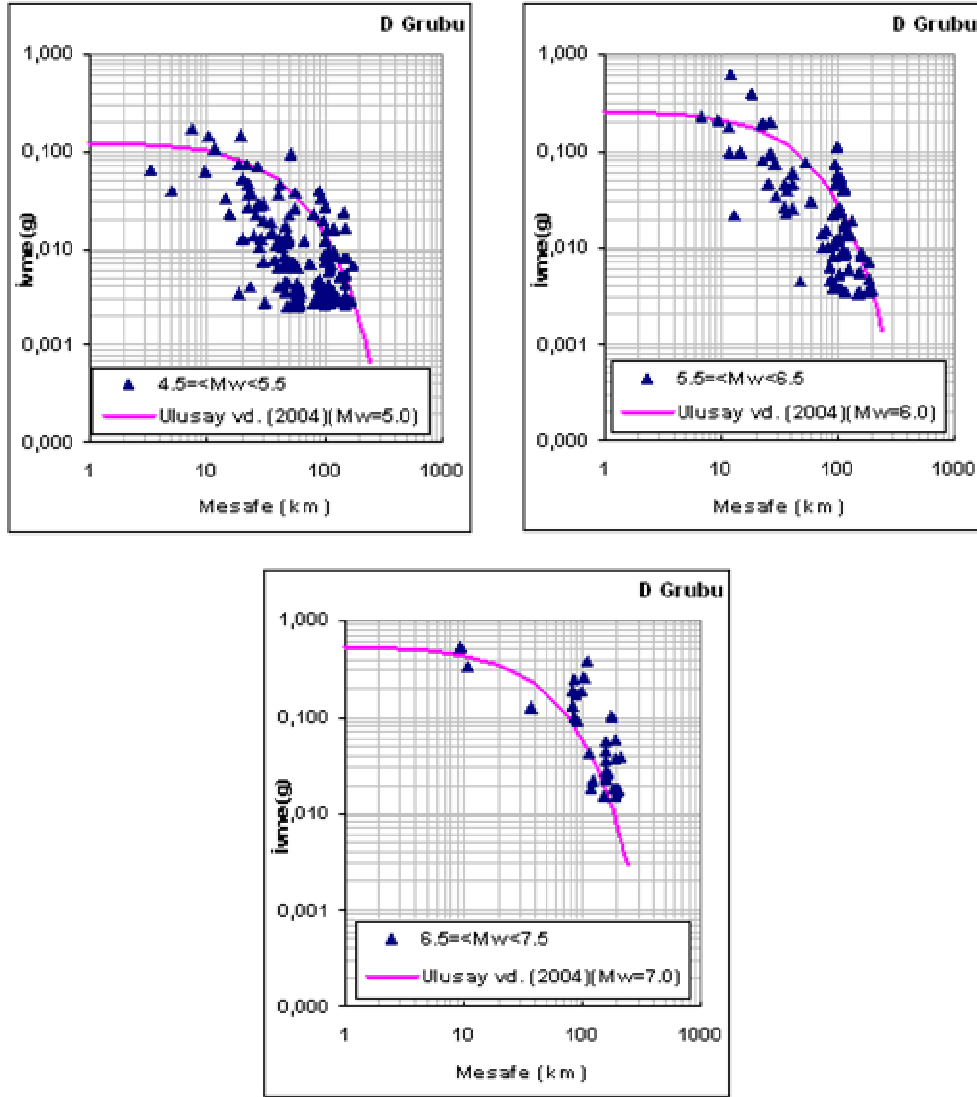
Ulusay vd. (2004)'nin önerdiği bağıntı kullanılarak elde edilen eğriler, mevcut pik yatay yer ivmesi değerleri ile kaya-sert, zemin ve yumuşak zemin üzerinden alınan verilerle ayrı ayrı karşılaştırılmıştır (Şekil 5.3a, b). Gözlenen en büyük yatay ivmelerin (PGA), Ulusay vd. (2004)'nin model bağıntısıyla, farklı büyüklük ( $M_w : 5.0; 6.0$  ve  $7.0$ ) zeminlere göre (A-B ; C ve D) mukayese edilmiştir.

Şekil 5.3a,b'de verilen grafikler incelendiğinde;  $4.5 \leq M_w < 5.5$  magnitüd aralığındaki tüm zemin grupları için gözlenen ölçülmüş pik yatay ivmelerin ( $PGA \geq 3$  gal),  $M_w: 5$  değeri için grafiklerde görüldüğü üzere, Ulusay vd. (2004) tarafından önerilen sönüm denklemiyle elde edilen eğri, ölçülen pik yatay yer ivmelerini temsil eden noktaların üzerinde seyretmektedir. Ayrıca, A-B ve C grupları için  $5.5 \leq M_w < 6.5$  aralığındaki  $M_w: 6.0$  eğrisi, daha yakın ivme değerleri vermektedir. Genel anlamda mevcut verilerle, önerilen model bağıntıyı temsil eden eğriler arasında bir uyumdan söz edilebilir.





Şekil 5.3a. Gözlenen pik ivmelerin, Ulusay vd. (2004)'nin model bağıntısıyla  $M_w$  : 5; 6 ve 7 değerleri için karşılaştırmaları (zemin: A-B ; C , magnitüd:  $4.5 \leq M_w < 5.5$ ;  $5.5 \leq M_w < 6.5$  ve  $6.5 \leq M_w < 7.5$ )

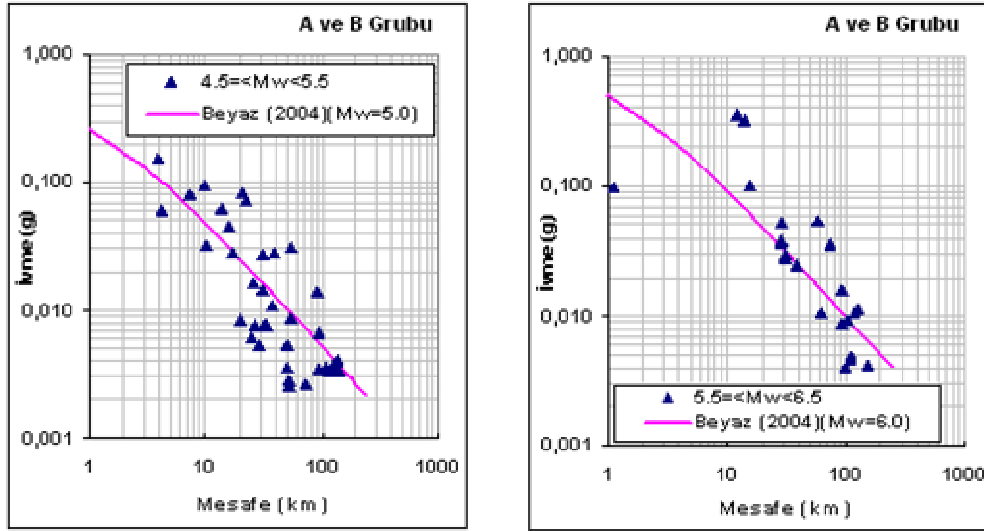


Şekil 5.3b. Gözlenen pik ivmelerin, D grubu zemin için Ulusay vd. (2004)'nin model bağıntısıyla  $M_w$ : 5.0; 6.0 ve 7.0 değerleri için karşılaştırmaları (magnitüd:  $4.5 \leq M_w < 5.5$ ;  $5.5 \leq M_w < 6.5$  ve  $6.5 \leq M_w < 7.5$ )

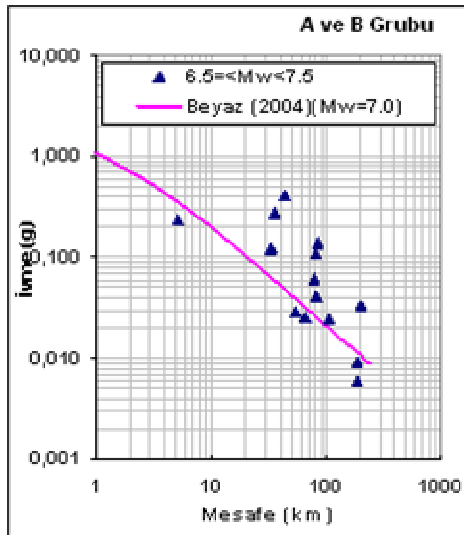
#### 5.3.4. Beyaz (2004)'ın önerdiği bağıntı

Beyaz (2004)'ün önerdiği bağıntı kullanılarak elde edilen eğriler, mevcut pik yatay yer ivmesi değerleri sadece kaya-sert (A ve B) zemin için karşılaştırılmıştır (Şekil 5.4a, b). Gözlenen en büyük yatay ivmelerin (PGA), Beyaz (2004)'ün model bağıntısıyla, değişik büyüklük ( $M_w$ : 5.0; 6.0 ve 7.0) ve mesafe değerleri için karşılaştırmalar yapılarak irdelenmiştir.

Şekil 5.4a'da verilen grafikler incelendiğinde;  $4.5 \leq M_w < 5.5$  ve  $5.5 \leq M_w < 6.5$  magnitüd aralığındaki gözlenen ölçülmüş pik yatay ivmelerin ( $PGA \geq 3$  gal),  $M_w$ : 5 ve 6 eğrileriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Buna karşın,  $6.5 \leq M_w < 7.5$  aralığındaki depremler için  $M_w$ : 7 eğrisi ise, ölçülen pik yatay yer ivmelerini temsil eden noktaların bir miktar altında seyretmektedir. Genel anlamda mevcut verilerle, önerilen model bağıntıyı temsil eden eğriler arasında bir uyumdan söz edilebilir.



Şekil 5.4a. Gözlenen en büyük yatay ivmelerin (PGA), Beyaz (2004)'ün model bağıntısıyla  $M_w$  : 5 ve 6 değerleri için karşılaştırmaları (zemin: A - B, magnitüd aralıkları:  $4.5 \leq M_w < 5.5$ ;  $5.5 \leq M_w < 6.5$ )



Şekil 5.4b. Gözlenen en büyük yatay ivmelerin (PGA), Beyaz (2004)'ün model bağıntısıyla  $M_w$  : 7 değeri için karşılaştırılması (zemin: A - B, magnitüd aralıkları:  $6.5 \leq M_w < 7.5$ ).

#### 5.4. Başka Ülkeler İçin Geliştirilmiş Ve Türkiye’de Kullanılan Azalım İlişkileri

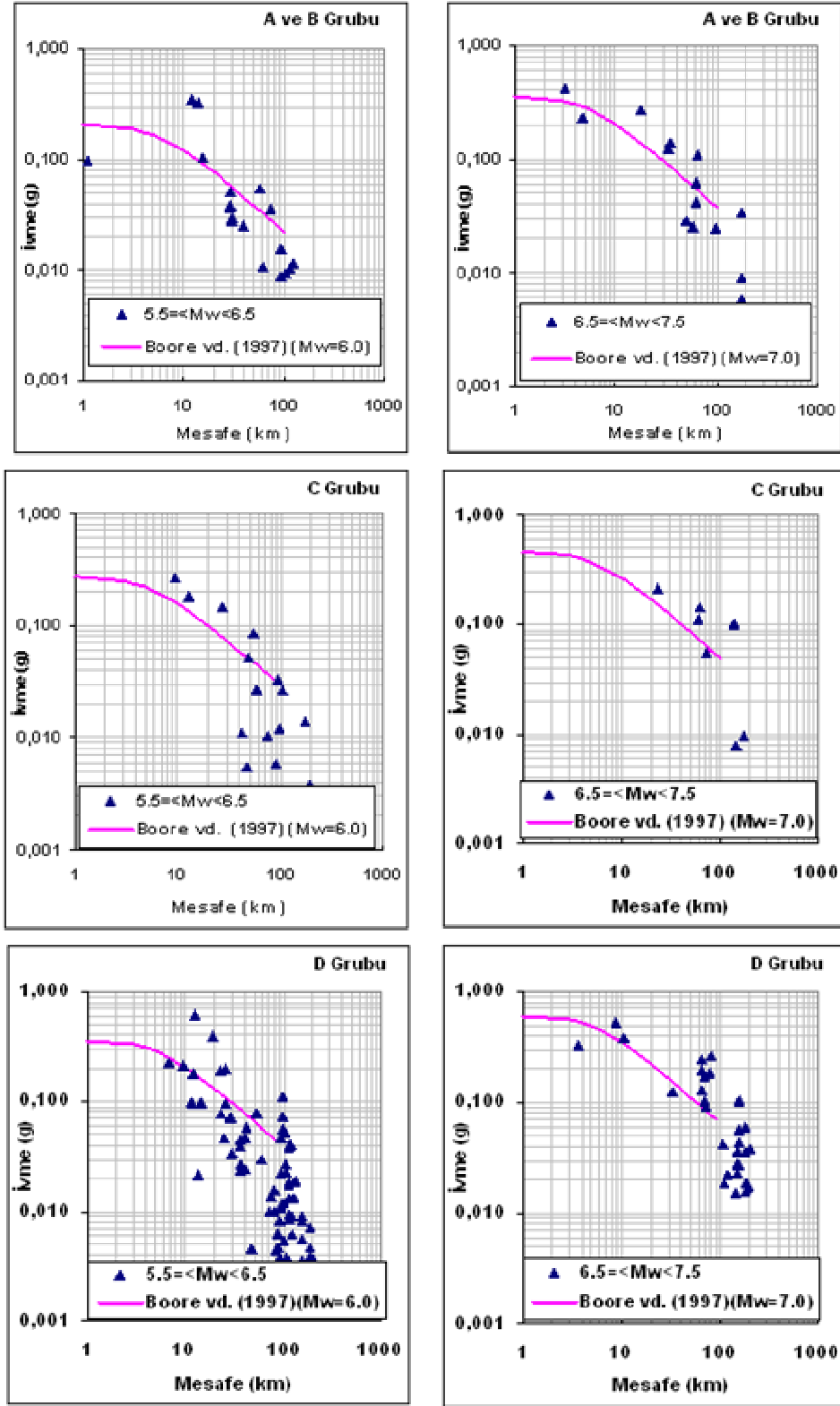
Başka ülkeler için geliştirilmiş ve ülkemiz için uygun olduğu düşünülen ve yaygın kullanılan bazı önemli azalım ilişkileri, mevcut verilerle ne ölçüde tutarlı olduklarını araştırmak üzere bazı karşılaştırmalar yapılmıştır.

Yapılan değerlendirmeler, PGA ve SA için; 5.5-6.4 ve 6.5-7.4 magnitüd aralığındaki depremlere ait farklı zemin koşulları ve mesafelerden alınan ivme kayıtları ayrı ayrı grafiklerde değerlendirilmiştir. Her bir grafik üzerinde farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılarla  $M_w=6.0$  ve  $M_w=7.0$  değerleri için oluşturulan eğrilerle, farklı mesafe ve zeminlerden kaydedilen mevcut ivme değerlerinin noktasal dağılımları arasında mukayese yapılmıştır. Yapılan kıyaslamalarla pik yatay yer ivmesi değerlerini temsil eden noktalarının dağılımıyla, önerilen eğrilerle olan uyumu ve tutarlığı irdelenmiştir. Bunun için, Boore vd. (1997) ile Sadigh vd. (1997)’nin bağıntıları incelenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

##### 5.4.1. Boore vd. (1997)’nin önerdiği bağıntı

Boore vd. (1997)’nin önerdiği ilişki, Batı Amerika’da büyüklüğü  $M_w$  5.5-7.5 aralığındaki yanal-atım ve ters-atım faylardan meydana gelen sığ depremlerden elde edilen kayıtlardan sağlanmıştır. İstasyon ile yeryüzündeki fayın yırtılma yüzeyine yatay olarak en kısa mesafeyi 80 km ile sınırlamıştır. Bu kriterler dikkate alındığında, mevcut veri seti içerisinde çok sınırlı sayıdaki örnek bu koşullara uymaktadır.

Boore vd. (1997)’nin önerdiği bağıntı kullanılarak elde edilen eğriler, mevcut pik ivme değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.5). Gözlenen en büyük yatay ivmelerin ( $PGA \geq 3$  gal), Boore vd. (1997)’nin model bağıntısıyla, farklı büyüklük ( $M_w$  : 6.0 ve 7.0), mesafe ve değişik zeminlere için (A-B ; C ve D) mukayese edilmiştir. Şekil 5.5’te verilen grafikler incelendiğinde; bu model kriterlerine göre sınırlı sayıdaki örnekten oluşan pik yatay ivmelerin (PGA), ilgili eğrilerle ( $M_w = 6.0$  ve 7.0) mukayese edilmesi için yeterli istatistiki veriyi teşkil etmemekle beraber, yakın bir paralellik gözlenmektedir.



Şekil 5.5. Pik ivmelerin (PGA), Boore vd. (1997)'nin modeliyle karşılaştırılması (zemin grupları: A-B ; C ve D , magnitud aralığı:  $5.5 \leq M_w < 6.5$  ile  $6.5 \leq M_w < 7.5$ )

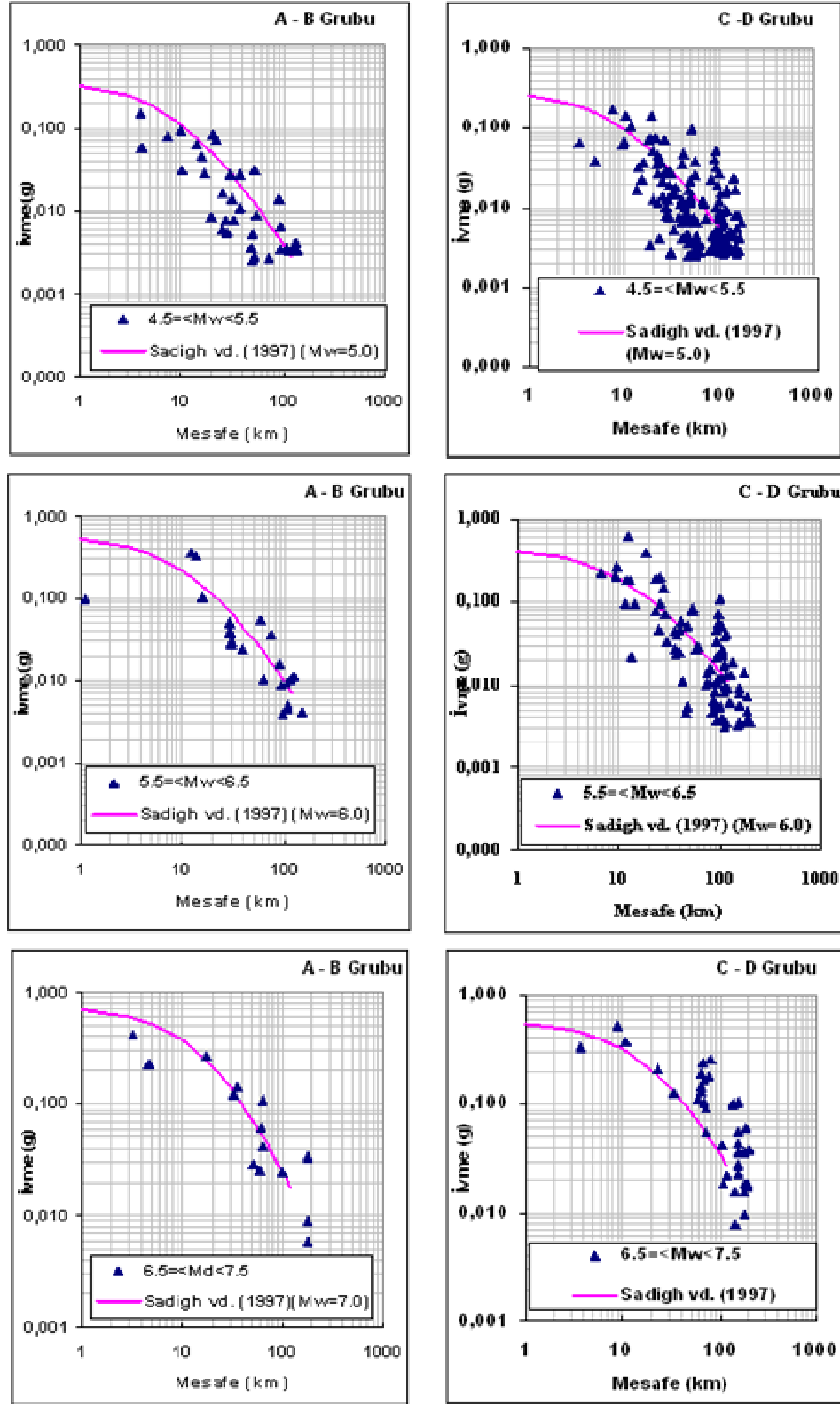
#### 5.4.2. Sadigh vd. (1997)'nin önerdiği bağıntı

Önerilen azalım ilişkisi, Kaliforniya depremlerinden oluşan bir veri setinden sağlanmıştır. Bağıntılar, kaya ve derin zemin olmak üzere iki kategoride tanımlanmıştır. Pik yatay ivme (PGA) ve tepki spektral ivmeler (SA), yatay bileşenlerin geometrik ortalaması olarak tanımlanmaktadır. Mesafe, fay kırığına en yakın uzaklık olarak tanımlanmış ve 100 km ile sınırlandırılmıştır. Moment büyüklüğü 4.0'dan büyük depremlerle karakterize edilmiştir. Bu kıstaslar dikkate alınarak, mevcut verilerle kıyaslamalara gidilmiştir.

Sadigh vd. (1997)'nin önerdiği bağıntı kullanılarak elde edilen eğriler, mevcut pik yatay yer ivmesi değerleriyle kaya-sert ve zemin-yumuşak zemin üzerinden alınan verilerle ayrı ayrı karşılaştırılmıştır (Şekil 5.6). Gözlenen en büyük yatay ivmelerin (PGA), Sadigh vd. (1997)'nin model bağıntısıyla, farklı magnitüd ( $M_W$  : 6.0 ve 7.0) ve mesafe değerleri için iki değişik zemin grubuna göre (A-B ; C-D), karşılaştırmalar yapılarak irdelenmiştir.

Şekil 5.6'da verilen grafikler incelendiğinde;  $4.5 \leq M_W < 5.5$  magnitüd aralığındaki A-B zemin grubu için gözlenen ölçülmüş pik yatay ivmeler ( $PGA \geq 3$  gal), Sadigh vd. (1997) tarafından önerilen sönüm denkleminde elde edilen  $M_W = 5$  eğrisiyle bir paralellik göstermekle beraber, çoğunlukla eğrinin altında yoğunlaşmaktadır. Diğer magnitüd aralıklarında ( $5.5 \leq M_W < 6.5$  ve  $6.5 \leq M_W < 7.5$ ) A-B zemin grubu için, mevcut veriler  $M_W=6$  ve  $M_W=7$  magnitüd değerleriyle iyi bir uyum sergilemektedir.

Buna karşın yoğun bir veri grubuyla temsil edilen C-D zemin sınıfı için, eğrilerle paralel ancak, aynı mesafe için ciddi değer farklılıkları olan ve dağınık bir oluşum görülmektedir. Bu oluşumun nedeni, Sadigh vd. (1997)'nin zemin sınıflamasını; kaya ve derin zemin olmak üzere sadece iki kategoride tanımlamasından kaynaklanabilir. Çünkü, bu konuda yapılan araştırmaların büyük çoğunluğunda A ve B sınıfı (kaya ve sert) zeminler birlikte değerlendirilebileceği öngörülürken, yumuşak ve çok yumuşak (C ve D) zemin sınıfları ise, genellikle ayrı ayrı kategorize edilmektedir.



Şekil 5.6. Pik ivmelerin (PGA), Sadigh vd. (1997)'nin modeliyle karşılaştırılması (zemin grupları: A-B ve C-D , magnitud aralığı:  $5.5 \leq M_w < 6.5$  ile  $6.5 \leq M_w < 7.5$ )

### 5.5. Regresyon Parametreleri

Farklı sismotektonik özelliklere sahip bölgelerdeki elastik enerjinin soğurulması da farklı olacaktır. Dolayısıyla, bir bölge için geliştirilen azalım ilişkisi, başka yerler için kullanılması telafisi zor hatalara sebep olabilir (Trifunac and Brady 1975). Bu yüzden, farklı jeolojik ve sismo-tektonik özellikler gösteren bölgeler için özel sönüm denklemlerinin oluşturulması daha iyi bir yaklaşımdır. Çünkü, bir bölgede kuvvetli yer hareketinin en büyük genlik değerini etkileyen en önemli parametreler; depremin büyüklüğü, yer kabuğunun heterojen yapısı, kaynak mekanizması ve kaynak uzaklığıdır. Kuvvetli hareketinin genliği, süresi, frekans içeriğinin değişimi genellikle kaynak mekanizması, kaynak uzaklığı, yayılım hattı jeolojisi, topografya ve yerel zemin koşullarının bir fonksiyonu olarak önemli ölçüde değişim gösterir.

Başka ülkeler ve bölgeler için yapılan çalışmalar, bir başka ülkenin veya bölgenin, yerel ve yüzeye yakın heterojen birimlerinin ve fay kaynak mekanizmalarının etkilerini gerekli ölçüde temsil etmeyebilir. Bu durumda doğru bir ilişkilendirme yapılamayacağı gibi, sağlıklı bir sonuç da beklenmez. Dolayısıyla, ülkemizde bilimsel çalışmalarda daha güvenilir sonuçlara ulaşılması için bölgesel bazda ve bölgenin kendi dinamik koşullarında bu tür ivme-azalım ilişkilerinin geliştirilmesi büyük önem arz eder.

Bu sebeple, ülkemizde kuvvetli yer hareketinin kurulduğu yıllardan (1976) günümüze Marmara bölgesinde meydana gelen depremlerden alınan ivme kayıtlarının bir tasnifi yapılmıştır. Özellikle, 1999 yılında Marmara bölgesinde meydana gelen iki tahripkar deprem sırasında ve sonrasında kaydedilen ana şok kayıtları ve önemli bir kısmı ilk defa bu çalışmada kullanılan artçı şok kayıtları, bölge için yapılan model çalışmalarının temelini teşkil etmiştir. Ülkemizde ilk defa bu yoğunlukta sağlanan ivme kayıtlarıyla, bölge için zengin bir veri kataloğu oluşturulmuştur.

Hazırlanan veri setindeki parametrelerle ilgili açıklamalar, Bölüm 3'te detaylı olarak açıklandığı için, ilgili parametrelere aşağıda özetle değinildikten sonra, model çalışmalarına ve değerlendirmelere yer verilmiştir.



### 5.5.1. Kuvvetli yer hareketi veri seti

Çalışma kapsamında, 1983 yılından günümüze (2007) kadar Marmara bölgesinde meydana gelmiş farklı zemin koşullarında alınan ivme kayıtları kullanılmıştır. Üç bileşen ivme kayıtlarının (bir düşey ve iki yatay bileşen), iki yatay bileşeninden mutlak değer olarak en büyük pik ivme (PGA: Peak Ground Acceleration) değeri kullanılmıştır. Kullanılan sayısal veriler, ham (düzeltilmemiş) veriler olup, önemli bir değer yitimine neden olmayacak şekilde, 0.2 Hz Low-Cut ve 25 Hz High-Cut frekans aralığında Butterworth-Band geçişli filtre penceresinden incelenmiştir. Kayıtlarda görülen eksen kaymaları, temel çizgisi düzeltmesi (base line correction) yapıldıktan sonra değerlendirmeye alınmıştır. Literatürde yaygın olarak en büyük pik ivme (PGA) ve spektral ivme (PSA: pseudo spectral acceleration) olarak tanımlandığı için, bu çalışmada da aynı tanımlamalar yapılmıştır. Bu alışmada, insanların hissedebilir eşik değeri olarak kabul edilen  $PGA \geq 1 \text{ cm/sn}^2$  (gal) ve PSA için  $\geq 10 \text{ cm/sn}^2$  ivme değerine sahip akselerogramlardan oluşan bir veri kataloğu oluşturulmuştur. Veri setinde PGA için ana şok ve artçı şoklardan oluşan 128 depreme ait toplam 721 üç bileşen ivme kaydı yer almaktadır (EK-B). Evvela doğrudan bu veri setiyle ( $PGA \geq 1 \text{ cm/sn}^2$ ) bir analiz yapılmış, fakat küçük pik ivmelerin sayısı baskın olduğundan dolayı iyi bir temsil örneği oluşmamıştır. Daha sonra,  $PGA \geq 3 \text{ cm/sn}^2$  değerleri için ikinci bir analiz yapılmış ve sonucun nispeten iyi olduğu görülmüştür. Fakat, analiz dışı bırakılan bu verilere ( $PGA < 3 \text{ gal}$ , 191 adet) rağmen, analiz sonucunun halen önemli sayıdaki bu küçük değerlerden ( $3 \leq PGA < 5 \text{ gal}$ , 120 adet) etkilendiği görülmüştür. Bu sebeple, kayıtların önemli bir kısmı (311 adet)  $5 \text{ cm/sn}^2$ 'den daha küçük pik ivme genliğine sahip olduklarından dolayı yapılan analizde kullanılmamıştır. Dolayısıyla, PGA için 410 adet ( $\geq 5 \text{ cm/sn}^2$ ) ve PSA için ise, 127 ( $\geq 10 \text{ cm/sn}^2$ ) adet ivme kaydı regresyon analizinde kullanılmıştır.

### 5.5.2. Magnitüd türü

Deprem magnitüd parametresi için, bölgedeki istasyonlarının yoğunluğu ve sistematik bir hata öngörüsü ile tek kurum verisi kullanmanın daha doğru olacağı kanaatiyle, KRDAE'nin katalog bilgileri (Kalafat v.d., 2000, Kalafat v.d., 2001)

tercih edilmiştir. KRDAE'nin bu kataloglarında çoğunlukla süreye bağlı ( $M_d$ ) magnitüd yer almaktadır. Bölüm 4.2 'de detaylı açıklandığı gibi, farklı magnitüd ölçekleri arasında geliştirilen ampirik dönüşüm bağıntularıyla, iki magnitüd ölçeği ( $M_D$  ve  $M_W$ ) tanımlanmıştır. PGA için magnitüd aralığı  $4.0 \leq M_D - M_W \leq 7.6$ , PSA ve ikinci bir PGA modeli için  $5.0 \leq M_W \leq 7.6$  olan depremler kullanılmıştır.

Model çalışmalarında her iki magnitüd türü ( $M_D$  ve  $M_W$ ) kullanılmıştır. Çeşitli mühendislik uygulamalarında ve azalım ilişkilenin geliştirilmesinde deprem büyüklüğü için, günümüzde moment ( $M_W$ ) magnitüd tercih edilen ölçektir. Bu sebeple, yapılan değerlendirmeler genellikle  $M_W$  ölçeği ile yapılmıştır.

### 5.5.3. Mesafe ölçütü

Bölüm 4.2 de ayrıntılı olarak açıklandığı üzere, bir çok araştırmacı çalışmalarında değişik mesafe ölçütleri (yırılmanın merkezine, depremin dış merkezine, enerji merkezine, yüzeydeki kırılma düzleminin projeksiyonuna, iç merkeze, eşdeğer iç merkeze, yırılma düzlemine ve sismojenik yırılma düzlemine olan uzaklık gibi) kullanmışlardır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, yüzey kırığına olan yakınlık mesafesi kullanımı yaygınlaşmaktadır. Kayıt istasyonu ile yer yüzeyindeki yırılmanın düşey izdüşümüne olan uzaklığı, en yakın mesafe olarak tanımlanmaktadır (Joyner ve Boore, 1981, 1988; Boore vd., 1993, 1994, 1997).

Bu çalışma kapsamında, evvela depremin dış merkez ( $R_{epi}$ ) mesafesi ve daha sonra iç merkez ( $R_{hyp}$ ) mesafesi kullanılarak analizler yapılmıştır. Verilen her iki mesafe ölçütü ( $R_{hyp}$  ve  $R_{epi}$ ) kullanılarak yapılan analizde, iç merkez ( $R_{hyp}$ ) mesafesinin daha iyi bir ilişki (korelasyon) verdiği görülmüştür. Ancak, uzun yüzey kırığı meydana getiren büyük depremlerden (ör: 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri) alınan ivme kayıtları için, her iki ( $R_{epi}$ ,  $R_{hyp}$ ) mesafe ölçütünün de iyi sonuç vermediği tespit edilmiştir. Bu tespit üzerine, yırılmanın yer yüzündeki izine en kısa mesafe üzerinde çalışılmıştır. Yırılma izine en yakın mesafe ( $R_{rup}$ ), diğer parametrelerle beraber doğrusal regresyon analizi yapılarak, tahmini bir "h" katsayısı elde edilmiştir. Yırılma izine en yakın mesafe ( $R_{rup}$ ) ve h değerlerinin kareleri toplamının karekökünden yeni bir mesafe ( $R_{rh}$ ) ölçütü belirlenmiştir.

Mesafe ölçütü olarak deprem kaynağı ile gözlenen yer (istasyon) arasındaki uzaklık için; kayıt istasyonu ile fay kırığının yer yüzeyindeki düşey izdüşümüne en yakın mesafe (Joyner ve Boore, 1981) tanımı kullanılmıştır. Uzun yüzey kırığı, sığ ve büyük depremlerle oluşacağından dolayı, küçük depremler için zaten böyle bir tanımlama beklenemez. Dolayısıyla, yüzey kırığı oluşturmayan veya belirlenemeyen depremler için,  $h$  parametresi ile beraber episantır ( $R_{epi}$ ) mesafesi esas alınmıştır.

#### 5.5.4. Zemin grubu tanımlaması

Kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarındaki zemin koşullarını belirlemek için yapılan çalışmalara göre, üst 30 metredeki ortalama kayma-dalgası hızının ( $V_{S30}$ ) zemin koşullarını tanımlamak için bir parametre olarak kullanılabilmesi gözlenmiştir (Borcherdt, 1992; Anderson vd., 1996). Benzer şekilde, bir çok araştırmacı (Boore vd., 1993; Borcherdt, 1994; Sadıgh vd., 1986, 1993; Idriss, 1991a,b; Abrahamson ve Silva, 1995, 1996) geliştirdikleri azalım ilişkilerinde zemin sınıfı için, kayma-dalgası hızı parametresine göre tanımlama yapmışlardır. Ayrıca Wills ve Silva (1998), yerel zemin koşullarının etkilerini belirlemek için; topografik etkiler, üç boyutlu basen etkileri, empedans zıtlığı ve kırılmanın yönlenme etkilerinin önemini de dikkate alarak, üst 30 metredeki ortalama kayma-dalgası hızı, jeolojik birimleri tanımlamak için bir parametre olarak önermiş ve uygulamışlardır.

Bu çalışmada, kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarının bulunduğu zemin etkilerini belirlemek için, ortalama kayma-dalgası hızı ( $V_{S30}$ ) kriteri esas alınmıştır. İstasyonların zemin şartları, Türkiye Deprem Yönetmeliği (BİB-2007)'nde belirtilen zemin parametrelerine göre tanımlanmıştır. Yönetmelikle uyumlu olarak, ivme-ölçer lokasyonları da dört kategoride; A: kaya, B: sert zemin, C: yumuşak zemin ve D: çok yumuşak zemin olarak değerlendirilmiştir. Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007)'ne göre belirlenen zemin grupları, zemin tanımlamaları, kayma-dalgası hız değerleri ve bu kıstaslara ilişkin kullanılan veri sayısı Tablo 5.2'de verilmiştir.

İvme kayıtlarının alındığı zemin koşullarını, kayma-dalgası hızı ile tanımlayıp değerlendirmek, yaygın olarak kabul gören bir yaklaşımdır. Ancak, verileri kullanılan tüm kayıt istasyon yerleri için kayma-dalgası hız değerleri belli değildir. Bunun için, özel ve kapsamlı arazi çalışmaları ve araştırmalar gerekmektedir. Verilerin kullanıldığı ivme-ölçer noktalarının tamamında olmasa da, bazı istasyon yerlerinde (30 civarında) jeofizik-sismik çalışmalar yapılmış ve kayma-dalgası hız değerleri belirlenmiştir. Bu istasyonlara ait kayma-dalgası hız değerleri, DAD'nin web sayfasında ([angora.depem.gov.tr](http://angora.depem.gov.tr)) ve Rosenblod vd. (2001)'nin yaptığı çalışmadan (Ek C) sağlanmıştır.

İstasyon yerlerinde yapılan sismik deneyler, kurumların verdiği zemin sınıfı bilgileri, jeolojik haritalar ve arazi gözlemleri birlikte değerlendirilmiştir. Bunun sonucu, gerek yerinde belirlenen ve gerekse tahmin edilen eşdeğer kayma-dalgası hızı, Yönetmelikte belirtilen değerlerle ilişkilendirilmiştir. Buna göre, yerel zemin koşullarının belirlenmesi için tanımlanan indeks değişkenleri, çok yumuşak zeminler için;  $S_D = 1$  ve  $S_B = S_C = 0$ , yumuşak zemin için;  $S_C = 1$  ve  $S_B = S_D = 0$  ve sert zeminler için;  $S_B = 1$  ve  $S_C = S_D = 0$  olarak alınmıştır. A grubu zemini temsil eden veri sayısı çok az sayıda (13) olduğu için, A ve B grubu zeminler birlikte değerlendirilmiştir.

Tablo 5.2. Azalım ilişkisi modelinde kullanılan zeminlerin tanımlanması

Zemin Grubu	Kayma dalgası hız değerleri (m/sn)	Zemin Tanımlaması	Kayıt Sayısı
A	> 700	Kaya	16 kayıt
B	= 300 - 700	Sert Zemin	130 kayıt
C	= 200 - 400	Yumuşak Zemin	121 kayıt
D	< 200	Çok Yumuşak Zemin	456 kayıt

### 5.5.5 Fay tipi

Bu çalışmada kullanılan kuvvetli yer hareketi veri seti, genç tektonik (neo-tektonik) dönemde Marmara Bölgesi'nde en etkin tektonik yapıyı oluşturan Kuzey Anadolu

Fay (KAF) sisteminin Kuzeybatı kesimini kapsamaktadır. Bölgede, Kuzey Anadolu Fay Zonu, çok sayıda segment ile bu segmentleri oluşturan kademeli ve sağ yanal atımlı faylar tarafından temsil edilmektedir. Dolayısıyla alınan kayıtlar, sağ yönlü doğrultu-atımlı transform nitelikli fay mekanizmasına sahip depremlerden sağlanmıştır. Fay yırtılma zonu, yer yüzüne yaklaşık 20 km mesafe ile sınırlı, sığ depremlerle karakterize edilir. Kuvvetli hareket kayıtları, genellikle aynı kaynak mekanizmasına sahip depremlerden teşkil edildiği için, fay türü ayrı bir parametre olarak regresyon analizinde yer almamıştır.

## 5.6. Azalım İlişkisi Modelinin Geliştirilmesi

### 5.6.1. Regresyon modeli

Bir çok araştırmacı 1970’li yıllardan günümüze geliştirdikleri kuvvetli yer hareketi azalım ilişkilerini genellikle logaritmik bir formda sunmuşlardır ( Ambraseys, 1995,; Ambraseys vd., 1996; Trifunac, 1976; Campbell, 1988; Joyner ve Boore, 1981, 1988; Fukushima vd., 1988, 1995; Abrahamson ve Silva 1997; Boore vd., 1993, 1997; Sadigh vd., 1993, 1997; Ambraseys and Douglas, 2000, 2003; Atkinson ve Boore, 2003, Bommer vd., 2003;). Bu temel ampirik eşitliğin genel formu, Denklem 5.15’te gösterildiği biçimde ifade edilebilir:

$$\text{Log } Y=c_1+c_2M+c_3\text{Log } R-c_4r+c_5F+c_6S+\varepsilon \quad (5.15)$$

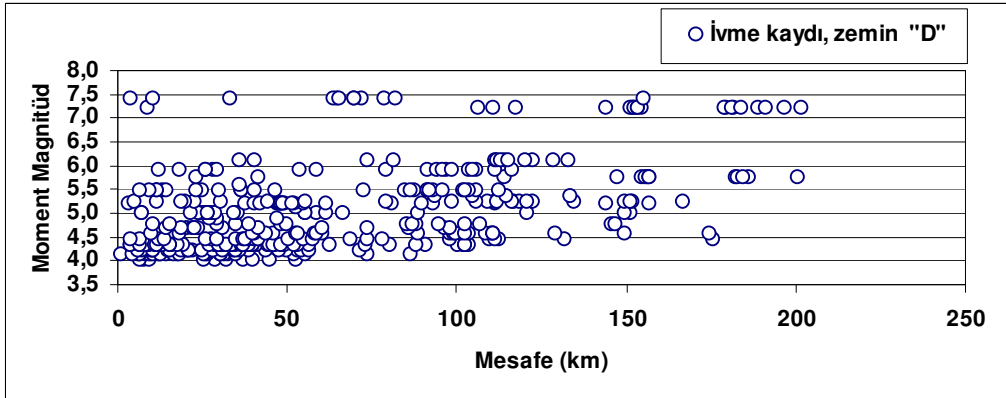
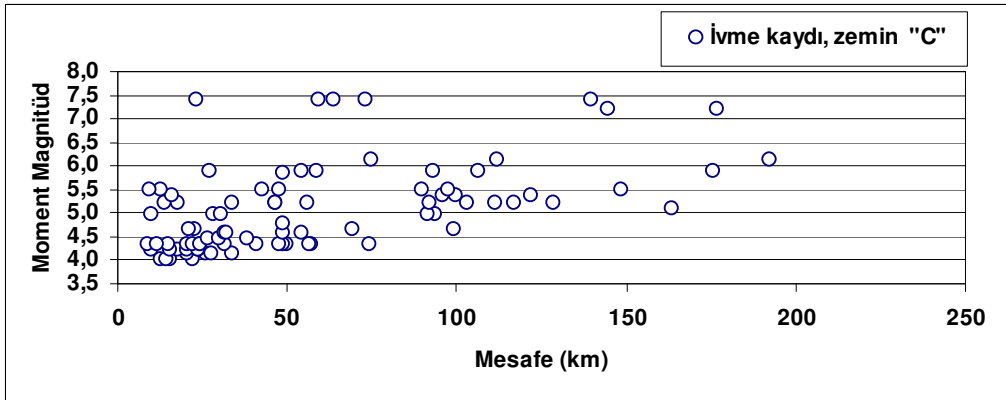
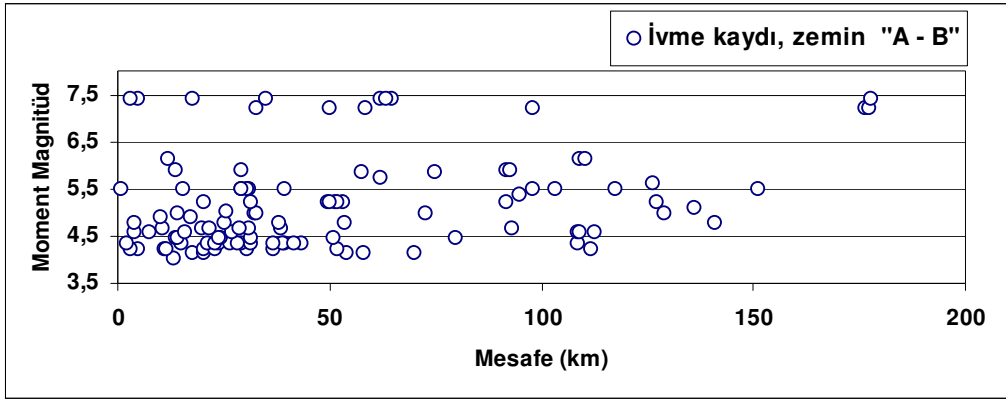
Burada; Y: kuvvetli yer hareketi parametresi, M: depremin büyüklüğü, r: kaynak ile saha arasındaki mesafe, R: bir mesafe terimi; F: fayın karakteristiğine ait parametre, S: yerel zemin koşulunu belirleyen parametre ve  $\varepsilon$ : rasgele bir hata terimidir. Kuvvetli yer hareketi verisi genellikle log-normal bir dağılım sergilediği için, bu logaritmik eşitlik formu kullanılmaktadır. Geleneksel azalım ilişkilerinde tahmin edilen pik yer ivmesi; depremin büyüklüğü, kaynak mesafesi ve zeminin karakteristiği ile tanımlanan bir fonksiyondur. Bazı sönüm denklemleri (Somerville, 1997) fay türü ve yırtılma yönü etkisi gibi faktörleri de içermektedir. Standart regresyon terminolojisinde, en büyük yer ivmesi değerleri bağımlı değişken iken, magnitüd, mesafe ve zemin koşulu ise bağımsız değişkenlerdir.

Bu tez çalışmasında, yukarıdaki eşitlikte (Denklem 5.15) verilen logaritmik bağıntı formu temel alınmıştır. Denklemdeki değişken katsayılarını hesaplamak için doğrusal olmayan (nonlinear) çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Çalışma sırasında, oluşturulan veri setindeki pik ivme değerlerinin; mesafe, magnitüd ve yerel zemin şartlarına göre dağılımı Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 5.8’de tepki (response) spektral pseudo-ivme (PSA) değerlerinin dağılımı verilmiştir.

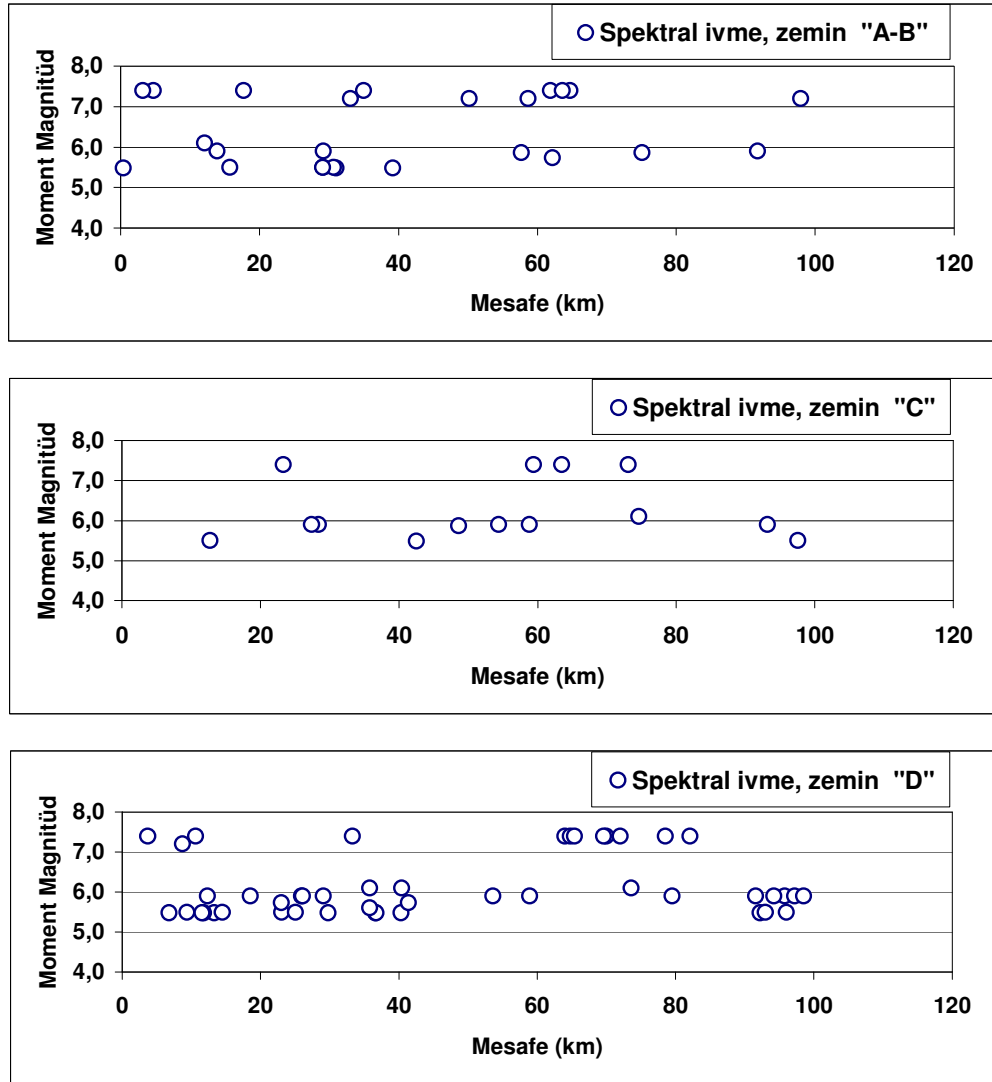
A grubu zemini temsil eden kayıt sayısı çok sınırlı olup, PGA için 14 ve PSA için ise yalnızca 5 örnek bulunmaktadır. Bu sebeple, A ve B zemin grupları aynı kategoride değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, azalım modeli üç farklı zemin kategorisine (A-B, C ve D grubu) göre geliştirilmiştir. İvme verileri, genelde sığ kabuk depremlerinden (< 20 km) meydana gelen ve aynı faylanma karakterine (yanal-atım) sahip depremlerden elde edilmiştir. Bu nedenle, regresyon modelinde faya ilişkin herhangi bir parametreye yer verilmemiştir.

Önerilen azalım ilişkisi, en büyük yatay yer ivmesi (PGA) ve %5 sönüm spektral ivme (PSA) değerleri için geliştirilmiştir. PGA için eşik ivme değeri 0,005g (5 gal), magnitüd  $4.0 \leq M_D - M_W < 7.6$  ve mesafe 1-200 km aralığındadır. PGA analizinde 410 ivme kaydı kullanılmıştır. PSA için veri kriterleri ise,  $\geq 0,010$  g eşik ivme değeri esas alınmış, magnitüd  $5.0 \leq M_W < 7.6$  ve mesafe 1-100 km aralığı ile sınırlıdır. PSA analizinde, 24 depremden alınmış toplam 127 kayıt kullanılmıştır.

Bu yeni ve güncel azalım bağıntıları, belirli bir kaynak zonunda (aynı tektonik oluşum) meydana gelen deprem parametrelerinden teşkil edilen verilerle oluşturulduğu için, bölgesel bazda bir empirik ilişkidir. Bu ilişki, belli bir bölgeye (Marmara bölgesi) özel olup, bu yönüyle dünya genelinde diğer bölgelerde meydana gelen depremlerin karışımıyla oluşturulan sönüm denklemlerinden ayrılmaktadır.



Şekil 5.7. Mesafe, magnitüd ve yerel zemin gruplarına göre, analizde kullanılan PGA veri tabanındaki verilerin dağılımı (her bir nokta bir kaydı göstermektedir)



Şekil 5.8. Mesafe, magnitüd ve yerel zemin gruplarına göre, analizde kullanılan PSA verilerin dağılımı (her bir nokta bir kaydı göstermektedir)

### 5.6.2. Regresyon analizi

Regresyon analizinin ilk aşamasında, değişkenler arasındaki ilişkilerde uygunluk incelenmesi yapılmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkiyi görmek için evvela bunların serpmme grafiklerine bakılmalıdır. Bunun için, öncelikle verilerin grafiksel dağılımına bakılmıştır. Grafikler yardımıyla verilerin dağılım şekli, yayılımı ve yığılmaların nerelerde olduğuna dair doğrudan bir bakış sağlanmıştır. Değişkenlerin grafiksel

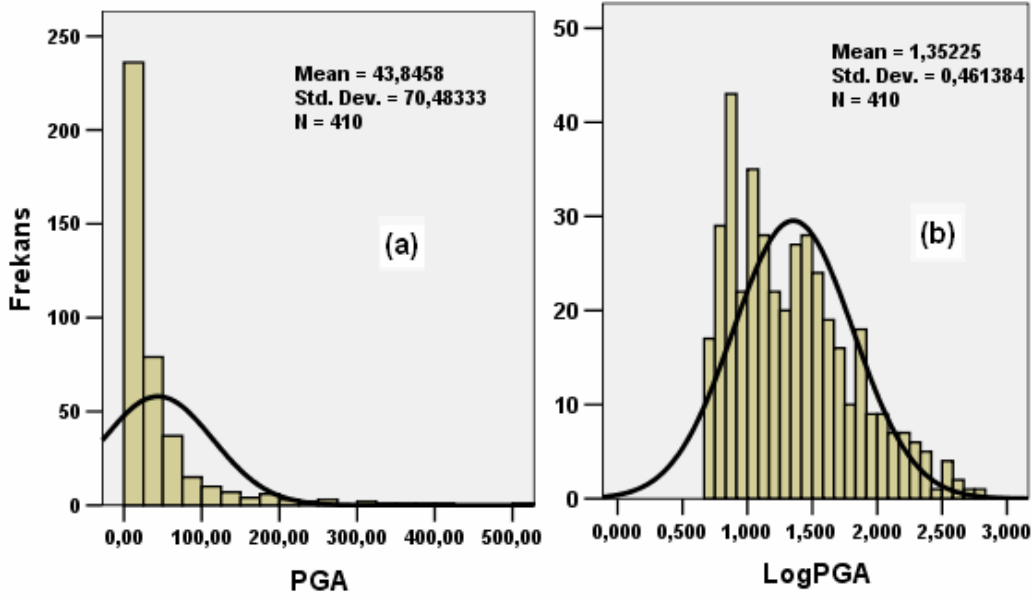


olarak doğrudan gösterimini sağlayan ve normal dağılım gösterip göstermediğini belirleyen grafik türlerinden biri de histogram grafiğidir.

Değişkenler, genellikle dağılımın ortasına yakın yerlerde yoğunlaşır, merkezden uzaklaştıkça frekans azalır. Normal dağılım bunun en iyi örneğidir. İstatistikteki en önemli teorik dağılım, normal dağılımdır. Ortalaması (mean) 0, standart sapması (standard deviation) 1 olan normal dağılıma “standart normal dağılım” denir (Ergün, 1995).

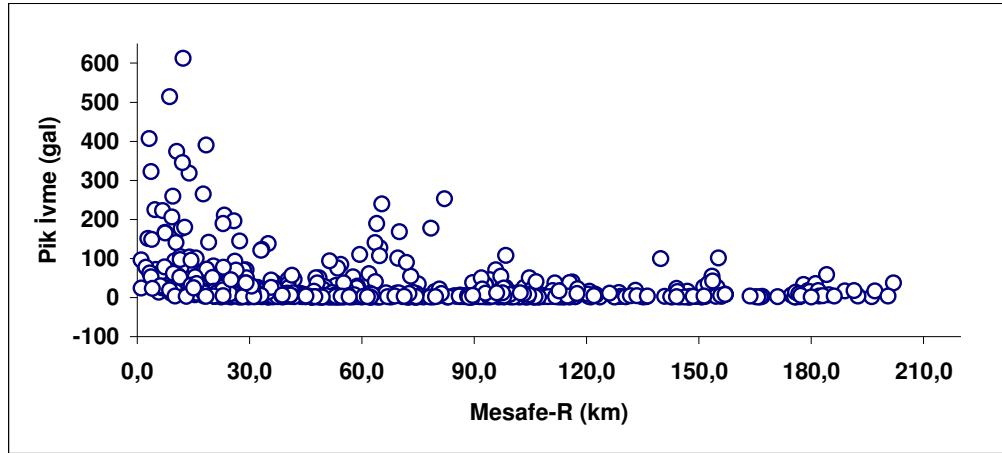
Kuvvetli hareket parametrelerinin pik değerleri yaklaşık olarak log-normal dağılım gösterir (yani, parametrelerin logaritması yaklaşık olarak normal dağılım gösterir). Başka bir ifadeyle, bir rasgele değişkenin logaritması normal dağılımlı ise, o rasgele değişken log-normal dağılımlıdır. Sonuçta; regresyon analizi, PGA'nin kendisi üzerinde değil de logaritması üzerinde yapılır (Kramer, 1996). Yapılan ilk istatistik değerlendirmede, bağımlı değişkenin (en büyük yatay pik ivmeler: PGA, 410 adet) doğrudan kullanılması, normal dağılıma uygunluğu araştırılmıştır. Fakat, Şekil 5.9a'da görüldüğü gibi PGA değerlerinin doğrudan kullanılması normal bir dağılım göstermemektedir.

Bunun üzerine, bağımlı değişkenlerin logaritması (LogPGA) alınarak verilerin dağılımı, Şekil 5.9'daki histogramda gösterilmiştir. Bu grafik normal bir dağılım gösterse de, aslında tam normal bir dağılım sergilememektedir. Bunun nedeni, deprem gibi jeolojik ortamda gelişen dinamik bir olaydan elde edilen veriler arasında tam bir uyumun olmamasıdır. Bunun nedeni, herhangi bir sarsıntı sırasında yerin tepkisinin tekdüze olmadığı ve çeşitli faktörlerden (yerel zemin şartları, kaynak mesafe vb.) etkilenmesi ve alınan örnekleme (magnitüd dağılımı gibi) aralığı olarak açıklanabilir. Dolayısıyla, bu faktörlerin etkileri yansıtılmadan, mevcut veriler arasında tam bir normal dağılım beklenemez.



Şekil 5.9. En büyük yatay yer ivmesinin; (a) normal değerleri (b) logaritmik değerlerinin dağılım histogramları

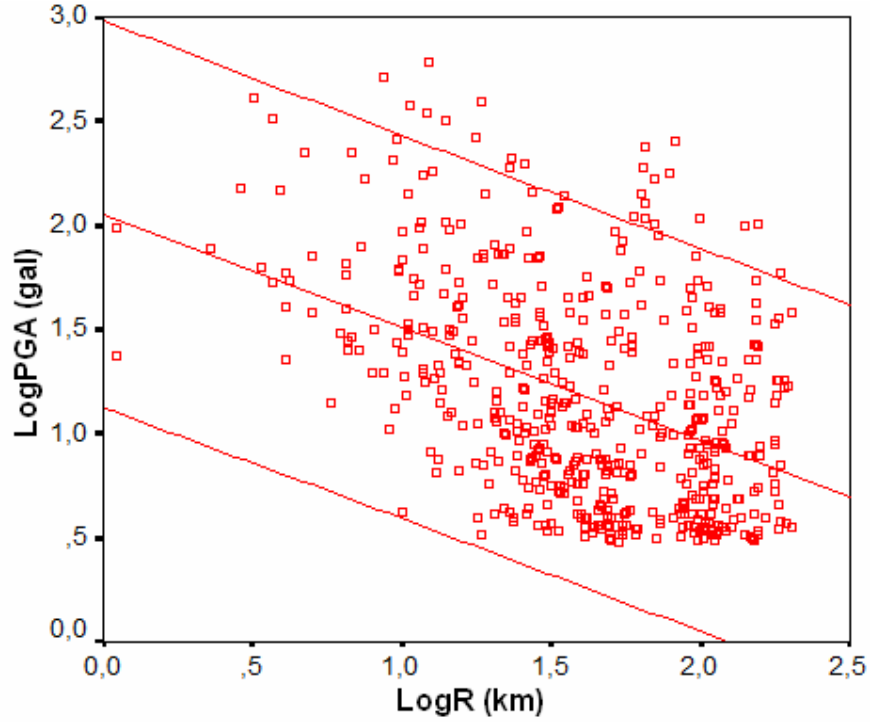
En yakın mesafe (R) ile pik ivme (PGA)'nin normal değerleri arasındaki ilişkiye bakmak için, değişkenlere ait dağılım grafiği oluşturulmuştur (Şekil 5.10). Grafikte görüldüğü gibi, değişkenler arasında normal bir dağılım yoktur.



Şekil 5.10. Normal değerlerle pik yatay yer ivmesi ve mesafenin dağılımı

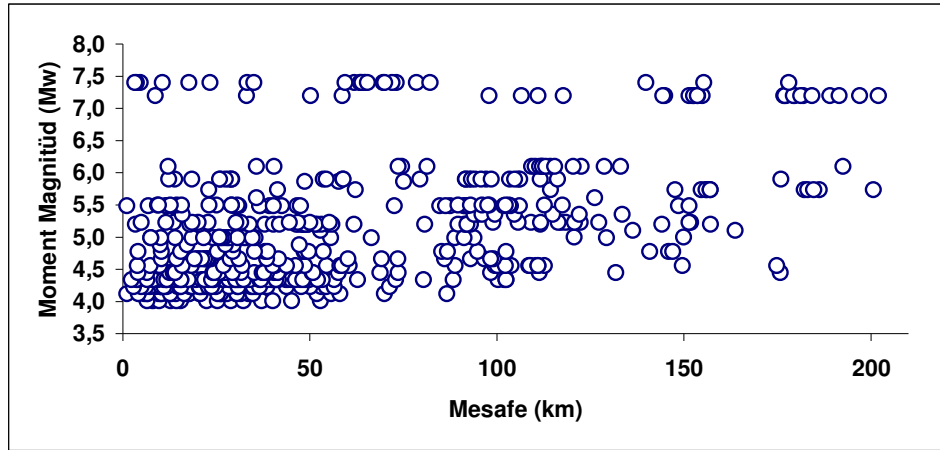
Regresyon analizinde pik yatay yer ivmesi ve mesafe değişkenleri logaritmik değerleriyle kullanılmıştır. Bu sebeple, mesafe ve PGA arasındaki ilişkinin %95

güvenirlilik aralığında normal dağılımı araştırılmıştır. Şekil 5.11’de görüldüğü üzere, LogPGA ve LogR arasında negatif bir ilişki olup, normal bir dağılım sergilemektedir.



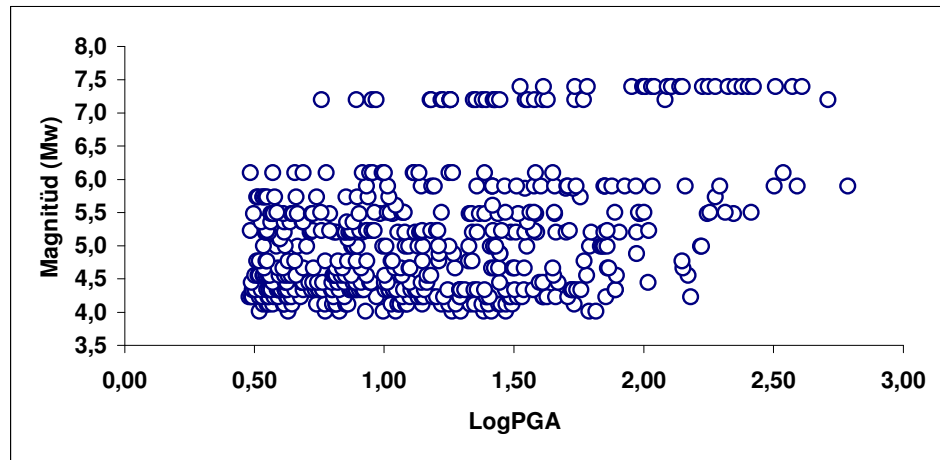
Şekil 5.11. Analizde kullanılan LogPGA ve LogR değerlerinin % 95 güvenirlilik aralığındaki dağılımı ve doğrusal regresyon çizgisi (orta çizgi)

Mesafe ile magnitüd arasındaki ilişki Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Grafikteki nokta dağılımından, küçük depremlerin ( $4 \leq M_w < 5$ ) yakın mesafelerde (0-60km) yoğunlaştığı gözlenmektedir. Buna karşın, uzak mesafelerde ise daha büyük depremlerin kayıtları bulunmaktadır. Dolayısıyla depremin büyüklüğü arttıkça, daha uzak mesafelerde ve artan genlik değerleriyle ivme kayıtları alınabilmektedir. Bu durum, mesafe ile magnitüd arasında pozitif bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.12. Magnitüd ve mesafeye göre ivme kayıtlarının dağılımı

Şekil 5.13’de pik ivmelerin logaritmik değeri ile magnitüd arasındaki dağılım görülmektedir. Pik ivme ile magnitüd arasında pozitif bir ilişki söz konusudur. Artan magnitüd değerine karşılık, ivmenin genlik değerinde de artış olmaktadır.



Şekil 5.13. Analizde kullanılan pik yatay yer ivmelerin (logaritmik değeri) magnitüd ile dağılımı

Değişkenler arasındaki ilişkiler incelendikten sonra, fonksiyonel bir form için çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Yapılan analizde ivme ve mesafe değişkenlerinin logaritmik, magnitüdün normal değerleri kullanılmıştır. Bununla beraber, farklı zemin koşulları için indeks değişkenleri belirleyici birer parametre olarak alınmıştır.

En büyük yatay ivme (PGA) azalım modeli: PGA modeli için değişkenler arasında, daha yüksek korelasyonu sağlamak için farklı matematiksel ifadeler kullanılarak anlamlılık testleri yapılmıştır. Hesaplamalarda SPSS yazılımı kullanılarak, doğrusal olmayan çoklu regresyon analiz metodu uygulanmıştır. Farklı deneme modelleri üzerinde çalışılmıştır. Bunun yanında, bir çok araştırmacının önerdiği azalım modelleri de uygulanmıştır. İstatistik sonuçlar dikkate alınarak, önerilen modeller mevcut verilerle birlikte grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Mevcut veri tabanına göre, moment magnitüd ( $M_W$ ) ve süreye bağlı magnitüd ( $M_D$ ) için, istatistik açıdan en iyi ve en anlamlı sonucu veren iki model bağıntı için değişken katsayıları ve ilgili parametreler hesaplanmıştır. PGA'nin,  $M_W$  ve  $M_D$ 'ye göre önerilen azalım ilişkisi modelleri, değişken katsayıları ve diğer istatistik bilgileriyle beraber aşağıda verilmiştir.

Model -1:

$$\text{Log}_{10}(\text{PGA}) = c_1 + c_2 M_W + c_3 M_W^2 + c_4 \text{Log}_{10}(R) + c_5 S_B + c_6 S_C + c_7 S_D + \sigma_1 \quad (5.16)$$

Burada,

PGA : En büyük yatay yer ivme değeri ( $\text{cm/sn}^2 = \text{gal}$ ),

$C_{1-8}$  : Katsayılar,

$\sigma_1$  : Standart sapma (PGA tahmini için),

$M_W$  : Moment magnitüd,

$S_B$  ,  $S_C$  ve  $S_D$  : Sırasıyla; A-B, C ve D grubu zeminler için indeks değişkenleri,

Zemin grubu, A-B için:  $S_B = 1$  ve  $S_C = S_D = 0$ ; C için:  $S_C = 1$  ve  $S_B = S_D = 0$  ve

D için:  $S_D = 1$  ve  $S_B = S_C = 0$

R : Mesafe (km) ve

$$R = (R_{rup}^2 + h_{1,2}^2)^{1/2}$$

$R_{rup}$  : Yüzey kırığına olan en yakın mesafe,

$h_1$  : Regresyonla sağlanan bir değer

$c_1 = -0.013$ ,  $c_2 = 0.698$ ,  $c_3 = -0.029$ ,  $c_4 = -0.922$ ,  $c_5 = -0.145$ ,  $c_6 = -0.059$ ,  $c_7 = 0.041$ ,

$h_1 = 5.892$ ,  $\sigma_1 = 0,2994$  ve korelasyon katsayısı ( $r$ )= 0,766

Model -2:

$$\text{Log}_{10}(\text{PGA}) = c_1 + c_2 M_D + c_3 M_D^2 + c_4 \text{Log}_{10}(R) + c_5 S_B + c_6 S_C + c_7 S_D + \sigma_2 \quad (5.17)$$

Burada,

$M_D$  : Süreye bağlı magnitüd,

$\sigma_2$  : Standart sapma (PGA tahmini için),

$h_2$  : Regresyonla sağlanan bir değer,

$c_1 = - 0.072$ ,  $c_2 = 0.736$ ,  $c_3 = - 0.028$ ,  $c_4 = - 0.977$ ,  $c_5 = - 0.156$ ,  $c_6 = - 0.064$ ,  $c_7 = 0.031$ ,  
 $h_2 = 6.441$ ,  $\sigma_2 = 0,313$  ve korelasyon katsayısı ( $r$ )= 0,764

Çoklu regresyon analizi sonucu geliştirilen model bağıntılar ve ilgili parametreleri yukarıda belirtilmiştir. Burada, hangi bağımsız değişkenin daha önemli olduğu ve bağımlı değişkeni daha çok etkilediği, korelasyonlardan anlaşılmaktadır. Regresyon modelinin, verilere ne kadar uygun olduğunu görmek için ise, F değerinin anlamlı olup olmadığına bakılmıştır. Bunun için aşağıdaki ifade yardımıyla hesaplanan F değeri,

$F = \text{Regresyon kareler ortalaması} / \text{Regresyondan ayrılış kareler ortalaması}$

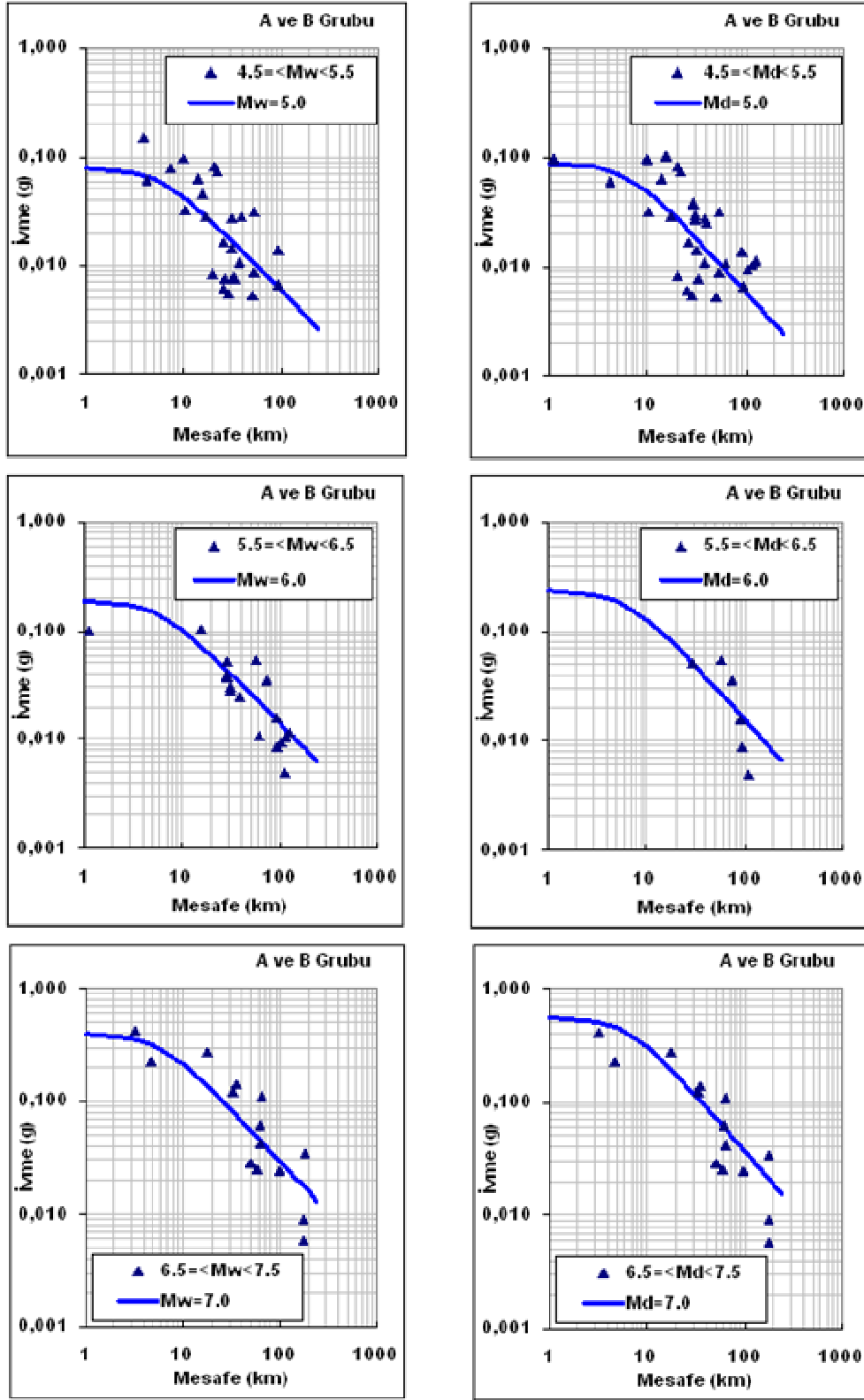
F tablosunun 0,05 olasılık sınırından elde edilen F değerinden daha küçük olduğu için anlamlıdır. Regresyon sonunda elde edilen önemli parametrelerden birisi de korelasyon katsayısı ( $r$ ) ve belirlilik katsayısı ( $r^2$ ) olup, modelin iyi uyduğu ölçüleridir. Belirlilik katsayısı, bağımlı değişkenin gözlenen değeri ile eğri çizgisi üzerinde öngörülen değer arasındaki korelasyon katsayısının karesidir. Gözlenen değerlerin hepsi regresyon eğrisinin üzerinde olması durumunda,  $r^2$  değeri 1; değişkenler arasında bir ilişki yoksa,  $r^2 = 0$  olmaktadır. Yapılan regresyon analizi sonucu elde edilen  $r$  değeri, 0,77 dir.

PGA için önerilen model bağıntılar kullanılarak oluşturulan eğriler, mevcut pik yatay yer ivmesi değerleri ile kaya-sert, zemin ve yumuşak zemin üzerinden alınan verilerle ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Gözlenen en büyük yatay ivmelerin (PGA),

önerilen model bağıntılarıyla her iki magnitüd ölçeği ( $M_W$  ve  $M_D$ )'ne göre değişik büyüklük (5.0, 6.0 ve 7.0) ve mesafe değerleri için karşılaştırmalar yapılmıştır. Farklı zemin türlerine göre (A-B ; C ve D), oluşturulan grafikler Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Grafiklere bakılırsa, gözlenen verileri temsil eden noktalarla önerilen eğriler arasında genelde iyi bir uyum görülmektedir.

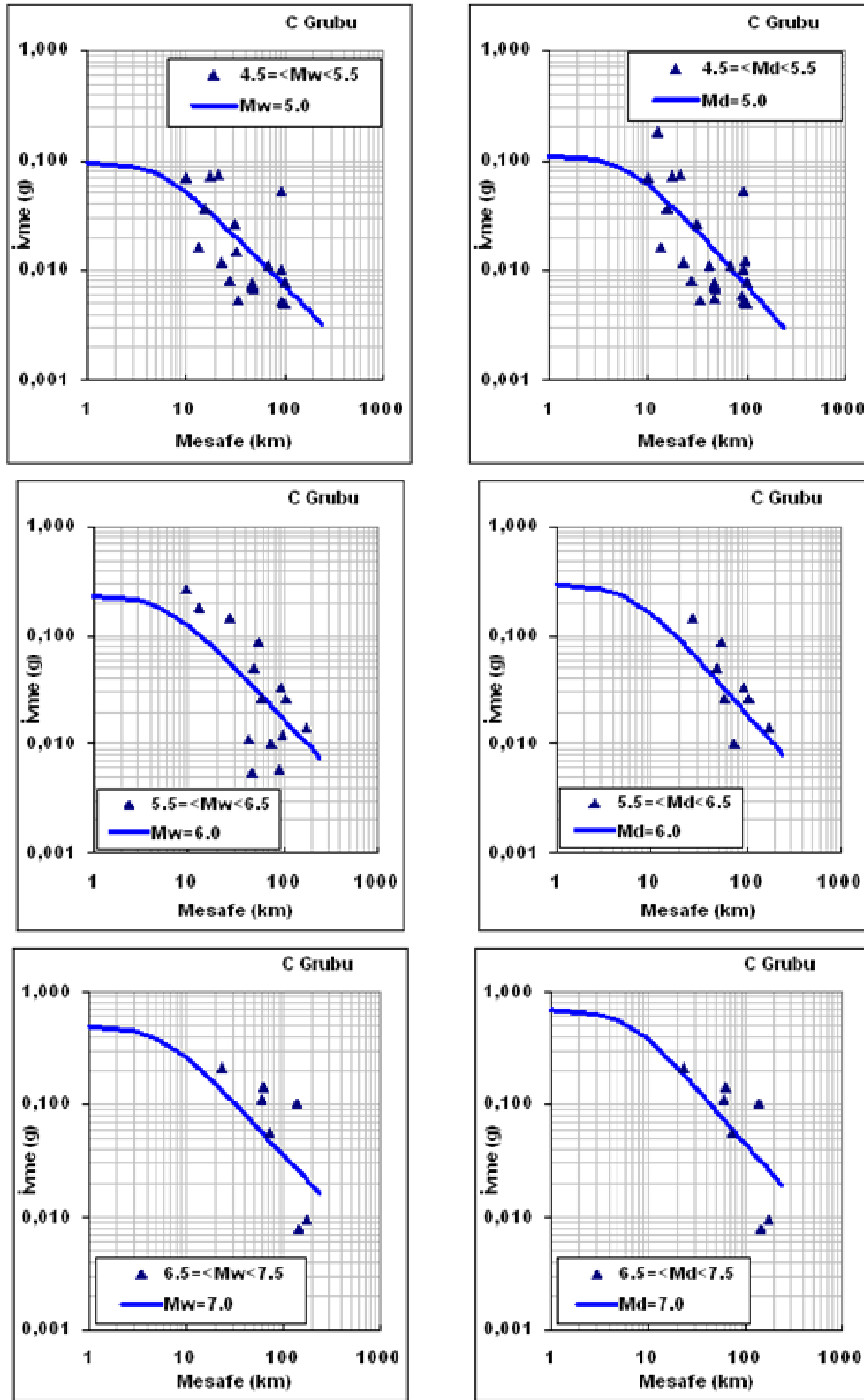
Bununla beraber, aynı değerler için mukayese açısında yan yana getirilmiş farklı magnitüd ölçekleri ( $M_W$  ve  $M_D$ ) arasında, ilk iki değer ( $4.5 \leq M_{W,D} < 5.5$ ;  $5.5 \leq M_{W,D} < 6.5$ ) arasında önemli bir farklılık yoktur. Ancak,  $6.5 \leq M_{W,D} < 7.5$  magnitüd aralığında ve  $M_W = 7$  değeri üzeri için ciddi bir farklılık görülmekte ve  $M_D$  değerinde bir sıçrama oluşmaktadır. Bu sıçrama, özellikle D grubu zeminde bariz olarak görülmektedir.

Burada, 6.5 magnitüd değerine kadar  $M_D$  ölçeği normal değerlerde seyrederken, daha büyük magnitüdüler için iyi bir temsil oluşturmadığı sonucu çıkmaktadır. Bu durum, Bölüm 4.2'de ayrıntılı olarak belirtildiği gibi, magnitüd saturasyonu (doğunluğu) görüşüne göre, klasik süre okumasından saptanan magnitüd ölçeği ( $M_D$ ), ancak fay boyunun 5-50 km olduğu depremlerde gerçek büyüklüğü temsil edebilirler, görüşüne uygun bir niteliktedir. Dolayısıyla,  $M_D$  6.5 üzerindeki depremler için bu ölçekle yapılan ivme-azalım ilişkilerinin sağlıklı sonuçlar veremeyeceği, bu çalışmada çıkan başka bir önemli sonuçtur.

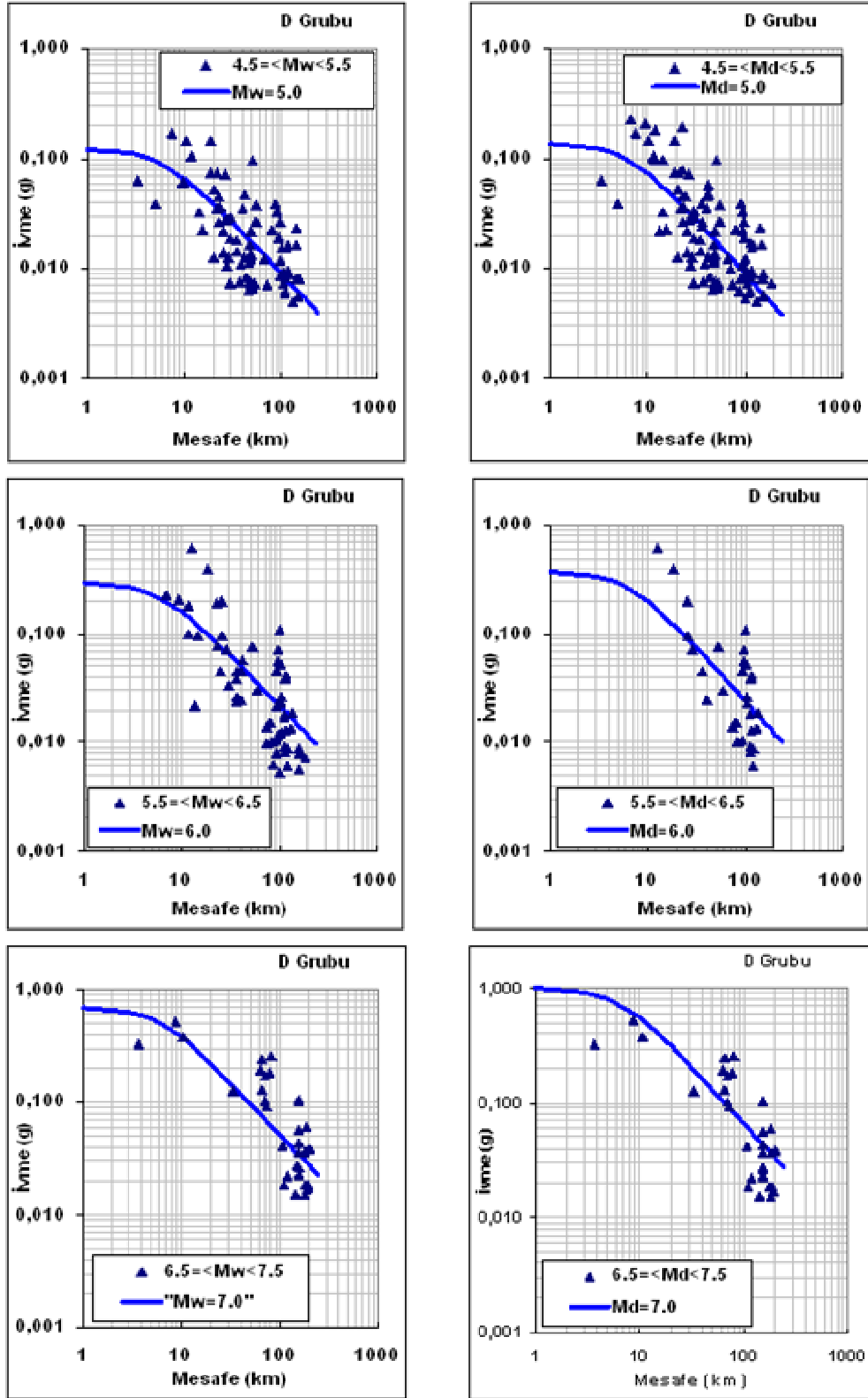


Şekil 5.14. A-B grubu zeminler için gözlenen pik ivmelerin,  $M_w$  ve  $M_d$  için önerilen model eğrilerle karşılaştırılması (magnitüd:  $4.5 \leq M_{w,D} < 5.5$ ;  $5.5 \leq M_{w,D} < 6.5$ ;  $6.5 \leq M_{w,D} < 7.5$ )





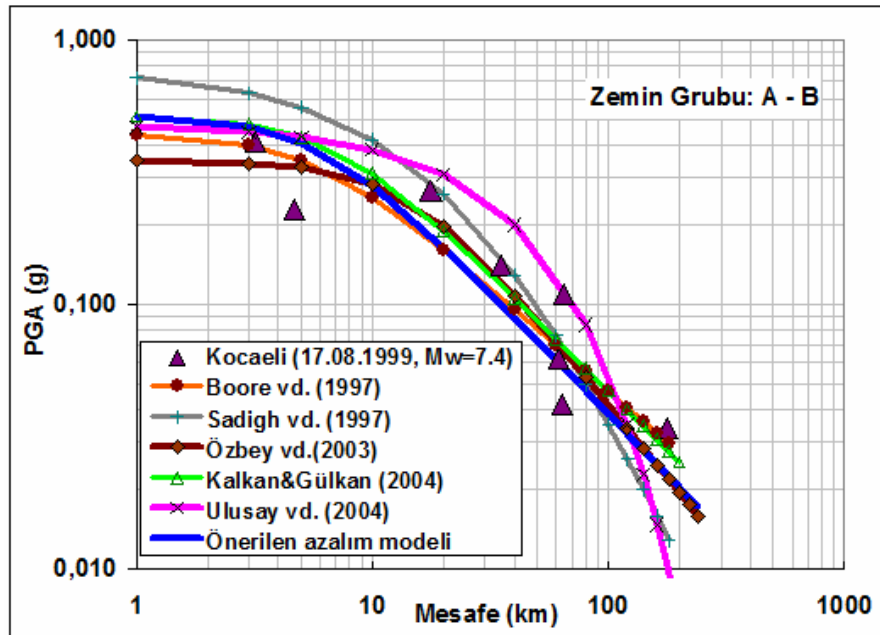
Şekil 5.15. C grubu zemin için gözlenen pik ivmelerin,  $M_w$  ve  $M_D$  için önerilen model eğrilerle karşılaştırılması (magnitüd aralığı:  $4.5 \leq M_{w,D} < 5.5$ ;  $5.5 \leq M_{w,D} < 6.5$ ;  $6.5 \leq M_{w,D} < 7.5$ )



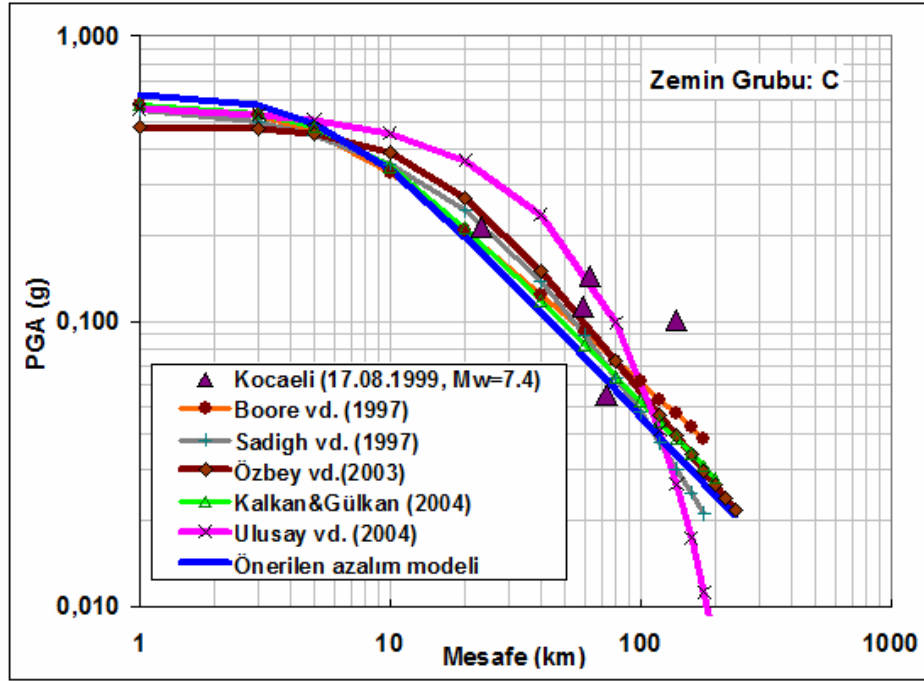
Şekil 5.16. D grubu zemin için gözlenen pik ivmelerin,  $M_w$  ve  $M_D$  için önerilen model eğrilerle karşılaştırılması (magnitüd aralığı:  $4.5 \leq M_{w,D} < 5.5$ ;  $5.5 \leq M_{w,D} < 6.5$ ;  $6.5 \leq M_{w,D} < 7.5$ )

17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ana şoku sırasında kaydedilen ivme değerleri ile bu çalışmayla önerilen ve diğer araştırmacılar tarafından geliştirilen azalım ilişkileri birlikte değerlendirilmiştir. Bunun için, farklı zemin gruplarına göre (A-B, C ve D) oluşturulan grafikler, Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da gösterilmiştir.

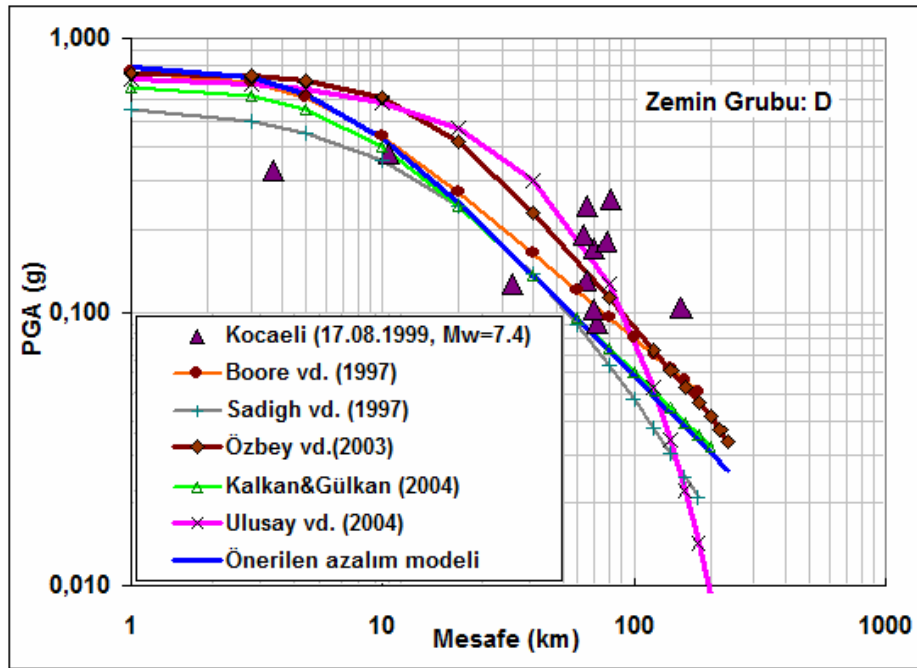
Kaya ve sert zemin grubunu (A-B) temsil eden Şekil 5.17’deki grafikte görüldüğü gibi, Sadigh vd. (1997) ve Ulusay vd. (2003)’eğrileri dışında diğer modeller arasında yakın bir ilişki vardır. Özbey vd. (2004)’nin modelinde yakın mesafe (<10 km) için önemli bir düşüş görülmektedir. Bununla beraber, Kalkan ve Gülkan (2004), Boore vd. (1997) ile önerilen model arasında çok yakın bir ilişki olduğu gibi, mevcut verilerle de iyi bir uygunluk göstermektedir. Yumuşak zemin grubu (C) için verilen grafikte (Şekil 5.18), Ulusay vd. (2003)’nin bağıntısı dışında, genel olarak diğer ilişkiler arasında yakın bir paralellik görülmektedir. Çok yumuşak zemin grubunu (D) temsil eden grafikte (Şekil 5.19) ise, önerilen model ile Kalkan ve Gülkan (2004)’in modeli arasında bir örtüşme görülürken, Özbey vd. (2004) ile Ulusay vd. (2003) eğrileri daha büyük değerlerle temsil edilmektedir. Buna karşın, Sadigh vd. (1997)’in modeli ise, daha düşük değerler vermektedir.



Şekil 5.17. “A-B” grubu zemin için önerilen azalım modelinin diğer sönüm eğrileriyle birlikte, 1999 Kocaeli depreminde ölçülen pik ivmelerle karşılaştırılması

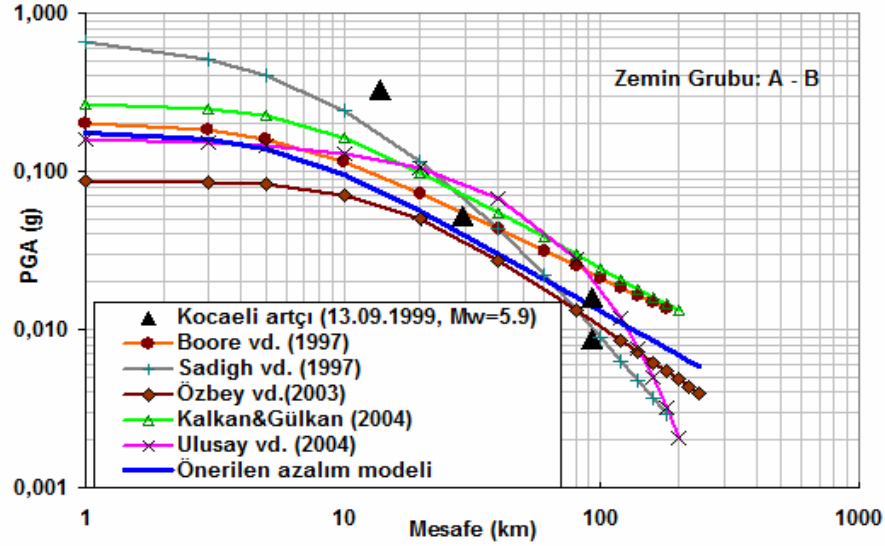


Şekil 5.18. "C" grubu zemin için önerilen azalım modelinin diğer sönüm eğrileriyle birlikte, 1999 Kocaeli depreminde ölçülen pik ivmelerle karşılaştırılması

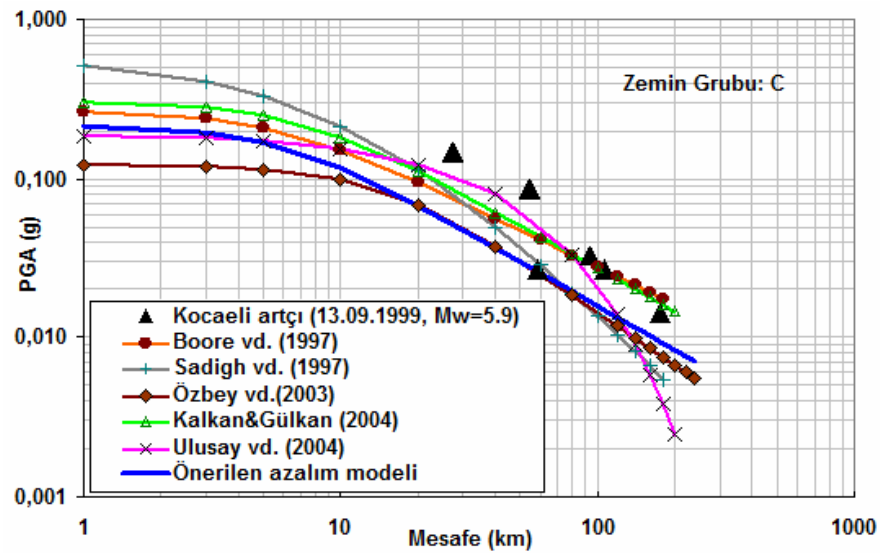


Şekil 5.19. "D" grubu zemin için önerilen azalım modelinin diğer sönüm eğrileriyle birlikte, 1999 Kocaeli depreminde ölçülen pik ivmelerle karşılaştırılması

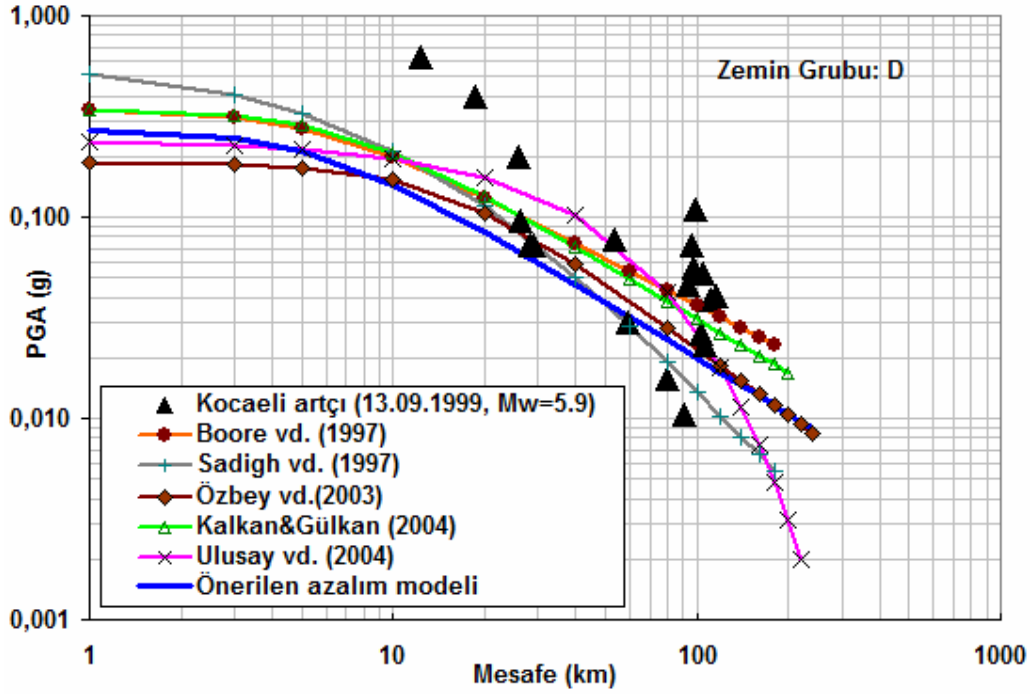
Ayrıca, 13 Eylül 1999 Kocaeli depremi artçı şoku sırasında kaydedilen ivme değerleri ile bu çalışmayla önerilen ve diğer araştırmacılar tarafından geliştirilen azalım ilişkileri birlikte değerlendirilmiş ve farklı zemin gruplarına göre (A-B, C ve D) oluşturulan grafikler, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20. “A-B” grubu zemin için önerilen azalım modelinin diğer sönüm eğrileriyle birlikte, 13 Eylül 1999 Kocaeli depremi artçı şoku sırasında ölçülen pik ivmelerle karşılaştırılması



Şekil 5.21. “D” grubu zemin için önerilen azalım modelinin diğer sönüm eğrileriyle birlikte, 13 Eylül 1999 Kocaeli depremi artçı şoku sırasında ölçülen pik ivmelerle karşılaştırılması



Şekil 5.22. "D" grubu zemin için önerilen azalım modelinin diğer sönüm eğrileriyle birlikte, 13 Eylül 1999 Kocaeli depremi artçı şoku sırasında ölçülen pik ivmelerle karşılaştırılması

Spektral ivme (PSA) azalım modeli: PSA azalım modeli, % 5 sönüm oranına göre farklı periyod değerleri için hesaplanan tepki spektrumlarından en büyük yatay pseudo spektral ivme değerleri kullanılarak geliştirilmiştir. Regresyon analizinde, 5.0-7.5 ( $M_w$ ) magnitüd aralığında, 1-100 km mesafe ile sınırlı ve  $PGA \geq 10 \text{ cm/sn}^2$  üzerindeki ivme kayıtları tercih edilmiştir. Yapılan analizde, 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinin artçı şoklarını da ihtiva eden 24 farklı depremden toplam 127 kayıt kullanılmıştır. Spektral ivmeler, en büyük genliğe sahip yatay bileşenlerden hesaplanmıştır. Sönüm denklemi, Marmara bölgesi için önerilmektedir.

Model için, değişkenler arasında daha yüksek korelasyonu sağlamak için farklı matematiksel ifadeler kullanılarak anlamlılık testleri yapılmıştır. Hesaplamalarda SPSS yazılımı kullanılarak, doğrusal olmayan çoklu regresyon analiz metodu uygulanmıştır. Farklı deneme modelleri üzerinde çalışılmıştır. İstatistik sonuçlar dikkate alınarak, önerilen modeller mevcut verilerle birlikte grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, PSA regresyon eşitliği için mevcut veri tabanına göre, istatistik açıdan en iyi ve en anlamlı sonucu veren PGA

modelinin fonksiyonel formu (Denklem 5.16) esas almıştır. Sadece moment magnitüd ( $M_W$ ) ölçeği için bağıntı önerilmiştir. PSA için önerilen azalım ilişkisi modeli (Model-3), Denklem 5.18'de verilmiştir. Regresyon katsayıları ve diğer istatistiki bilgiler, Tablo 5.3'de yer almaktadır.

Ayrıca, PSA modeli veri kriterleri ile ikinci bir PGA modeli geliştirilmiştir (Model-4). Bu modelde kullanılan veri tabanı, belirli değerler aralığını ( $\geq 10$  cm/sn<sup>2</sup>,  $M_W$  5.0-7.5 ve 1-100 km gibi) kapsamaktadır. Bu bağıntı, yakın mesafe ve büyük depremler için önerilmektedir. Denklem 5.19'de verilen bağıntının değişken katsayıları ve diğer istatistiki parametreleri ileride verilmiştir.

#### Model -3:

$$\text{Log}_{10}(\text{PSA}) = c_1 + c_2 M_W + c_3 M_W^2 + c_4 \text{Log}_{10}(R) + c_5 S_B + c_6 S_C + c_7 S_D + \sigma_3 \quad (5.18)$$

Burada,

PSA : Yatay spektral ivme (pseudo-spectral-acceleration) (cm/sn<sup>2</sup>=gal),

$C_{1-7}$  : Katsayılar (farklı periyod değerleri için, Tablo 5.3),

$\sigma_3$  : Standart sapma (PSA tahmini için),

$M_W$  : Moment magnitüd,

R : Mesafe (km) ve

$$R = (R_{rup}^2 + h_3^2)^{1/2}$$

$R_{rup}$  : Yüzey kırığına olan en yakın mesafe,

$h_3$  : Regresyonla sağlanan bir değer

$r_3$  : Korelasyon katsayısı

$S_B$ ,  $S_C$  ve  $S_D$  : Sırasıyla; A-B, C ve D grubu zeminler için indeks değişkenleri,

Zemin grubu, A-B için:  $S_B = 1$  ve  $S_C = S_D = 0$ ; C için:  $S_C = 1$  ve  $S_B = S_D = 0$  ve

D için:  $S_D = 1$  ve  $S_B = S_C = 0$

#### Model -4:

$$\text{Log}_{10}(\text{PGA}) = c_1 + c_2 M_W + c_3 M_W^2 + c_4 \text{Log}_{10}(R) + c_5 S_B + c_6 S_C + c_7 S_D + \sigma_4 \quad (5.19)$$

Burada,

PGA : En büyük yatay yer ivme değeri ( $\geq 10 \text{ cm/sn}^2 = \text{gal}$ ),

$M_w$  : Moment magnitüd (5.0-7.5)

R : Mesafe (km) ve

$$R = (R_{rup}^2 + h_4^2)^{1/2}$$

$R_{rup}$  : Yüzey kırığına olan en yakın mesafe (1-100 km),

$\sigma_4$  : Standart sapma (PGA tahmini için),

$h_4$  : Regresyonla sağlanan bir değer,

$r_4$  : Korelasyon katsayısı

$$c_1 = - 2.680, c_2 = 1.566, c_3 = - 0.097, c_4 = - 0.903, c_5 = - 0.125, c_6 = 0.066, c_7 = 0.101,$$

$$h_4 = 8.927, \sigma_4 = 0,290 \text{ ve } r_4 = 0,775$$

Değerlendirmeler; Ülkemiz için geliştirilen azalım ilişkilerinden, Gülkan ve Kalkan (2002); Kalkan ve Gülkan (2004) ve Özbey (2003)'in spektral ivmelere (SA) göre önerdikleri bağıntılar bulunmaktadır. Bu çalışma ile önerilen PSA azalım ilişkisi modeli, mevcut veri seti ile birlikte diğer araştırmacıların geliştirdikleri modellerle karşılaştırılmıştır. Bunun için, farklı periyodlara (0.2 ve 1.0 sn) göre %5 sönüm oranı için hesaplanan pseudo spektral ivme değerlerinin dağılımı, A-B, C ve D grubu zeminler için, Özbey vd. (2003), Kalkan ve Gülkan (2004), Boore vd. (1997) ve bu çalışma ile önerilen eğrilerle karşılaştırılmıştır (Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.25).

A ve B grubu zemin için grafikler (Şekil 5.23) incelendiğinde, her iki periyod değeri (0.2 ve 1.0 sn) ve  $M_w$  6.0 için eğriler arasında önemli farklılıklar görülmektedir. Daha büyük magnitüd değeri ( $M_w$  7.0 ) değeri için bu farklılık kısmen azalmaktadır. Bu çalışmayla önerilen eğri, 0.2 sn periyod değerinde Boore vd. (1997) ve Kalkan ve Gülkan (2004)'in modeline daha yakın değerler alırken, 1.0 sn periyod için Özbey vd. (2003) ile Boore vd. (1997)'un ilişkisiyle bir uyum sergilemektedir. Kalkan ve Gülkan (2004)'in modeli her durumda en yüksek, Özbey vd. (2003)'in modeli ise genellikle düşük değerler almaktadır.

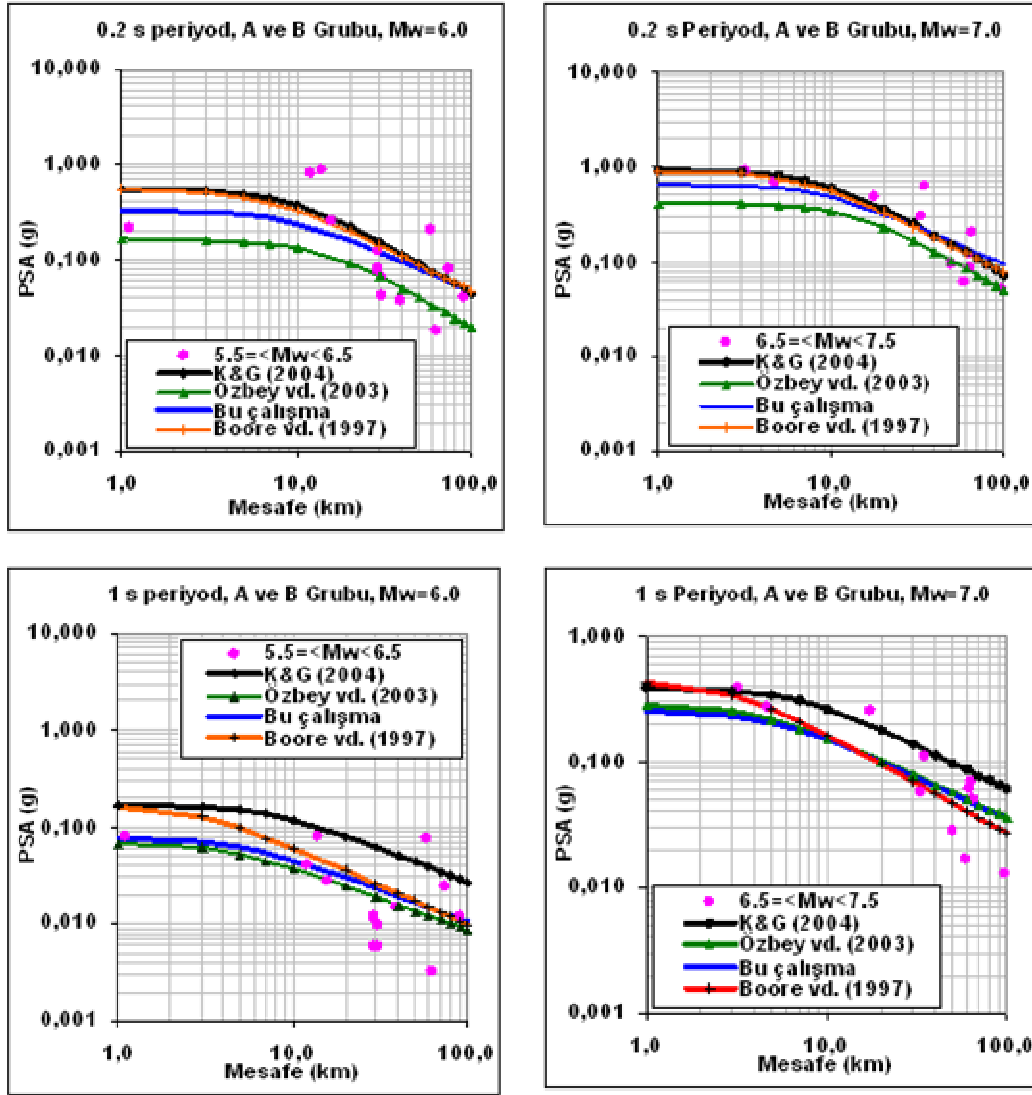


Tablo 5.3 Pik yatay ivme (pga) ve farklı periyod değerlerine göre hesaplanan spektral ivme (%5 sönüm) için azalım ilişkileri regresyon katsayıları (Eşitlikler için,  $R \leq 100$  km,  $PGA \geq 10$  gal ve  $M_w$  5.0-7.5 aralığındadır)

$$\text{Log}_{10}(\text{PSA}) = c_1 + c_2 M_w + c_3 M_w^2 + c_4 \text{Log}_{10}(R) + c_5 S_B + c_6 S_C + c_7 S_D + \sigma,$$

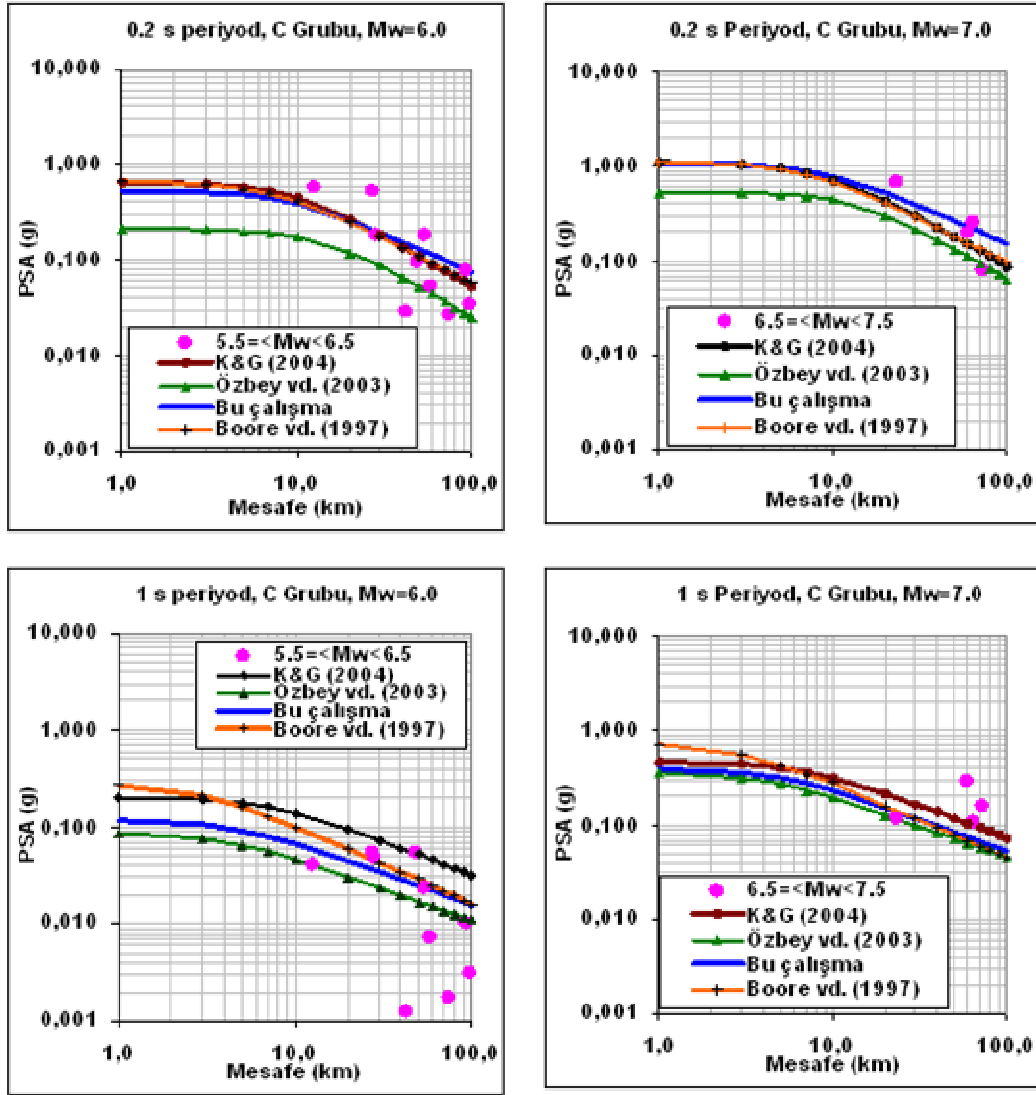
$$R = (R_{rup}^2 + h^2)^{1/2}$$

Periyod (sn)	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$h$	$\sigma$	$r$
pga	-2,680	1,566	-0,097	-0,903	-0,125	0,066	0,101	8,927	0,290	0,775
0,10	-2,529	1,657	-0,108	-0,977	0,000	0,112	0,107	8,941	0,292	0,764
0,15	-1,063	1,140	-0,066	-0,831	-0,096	0,105	0,047	8,377	0,305	0,731
0,20	-1,984	1,434	-0,087	-0,813	-0,204	0,004	0,000	8,820	0,315	0,734
0,25	-3,296	1,795	-0,116	-0,683	-0,232	-0,044	-0,008	7,151	0,343	0,695
0,30	-3,864	1,936	-0,125	-0,696	-0,199	-0,047	0,067	6,395	0,363	0,698
0,35	-4,233	2,005	-0,129	-0,677	-0,153	-0,032	0,098	6,134	0,364	0,702
0,40	-4,829	2,180	-0,143	-0,672	-0,195	-0,024	0,096	6,324	0,371	0,700
0,45	-5,288	2,293	-0,150	-0,659	-0,238	-0,010	0,082	6,944	0,389	0,694
0,50	-5,702	2,390	-0,157	-0,611	-0,259	-0,074	0,070	7,107	0,400	0,688
0,55	-5,987	2,441	-0,159	-0,618	-0,241	-0,065	0,094	6,327	0,403	0,703
0,60	-6,405	2,551	-0,167	-0,627	-0,270	-0,098	0,107	5,693	0,399	0,723
0,65	-5,942	2,364	-0,150	-0,636	-0,259	-0,084	0,139	5,250	0,388	0,744
0,70	-5,821	2,259	-0,140	-0,609	-0,224	-0,045	0,178	4,269	0,388	0,757
0,75	-5,654	2,171	-0,131	-0,610	-0,208	-0,066	0,176	3,845	0,389	0,768
0,80	-5,718	2,179	-0,131	-0,632	-0,200	-0,051	0,181	4,154	0,388	0,775
0,85	-5,855	2,215	-0,133	-0,657	-0,202	-0,053	0,188	4,450	0,387	0,782
0,90	-5,818	2,197	-0,130	-0,673	-0,239	-0,081	0,177	5,153	0,384	0,790
0,95	-5,704	2,136	-0,125	-0,662	-0,258	-0,096	0,177	5,017	0,390	0,790
1,00	-5,805	2,141	-0,124	-0,663	-0,241	-0,063	0,191	4,879	0,393	0,792
1,10	-6,323	2,272	-0,134	-0,648	-0,240	-0,001	0,211	4,790	0,401	0,787
1,20	-6,491	2,303	-0,135	-0,656	-0,276	-0,023	0,193	4,942	0,399	0,797
1,30	-6,399	2,254	-0,130	-0,698	-0,280	-0,006	0,190	5,261	0,397	0,808
1,40	-6,509	2,259	-0,128	-0,710	-0,268	0,001	0,189	5,212	0,395	0,818
1,50	-6,439	2,221	-0,124	-0,724	-0,263	-0,022	0,165	5,787	0,397	0,820
1,75	-7,048	2,401	-0,138	-0,761	-0,280	-0,041	0,131	6,629	0,401	0,816
2,00	-8,332	2,766	-0,166	-0,719	-0,345	-0,086	0,083	5,714	0,421	0,813
2,25	-9,562	3,129	-0,194	-0,721	-0,369	-0,108	0,061	6,579	0,415	0,822
2,50	-8,592	2,770	-0,164	-0,748	-0,313	-0,059	0,091	6,659	0,407	0,832
2,75	-7,407	2,316	-0,125	-0,724	-0,289	-0,057	0,083	6,228	0,404	0,845
3,00	-6,684	2,049	-0,101	-0,725	-0,330	-0,098	0,015	6,580	0,409	0,852
3,50	-6,396	1,941	-0,089	-0,805	-0,357	-0,092	-0,035	8,105	0,424	0,854
4,00	-6,545	1,969	-0,090	-0,782	-0,436	-0,160	-0,147	7,931	0,428	0,856



Şekil 5.23. A-B grubu zemin için spektral ivmelerin dağılımı ile önerilen ve örnek modellerin karşılaştırılması (periyotlar: 0.2 ve 1.0 sn ; magnitüd aralığı:  $5.5 \leq M_w < 6.5$  ve  $6.5 \leq M_w < 7.5$ ).

C grubu zemin için oluşturulan eğrilere ( Şekli 5.24) bakılırsa, 0.2 sn için Özbey vd. (2003)'in modeli çok düşük değerdedir. Buna karşın, diğer üç model (Boore vd. (1997); Kalkan ve Gülkan (2004) ve bu çalışma ile önerilen) örtüşen bir uyum göstermektedir. Diğer yandan, 1.0 sn periyod için  $M_w$  6.0 değerine nazaran  $M_w$  7.0 eğrileri daha yakın bir ilişki sergilemektedirler.



Şekil 5.24. C grubu zemin için spektral ivmelerin dağılımı ile önerilen ve örnek modellerin karşılaştırılması (periyotlar: 0.2 ve 1.0 sn ; magnitüd aralığı:  $5.5 \leq M_w < 6.5$  ve  $6.5 \leq M_w < 7.5$ )

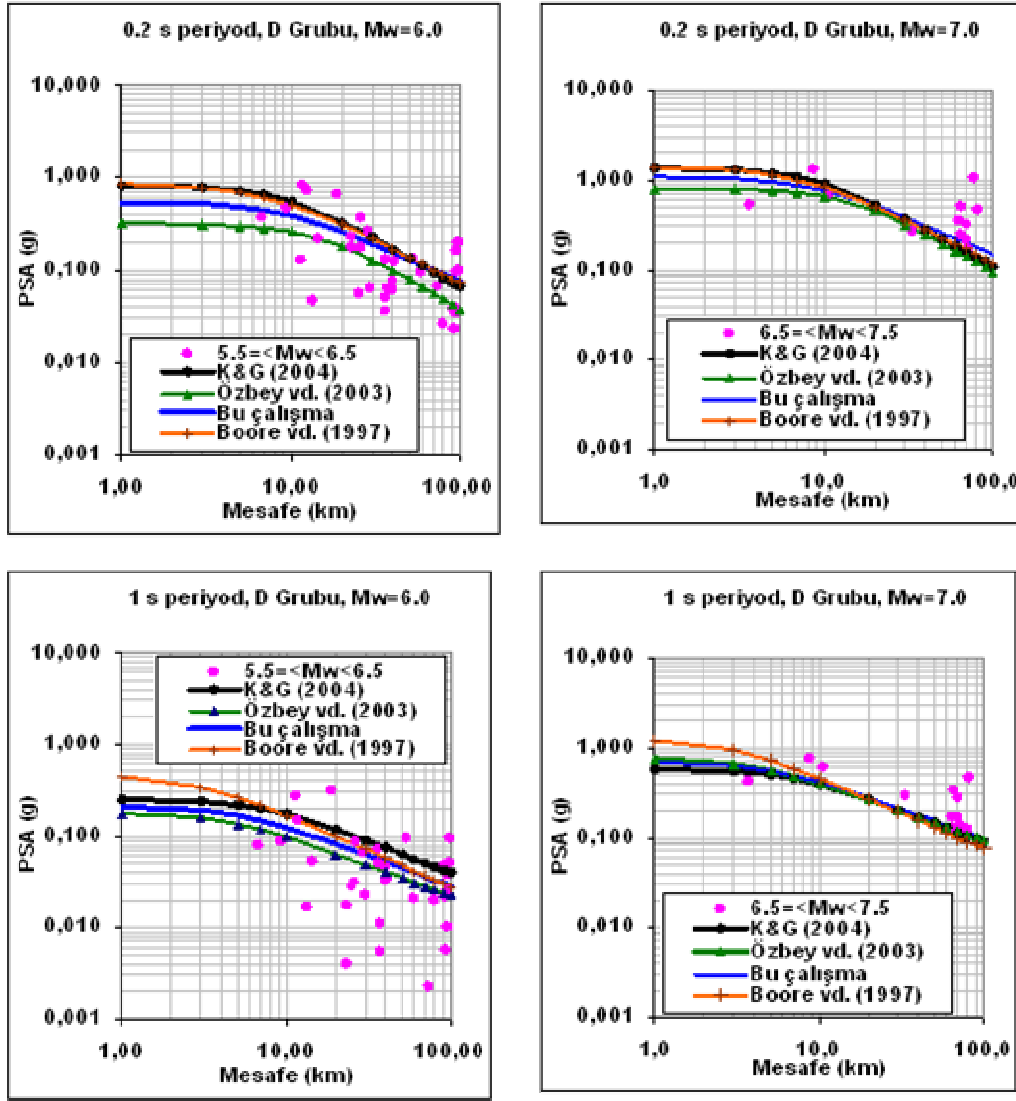
D grubu zeminler için her iki periyod (0.2 ve 1.0 sn) değerine göre önerilen eğrilerin (Şekil 5.25)  $M_w$  7.0 magnitüd için özellikle 10-100 km arasında çok yakın bir ilişki içinde olduğu görülmektedir. Buna karşın,  $M_w$  6.0 değeri için eğriler arasındaki açıklık oranı artmaktadır. Bu zemin grubunda Özbey vd. (2003)'nin modeli, genel olarak düşük değerler almaktadır.

Bu karşılaştırmalardan çıkan sonuçlara bakılırsa, özellikle Kalkan ve Gülkan (2004)'in modeli ile Özbey vd. (2003)'nin modeli arasında çok büyük değer

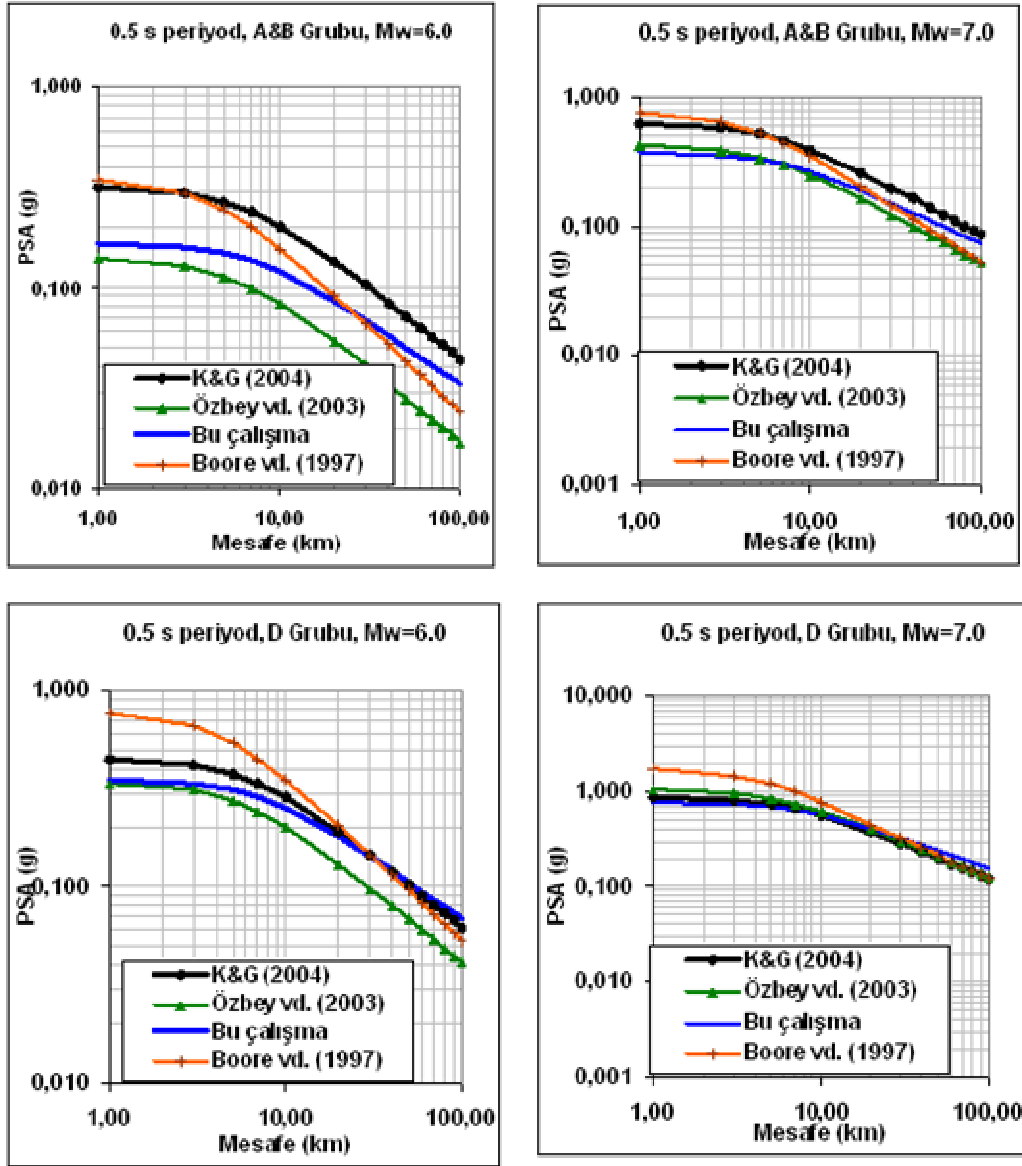
farklılıkları görülmektedir. Örneğin,  $M_w=6.0$  için her iki periyod (0.2-1.0 sn) değerine göre çizilen eğriler arasında 3-4 katına varan bir oran görülmektedir. Bu fark,  $6.5 \leq M_w < 7.5$  deprem aralığı için kısmen azalmakta ve 1.5-2.0 katı mertebesine inmektedir. Bu farklılık, kısa mesafe ve küçük depremlerde çok daha belirgindir.

Gerek bu çalışma ile önerilen eğriler ve gerekse Boore vd. (1997)'un modeli ile oluşturulan eğriler, diğer iki eğri arasında yer almakta ve genellikle 1.0 sn periyod için Özbey vd. (2003)'nin modeline, 0.2 sn periyod için ise, Kalkan ve Gülkan (2004)'in modeline yakın bir paralellik göstermektedir. Kalkan ve Gülkan (2004)'in modeli ile Özbey vd. (2003)'nin model eğrileri arasında görülen büyük farklılık, hangi modelin daha tutarlı olduğu açısından bir çelişki oluşmuştur. Bu sebeple, üçüncü bir periyod değerine (0.5 sn) göre A-B ve D zemin grupları için başka bir değerlendirme yapılmıştır. Şekil 5.26'da verilen grafiklerde görüldüğü gibi,  $M_w 6.0$  için Özbey vd. (2003)'nin modeli, diğerler modellere göre daha düşük değerler verirken,  $M_w 7.0$  için daha yakın değerdedir. Dolayısıyla, Özbey vd. (2003)'nin modeli, 7.0 ( $M_w$ )'dan küçük magnitüdler için uygun olmadığı sonucu çıkarılabilir. Önerilen modellerde görülen çok büyük ve çok küçük değerler, o model ile yapılacak tehlike analizi veya risk hesaplamalarında yanlış sonuçlara neden olacaktır.

Buradan çıkarılan diğer önemli bir sonuç ise, ilk 10 km (1-10 km)'de eğriler arasında görülen büyük farklılıktır. Görülen bu büyük değer farkı, 10 ile 100 km arasında gittikçe azalmaktadır. Bu durum önerilen modellerin kullandıkları veri tabanı (kullanılan verilerde yakın mesafe örnek sayısı gibi) ile doğrudan ilişkilidir. Mevcut verilerin dağılımıyla, önerilen model eğrileri arasında genel anlamda bir uygunluk söz konusudur.

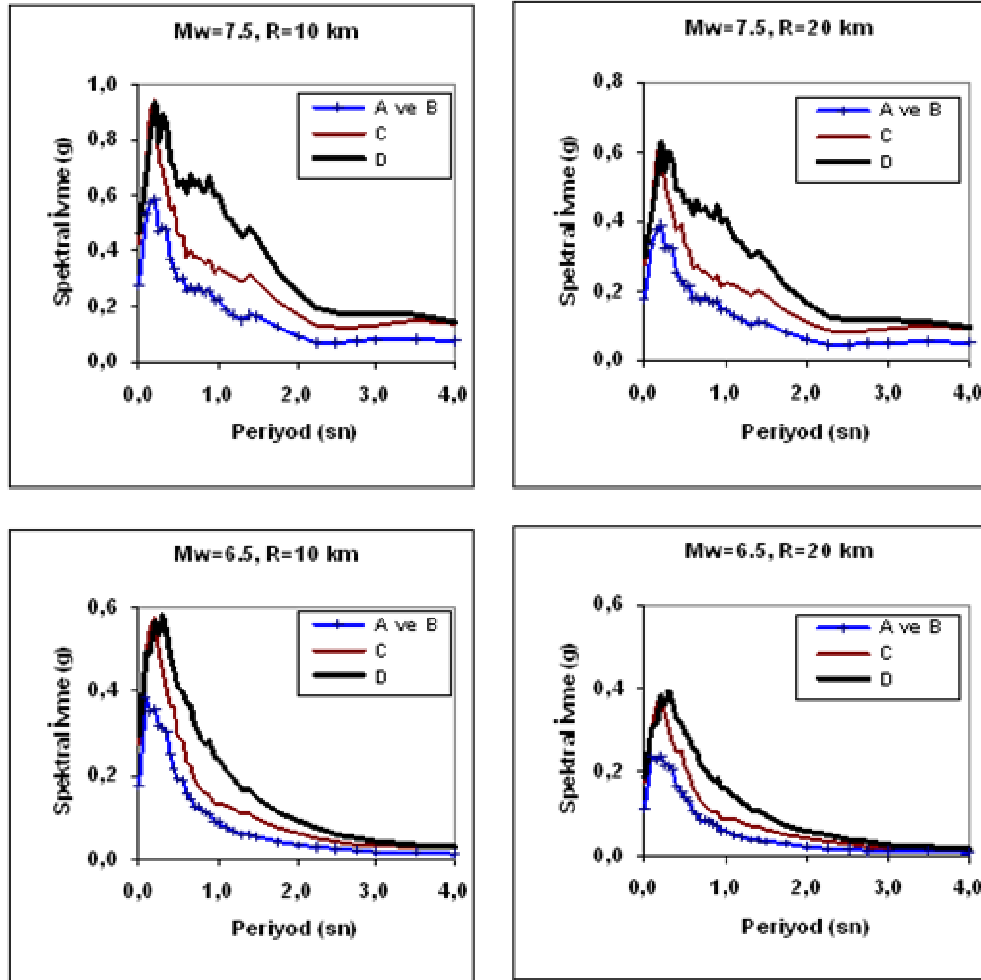


Şekil 5.25. D grubu zemin için spektral ivmelerin dağılımı ile önerilen ve örnek modellerin karşılaştırılması (periyodlar: 0.2 ve 1.0 sn ; magnitüd aralığı:  $5.5 \leq M_w < 6.5$  ve  $6.5 \leq M_w < 7.5$ )



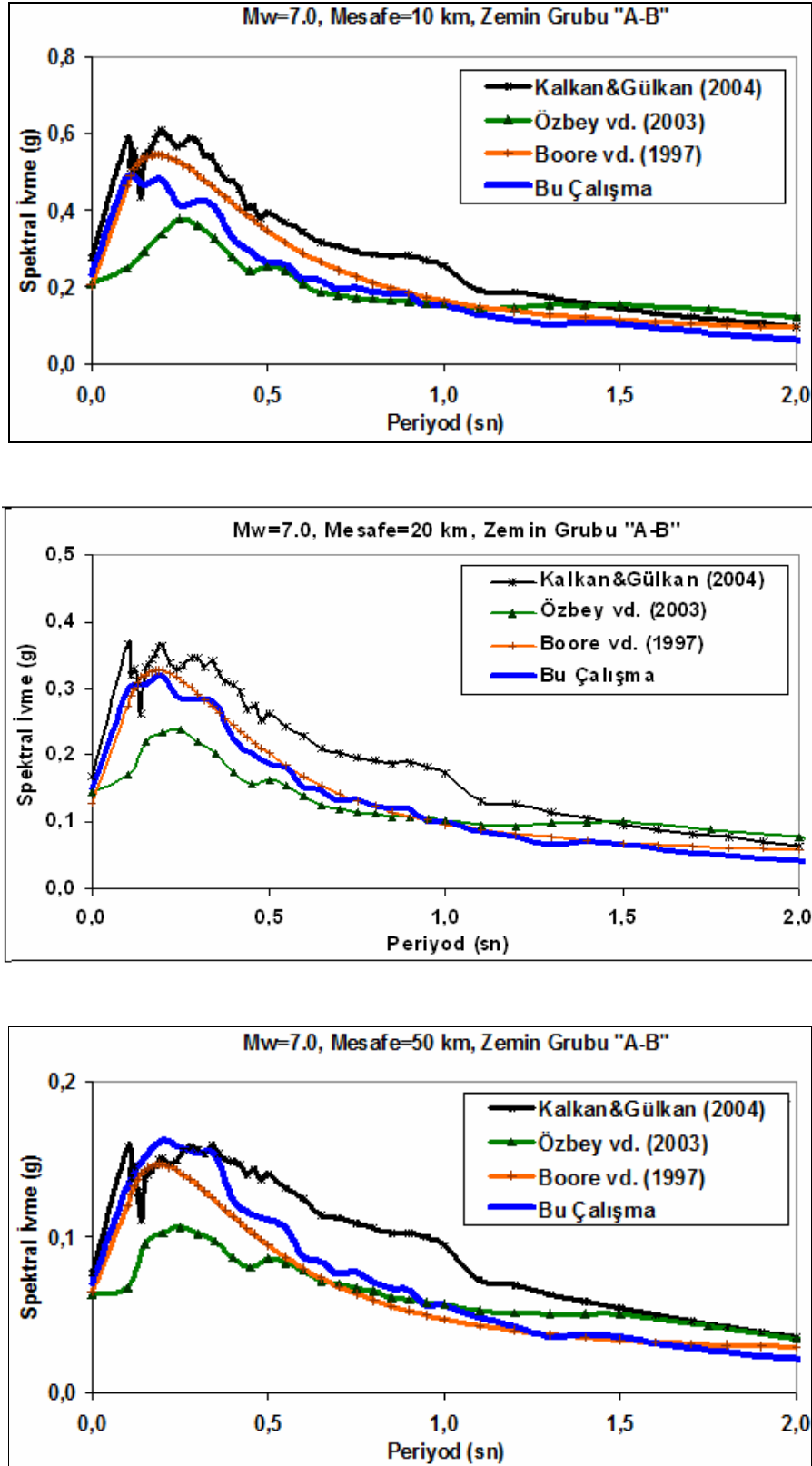
Şekil 5.26. A-B ve D grubu zeminler için spektral ivmelerin dağılımı ile önerilen ve örnek modellerin karşılaştırılması (periyod: 0.5 sn ; magnitüd aralığı:  $5.5 \leq M_w < 6.5$  ve  $6.5 \leq M_w < 7.5$ )

Önerilen tepki spektrumu azalım modeline göre, tahmin edilen spektral ivmelerin mesafeye, magnitüde ve zemin koşullarına göre değişimi Şekil 5.27’de gösterilmiştir. Artan periyodla, kuvvetli hareketin genliğinde beklenen sistematik azalım görülmektedir.



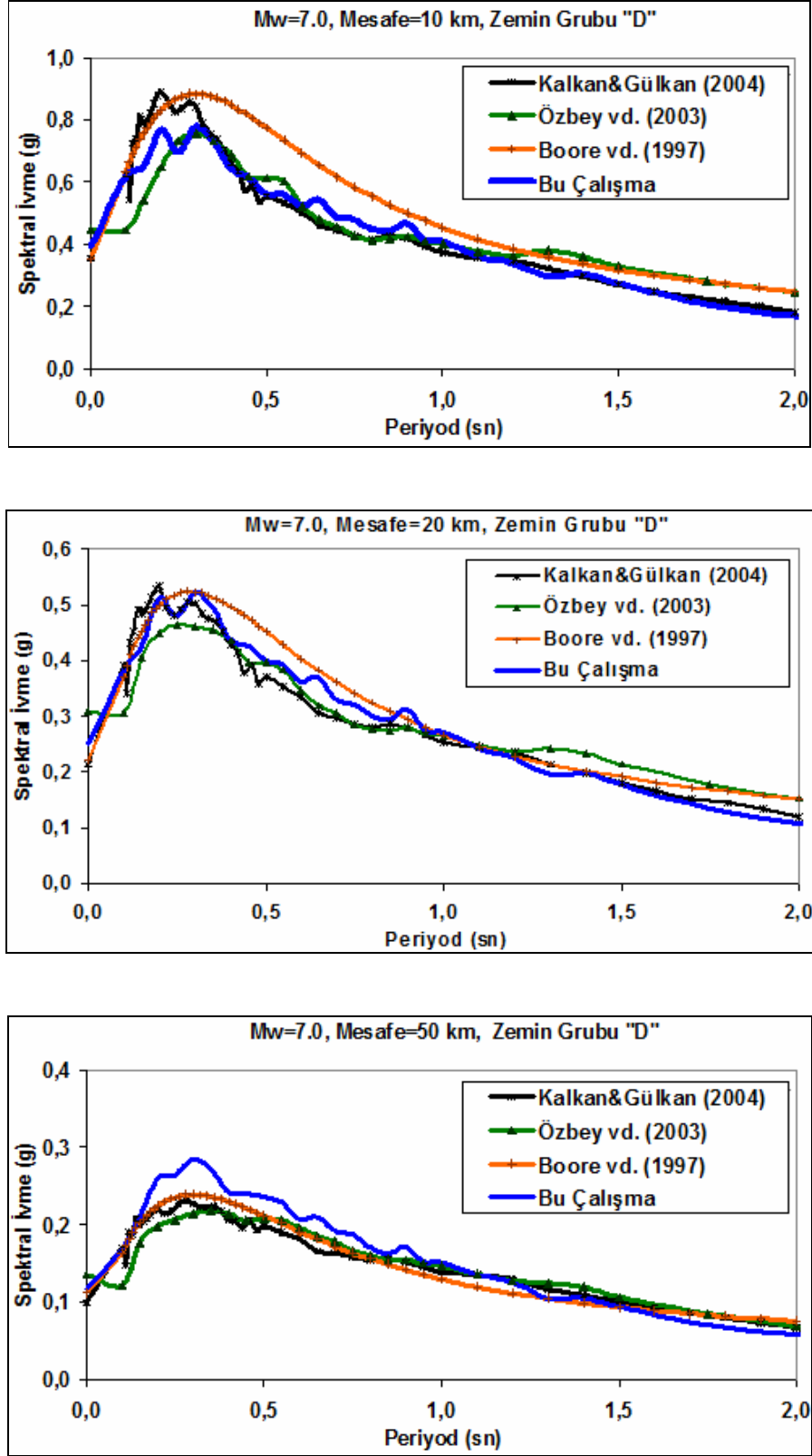
Şekil 5.27. Bu çalışma ile önerilen % 5 sönüm oranı için spektral ivme azalım ilişkisinin farklı zemin koşulu, magnitüd ve mesafeye göre değişimi

Bu çalışmada önerilen PSA azalım modeli, farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen sönüm modelleriyle mukayese edilmiştir. Bunu için, farklı zemin koşullarına göre spektral genliklerin, deprem büyüklüğü ve mesafeye bağlı olarak değişimini belirlemek amacıyla bazı karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar, ülkemiz için önerilmiş olan Özbey vd. (2003) ve Kalkan ve Gülkan (2004)'ün modeli ile Türkiye için uygun olduğu düşünülen diğer bir ülke (ABD'nin batısı) için geliştirilmiş Boore vd. (1997)'nin modeli ile yapılmıştır. Şekil 5.28 ve 5.29'da  $M_w$  7.0 için farklı zemin grubu (A-B ve D) ve mesafelere (10, 20, 50 km) göre, bu çalışma ile önerilen ve örnek azalım ilişkilerden hesaplanan ivme tepki spektrumları gösterilmiştir.

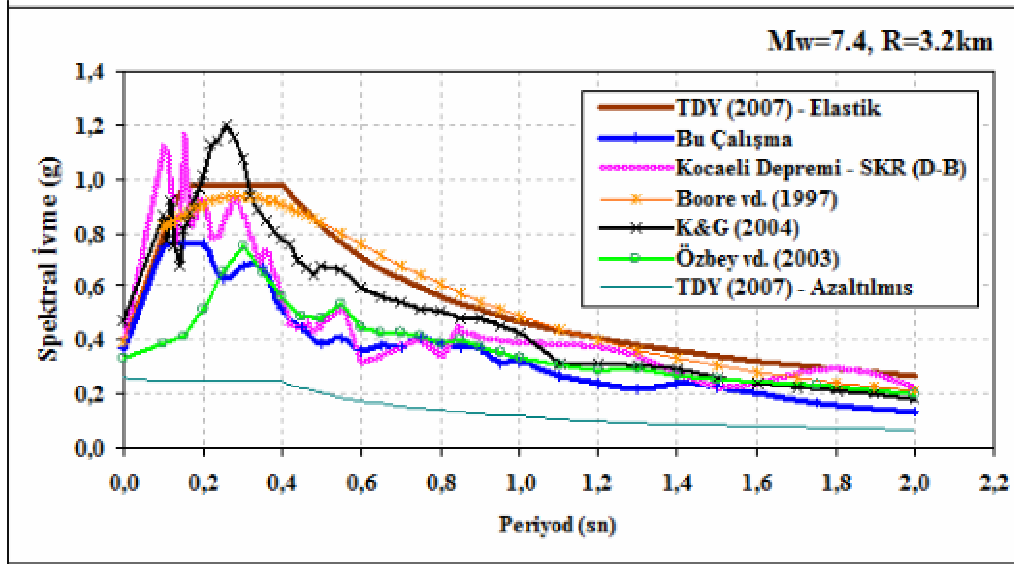


Şekil 5.28. Tepki spektrumlarının karşılaştırılması (M<sub>w</sub> 7.0, zemin grubu A-B)

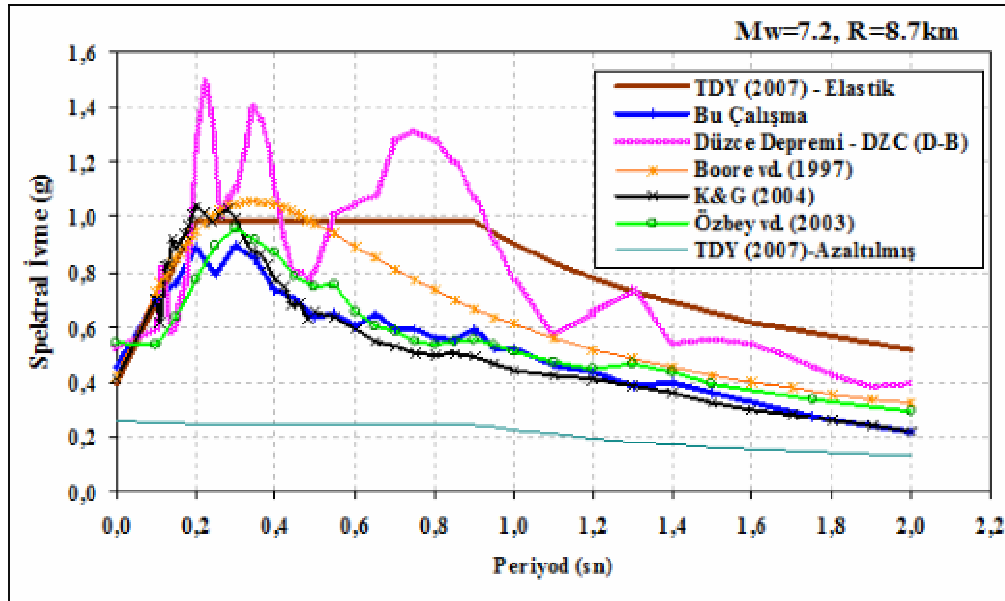




Şekil 5.29. Tepki spektrumlarının karşılaştırılması (M<sub>w</sub> 7.0, zemin grubu D)



Şekil 5.30. TDY (2007) elastik tasarım ivme spektrumu ile önerilen ve örnek modellerin SKR kaydı ile karşılaştırılması ( $M_w$  7.4, zemin grubu A-B)



Şekil 5.31. TDY (2007) elastik tasarım ivme spektrumu ile önerilen ve örnek modellerin DZC kaydı ile karşılaştırılması ( $M_w$  7.2, zemin grubu D)

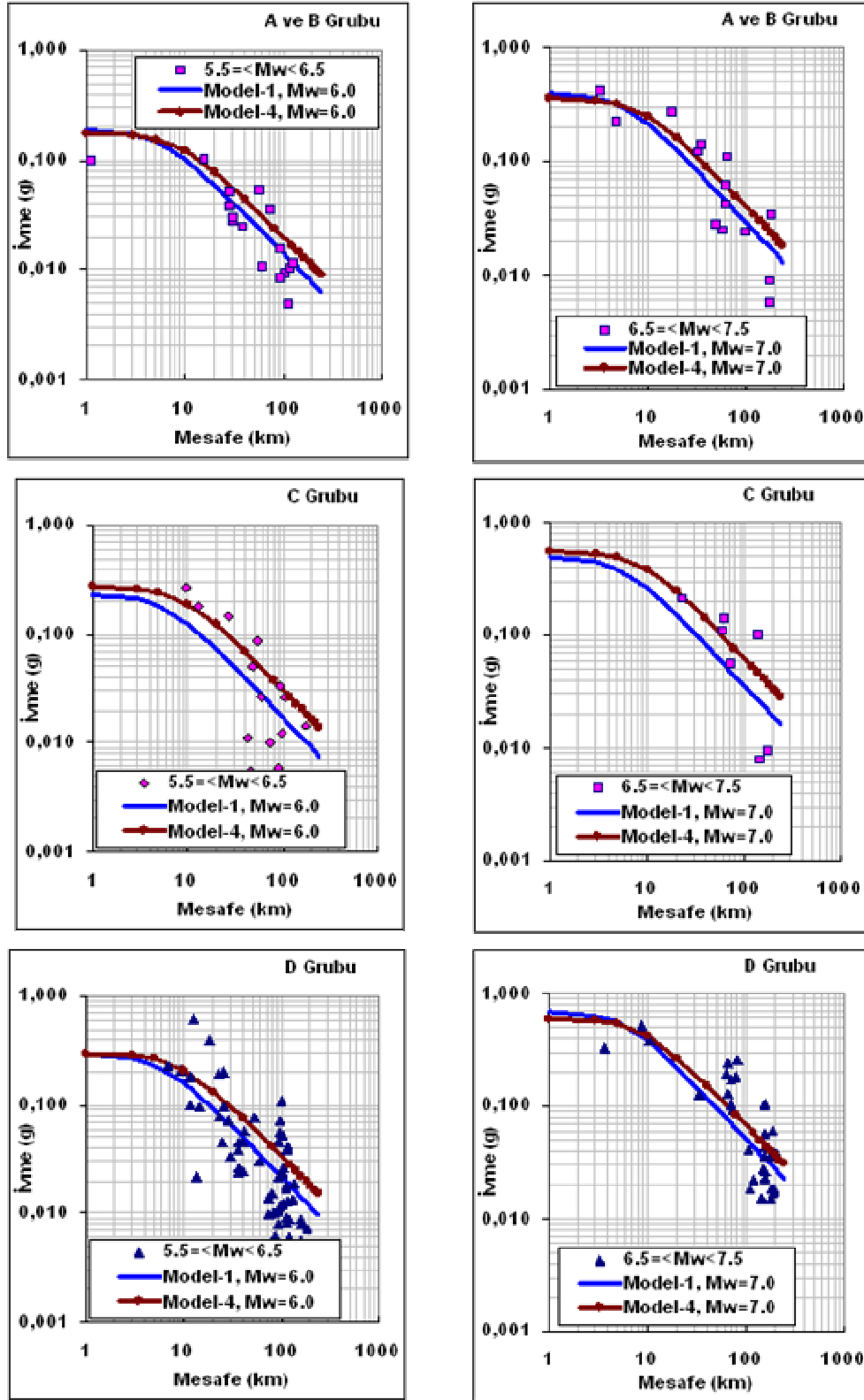
Yukarıda verilen karşılaştırmalarda (Şekil 5.28 ve 5.29) görüldüğü gibi, azalım ilişkileri arasında önemli farklılıklar vardır. Özellikle, A ve B zemin grubu için

Özbey vd. (2003)'nin tahminleri, diğerlerine göre oldukça düşük değerlerle temsil edilmektedir. Yine, A ve B zemin grubu için yakın mesafede (10 km) Boore vd. (1997) ve Kalkan ve Gülkan (2004)'in modelleri yüksek değer vermektedir. Bununla beraber, 20 km mesafe için bu çalışma ile önerilen model ile Boore vd. (1997)'nin eğrileri arasında iyi bir uyum görülmektedir. D grubu zemin için genel olarak örnek modeller arasında yakın bir ilişki söz konusudur.

Ayrıca, önerilen ve örnek modeller ile TDY-2007 elastik tasarım ivme spektrumu karşılaştırılmıştır. Bunun için, 1999 yılında meydana gelen 17 Ağust. Kocaeli ve 12 Kasım Düzce depremleri sırasında, yakın kaynaktan alınan sert ve çok yumuşak zemin örneğini temsil eden iki ivme kaydı (Sakarya ve Düzce istasyonları) ile mukayese edilmiştir. Yapılan değerlendirmelerin sonucu, Şekil 5.30 ve 5.31'de gösterilmiştir.

Bu çalışma ile yapılan diğer önemli bir araştırma ise, mevcut veri tabanının farklı değeriyle en büyük yatay yer ivmesi (PGA) için yapılan regresyon analizi sonucudur. PGA için Model-1'deki önerilen bağıntıya alternatif olarak ikinci bir model (Model-4) geliştirilmiştir. Model-4'te kullanılan veri grubu, Model-1'e göre daha sınırlıdır. Daha önce açıklandığı gibi, Model-1 için kullanılan veri grubu, daha geniş ( $M_w \geq 4.0$ , mesafe 1-200km ve  $PGA \geq 5 \text{ cm/sn}^2$ ) bir aralıkta ve çok sayıdaki (410 adet) veriden oluşuyordu. Buna karşın Model-4, deprem büyüklüğü  $M_w \geq 5.0$ , mesafe aralığı 1-100 km ve ivme eşik değeri ise,  $PGA \geq 10 \text{ cm/sn}^2$  alınarak daha sınırlı sayıdaki (127 adet) veri grubundan sağlanmıştır. Bu veri seti aynı zamanda, spektral ivme (PSA) azalım modelinin de altlığını teşkil etmektedir.

Bu çalışma ile PGA için önerilen her iki bağıntı (Model-1 ve Model-4) kullanılarak elde edilen eğriler, mevcut pik yatay yer ivmesi değerleri ile kaya-sert, zemin ve yumuşak zemin üzerinden alınan verilerle ayrı ayrı karşılaştırılmıştır (Şekil 5.32). Gözlenen en büyük yatay ivmelerin ( $PGA \geq 5 \text{ gal}$ ), her iki model bağıntıyla, farklı büyüklük ( $M_w : 6.0$  ve  $7.0$ ) değerleri için değişik zeminlere göre (A-B ; C ve D), karşılaştırmalar yapılarak irdelenmiştir. Şekil 5.32'da verilen grafikler incelendiğinde her iki model eğrisi arasında yakın bir paralellik görülmektedir. Model-4'ü temsil



Şekil 5.32. PGA için, bu çalışma ile önerilen iki farklı modelin (Model-1 ve Model-4) karşılaştırılması (Mag.:  $5.5 \leq M_w < 6.5$ ;  $6.5 \leq M_w < 7.5$ ; zemin: A-B, C ve D)

eden eğriler, Model-1'e göre kısmen yüksek değerler almaktadır. Bu durum normal ve beklenen bir sonuçtur. Çünkü, Model-4 için kullanılan veri kütüğü sınırlı sayıdaki büyük depremlerle karakterize edilmektedir. Bu sebeple, regresyon sonucunun bu büyük olaylardan etkilenmesi kaçınılmazdır. Dolayısıyla, yakın mesafe ve büyük depremler için yapılacak analizlerde bu modelin kullanılması daha uygun görülmektedir.

## BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile yeni bir pik ivme ve spektral ivme (%5 sönüm) azalım modeli geliştirilmiştir. Bu yeni ve güncel sönüm (attenuation) modeli, belirli bir kabuk yapısı ve kaynak zonunda (yanal-atım) meydana gelen deprem parametrelerinden oluşturulduğu için, bölgesel bazda bir ampirik ilişkidir. Önerilen kuvvetli yer hareketinin tahmin modeli, Türkiye'nin kuzeybatısı (Marmara bölgesi) için geliştirilmiştir. Bu yönüyle, dünya genelinde farklı bölgelerde meydana gelen depremlerin karışımıyla oluşturulan sönüm denklemlerinden ayrılmaktadır. Bu çalışmayı diğer araştırmalardan farklı kılan özelliklerinden biri de, farklı magnitüd ölçeklerine ( $M_D$  ve  $M_W$ ) ve farklı kategorilere (genlik değeri, mesafe ve magnitüd aralığı gibi) göre, PGA ve PSA için dört farklı model sunmasıdır.

Marmara bölgesine özgü geliştirilen modellerin, yerli ve yabancı sönüm denklemleriyle yapılan karşılaştırmalarında, oldukça güvenilir sonuçlar alınmıştır. Bu açıdan, önerilen modellerin bölge için yapılacak çeşitli mühendislik uygulamalarında, bir takım tahminlerde ve sismik tehlike analizleri gibi çalışmalarda kullanılabileceği gibi, Türkiye geneli için de bir alternatif oluşturacağı düşünülmektedir.

Çalışmada kullanılan deprem kayıtları için kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Bunun için, 1983 yılından günümüze (Mayıs 2007) kadarki zaman diliminde,  $40-42^0$  K ve  $26-32^0$  D alanı içerisinde kalan bölgede meydana gelmiş ve magnitüdü  $4.0 \leq M_{D,W} < 7.5$  olan tüm deprem kayıtları derlenmiştir. Farklı büyüklükteki 128 depremden alınan toplam 721 ivme kaydı ile zengin bir veri tabanı oluşturulmuştur. Deprem kaynağına ( $R_{epi}$  veya  $R_{rup}$ ) en fazla 200 km mesafeden kaydedilmiş ve insanların hissedebilir eşik ivme değeri olarak kabul edilen  $1 \text{ cm/sn}^2$  ve üzeri genlik değerine sahip veriler değerlendirilmeye alınmıştır. PGA için, ivme kaydının her iki yatay bileşeninden en büyük genliğe sahip olanı temel alınmıştır.

Çalışmada kullanılan ivme kayıtları, sağ yönlü doğrultu-atımlı transform fay nitelikli odak mekanizmasına sahip depremlerden elde edilmiştir. Bu bölgede fayın yırtılma zonu, yer yüzüne yaklaşık 20 km mesafe ile sınırlı, sık depremlerle karakterize edilmektedir. Kuvvetli hareket kayıtları, genellikle aynı kaynak mekanizmasına sahip depremlerden oluştuğu için, fay türü ayrı bir parametre olarak regresyon analizinde yer almamıştır.

Deprem magnitüd parametresi için, bölgedeki istasyonların yoğunluğu ve sistematik bir hata öngörüsü ile tek kurum verisi kullanmanın daha doğru olacağı kanaatiyle, KRDAE'nin katalog bilgileri (Kalafat v.d., 2000, Kalafat v.d., 2001) tercih edilmiştir. KRDAE'nin bu kataloglarında çoğunlukla süreye bağlı ( $M_d$ ) magnitüd yer almaktadır. Bölüm 4.2 'de detaylı açıklandığı gibi, farklı magnitüd ölçekleri arasında geliştirilen ampirik dönüşüm bağıntılarıyla, iki magnitüd ölçeği için ( $M_D$  ve  $M_W$ ) analiz yapılmıştır. Ancak, günümüzde moment ( $M_W$ ) magnitüd tercih edilen ölçektir. Bu sebeple, yapılan değerlendirmeler genellikle  $M_W$  ölçeği ile yapılmıştır

İvme-ölçer istasyonlarının bulunduğu zemin koşullarını belirlemek için, ortalama kayma-dalgası hızı ( $V_{S30}$ ) kriteri esas alınmıştır. İstasyonların zemin şartları, Türkiye Deprem Yönetmeliği (BİB, 2007)'nde belirtilen zemin parametrelerine göre tanımlanmıştır. Yönetmelikle uyumlu olarak, ivme-ölçer lokasyonları da dört kategoride; A: kaya, B: sert zemin, C: yumuşak zemin ve D: çok yumuşak zemin olarak değerlendirilmiştir. İstasyonların tamamında olmamakla beraber, bazı istasyon yerlerinde (30 civarında) jeofizik-sismik çalışmalar yapılmış ve kayma-dalgası hız profilleri belirlenmiştir. Bu istasyonlara ait kayma-dalgası hız değerleri, DAD'nin web sayfasında ([angora.deprem.gov.tr](http://angora.deprem.gov.tr)) ve Rosenblod vd. (2001)'nin yaptığı çalışmadan (Ek C) sağlanmıştır. Kayıt noktalarında yapılan sismik deneyler, kurumların verdiği zemin sınıfı bilgileri, jeolojik haritalar ve arazi gözlemleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Bunun için, gerek yerinde belirlenen ve gerekse tahmin edilen eşdeğer kayma-dalgası hızı, Yönetmelikte belirtilen değerlerle ilişkilendirilmiştir. Buna göre, yerel zemin koşullarının belirlenmesi için tanımlanan indeks değişkenleri, çok yumuşak zeminler için;  $S_D = 1$  ve  $S_B = S_C = 0$ , yumuşak zemin için;  $S_C = 1$  ve  $S_B = S_D = 0$  ve sert zeminler için;  $S_B = 1$  ve  $S_C = S_D = 0$  olarak

alınmıştır. A grubu zemini temsil eden veri sayısı çok sınırlı (13) olduğu için, A ve B grubu zeminler birlikte değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle, iç merkez ve dış merkez ( $R_{hyp}$  ve  $R_{epi}$ ) olmak üzere iki mesafe ölçütü kullanılarak yapılan analizde, iç merkez ( $R_{hyp}$ ) mesafesinin daha iyi bir ilişki (korelasyon) verdiği görülmüştür. Ancak, uzun yüzey kırığı meydana getiren büyük depremlerden (ör: 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri) alınan ivme kayıtları için, her iki ( $R_{epi}$ ,  $R_{hyp}$ ) mesafe ölçütünün de iyi sonuç vermediği tespit edilmiştir. Bunun üzerine, yırtılmanın yer yüzündeki izine en kısa mesafe üzerinde çalışılmıştır. Yırtılma izine en yakın mesafe ( $R_{rup}$ ), diğer parametrelerle beraber doğrusal regresyon analizi yapılarak, tahmini bir “h” parametresi elde edilmiştir. Mesafe tanımlamada, yırtılma izine en yakın mesafe ( $R_{rup}$ ) ile h değeri birlikte kullanılarak yeni bir ölçüt belirlenmiştir.

Bu çalışmada, geliştirilen azalım modelleri logaritmik bir bağıntı formunu temel almıştır. Bir çok araştırmacı 1970’li yıllardan günümüze, geliştirdikleri kuvvetli yer hareketi azalım ilişkilerini genellikle benzer logaritmik bir formda sunmuşlardır. Mevcut verilerle, istatistiksel açıdan en iyi ve en anlamlı sonucu veren modeller denenmiştir. Bu çalışmada önerilen temel ampirik eşitliğin genel formu, aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir:

$$\text{Log}_{10}(\text{PGA}) = c_1 + c_2 M + c_3 M^2 + c_4 \text{Log}_{10}(R) + c_5 S_B + c_6 S_C + c_7 S_D + \sigma$$

$$R = (R_{rup}^2 + h^2)^{1/2}$$

Burada; PGA: en büyük yatay yer ivme değeri ( $\text{cm}/\text{sn}^2 = \text{gal}$ ),  $C_{1-8}$ : regresyon katsayıları, M: magnitüd,  $S_B$ ,  $S_C$  ve  $S_D$ : sırasıyla; A-B, C ve D grubu zeminler için indeks değişkenleri, R: Mesafe (km),  $R_{rup}$ : yüzey kırığına olan en yakın mesafe, h: regresyonla sağlanan bir değer ve  $\sigma$ : standart sapmadır. Denklemdaki değişken katsayılarını hesaplamak için doğrusal olmayan (nonlinear) çoklu regresyon analizi yapılmıştır.



Veriler arasında iyi bir örnek dağılımı oluşturmak ve regresyon analizinde daha anlamlı sonuçlar elde etmek için değişkenler arasında farklı kategoriler denenmiştir. Bunun sonucu, PGA için iki farklı tür analiz modeli geliştirilmiştir. Birinci model (Model-1) için;  $p_{ga} \geq 0.005$  ( $5.0 \text{ cm/sn}^2$ ),  $M_{D,W} \geq 4.0$  ve 200 km mesafe üst sınırı koşulu ve ikinci bir model (Model-4) için ise,  $p_{ga} \geq 10.0 \text{ cm/sn}^2$ ,  $M_W \geq 5.0$  ve kaynağa olan uzaklık en fazla 100 km kriterleri esas alınmıştır. Her iki modelin sayısal ve grafiksel olarak karşılaştırılmasında önemli sonuçlar alınmıştır. Model-4'te kullanılan veri grubu daha yüksek değerlerle temsil edildiği için, model ile yapılan tahminler de yüksek değerdedir. Buna karşın, uzak mesafeler ve nispeten küçük olaylar için ise, Model-1 daha uygun sonuçlar vermektedir. Aslında bu çok doğal bir sonuçtur. Çünkü, küçük ve büyük depremler sırasında yerin tepkisi de farklıdır.

Süreye bağlı magnitüd ( $M_D$ ) için geliştirilen bağıntı (Model-2),  $M_D \leq 6.5$  değerleri için normal değerler verdiği, daha büyük magnitüd değerlerinde ise çok yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu durum, Kanomori (1977) tarafından belirtilen magnitüd saturasyonu (doygunluğu) görüşü ile açıklanabilir. Görüşe göre, klasik olarak genlik ve süre okumalarından saptanan magnitüd ölçekleri ancak fay boyunun 5-50 km olduğu depremlerde gerçek büyüklüğü temsil edebilirler. Aksi takdirde, magnitüdü belirlerken kullanılan genliğe ait enerjinin dalga boyunu geçtiği hallerde, bu ölçekler gerçek büyüklüğü satüre ettikleri (doygunluğa ulaşmaları) için, temsilden uzaktırlar. Bu yüzden, önerilen model yapılacak tahminlerde  $M_D \geq 6.5$  için önerilmemektedir.

PSA için geliştirilen Model-3;  $p_{ga} \geq 10.0 \text{ cm/sn}^2$ ,  $M_W \geq 5.0$  ve kaynağa olan uzaklık en fazla 100 km koşulunu sağlayan verilerle geliştirilmiştir. Spektral ivme modelinin geliştirilmesinde, 24 farklı depremden alınan toplam 127 kayıt kullanılmıştır. PSA azalım modeli, % 5 sönüm oranına göre farklı periyod değerleri için hesaplanan tepki spektrumlarından en büyük yatay pseudo spektral ivme değerleri kullanılarak geliştirilmiştir. Önerilen model, diğer araştırmacılar (Özbey, 2003; Kalkan ve Gülkan, 2004 ve Boore, 1997) tarafından geliştirilen bazı modellerle mukayese edilmiştir. Önerilen model bazı araştırmacıların modelleriyle (Kalkan ve Gülkan, 2004 ve Boore, 1997) kimi zaman örtüşen çok yakın bir paralellik göstermekte ve pik ivme değerlerini temsil eder niteliktedir.

Yapılan analizde her ne kadar şüpheli veriler (12 Kasım 1999 depremi, çok yüksek pike sahip Bolu kaydı gibi) ayıklanarak kaliteli veriye dayalı uygulamalar yapılmasına karşın, verilerde bir miktar saçılma olması kaçınılmazdır. Bu saçılmanın nedeni, yırtılma mekaniğinin rasgele oluşu ile kaynağın, seyahat yolunun ve arazi koşullarının heterojenliği ve değişkenliği ile ilişkilidir. Her bir önerilen model için verilerdeki saçılma, tahmin edilen parametrelerin standart sapması ( $\sigma$ ) ile sayısal olarak hesaplanmıştır. Bu önemli belirsizlik, yapılacak uygulamalarda ve hesaplamalarda mutlaka hesaba dahil edilmelidir.

Bu tür çalışmaların güvenilirliği ve duyarlılığı, kaliteli veri sayısının çoğalmasıyla mümkündür. Veri sayısının artmasına ve analiz tekniklerinin gelişmesine bağlı olarak, önerilen sönüm denklemleri de yeniden gözden geçirilerek güncellenecektir. Fakat, bazı önemli belirsizlikleri azaltarak gelecekte yapılacak güncellemeler için daha duyarlı sonuçlar alınabilir. Örneğin, deprem büyüklüğü hesaplamalarında ciddi farklılıklar vardır. Yine, zaman zaman episantr tayinlerinde de önemli hatalar görülmektedir. Ayrıca, kuvvetli yer hareketi kayıtçılarının bir çoğu bina içlerinde bulunmaktadır. Bu durumda, deprem sırasında cihazların kaydettikleri hareketler, içinde buldukları veya yakınında bulunan yapıların tepkisinden belirli ölçülerde etkilenebilmektedirler. Kayıtçıların açık alana alınabilmesi durumunda, daha kaliteli deprem verisi alınacağı gibi, alınan kayıtlarla da daha doğru analizler yapılabilecektir. Bunun yanı sıra, kayıtlarda görülen yakın kaynak, yönlendirme (directivity), havza kenarı etkileri ve istasyonların buldukları alanların zemin koşulları çok iyi belirlenir ve bu belirsizlikler minimize edilirse, bundan sonra yapılacak analizlerle daha güvenilir sonuçlar alınabilir.

## KAYNAKLAR

ABRAHAMSON, N. A. and LITEHISER, J. J. 1989. Attenuation of vertical peak acceleration. BSSA., 79 (3), 549–580.

ABRAHAMSON, N. A., & SİLVA, W. J., 1997. Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes. Seismological Research Letters, 68(1), 94-127.

AİGM-DAD, 2007. 1976-2007 Yılları arasında meydana gelmiş olan depremlerin ivme kayıtları. Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, www.angora.deprem.gov.tr; Erişim Tarihi: 2007.

AKI, K. 1966. Generation and propagation of G-waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964. Part 2. Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G-wave spectrum. Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ., 44, 73-88.

AKKARGAN, Ş., GÜNDOĞDU, O. ve ÖZÇEP, F., 2000. Depremi ölçmenin tarihi ve 1999 İzmit depremi örneği. Cumhuriyet gazetesi Bilim Teknik dergisi, 1 Nisan 2000, Sayı: 680.

AMBRASEYS, N. N. and BOMMER, J. J. 1991. The attenuation of ground accelerations in Europe. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 20(12), 1179–1202.

AMBRASEYS, N. N. ve FINKEL, C., 1991. Long-term seismicity of Istanbul and of the Sea of Marmara region, Terra Nova, 3, 527-539.

AMBRASEYS, N. N. 1995. The prediction of earthquake peak ground acceleration in Europe. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 24(4), 467–490.

AMBRASEYS, N. N. and SIMPSON, K. A. 1996. Prediction of vertical response spectra in Europe. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25(4), 401–412.

AMBRASEYS, N. N., SIMPSON, K. A. and BOMMER, J. J., 1996. Prediction of horizontal response spectra in Europe. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25(4), 371–400.

AMBRASEYS, N. and DOUGLAS, J., 2000. Reappraisal of the effect of vertical ground motions on response. ESEE Report 00-4. Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College, London.

AMBRASEYS, N. N., 2001. The earthquake of 10 July 1894 in the Gulf of Izmit (Turkey) and its relation to the earthquake of 17 August 1999, *Journal of Seismic Exploration*, 5, 117-128.

ANDERSON, J.G. 2001. Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, [http://seismo.unr.edu/htdocs/academic/ANDERSON/GE679\\_02/Reading/Strong-Motion-Seismology.pdf](http://seismo.unr.edu/htdocs/academic/ANDERSON/GE679_02/Reading/Strong-Motion-Seismology.pdf).

ANSAL, A. M., 1994. Effects of Geotechnical Factors and Behavior of Soil Layers During Earthquakes, State-of-the-Art Lecture, Proc. of 10th European Conference on Earthquake Engineering, (1): 467-476.

ANSAL, A., ERDİK, M., KURTULUŞ, A., ERKEN, A., ŞEŞETİYAN, K., SİYAHİ, B., ve SPRINGMAN, S., 2004. Afet Risk Yönetimi Dünya Enstitüsü, Belediyeler İçin Sismik Mikrobölgeleme, Bilimsel Son Durum Raporu, Ocak 2004.

APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL, 1978, "Tentative Provisions for the development of seismic regulations for the buildings", ATC 3-06, Applied Technology Council, Palo Alto, California, United States of America

ARAYA, R. and DER KIUREGHIAN, A. : 1988, Seismic Hazard Analysis: Improved Models, Uncertainties and Sensitivities, EERC Report No. UCB/EERC-90/11, College of Engineering, University of California, Berkeley.

ARIAS, A., 1970, "A Measure of Earthquake Intensity", Design of Nuclear Power Plants, Hansen J. (ed.), MIT Press, Cambridge, MA, 1970, 438-483

ARMIJO, R., MEYER, B., BARKA, A.A., HUBERT, A., (1999). Propagation of the North Anatolian Fault into the Northern Aegean: Timing and kinematics, *Geology*, 27, 267-270.

ATKINSON, G. M., and BOORE, D. M. 2003. Empirical ground-motion relations for subduction zone earthquakes and their application to Cascadia and other regions. *BSSA*, 93 (4).

AYDAN, Ö., SEDAKİ, M. and YARAR, R. 1996. The seismic characteristics of Turkish earthquakes. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, June 23-28, Acapulco, Mexico.

BARGU, S. ve YÜKSEL, F.A., 1993, İzmit Körfezi 'nin Kuvaterner deniz dibi çökellerinin dağılımı ve özellikleri (KB Türkiye). *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni* 8, 169-187.

BARKA, A., and CADINSKY-CADE, K., 1988, Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663-684.

- BARKA, A., 1997, Neotectonics of the Marmara region. In Active Tectonics of NW Anatolia-The Marmara Poly-project, Schindler and Pfister (eds.), VDF, ETH Zurich, 55-87.
- BÅTH, M. 1973. Introduction to Seismology. Birkhäuser Verlag, 395 p., Basel and Stuttgart.
- BENIOFF, H., 1955. Mechanism and strain characteristics of the White Wolf fault as indicated by the aftershock sequence , Earthquake in Kern County , California During 1955, California Division of Mines, Bulletin 171, G. B. Oakeshott, ed., pp. 199-2002.
- BEN-MENACHEM, A., 1961. Radiations patterns of seismic surface waves from finite moving sources, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 51, pp. 1451-1462
- BEYAZ, T., 2004. Zemin Etkisinden Arındırılmış Deprem Kayıtlarına Göre Türkiye İçin Yeni Bir Deprem Enerjisi Azalım Bağıntısının Geliştirilmesi, [http://papyrus.ankara.edu.tr/tez/FenBilimleri/Doktora\\_Tezleri/2004/FD2004\\_70/3-%D6ZET.pdf](http://papyrus.ankara.edu.tr/tez/FenBilimleri/Doktora_Tezleri/2004/FD2004_70/3-%D6ZET.pdf).
- BAYRAK, Y. ve YILMAZTÜRK, A. 1999. Global depremlerin cisim ve yüzey dalgası magnitüdüleri arasındaki ilişkilerin karşılaştırılması. Deprem Araştırma Bülteni, 81, 112-124, Ankara.
- BENJAMIN, J.R. and ASSOCIATES. 1988. A criterion for determining exceedance of the Operating Basis Earthquake. EPRI Report No: NP-5930, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California.
- BOMMER, J. J., DOUGLAS, J., & STRASSER, F. O., 2003. Style-of faulting in ground motion prediction equations. Bulletin of Earthquake Engineering , 1(2) 171-203
- BOLT, B. A. and ABRAHAMSON, N. A. 1982. New attenuation relations for peak and expected accelerations of strong ground motion. BSSA, 72 (6), 2307–2321.
- BOLT, B. A. 1989. The nature of earthquake ground motion, in F. Naeim, ed., The seismic Design Handbook, Van Nostrand Reinhold, NY.
- BOLT, B. A. 1993. Earthquakes. W.H. Freeman, 331 p., N.Y.
- BOORE, D. M., Joyner, WW. B., & Fumal, T. E., 1993. Estimation of response spectra and peak acceleration from western North American earthquake: An interim report. Open-File Report 93-509. U. S. Geological Survey. 70 pages.
- BOORE, D. M. 1977. The motion of the ground during earthquakes. Scientific American, 237 (6), 66-78.

BOORE, D. M., JOYNER W. B. and FUMAL, T. E. 1994b. Ground motion estimates for strike and reverse-slip faults . Provided to the Southern California Earthquake Center and widely distributed as an insert in Boore et al. (1994a).

BOORE, D. M., JOYNER W. B. and FUMAL, T. E. 1997. Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from Western North American earthquakes: A Summary of recent work. *Seismological Research Letters*, 68 (1), 128-153.

BOORE D. M. 2002. Simulation of ground motion using the stochastic method. *Pure and Applied Geophysics*, 1 (7).

BOORE D. M. 2003. Kuvvetli yer hareketi semineri. ODTÜ-Kongre Merkezi, Ankara.

BORCHERDT, R. D., 1992. Simplified site classes and empirical amplification factors for site-dependent code provision, Proc. NCEER/SEAOC/BSSC Workshop on Site Response During Earthquake and Seismic Code Provision, Univ. S. California, Los Angeles, California, November 18-20, 1992, in press.

BORCHERDT, R. D., 1994. Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification), *Earthquake Spectra*, 10, 617-653.

BOZORGNIA, Y., CAMPBELL, K. W., & NIAZI, M., 2000. Observed spectral characteristics of vertical ground motion recorded during worldwide earthquake from 1957 to 1995. In: *Proceeding of Twelfth World Conference on Earthquake Engineering*. Paper No. 2671.

BRUNE, J. N. 1970. Tectonic stress and spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Journal of Geophys. Res.* 75, 4997-5009.

BRUNE, J. N. 1971. Correction to Brune (1970). *Journal of Geophys. Res.* 76, 5002.

NEHRP-BSSC, 1994. NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings, Part 1- Provisions FEMA 222A, Federal Emergency Management Agency, 290 pp.

BYCROFT, G. N., 1978. The effect of soil structure interaction on seismometer readings, *BSSA*, Vol.68, pp.823-843.

CAMPBELL, K. W. 1981. Near source attenuation of peak horizontal attenuation: *BSSA*, 71 (6), 2039-2070.

CAMPBELL, K. W. 1985. Strong motion attenuation relations: A ten-year perspective. *Earthquake Spectra*, 1(4), 759-804.

CAMPBELL, K. W. 1988. Predicting strong ground motion in Utah. In: Hays, W.W., Gori, P.L. (Eds.), *Evaluation of Regional and Urban Earthquake Hazard Risks in Utah*. USGS Professional Paper, L1-L31.

CAMPBELL, K. W. 1989. The dependence of peak horizontal acceleration on magnitude, distance, and site effects for small-magnitude earthquakes in California and eastern North America. *BSSA*, 79 (5), 1311–1346.

CAMPBELL K. W. 1997. Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra, *Seismological Research Letters*, 68 (1), 154-179.

CAMPBELL, K. W. and BOZORGNIA, Y. 2003. Updated near-source ground-motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. *BSSA*, 93 (1), 314–331.

CHIARUTTINI, C. and SIRO, L. 1981. The correlation of peak ground horizontal acceleration with magnitude, distance, and seismic intensity for Friuli and Ancona, Italy, and the Alpidic belt. *BSSA*, 71 (6), 1993–2009.

CLOUGH, R.W. and PENZIEN, J. 1975. *Dynamics of Structures*. McGraw-Hill, 634 pp. NY.

CODUTO, D. P. 1998. *Geotechnical engineering principles and practices*. 759 pp., NJ.

CROUSE, C. B., and HUSMAND, B., 1989. Soil structure interaction at CDMG and USGS accelerograph stations, *BSSA*, Vol. 79, No.1, pp.1-14.

CROUSE, C. B. 1991. Ground-motion attenuation equations for earthquakes on the Cascadia subduction zones. *Earthquake Spectra*, 7 (2), 201-236.

ÇAKIR, Z., BARKA, A. ve AKYÜZ, S., 2003. Coulomb gerilme etkileşimleri ve 1999 Marmara depremleri, *itüdergisi/d mühendislik Cilt:2, Sayı:4, 99-111 Ağustos 2003 Ayazağa-İstanbul*.

ÇEKEN, U. 2000. Türkiye'nin kuvvetli yer hareketi kayıt şebekesi ve 12 Kasım Düzce depreminin ivmesi. 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Raporu, Bay. ve İsk. Bak.'lığı, Afet İşl. Gen. Müd.'lüğü DAD, Editörler: B. Özmen ve G. Bağcı, 224 s., Ankara.

DAHLE, A., CLIMENT, A., TAYLOR, W., BUNGUM, H., SANTOS, P., CIUDAD REAL, M., LINHOLM, C., STRAUCH, W. and SEGURA, F. 1995. New spectral strong motion attenuation models for Central America. *Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation, V: II*, 1005–1012.

DEMİRTAŞ, R. ve YILMAZ, R. 1996. Türkiye'nin sismotektoniği; Sismisitedeki uzun süreli değişim ve güncel sismisiteyi esas alarak deprem tahminine bir yaklaşım. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yayını, 91 s., Ankara.

DENİZ, A.: 2006, Estimation of Earthquake Insurance Premium Rates for Turkey, M.Sc. Thesis, Dept. of Civil Engineering, METU, Jan. 2006.

DEWEY, J.W., 1979. A consumer's guide to instrumental methods for determination of hypocenters, A.W. Hathevey and C.R. McClure, Jr., eds., *Geology in Siting of Nuclear Power Plants*, Geologic Society of America Reviews in Engineering Geology, Vol. 4, pp. 109-177.

EMRE, Ö. vd., 2000. 06 Haziran 2000 Orta (Çankırı) Depremi Değerlendirme Raporu. MTA Rapor No: 10323.

ERDIK, M., BIRO, Y.A., ONUR, T., SESETYAN, K., and BİRGÖREN, G., 1999, Assessment of earthquake hazard in Turkey and neighboring regions. 14s (<http://www.koeri.boun.edu.tr/earthqk/gshap.htm>).

ERGÜN, M. 1995. Bilimsel araştırmalarda bilgisayarla istatistik uygulamaları: SPSS for Windows. Ocak yayınları (eğitim dizisi: 2), 292 s., Ankara.

FUKUSHIMA, Y., TANAKA, T. and KATAOKA, S. 1988. A new attenuation relationship for peak ground acceleration derived from strong motion accelerograms: Proc. IX WCEE, Tokyo, 1988.

FUKISHIMA, Y. and TANAKA, T. 1990. A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. BSSA, 80, 757-783.

FUKISHIMA, Y., BERGE-THIERRY, C., VOLANT, P., GRİOT-POMMERA, D., A., & COTTON, F. 2003. Attenuation for western Eurasia determined with recent near-fault records from California, Japan and Turkey. *Journal of Earthquake Engineering*, 7(4), 573-598.

GÖRÜR, N., (1992). A tectonically controlled alluvial fan which developed into a marine fan-delta at a complex triple junction: Miocene Gildirli Formation of the Adana Basin, Turkey, *Sedimentary Geology*, 81, 243-252.

GUTENBERG, B. 1945a. Amplitudes of surface waves and magnitudes of shallow earthquakes. BSSA., 35, 3-12.

GUTENBERG, B. 1945b. Amplitudes of P, PP, and S and magnitudes of shallow earthquakes. BSSA., 35, 57-69.

GUTENBERG, B., 1957. Effects of ground on earthquake motion. *Bull. Seism.Soc. Am.* 47, 221-250.

GUTENBERG, B. and RICHTER, C. F. 1936. On Seismic Waves (third paper), *Gerlands Bietaege zur Geophysik*, Vol. 47, pp. 73-131.

GUTENBERG, B. and RICHTER, C. F. 1956. Earthquake Magnitude: intensity, energy and acceleration, *Bull. of Seis. Soc. of Am.*, Vol. 46, pp. 104-145.

GÜLKAN, P. and KALKAN, E. 2002. Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey. *Journal of Seismology*, 6, 397-409.



- GÜRSAKAL, N., 1998. Bilgisayar uygulamalı istatistik-II, Marmara Kitapevi Yayınları, Bursa,, 1998.
- HANKS, T.C. and WYSS, M. 1972. The use of body-wave spectra in the determination of seismic-source parameters. BSSA, 62 (2), 561-589.
- HANKS, T.C. and KANAMORI, H. 1979. A Moment Magnitude Scale. Journal of Geophysical Research, 84 (BS), 2348-2350.
- HASGÜR, Z. 1996. Deprem risk analizinde kullanılan azalım ilişkileri. TDV-Teknik Rapor, Rap. No: TDV/TR 96-002, 28 s., İstanbul.
- HEATON, T. H., TAJIMA, F. and MORI, A. W. 1982. Estimating ground motions using recorded accelerograms. Report by Dames and Moore to Exxon Production Research Company, Houston, TX.
- HOUSNER, G. W. 1982. Dynamic analysis of fluids containers subject to acceleration, ASCE Technical Seminar, Los Angeles, Calif.
- HUDSON, D. E., 1984. Strong motion accelerography systems-problems and prospects, Proceedings. 8th World Conference on Earthquake Engineering, Vol.2,pp.39-45
- HUSID, R., MEDINA, H. and RIOS, J. (1969), “Analysis de Terremotos Norteamericanos y Japoness”, Revista Del IDIEM, 8, Chile.
- IDRIS, I. M. and SEED, H.B., 1968. Seismic response of horizontal soil layers. Proc. Am. Soc. Sivil Engin., J.Soil Mech. And Found. Div. 94, 1003-1031.
- IDRIS, I. M., 1991. Selection of earthquake ground motion at rock sites, Report prepared for the Structures Div., Building and Fire Research lab., NIST.
- IDRISS, I.M. (1990) “Response of Soft Soil Sites during Earthquakes”, Proc. H. Bolton Seed Memorial Symposium, 273-290.
- İNAN, E., ÇOLAKOĞLU, Z., KOÇ, N., BAYÜLKE, N. ve ÇORUH, E. 1996. 1976-1996 Yılları arası ivme Kayıtları olan deprem kataloğu. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, 98 s., Ankara.
- JOYNER, W. B. and BOORE, D. M. 1981. Peak horizontal acceleration and velocity from strong motion records, including records from the 1979 Imperial Valley, California Earthquake: BSSA, 71(6), 2011-2038.
- JOYNER, W. B. and FUMAL, T. E. 1984. Use of measured shear-wave velocity for predicting geologic site effects on strong ground motion. Proceedings of 8<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vol. II, 777-783.

JOYNER, W. B. and BOORE, D. M. 1988. Measurement, characterization, and prediction of strong ground motion: Earthquake Engineering and Soil Dynamics, 2, Recent Advances in Ground Motion Evaluation, 43-102.

JULIAN, B. R. and ANDERSON, D. L. 1968. Travel times, apparent velocities, and amplitudes of body waves. BSSA, 58, 339-366.

KALAFAT, D., ÖZ, G. ve KARA, M. 1998. Anadolu'da bulunan on-line deprem istasyonlarının magnitüd denklemlerinin çıkartılması. Deprem Araştırma Bülteni, 76, 20-30, Ankara.

KALAFAT, D., ÖZ, G., KARA, M., ÖĞÜTÇÜ, Z., KILIÇ, K., PINAR, A. ve YILMAZER, M. 2000. 1981-1997 Türkiye ve Dolayları Deprem Kataloğu ( $M \geq 4.0$ ). B.Ü. Yayını, İstanbul.

KALAFAT, D., ÖZ, G., ÖZEL, N., KARA, M., ÖĞÜTÇÜ, Z., HORASAN, G., PÜSKÜLCÜ, S., KILIÇ, K., GÜNGÖR, A., İNCE, Ş., GÖRGÜN, E., PINAR, A., Kafadar, M., Yılmaz, M., Kekovalı, K., Köseoğlu, A., Çomoğlu, M., GÜNEŞ, M. ve SUVARIKLI, M., 2001. 17 Ağustos 1999 İzmit, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi ve Artçı Deprem Etkinlikleri. B.Ü. Yayını, Bebek-istanbul.

KALAFAT, D. 2002. Sismik ağlarda deprem büyüklüklerinin ampirik olarak ilişkilendirilmesi. Aktif Tektonik Araştırma Grubu altıncı toplantısı (ATAG-6), Bildiri özleri kitapçığı, 105-108, MTA Genel Müdürlüğü, 21-22 Kasım 2002, Ankara.

KALKAN, E., and GÜLKAN, P., 2004. "Site-Dependent Spectra Derived from Ground Motion Records in Turkey", Earthquake Spectra Vol.20, No.4, Nov. 2004.

KANAI, K., 1952. Relation between the nature of surface layer and the amplitude of earthquake motion, Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ. 30, 31-37.

KANAMORI, H. and ANDERSON, D. L. 1975. Theoretical basis of some empirical relations in seismology. BSSA. 65 (5), 1073-1095.

KANAMORI, H. 1977. The energy release in great earthquakes. Journal of Geophysical Research, 82, 2981-2987.

KANAMORI, H. and ALLEN, C. R., 1986. Earthquake repeat time and average stress drop, in Earthquake Source Mechanics, Maurice Ewing Ser. 6, edited by S. Das et al., 227-235, Am. Geophys. Union.

KASAPOĞLU, E., ULUSAY, R., GÖKÇEOĞLU, C., SÖNMEZ, H., BINAL, A., TUNCAY, E., 1999. 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depreminin Jeoteknik Saha İnceleme Raporu. Hacettepe Üni. (<http://www.jeomuh.hacettepe.edu.tr/uygulamali/ozet.htm>).

KEILIS-BOROK, V. I. 1960. Investigation of the mechanism of earthquakes. Sov. Res. Geophys.

- KETİN, İ., 1973, Umumi Jeoloji. İTÜ Yayınları, 4. Baskı.
- KETİN, İ., 1968. Türkiye'nin genel tektonik durumu ile başlıca deprem bölgeleri. MTA Dergisi, 71, 63-67.
- KOERI, 2006. Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. www.koeri.boun.edu.tr; Erişim Tarihi: 2006.
- KOÇYİĞİT, A., BOZKURT, E., CİHAN, M., ÖZACAR, A. and TOKSÖZ, B. 1999. Neotectonic frame of Turkey: A special emphasis on the 17 August 1999 Gölcük-Arifiye earthquake (NE Marmara-Turkey). Int. Conference on Earthquake Hazard and Risk in the Mediterranean Region, Proc. 1-11, NE Univ., Cyprus.
- KORAL, H. ve ERYILMAZ, M., 1995, İzmit Körfezi 'nin tektoniği. İzmit Körfezi 'nin Kuvaterner İstifi, E. Meriç (ed.), 277-283.
- KRAMER, S. L. 1996. Geoteknik deprem mühendisliği. (Çeviren: Kayabalı, K. 2003) Gazi Kitabevi, 708 s., Ankara.
- KRINITZSKY E. L., CHANG, F. K. and NUTTLI, O. W. 1988. Magnitude-related earthquake ground motions. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, XXV (4), 399-423.
- KUTSAL, A., ALPAN, O. ve ARPACIK, R. 1990. İstatistik Uygulamalar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, 231 s., Ankara.
- LACHET, C., HATZFELD, D., BARD, P.Y., THEODULİDİS, N., PAPAIOANNOU, C. ve SAVVAIDIS, A. (1996). "Site Effects and Microzonation in the City of Thessaloniki-Comparison of Different Approaches", BSSA, (86)6:1692-1703.
- LE PICHON, X., ŞENGÖR, A.M.C., DEMİRBAĞ, E., RANGİN, C., İMREN, C., ARMIJO, R., GÖRÜR, N., ÇAĞATAY, N., MERCIER de LEPINAY, B., MEYER, B., SAATÇILAR, R., TOK, B., (2001). The active Main Marmara Fault. Earth and Planetary Science Letters, 192, 595-616.
- MAHDYIAR, M., SINGH, S. K. and MEYER, R. P. 1986. Moment magnitude scale for local earthquakes in the Petatlan Region, Mexico, based on recorded peak horizontal velocity. BSSA, 76 (5), 1225-1239.
- MAHDYIAR, M. 1987. A Nomograph to calculate source radius and stress drop from corner frequency, shear velocity, and seismic moment. BSSA, 77 (1), 264-265.
- McCALL, J. 2000. The Great Colchester Earthquake of 1884 revisited: Geoscientist, (10) 7, 4-6.
- McCUE, K., Gibson, G. and Wesson, V. 1988. Intraplate recording of strong motion in southeastern Australia. Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, V: II, 355-360.

McGARR, A., 1984. Scaling of ground motion parameters, state of stress, and focal depth, *J. Geophys. Res.* 89, 6969-6979.

McGUIRE, R.K. 1978. Seismic ground motion parameter relations. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 104 (GT4), 481-490.

MAKRA, K., RAPTAKİS, D., CHAVEZ, GARCÍA, F.J. ve PİTİLAKİS, K. (2001) "Site Effects and Design Code Provisions: The case of Euroseistest". *PAGEOPH*, 158:2349-2367.

MTA, 2003. 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi Yüzey Kırığı, Özel Yayın Serisi-1, MTA, Ankara.

NEWMARK, N.M. and HALL, W.J. 1982. Earthquake spectra and design. EERI Monograf, 103 pp. Berkeley, California.

NUTTLI, O. W. 1973. Seismic wave attenuation and magnitude relations for eastern North America, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 78, pp. 876-885.

NUTTLI, O. W., BOLLINGER, G. A. and GRIFFITHS, D. W. 1979. On the relation between modified Mercalli intensity and body-wave magnitude. *BSSA*, 69 (3), 893-909.

OSAKI, Y., "Spectral Analiz of Wave", 1976.

OKAY, A., DEMİRBAĞ, E., KURT, H., OKAY, N., and KUŞÇU, İ., 1999<sup>a</sup>, An active, deep marine strike-slip basin along the North Anatolian Fault in Turkey. *Tectonics*, 18, 129-148.

OKAY, A., KAZLILAR, A., BOZTEPE, A., and KUŞÇU, İ., 1999<sup>b</sup>, Marmara Denizinde İstanbul 'u tehdit eden kırıklar. *Cumhuriyet Gazetesi Bilim Teknik Özel Deprem Sayısı*, Sayı 649, 8-10.

OKAY, A.I., KAŞLILAR-ÖZCAN, A., İMREN, C., BOZTEPE-GÜNEY, A., DEMİRBAĞ, E., KUŞÇU, İ. 2000. Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study, *Tectonophysics* 321, 198-218

ÖZBEY, C., FAHJAN, Y. (database prepared), Erdik, M. and Şafak, E. (general coordination) (2004) Strong Ground Motion Data Base for 17 August, 1999 Kocaeli and 12 November, 1999 Düzce Earthquakes. Earthquake Engineering Department, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI), Boğaziçi Univ. (in CD).

ÖZBEY, C., SARI, A., MANUEL, L., ERDİK, M. and FAHJAN, Y. 2003. Empirical Strong Ground Motion Attenuation Relations for Northwestern Turkey. Fifth National Conference on Earthquake Engineering; Istanbul, Turkey.

PAPAGEORGIU, A. S. and AKI, K. 1983a. A Specific barrier model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion. I. Description of the model. BSSA, 73 (3), 693-722.

PAPAGEORGIU, A. S. and AKI, K. 1983b. A Specific barrier model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion. Part II. Applications of the model. BSSA, 73 (4), 953-978.

PENG, K., XIE, L., LI, S., BOORE, D. M., IWAN, W. D. and TENG, T. L. 1985a. The near-source strongmotion accelerograms recorded by an experimental array in Tangshan, China. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 38, 92-109.

PENG, K.-Z., WU, F. T. and SONG, L. 1985b. Attenuation characteristics of peak horizontal acceleration in northeast and southwest China. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 13 (3), 337-350.

REITER, L., 1990. Earthquake hazard analysis: issues and insights, Columbia University Press, pp, 119-120.

RICHTER, C. F. 1935. An instrumental earthquake scale. BSSA, 25, 1-32.

RICHTER, C. F. 1958. Elementary seismology. W.H. Freeman and Company, 768 p., San Francisco and London.

RODRIGUEZ-MAREK, A., BRAY, J.D., ve ABRAHAMSON, N. (1999) Task 3: Characterization of Site Response General Site Categories, PEER Report 1999/03, University of California, Berkeley.

RODRIGUEZ-MAREK, A., BRAY, J.D. ve ABRAHAMSON, N. (2001) "An Empirical Geotechnical Seismic Site Response Procedure", Earthquake Spectra, (17)1:65-87.

ROSENBLAD, B.L., RATHJE, E.M., and STOKOE, K.H. 2001. "Shear Wave Velocity Profiling by SASW Method at Selected Strong-Motion Stations from the 1999 Turkey Earthquakes," Final Report to Pacific Earthquake Engineering Research Center, September.

SADIGH, K., CHANG, C.-Y., ABRAHAMSON, N. A., CHIOU, S. J. and POWER, M. S. 1993. Specification of long-period ground motions: Updated attenuation relationships for rock site conditions and adjustment factors for near-fault effects. Pages 59-70 of: Proceedings of ATC-17-1 Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control.

SADIGH, K., CHANG, S.-Y., EGAN, J. A., MAKDISI, F. and YOUNGS, R. R. 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. Seismological Research Letters, V: 68, No: 1, p: 180-189.

- SADIGH, R. K. and EGAN, J. A. 1998. Updated relationships for horizontal peak ground velocity and peak ground displacement for shallow crustal earthquakes. Proceedings of the Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering.
- SANCHES-SESMA, F. and CAMPILLO, M., 1993. Topographic effects for incident P, SV, and Rayleigh waves, Tectonophysics, Vol. 218, No.1-3, pp. 113-125.
- SEED, H. B. and IDRIS, I. M. 1970. Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses. Report # EERC, 70-10, Earthquake Engineering Research Center, Univ. Of California, Berkeley, 15 p.
- SEED, H. B., UGAS, C., and LYMER, J. 1976. Site Depend Spectra for Earthquake Resistant Design, Bull. Seis. Soc. Am., Vol. 66, 221-243.
- SEED, H. B., WONG, R. T., IDRIS, I. M. and TOKIMATSU, K. 1984. Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils. Journal of Geotechnical Engineering, 112 (11), 1016-1032.
- SELİM, H. H., TÜYSÜZ, O., BARKA, A. A., 2006. Güney Marmara bölümünün neotektoniği, itüdergisi/d mühendislik Cilt:5, Sayı:1, Kısım:2, 151-160 Şubat 2006
- SEYME, İ. 1975. Kelkit Vadisi kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun tektonik özelliği. Doktora tezi, İTÜ, Maden Fak., Yayını, 192 s., İstanbul.
- SOMERVILLE, P.G., SMITH, N. F., GRAVES, R. W. and ABRAHAMSON, N. A., 1997. Modification of Empirical Strong Ground Motion Attenuation Relations to Include the Amplitude and Duration Effects of Rupture Directivity, Seismological Research Letters vol. 68(1), pp. 199-222, January/February.
- SPSS, 1998. Statistical package for social science. SPSS Inc. (www.spssscience.com) USA.
- STEIN, R.S., BARKA, A., and DIETERICH, J.H., 1997, Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. Geophysical Journal International, 128, 594-604.
- STEWART, I.C.F. 1975. A magnitude scale for local earthquakes in South Australia. BSSA, 65 (5), 1267-1285.
- SUCUOĞLU, H., 1996. Yapılarda Deprem Kuvvetlerinin Oluşması. Deprem ve Sonrası, Türkiye Müteahhitler Birliği, (Düzenleyen: Erhan KARAESMEN).
- ŞAROĞLU, F., EMRE, Ö. ve BORAY, A. 1987. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. MTA Rapor No: 8174, 394 s., Ankara.
- ŞAROĞLU, F., EMRE, Ö. ve KUŞÇU, İ. 1992. Türkiye diri fay haritası. MTA, Ankara.

ŞENGÖR, A.M.C., 1979, The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonics significance. J. Geol. Soc. London, 136, 269-282.

ŞENGÖR, A.M.C. 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları, TJK Konferansları Dizisi, No:2, 40 s., Ankara.

TRIFUNAC, M.D. and HUDSON, D. E., 1971. Analysis of the Pacomia Dam accelerograms Sn Fernando Earthquake of 1971, BSSA, Vol.61,No.5,pp.1393-1411.

TRIFUNAC, M.D. and BRADY, A.G. 1975. A study of the duration of strong earthquake ground motion. BSSA, 65, 581-626.

TRIFUNAC, M.D. and BRADY, A.G. 1975a. On the correlation of seismic intensity with peaks of recorded strong ground motion , Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 65, pp. 139-162.

KRINITZSKY, E. L. and CHANG , F. K. 1979. State of the art for assesing earthquake hazards in the United States: specifying peak motions for design earthquake, Miscellaneous Paper S-73-1, Report 7, U.s. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Stations, Vickburg, Mississippi.

TRIFUNAC, M.D. 1976. Preliminary analysis of the peaks of strong earthquake ground motion–dependence of peaks on earthquake magnitude, epicentral distance and recording site conditions. BSSA, 66 (1), 189–219.

TRIFUNAC, M.D. and BRADY, A.G. 1976. Correlations of peak acceleration, velocity and displacement with earthquake magnitude, distance and site conditions. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 4 (5), 455–471.

TOKSÖZ, M.N., SHAKAL, A.F., and MICHAEL, A.J., 1979, Space-time migration of earthquakes along the North Anatolian Fault zone and seismic gaps. Pageoph, 117, 1258-1270.

TDBH. 1996. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

UBC (Uniform Building Code). 1988. International Conference of Building Officials, 1988: UBC 1988. Section 2312 Earthquake Regulations. Whitter, CA:ICBC.

ULUSAY, R., TUNCAY, E., SONMEZ, H. and GOKCEOGLU, C. 2004. An Attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. Engineering Geology, 74, 265-291.

ULUTAŞ, E., İ.T. GÜVEN, T. S. IRMAK, F. SERTÇELİK, B. TUNÇ, T. ÇETİNOĞLU, D. ÇAKA, M. F. ÖZER ve Ö.KENAR (2003), Doğu Marmara Bölgesi için deneysel en büyük yatay ivme uzaklık azalım ilişkisi ve Kocaeli'nin probabilistik deprem tehlikesi, Kocaeli 2003 Deprem Sempozyumu Tam Metin Kitabı, s. 14-26.

- ÜÇER, B., EYIDOĞAN, H., GÜRBÜZ, C., BARKA, A., and BARIŞ, Ş., 1997, Seismic investigations of the Marmara region. In Active Tectonics of NW Anatolia-The Marmara Poly-project, Schindler and Pfister (eds.), VDF, ETH Zurich, 89-99.
- VANMARCKE, E.H. 1976. Structural response to earthquakes. Lomnitz, C., Rosenblueth, E. (Eds.), Seismic Risk and Engineering Decisions, Elsevier, Chapter 8, pp. 287-338, Amsterdam.
- YALTIRAK, C., Alpar, B. and Yüce, H. 1998. Tectonics elements controlling the evolution of the Gulf of Saros (Northeastern Aegean Sea, Turkey). Tectonophysics, 300, 227-248.
- YANG, C.Y. 1986. Random vibration of structures. John Wiley and Sons, 295 pp., NY.
- YILMAZ, Ö. 1987. Seismic data processing; investigations in Geophysics. (Series Editor: Edwin B. Neitzel; Editor: Stephen M. Doherty) Society of Exploration Geophysicists, V:2, p. 526, Tulsa-USA.
- YILMAZ, Y., (1992). New evidence and model on the evolution of the southeastern Turkey, Geological Society of America Bulletin, 105, 251-271.
- YILMAZTÜRK, A. ve BAYRAK, Y. 1997. Global depremlerde açığa çıkan sismik enerjinin zaman ve uzay dağılımı. Deprem Araştırma Bülteni, 75, 17-53.
- YOUNGS, R. R., DAY, S. M. and STEVENS, J. L. 1988. Near field ground motions on rock for large subduction earthquakes. Proceedings of Earthquake Engineering and Soil Dynamics, II. Geotechnical Division, ASCE, 445-462.
- YOUNGS, R. R., CHIOU, S.-J., SILVA, W. J. and HUMPHREY, J. R. 1997. Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. BSSA, 68(1), 58-73.
- YÜCEMEN, S., KOÇYİĞİT, A., YAKUT, A. ve GENCOĞLU, S., 2006. Deprem tehlike Haritalarının Hazırlanması İçin Kılavuz. Haziran 2006, Ankara.
- YÜKSEL, F.A., 1995, İzmit Körfezi ve yakın çevresinin sismik aktivitesi. İzmit Körfezi 'nin Kuvaterner İstifi, E.Meriç (ed.), 259-267.
- ZARÉ M., BARD, P.-Y. and GHAFORY-ASHTIANY, M. 1999. Attenuation Law for the Strong Motions in Iran, 3rd Int. Conf. on Seismology and Earthquake Engineering (SEE3), Proc., 1, 345-354.



## **EKLER**

**Ek A.** Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt İstasyon Yerleri Ve İstasyon Bilgileri

**Ek B.** Kuvvetli Yer Hareketi Azalım İlişkisinin Geliştirilmesinde Kullanılan Veri  
Kataloğu

**Ek C.** Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt İstasyonlarının Kayma-Dalgası Hız Profilleri

## Ek A. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt İstasyon Yerleri Ve İstasyon Bilgileri

Sıra No	İstasyon Kod - Yer	İstasyon Koord.		Zemin Sınıfı	Cihaz Türü	Vs30		Kayıt Sayısı	İstasyon Sahibi
		Enlem (K)	Boylam (D)			m/sn	Referans		
1	140- Adapaz. Bahtiyat T.E.	40,762	30,355	D	SSA-12		K	10	Kandilli
2	141- Adap. Kadın D.Ç.B.E.	40,773	30,398	D	SSA-12		K	5	Kandilli
3	ADP-Adapazarı Orman İşl.	40,756	30,390	D	K-2		U	3	DAD
4	AKS-Aksaray V.S.Türb.	41,011	28,945	D	GSR-12		K	3	Kandilli
5	AKY-Akyazı Orman İşlt.	40,671	30,623	D	K-2,GSR-12-16		U	11	DAD
6	ARC-Darıca Arçelik Bn.	40,823	29,360	C	GSR-16	360-500	R	29	Kandilli
7	ATK- İst. Ataköy	40,989	28,849	D	SSA-12		İ	7	İTÜ
8	ATS-İst. Ambarlı Term. S.	40,981	28,693	D	GSR-16	175	R,K	20	Kandilli
9	AYD-Düzce, Aydınpınar Köyü	40,753	31,113	B	GSR-12	430	R,K	3	Kandilli
10	BAG-Yalova, Bağlaraltı Sk.	40,654	29,274	D	SSA-12		K	2	Kandilli
11	BAH-Yalova, Bahçevan Sk.	40,652	29,282	D	SSA-12		K	2	Kandilli
12	BAL-Düzce, Ballica Köyü	40,780	31,102	D	GSR-12	190	R,K	5	Kandilli
13	BHC-Bahçecik Seymen Kş.	40,710	29,907	D	K-2		U	14	DAD
14	BND-Bandırma Meteoroloji	40,341	27,942	C	GSR-16		U	6	DAD
15	BOL-BoluBayındırlık Müd.	40,745	31,610	D	GSR-16,18	290	R	32	DAD
16	BRS-Bursa Bayındırlık Md.	40,170	29,080	C	SM-2		U	2	DAD
17	BRS-Bursa Sivil Sav. Md.	40,184	29,131	C	GSR-16	588	U	23	DAD
18	BTS-M. Ereğlisi, BOTAS	40,992	27,980	C	GSR12,16		K	19	Kandilli
19	BUR-Bursa, Tofaş Fab.	40,261	29,068	D	GSR-16		K	27	Kandilli
20	BYT01-Bursa, Köy Hzm. 17.Böl.	40,183	29,130	B	ETNA		U	2	DAD
21	BYT02-Bursa Afet Yön. M.	40,226	29,075	D	ETNA		U	5	DAD
22	BYT03-Bursa, Demirtaş Ist.	40,273	29,096	B	ETNA	655	U	1	DAD
23	BYT04-Bursa, Kurtul Köyü	40,363	29,122	C	ETNA	432	U	5	DAD
24	BYT05-Bursa, Engürücük Köyü	40,394	29,098	D	ETNA	320	U	3	DAD
25	BYT06-Bursa, Umurbey	40,410	29,180	B	ETNA		U	2	DAD
26	BYT07-Gemlik, E.M.L	40,425	29,166	D	ETNA	310	U	5	DAD
27	BYT08-Gemlik, Cargil T.S	40,422	29,291	D	ETNA	659	U	5	DAD
28	BYT09-Gemlik, Gedek K.	40,449	29,258	B	ETNA	1193	U	2	DAD

**EK A. (Devamı)**

Sıra No	İstasyon Kod - Yer	İstasyon Koord.		Zemin Sınıfı	Cihaz Türü	Vs30		Kayıt Satısı	İstasyon Sahibi
		Enlem (K)	Boylam (D)			m/sn	Referans		
29	BYT10-Orhangazi 75.Yıl O.	40,494	29,299	A	ETNA	1500	U	1	DAD
30	BYT11-Yalova, Sugören K.	40,565	29,306	B	ETNA		U	3	DAD
31	BYT12-Yalova, Soğucak K.	40,579	29,272	B	ETNA	1255	U	1	DAD
32	BYT13-Yalova, Huzurevi	40,651	29,279	C	ETNA	589	U	2	DAD
33	CNA-İst. Çekmece N.A.	41,024	28,759	D	GSR-16	350	R,K	23	Kandilli
34	CNK-Çanakkale Meteor. Md	40,144	26,403	D	GSR-16		U	17	DAD
35	DAR-İzmit, Darıca	40,757	29,367	D	GSR-16		K	24	Kandilli
36	DGD-Değirmendere E. Cami	40,700	29,670	B	JEP6A3,K-2		U	7	DAD
37	DHM-İst. Yeşilköy Havalim.	40,982	28,820	D	GSR-16		K	13	Kandilli
38	DRC-İzmit, Derince Camii	40,774	29,812	C	JEP6A3		U	6	DAD
39	DUZ-Düzce Meteor. Müd.	40,844	31,148	D	K-2	275	R	10	DAD
40	DZC-Düzce Meteor. Müd.	40,844	31,148	D	GSR-16,18	275	R	14	DAD
41	EDC-Edincik Kand.Gözl.	40,360	27,890	A	SMA-1		U	1	DAD
42	ERG-Ereğli Kaymakamlık	40,972	27,950	D	SMA-1		U	1	DAD
43	FAT-İst. Fatih Türbesi	41,020	28,950	D	GSR-12,16		K	32	Kandilli
44	FCM-Düzce,	40,827	31,190	D	GSR-12		K	6	Kandilli
45	GB_-İst. Galata Köp.	41,019	28,969	D	GSR-16		K	20	Kandilli
46	GBZ-Gebze TUBİTAK MAM	40,820	29,440	B	SMA-1	750	R	2	DAD
47	GEB-Gebze Eskişehir Krk.	40,782	29,416	C	K-2		U	8	DAD
48	GEN- Adapaz. Şeker Mah.	40,785	30,392	C	GSR-12		K	4	Kandilli
49	GLB-Gelibolu Karayolları M.	40,430	26,670	C	SMA-1		U	1	DAD
50	GLC-İzmit Gölçük	40,726	29,815	D	SSA-12		İ	3	İTÜ
51	GLY-Gölyaka Jndr. Krk.	40,780	31,003	D	K-2		U	13	DAD
52	GNN-Gönen Meteo. Md.	40,080	27,680	C	SMA-1		U	1	DAD
53	GON-Düzce,	40,817	31,210	D	GSR-12		K	3	Kandilli
54	GYN-Göynük Devlet Hast.	40,385	30,734	B	SMA-1		U	2	DAD
55	HAS-İst.Heybeliada Hast.	40,869	29,088	C	GSR-16		K	5	Kandilli
56	HEN-Hendek Orman İşl. M.	40,796	30,736	C	K-2		U	4	DAD

**EK A. (Devamı)**

İst. Sayisi	İstasyon (Kod - Yer)	İstasyon Koord.		Zemin Sınıfı	Cihaz Türü	Vs30		Kayıt Sayısı	İstasyon Sahibi
		Enlem (K)	Boylam (D)			m/sn	Referans		
57	<b>HIL</b> -Yalova, Hilal Sokak	40,647	29,264	D	GSR-16	150	R,K	3	Kandilli
58	<b>IST</b> -İstanbul Bayındırlık Md.	41,058	29,013	B	SM-2, GSR-16		U	27	DAD
59	<b>IST</b> -İstanbul Kand. Gözl.	41,080	29,090	B	SMA-1		K	1	DAD
60	<b>IZN</b> -İzmit Karayolları Şefl.	40,437	29,691	D	SMA-1	190	R	3	DAD
61	<b>IZN</b> -İzmit Kaymakamlık Bn.	40,430	29,720	D	GSR-18	190	R	3	DAD
62	<b>IZN</b> -İzmit Sağlık Ocağı	40,440	29,750	D	SMA-1	190	R	1	DAD
63	<b>IZT</b> -İzmit Meteoroloji Müd.	40,767	29,917	A	SMA-1	1500	R	6	DAD
64	<b>KAN</b> -İst. Kandilli Rasath.	41,070	29,060	B	GSR-12		K	3	Kandilli
65	<b>KAS</b> -Yalova, Ahmet Taş E.	40,657	29,291	D	SSA-12		K	2	Kandilli
66	<b>KMP</b> -İst. KMP Camii, SST	41,003	28,928	D	GSR-12,16		K	30	Kandilli
67	<b>MCD</b> -İst. Mecidiyeköy	41,065	28,997	C	SSA-12		İ	3	İTÜ
68	<b>MDR</b> -Mudurnu Kaymakamlık	40,463	31,182	B	SMA-1		U	1	DAD
69	<b>MET</b> -Düzce, Meteoroloji Müd.	40,844	31,148	D	GSR-16	275	R,K	4	Kandilli
70	<b>MSK</b> -İstanbul Maslak	41,104	29,019	B	SSA-12		İ	1	İTÜ
71	<b>PET</b> -Düzce,	40,871	31,170	D	GSR-12		K	2	Kandilli
72	<b>RUZ</b> -Yalova, Ruzgar Sokak	40,647	29,277	D	SSA-12		K	2	Kandilli
73	<b>SAZ</b> -Düzce, Şaziye İlk Öğr.	40,844	31,049	D	SSA-12		K	4	Kandilli
74	<b>SEK</b> -Seka Fabrikası Karşısı	40,765	29,894	A	JEP6A3		U	8	DAD
75	<b>SKF</b> -Adapaz. Şeker Fab.	40,785	30,380	C	GSR-12		K	4	Kandilli
76	<b>SKR</b> -Sakarya Bayındırlık Md	40,737	30,384	B	GSR-16	900	R	45	DAD
77	<b>SPN</b> -Sapanca Sağlık Ocağı	40,689	30,257	D	K-2		U	9	DAD
78	<b>TAR</b> -Yalova, Tarım Müd.	40,658	29,248	D	SSA-12		K	1	Kandilli
79	<b>TKR</b> -Tekirdağ Bayındırlık Md	40,979	27,515	B	SM-2, GSR-16		U	16	DAD
80	<b>TKR</b> -Tekirdağ Meteo. Md.	40,960	27,530	B	SMA-1		U	1	DAD
81	<b>TPT</b> -Tepetarla Köyü Muh.	40,720	30,079	D	JEP6A3		U	4	DAD
82	<b>YDH</b> -Yalova Devlet Hast.	40,653	29,263	D	SSA-12	300	R,K	2	Kandilli
83	<b>YKP</b> -İst. 4.Levent YK Plaza	41,081	29,011	B	GSR-12, 16		K	13	Kandilli
84	<b>YLV</b> -Yalova Meteoroloji M.	40,650	29,270	D	K-2, SMA-1		U	4	DAD
85	<b>YPT</b> -Yarımca-Petkim Tesis	40,764	29,762	D	GSR-16	300	R,K	24	Kandilli

**EK A. (Devamı)**

İst. Sayisi	İstasyon (Kod - Yer)	İstasyon Koord. Enlem (K)	Zemin Boylam (D)	Cihaz Sınıfı	Vs30 Türü	Kayıt m/sn	İstasyon Referans	İst. Sayisi	İstasyon (Kod - Yer)
86	YVZ-İst. Yavuz S.S.Tür.	41,020	28,950	D	GSR-12		K	3	Kandilli
87	ZYT-İstanbul Zeytinburnu	40,986	28,908	D	SSA-12	250	İ	11	İTÜ

**R:** Referans, Rosenblad et al (2001). Shear Wave Velocity Profiling by the SASW Method at Selected Strong-Motion Stations in Turkey, University of Texas at Austin, ECJ 9.227; **K:** Referans, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul Kandilli Rasathanesi ve D.A.E., Türkiye, (ISK); **U:** Referans, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara-Türkiye, (DAD); **İ:** Referans, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul-Türkiye, (İTÜ).

## Ek B. Kuvvetli Yer Hareketi Azalım İlişkisinin Geliştirilmesinde Kullanılan Veri Kataloğu

Dep. No	Kayıt No	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub> km	Zem. Snf.	İst. Kod
		Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.			
1	1	05	07	1983	12	01	27	40,33	27,21	7	I	5,5	P	5,9	D2	40,360	27,890	53,45	46,51	31,68	57,7	A	EDC
	2	05	07	1983	12	01	27	40,33	27,21	7	I	5,5	P	5,9	D2	40,080	27,680	50,12	46,77	37,68	48,6	C	GNN
	3	05	07	1983	12	01	27	40,33	27,21	7	I	5,5	P	5,9	D2	40,960	27,530	29,89	34,91	17,19	75,1	B	TKRM
2	4	12	02	1991	09	54	58	40,80	28,82	10	I	4,5	R	4,7	D1	41,080	29,090	27,58	18,21	9,68	38,5	B	ISTK
3	5	21	02	1994	04	36	20	40,20	29,32	2	I	4,0	R	4,1	D1	40,170	29,080	11,50	4,50	9,50	20,7	C	BRS
4	6	08	02	1995	21	24	52	40,80	27,77	10	I	4,4	R	4,6	D1	41,011	28,945	4,88	7,08	12,57	101,6	D	AKS
	7	08	02	1995	21	24	52	40,80	27,77	10	I	4,4	R	4,6	D1	40,170	29,080	2,00	1,00	1,50	130,6	C	BRS
	8	08	02	1995	21	24	52	40,80	27,77	10	I	4,4	R	4,6	D1	41,019	28,969	3,58	2,97	3,42	103,8	D	GB
	9	08	02	1995	21	24	52	40,80	27,77	10	I	4,4	R	4,6	D1	41,058	29,013	3,50	3,50	2,00	108,5	B	IST
	10	08	02	1995	21	24	52	40,80	27,77	10	I	4,4	R	4,6	D1	41,070	29,060	3,30	2,68	2,93	112,7	B	KAN
	11	08	02	1995	21	24	52	40,80	27,77	10	I	4,4	R	4,6	D1	41,003	28,928	11,72	9,28	4,88	100,1	D	KMP
	12	08	02	1995	21	24	52	40,80	27,77	10	I	4,4	R	4,6	D1	40,960	27,530	7,50	6,50	2,50	26,9	B	TKR
	13	08	02	1995	21	24	52	40,80	27,77	10	I	4,4	R	4,6	D1	41,081	29,011	2,69	3,42	1,47	109,0	B	YKP
	14	08	02	1995	21	24	52	40,80	27,77	10	I	4,4	R	4,6	D1	41,020	28,950	13,42	15,14	10,98	102,3	D	YVZ
5	15	13	04	1995	04	08	00	40,85	27,65	27	I	4,4	R	4,6	D1	41,011	28,945	2,56	3,30	1,34	110,4	D	AKS
	16	13	04	1995	04	08	00	40,85	27,65	27	I	4,4	R	4,6	D1	40,981	28,693	4,39	2,93	2,93	88,9	D	ATS
	17	13	04	1995	04	08	00	40,85	27,65	27	I	4,4	R	4,6	D1	40,992	27,980	10,74	14,64	5,85	31,9	C	BTS
	18	13	04	1995	04	08	00	40,85	27,65	27	I	4,4	R	4,6	D1	40,982	28,820	3,42	2,44	1,46	99,5	D	DHM
	19	13	04	1995	04	08	00	40,85	27,65	27	I	4,4	R	4,6	D1	41,020	28,950	5,86	6,84	3,42	111,0	D	FAT
	20	13	04	1995	04	08	00	40,85	27,65	27	I	4,4	R	4,6	D1	41,058	29,013	2,00	2,00	1,00	117,0	B	IST
	21	13	04	1995	04	08	00	40,85	27,65	27	I	4,4	R	4,6	D1	41,070	29,060	1,74	1,16	0,87	121,1	B	KAN
	22	13	04	1995	04	08	00	40,85	27,65	27	I	4,4	R	4,6	D1	41,003	28,928	4,00	4,13	2,17	108,8	D	KMP
	23	13	04	1995	04	08	00	40,85	27,65	27	I	4,4	R	4,6	D1	40,960	27,530	38,00	45,00	11,00	15,9	B	TKR
	24	13	04	1995	04	08	00	40,85	27,65	27	I	4,4	R	4,6	D1	41,020	28,950	8,55	6,10	6,59	111,0	D	YVZ
6	25	18	04	1995	05	36	03	40,86	27,75	22	I	4,2	R	4,3	D1	41,011	28,945	2,07	3,17	1,46	101,9	D	AKS
	26	18	04	1995	05	36	03	40,86	27,75	22	I	4,2	R	4,3	D1	40,981	28,693	3,91	2,93	2,44	80,4	D	ATS

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	27	18	04	1995	05	36	03	40,86	27,75	22	I	4,2	R	4,3	D1	40,992	27,980	6,84	7,81	3,90	24,3	C	BTS
	28	18	04	1995	05	36	03	40,86	27,75	22	I	4,2	R	4,3	D1	40,982	28,820	2,93	1,95	1,46	91,0	D	DHM
	29	18	04	1995	05	36	03	40,86	27,75	22	I	4,2	R	4,3	D1	41,020	28,950	5,62	5,37	3,42	102,5	D	FAT
	30	18	04	1995	05	36	03	40,86	27,75	22	I	4,2	R	4,3	D1	41,058	29,013	1,50	2,50	1,00	108,5	B	IST
	31	18	04	1995	05	36	03	40,86	27,75	22	I	4,2	R	4,3	D1	41,070	29,060	1,59	1,34	1,46	112,6	B	KAN
	32	18	04	1995	05	36	03	40,86	27,75	22	I	4,2	R	4,3	D1	41,003	28,928	2,68	4,15	2,20	100,3	D	KMP
	33	18	04	1995	05	36	03	40,86	27,75	22	I	4,2	R	4,3	D1	40,979	27,515	25,50	34,50	8,00	23,8	B	TKR
	34	18	04	1995	05	36	03	40,86	27,75	22	I	4,2	R	4,3	D1	41,020	28,950	7,81	4,15	5,12	102,5	D	YVZ
<b>7</b>	35	21	10	1997	10	49	33	40,71	30,43	11	I	4,1	R	4,2	D1	40,739	30,384	33,87	71,60	15,14	5,0	B	SKR
<b>8</b>	36	25	10	1997	00	38	42	40,45	26,39	10	I	4,1	R	4,2	D1	40,992	27,980	2,07	1,34	0,42	147,4	C	BTS
	37	25	10	1997	00	38	42	40,45	26,39	10	I	4,1	R	4,2	D1	40,142	26,400	13,52	12,24	6,50	34,3	D	CNK
	38	25	10	1997	00	38	42	40,45	26,39	10	I	4,1	R	4,2	D1	40,430	26,670	42,42	19,43	8,75	23,8	C	GLB
	39	25	10	1997	00	38	42	40,45	26,39	10	I	4,1	R	4,2	D1	40,979	27,515	2,90	2,90	1,80	111,9	B	TKR
<b>9</b>	40	05	03	1998	01	45	08	39,55	27,25	7	P	4,4	P	4,6	D1	40,261	29,068	6,53	6,53	1,04	174,8	D	BUR
	41	05	03	1998	01	45	08	39,55	27,25	7	P	4,4	P	4,6	D1	40,184	29,131	1,77	1,50	1,04	176,0	C	BRS
	42	05	03	1998	01	45	08	39,55	27,25	7	P	4,4	P	4,6	D1	40,142	26,400	2,23	2,62	2,08	98,2	D	CNK
	43	05	03	1998	01	55	26	39,53	27,25	5	P	4,3	P	4,4	D1	40,184	29,131	2,04	1,83	1,04	177,0	C	BRS
	44	05	03	1998	01	55	26	39,53	27,25	5	P	4,3	P	4,4	D1	40,261	29,068	5,31	4,27	1,03	175,8	D	BUR
	45	05	03	1998	01	55	26	39,53	27,25	5	P	4,3	P	4,4	D1	40,142	26,400	1,16	1,50	1,28	99,7	D	CNK
<b>10</b>	46	25	09	1998	16	20	09	40,21	28,87	10	P	3,9	P	4,0	D1	40,184	29,131	9,92	6,68	3,63	22,4	C	BRS
<b>11</b>	47	22	10	1998	23	47	27	40,97	31,67	9	P	3,9	P	4,0	D1	40,747	31,610	19,65	24,14	10,53	25,3	D	BOL
<b>12</b>	48	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,823	29,360	211,00	134,00	83,00	23,3	C	ARC
	49	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,989	28,849	102,44	168,44	68,45	70,0	D	ATK
	50	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,980	28,692	253,00	186,00	80,00	82,1	D	ATS
	51	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,992	27,980	99,00	87,00	24,00	139,8	C	BTS
	52	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,184	29,131	54,32	45,81	25,73	73,1	C	BRS
	53	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,260	29,068	100,89	100,04	48,22	69,6	D	BUR
	54	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	41,024	28,759	177,31	132,08	57,67	78,5	D	CNA

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	55	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,844	31,148	315,00	374,00	480,00	10,6	D	<b>DZC</b>
	56	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,982	28,820	90,00	84,00	55,00	72,0	D	<b>DHM</b>
	57	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,980	27,790	90,36	101,36	56,98	155,3	D	<b>ERG</b>
	58	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	41,019	28,950	189,00	162,00	132,00	64,0	D	<b>FAT</b>
	59	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,820	29,440	265,00	141,45	198,49	17,7	B	<b>GBZ</b>
	60	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,385	30,734	138,00	118,00	130,00	35,0	B	<b>GYN</b>
	61	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,869	29,088	57,00	110,00	143,00	59,4	C	<b>HAS</b>
	62	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,437	29,691	91,89	123,32	82,31	33,3	D	<b>IZNK</b>
	63	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	41,058	29,013	60,67	42,66	36,22	61,9	B	<b>IST</b>
	64	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,767	29,917	171,17	225,00	146,39	4,7	A	<b>IZT</b>
	65	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	41,003	28,928	127,86	107,30	83,07	64,8	D	<b>KMP</b>
	66	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	41,065	28,997	107,28	140,70	74,82	63,5	C	<b>MCD</b>
	67	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	41,104	29,019	107,14	75,80	61,33	64,7	B	<b>MSK</b>
	68	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,737	30,384		407,04	259,00	3,2	B	<b>SKR</b>
	69	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,979	27,515	32,16	33,45	10,16	178,0	B	<b>TKR</b>
	70	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	41,081	29,011	41,08	35,52	27,10	63,6	B	<b>YKP</b>
	71	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,764	29,762	230,23	322,21	241,09	3,7	D	<b>YPT</b>
	72	17	08	1999	00	01	39	40,75	29,86	17	N	6,7	R	7,4	R.N	40,986	28,908	239,19	218,42	101,32	65,4	D	<b>ZYT</b>
<b>13</b>	73	17	08	1999	00	15	18	40,65	30,75	10	N	4,7	K	4,9	D1	40,737	30,384		93,93	24,96	10,0	B	<b>SKR</b>
<b>14</b>	74	17	08	1999	00	16	26	40,74	29,97	10	N	4,8	K	5,0	D1	40,737	30,384		61,95	40,56	14,0	B	<b>SKR</b>
	75	17	08	1999	00	16	26	40,74	29,97	10	N	4,8	K	5,0	D1	40,184	29,131	5,04	3,48	1,92	93,9	C	<b>BRS</b>
<b>15</b>	76	17	08	1999	00	21	06	40,65	30,43	10	N	4,5	K	4,7	D1	40,737	30,384		31,31	10,89	10,4	B	<b>SKR</b>
<b>16</b>	77	17	08	1999	00	34	48	40,72	29,95	10	N	4,1	K	4,2	D1	40,737	30,384		16,93	8,12	36,6	B	<b>SKR</b>
<b>17</b>	78	17	08	1999	00	44	21	40,65	30,65	10	N	4,3	K	4,4	D1	40,737	30,384		10,28	9,40	24,4	B	<b>SKR</b>
<b>18</b>	79	17	08	1999	00	57	42	40,72	30,41	10	N	4,1	K	4,2	D1	40,737	30,384		151,80	54,87	2,9	B	<b>SKR</b>
	80	17	08	1999	00	57	42	40,72	30,41	10	N	4,1	K	4,2	D1	41,058	29,013	1,20	1,50	0,97	123,6	B	<b>IST</b>
<b>19</b>	81	17	08	1999	01	07	52	40,70	30,02	10	N	4,5	K	4,7	D1	40,737	30,384		26,61	7,23	31,0	B	<b>SKR</b>
<b>20</b>	82	17	08	1999	01	31	57	40,80	29,01	15	R	4,5	R	4,7	D1	40,823	29,360	11,59	10,13	5,01	23,0	C	<b>ARC</b>



**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	83	17	08	1999	01	31	57	40,80	29,01	15	R	4,5	R	4,7	D1	40,184	29,131	8,82	10,96	4,15	69,2	C	BRS
	84	17	08	1999	01	31	57	40,80	29,01	15	R	4,5	R	4,7	D1	40,992	27,980	1,34	1,09	0,40	89,3	C	BTS
	85	17	08	1999	01	31	57	40,80	29,01	15	R	4,5	R	4,7	D1	40,260	29,068	3,00	3,45	0,92	60,2	D	BUR
	86	17	08	1999	01	31	57	40,80	29,01	15	R	4,5	R	4,7	D1	41,058	29,013	5,34	4,85	4,00	28,7	B	IST
	87	17	08	1999	01	31	57	40,80	29,01	15	R	4,5	R	4,7	D1	41,003	28,928	3,66	3,91	1,83	23,6	D	KMP
<b>21</b>	88	17	08	1999	02	50	47	40,75	30,04	8	R	4,5	R	4,7	D1	40,184	29,131	4,88	4,15	2,81	99,1	C	BRS
	89	17	08	1999	02	50	47	40,75	30,04	8	R	4,5	R	4,7	D1	40,992	27,980	1,34	1,53	1,46	175,6	C	BTS
	90	17	08	1999	02	50	47	40,75	30,04	8	R	4,5	R	4,7	D1	40,260	29,068	25,94	17,27	3,85	98,4	D	BUR
	91	17	08	1999	02	50	47	40,75	30,04	8	R	4,5	R	4,7	D1	41,019	28,950	18,74	17,57	12,76	96,6	D	FAT
	92	17	08	1999	02	50	47	40,75	30,04	8	R	4,5	R	4,7	D1	41,058	29,013	6,35	6,53	4,64	93,0	B	IST
<b>22</b>	93	17	08	1999	03	14	02	40,64	30,59	14	R	4,6	R	4,8	D1	40,260	29,068	1,04	1,22	1,22	135,2	D	BUR
	94	17	08	1999	03	14	02	40,64	30,59	14	R	4,6	R	4,8	D1	41,058	29,013	2,14	3,30	1,40	140,9	B	IST
	95	17	08	1999	03	14	02	40,64	30,59	14	R	4,6	R	4,8	D1	41,003	28,928	7,81	6,16	4,64	145,9	D	KMP
	96	17	08	1999	03	14	02	40,64	30,59	14	R	4,6	R	4,8	D1	40,986	28,908	8,61	16,24	5,16	147,0	D	ZYT
<b>23</b>	97	17	08	1999	04	13	48	40,69	29,19	9	R	4,2	R	4,3	D1	40,992	27,980	1,10	1,71	0,36	107,4	C	BTS
	98	17	08	1999	04	13	48	40,69	29,19	9	R	4,2	R	4,3	D1	40,184	29,131	3,14	3,66	1,22	56,5	C	BRS
	99	17	08	1999	04	13	48	40,69	29,19	9	R	4,2	R	4,3	D1	41,058	29,013	3,36	2,87	1,59	43,6	B	IST
	100	17	08	1999	04	13	48	40,69	29,19	9	R	4,2	R	4,3	D1	41,003	28,928	3,54	3,23	4,58	41,2	D	KMP
<b>24</b>	101	17	08	1999	05	54	42	40,78	29,05	5	R	4,3	R	4,4	D1	40,823	29,360	5,54	4,20	4,21	26,5	C	ARC
	102	17	08	1999	05	54	42	40,78	29,05	5	R	4,3	R	4,4	D1	40,992	27,980	2,25	2,32	0,48	93,1	C	BTS
	103	17	08	1999	05	54	42	40,78	29,05	5	R	4,3	R	4,4	D1	40,986	28,908	9,82	10,03	14,77	25,8	D	ZYT
<b>25</b>	104	17	08	1999	20	30	41	40,75	29,29	14	R	4,3	R	4,4	D1	40,992	27,980	1,46	1,89	0,36	113,6	C	BTS
	105	17	08	1999	20	30	41	40,75	29,29	14	R	4,3	R	4,4	D1	40,260	29,068	3,30	6,29	1,40	57,6	D	BUR
	106	17	08	1999	20	30	41	40,75	29,29	14	R	4,3	R	4,4	D1	40,757	29,367	39,67	26,31	19,41	6,5	D	DAR
	107	17	08	1999	20	30	41	40,75	29,29	14	R	4,3	R	4,4	D1	40,765	29,894	2,06	4,87	2,62	50,9	A	SEK
	108	17	08	1999	20	30	41	40,75	29,29	14	R	4,3	R	4,4	D1	40,986	28,908	7,59	5,08	6,51	41,5	D	ZYT
<b>26</b>	109	19	08	1999	14	15	59	40,62	29,10	12	R	4,4	K	4,6	D1	40,824	29,361	2,56	1,59	1,28	31,6	C	ARC
	110	19	08	1999	14	15	59	40,62	29,10	12	R	4,4	K	4,6	D1	40,981	28,693	2,56	2,56	1,28	52,8	D	ATS

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	111	19	08	1999	14	15	59	40,62	29,10	12	R	4,4	K	4,6	D1	40,184	29,131	3,63	2,53	1,77	48,6	C	BRS
	112	19	08	1999	14	15	59	40,62	29,10	12	R	4,4	K	4,6	D1	40,992	27,980	2,38	1,89	0,55	103,2	C	BTS
	113	19	08	1999	14	15	59	40,62	29,10	12	R	4,4	K	4,6	D1	40,260	29,068	6,35	4,82	3,11	40,1	D	BUR
	114	19	08	1999	14	15	59	40,62	29,10	12	R	4,4	K	4,6	D1	41,024	28,759	2,75	2,38	1,16	53,4	D	CNA
	115	19	08	1999	14	15	59	40,62	29,10	12	R	4,4	K	4,6	D1	40,700	29,670	1,14	1,03	1,14	48,9	B	DGD
	116	19	08	1999	14	15	59	40,62	29,10	12	R	4,4	K	4,6	D1	41,020	28,950	4,58	2,62	1,65	46,2	D	FAT
	117	19	08	1999	14	15	59	40,62	29,10	12	R	4,4	K	4,6	D1	41,003	28,928	2,07	1,65	1,28	45,0	D	KMP
	118	19	08	1999	14	15	59	40,62	29,10	12	R	4,4	K	4,6	D1	40,986	28,908	8,31	10,04	5,10	43,8	D	ZYT
<b>27</b>	119	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	40,824	29,361	5,19	3,78	2,56	33,8	C	ARC
	120	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	40,981	28,693	1,77	1,83	1,34	54,0	D	ATS
	121	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	40,184	29,131	6,01	7,02	3,08	46,4	C	BRS
	122	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	40,992	27,980	2,01	2,86	0,61	103,4	C	BTS
	123	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	40,260	29,068	7,32	6,90	4,46	37,9	D	BUR
	124	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	41,024	28,759	3,60	2,56	1,87	54,8	D	CNA
	125	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	40,982	28,820	1,95	1,59	1,10	48,2	D	DHM
	126	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	40,774	29,812	1,24	1,30	1,08	64,0	C	DRC
	127	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	41,020	28,950	7,45	4,88	3,30	48,2	D	FAT
	128	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	41,019	28,969	2,44	2,50	1,83	47,7	D	GB
	129	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	41,058	29,013	1,89	2,56	1,10	51,3	B	IST
	130	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	41,003	28,928	2,69	3,48	2,07	46,9	D	KMP
	131	19	08	1999	15	17	45	40,60	29,09	9	R	4,7	R	5,2	H	41,081	29,011	2,13	1,28	0,73	53,9	B	YKP
<b>28</b>	132	20	08	1999	00	03	02	40,76	29,81	8	R	4,3	R	4,4	D1	40,824	29,361	7,75	3,60	2,56	38,5	C	ARC
	133	20	08	1999	00	03	02	40,76	29,81	8	R	4,3	R	4,4	D1	41,024	28,759	2,20	2,01	1,04	93,3	D	CNA
	134	20	08	1999	00	03	02	40,76	29,81	8	R	4,3	R	4,4	D1	40,757	29,367	4,88	7,02	2,81	37,3	D	DAR
	135	20	08	1999	00	03	02	40,76	29,81	8	R	4,3	R	4,4	D1	40,700	29,670	13,92	12,74	9,20	13,5	B	DGD
	136	20	08	1999	00	03	02	40,76	29,81	8	R	4,3	R	4,4	D1	41,020	28,950	2,81	1,89	1,40	78,0	D	FAT
	137	20	08	1999	00	03	02	40,76	29,81	8	R	4,3	R	4,4	D1	41,019	28,969	1,28	1,71	0,73	76,5	D	GB
	138	20	08	1999	00	03	02	40,76	29,81	8	R	4,3	R	4,4	D1	41,003	28,928	1,53	1,89	1,22	79,0	D	KMP

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	139	20	08	1999	00	03	02	40,76	29,81	8	R	4,3	R	4,4	D1	40,764	29,762	28,75	40,89	21,91	4,1	D	YPT
<b>29</b>	140	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	40,824	29,361	10,86	9,09	3,90	31,6	C	ARC
	141	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	40,981	28,693	1,89	2,38	1,10	52,8	D	ATS
	142	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	40,184	29,131	2,60	4,00	2,00	48,6	C	BRS
	143	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	40,261	29,068	4,15	4,09	2,62	40,0	D	BUR
	144	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	41,024	28,759	3,91	3,17	1,71	53,4	D	CNA
	145	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	40,757	29,367	1,83	2,13	0,73	27,2	D	DAR
	146	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	40,982	28,820	1,83	2,50	1,52	46,7	D	DHM
	147	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	40,700	29,670	2,33	2,24	2,21	48,9	B	DGD
	148	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	40,774	29,812	1,08	0,93	0,74	62,5	C	DRC
	149	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	41,020	28,950	7,51	4,46	2,32	46,2	D	FAT
	150	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	41,019	28,969	1,65	2,87	1,89	45,7	D	GB
	151	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	41,058	29,013	1,71	2,14	1,00	49,3	B	IST
	152	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	41,003	28,928	2,56	2,01	1,65	45,0	D	KMP
	153	20	08	1999	09	28	56	40,62	29,10	7	R	4,2	R	4,3	D1	41,081	29,011	1,34	0,73	0,73	51,8	B	YKP
<b>30</b>	154	20	08	1999	10	00	19	40,61	30,60	13	R	4,0	R	4,1	D1	40,747	31,610	3,54	3,36	2,08	86,6	D	BOL
<b>31</b>	155	20	08	1999	15	59	02	40,82	30,92	16	P	4,4	P	4,6	D1	40,747	31,610	6,41	5,31	1,16	58,6	D	BOL
<b>32</b>	156	22	08	1999	01	47	45	40,61	29,08	11	R	4,3	R	4,4	D1	40,824	29,361	2,26	1,71	1,53	33,6	C	ARC
	157	22	08	1999	01	47	45	40,61	29,08	11	R	4,3	R	4,4	D1	40,261	29,068	4,15	2,81	2,50	38,8	D	BUR
	158	22	08	1999	01	47	45	40,61	29,08	11	R	4,3	R	4,4	D1	41,024	28,759	1,59	1,65	0,73	53,4	D	CNA
	159	22	08	1999	01	47	45	40,61	29,08	11	R	4,3	R	4,4	D1	40,757	29,367	2,08	2,75	1,71	29,2	D	DAR
	160	22	08	1999	01	47	45	40,61	29,08	11	R	4,3	R	4,4	D1	41,020	28,950	2,26	1,89	1,40	46,9	D	FAT
<b>33</b>	161	22	08	1999	14	31	01	40,66	30,68	10	R	5,0	R	5,2	D2	40,671	30,623	35,60	37,81	55,83	5,0	D	AKY
	162	22	08	1999	14	31	01	40,66	30,68	10	R	5,0	R	5,2	D2	40,747	31,610	2,17	2,77	3,24	79,0	D	BOL
	163	22	08	1999	14	31	01	40,66	30,68	10	R	5,0	R	5,2	D2	41,024	28,759	2,32	2,81	0,80	167,0	D	CNA
	164	22	08	1999	14	31	01	40,66	30,68	10	R	5,0	R	5,2	D2	40,757	29,367	1,47	2,75	0,67	111,3	D	DAR
	165	22	08	1999	14	31	01	40,66	30,68	10	R	5,0	R	5,2	D2	40,774	29,812	1,00	0,73	1,73	74,3	C	DRC
	166	22	08	1999	14	31	01	40,66	30,68	10	R	5,0	R	5,2	D2	40,844	31,148	8,06	5,65	3,33	44,5	D	DUZ

**Ek- B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	167	22	08	1999	14	31	01	40,66	30,68	10	R	5,0	R	5,2	D2	41,020	28,950	3,72	5,31	1,95	151,3	D	FAT
	168	22	08	1999	14	31	01	40,66	30,68	10	R	5,0	R	5,2	D2	41,019	28,969	2,01	2,76	1,22	149,7	D	GB
	169	22	08	1999	14	31	01	40,66	30,68	10	R	5,0	R	5,2	D2	40,780	31,003	21,88	28,35	10,88	30,3	D	GLY
	170	22	08	1999	14	31	01	40,66	30,68	10	R	5,0	R	5,2	D2	41,003	28,938	2,69	3,05	1,83	151,8	D	KMP
	171	22	08	1999	14	31	01	40,66	30,68	10	R	5,0	R	5,2	D2	40,765	29,894	2,24	2,00	2,37	67,3	A	SEK
	172	22	08	1999	14	31	01	40,66	30,68	10	R	5,0	R	5,2	D2	41,058	29,013	1,07	1,09	0,64	147,4	B	IST
<b>34</b>	173	26	08	1999	17	49	38	40,74	30,02	3	N	4,1	R	4,2	D1	40,710	29,907	24,79	17,81	8,40	10,1	D	BHC
	174	26	08	1999	17	49	38	40,74	30,02	3	N	4,1	R	4,2	D1	40,700	29,670	1,13	1,28	1,15	29,8	B	DGD
	175	26	08	1999	17	49	38	40,74	30,02	3	N	4,1	R	4,2	D1	40,774	29,812	2,70	3,91	2,47	17,9	C	DRC
	176	26	08	1999	17	49	38	40,74	30,02	3	N	4,1	R	4,2	D1	40,782	29,416	1,75	1,53	1,17	51,1	C	GEB
	177	26	08	1999	17	49	38	40,74	30,02	3	N	4,1	R	4,2	D1	40,765	29,894	24,47	45,82	16,88	11,0	A	SEK
	178	26	08	1999	17	49	38	40,74	30,02	3	N	4,1	R	4,2	D1	40,737	30,384	1,95	3,39	1,62	30,7	B	SKR
	179	26	08	1999	17	49	38	40,74	30,02	3	N	4,1	R	4,2	D1	40,689	30,257	2,25	2,84	3,56	20,8	D	SPN
	180	26	08	1999	17	49	38	40,74	30,02	3	N	4,1	R	4,2	D1	40,764	29,762	4,39	2,50	1,40	21,9	D	YPT
<b>35</b>	181	29	08	1999	10	14	55	40,87	31,23	7	P	4,8	P	5,0	D1	40,671	30,623	2,70	1,86	1,27	55,6	D	AKY
	182	29	08	1999	10	14	55	40,87	31,23	7	P	4,8	P	5,0	D1	40,844	31,148	166,92	160,32	40,90	7,5	D	DUZ
	183	29	08	1999	10	14	55	40,87	31,23	7	P	4,8	P	5,0	D1	40,844	31,148	145,69	165,53	48,00	7,5	D	DZC
	184	29	08	1999	10	14	55	40,87	31,23	7	R	4,8	P	5,0	D1	40,780	31,003	61,81	72,37	25,30	21,6	D	GLY
	185	29	08	1999	10	14	55	40,87	31,23	7	P	4,8	P	5,0	D1	40,737	30,384	1,00	1,40	1,53	72,7	B	SKR
<b>36</b>	186	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,762	30,355	30,65	38,38	25,70	36,6	D	140
	187	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,773	30,398	37,02	45,43	16,91	40,3	D	141
	188	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,824	29,361	3,78	5,31	3,17	47,5	C	ARC
	189	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,981	28,693	3,72	3,60	2,62	106,0	D	ATS
	190	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,710	29,907	222,32	193,89	65,45	6,8	D	BHC
	191	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,184	29,131	2,08	1,59	1,16	93,1	C	BRS
	192	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,992	27,980	1,65	1,95	0,61	165,2	C	BTS
	193	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,261	29,068	3,60	3,66	1,77	91,4	D	BUR
	194	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	41,024	28,759	5,25	4,03	2,50	101,8	D	CNA

**Ek- B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	195	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,757	29,367	3,54	4,46	2,80	46,6	D	<b>DAR</b>
	196	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,844	31,148	3,15	3,74	1,47	103,7	D	<b>DUZ</b>
	197	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	41,020	28,950	5,86	6,17	4,15	86,3	D	<b>FAT</b>
	198	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	41,019	28,969	3,30	4,39	2,26	84,7	D	<b>GB</b>
	199	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,869	29,088	2,38	1,89	1,71	70,9	C	<b>HAS</b>
	200	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,782	29,416	10,78	8,11	6,06	42,5	C	<b>GEB</b>
	201	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,780	31,003	8,00	7,92	2,13	91,2	D	<b>GLY</b>
	202	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	41,058	29,013	1,71	1,86	1,07	82,8	B	<b>IST</b>
	203	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,767	29,917	82,45	96,38	44,42	1,1	A	<b>IZT</b>
	204	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	41,003	28,928	3,54	4,64	3,36	87,5	D	<b>KMP</b>
	205	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,737	30,384	24,41	17,06	8,42	39,2	B	<b>SKR</b>
	206	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,689	30,257	32,86	31,03	25,00	29,8	D	<b>SPN</b>
	207	31	08	1999	08	10	49	40,77	29,92	17	P	5,2	P	5,5	D2	40,764	29,762	14,34	21,24	10,31	13,3	D	<b>YPT</b>
<b>37</b>	208	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,762	30,355	8,09	14,04	8,53	35,2	D	<b>140</b>
	209	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,773	30,398	10,66	10,76	9,52	38,7	D	<b>141</b>
	210	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,824	29,361	6,65	4,39	2,38	48,8	C	<b>ARC</b>
	211	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,981	28,693	2,62	2,69	2,13	106,9	D	<b>ATS</b>
	212	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,710	29,907	119,22	140,45	26,71	10,4	D	<b>BHC</b>
	213	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,184	29,131	1,47	1,04	0,82	96,6	C	<b>BRS</b>
	214	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,992	27,980	1,40	1,65	0,60	166,4	C	<b>BTS</b>
	215	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,261	29,068	3,54	3,54	1,40	94,8	D	<b>BUR</b>
	216	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	41,024	28,759	3,50	2,56	1,22	102,5	D	<b>CNA</b>
	217	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,757	29,367	2,14	4,27	2,38	48,5	D	<b>DAR</b>
	218	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,700	29,670	3,89	5,93	4,03	25,3	B	<b>DGD</b>
	219	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	41,020	28,950	4,52	3,36	2,38	86,8	D	<b>FAT</b>
	220	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	41,019	28,969	2,01	3,23	1,47	85,3	D	<b>GB</b>
	221	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,780	31,003	1,29	1,21	0,56	89,5	D	<b>GLY</b>
	222	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,869	29,088	1,40	1,28	0,85	72,1	C	<b>HAS</b>

**Ek- B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	223	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	41,058	29,013	1,31	1,46	0,76	83,1	B	IST
	224	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,767	29,917	59,01	45,67	22,03	4,1	A	IZT
	225	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	41,003	28,928	2,56	2,74	3,42	88,1	D	KMP
	226	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,737	30,384	4,55	10,65	2,81	38,0	B	SKR
	227	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,689	30,257	7,24	7,23	6,94	29,4	D	SPN
	228	31	08	1999	08	33	23	40,80	29,94	10	R	4,6	R	4,8	D1	40,764	29,762	21,85	16,85	8,30	15,5	D	YPT
<b>38</b>	229	31	08	1999	22	28	34	40,62	29,05	8	R	4,2	R	4,3	D1	40,824	29,361	2,26	1,95	0,79	34,7	C	ARC
	230	31	08	1999	22	28	34	40,62	29,05	8	R	4,2	R	4,3	D1	40,710	29,907	3,88	2,39	1,15	73,0	D	BHC
	231	31	08	1999	22	28	34	40,62	29,05	8	R	4,2	R	4,3	D1	40,184	29,131	2,75	1,86	1,04	49,0	C	BRS
	232	31	08	1999	22	28	34	40,62	29,05	8	R	4,2	R	4,3	D1	40,261	29,068	3,97	2,93	1,40	39,9	D	BUR
	233	31	08	1999	22	28	34	40,62	29,05	8	R	4,2	R	4,3	D1	40,757	29,367	2,75	4,52	1,16	30,8	D	DAR
	234	31	08	1999	22	28	34	40,62	29,05	8	R	4,2	R	4,3	D1	40,700	29,670	1,09	1,55	0,93	53,1	B	DGD
	235	31	08	1999	22	28	34	40,62	29,05	8	R	4,2	R	4,3	D1	41,020	28,950	2,81	1,40	0,85	45,3	D	FAT
	236	31	08	1999	22	28	34	40,62	29,05	8	R	4,2	R	4,3	D1	40,780	31,003	1,27	1,13	0,38	165,8	D	GLY
	237	31	08	1999	22	28	34	40,62	29,05	8	R	4,2	R	4,3	D1	40,689	30,257	1,35	1,54	1,09	102,2	D	SPN
<b>39</b>	238	01	09	1999	13	57	36	40,79	29,97	11	R	4,0	R	4,1	D1	40,762	30,355	2,75	2,94	2,37	32,6	D	140
	239	01	09	1999	13	57	36	40,79	29,97	11	R	4,0	R	4,1	D1	40,824	29,361	2,08	1,04	0,61	51,4	C	ARC
	240	01	09	1999	13	57	36	40,79	29,97	11	R	4,0	R	4,1	D1	40,710	29,907	25,81	29,51	11,44	10,4	D	BHC
	241	01	09	1999	13	57	36	40,79	29,97	11	R	4,0	R	4,1	D1	40,781	29,416	1,44	1,33	0,78	46,7	C	GEB
	242	01	09	1999	13	57	36	40,79	29,97	11	R	4,0	R	4,1	D1	40,737	30,384	1,22	1,67	0,92	35,3	B	SKR
	243	01	09	1999	13	57	36	40,79	29,97	11	R	4,0	R	4,1	D1	40,689	30,257	2,41	4,42	3,71	26,6	D	SPN
	244	01	09	1999	13	57	36	40,79	29,97	11	R	4,0	R	4,1	D1	40,720	30,079	12,16	17,74	26,75	12,0	D	TPT
	245	01	09	1999	13	57	36	40,79	29,97	11	R	4,0	R	4,1	D1	40,764	29,762	7,26	2,68		17,7	D	YPT
<b>40</b>	246	02	09	1999	14	25	19	40,62	30,66	14	R	4,2	R	4,3	D1	40,762	30,355	14,30	11,18	7,26	30,2	D	140
	247	02	09	1999	14	25	19	40,62	30,66	14	R	4,2	R	4,3	D1	40,756	30,390	8,02	4,86	2,31	27,3	D	ADP
	248	02	09	1999	14	25	19	40,62	30,66	14	R	4,2	R	4,3	D1	40,671	30,623	57,29	33,63	25,87	6,5	D	AKY
	249	02	09	1999	14	25	19	40,62	30,66	14	R	4,2	R	4,3	D1	40,844	31,148	2,44	1,54	1,15	48,1	D	DUZ
	250	02	09	1999	14	25	19	40,62	30,66	14	R	4,2	R	4,3	D1	40,780	31,003	5,59	5,23	2,25	34,0	D	GLY

**Ek- B. (Devam)**

Dep.	Kayıt				Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
	No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B			
	251	02	09	1999	14	25	19	40,62	30,66	14	R	4,2	R	4,3	D1	40,796	30,736	2,77	2,37	3,63	20,6	C	HEN
	252	02	09	1999	14	25	19	40,62	30,66	14	R	4,2	R	4,3	D1	40,737	30,384	7,38	7,26	2,53	26,7	B	SKR
	253	02	09	1999	14	25	19	40,62	30,66	14	R	4,2	R	4,3	D1	40,689	30,257	2,04	2,56	3,41	34,9	D	SPN
<b>41</b>	254	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,762	30,355	6,41	6,69	6,41	36,6	D	140
	255	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,756	30,390	2,74	1,63	1,48	39,6	D	ADP
	256	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,824	29,361	4,88	1,04	2,80	47,5	C	ARC
	257	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,981	28,693	1,04	0,85	3,11	106,0	D	ATS
	258	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,710	29,907	29,32	24,58	11,66	6,8	D	BHC
	259	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,261	29,068	2,32	2,01	0,97	91,4	D	BUR
	260	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	41,024	28,759	1,95	1,77	1,89	101,8	D	CNA
	261	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,757	29,367	1,04	1,28	0,55	46,6	D	DAR
	262	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,700	29,670	1,43	1,30	1,55	22,4	B	DGD
	263	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,774	29,812	5,75	10,46	8,38	9,1	C	DRC
	264	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	41,020	28,950	2,14	1,89	1,95	86,3	D	FAT
	265	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	41,003	28,928	1,47	1,95	1,40	87,5	D	KMP
	266	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,765	29,894	47,05	77,90	43,04	2,3	A	SEK
	267	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,737	30,384	1,77	2,87	2,86	39,2	B	SKR
	268	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,689	30,257	5,66	6,27	4,15	29,8	D	SPN
	269	04	09	1999	10	30	54	40,77	29,92	22	R	4,2	R	4,3	D1	40,764	29,762	6,10	7,51	5,07	13,3	D	YPT
<b>42</b>	270	04	09	1999	18	27	43	40,73	30,30	15	R	4,0	R	4,1	D1	40,756	30,390	4,62	3,54	3,36	8,1	D	ADP
	271	04	09	1999	18	27	43	40,73	30,30	15	R	4,0	R	4,1	D1	40,671	30,623	1,00	1,22	0,68	28,0	D	AKY
	272	04	09	1999	18	27	43	40,73	30,30	15	R	4,0	R	4,1	D1	40,710	29,907	2,08	1,91	1,26	33,2	D	BHC
	273	04	09	1999	18	27	43	40,73	30,30	15	R	4,0	R	4,1	D1	40,689	30,257	14,02	8,53	11,18	5,8	D	SPN
<b>43</b>	274	05	09	1999	19	52	47	40,61	30,57	5	R	4,2	R	4,3	D1	40,671	30,623	31,35	31,81	47,44	8,1	D	AKY
	275	05	09	1999	19	52	47	40,61	30,57	5	R	4,2	R	4,3	D1	40,844	31,148	1,53	1,25	0,54	55,3	D	DUZ
	276	05	09	1999	19	52	47	40,61	30,57	5	R	4,2	R	4,3	D1	40,780	31,003	3,18	2,22	1,18	41,2	D	GLY
	277	05	09	1999	19	52	47	40,61	30,57	5	R	4,2	R	4,3	D1	40,796	30,736	1,37	1,10	1,60	25,0	C	HEN
	278	05	09	1999	19	52	47	40,61	30,57	5	R	4,2	R	4,3	D1	40,737	30,384	4,67	7,39	2,81	21,1	B	SKR

**Ek- B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
		No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G			
44	279	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,762	30,355	7,10	3,89	3,83	51,9	D	140
	280	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,773	30,398	6,53	3,71	6,15	55,7	D	141
	281	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,824	29,361	2,75	3,42	2,19	33,6	C	ARC
	282	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,981	28,693	2,01	1,34	0,85	92,5	D	ATS
	283	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,710	29,907	11,74	12,12	13,65	14,2	D	BHC
	284	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	41,024	28,759	1,83	1,34	0,73	88,9	D	CNA
	285	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,757	29,367	2,01	3,72	1,52	31,6	D	DAR
	286	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	41,020	28,950	2,44	2,50	1,58	74,0	D	FAT
	287	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	41,019	28,969	1,04	2,32	0,91	72,5	D	GB
	288	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,782	29,416	4,64	5,90	1,94	27,9	C	GBE
	289	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	41,003	28,928	1,22	1,53	0,98	74,9	D	KMP
	290	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,737	30,384	1,98	2,69	1,40	54,3	B	SKR
291	06	09	1999	06	33	27	40,73	29,74	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,764	29,762	48,16	53,96	18,74	4,2	D	YPT	
45	292	06	09	1999	06	59	52	40,62	30,94	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,671	30,623	1,54	1,89	0,92	27,3	D	AKY
	293	06	09	1999	06	59	52	40,62	30,94	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,844	31,148	22,30	12,10	20,47	30,5	D	DUZ
	294	06	09	1999	06	59	52	40,62	30,94	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,780	31,003	69,19	47,02	42,55	18,6	D	GLY
	295	06	09	1999	06	59	52	40,62	30,94	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,796	30,736	4,09	3,16	2,15	26,1	C	HEN
46	296	06	09	1999	19	44	29	40,85	31,07	3	P	4,0	P	4,1	D1	40,844	31,148	19,20	28,18	16,63	6,6	D	DUZ
	297	06	09	1999	19	44	29	40,85	31,07	3	P	4,0	P	4,1	D1	40,844	31,148	16,58	25,20	18,24	6,6	D	DZC
	298	06	09	1999	19	44	29	40,85	31,07	3	P	4,0	P	4,1	D1	40,780	31,003	23,63	27,59	22,05	9,6	D	GLY
47	299	09	09	1999	01	32	07	40,72	29,14	10	R	4,2	R	4,3	D1	40,824	29,361	10,07	5,98	3,72	21,9	C	ARC
	300	09	09	1999	01	32	07	40,72	29,14	10	R	4,2	R	4,3	D1	40,710	29,907	1,42	1,45	0,52	64,6	D	BHC
	301	09	09	1999	01	32	07	40,72	29,14	10	R	4,2	R	4,3	D1	40,184	29,131	1,04	2,04	0,70	59,6	C	BRS
	302	09	09	1999	01	32	07	40,72	29,14	10	R	4,2	R	4,3	D1	41,024	28,759	1,28	1,47	0,79	46,6	D	CNA
	303	09	09	1999	01	32	07	40,72	29,14	10	R	4,2	R	4,3	D1	40,757	29,367	5,80	4,46	2,68	19,6	D	DAR
	304	09	09	1999	01	32	07	40,72	29,14	10	R	4,2	R	4,3	D1	40,774	29,812	1,64	2,80	0,79	57,0	C	DRC
	305	09	09	1999	01	32	07	40,72	29,14	10	R	4,2	R	4,3	D1	41,020	28,950	10,13	10,86	3,97	37,0	D	FAT
	306	09	09	1999	01	32	07	40,72	29,14	10	R	4,2	R	4,3	D1	41,019	28,969	2,26	2,32	1,22	36,2	D	GB



**Ek- B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	307	09	09	1999	01	32	07	40,72	29,14	10	R	4,2	R	4,3	D1	40,782	29,416	11,16	7,06	2,50	24,3	C	GEB
	308	09	09	1999	01	32	07	40,72	29,14	10	R	4,2	R	4,3	D1	41,058	29,013	2,72	2,28	1,95	39,1	B	IST
	309	09	09	1999	01	32	07	40,72	29,14	10	R	4,2	R	4,3	D1	41,003	28,928	2,44	2,44	1,46	36,2	D	KMP
	310	09	09	1999	01	32	07	40,72	29,14	10	R	4,2	R	4,3	D1	41,081	29,011	3,97	1,47	1,16	41,6	B	YKP
<b>48</b>	311	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,762	30,355	196,35	143,84	211,71	25,9	D	140
	312	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,773	30,398	70,85	67,62	43,29	29,1	D	141
	313	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,824	29,361	23,44	26,19	16,78	58,8	C	ARC
	314	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,989	28,849	22,56	26,03	10,21	103,4	D	ATK
	315	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,981	28,693	40,16	33,39	15,44	116,2	D	ATS
	316	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,710	29,907	389,83	317,31	74,99	18,5	D	BHC
	317	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,184	29,131	26,03	14,59	9,27	106,2	C	BRS
	318	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,992	27,980	13,92	11,41	3,35	175,9	C	BTS
	319	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,261	29,068	51,03	42,72	15,68	104,7	D	BUR
	320	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	41,024	28,759	37,78	29,30	12,27	111,6	D	CNA
	321	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,757	29,367	20,81	29,11	13,24	58,9	D	DAR
	322	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,982	28,820	18,31	22,77	8,67	105,7	D	DHM
	323	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,844	31,148	10,18	10,32	3,72	91,6	D	DUZ
	324	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	41,020	28,950	71,11	64,63	25,63	95,8	D	FAT
	325	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	41,019	28,969	33,75	45,47	21,61	94,2	D	GB
	326	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,782	29,416	84,64	48,28	23,24	54,4	C	GEB
	327	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,785	30,392	70,31	55,18	29,79	28,4	D	GEN
	328	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,780	31,003	15,25	13,30	4,55	79,5	D	GLY
	329	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	41,058	29,013	14,13	15,59	9,71	91,7	B	IST
	330	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,437	29,691	61,32	75,43	13,76	53,6	D	IZNK
	331	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,767	29,917	73,69	318,33	73,51	13,9	A	IZT
	332	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	41,003	28,928	54,87	38,09	23,01	97,2	D	KMP
	333	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	41,065	28,997	32,35	14,46	31,62	93,2	C	MCD
	334	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,785	30,380	144,53	68,84	38,57	27,4	C	SKF

**Ek- B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	335	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,737	30,384	42,21	50,59	23,35	29,2	B	SKR
	336	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,720	30,079	342,09	612,08	191,92	12,3	D	TPT
	337	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	41,081	29,011	8,55	6,10	5,13	92,6	B	YKP
	338	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,764	29,762	86,98	93,26	52,43	26,1	D	YPT
	339	13	09	1999	11	55	28	40,83	30,06	14	R	5,5	R	5,9	N	40,986	28,908	89,92	107,98	32,60	98,5	D	ZYT
<b>49</b>	340	17	09	1999	19	50	06	40,78	30,13	12	R	4,5	R	4,7	D1	40,762	30,355	141,61	105,23	90,28	19,1	D	140
	341	17	09	1999	19	50	06	40,78	30,13	12	R	4,5	R	4,7	D1	40,773	30,398	44,64	26,13	25,81	22,6	D	141
	342	17	09	1999	19	50	06	40,78	30,13	12	R	4,5	R	4,7	D1	40,824	29,361	1,40	1,46	0,97	64,9	C	ARC
	343	17	09	1999	19	50	06	40,78	30,13	12	R	4,5	R	4,7	D1	40,710	29,907	12,56	9,09	4,50	20,3	D	BHC
	344	17	09	1999	19	50	06	40,78	30,13	12	R	4,5	R	4,7	D1	40,844	31,148	4,08	3,56	1,02	86,0	D	DUZ
	345	17	09	1999	19	50	06	40,78	30,13	12	R	4,5	R	4,7	D1	40,782	29,416	1,83	1,76	0,80	60,1	C	GEN
	346	17	09	1999	19	50	06	40,78	30,13	12	R	4,5	R	4,7	D1	40,785	30,392	34,67	32,72	12,69	22,1	D	GEN
	347	17	09	1999	19	50	06	40,78	30,13	12	R	4,5	R	4,7	D1	40,780	31,003	6,92	5,02	2,16	73,5	D	GLY
	348	17	09	1999	19	50	06	40,78	30,13	12	R	4,5	R	4,7	D1	40,765	29,894	8,15	5,35	12,82	19,9	A	SEK
	349	17	09	1999	19	50	06	40,78	30,13	12	R	4,5	R	4,7	D1	40,785	30,380	73,24	36,13	19,53	21,1	C	SKF
	350	17	09	1999	19	50	06	40,78	30,13	12	R	4,5	R	4,7	D1	40,737	30,384	39,09	72,51	17,55	21,9	B	SKR
	351	17	09	1999	19	50	06	40,78	30,13	12	R	4,5	R	4,7	D1	40,764	29,762	2,50	2,69	2,62	31,0	D	YPT
<b>50</b>	352	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,762	30,355	40,81	38,05	27,86	15,3	D	140
	353	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,671	30,623	30,08	34,00	21,44	10,4	D	AKY
	354	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,710	29,907	3,07	3,05	1,46	50,1	D	BHC
	355	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,844	31,148	1,53	1,90	1,04	57,6	D	DUZ
	356	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	41,020	28,950	2,01	1,83	0,85	136,1	D	FAT
	357	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,785	30,392	30,76	26,37	12,20	14,8	D	GEN
	358	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,780	31,003	3,57	2,69	4,41	43,8	D	GLY
	359	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,796	30,736	2,80	3,76	3,31	23,7	C	HEN
	360	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,765	29,894	2,36	2,98	1,76	52,0	A	SEK
	361	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,785	30,380	41,02	30,76	7,81	15,5	C	SKF
	362	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,737	30,384	18,68	32,53	11,41	11,7	B	SKR

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	363	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,720	30,079	5,06	6,39	6,45	35,8	D	TPT
	364	19	09	1999	20	26	36	40,68	30,50	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,650	29,270	1,21	1,46	0,57	103,8	D	YLV
<b>51</b>	365	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,824	29,361	1,65	1,53	0,61	150,8	C	ARC
	366	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,989	28,849	6,16	4,74	3,54	111,7	D	ATK
	367	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,981	28,693	8,55	6,16	3,54	98,9	D	ATS
	368	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,710	29,907	2,29	1,99	0,85	196,2	D	BHC
	369	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,184	29,131	1,80	1,16	0,76	142,8	C	BRS
	370	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,992	27,980	7,02	7,51	2,44	46,8	C	BTS
	371	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,261	29,068	2,26	2,81	1,04	134,6	D	BUR
	372	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	41,024	28,759	8,97	7,32	3,72	105,7	D	CNA
	373	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,142	26,400	2,78	3,54	2,17	117,2	D	CNK
	374	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,757	29,367	2,32	2,38	0,61	150,8	D	DAR
	375	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,982	28,820	5,74	3,72	2,32	109,1	D	DHM
	376	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	41,020	28,950	15,93	11,29	6,65	120,8	D	FAT
	377	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	41,019	28,969	8,61	6,17	4,70	122,3	D	GB
	378	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,869	29,088	2,99	2,32	1,53	128,5	C	HAS
	379	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	41,058	29,013	2,78	3,54	2,26	127,2	B	IST
	380	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	41,003	28,928	9,16	7,02	3,47	118,5	D	KMP
	381	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,979	27,515	9,46	14,01	3,78	31,5	B	TKR
	382	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	41,081	29,011	2,20	1,53	0,98	127,9	B	YKP
	383	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,650	29,270	1,92	2,22	0,91	142,6	D	YLV
	384	20	09	1999	21	28	00	40,70	27,58	13	R	5,0	R	5,2	D2	40,986	28,908	12,54	15,13	5,55	116,4	D	ZYT
<b>52</b>	385	26	09	1999	11	13	04	40,70	29,31	14	P	3,9	P	4,0	D1	40,824	29,361	29,42	13,31	12,39	14,4	C	ARC
	386	26	09	1999	11	13	04	40,70	29,31	14	P	3,9	P	4,0	D1	40,261	29,068	2,14	3,30	1,10	52,9	D	BUR
	387	26	09	1999	11	13	04	40,70	29,31	14	P	3,9	P	4,0	D1	40,757	29,367	13,92	19,71	28,50	8,0	D	DAR
	388	26	09	1999	11	13	04	40,70	29,31	14	P	3,9	P	4,0	D1	41,020	28,950	1,89	1,40	0,67	46,8	D	FAT
	389	26	09	1999	11	13	04	40,70	29,31	14	P	3,9	P	4,0	D1	40,782	29,416	13,72	18,27	12,98	12,8	C	GEB
	390	26	09	1999	11	13	04	40,70	29,31	14	P	3,9	P	4,0	D1	40,765	29,894	1,84	1,13	1,52	49,8	A	SEK

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	391	26	09	1999	11	13	04	40,70	29,31	14	P	3,9	P	4,0	D1	40,650	29,270	65,43	35,15	29,84	6,5	D	YLV
	392	26	09	1999	11	13	04	40,70	29,31	14	P	3,9	P	4,0	D1	40,764	29,762	1,22	1,47	1,22	38,8	D	YPT
<b>53</b>	393	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,762	30,355	38,68	32,53	11,16	89,6	D	140
	394	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,671	30,623	7,34	8,25	2,78	111,6	D	AKY
	395	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,824	29,361	70,13	44,13	35,22	17,9	C	ARC
	396	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,989	28,849	3,79	6,53	3,02	52,0	D	ATK
	397	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,981	28,693	3,17	3,48	2,62	61,8	D	ATS
	398	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,710	29,907	93,86	76,74	22,50	51,4	D	BHC
	399	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,184	29,131	1,92	4,12	1,95	55,9	C	BRS
	400	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,992	27,980	2,62	1,95	0,67	116,9	C	BTS
	401	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,261	29,068	8,42	12,02	3,97	49,5	D	BUR
	402	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,982	28,820	2,32	2,32	1,64	53,3	D	DHM
	403	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,844	31,148	7,84	7,42	2,68	157,1	D	DUZ
	404	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	41,020	28,950	13,18	9,58	5,00	48,8	D	FAT
	405	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	41,019	28,969	6,41	4,46	3,60	47,8	D	GB
	406	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,785	30,392	32,23	30,27	10,25	93,0	D	GEN
	407	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,820	29,440	80,73	43,64	26,51	20,4	B	GBZ
	408	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,780	31,003	22,82	19,85	4,67	144,1	D	GLY
	409	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	41,058	29,013	3,54	3,24	1,77	49,5	B	IST
	410	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,437	29,691	45,96	30,00	13,07	41,9	D	IZNK
	411	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,767	29,917	27,43	30,81	11,59	53,1	A	IZT
	412	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	41,003	28,928	7,08	6,35	5,25	48,5	D	KMP
	413	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,785	30,380	50,29	43,95	11,72	92,0	C	SKF
	414	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,737	30,384	11,87	13,70	6,56	91,7	B	SKR
	415	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,689	30,257	18,10	21,87	10,55	80,7	D	SPN
	416	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	41,081	29,011	2,81	2,69	1,34	51,8	B	YKP
	417	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,650	29,270	62,76	56,96	55,78	3,4	D	YLV
	418	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,764	29,762	34,42	34,91	20,99	40,3	D	YPT

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	419	29	09	1999	00	13	07	40,67	29,30	14	R	4,9	R	5,2	H	40,986	28,908	10,07	11,31	8,89	48,2	D	ZYT
<b>54</b>	420	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,824	29,361	7,87	6,96	5,43	28,1	C	ARC
	421	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,989	28,849	26,97	19,03	14,42	26,9	D	ATK
	422	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,981	28,693	14,10	12,27	8,18	35,4	D	ATS
	423	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,184	29,131	1,13	1,65	1,22	67,9	C	BRS
	424	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,992	27,980	9,89	7,08	2,08	91,2	C	BTS
	425	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,261	29,068	2,26	2,50	1,40	58,9	D	BUR
	426	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	41,024	28,759	17,76	9,46	10,62	34,6	D	CNA
	427	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,757	29,367	9,28	12,45	5,98	28,6	D	DAR
	428	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,982	28,820	8,48	10,19	7,14	27,7	D	DHM
	429	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	41,020	28,950	70,37	41,44	25,27	26,4	D	FAT
	430	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	41,019	28,969	21,18	16,11	12,63	26,0	D	GB
	431	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,726	29,815	9,84	12,09	3,86	66,5	D	GLC
	432	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,869	29,088	68,18	63,29	86,79	10,1	C	HAS
	433	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	41,003	28,928	13,24	13,49	11,72	25,2	D	KMP
	434	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	41,065	28,997	26,37	20,45	17,24	30,7	C	MCD
	435	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,765	29,894	2,64	2,34	2,11	72,8	A	SEK
	436	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,737	30,384	1,37	1,83	1,04	114,1	B	SKR
	437	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,979	27,515	3,17	3,85	1,31	129,3	B	TKR
	438	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,720	30,079	4,61	4,64	2,67	88,7	D	TPT
	439	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	41,081	29,011	7,63	5,86	3,23	32,4	B	YKP
	440	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,764	29,762	2,62	2,50	2,26	61,7	D	YPT
	441	20	10	1999	23	08	20	40,79	29,03	5	R	4,8	R	5,0	D1	40,986	28,908	32,97	35,51	43,03	24,1	D	ZYT
<b>55</b>	442	07	11	1999	16	54	41	40,74	30,69	10	R	5,1	R	5,0	H	41,020	28,950	2,87	4,15	2,38	149,9	D	FAT
	443	07	11	1999	16	54	41	40,74	30,69	10	R	5,1	R	5,0	H	40,647	29,264	2,76	3,43	1,80	120,6	D	HIL
	444	07	11	1999	16	54	41	40,74	30,69	10	R	5,1	R	5,0	H	41,003	28,928	2,56	1,89	1,22	151,3	D	KMP
	445	07	11	1999	16	54	41	40,74	30,69	10	R	5,1	R	5,0	H	40,737	30,384	9,28	16,20	6,29	25,8	B	SKR
	446	07	11	1999	16	54	41	40,74	30,69	10	R	5,1	R	5,0	H	40,764	29,762	1,22	1,46	0,85	78,2	D	YPT

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
		No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G			
<b>56</b>	447	07	11	1999	17	06	05	40,75	30,67	3	R	4,3	R	4,4	D1	40,737	30,384	4,64	6,62	2,50	24,1	B	<b>SKR</b>
<b>57</b>	448	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,824	29,361	10,01	7,69	7,51	74,6	C	<b>ARC</b>
	449	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,989	28,849	8,80	7,29	4,36	120,4	D	<b>ATK</b>
	450	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,981	28,693	18,37	9,89	4,64	133,1	D	<b>ATS</b>
	451	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,652	29,282	8,16	9,83	4,59	81,3	D	<b>BAH</b>
	452	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,184	29,131	3,05	3,02	2,17	112,0	C	<b>BRS</b>
	453	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,992	27,980	3,05	3,72	1,16	192,5	C	<b>BTS</b>
	454	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,261	29,068	9,03	6,47	4,76	112,2	D	<b>BUR</b>
	455	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	41,024	28,759	13,06	11,72	6,04	128,7	D	<b>CNA</b>
	456	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,757	29,367	8,67	13,61	5,68	73,6	D	<b>DAR</b>
	457	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,982	28,820	5,98	5,79	3,05	122,6	D	<b>DHM</b>
	458	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	41,020	28,950	17,76	13,79	8,42	113,1	D	<b>FAT</b>
	459	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	41,019	28,969	6,72	8,24	4,76	111,5	D	<b>GB</b>
	460	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,726	29,815	37,11	44,59	31,06	35,8	D	<b>GLC</b>
	461	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	41,058	29,013	4,52	4,33	3,11	109,3	B	<b>IST</b>
	462	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	41,003	28,928	12,94	11,72	6,04	114,3	D	<b>KMP</b>
	463	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,737	30,384	206,54	345,27	133,33	12,1	B	<b>SKR</b>
	464	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	41,081	29,011	4,88	2,99	3,78	110,3	B	<b>YKP</b>
	465	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,764	29,762	24,35	17,51	22,33	40,4	D	<b>YPT</b>
	466	11	11	1999	14	41	25	40,74	30,24	15	R	5,7	R	6,1	D2	40,986	28,908	31,43	38,28	11,85	115,5	D	<b>ZYT</b>
<b>58</b>	467	11	11	1999	14	55	24	40,78	30,45	10	N	4,4	R	4,6	D1	40,981	28,693	3,17	1,34	0,85	149,6	D	<b>ATS</b>
	468	11	11	1999	14	55	24	40,78	30,45	10	N	4,4	R	4,6	D1	41,024	28,759	1,77	1,53	0,55	144,9	D	<b>CNA</b>
	469	11	11	1999	14	55	24	40,78	30,45	10	N	4,4	R	4,6	D1	41,020	28,950	2,99	2,81	1,10	129,1	D	<b>FAT</b>
	470	11	11	1999	14	55	24	40,78	30,45	10	N	4,4	R	4,6	D1	41,019	28,969	1,16	1,77	0,98	127,5	D	<b>GB</b>
	471	11	11	1999	14	55	24	40,78	30,45	10	N	4,4	R	4,6	D1	41,003	28,928	2,26	2,14	0,98	130,5	D	<b>KMP</b>
	472	11	11	1999	14	55	24	40,78	30,45	10	N	4,4	R	4,6	D1	40,737	30,384	39,80	78,49	20,08	7,3	B	<b>SKR</b>
	473	11	11	1999	14	55	24	40,78	30,45	10	N	4,4	R	4,6	D1	40,764	29,762	2,81	4,27	3,72	58,0	D	<b>YPT</b>
<b>59</b>	474	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,989	28,849	16,57	16,29	5,40	189,0	D	<b>ATK</b>

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	475	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,824	29,361	7,81	7,75	6,77	144,9	C	ARC
	476	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,981	28,693	37,96	26,98	8,18	202,0	D	ATS
	477	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,654	29,274	22,60	21,37	9,58	152,7	D	BAG
	478	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,652	29,282	26,57	20,39	10,92	152,1	D	BAH
	479	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,184	29,131	9,31	8,00	4,76	177,0	C	BRS
	480	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,261	29,068	17,94	16,91	11,53	179,2	D	BUR
	481	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	41,024	28,759	15,44	16,85	7,32	197,0	D	CNA
	482	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,757	29,367	8,06	15,08	6,35	144,3	D	DAR
	483	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,982	28,820	17,58	17,94	7,39	191,5	D	DHM
	484	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,844	31,148	407,69	513,78	339,64	8,7	D	DZC
	485	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	41,020	28,950	35,71	24,72	7,63	181,2	D	FAT
	486	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	41,019	28,969	13,98	15,20	9,28	179,6	D	GB
	487	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,726	29,815	35,39	40,84	19,62	106,6	D	GLC
	488	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,385	30,734	27,89	24,82	25,00	50,2	B	GYN
	489	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,647	29,264	46,74	54,41	19,77	153,6	D	HIL
	490	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	41,058	29,013	8,97	5,25	8,27	176,7	B	IST
	491	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,440	29,750	22,05	21,35	9,82	117,7	D	IZNS
	492	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,767	29,917	22,24	23,88	22,36	97,9	A	IZT
	493	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,657	29,291	26,87	24,73	9,49	151,3	D	KAS
	494	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	41,003	28,928	17,94	14,77	7,63	181,9	D	KMP
	495	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,463	31,182	120,99	58,34	63,12	33,0	B	MDR
	496	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,647	29,277	35,04	34,26	17,77	152,5	D	RUZ
	497	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,737	30,384	17,33	24,72	11,54	58,7	B	SKR
	498	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,658	29,248	26,08	26,34	10,90	154,9	D	TAR
	499	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,653	29,263	38,53	42,51	17,23	153,7	D	YDH
	500	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	41,081	29,011	5,74	4,52	6,10	177,3	B	YKP
	501	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,764	29,762	16,11	18,07	13,80	111,0	D	YPT
	502	12	11	1999	16	57	20	40,76	31,16	10	N	6,5	R	7,2	R.H	40,986	28,908	45,14	58,62	21,24	184,2	D	ZYT

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt No	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub> km	Zem. Snf.	İst. Kod
		Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.			
60	503	12	11	1999	17	16	50	40,76	31,02	10	N	4,6	K	4,8	D1	40,745	31,610	21,13	18,07	7,79	49,7	D	BOL
	504	12	11	1999	17	16	50	40,76	31,02	10	N	4,6	K	4,8	D1	40,737	30,384	6,87	8,58	4,33	53,6	B	SKR
61	505	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	40,824	29,361	2,01	1,65	0,85	148,2	C	ARC
	506	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	40,654	29,274	3,27	3,28	1,42	156,1	D	BAH
	507	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	40,745	31,610	57,06	48,24	12,99	41,4	D	BOL
	508	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	40,261	29,068	2,93	3,48	1,34	182,2	D	BUR
	509	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	41,024	28,759	3,54	3,11	1,47	200,6	D	CNA
	510	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	40,757	29,367	2,08	3,23	1,04	147,6	D	DAR
	511	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	41,020	28,950	7,14	3,85	1,95	184,7	D	FAT
	512	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	41,019	28,969	4,58	3,66	1,60	183,1	D	GB
	513	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	40,647	29,264	8,68	6,86	3,12	157,0	D	HIL
	514	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	41,058	29,013	1,59	1,65	1,00	180,1	B	IST
	515	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	40,657	29,291	3,41	3,00	1,67	154,6	D	KAS
	516	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	41,003	28,928	3,78	3,30	1,89	186,2	D	KMP
517	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	40,647	29,277	5,30	5,50	2,58	155,9	D	RUZ	
518	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	40,737	30,384	8,42	10,44	3,36	62,2	B	SKR	
519	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	40,653	29,263	7,87	5,19	2,85	157,0	D	YDH	
520	12	11	1999	17	17	57	40,78	31,12	10	N	5,4	R	5,7	D2	40,764	29,762	3,42	2,87	2,56	114,4	D	YPT	
62	521	12	11	1999	17	22	54	40,79	31,12	10	N	4,5	K	4,7	D1	40,745	31,610	12,47	10,45	3,43	41,6	D	BOL
63	522	12	11	1999	17	26	15	40,70	31,51	10	N	4,4	K	4,6	D1	40,745	31,610	59,11	60,32	18,70	9,8	D	BOL
64	523	12	11	1999	17	29	32	40,74	31,47	10	N	5,2	R	5,5	D2	40,745	31,610	175,94	130,34	57,03	11,8	D	BOL
65	524	12	11	1999	17	46	57	40,73	30,95	10	N	4,8	R	5,0	D1	40,745	31,610	25,66	22,05	7,75	55,6	D	BOL
66	525	12	11	1999	17	54	00	40,77	31,26	10	P	4,7	P	4,9	D1	40,745	31,610	18,50	15,23	23,77	29,6	D	BOL
67	526	12	11	1999	17	57	03	40,84	31,31	10	N	4,7	P	4,9	D1	40,745	31,610	27,99	17,15	12,33	27,4	D	BOL
68	527	12	11	1999	18	07	52	40,76	31,30	10	N	4,0	K	4,1	D1	40,745	31,610	10,65	10,07	1,81	26,2	D	BOL
69	528	12	11	1999	18	10	12	40,85	31,06	10	N	4,1	K	4,2	D1	40,745	31,610	50,95	24,26	19,82	47,7	D	BOL
70	529	12	11	1999	18	14	31	40,74	31,34	10	N	5,0	R	5,2	D2	40,745	31,610	26,23	25,26	21,25	22,8	D	BOL
71	530	12	11	1999	18	23	52	40,77	31,04	10	N	4,2	K	4,3	D1	40,745	31,610	34,39	37,55	10,27	48,1	D	BOL



**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
72	531	12	11	1999	22	49	30	40,68	30,87	10	N	4,2	R	4,3	D1	40,745	31,610	8,03	5,42	7,78	62,8	D	BOL
73	532	12	11	1999	23	11	01	40,50	31,45	10	R	4,0	R	4,1	D1	40,745	31,610	6,33	6,07	2,00	30,4	D	BOL
74	533	13	11	1999	00	14	48	40,82	31,50	10	N	4,3	R	4,4	D1	40,745	31,610	8,15	6,57	2,76	12,5	D	BOL
75	534	13	11	1999	00	54	55	40,77	31,05	10	N	4,7	R	4,9	D1	40,745	31,610	16,28	8,70	5,42	47,2	D	BOL
76	535	13	11	1999	01	03	03	40,81	31,47	7	R	4,3	R	4,4	D1	40,745	31,610	46,75	34,66	14,20	13,8	D	BOL
77	536	13	11	1999	01	57	22	40,76	31,49	4	R	4,0	R	4,1	D1	40,745	31,610	18,88	15,54	6,82	10,2	D	BOL
78	537	13	11	1999	02	53	08	40,83	30,22	5	R	4,7	R	4,9	D1	40,757	29,367	1,40	1,65	0,67	72,2	D	DAR
	538	13	11	1999	02	53	08	40,83	30,22	5	R	4,7	R	4,9	D1	40,737	30,384	27,99	22,22	10,68	17,2	B	SKR
	539	13	11	1999	02	53	08	40,83	30,22	5	R	4,7	R	4,9	D1	40,764	29,762	1,40	2,01	0,80	39,2	D	YPT
79	540	13	11	1999	03	28	20	40,77	31,31	2	R	4,0	R	4,1	D1	40,745	31,610	16,61	8,31	5,81	25,4	D	BOL
80	541	13	11	1999	03	57	33	40,73	31,50	10	N	4,2	R	4,3	D1	40,745	31,610	13,15	10,00	3,25	9,4	D	BOL
81	542	17	11	1999	08	15	26	40,81	31,47	9	N	5,0	R	5,2	D2	40,737	30,384	1,16	2,01	1,06	91,8	B	SKR
82	543	19	11	1999	10	27	59	40,78	31,07	10	N	4,0	R	4,1	D1	40,737	30,384	3,54	7,14	1,34	58,0	B	SKR
83	544	19	11	1999	19	59	08	40,81	30,97	6	N	5,0	R	5,2	D2	40,753	31,113	16,11	11,72	12,21	13,6	C	AYD
	545	19	11	1999	19	59	08	40,81	30,97	6	N	5,0	R	5,2	D2	40,780	31,102	104,50	104,00	48,83	11,6	D	BAL
	546	19	11	1999	19	59	08	40,81	30,97	6	N	5,0	R	5,2	D2	40,827	31,190	72,27	71,29	19,53	18,6	D	FCM
	547	19	11	1999	19	59	08	40,81	30,97	6	N	5,0	R	5,2	D2	40,817	31,210	51,76	38,09	20,51	20,2	D	GON
	548	19	11	1999	19	59	08	40,81	30,97	6	N	5,0	R	5,2	D2	40,737	30,384	3,51	5,22	1,95	50,0	B	SKR
84	549	21	11	1999	07	53	41	40,68	31,21	10	N	4,0	K	4,1	D1	40,827	31,190	21,48	17,57	7,81	16,4	D	FCM
	550	21	11	1999	07	53	41	40,68	31,21	10	N	4,0	K	4,1	D1	40,737	30,384	12,27	11,72	3,05	69,9	B	SKR
85	551	29	11	1999	10	30	46	40,83	31,51	10	N	4,0	R	4,1	D1	40,780	31,102	3,31	5,50	1,50	34,8	D	BAL
	552	29	11	1999	10	30	46	40,83	31,51	10	N	4,0	R	4,1	D1	40,745	31,610	21,93	31,08	12,69	12,7	D	BOL
	553	29	11	1999	10	30	46	40,83	31,51	10	N	4,0	R	4,1	D1	40,844	31,149	2,26	3,60	1,40	30,4	D	MET
86	554	13	12	1999	19	13	38	40,73	30,76	10	N	4,3	R	4,4	D1	40,753	31,113	4,88	8,80	6,35	29,9	C	AYD
	555	13	12	1999	19	13	38	40,73	30,76	10	N	4,3	R	4,4	D1	40,780	31,102	24,41	27,83	6,84	29,3	D	BAL
	556	13	12	1999	19	13	38	40,73	30,76	10	N	4,3	R	4,4	D1	40,827	31,190	7,88	14,64	3,88	37,8	D	FCM
	557	13	12	1999	19	13	38	40,73	30,76	10	N	4,3	R	4,4	D1	40,844	31,149	5,13	4,88	2,32	35,1	D	MET
	558	13	12	1999	19	13	38	40,73	30,76	10	N	4,3	R	4,4	D1	40,844	31,049	6,48	8,91	2,96	27,5	D	SAZ

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	559	13	12	1999	19	13	38	40,73	30,76	10	N	4,3	R	4,4	D1	40,737	30,384	4,00	12,54	4,09	31,7	B	SKR
<b>87</b>	560	20	12	1999	03	27	20	40,86	31,01	10	N	4,2	R	4,3	D1	40,753	31,113	12,70	12,21	11,72	14,7	C	AYD
	561	20	12	1999	03	27	20	40,86	31,01	10	N	4,2	R	4,3	D1	40,780	31,102	77,64	77,15	78,12	11,8	D	BAL
	562	20	12	1999	03	27	20	40,86	31,01	10	N	4,2	R	4,3	D1	40,745	31,610	13,41	7,38	3,76	52,1	D	BOL
	563	20	12	1999	03	27	20	40,86	31,01	10	N	4,2	R	4,3	D1	40,844	31,148	20,45	18,75	19,01	11,7	D	DZC
	564	20	12	1999	03	27	20	40,86	31,01	10	N	4,2	R	4,3	D1	40,827	31,190	18,18	22,17	43,89	15,6	D	FCM
	565	20	12	1999	03	27	20	40,86	31,01	10	N	4,2	R	4,3	D1	40,817	31,210	15,63	17,58	11,72	17,5	D	GON
	566	20	12	1999	03	27	20	40,86	31,01	10	N	4,2	R	4,3	D1	40,844	31,149	19,71	19,71	18,25	11,8	D	MET
	567	20	12	1999	03	27	20	40,86	31,01	10	N	4,2	R	4,3	D1	40,871	31,170	19,53	11,72	20,51	13,5	D	PET
	568	20	12	1999	03	27	20	40,86	31,01	10	N	4,2	R	4,3	D1	40,844	31,049	53,28	31,46	36,61	3,7	D	SAZ
<b>88</b>	569	04	01	2000	16	26	04	40,77	30,72	15	N	3,9	R	4,0	D1	40,780	31,102	21,97	25,88	7,81	32,2	D	BAL
	570	04	01	2000	16	26	04	40,77	30,72	15	N	3,9	R	4,0	D1	40,827	31,190	9,51	11,08	3,80	40,1	D	FCM
	571	04	01	2000	16	26	04	40,77	30,72	15	N	3,9	R	4,0	D1	40,844	31,149	5,92	4,88	1,95	37,1	D	MET
	572	04	01	2000	16	26	04	40,77	30,72	15	N	3,9	R	4,0	D1	40,844	31,049	4,64	8,47	2,44	28,9	D	SAZ
<b>89</b>	573	05	01	2000	14	10	04	40,85	31,27	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,745	31,610	24,73	18,00	10,67	30,9	D	BOL
	574	05	01	2000	14	10	04	40,85	31,27	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,844	31,148	9,00	15,42	4,20	10,3	D	DZC
	575	05	01	2000	14	10	04	40,85	31,27	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,827	31,190	22,46	25,39	18,56	7,2	D	FCM
	576	05	01	2000	14	10	04	40,85	31,27	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,817	31,210	30,27	15,63	9,77	6,2	D	GON
	577	05	01	2000	14	10	04	40,85	31,27	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,871	31,170	14,86	19,55	36,27	8,7	D	PET
	578	05	01	2000	14	10	04	40,85	31,27	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,844	31,049	7,02	4,69	2,92	18,6	D	SAZ
<b>90</b>	579	20	01	2000	10	35	59	40,88	31,27	6	R	4,2	R	4,3	D1	40,745	31,610	19,62	14,89	11,25	32,3	D	BOL
	580	20	01	2000	10	35	59	40,88	31,27	6	R	4,2	R	4,3	D1	40,844	31,148	35,44	55,18	17,26	11,0	D	DZC
<b>91</b>	581	31	01	2000	14	38	51	40,70	29,28	7	R	3,9	R	4,0	D1	40,824	29,361	5,31	6,71	10,92	15,4	C	ARC
	582	31	01	2000	14	38	51	40,70	29,28	7	R	3,9	R	4,0	D1	41,024	28,759	1,83	1,89	0,92	56,8	D	CNA
	583	31	01	2000	14	38	51	40,70	29,28	7	R	3,9	R	4,0	D1	40,757	29,367	42,48	61,58	11,67	9,7	D	DAR
	584	31	01	2000	14	38	51	40,70	29,28	7	R	3,9	R	4,0	D1	41,020	28,950	4,27	2,62	2,01	45,2	D	FAT
	585	31	01	2000	14	38	51	40,70	29,28	7	R	3,9	R	4,0	D1	41,019	28,969	1,22	2,01	1,15	44,1	D	GB
<b>92</b>	586	09	02	2000	16	41	32	40,78	29,95	17	R	4,2	R	4,3	D1	40,824	29,361	3,91	2,56	1,71	49,8	C	ARC

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	587	09	02	2000	16	41	32	40,78	29,95	17	R	4,2	R	4,3	D1	40,261	29,068	1,40	1,71	0,67	94,1	D	BUR
	588	09	02	2000	16	41	32	40,78	29,95	17	R	4,2	R	4,3	D1	41,024	28,759	2,50	2,01	0,73	103,9	D	CNA
	589	09	02	2000	16	41	32	40,78	29,95	17	R	4,2	R	4,3	D1	40,757	29,367	2,44	3,11	1,04	49,2	D	DAR
	590	09	02	2000	16	41	32	40,78	29,95	17	R	4,2	R	4,3	D1	41,020	28,950	4,15	4,03	2,75	88,3	D	FAT
	591	09	02	2000	16	41	32	40,78	29,95	17	R	4,2	R	4,3	D1	41,003	28,928	2,26	2,14	1,28	89,6	D	KMP
	592	09	02	2000	16	41	32	40,78	29,95	17	R	4,2	R	4,3	D1	40,737	30,384	1,74	2,87	1,19	36,9	B	SKR
	593	09	02	2000	16	41	32	40,78	29,95	17	R	4,2	R	4,3	D1	40,764	29,762	10,74	10,86	5,19	15,9	D	YPT
<b>93</b>	594	14	02	2000	06	56	35	40,98	31,78	9	R	5,0	R	5,2	D2	40,844	31,148	37,56	29,56	9,15	55,2	D	DZC
	595	14	02	2000	06	56	35	40,98	31,78	9	R	5,0	R	5,2	D2	40,764	29,762	2,32	1,89	1,16	171,1	D	YPT
<b>94</b>	596	02	04	2000	18	57	38	40,80	30,24	7	R	4,3	R	4,4	D1	40,824	29,361	2,08	1,89	1,16	74,0	C	ARC
	597	02	04	2000	18	57	38	40,80	30,24	7	R	4,3	R	4,4	D1	40,981	28,693	4,82	3,11	1,40	131,8	D	ATS
	598	02	04	2000	18	57	38	40,80	30,24	7	R	4,3	R	4,4	D1	40,745	31,610	1,13	1,29	0,89	115,5	D	BOL
	599	02	04	2000	18	57	38	40,80	30,24	7	R	4,3	R	4,4	D1	40,261	29,068	2,32	2,08	0,85	115,4	D	BUR
	600	02	04	2000	18	57	38	40,80	30,24	7	R	4,3	R	4,4	D1	40,757	29,367	2,01	3,72	1,22	73,6	D	DAR
	601	02	04	2000	18	57	38	40,80	30,24	7	R	4,3	R	4,4	D1	41,020	28,950	4,82	4,21	2,08	111,3	D	FAT
	602	02	04	2000	18	57	38	40,80	30,24	7	R	4,3	R	4,4	D1	41,019	28,969	2,20	2,56	1,47	109,7	D	GB
	603	02	04	2000	18	57	38	40,80	30,24	7	R	4,3	R	4,4	D1	41,058	29,013	1,31	1,57	0,73	107,2	B	IST
	604	02	04	2000	18	57	38	40,80	30,24	7	R	4,3	R	4,4	D1	41,003	28,928	2,87	2,93	2,08	112,7	D	KMP
	605	02	04	2000	18	57	38	40,80	30,24	7	R	4,3	R	4,4	D1	40,737	30,384	59,27	103,82	30,31	14,0	B	SKR
	606	02	04	2000	18	57	38	40,80	30,24	7	R	4,3	R	4,4	D1	40,764	29,762	5,62	5,80	3,54	40,4	D	YPT
<b>95</b>	607	05	07	2000	23	20	36	40,31	26,03	10	R	4,1	R	4,2	D1	40,142	26,400	2,32	1,71	1,50	36,5	D	CNK
	608	05	07	2000	23	20	36	40,31	26,03	10	R	4,1	R	4,2	D1	40,979	27,515	1,34	1,40	0,46	146,2	B	TKR
<b>96</b>	609	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	40,824	29,361	38,51	52,43	29,60	11,4	C	ARC
	610	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	40,981	28,693	2,32	2,01	1,59	47,5	D	ATS
	611	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	40,184	29,131	1,13	2,66	1,10	74,5	C	BRS
	612	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	40,992	27,980	2,08	1,59	0,50	106,3	C	BTS
	613	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	40,261	29,068	2,20	2,32	0,98	66,9	D	BUR
	614	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	41,024	28,759	3,54	1,10	2,01	44,1	D	CNA

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	615	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	40,757	29,367	53,100	45,040	10,50	15,5	D	<b>DAR</b>
	616	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	40,982	28,820	1,22	2,65	1,34	37,5	D	<b>DHM</b>
	617	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	41,020	28,950	8,36	10,44	7,87	30,2	D	<b>FAT</b>
	618	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	41,019	28,969	3,60	5,43	3,17	28,9	D	<b>GB</b>
	619	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	41,058	29,013	2,81	2,69	2,35	29,5	B	<b>IST</b>
	620	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	40,430	29,720	1,21	1,40	1,98	62,3	D	<b>IZNB</b>
	621	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	41,003	28,928	4,70	8,24	5,98	30,6	D	<b>KMP</b>
	622	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	40,737	30,384	1,25	1,89	0,85	97,9	B	<b>SKR</b>
	623	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	41,081	29,011	5,61	2,63	2,14	31,6	B	<b>YKP</b>
	624	07	07	2000	00	15	30	40,85	29,23	9	R	4,2	R	4,3	D1	40,764	29,762	2,26	3,60	2,01	45,8	D	<b>YPT</b>
<b>97</b>	625	23	08	2000	13	41	27	40,71	30,75	9	R	5,2	R	5,5	D2	40,671	30,623	79,01	96,69	30,42	11,5	D	<b>AKY</b>
	626	23	08	2000	13	41	27	40,71	30,75	9	R	5,2	R	5,5	D2	40,745	31,610	9,62	6,49	5,75	72,6	D	<b>BOL</b>
	627	23	08	2000	13	41	27	40,71	30,75	9	R	5,2	R	5,5	D2	40,184	29,131	2,87	3,14	1,37	148,5	C	<b>BRS</b>
	628	23	08	2000	13	41	27	40,71	30,75	9	R	5,2	R	5,5	D2	40,844	31,148	23,29	17,55	9,25	36,7	D	<b>DZC</b>
	629	23	08	2000	13	41	27	40,71	30,75	9	R	5,2	R	5,5	D2	41,058	29,013	2,81	4,09	2,66	151,4	B	<b>IST</b>
	630	23	08	2000	13	41	27	40,71	30,75	9	R	5,2	R	5,5	D2	40,430	29,720	21,69	16,21	8,25	92,2	D	<b>IZNB</b>
	631	23	08	2000	13	41	27	40,71	30,75	9	R	5,2	R	5,5	D2	40,737	30,384	20,85	27,47	15,63	31,0	B	<b>SKR</b>
<b>98</b>	632	13	11	2000	03	12	37	40,83	30,80	5	R	4,3	R	4,4	D1	40,745	31,610	4,22	3,12	1,13	68,8	D	<b>BOL</b>
<b>99</b>	633	16	01	2001	03	33	03	40,90	29,14	11	P	4,1	P	4,2	D1	40,824	29,361	8,97	11,78	10,25	20,4	C	<b>ARC</b>
	634	16	01	2001	03	33	03	40,90	29,14	11	P	4,1	P	4,2	D1	40,981	28,693	4,76	3,78	2,70	38,6	D	<b>ATS</b>
	635	16	01	2001	03	33	03	40,90	29,14	11	P	4,1	P	4,2	D1	40,261	29,068	1,00	3,11	0,55	71,3	D	<b>BUR</b>
	636	16	01	2001	03	33	03	40,90	29,14	11	P	4,1	P	4,2	D1	41,024	28,759	13,98	7,51	8,12	34,9	D	<b>CNA</b>
	637	16	01	2001	03	33	03	40,90	29,14	11	P	4,1	P	4,2	D1	40,757	29,367	7,87	9,34	3,00	24,8	D	<b>DAR</b>
	638	16	01	2001	03	33	03	40,90	29,14	11	P	4,1	P	4,2	D1	40,982	28,820	3,05	3,60	4,21	28,4	D	<b>DHM</b>
	639	16	01	2001	03	33	03	40,90	29,14	11	P	4,1	P	4,2	D1	41,020	28,950	14,22	10,19	17,21	20,8	D	<b>FAT</b>
	640	16	01	2001	03	33	03	40,90	29,14	11	P	4,1	P	4,2	D1	41,058	29,013	10,93	15,93	7,51	20,6	B	<b>IST</b>
	641	16	01	2001	03	33	03	40,90	29,14	11	P	4,1	P	4,2	D1	41,003	28,928	10,00	12,57	22,58	21,2	D	<b>KMP</b>
	642	16	01	2001	03	33	03	40,90	29,14	11	P	4,1	P	4,2	D1	41,081	29,011	11,96	19,59	6,10	22,9	B	<b>YKP</b>

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
	643	16	01	2001	03	33	03	40,90	29,14	11	P	4,1	P	4,2	D1	40,764	29,762	1,22	3,30	1,16	54,4	D	YPT
<b>100</b>	644	14	03	2001	20	34	20	40,85	27,64	6	R	4,0	R	4,1	D1	40,979	27,515	11,08	11,29	3,63	17,8	B	TKR
<b>101</b>	645	22	06	2001	11	54	48	39,35	27,73	5	R	5,0	R	5,2	D2	40,341	27,942	2,32	2,59	1,34	111,7	C	BND
<b>102</b>	646	26	08	2001	00	41	13	40,95	31,57	8	R	5,4	R	5,7	D2	40,745	31,610	189,07	131,64	44,06	23,0	D	BOL
	647	26	08	2001	00	41	13	40,95	31,57	8	R	5,4	R	5,7	D2	40,737	30,384	1,37	2,14	0,70	102,4	B	SKR
<b>103</b>	648	28	02	2002	08	37	51	40,82	28,12	11	R	4,3	P	4,4	D1	40,425	29,166	1,83	3,08	1,12	98,4	D	BYT07
	649	28	02	2002	08	37	51	40,82	28,12	11	R	4,3	P	4,4	D1	40,449	29,258	1,57	1,16	0,32	104,3	B	BYT09
	650	28	02	2002	08	37	51	40,82	28,12	11	R	4,3	P	4,4	D1	40,579	29,272	1,20	1,13	0,69	100,6	B	BYT12
	651	28	02	2002	08	37	51	40,82	28,12	11	R	4,3	P	4,4	D1	41,058	29,013	1,40	2,62	1,37	79,7	B	IST
<b>104</b>	652	23	03	2002	02	36	11	40,84	27,86	14	R	4,8	R	5,0	D1	40,979	27,515	7,51	7,36	2,96	32,9	B	TKR
<b>105</b>	653	08	03	2003	11	18	07	40,67	30,61	5	R	4,0	R	4,1	D1	40,670	30,622	23,83	19,07	11,44	1,1	D	AKY
	654	08	03	2003	11	18	07	40,67	30,61	5	R	4,0	R	4,1	D1	40,844	31,148	1,37	1,77	1,13	49,3	D	DZC
	655	08	03	2003	11	18	07	40,67	30,61	5	R	4,0	R	4,1	D1	40,737	30,384	1,98	4,12	1,07	20,5	B	SKR
<b>106</b>	656	21	05	2003	08	21	50	40,87	30,98	8	R	4,5	R	4,7	D1	40,844	31,148	17,82	31,86	16,91	14,4	D	DZC
	657	21	05	2003	08	21	50	40,87	30,98	8	R	4,5	R	4,7	D1	40,737	30,384	1,37	1,28	1,74	52,3	B	SKR
<b>107</b>	658	27	05	2003	23	25	31	40,81	31,00	5	R	4,0	R	4,1	D1	40,844	31,148	6,50	4,88	12,17	13,0	D	DZC
<b>108</b>	659	09	06	2003	17	44	03	40,20	27,97	15	R	5,1	R	5,4	D2	40,341	27,942	35,64	22,86	15,44	15,9	C	BND
	660	09	06	2003	17	44	03	40,20	27,97	15	R	5,1	R	5,4	D2	40,226	29,075	3,42	4,12	1,35	93,9	D	BYT02
	661	09	06	2003	17	44	03	40,20	27,97	15	R	5,1	R	5,4	D2	40,273	29,096	4,84	3,26	2,22	96,0	B	BYT03
	662	09	06	2003	17	44	03	40,20	27,97	15	R	5,1	R	5,4	D2	40,363	29,122	5,74	7,59	2,23	99,5	C	BYT04
	663	09	06	2003	17	44	03	40,20	27,97	15	R	5,1	R	5,4	D2	40,425	29,166	7,17	6,17	5,27	104,6	D	BYT07
	664	09	06	2003	17	44	03	40,20	27,97	15	R	5,1	R	5,4	D2	40,422	29,291	3,27	3,66	1,84	114,9	D	BYT08
	665	09	06	2003	17	44	03	40,20	27,97	15	R	5,1	R	5,4	D2	40,651	29,279	4,34	3,97	1,14	122,0	C	BYT13
	666	09	06	2003	17	44	03	40,20	27,97	15	R	5,1	R	5,4	D2	40,142	26,400	3,08	4,88	2,89	133,5	D	CNK
	667	09	06	2003	17	44	03	40,20	27,97	15	R	5,1	R	5,4	D2	40,979	27,515	2,47	3,36	1,25	94,8	B	TKR
<b>109</b>	668	09	06	2003	17	47	05	40,25	27,94	15	R	4,1	R	4,2	D1	40,341	27,942	4,21	1,71	1,86	10,1	C	BND
<b>110</b>	669	06	07	2003	19	10	28	40,43	26,21	9	R	5,3	R	5,6	D2	40,142	26,400	26,18	15,56	9,12	35,8	D	CNK
	670	06	07	2003	19	10	28	40,43	26,21	9	R	5,3	R	5,6	D2	40,979	27,515	8,36	11,10	2,41	126,2	B	TKR

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	Md	Rf	Mw	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
111	671	06	07	2003	20	10	13	40,52	26,02	7	R	4,9	R	5,1	D1	40,341	27,942	3,94	2,69	1,83	163,7	C	BND
	672	06	07	2003	20	10	13	40,52	26,02	7	R	4,9	R	5,1	D1	40,142	26,400	6,81	7,26	3,30	52,9	D	CNK
	673	06	07	2003	20	10	13	40,52	26,02	7	R	4,9	R	5,1	D1	40,979	27,515	3,11	3,97	1,07	136,3	B	TKR
112	674	06	07	2003	20	48	52	40,45	25,96	8	R	4,3	R	4,4	D1	40,142	26,400	4,03	4,85	3,02	50,6	D	CNK
	675	06	07	2003	20	48	52	40,45	25,96	8	R	4,3	R	4,4	D1	40,979	27,515	2,01	1,80	0,58	144,1	B	TKR
113	676	06	07	2003	22	05	49	40,40	26,04	10	R	4,1	R	4,2	D1	40,142	26,400	2,01	1,50	1,98	41,9	D	CNK
114	677	06	07	2003	22	42	08	40,45	25,92	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,142	26,400	3,02	2,22	1,98	53,1	D	CNK
115	678	09	07	2003	22	31	38	40,45	25,89	5	R	4,3	R	4,4	D1	40,142	26,400	2,84	2,84	2,17	55,1	D	CNK
116	679	10	07	2003	01	26	16	40,43	25,85	8	R	4,1	R	4,2	D1	40,142	26,400	4,24	3,57	2,81	56,5	D	CNK
117	680	10	07	2003	09	01	17	40,21	25,36	7	R	4,4	R	4,6	D1	40,142	26,400	1,00	0,92	0,67	88,6	D	CNK
118	681	13	07	2003	05	09	48	40,86	27,51	11	R	3,9	R	4,0	D1	40,979	27,515	2,17	2,84	1,98	13,2	B	TKR
119	682	13	07	2003	06	32	06	40,40	25,85	5	R	4,1	R	4,2	D1	40,142	26,400	1,71	1,04	0,67	54,7	D	CNK
120	683	31	08	2003	07	50	56	40,46	25,99	17	R	4,1	P	4,2	D1	40,142	26,400	1,22	1,01	1,22	49,5	D	CNK
121	684	23	12	2003	12	23	36	39,88	29,23	9	R	4,4	P	4,6	D1	40,226	29,075	3,94	3,42	2,22	40,7	D	BYT02
	685	23	12	2003	12	23	36	39,88	29,23	9	R	4,4	P	4,6	D1	40,363	29,122	3,44	3,43	1,86	54,5	C	BYT04
	686	23	12	2003	12	23	36	39,88	29,23	9	R	4,4	P	4,6	D1	40,422	29,291	2,11	3,27	2,18	60,5	D	BYT08
122	687	26	03	2004	23	59	58	40,85	31,10	13	P	4,2	P	4,3	D1	40,844	31,148	16,91	22,82	14,83	4,1	D	DZC
	688	26	03	2004	23	59	58	40,85	31,10	13	P	4,2	P	4,3	D1	40,737	30,384	1,01	2,07	0,67	61,5	B	SKR
123	689	16	05	2004	03	30	48	40,70	29,32	11	R	4,2	R	4,3	D1	40,226	29,075	2,59	2,41	2,04	56,6	D	BYT02
	690	16	05	2004	03	30	48	40,70	29,32	11	R	4,2	R	4,3	D1	40,363	29,122	6,33	5,24	8,47	41,0	C	BYT04
	691	16	05	2004	03	30	48	40,70	29,32	11	R	4,2	R	4,3	D1	40,394	29,098	5,80	4,61	7,17	38,8	D	BYT05
	692	16	05	2004	03	30	48	40,70	29,32	11	R	4,2	R	4,3	D1	40,425	29,166	5,26	5,00	5,42	33,2	D	BYT07
	693	16	05	2004	03	30	48	40,70	29,32	11	R	4,2	R	4,3	D1	40,422	29,291	11,89	11,78	13,92	31,0	D	BYT08
	694	16	05	2004	03	30	48	40,70	29,32	11	R	4,2	R	4,3	D1	40,449	29,258	4,50	8,36	10,29	28,4	B	BYT09
	695	16	05	2004	03	30	48	40,70	29,32	11	R	4,2	R	4,3	D1	40,494	29,299	4,24	1,90	2,65	23,0	A	BYT10
	696	16	05	2004	03	30	48	40,70	29,32	11	R	4,2	R	4,3	D1	40,565	29,306	14,11	24,34	5,28	15,1	B	BYT11
	697	16	05	2004	03	30	48	40,70	29,32	11	R	4,2	R	4,3	D1	41,058	29,013	2,32	2,14	1,89	47,5	B	IST
	698	16	05	2004	03	30	48	40,70	29,32	11	R	4,2	R	4,3	D1	40,430	29,720	3,67	3,62	7,77	45,1	D	IZNB

**Ek B. (Devam)**

Dep.	Kayıt	Tarih			Zaman			Epis. Koordinat		Derinlik		Magnitüd				İstasyon Koord.		Pik İvme Değerleri			R <sub>rup</sub>	Zem.	İst.
No	No	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak	San	Enlem	Boylam	km	Rf	M <sub>D</sub>	Rf	M <sub>W</sub>	Rf	Enlem	Boylam	K-G	D-B	Düş.	km	Snf.	Kod
124	699	09	04	2005	19	28	23	40,31	26,15	11	P	4,1	P	4,2	D1	40,142	26,400	2,38	1,86	1,86	28,3	D	CNK
125	700	04	11	2005	20	12	09	40,75	27,30	4	P	4,1	P	4,2	D1	40,979	27,515	1,98	1,86	0,82	31,2	B	TKR
126	701	08	02	2006	04	07	42	40,71	30,41	7	P	4,4	P	4,6	D1	40,670	30,622	3,30	2,84	1,56	18,4	D	AKY
	702	08	02	2006	04	07	42	40,71	30,41	7	P	4,4	P	4,6	D1	40,737	30,380	148,22	124,76	67,23	3,9	B	SKR
127	703	20	10	2006	18	15	24	40,26	27,98	13	R	5,2	R	5,5	D2	40,341	27,942	133,50	259,40	78,50	9,6	C	BND
	704	20	10	2006	18	15	24	40,26	27,98	13	R	5,2	R	5,5	D2	40,183	29,130	3,87	3,72	1,55	98,0	B	BYT01
	705	20	10	2006	18	15	24	40,26	27,98	13	R	5,2	R	5,5	D2	40,226	29,075	10,55	5,70	1,85	93,0	D	BYT02
	706	20	10	2006	18	15	24	40,26	27,98	13	R	5,2	R	5,5	D2	40,363	29,122	10,16	11,96	5,09	97,6	C	BYT04
	707	20	10	2006	18	15	24	40,26	27,98	13	R	5,2	R	5,5	D2	40,394	29,098	11,70	11,25	4,16	96,0	D	BYT05
	708	20	10	2006	18	15	24	40,26	27,98	13	R	5,2	R	5,5	D2	40,410	29,180	8,65	9,18	3,24	103,2	B	BYT06
	709	20	10	2006	18	15	24	40,26	27,98	13	R	5,2	R	5,5	D2	40,425	29,166	11,89	11,51	7,31	102,3	D	BYT07
	710	20	10	2006	18	15	24	40,26	27,98	13	R	5,2	R	5,5	D2	40,422	29,291	15,17	16,61	3,44	112,7	D	BYT08
	711	20	10	2006	18	15	24	40,26	27,98	13	R	5,2	R	5,5	D2	40,565	29,306	10,28	7,51	6,01	117,5	B	BYT11
128	712	24	10	2006	14	00	21	40,42	29,00	14	R	5,2	R	5,5	D2	40,341	27,942	5,70	4,00	3,20	89,6	C	BND
	713	24	10	2006	14	00	21	40,42	29,00	14	R	5,2	R	5,5	D2	40,183	29,130	36,56	28,38	14,39	29,1	B	BYT01
	714	24	10	2006	14	00	21	40,42	29,00	14	R	5,2	R	5,5	D2	40,226	29,075	77,39	37,00	34,35	23,0	D	BYT02
	715	24	10	2006	14	00	21	40,42	29,00	14	R	5,2	R	5,5	D2	40,363	29,122	159,25	179,77	85,80	12,7	C	BYT04
	716	24	10	2006	14	00	21	40,42	29,00	14	R	5,2	R	5,5	D2	40,394	29,098	177,14	206,19	88,99	9,3	D	BYT05
	717	24	10	2006	14	00	21	40,42	29,00	14	R	5,2	R	5,5	D2	40,410	29,180	69,54	100,42	33,30	15,7	B	BYT06
	718	24	10	2006	14	00	21	40,42	29,00	14	R	5,2	R	5,5	D2	40,425	29,166	65,95	95,34	35,99	14,5	D	BYT07
	719	24	10	2006	14	00	21	40,42	29,00	14	R	5,2	R	5,5	D2	40,422	29,291	29,86	45,24	15,63	25,1	D	BYT08
	720	24	10	2006	14	00	21	40,42	29,00	14	R	5,2	R	5,5	D2	40,565	29,306	28,46	29,33	16,24	30,6	B	BYT11
	721	24	10	2006	14	00	21	40,42	29,00	14	R	5,2	R	5,5	D2	40,579	29,272	37,78	25,66	42,07	29,1	B	BYT12

## KISALTMALAR:

$M_D$  : Süreye bağılı magnitüd,

$M_W$  : Moment magnitüd

Rf : Referans,

K-G : Kuzey-Güney,

D-B: Doğu-Batı,

Düş.: Düşey,

H : Harvard Geophysical Observatory, Harvard University, Cambridge, MA (HRV),

P : Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Türkiye (DAD),

R : Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul Kandilli Rasathanesi ve D.A.E., Türkiye (ISK),

N : U.S. Geological Survey, National Earthquake Information Center, Golden, CO (NEIC),

D1: DENİZ, A., (2006). ( $M_w=1.09*M_d-0.24$ ),

D2 : DENİZ, A., (2006). ( $M_w=1.27*M_d-1.12$ ),

K : KALAFAT, D., (2002). ( $M_d=0.81*M_b+0.76$ ),

$R_{rup}$  : Fay yırtılma yüzeyine olan uzaklık,

Zem. Snf.: Türkiye Deprem Yönetmeliği-2007'ye göre dört kategoriye ayrılmış zemin sınıfı ile uyumlu olması için, kayıt istasyonları zemin grupları da dört kategoride değerlendirilmiş ve ilgili katsayı parametreleri aşağıdaki gibidir;

A Kaya :  $VS_{30} > 1000$  m/sn,

B Sert Zemin :  $700 < VS_{30} \leq 1000$  m/sn,

C Yumuşak Zemin :  $400 < VS_{30} \leq 700$  m/sn,

D Çok Yumuşak Zemin :  $VS_{30} \leq 400$  m/sn,



### Ek C. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt İstasyonlarının Kayma-Dalgası Hız Profilleri

Tablo C.1. ARC - Arcelik istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri - Profil 1<sup>\*\*\*</sup>

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	3.0	456	230	0.33*	1.92
2	2.5	1500*	300	0.479**	1.92
3	8	1500*	360	0.469**	1.92
4	21.5	2382	1200	0.33*	1.92

\* tahmin edilen değerler

\*\* hesaplanan,  $V_s$  ve  $V_p=1500$  m/s

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.2. ARC- Arcelik istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri - profil 2<sup>\*\*\*</sup>

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	3.0	445	230	0.33*	1.92
2	2.5	1500*	300	0.479**	1.92
3	21	1500*	360	0.469**	1.92
4	18.5	2422	1220	0.33*	1.92

\* tahmin edilen değerler

\*\* hesaplanan,  $V_s$  ve  $V_p=1500$  m/s

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.3. ARC - Arçelik İstasyonuna Ait Kayma Dalgası Hız Profil Değerleri - Profil 3<sup>\*\*\*</sup>

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	3.0	456	230	0.33*	1.92
2	1.8	1500*	300	0.479**	1.92
3	7.2	1500*	460	0.448**	1.92

\* tahmin edilen değerler

\*\* hesaplanan,  $V_s$  ve  $V_p=1500$  m/s

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.4. ATS - Ambarlı istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri<sup>\*\*\*</sup>

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	0.3	129	65	0.33*	1.92
2	0.9	218	110	0.33*	1.92
3	2.0	1500*	120	0.497**	1.92
4	22	1500*	170	0.494**	1.92
5	15	1500*	340	0.473**	1.92

\* tahmin edilen değerler

\*\* hesaplanan,  $V_s$  ve  $V_p=1500$  m/s

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.5. BOL - Bolu istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri\*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	0.3	242	122	0.33*	1.92
2	0.6	179	90	0.33*	1.92
3	3.5	1500*	200	0.491**	1.92
4	9	1500*	250	0.486**	1.92
5	26.6	1500*	400	0.462**	1.92

\* tahmin edilen değerler

\*\* hesaplanan,  $V_s$  ve  $V_p=1500$  m/s

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.6. CNA - Çekmece İstasyonuna Ait Kayma Dalgası Hız Profil Değerleri \*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	2.1	211.8	110	0.33*	1.92
2	6	1500*	230	0.488**	1.92
3	3.0	1500*	360	0.469**	1.92
4	3.0	1500*	450	0.451**	1.92
5	11	1500*	600	0.405**	1.92

\* tahmin edilen değerler

\*\* hesaplanan,  $V_s$  ve  $V_p=1500$  m/s

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.7. DZC - Düzce istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri\*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	0.6	238	120	0.33*	1.92
2	2.5	318	160	0.33*	1.92
3	4.5	417	210	0.33*	1.92
4	4.5	1500*	230	0.488**	1.92
5	3	1500*	300	0.479**	1.92
6	28	1500*	400	0.462**	1.92

\* tahmin edilen değerler

\*\* hesaplanan,  $V_s$  ve  $V_p=1500$  m/s

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.8. GBZ - Gebze istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri \*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	0.6	302	152	0.33*	1.92
2	0.3	486	245	0.33*	1.92
3	0.6	486	245	0.33*	1.92
4	1.5	1500*	460	0.448**	1.92
5	22	1985	1000	0.33*	1.92

\* assumed values

\*\* calculated from  $V_s$  and  $V_p=1500$  m/s

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.9. IZN - İznik istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri \*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	0.6	254	128	0.33*	1.92
2	1.8	363	183	0.33*	1.92
3	1.5	726	365	0.33*	1.92
4	11.1	363	183	0.33*	1.92

\* assumed values

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.10. IZT - İzmit istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri -profil 1\*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	1	457	230	0.33	1.92
2	2.5	476	240	0.33	1.92
3	6	1390	700	0.33	1.92
4	6.5	2978	1500	0.33	1.92

\* assumed values

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.11. IZT - İzmit İstasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri - profil 2 \*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	1	457	230	0.33	1.92
2	1.5	476	240	0.33	1.92
3	6	1390	700	0.33	1.92
4	7.5	2978	1500	0.33	1.92

\* assumed values

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.12. SKR - Sakarya istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri \*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	1.0	218	110	0.33	1.92
2	1.0	367	185	0.33	1.92
3	3.0	476	240	0.33	1.92
4	10.0	992	500	0.33	1.92
5	10.0	1787	900	0.33	1.92

\* assumed values

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.13. YPT - Yarımca istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri\*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	0.5	674	340	0.33*	1.92
2	3.0	1500*	205	0.491**	1.92
3	2.0	1500*	350	0.471**	1.92
4	35	1500*	310	0.477**	1.92
5	5.0	1500*	550	0.422**	1.92

\* assumed values

\*\* calculated from  $V_s$  and  $V_p=1500$  m/s

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.14. BAL - Ballica istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri \*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı	Özgül Ağırlık,
1	0.3	179	90	0.33*	1.92
2	1.9	238	120	0.33*	1.92
3	6.1	1500*	120	0.497**	1.92
4	7.6	1500*	186	0.492**	1.92
5	7.6	1500*	244	0.486**	1.92
6	9	1500*	365	0.470**	1.92

\* assumed values

\*\* calculated from  $V_s$  and  $V_p=1500$  m/s

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.15. AYD - Aydınpınar istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri profil 1\*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı	Özgül Ağırlık,
1	0.5	635	320	0.33*	1.92
2	1.5	516	260	0.33*	1.92
3	3.0	725	365	0.33*	1.92
4	10	913	460	0.33*	1.92
5	5	1500*	460	0.448**	1.92

\* assumed values

\*\* calculated from  $V_s$  and  $V_p=1500$  m/s

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.16. AYD – Aydınpınar istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri profil 2\*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı	Özgül Ağırlık,
1	0.5	635	320	0.33*	1.92
2	1.2	516	260	0.33*	1.92
3	0.9	725	365	0.33*	1.92
4	13	913	460	0.33*	1.92
5	5	1500*	460	0.448**	1.92

\* assumed values

\*\* calculated from  $V_s$  and  $V_p=1500$  m/s

Tablo C.17. HAS - Hastane istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri \*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	0.4	167	84	0.33	1.92
2	0.9	298	150	0.33	1.92
3	6.0	357	180	0.33	1.92
4	2.0	596	300	0.33	1.92

\*assumed values

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.18. HIL - Hilal istasyonuna ait kayma dalgası hız profil değerleri \*\*\*

Tabaka No.	Tabaka kalınlığı m	P-Dalga Hızı,	S-Dalga Hızı, m/s	Poisson Oranı*	Özgül Ağırlık,
1	0.5	606	305	0.33	1.92
2	3.0	228	115	0.33	1.92
	8.5	298	150	0.33	1.92

\* assumed values

\*\*\* (Rosenblod vd. , 2001)

Tablo C.19. BYT13 -Yalova Huzurevi 1. profile ait jeoteknik veriler. \*\*\*

PARAMETRELER	SEMBOL	BİRİM	Tabakalar			
			Tabaka 1	Tabaka 2	Tabaka 3	Tabaka 4
P-Dalga Hızı	$V_p$	(m/sn)	321	1223	1913	-
S-Dalga Hızı	$V_s$	(m/sn)	138	283	589	-
Tabaka derinliği	$h_1$	m	5	20	-	-
Hız oranı	$V_p/V_s$		2,3	4,3	3,2	-
Yoğunluk	D	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,6	1,8	1,9	-
Poisson Oranı	$\sigma$		0,38	0,47	0,44	-
Kayma Dalga Modülü	G	(kg/cm <sup>2</sup> )	316	1477	6878	-
Elastisite Modülü	E	(kg/cm <sup>2</sup> )	878	4348	19913	-
Bulk Modülü	K	(kg/cm <sup>2</sup> )	1292	25620	63383	-
Zemin Hakim Titreşim Periyodu	$T_o$	(sn)	0,59			

\*\*\* DAD(angora.deprem.gov.tr)

Tablo C.20. BYT08 - Cargılı Tarım Sanayi 1. profile ait jeoteknik veriler. \*\*\*

PARAMETRELER	SEMBOL	BİRİM	Tabakalar			
			Tabaka 1	Tabaka 2	Tabaka 3	Tabaka 4
P-Dalga Hızı	$V_p$	(m/sn)	345	683	1522	-
S-Dalga Hızı	$V_s$	(m/sn)	157	420	659	-
Tabaka derinliği	$h_1$	m	1,5	14	-	-
Hız oranı	$V_p/V_s$		2,2	1,6	2,3	-
Yoğunluk	D	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,6	1,7	1,9	-
Poisson Oranı	$\sigma$		0,36	0,19	0,38	-
Kayma Dalga Modülü	G	(kg/cm <sup>2</sup> )	411	3063	8270	-
Elastisite Modülü	E	(kg/cm <sup>2</sup> )	1126	7327	22903	-
Bulk Modülü	K	(kg/cm <sup>2</sup> )	1438	4016	33087	-
Zemin Hakim Titreşim Periyodu	$T_o$	(sn)	0,38			

\*\*\* DAD(angora.deprem.gov.tr)

Tablo C.21. BYT03 – Demirtaş 1. profile ait jeoteknik veriler. \*\*\*

PARAMETRELER	SEMBOL	BİRİM	Tabakalar			
			Tabaka 1	Tabaka 2	Tabaka 3	Tabaka 4
Boyuna dalga hızı(P)	$V_p$	(m/sn)	511	1611	-	-
Enine dalga hızı(S)	$V_s$	(m/sn)	202	655	-	-
Tabaka derinliği	$h_1$	m	2	-	-	-
Tabaka kalınlığı	$d_2$	m	0	2	-	-
Hız oranı	$V_p/V_s$		2,5	2,4	-	-
Yoğunluk	D	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,7	1,9	-	-
Poisson oranı	$\sigma$		0,4	0,4	-	-
Kayma modülü	G	(kg/cm <sup>2</sup> )	694	8246	-	-
Elastisite modülü	E	(kg/cm <sup>2</sup> )	1955	23106	-	-
Bulk modülü	K	(kg/cm <sup>2</sup> )	3518	38891	-	-
Zemin Hakim Titreşim Periyodu	$T_o$	(sn)	0,33			

\*\*\* DAD(angora.deprem.gov.tr)

Tablo C.22. BYT01-Köy Hizmetleri 1. profile ait jeoteknik veriler. \*\*\*

PARAMETRELER	SEMBOL	BİRİM	Tabakalar			
			Tabaka 1	Tabaka 2	Tabaka 3	Tabaka 4
Boyuna dalga hızı(P)	$V_p$	(m/sn)	419	787	1158	-
Enine dalga hızı(S)	$V_s$	(m/sn)	260	336	588	
Tabaka derinliği	$h_1$	m	7	12	-	-
Tabaka kalınlığı	$d_2$	m	0	7	19	-
Hız oranı	$V_p/V_s$		1,6	2,3	1,9	-
Yoğunluk	D	( $gr/cm^3$ )	1,7	1,75	1,83	-
Poisson oranı	$\sigma$		0,18	0,38	0,32	-
Kayma modülü	G	( $kg/cm^2$ )	1138	1984	6332	-
Elastisite modülü	E	( $kg/cm^2$ )	2702	5509	16797	-
Bulk modülü	K	( $kg/cm^2$ )	1438	8239	16117	-
Zemin Hakim Titreşim Periyodu	$T_o$	(sn)	0,46			

\*\*\* DAD(angora.deprem.gov.tr)

Tablo C.23. BYT04 - Kurtulköy 1. profile ait jeoteknik veriler. \*\*\*

PARAMETRELER	SEMBOL	BİRİM	Tabakalar			
			Tabaka 1	Tabaka 2	Tabaka 3	Tabaka 4
P-Dalga Hızı	$V_p$	(m/sn)	232	581	1778	-
S-Dalga Hızı	$V_s$	(m/sn)	148	303	432	
Tabaka kalınlığı	$h_1$	m	3	6	-	-
Tabaka derinliği	$d_2$	m	0	3	9	-
Hız oranı	$V_p/V_s$		1,5	1,9	4,1	-
Yoğunluk	D	( $gr/cm^3$ )	1,6	1,7	1,9	-
Poisson oranı	$\sigma$		0,15	0,31	0,46	-
Kayma modülü (D.kesme modülü)	G	( $kg/cm^2$ )	360	1575	3649	-
Elastisite modülü	E	( $kg/cm^2$ )	834	4138	10719	-
Bulk modülü	K	( $kg/cm^2$ )	405	3692	56955	-
Zemin Hakim Titreşim Periyodu	$T_o$	(sn)	0,53			

\*\*\* DAD(angora.deprem.gov.tr)

Tablo C.24. BYT06 – Umurbey 1. profile ait jeoteknik veriler. \*\*\*

PARAMETRELER	SEMBOL	BİRİM	TABAKALAR			
			Tabaka 1	Tabaka 2	Tabaka 3	Tabaka 4
P-Dalga Hızı	$V_p$	(m/sn)	286	1868	-	-
S-Dalga Hızı	$V_s$	(m/sn)	79	472	-	-
Tabaka derinliği	$h_1$	m	3,5	-	-	-
Tabaka kalınlığı	$d_2$	m	0	3,5	-	-
Hız oranı	$V_p/V_s$		3,6	3,9	-	-
Yoğunluk	D	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,6	1,9	-	-
Poisson oranı	$\sigma$		0,45	0,46	-	-
Kayma modülü (D.kesme modülü)	G	(kg/cm <sup>2</sup> )	103	4396	-	-
Elastisite modülü	E	(kg/cm <sup>2</sup> )	301	12890	-	-
Bulk modülü	K	(kg/cm <sup>2</sup> )	1217	63004	-	-
Zemin Hakim Titreşim Periyodu	$T_o$	(sn)	0,57			

\*\*\* DAD(angora.deprem.gov.tr)

Tablo C.25. BYT07 – Gemlik 2. profile ait jeoteknik veriler. \*\*\*

PARAMETRELER	SEMBOL	BİRİM	TABAKALAR			
			Tabaka 1	Tabaka 2	Tabaka 3	Tabaka 4
P-Dalga Hızı	$V_p$	(m/sn)	182	1174	-	-
S-Dalga Hızı	$V_s$	(m/sn)	105	310	-	-
Tabaka kalınlığı	$h_1$	m	2	-	-	-
Tabaka derinliği	$d_2$	m	0	2	-	-
Hız oranı	$V_p/V_s$		1,7	3,7	-	-
Yoğunluk	D	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,63	1,83	-	-
Poisson oranı	$\sigma$		0,25	0,46	-	-
Kayma modülü (D.kesme modülü)	G	(kg/cm <sup>2</sup> )	180	1763	-	-
Elastisite modülü	E	(kg/cm <sup>2</sup> )	451	5157	-	-
Bulk modülü	K	(kg/cm <sup>2</sup> )	201	22937	-	-
Zemin Hakim Titreşim Periyodu	$T_o$	(sn)	0,69			

\*\*\* DAD(angora.deprem.gov.tr)



Tablo C.26. BYT12 – Soğucak 1. profile ait jeoteknik veriler. \*\*\*

PARAMETRELER	SEMBOL	BİRİM	TABAKALAR			
			Tabaka 1	Tabaka 2	Tabaka 3	Tabaka 4
P-Dalga Hızı	$V_p$	(m/sn)	330	771	2356	-
S-Dalga Hızı	$V_s$	(m/sn)	137	310	1255	
Tabaka derinliği	$h_1$	m	2	7	-	-
Tabaka kalınlığı	$d_2$	m	0	2	9	-
Hız oranı	$V_p/V_s$		2,4	2,48	1,87	-
Yoğunluk	D	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,6	1,7	2	-
Poisson oranı	$\sigma$		0,39	0,4	0,3	-
Kayma modülü (D.kesme modülü)	G	(kg/cm <sup>2</sup> )	312	1685	32621	-
Elastisite modülü	E	(kg/cm <sup>2</sup> )	872	4732	84942	-
Bulk modülü	K	(kg/cm <sup>2</sup> )	1397	8179	71471	-
Zemin Hakim Titreşim Periyodu	$T_o$	(sn)	0,28			

\*\*\* DAD(angora.deprem.gov.tr)

Tablo C.27. BYT05 - Askeri Veteriner Okulu 1. profile ait jeoteknik veriler. \*\*\*

PARAMETRELER	SEMBOL	BİRİM	TABAKALAR			
			Tabaka 1	Tabaka 2	Tabaka 3	Tabaka 4
P-Dalga Hızı	$V_p$	(m/sn)	189	1569	-	-
S-Dalga Hızı	$V_s$	(m/sn)	100	320	-	
Tabaka derinliği	$h_1$	m	2	-	-	-
Tabaka kalınlığı	$d_2$	m	0	2	-	-
Hız oranı	$V_p/V_s$		1,9	4,9	-	-
Yoğunluk	D	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,6	1,9	-	-
Poisson oranı	$\sigma$		0,3	0,47	-	-
Kayma modülü (D.kesme modülü)	G	(kg/cm <sup>2</sup> )	163	1959	-	-
Elastisite modülü	E	(kg/cm <sup>2</sup> )	427	5794	-	-
Bulk modülü	K	(kg/cm <sup>2</sup> )	366	44500	-	-
Zemin Hakim Titreşim Periyodu	$T_o$	(sn)	0,68			

\*\*\* DAD(angora.deprem.gov.tr)

Tablo C.28. BYT09 – Gedelek 1. profile ait jeoteknik veriler. \*\*\*

PARAMETRELER	SEMBOL	BİRİM	TABAKALAR			
			Tabaka 1	Tabaka 2	Tabaka 3	Tabaka 4
P-Dalga Hızı	$V_p$	(m/sn)	333	1766	2813	-
S-Dalga Hızı	$V_s$	(m/sn)	200	354	1193	
Tabaka derinliği	$h_1$	m	4	9	-	-
Tabaka kalınlığı	$d_2$	m	0	4	13	-
Hız oranı	$V_p/V_s$		1,66	4,98	2,35	-
Yoğunluk	D	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,66	1,95	2,16	-
Poisson oranı	$\sigma$		0,21	0,47	0,39	-
Kayma modülü (D.kesme modülü)	G	(kg/cm <sup>2</sup> )	666	2447	30779	-
Elastisite modülü	E	(kg/cm <sup>2</sup> )	1623	7240	85587	-
Bulk modülü	K	(kg/cm <sup>2</sup> )	959	57652	130087	-
Zemin Hakim Titreşim Periyodu	$T_o$	(sn)	0,30			

\*\*\* DAD(angora.deprem.gov.tr)

## ÖZGEÇMİŞ

Ulubey Çeken, 20.07.1969 da Kars'ta doğdu. İlk ve orta eğitimini Kars'ta ve lise eğitimini Erzinca'n da tamamladı. 1990 yılında başladığı Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünü 1995 yılında bitirdi. 1997 yılından beri Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığında görev yapmaktadır. Aynı kurumda 2000-20004 yılları arasında Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Sistemi Proje Koordinatörü, 2001 yılından beri Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün İmar Planlarının Hazırlamasına Esas Jeolojik-Jeofizik ve Jeoteknik Etüd Raporları Değerlendirmek ve Onaylamak Üzere Oluşturulan Fen Kurulu üyeliği yapmaktadır. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

Deprem, Kuvvetli Yer Hareketi, Sismoloji, Jeofiziksel Etütler (Sismik, Rezistivite, Mikrotremor vb.), Deprem Tehlikesi ve Riski, İmar Planına Esas Jeolojik-Jeofizik-Jeoteknik Etütler ve Mikrobölgeleme konularına ilgi duymaktadır. Ulusal sempozyumlarda yayınlanmış makaleleri ve çeşitli bilimsel toplantılarda sunulmuş bildirileri bulunmaktadır.