

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

**23 EKİM 2011 VE 09 KASIM 2011 TARİHLİ VAN DEPREMLERİNİN
KUVVETLİ YER HAREKETLERİNİN, YENİ NESİL AZALIM İLİŞKİLERİ
İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Leila MOKHBERIOSKOEI

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

EYLÜL 2014

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

**23 EKİM 2011 VE 09 KASIM 2011 TARİHLİ VAN DEPREMLERİNİN
KUVVETLİ YER HAREKETLERİNİN, YENİ NESİL AZALIM İLİŞKİLERİ
İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Leila MOKHBERIOSKOEI
(501111221)**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayfer ERKEN

EYLÜL 2014

İTÜ, Deprem Mühendisliği Ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 501111221 numaralı Yüksek Lisans **Leila MOKHBERIOSKOU**EI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“23 EKİM 2011 VE 09 KASIM 2011 TARİHLİ VAN DEPREMLERİNİN KUVVETLİ YER HAREKETLERİNİN, YENİ NESİL AZALIM İLİŞKİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ayfer ERKEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Erdal ŞAFAK**
Boğaziçi Üniversitesi

Doç. Dr. Beyza TAŞKIN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **04 Eylül 2014**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu vesileyle yüksek lisans tez danışmanım sayın Prof.Dr Ayfer ERKEN e teşekkürlerimi ifade etmek isterim. Ayrıca desteklerini esirgemeyen sayın yüksek mühendis Gülçin NOMALER hanımefendiye ve sayın Dr. Atila SEZEN e beni yönlendirdikleri ve destekledikleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım ve bu tezin daha verimli hale gelmesi için destek ve yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşlarım, Shahin DASHTI ve Hadi SOJODI ye, beni bu süreçte motive eden ve yalnız bırakmayan arkadaşlarım, Ailar SHAHAMAT, Atefeh SOROORI SARABI ve Mahdi ABDOLLAHIRAD a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ve son olarak ailemin her bir üyesine bana sabır gösterip yalnız bırakmadıkları için, minnetdar olduğumu belirtmek isterim.

Eylül 2014

Leila Mokhberioskouei
(Yüksek lisans öğrencisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Literatür Araştırması	3
1.2.1 Van ili ve çevresinin depremselliği.....	3
1.2.1.1 Bölgenin jeolojisi	3
1.2.1.2 Bölgenin tektonik konumu	4
1.2.1.3 Tarihsel ve aletsel dönem deprem aktivitesi	5
1.2.1.4 Ekim Ve Kasım 2011, Türkiye genelindeki $M \geq 4.0$ depremler.....	6
1.2.2 23.10.2011 Ve 09.11.2011 Tarihli Van Depremleri	11
1.2.2.1 Depremlerin genel özellikleri.....	11
1.2.2.2 Kaynak fay özellikleri ve odak mekanizması çözümleri	13
1.2.2.3 23 Ekim ve 09 Kasım, 2011 depremlerinin, Van ilindeki geçmişe ait depremler ile benzerliği.....	17
1.2.2.4 Depremlerin artçı şokları.....	18
1.2.2.5 Hasar.....	20
1.2.3 2011 Van depremlerinin kuvvetli yer hareketlerinin irdelenmesi	32
1.2.3.1 23 Ekim kuvvetli yer hareketlerinin irdelenmesi	32
1.2.3.2 09 Kasım kuvvetli yer hareketlerinin irdelenmesi	36
1.2.3.3 23 Ekim ve 09 Kasım, 2011 depremlerinde spektral ivmelerin, 2007 deprem yönetmeliği ile karşılaştırma	40
1.2.3.4 23 Ekim ve 09 Kasım Van depremlerinin etkin zamanları	43
1.2.3.5 Gözlemlenen pik ivme ve hızların, azalım ilişkileri tahminleri ile karşılaştırma	43
1.2.3.6 Yeni Nesil Azalım İlişkileri (NGA)	46
1.2.4 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri, kuvvetli yer hareketi depremin genel özellikleri.....	50
1.2.4.1 Yüzey faylanma.....	51
1.2.4.2 Deprem kaynaklarına ait işlemler	51
1.2.4.3 Yer hareketi kayıtları.....	52
1.2.4.4 Saha tepkileri.....	59
1.2.4.5 Artçı şoklar	60
2. KUVVETLİ YER HAREKETLERİ	61
2.1 Kuvvetli Yer Hareketi	61
2.2 Yerhareketi Kayıtları İçin Bazı Kaynak Siteler	62

2.3 Yerhareketi Parametreleri	62
2.3.1 Amplitüd parametreleri	63
2.3.1.1 Maksimum ivme ; pik ivme ; pha-peak horizontal acceleration	63
2.3.1.2 Maksimum hız; pik hız; phv-peak horizontal velocity	63
2.3.1.3 Maksimum yerdeğiştirme	63
2.3.1.4 Efektif tasarım ivmesi.....	64
2.3.2 Frekans içeriği parametreler	64
2.3.3 Etkin süre.....	64
2.4 Yer Hareketi Spektrumları	65
2.4.1 Fourier spektrumları	65
2.4.1.1 Predominant periyot; hakim peryod	66
2.4.2 Power spektrumları	67
2.4.3 Davranış spektrumları; (Response spectra).....	67
2.5 Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarım Spektrumu.....	68
2.5.1 Spektrum katsayısı	70
2.5.2 Özel tasarım ivme spektrumları	70
2.6 Zemin Koşullarının Belirlenmesi	71
3. YENİ NESİL AZALIM İLİŞKİLERİ (NGA)	75
3.1 Giriş.....	75
3.2 Yeni Nesil Azalim Yer Hareketleri (NGA)	76
3.3 Yeni Nesil Azalim Modelleri	76
3.3.1 Abrahamson Ve Silva (2008).....	77
3.3.2 Boore Ve Atkinson (2008)	79
3.3.3 Campbell Ve Bozorgnia (2008)	80
3.3.4 Chiou Ve Youngs (2008)	81
3.3.5 Idriss (2008)	82
3.4 NGA, Yer-Hareket Tahmin Denklemlerinin Uygulanmasında, Bilinmeyen Parametrelerinin Tahmin Edilmesi	82
3.4.1 Kaynak parametrelerinin tahmini.....	84
3.4.1.1 Fay genişlik parametresinin tahmini, W.....	85
3.4.1.2 ZTOR parametresinin tahmini.....	85
3.4.1.3 Derinlik parametreleri(Z1.0 ve Z2.5)	85
3.4.1.4 Eğim açısı (δ) parametresi	86
4. 23 Ekim 2011 Ve 09 Kasım 2011 Van Depremlerinin Kuvvetli Yer Hareketlerinin Yeni Nesil Azalim İlişkileri ile Karşılaştırılması.....	87
4.1 Giriş.....	87
4.2 Çalışmada Kullanılan Deprem Kayıtları	88
4.3 Kuvvetli Yer Hareketlerinin İrdelenmesi.....	89
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	123
KAYNAKLAR	127
EKLER	131
ÖZGEÇMİŞ.....	133

KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Başkanlığı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CHARTER	: Uzay Teknolojisinin Doğal Afetlerde Kullanımı Oluşumu.
DDB	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi
DLR	: Alman Uzay Ajansı
EMSC	: Avrupa Akdeniz Sismoloji Merkezi, European-Mediterranean
GEOFON	: Postdam Sismoloji Merkezi, Almanya Geological Survey
HGK	: Harita Genel Komutanlığı
INGV	: Italian National Seismic Network
KAN	: Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
MI	: Yerel Magnitüd
MMI	: Değiştirilmiş Mercalli Ölçeğine Göre Sismik Şiddet
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
M_w	: Moment Magnitüd
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
PGA	: En Büyük Yer İvmesi
PGD	: En Büyük Yer Değiştirme
PGV	: En Büyük Yer Hızı
SED	: İsviçre Sismoloji Merkezi Seismological
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TDY-2007	: 2007 Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında
TOKİ	: Toplu Konut İdaresi Başkanlığı
TR-KYH	: Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı
TS	: Türkiye Saatiyle
USGS	: Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Kurumu, United States Yönetmelik
Z3	: Yerel Zemin Sınıfı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Aletsel dönemde meydana gelmiş hasar yapıcı depremler.	5
Çizelge 1.2 : 2011 Ekim ayı içerisinde meydana gelen $M \geq 4.0$ olan depremler (AFAD, 2011).	6
Çizelge 1.3 : 2011 Kasım ayı içerisinde meydana gelen $M \geq 4.0$ olan depremler (AFAD, 2011).	9
Çizelge 1.4 : 23 Ekim 2011 Van-Erciş ve 09 Kasım 2011 Van-Edremit depremlerine ait çeşitli kuruluşlarca verilen parametreler.	12
Çizelge 1.5 : 2011 Van'ın Edremit ilçesi ve Erciş ilçesinde meydana gelen depremlerle ilgili bilgiler.	16
Çizelge 1.6 : 23/10/2011 Van-Merkez depremi ve artçılarının odak mekanizması çözümleri (AFAD, 2011).	19
Çizelge 1.7 : Kasım 2011 de meydana gelen büyüklüğü $M \geq 4.5$ olan Van depremleri'nin odak mekanizması çözümleri (AFAD, 2011).	20
Çizelge 1.8 : 09 KASIM 2011 depremi için ölçülen maksimum yer ivmeşeri (Ö.Aydan vd., 2014).	38
Çizelge 1.9 : Azalım ilişkisi analizlerinde kullanılan değerler ve elde edilen sonuçlar (A.Sezen vd., 2012).	48
Çizelge 2.1 : Spektrum karakteristik peryotları (TA, TB).	69
Çizelge 2.2 : Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0).	69
Çizelge 2.3 : Bina önem katsayısı (I).	70
Çizelge 2.4 : Zemin grupları.	71
Çizelge 2.5 : Yerel Zemin sınıfları.	72
Çizelge 3.1 : NGA-W1 model gereksinimleri.	77
Çizelge 3.2 : NGA modeller için gereken girdi parametreleri.	83
Çizelge 3.3 : kayma açısının, fay türüne göre sınıflandırılması.	84
Çizelge 3.4 : Fay türlerinin Kayma açısı ve NGA modellerine göre sınıflandırılması.	85
Çizelge 3.5 : Eğim açısının, fay türüne göre sınıflandırılması.	86
Çizelge 4.1 : KYHK'ından alınan istasyonların ham (işlenmemiş) PGA ve koordinatları.	89
Çizelge 4.2 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, 3 bileşendeki maksimum ivme, hız ve deplasman değerleri.	92
Çizelge 4.3 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonlarının pik ivme, hız ve deplasman değerleri.	93
Çizelge 4.4 : Maksimum spectral ivme, hakim peryotlar ve zemin büyütme değerleri.	101
Çizelge 4.5 : Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkeze ait maksimum FAS değerleri ve onlara karşı gelen hakim frekanslar.	101
Çizelge 4.6 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinde, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonlarının etkin süreleri.	103

Çizelge 4.7 : Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının pik ivme, hız ve deplasman değerleri.....	109
Çizelge 4.8 : Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının maksimum spectral ivme, hakim peryodlar ve zemin büyütme değerleri.	111
Çizelge 4.9 : Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarına ait maksimum FAS değerleri ve onlara karşı gelen hakim frekanslar.....	111
Çizelge 4.10 : 09 Kasım 2011 depremlerinde, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının etkin süreleri.	113
Çizelge 4.11 : NGA modellerinin sonuçları.	117
Çizelge 4.12 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremleri için, NGA modellerinde kullanılan parametreler.....	118

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Van Gölü ve çevresinin jeoloji haritası (MTA, 2002).	4
Şekil 1.2 : Hasar yapıcı depremleri gösteren harita.	6
Şekil 1.3 : 1900'den günümüze Van ve yakın çevresinde meydana gelen depremlerin($M \geq 4$) dağılımı (AFAD, 2011).	6
Şekil 1.4 : 09 Kasım 2011 Edremit (Van) Depremi (kırmızı yıldızlar) ile 23 Ekim 2011 depremi (mor yıldızlar) ve artçılarının ($M_w \geq 5.0$, yeşil yıldızlar) MTA'nın yayınlamış olduğu Türkiye Diri Fay haritası (Şaroğlu vd., 1992) üzerindeki yeri.	13
Şekil 1.5 : Van ve yakın çevresindeki fay hatlarını gösteren harita (Koçyiğit, 2011).	14
Şekil 1.6 : 23 EKİM 2011 Van-Erciş depreminin çeşitli kuruluşlarca verilen odak mekanizması ve merkez üzü lokasyonları.	15
Şekil 1.7 : Van Fayı'nda 23 Ekim 2011 depreminde gelişen yüzey deformasyonlarını gösterir lokasyon haritası. Pembe bant 23 Ekim 2011 depreminde yüzey deformasyonlarının geliştiği segmenti göstermektedir (MTA).	15
Şekil 1.8 : 09 KASIM 2011 Van-Edremit depreminin çeşitli kuruluşlarca verilen odak mekanizması ve merkez üzü lokasyonları.	17
Şekil 1.9 : Tektonik model, 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerine ait fayları Gösterir (Yoğurtlu vd., 2011).	17
Şekil 1.10 : 02.12.2001 ve 26.09.2004 yılı depremlerinin, Centroid Moment Tensör çözümleri (SED).	18
Şekil 1.11 : 23 Ekim 2011 Van depremi ana şok ve artçı depremlerin lokasyonunu gösterir harita. Sarı elips depremin kaynağı olan Van Fayı'nı göstermektedir (MTA).	19
Şekil 1.12 : 9 Kasım 2011 Van-Edremit ($M_l:5.6$) Depremi ve artçı şokları (Edremit ilçesi yakınları) (AFAD, 2011).	20
Şekil 1.13 : Van depreminde kırılan fayın yüzeyde gözlenen (kırmızı) ve olası izi (mavi).	24
Şekil 1.14 : Arazi fotoğrafları (a) kaya düşmesi, (b) heyelan ve (c) Ermiş köyü doğusunda görülen heyelanın Quickbird görüntüsü üzerinden yapılmış yorumu (Google Earth'tan elde edilmiştir) (METÜ, 2011).	25
Şekil 1.15 : (a) Topaktaş köyünde gözlemlenen sıvılaşma yapısı, (b) bölgede meydana gelmekte olan derelerin düşey yönde erozyonunu gösteren fotoğraf (konum: Ermiş köyü civarı, Van gölü doğusu, bakış batıya). ...	25
Şekil 1.16 : (a) Terk edilmiş hastane inşaat sahasında görülen ikincil faylar. Küçük şekil fay çiziklerini yakından göstermektedir, (b) Deprem sırasında inşaatın beton zemininde meydana gelen kırıklar. Fayın inşaat moluzunu da kesmiş olması, bu fayların deprem sırasında hareket ettiklerinin en önemli göstergesidir, (c) Topaktaş köyü ile Van-Erciş karayolunda görülen sıkışmaya bağlı gelişmiş deformasyonlar.	26
Şekil 1.17 : Yollarda meydana gelen ikincil deformasyonlar. (a) Van-Topaktaş yolu üzeri, hapishane yanı, (b) Van-Erciş yolu TOKİ konutları yanı.	26
Şekil 1.18 : (a) K-G sıkışmayı gösteren güneye yıkılmış kolonlar, (b) Organize sanayi bölgesinde demir çubuklarda gözlenen K-G yönlü sıkışma yapıları.	27
Şekil 1.19 : (a) Bahçıvan Mahallesi'nde göçen 2 betonarme binanın arkasındaki dik kazı. (b) Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi'ne ait bina.	28

Şekil 1.20 : (a) Van Gölü kıyısında göle doğru kayan doğal şev (Çitören Köyü). (b) Topaktaş köyü arazisinde Karasu kıyısında yer alan doğal bir şev ve şev stabilitesi problemi. (c) Geoteknik gözlemlerin yapıldığı noktaların Google Earth görüntüsü üzerinde görünümü. (d) Van-Erciş Karayolu şev kayması dikey deformasyon. (e) Van-Erciş Karayolu şev kayması taç bölgesindeki çatlaklar.	30
Şekil 1.21 : (a) Van-Erciş yolu üzerinde Gedikbulak Köyü yakında karayolu hasarı ve onarımı. (b) Van-Erciş Karayolu şev kayması çatlakları.	31
Şekil 1.22 : Şev analizinde kullanılan kesit, muhtemel kayma yüzeyi ve muhtemel kayma dairesi merkezi.	31
Şekil 1.23 : (a) Şekil 2.13. Sıvılaşma örneği (Topaktaş Köyü – Karasu kıyısı). (b) Sıvılaşma ve kum tepciği örneği (Topaktaş Köyü-Karasu kıyısı). (c) Sıvılaşma ve yatay deformasyon örneği (Topaktaş Köyü-Karasu Kıyısı). (d) Sıvılaşma-yatay deformasyona bir başka örnek (Topaktaş Köyü-Karasu Kıyısı). (e) Sıvılaşan zeminlerden alınan numunelerin dane dağılım eğrileri ve sıvılaşabilir zeminlerin dane dağılımı aralığı.	32
Şekil 1.24 : İstasyonların lokasyon, merkez üssü uzaklıklar ve PGA deyerleri (B.Taskin vd., 2013).	33
Şekil 1.25 : Kuvvetli yer hareketi istasyonlarının lokasyonları ve depremin merkez üssü çevresindeki maksimum yer ivmeleri (Ö.Aydan vd., 2014).	33
Şekil 1.26 : Muradiye ve Bitlis istasyonlarında kayd edilen, ivme kayıtları (K.Konagai vd., 2012).	34
Şekil 1.27 : Muradiye istasyonu, üç bileşenindeki ivme, hız ve deplasman diagramları (B.Taskin vd., 2013).	34
Şekil 1.28 : Malazgirt, Muş Muradiye ve Bitlis istasyonları İvme tepki spektrumları (K.Konagai vd., 2012).	35
Şekil 1.29 : Muradiye istasyonunun, K-G bileşeninde, 0%, 5% ve 20% sönümlerde işlenmiş ivme, hız ve deplasman İspektrumları (B.Taskin vd., 2013). ...	36
Şekil 1.30 : Muradiye istasyonunun, K-G ve D-B bileşenlerinde, işlenmiş ve ham değerlerin fourier genlik spektrumlarını karşılaştırılması (B.Taskin vd., 2013).	36
Şekil 1.31 : 09 Kasım, 2011 depreminde, Van istasyonuna ait, K-G ve D-B ve Düşey bileşenlerdeki, ivme, hız ve deplasman-zaman diagramları (B.Taskin vd., 2013).	37
Şekil 1.32 : 09 KASIM 2011 depremi için a. KOERİ ve ERD nin Van toprak zemindeki ivme kayıtlarının 3 bileşeninin karşılaştırılması b. KOERİ ve ERD nin Van zemin deki ivme tepki spektrumlarının 3 bileşeninin karşılaştırılması c. KOERİ nin Van ivme kayıtlarının zemin ve kaya da karşılaştırılması d. KOERİ nin Van ivme tepki spektrumlarının zemin ve kaya da karşılaştırılması (Ö.Aydan vd., 2014).	38
Şekil 1.33 : EPS yöntemi ile istasyonlar için hesaplanan deplasman; a Van ili zemin ve kaya , b Edremit ve Van da kaya için, c Van iline yakın, sürekli deplasman hesabının vektörleri (Ö.Aydan vd., 2014).	40
Şekil 1.34 : Van ve etrafının diri faylar haritası (Saroglu vd., 1992; mta.gov.tr).	41
Şekil 1.35 : Van ilçesine ait sismik tehlike haritası (B.Taskin vd., 2013).	41
Şekil 1.36 : Deprem yönetmeliğindeki, Z1, Z2, Z3 ve Z4, zemin sınıfları için, tanımlanan tasarım spektrumunun, normalize edilmiş spektral ivmeler ile karşılaştırılması (B.Taskin vd., 2013 ve A.Sezen vd., 2012).	42
Şekil 1.37 : Spektral ivmelerin deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumu ile karşılaştırılması (A.Sezen vd., 2012).	42

Şekil 1.38 : Mw7.2 ve M15.6 depremlerin Husid diagramları ve etkin zaman hesaplamaları (B.Taskin vd., 2013).	43
Şekil 1.39 : Gözlemler ile çeşitli azalım ilişkileri tahminlerin Karşılaştırılması (K.Konagai vd., 2012).	44
Şekil 1.40 : Çeşitli azalım ilişkisi tarafından tahmin edilen maksimum yer ivme ve maksimum yer hızının, a : 23Ekim 2011, Van depremi ve b : 09Kasım 2011, Van depremi için karşılaştırılması (Ö.Aydan vd., 2014).	45
Şekil 1.41 : Çeşitli azalım ilişkileri ile kayıtların ortalama PGA larının Karşılaştırılması (B.Taskin vd., 2013).	46
Şekil 1.42 : Hayes, 2011 tarafından önerilen fay geometrisi ve bu çalışmada değerlendirilen fay düzlemi projeksiyonu (A.Sezen vd., 2012).	47
Şekil 1.43 : NGA sonuçları ile Muradiye ve Malazgirt istasyonlarının ivme karşılık spektrumlarının karşılaştırılması (sönüm=%5) (A.Sezen vd., 2012).	50
Şekil 1.44 : Van ve Erciş için NGA modellemesi ile elde edilen ivme karşılık spektrumları ve yönetmelik tasarım spektrumları (sönüm=%5) (A.Sezen vd., 2012).	50
Şekil 2.1 : Baskın periyodu aynı fakat frekans içeriği farklı iki Fourier genlik spektrumu, üstteki eğri geniş bant hareketini ve alttaki de dar bant hareketini tanımlar.	67
Şekil 2.2 : Davranış spektrumu.	68
Şekil 2.3 : Tasarım spektrumu.	71
Şekil 2.4 : Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.	73
Şekil 3.1 : Şematik olarak bir fayın dikey kesiti üzerinde ölçülen üç mesafeyi ve varsayılan kırılmanın üç parametresini göstermektedir.	84
Şekil 4.1 : 23Ekim ve 09Kasım 2011 Van depremlerinin, KYHK'dan alınan istasyonların adları ve lokasyonları.	88
Şekil 4.2 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin ortak istasyonlarını gösteren harita.	91
Şekil 4.3 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Van-Muradiye istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde ivme-zaman diagramları.	94
Şekil 4.4 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Muş-Malazgirt istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde ivme-zaman diagramları.	94
Şekil 4.5 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Bitlis-Merkez istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde ivme-zaman diagramları.	95
Şekil 4.6 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Van-Muradiye istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde hız-zaman diagramları.	95
Şekil 4.7 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Muş-Malazgirt istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde hız-zaman diagramları.	96
Şekil 4.8 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Bitlis-Merkez istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde hız-zaman diagramları.	96
Şekil 4.9 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Van-Muradiye istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde deplasman-zaman diagramları.	97
Şekil 4.10 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Muş-Malazgirt istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde deplasman-zaman diagramları.	97
Şekil 4.11 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Bitlis-Merkez istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde deplasman-zaman diagramları.	98
Şekil 4.12 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Van-Muradiye, Muş-Merkez ve Bitlis-Merkez istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde ivme spektrum diagramları.	99

Şekil 4.13 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Van-Muradiye, Muş-Merkez ve Bitlis-Merkez istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde hız spektrum diagramları.....	99
Şekil 4.14 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Van-Muradiye, Muş-Merkez ve Bitlis-Merkez istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde deplasman spektrum diagramları.....	100
Şekil 4.15 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonları için, 3 bileşendeki Fourier genlik spektrumları.....	102
Şekil 4.16 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Van-Muradiye istasyonu için, 3 bileşendeki Husid diagramları ve etkin zaman hesaplamaları.	104
Şekil 4.17 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Muş-Malazgirt istasyonu için, 3 bileşendeki Husid diagramları ve etkin zaman hesaplamaları. ..	104
Şekil 4.18 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Bitlis-Merkez istasyonları için, 3 bileşendeki Husid diagramları ve etkin zaman hesaplamaları. ..	105
Şekil 4.19 : Van ilçesine ait sismik tehlike haritası (B.Taskin vd., 2013).	106
Şekil 4.20 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonlarının normalize edilmiş Spektral ivmelerinin, deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.	106
Şekil 4.21 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonlarının mutlak spektral ivmelerinin, deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.	107
Şekil 4.22 : 09 Kasım 2011 depreminin merkez üssü ve, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarını gösteren harita.	108
Şekil 4.23 : 09 Kasım depremlerinde Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde ivme-zaman diagramları.	109
Şekil 4.24 : 09 Kasım depremlerinde Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde hız-zaman diagramları.....	109
Şekil 4.25 : 09 Kasım depremlerinde Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde deplasman-zaman diagramları.	110
Şekil 4.26 : 09 Kasım depremlerinde Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının K-G, D-B bileşenlerine ait deplasmanların karşılaştırılması.	110
Şekil 4.27 : 09 Kasım depreminde Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde ivme, hız ve deplasman spektrum diagramları.....	111
Şekil 4.28 : 09 Kasım 2011 depremlerinin, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonları için, 3 bileşendeki Fourier genlik spektrumları.	112
Şekil 4.29 : 09 Kasım 2011 depreminin, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonları için, 3 bileşendeki Husid diagramları ve etkin zaman hesaplamaları. ..	113
Şekil 4.30 : 09 Kasım 2011 depreminin, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının normalize edilmiş Spektral ivmelerinin, deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.	114
Şekil 4.31 : 09 Kasım 2011 depreminin, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının mutlak spektral ivmelerinin, deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.....	114
Şekil 4.32 : Ters veya normal fay, tavan blok.	116
Şekil 4.33 : Ters veya normal fay, taban blok.	116

Şekil 4.34 :	09 Kasım 2011 depreminde Van-Merkez istasyonunun, NGA modelleri ile karşılaştırması (R _{epi} = 17.17km).....	119
Şekil 4.35 :	23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinde Van-Muradiye istasyonunun, NGA modelleri ile karşılaştırması (23 Ekim R _{epi} =46.63km ve 09 Kasım R _{epi} = 77.72km).....	119
Şekil 4.36 :	NGA modellerinin, 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinde, Muş-Malazgirt istasyonunda uygulanması (23 Ekim R _{epi} =93,26km ve 09 Kasım R _{epi} =99,91km).....	120
Şekil 4.37 :	NGA modellerinin, 23 Ekim depreminde, Ağrı-Merkez (R _{epi} = 121,83km) ve Muş-Merkez (R _{epi} =166,55km) istasyonunda uygulanması	121
Şekil A.1 :	Van yakın çevresinin siri fayları(1:250.000 ölçekli Türkiye diri fay haritasının güncellenmiş taslağıdır).	132

23 EKİM 2011 VE 09 KASIM 2011 TARİHLİ VAN DEPREMLERİNİN KUVVETLİ YER HAREKETLERİNİN, YENİ NESİL AZALIM İLİŞKİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

23 Ekim (Van-Erciş) ve 09 Kasım (Van-Edremit) 2011 de Türkiye'nin doğusunda, Van ilinde, sırasıyla 7.2 ve 5.7 Mw büyüklüğünde iki yıkıcı deprem meydana geldi. Bu depremler Erciş te 604 ve Edremit te ise 38 kişinin hayatını kayb etmesine, binalarda ve diğer yapılarda, özellikle Erciş te ağır hasara neden olmuştur. Van-Erciş depremi, Van ve Erçek göllerinin arasında yer alan, 50km uzunluk ve 20 km genişliğindeki bir ters fayın doğu-batı yönlü hareketinden kaynaklanmıştır. Depremin merkez üssü, Van ilinin merkezine yaklaşık 30 km uzaklıktaki Tabanlı köyünde yer almakta ve Van-Edremit depreminin merkez üssü, Edremit'e yakın, Van gölünün doğu kıyısında, yaklaşık Vanin merkezine 16 km uzaklıkta bir köydedir. Van-Edremit depremi Van-erciş depreminin artçı şoku değildir, çünkü bu depremler iki farklı fay mekanizmasına sahiptir, 09 KASIM daki depremin fayı doğrultu atımlı ve 23 EKİM daki depremin fayı ters fay dır. Ancak, 09 KASIM depremini tetiklenmesinde, şüphesiz 23 EKİM depreminden sonraki yer kabuğundaki gerilme değişimi etkilidir.

Erciş sivilaşmaya müsait olan, yumuşak zemine sahiptir, dolayısıyla deprem sırasında sivilaşma görünmüştür, aynı şekilde Van-Edremit depreminde de sivilaşma göze çarpmıştır. Muhtemelen böyle küçük bir depremdeki sivilaşma belirtisi Türkiye de bir ilktir. Van-Erciş depreminde fay hattının ve fay hasarlarının iyi tanımlanmamış olmasından dolayı, bazı araştırmacılar bu fayın, bir kör ters fay olduğuna kanaat getirmişlerdir çünkü bu durumdaki gibi yer yüzüne yakın tabakanın yumuşak toprak olması durumlarda, ters fay büyük bir alanın tahribatı ve sivilaşmasına sebep olmalıdır. KASIM 9 daki deprem sonrasında yer yüzünün kar ile kaplı olması, her hangi bir gözlemin yapılmasına izin vermemiştir.

Depremler sırasında, ana kaynaktan yayılan sismik dalgalar yer kabuğu boyunca hareket ederler ve yüzeye ulaştıklarında yer sarsıntısı üretirler. Bu yolculuğun büyük bir kısmı kayada geçiyor, ancak yolculuğun son kısmında zeminle karşılaştığında zeminlerin karakteristikleri, yüzeydeki yer hareketini önemli oranda etkileyebiliyor. Zemin tabakaları, sismik dalgalar için bir filtre durumundadır. Bazı frekanslardaki hareket büyürken, diğer frekanslardaki hareket azalabilmektedir. Belirli bir bölgedeki yer hareketinin şiddeti ve süresi, depremin yerine, büyüklüğüne ve o bölgedeki yerel zemin şartlarının özelliklerine bağlıdır. Depremin etkisinin değerlendirilmesi için yüzeydeki kuvvetli yer hareketinin çeşitli şekillerde tanımlanması gereklidir. Pratikte yer hareketi 3 bileşeni (doğu- batı, kuzey- güney, düşey bileşen) ile ölçülür.

Olasılıksal sismik tehlike değerlendirilmesi (PSHA), uzmanlara, depremlerin konumları ve tekrarlama oranlarını ve yer hareketi özelliklerinin değişkenliklerinde, belirsizlikleri açık bir şekilde dikkate almalarını sağlar. Yer hareketi tahmin denklemleri (GMPEs), PSHA daki her kaynak dan gelen deprem senaryoları için yer

hareketi parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılır. Bu denklemler, yer hareketi şiddetlerini, kaynak, yol ve bölge değişkenlere bağlı olarak tahmin etmek için, yer hareketlerinin fiziksel özelliklerine dayalı olan istatistiksel modelleri kullanır. 2008 yılında, beş yeni GMPes, Yeni Nesil Azalım yer hareketleri (“NGA-West,” yada “NGA”) Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) tarafından koordine edilen projenin bir parçası olarak yayınlandı. California (US) için geliştirilen NGA modellerinin, Türkiye de yürütülen PSHA çalışmalarındaki uygulanabilirliği, bu modellerde kullanılan parametrelerin yerel bilgi eksikliğinden kaynaklanan sorunlardan dolayı, tartışılır bir konudur.

Her takım NGA veritabanını kendi kriterlerini kullanarak taramıştır ve kendi veritabanının versiyonunu, regresyon analizinde kullanmıştır. Bu konuya dikkat edilmelidir ki, NGA veritabanları çoğunluk olarak, California daki depremleri kapsamaktadır ve Türkiye'den gelen depremlerin sayısı oldukça azdır. 3551 kayıt içinde, sadece 67 kayıt Türkiyedeki yer hareketlerini temsil etmektedir.

Bu çalışmada Van-Erciş ve Van-Edremit depremlerinde kuvvetli yer hareketlerini kaydeden ve deprem merkez üssüne yakın olan, ortak istasyonlar ve 09 Kasım depreminin Repi mesafesi en kısa olan iki istasyonu tarafından kaydedilen kuvvetli yer hareketi kayıtları incelenmiştir. Devamında Vs30 değerleri elde olan, merkez üssüne yakın, 23 Ekim 2011 depreminde (Repi<120km) üç istasyonda ve 09 Kasım 2011 depreminde (Repi<101km) 5 istasyonda gerçek kayıtlar, NGA modelleri ile tahmin edilen, pik spektral ivme değerleri ve diagramları ile karşılaştırılmıştır ve yürütülen tahminlerin ne kadar gerçeği yansıttığı ve bu modellerin ne kadar güvenilir tahmin yürüttükleri araştırılmıştır.

Farklı istasyonlar tarafından kaydedilen kuvvetli yer hareketlerini karşılaştırdığımızda, önemli farklılıkları ortaya konmuştur, Bu farklılıklar deprem dalgasının odak bölgesinden dışarıya doğru yayılırken, içinden geçtiği jeolojik birimlerin özelliklerinden oldukça etkilendiği, uzaklığa bağlı olarak dalganın sönümlendiği ve yerel zemin koşullarının etkileşiminin önemli olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır.

NGA modellerini geliştiren araştırmacılar özellikle 80 kilometreden daha uzak mesafeler için yerel şartların önemli olduğunu ifade etmektedirler.

Sonuç olarak PSA değeri açısından en yakın tahmin, 50<Repi<100 olan ve doğrultu atımlı fay sistemine sahip olan, CB08 modelinde Van-Muradiye istasyonuna aittir. Ama genelde bu çalışma kapsamında BA08 modelinin daha uygun sonuçlar verdiği söylenebilir.

**COMARISON OF STRONG GROUND MOTION FROM THE VAN,
TURKEY EARTHQUAKES OF 23 OCTOBER AND 09 NOVEMBER 2011
WITH THE NEXT GENERATION ATTENUATION (NGA) GROUND
MOTION MODELS**

SUMMARY

Two devastating earthquakes with moment magnitudes of 7.2 and 5.7 occurred on October 23, 2011 (Van-Ercis earthquake) and November 9, 2011 (Van-Edremit earthquake), respectively, in the Van Province of the eastern Turkey. The Van-Ercis, and Van-Edremit earthquakes caused 604 and 38 fatalities, respectively, and heavy damage to buildings and other structures, particularly in Ercis, town and Van City. Van-Erciş earthquake resulted from the movement of a 50 km long and 20 km wide thrust fault trending about E–W direction between Van Lake and Erçek Lake at the north of Van. Van-Erciş earthquake's epicentre was about 30 km north of the Van City centre, at the location of Tabanlı Village and The epicentre of Van-Edremit earthquake was located near Edremit, which is a town on the eastern shore of Lake Van about 16 km to the south of Van City centre.

23 October 2011 Van-Merkez earthquake is unique from several aspects. Very high number of aftershocks within short period after the event, was not experienced previously. Within the first week of the earthquake, there happened 114 earthquakes with magnitudes between 4.0 and 4.9 and 7 earthquakes with magnitudes bigger then $M_l:5.0$. Within the first month after the event daily average aftershock number is around 180 earthquakes. By 09 December 2011, the number of aftershocks reached to 6284.

The area between Van and Erciş is tectonically complex and there are several faults with different characteristics. The reason for such big amount of aftershocks and diversity of the focal mechanism solutions are due to this tectonic complexity. Very generally, earthquake with $M_w:7.0$ at 19 km. depth activated this systems and small scaled faults triggered one and each other within this period and increased the earthquake activity.

The Van-Edremit earthquake of November 9, 2011 is not an aftershock of the October 23, 2011 Van-Ercis, earthquake, as it has a different faulting mechanism. However, there is no doubt that it was triggered due to the variation of crustal stresses induced by the October 23, 2011 earthquake.

Erciş is located over a soft ground prone to ground liquefaction. Liquefaction and associated ground deformations were evident in this earthquake. Despite the low moment magnitude of Van-Edremit earthquake, some liquefaction happend after the earthquake, probably it was the smallest magnitude earthquake to cause liquefaction in Turkey so far. As there was no well defined fault scarp, some researchers claimed that a blind thrust faulting caused the earthquake. In such cases that ground near surface is quite soft, the deformation caused by thrust faulting would be diluted over a great area and also since the region was covered by snow, any surface rupture

resulted from the November 09, 2011 Van-Edremit earthquake could not be observed.

The earthquake damage was determined to be high at local areas of relatively poor soil conditions such as cohesionless and loose soil, high groundwater. In addition to the soil conditions, there is no doubt that the use of low quality materials and low construction technologies have caused higher damage at central districts of Van province. Considering the soil conditions, both ground deformation (soil amplification, liquefaction) and cycling loading will increase the loss of lives and property in the central districts of Van province.

Ground motion at particular site due to earthquakes is influenced by source, travel path and local site conditions, the first relates to the size and source mechanism of the earthquake. The second describes the path effect of the earth as waves travel at some depth from the source to the site. The third describes the effects of the upper hundreds of meters of rock and soil and the surface topography at the site. Strong ground shaking cause severe damages to man-made facilities and unfortunately, sometimes induce losses of human lives.

The ground-motion prediction equations (GMPEs) developed as part of the Next Generation Attenuation of Ground Motions (NGA-West) project in 2008 are becoming widely used in seismic hazard analyses. However, these new models are considerably more complicated than previous GMPEs, and they require several more input parameters. Ground-motion prediction equations (GMPEs), giving ground-motion intensity measures such as peak ground motions or response spectra as a function of earthquake magnitude and distance, are important tools in the analysis of seismic hazard.

First part of this study involves seismic characteristics of the earthquake and evaluation of strong ground motion characteristics. Acceleration, velocity displacement-time, Spectral acceleration, velocity and displacement-period, Fourier amplitude spectrum, effective time, Response spectral accelerations of near fault recorded data were investigated. At second part, 4 free-field accelerograms recorded at rupture distances of less than 200 km during the Van-Ercis earthquake and 3 free-field accelerograms recorded at rupture distances of less than 100 km during the Van-Edremit earthquake were used to compare the 2011 Van earthquakes ground motions with those predicted by the recent Next Generation Attenuation (NGA) ground-motion models developed using global data from shallow crustal earthquakes.

National Strong Motion Network operated by AFAD calculated the acceleration values for these earthquakes. The highest acceleration value recorded at Muradiye station after 23 October 2011 earthquake and the values are 178.5 cm/s² (N-S Component), 168.5 cm/s² (E-W Component) and 75.5 cm/s² (Vertical Component). The highest acceleration value recorded at Van Station after 09 November 2011 earthquake and the values are 148.1 cm/s² (N-S Component), 245.9 cm/s² (E-W Component) and 150.5 cm/s² (Vertical Component). The values of Edremit Station are 65.7 cm/s² (N-S Component), 102.6 cm/s² (E-W Component) and 44.3 cm/s² (Vertical Component).

The distribution of damaged buildings observed from October 23 and November 9, 2011 Van earthquakes shows that a major portion of damage occurred at settlement areas underlain by alluvial soils. The effect of alluvial soil on strong ground motion and structural damage can be seen by comparing two strong ground motion records

of the Van province, earthquake of 09 November 2011 (M_w :5.6). One record at Edremit on travertine bedrock had a peak horizontal acceleration of 0.10 g. The other one, at the city center of Van province, at a distance of 15 km from the epicenter in Quaternary alluvium, had the acceleration value of 0.25 g. The effect of soil on the ground motion is about 2.5. Therefore, in order to minimize the possible damage of a potential earthquake, ground conditions should be considered at the Van settlement area.

Researchers who developed the NGA models, have expressed the importance of local ground conditions specially for distances greater than 80 kilometers. Here I08 model cannot be used, because the value of V_{s30} for corresponding stations are not larger than 450 m/s. As a result, the closest estimate in terms of PSA values belongs to CB08 model for Van-Muradiye station, which the epicentral distance is between 50 and 100 km, in Van-Edremit earthquake with a strike slip fault system. But generally in this study BA08 model, may give more favorable results

.

1. GİRİŞ

23 Ekim 2011 tarihinde ve yerel saatle 13:41'de, Van İli'nin kuzeyinde, Van-Erciş karayolu'nun yaklaşık 45. km'sinde, merkez üstü Tabanlı Köyü olan yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir (KOERI 2011). Deprem başta Van ili olmak üzere Bitlis, Siirt, Muş, Hakkari, Diyarbakır, Batman, Erzurum, Ağrı, Iğdır ve Kars gibi çok sayıda il, bu illere bağlı ilçe, belde ve köyleri de sarsmıştır. Kuzeye eğimli ters bir faylanma sonucu oluşan Erciş depremi, merkez üstüne harita üzerinde yaklaşık 30 km uzaklıkta ve kuzeyde yer alan Van iline bağlı Erciş İlçesi'nde büyük riske (çok sayıda yapının tümüyle yıkılmasına, ağır ve orta derecede hasar görmesine ve can kaybına) neden olmuştur. Bu neden ile $M_w = 7.2$ büyüklüğündeki bu yıkıcı deprem Erciş (Van) depremi olarak adlanmıştır. Benzer durum, deprem üstüne yakın yerde konumlanmış olan Tabanlı, Göllü, Alaköy, Yeşilsu, Ocaklı, Dağönü, Hıdırköy ve Yumrutepe gibi belde ve köylerde de gözlenmiştir. Depremi ağır hasar ve can kaybına yol açtığı bir başka yerleşke ise Van İl merkezi ve İl merkezinin yakın kuzey-kuzeybatısında kurulu bulunan Yüzüncüyıl Üniversitesi Kampüs alanı ve yapılarıdır.

İlk ana depremin (Erciş depremi) ardından (18 gün sonra), 9 Kasım 2011 tarihinde ve yerel saatle 19:23 de, merkez üstü Van iline bağlı Edremit İlçesi'nin yaklaşık 3 km kuzeydoğusunda, Van İl merkezinin yaklaşık 10 km güneybatısında ve Van Gölü içinde Büyüklüğü $M_w = 5.7$ olan yıkıcı bir deprem daha meydana gelmiştir. Bu deprem, merkez üstüne en yakın coğrafi yerleşkenin adıyla, Edremit (VAN) depremi olarak adlanmıştır. Yaklaşık K-G gidişli ve batıya dikçe eğimli normal bir faylanma sonucu oluşan Edremit depremi, özellikle Van İl merkezinde, Erciş depreminden çok daha yüksek şiddette hissedilmiş ve çok daha fazla riske neden olmuştur. Örneğin, Tabanlı depreminde ağır ve hafif hasar görmüş binaların hemen hemen tümü yıkılırken, daha önce hasar görmemiş binalardan da bazıları yıkılmış, diğer bazıları (örneğin, Van Hava Alanı binası gibi) değişik derecelerde hasar görmüş, binalar kullanılamaz duruma gelmiş ve can kaybı olmuştur. Özellikle Erciş depremi, deprem

bölgesinden değişik yönlere (özellikle Mersin, Antalya ve İzmir gibi illere) daha önce kısmi ve sınırlı sayıda başlamış olan göçü hızlandırmış ve artırmıştır.

23 Ekim 2011 tarihli Erciş depreminden, 30 Kasım 2011 e kadarki 40 günlük süre içinde toplam 5281 deprem kayıd edilmiştir (ERD ve KOERİ). Bunların 3423 adedi 2 ile 3 arasında, 1704 adedi 3 ile 4 arasında, 153 adedi 4 ile 5 arasında, 12 adedi 5 ile 6 arasında, bir adedi ise $M_w = 7.2$ büyüklüğe sahiptir. Depremlerin hemen hemen $\frac{3}{4}$ nün odak derinliği birkaç km ile 10 km arasında değişirken, kalan $\frac{1}{4}$ nün odak derinliği 10 km ile 28 km arasında yoğunlaşmış bulunmaktadır. Depremler yaklaşık olarak 38.24 ve 39.00 kuzey enlemleri ile 43.00 ve 43.45D boylamları ile sınırlanan alanda dağılmış durumdadır.

Bahsedilen iki deprem sırasında meydana gelen hasar dağılımına bakıldığında, alüvyal zeminler üzerinde bulunan yerleşim alanlarında, yapısal hasarın yüksek olduğu görülmektedir. 9 Kasım 2011 depreminde kaydedilen yer ivmesi değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığı zaman, söz konusu zeminlerin yer hareketi ve yapısal hasarlar üzerindeki etkisi anlaşılmaktadır. Edremit merkezli depremde travertenler üzerinde kaydedilen yatay yer ivmesi değeri 0.10 g iken, yaklaşık 15 km uzaklıkta alüvyal zemin üzerinde kaydedilen yatay yer ivmesi değeri ise 0.25 g dir. Zeminin yer ivmesi üzerindeki etkisi 2.5 kattır. Alüvyal zeminler üzerinde kayma dalgası hızına bağlı olarak hesaplanan zemin büyütme değerleri, yer hareketleri ile uyumludur (L.Selçuk vd., 2012). özellikle, hasarın yüksek olduğu mahallelerde, zemin kohezyonsuz, göreceli olarak daha gevşek ve su seviyesi yüzeye daha yakındır. Van ili merkez mahallelerinde gözlenen hasarın büyük bir kısmı ise düşük kalitede malzeme kullanımı ve yönetmeliklere uymayan yapılaşma ile ilişkilidir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı 2011 yılında, Van ilinde, Erciş ve Muradiye merkezli, 2 farklı fay türünden kaynaklanan, 18 gün aralıklarla meydana gelen 2 büyük depremin kuvvetli yer hareketlerinin irdelenmesi, benzerlikler ve farklılıkların açıklanması ve PEER tarafından sunulan, Yeni Nesil Azalim İlişkileri (NGA) in AS08 modeliyle karşılaştırılması.

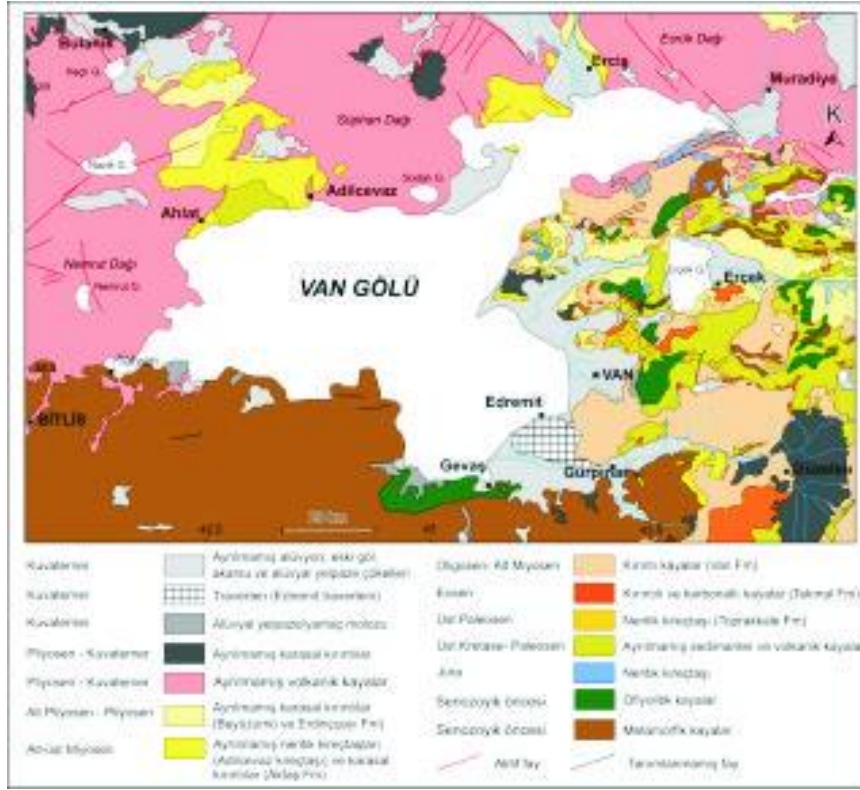
1.2 Literatür Araştırması

1.2.1 Van ili ve çevresinin depremselliği

1.2.1.1 Bölgenin jeolojisi

Van Gölü ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri 1/500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritası dikkatli biçimde incelendiğinde Van Gölü'nün güneyinde Bitlis Masifine ait metamorfiklerin geniş yayılımına sahip olduğu görülür. Ofiyolitlerden oluşan allokton birimler, Bitlis metamorfiklerine ait birimleri yer yer tektonik olarak üstler. Gölün doğu bölümünde ise çoğunlukla ofiyolitlerden oluşan allokton birimlerin yanı sıra, Tersiyer yaşlı tortullar geniş yayılım gösterir. Bu bölgede Tersiyer yaşlı tortulların bazı kesimlerde ofiyolitler tarafından bindirme faylarına bağlı olarak üstlendiği gözlenir. Van Gölü ve çevresinde yer alan faylar egemen olarak KB, KD ve D-B gidişli olan, çoğunlukla bindirme ve doğrultu atım özelliğine sahip, fay sistemlerinden yapılıdır. Van bölgesindeki fay sistemlerinin büyük bölümü, Arap Levhası ile Anadolu Levhasının, Bitlis-Zagros kenet kuşağı boyunca yakınsaması sonucu oluşmuşlardır. Bu yakınsama nedeniyle Van Gölü çevresinde oluşan faylar çoğunlukla bölgeyi etkileyen K-G yönlü sıkışma kuvvetlerinin etkisi altında gelişmiştir. Bölgenin genelini etkileyen bu sıkışma rejimi sonucunda, günümüzde halen aktif olan ve deprem üreten KB, KD ve D-B uzanımlı fay sistemleri oluşmuştur (Şekil 1.1). Bitlis Masifini kuzeyden sınırlayan Varto-Ahlat-Edremit çizgisi, ana çizgilerde Kuzey Anadolu fayının bölgedeki uzanımını temsil eden önemli bir segmenti karşılar. Bu segmentin Gürpınar-Ahlat bölümü Van Gölünün güneyinden ve gölün altından geçer. Diğer taraftan, Van Gölünün kuzey, doğu ve güney bölümünde yer alan KD, KB ve D-B yönünde uzanım gösteren bindirme ve doğrultu atımlı faylar büyük bölümüyle, bölgeye egemen olan sıkışma rejimine bağlı gelişmiş çok katlı fay sistemlerini temsil eder. Depremin meydana geldiği Van Gölü Havzası Avrasya ve Arap plakaları arasında Geç Miyosen de gerçekleşen çarpışmanın ürünü olup, Doğu Anadolu Platosunda bulunmaktadır (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981). Bölgede Permiye yaşlı mermerler, Üst Paleozoyik yaşlı Şistler ile Üst Kretase Ofiyolitler temel oluşturur. Bu temelin üzerine Tersiyer yaşlı denizel ve karasal kırıntılılar uyumsuz olarak yerleşmiştir. Neotektonik süreçlerin etkisiyle gelişen Plio-Kuvaterner yaşlı piroklastik ara katkılı gölsel ve karasal kırıntılılar ile bunlarla eş yaşlı Nemrut ve Süphan Volkanlarına ait bazaltik,

dasitik ve andezitik kayaçlar bu birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Bölgedeki en genç birimler Geç Kuvaterner yaşlı travertenler ile güncel akarsu tortullarıdır (Üner vd., 2010).



Şekil 1.1 : Van Gölü ve çevresinin jeoloji haritası (MTA, 2002).

1.2.1.2 Bölgenin tektonik konumu

Bölgedeki neotektonik dönem Plio-Kuvaterner yaşlıdır ve Arap ve Avrasya levhalarının yakınsamalı hareketleri neticesinde gelişmiş K-G doğrultulu sıkışma süreçlerinin etkisindedir (Koçyiğit vd., 2001). K-G yönlü sıkışmaya bağlı bu güncel rejim ile birlikte bölgede, D-B uzanımlı ters faylar ve kıvrımlar, KB-GD doğrultulu sağ yönlü ve KD-GB doğrultulu sol yönlü doğrultu atımlı faylar ile K-G yönlü normal fay ve açılma çatlakları gelişmiştir (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Bozkurt, 2001; Koçyiğit vd., 2001). Bölgesel ölçekte deprem potansiyeli taşıyan diri faylar Ek 1’de gösterilmiştir. 23 Ekim 2011 depremine kaynaklık eden fay zone MTA’nın çeşitli tarihlerde yayınlanmış jeoloji haritalarında gösterilmiştir (Ateş vd., 2007). Ancak, bu fay 1992 tarihli Türkiye Diri Fay haritasında diri olarak gösterilmemiştir. Depremin meydana geldiği bölgenin yakın çevresinde yer alan aktif tektonik yapılardan Doğu Anadolu ve Muş Bindirmeleri, Malazgirt, Süphan, Erciş, Çaldıran, Hasan Timur Gölü ve Tutak doğrultu atımlı fayları ile Nemrut Açılma çatlakları neotektonik yapılara

en iyi örnektir. Bölgede yer alan Nemrut ve Süphan Strato-volkanları da Holosen döneminde aktivite göstermiş genç jeolojik yapılar arasında yer almaktadır.

1.2.1.3 Tarihsel ve aletsel dönem deprem aktivitesi

Tektonik olarak aktif olan Van ili ve yakın çevresinde tarihsel ve aletsel dönemde büyüklüğü 5 ve üzeri birçok depremin kaydedilmiş olması bölgedeki deprem tehlikesinin bir kanıtıdır. Özellikle Van Gölü ve çevresinde ağır tahrip yapan 1111 depremi (IX) (Calvi, 1941), Ahlat ve Erciş'te ağır yıkıma ve pek çok kişinin ölmesine neden olan 1276 Ahlat Erciş depremi (VIII) (Calvi, 1941), 1441 Nemrut Volkanı aktivitesi (Sieberg, 1935; Calvi, 1941), Van, Hoşap ve Geva'ya kadar olan alanda etkili olmuş ve Van'da ağır hasar yapmış olan 1646 depremi (IX) (Ambraseys ve Finkel, 1995), Van merkez ve güneyinde bahar aylarında etkili olmuş 1701 deprem serisi, Van Gölü doğusunda ve Erciş'te hasara neden olan 1715 depremi (VIII), 1881 Nemrut civarında ağır hasar ve can kaybı meydana getiren deprem (Tchalenko, 1977) ile Bitlis, Malazgirt ve Van arasında kalan bölgede hasara neden olmuş 1891 depremi (Tchalenko, 1977), 1900 öncesi tarihsel dönemde bölgede öne çıkan sismik etkinlikler arasındadır. Son yüzyılda ise; 1903 Malazgirt depremi ($M=6.3$), 1930 Salmas (İran) depremi ($M=7.2$), 1941 Erciş depremi ($M=5.9$), en büyüğü $M=5.2$ olan Van bölgesini etkileyen 1945 deprem serisi, Erciş, Kocapınar ve Bayramlı civarında hasara neden olan 1964 Erciş depremi ($M=5.3$), 1976 Çaldıran depremi ($M=7.2$), 1977 Erciş depremi ($M=5.1$), 1988 ($M=5.0$) ile 2000 ($M=5.7$) Van depremleri, Van ve/veya ilçelerinde etkili olmuş önemli hasar yapıcı depremlerdir (Şekil 1.2 ve Çizelge 1.1). Aynı zamanda aletsel döneme dair deprem dağılımları da (Şekil 1.3) de verilmiştir.

Çizelge 1.1 : Aletsel dönemde meydana gelmiş hasar yapıcı depremler.

	Tarih	Zaman	Enlem	Boylam	Büyüklük
A	28.04.1903	23:39	39.14	42.65	6,3
B	06.05.1930	22:34:23	38.22	44.66	7,2
C	10.09.1941	21:53:57	39.45	43.32	5,9
D	20.11.1945	06:27:58	38.63	43.33	5,2
E	25.06.1964	00:11:52	39.13	43.19	5,3
F	24.11.1976	22:15.6	390.506	440.368	7,2
G	17.01.1977	19:24.7	392.703	437.006	5,1
H	25.06.1988	15:38.3	385.034	430.727	5
İ	15.11.2000	05:34.9	38.51	43.01	5,7

15/10/2011	08:27	35,3768	30,1137	4	AKDENİZ-DOĞU BASENİ--
23/10/2011	10:41	38,689	43,4657	6,7	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	10:48	38,7152	43,3715	4,6	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	10:52	38,7657	43,238	4,8	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	10:56	38,7825	43,3633	5,8	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	11:10	38,7702	43,3945	4,8	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	11:19	38,7627	43,4095	4,2	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	11:32	38,7778	43,3947	5,5	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	12:17	38,7338	43,5558	4,2	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	12:20	38,7367	43,5087	4	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	12:30	38,7325	43,2332	4	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	12:42	38,678	43,1455	4,2	VAN GÖLÜ
23/10/2011	12:56	38,7712	43,3055	4,3	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	13:07	38,673	43,2019	4,4	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	13:17	38,8113	43,4675	4,7	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	13:22	38,6383	43,3235	4,1	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	13:33	38,7227	43,3823	4,2	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	13:46	38,7452	43,3238	4,1	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	14:52	38,6752	43,273	4,2	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	15:14	38,6302	43,0803	4	VAN GÖLÜ
23/10/2011	15:24	38,5905	43,149	4,7	VAN GÖLÜ
23/10/2011	15:57	38,7173	43,3265	4,6	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	16:05	38,7518	43,508	4,8	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	16:13	38,6632	43,1128	4,1	VAN GÖLÜ
23/10/2011	16:38	38,6852	43,3668	4,1	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	17:08	39,0273	42,2482	4	MUS-BULANIK-
23/10/2011	18:10	38,629	43,192	5	VAN GÖLÜ
23/10/2011	18:27	38,6853	43,5425	4,4	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	18:53	38,7248	43,302	4,8	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	19:06	38,7358	43,328	5	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	19:25	38,6163	43,2 4,	4	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	19:43	38,697 4	3,15 4,	5	VAN GÖLÜ
23/10/2011	19:48	38,6213	43,2027	4,2	VAN-MERKEZ-
23/10/2011	20:45	38,6447	43,1275	5,8	VAN GÖLÜ
23/10/2011	21:43	38,7718	43,3303	4,1	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	00:50	38,7417	43,3103	4,1	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	01:08	38,7072	43,3767	4	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	01:39	38,7428	43,3925	4,1	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	03:45	38,663	43,1123	4,2	VAN GÖLÜ
24/10/2011	04:18	38,6808	43,31	4,5	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	04:43	38,6122	43,2525	4,3	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	05:54	38,7253	43,281	4,4	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	08:28	38,6865	43,5322	4,7	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	08:49	38,706	43,5823	5	VAN-MERKEZ-

24/10/2011	10:06	36,534	28,6738	4	FETHIYE AÇIKLARI
24/10/2011	10:10	38,715	43,5145	4	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	10:14	36,5233	28,7075	4,2	FETHIYE
24/10/2011	10:30	38,6868	43,3143	4,1	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	11:14	38,7138	43,3705	4	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	12:49	38,7007	43,3385	4,3	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	13:07	38,9292	43,5507	4,4	VAN GÖLÜ
24/10/2011	14:06	38,7898	43,1812	4,1	VAN GÖLÜ
24/10/2011	15:09	38,6615	43,2453	4,2	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	15:28	38,693	43,1475	4,8	VAN GÖLÜ
24/10/2011	16:51	38,9028	43,5538	4,2	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	18:52	38,6983	43,2198	4,3	VAN-MERKEZ-
24/10/2011	22:13	38,7135	43,0977	4,5	VAN GÖLÜ
24/10/2011	23:55	38,7872	43,3903	4,6	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	00:08	38,6383	43,0782	4	VAN GÖLÜ
25/10/2011	00:32	38,6515	43,0678	4,2	VAN GÖLÜ
25/10/2011	02:33	38,7742	43,154	4,4	VAN GÖLÜ
25/10/2011	02:49	38,6587	43,1535	4	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	03:16	38,7748	43,2748	4	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	03:59	38,7002	43,2498	4	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	14:55	38,823	43,5857	5,4	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	15:05	38,8488	43,5702	4	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	15:06	38,8377	43,5145	4	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	15:16	38,8323	43,5163	4,1	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	15:19	38,738	43,3188	4	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	15:27	38,8268	43,5668	4,5	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	16:50	38,8688	43,6377	4,3	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	16:56	38,7895	43,4705	4,3	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	17:08	38,7098	43,1577	4	VAN GÖLÜ
25/10/2011	18:14	38,8548	43,6078	4,1	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	19:43	38,7417	43,3522	4,1	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	19:55	38,5842	43,5737	4,1	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	20:08	38,9007	43,553	4,1	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	20:22	38,907	43,5205	4	VAN GÖLÜ
25/10/2011	20:39	38,6743	43,1127	4	VAN GÖLÜ
25/10/2011	21:38	38,6652	43,1985	4	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	23:25	38,7507	43,3343	4,1	VAN-MERKEZ-
25/10/2011	23:39	38,8582	43,5855	4	VAN-MERKEZ-
26/10/2011	02:59	38,828	43,5063	4,6	VAN-MERKEZ-
26/10/2011	03:16	38,6923	43,2008	4,8	VAN-MERKEZ-
26/10/2011	03:27	38,7062	43,1948	4,2	VAN-MERKEZ-
26/10/2011	08:49	38,636	43,5222	4	VAN-MERKEZ-
26/10/2011	12:05	38,738	43,5005	4,3	VAN-MERKEZ-
26/10/2011	15:14	38,6657	43,5468	4,3	VAN-MERKEZ-

26/10/2011	15:31	38,636	43,0963	4,2	VAN GÖLÜ
26/10/2011	16:19	38,6593	43,2853	4,5	VAN-MERKEZ-
26/10/2011	19:16	38,7183	43,2777	4,1	VAN-MERKEZ-
26/10/2011	19:22	38,6633	43,5245	4	VAN-MERKEZ-
26/10/2011	19:45	38,7788	43,2045	4,1	VAN GÖLÜ
26/10/2011	23:42	38,6237	43,1613	4,3	VAN GÖLÜ
27/10/2011	05:29	38,6923	43,3738	4,2	VAN-MERKEZ-
27/10/2011	08:04	37,3807	43,8343	5,6	HAKKARI-MERKE
27/10/2011	15:41	38,9198	43,5475	4,1	VAN GÖLÜ
27/10/2011	19:08	38,726	43,5033	4	VAN-MERKEZ-
27/10/2011	20:55	38,8203	43,5767	4	VAN-MERKEZ-
28/10/2011	00:25	38,557	43,1673	4,1	VAN GÖLÜ
28/10/2011	03:23	38,8448	43,5828	4,1	VAN-MERKEZ-
28/10/2011	08:48	38,661	43,5613	4,2	VAN-MERKEZ-
28/10/2011	09:47	38,7587	43,507	4,5	VAN-MERKEZ-
28/10/2011	16:34	38,9165	43,5947	4,4	VAN-MERKEZ-
28/10/2011	16:34	38,9177	43,5792	4,5	VAN GÖLÜ
28/10/2011	19:59	38,6342	43,1843	4,1	VAN GÖLÜ
29/10/2011	03:52	38,5875	43,2097	4,3	VAN-MERKEZ-
29/10/2011	09:08	38,7423	43,6003	4	VAN-MERKEZ-
29/10/2011	12:18	38,7482	43,2907	4,1	VAN-MERKEZ-
29/10/2011	18:45	38,6228	43,1525	4,6	VAN GÖLÜ
29/10/2011	22:24	38,9245	43,5438	4,8	VAN GÖLÜ
30/10/2011	01:55	38,7298	43,6128	4,6	VAN-MERKEZ-
30/10/2011	04:29	38,7458	43,3052	4,2	VAN-MERKEZ-
31/10/2011	16:57	38,7247	43,3535	4	VAN-MERKEZ-

Çizelge 1.3 : 2011 Kasım ayı içerisinde meydana gelen $M \geq 4.0$ olan depremler (AFAD, 2011).

Tarih	Zaman (UTC)	Enlem(K)	Boylam (D)	Büyüklik	Yer
01/11/2011	21:10	38.8462	43.6095	4.5	VAN-MERKEZ
02/11/2011	04:34	38.8847	43.5908	4.8	VAN-MERKEZ
02/11/2011	04:38	38.865	43.534	4.1	VAN-MERKEZ
02/11/2011	11:43	37.1775	43.985	4.8	IRAK
02/11/2011	13:24	38.8433	43.5377	4.6	VAN-MERKEZ
02/11/2011	16:52	38.7185	43.0445	4.1	VAN GÖLÜ
02/11/2011	18:32	37.2522	43.891	4.1	HAKKARI-YÜKSEKOVA
02/11/2011	20:48	38.7597	43.3808	4.4	VAN-MERKEZ
02/11/2011	21:44	38.9457	43.6098	4	VAN GÖLÜ
03/11/2011	01:05	38.9508	43.5427	4.1	VAN GÖLÜ
03/11/2011	16:39	38.8507	43.5062	4.3	VAN-MERKEZ
04/11/2011	05:04	38.7687	43.5753	4	VAN-MERKEZ
04/11/2011	10:55	38.8143	43.5058	4.2	VAN-MERKEZ
04/11/2011	12:56	38.743	43.5368	4	VAN-MERKEZ
05/11/2011	03:23	38.7118	43.2357	4.2	VAN-MERKEZ

05/11/2011	19:19	38.8147	43.5147	4.6	VAN-MERKEZ
06/11/2011	00:24	38.6997	43.2175	4.3	VAN-MERKEZ
06/11/2011	02:43	38.9393	43.5548	4.6	VAN GÖLÜ
06/11/2011	13:34	38.8225	43.4752	4.3	VAN-MERKEZ
06/11/2011	20:55	38.5885	43.1767	4.1	VAN GÖLÜ
06/11/2011	20:56	36.2595	25.929	4.5	EGE DENİZİ
07/11/2011	15:54	38.6634	43.6323	4.8	VAN-MERKEZ
07/11/2011	16:11	38.6958	43.6142	4.3	VAN-MERKEZ
07/11/2011	22:14	38.9358	43.4832	4.5	VAN GÖLÜ
08/11/2011	14:35	38.7045	43.6332	4.4	VAN-MERKEZ
08/11/2011	17:24	38.6632	43.168	4.3	VAN-MERKEZ
08/11/2011	19:34	38.7932	43.4015	4.4	VAN-MERKEZ
08/11/2011	22:05	38.7192	43.0778	5.4	VAN GÖLÜ
09/11/2011	19:23	38.4382	43.2825	5.6	VAN GÖLÜ (EDREMİT)
09/11/2011	19:30	38.4852	43.2452	4.4	VAN GÖLÜ
09/11/2011	20:45	38.4643	43.2538	4.5	VAN GÖLÜ
09/11/2011	22:38	38.4498	43.2413	4.4	VAN GÖLÜ
11/11/2011	13:45	38.7097	43.4045	4.1	VAN-MERKEZ
12/11/2011	14:50	38.9565	43.4915	4.2	VAN GÖLÜ
12/11/2011	17:05	38.6733	43.5143	4	VAN-MERKEZ
12/11/2011	18:20	38.6323	43.173	4.6	VAN GÖLÜ
12/11/2011	18:25	38.8103	43.5998	4.3	VAN-MERKEZ
12/11/2011	19:53	38.4673	43.3035	4.2	VAN GÖLÜ
13/11/2011	03:44	38.425	43.0153	4	VAN GÖLÜ
13/11/2011	18:29	38.8692	43.5782	4.1	VAN-MERKEZ
13/11/2011	19:57	38.845	43.5038	4.1	VAN-MERKEZ
14/11/2011	09:46	36.061	28.9153	4.4	AKDENİZ- BASENİDOĞU
14/11/2011	16:31	38.621	43.0403	4.5	VAN GÖLÜ
14/11/2011	16:47	38.6247	43.0752	4.7	VAN GÖLÜ
14/11/2011	16:53	38.811	43.7385	4.2	VAN-MURADIYE
14/11/2011	22:08	38.7038	43.0833	5.1	VAN GÖLÜ
17/11/2011	02:37	39.1645	41.5725	4.4	MUS-VARTO
17/11/2011	12:38	38.8677	43.5692	4.5	VAN-MERKEZ
18/11/2011	17:39	38.8022	43.8528	5.2	VAN-ÖZALP
19/11/2011	08:08	38.1195	38.7132	4.1	MALATYA-PÜTÜRGE
20/11/2011	11:20	38.8253	43.7835	4	VAN-MURADIYE
21/11/2011	20:55	38.6695	43.2057	4.6	VAN-MERKEZ
21/11/2011	21:00	38.6913	43.1395	4.6	VAN GÖLÜ
22/11/2011	03:30	38.6093	43.207	4.5	VAN-MERKEZ
22/11/2011	04:50	39.0248	35.893	4.5	KAYSERİ-SARIOĞLAN
22/11/2011	23:48	38.9143	43.5593	4.4	VAN-MERKEZ
23/11/2011	12:18	35.4048	25.9317	4.9	GİRİT AÇIKLARI
24/11/2011	00:48	38.6333	43.0282	4.5	VAN GÖLÜ
26/11/2011	19:22	38.4687	43.2958	4.2	VAN GÖLÜ
29/11/2011	02:18	44.9989	37.0512	5.2	KARADENİZ
29/11/2011	14:07	35.9482	28.4312	4.4	AKDENİZ- BASENİDOĞU
30/11/2011	00:47	38.47	43.2905	5	VAN GÖLÜ

1.2.2 23.10.2011 Ve 09.11.2011 Tarihli Van Depremleri

1.2.2.1 Depremlerin genel özellikleri

23/10/2011 tarihinde yerel saat ile 13:41 de Van Merkez de moment magnitüd (M_w) değeri değişik kuruluşlara göre 7.1 ile 7.3 arasında değişen bir deprem meydana gelmiştir. Van depremi Kandilli Rasathanesi tarafından verilen 38.75 Doğu - 43.36 Kuzey, (KOERİ) koordinatlarında başlayıp Kuzeydoğu ve Güneybatı yönünde ilerlemiştir. Deprem ters faylanma özelliği gösteren yaklaşık 60 km x 20km boyutlarında bir kırılma sonucu meydana gelmiştir. Artçı deprem konumlanmaları da bu bulguyu doğrulamaktadır. Bu fay düzlemi üzerinde yaklaşık 10 -15km derinlikteki ortalama yer değiştirme 2m dir. Yüzeyde herhangi bir fay kırılması gözlenmemiştir. Fay kırılması (enerji boşalma süresi) yaklaşık 50s kadardır. Fayın kırılma doğrultusu kuzeye göre yaklaşık 250 derece ve fayın eğimi yaklaşık 35 derecedir (KOERİ). Odak derinliği 19.02 km olarak belirlenmiştir (AFAD, 2011). Söz konusu depreme ait çeşitli kuruluşlarca verilen sismolojik parametreler (Çizelge 1.4 ve Şekil 1.4) de gösterilmektedir. Deprem, Doğu Anadolu'da Diyarbakır, Batman, Şırnak, Muş, Erzurum, Bingöl, Bitlis, Siirt, Ağrı ve Iğdır'ı da kapsayan geniş bir alanda hissedilmiştir (MTA). Deprem, Van il merkezinin yanı sıra özellikle Erciş ve civar köylerde önemli hasara yol açmıştır.

23 Ekim 2011 depreminden 17 gün sonra 09.11.2011 günü yerel saatle 21:23'de merkez üssü Van'ın Edremit ilçesi olan bir deprem meydana gelmiştir. Büyüklüğü M_L: 5.6 (KRDAE) olan deprem çevre ilçelerde de hissedilmiştir ve Deprem sonrasında Van ilinde bazı hasarlı binalar

yıkılmış, ilk depreme ilave can ve mal kaybı yaşanmıştır, Van ili merkezinde 40 kişinin hayatını kaybetmesine, ikisi otel olmak üzere 25 binanın yıkılmasına sebep olmuştur (ODTU). Dışmerkez üssü koordinatları 38.429K- 43.234D olan deprem, Edremit ilçesi kent merkezi yakın kuzeyinde Van Gölü kıyısına rasladığını anlaşılmaktadır. Depreme ilişkin sismolojik parametreler Çizelge 1.4'de verilmiştir. Şekil 1.4'de, MTA tarafından 1992 yılında yayımlanmış olan Türkiye Diri Fay Haritası üzerinde depremin çeşitli kurumlara göre merkez üssü gösterilmektedir. 9 Kasım 2011 Edremit depremine ilişkin fay düzlemi çözümleri depremin doğrultu atımlı faylanmayla geliştiğine işaret etmektedir. Bu özelliği nedeniyle adı geçen

depremin 23 Ekim 2011 depremi ana şoku ve artçılarından farklı bir mekanizma içinde geliştiği, dolayısıyla bu son depremin farklı bir kaynak zondan türemiş olduğu söylenebilmektedir.

Edremit yöresinde, karada, doğrultu atımlı herhangi bir faya rastlanmamıştır (MTA). 5.7 büyüklüğündeki Edremit depremini üreten faydaki kırılmanın görgül (ampirik) olarak 4-5 km uzunlukta olduğu ve depreme neden olan fayın muhtemelen Van Gölü içerisinde olduğu yorumlanmaktadır (MTA). Bu depremin 23 Ekim 2011 Depremi ve artçıları tarafından tetiklenmiş olması çok muhtemeldir. Kuzey-Güney yönlü bir sıkışma rejimi altında olan bölgede değişik karakterlerde irili ufaklı bir çok fay sistemi bulunmakta ve bu fay sistemleri, meydana gelen artçı şoklar nedeniyle birbirlerini tetiklemektedirler.

Çizelge 1.4 : 23 Ekim 2011 Van-Erciş ve 09 Kasım 2011 Van-Edremit depremlerine ait çeşitli kuruluşlarca verilen parametreler.

Tarih	kaynak	saat	enlem	boylam	Derinlik (km)	δ	θ	λ	Mw	ML
23,10,2011	AFAD	10:41:20	38,69	43,465	19,02	*1)66 **2)24	1)98 2)283	1)88 2)95	7	6,7
	KOERİ	10:41:22	38,7	43,83	10	35	250		7,2	6,7
	USGS	10:41:44	39,451	43,354	16	1)71 2)19	1)80 2)272	1)86 2)101	7,3	
	GCMT	10:41:28	38,64	43,4	12	1)38 2)58	1)246 2)103	1)60 2)112	7,1	
	EMSC	10:41:23	38,78	43,4	10				7,2	
	GEOFON	10:41:22	38,674	43,581	15	1)54 2)36	1)94 2)268	1)94 2)85	7,1	
09,11,2011	AFAD	19:23:34	38,4472	43,2638	6,09	1)52 2)57	1)163 2)284	1)-44 2)-132	5,7	5,6
	KOERİ	19:23:36	38,48	43,36	10					6
	USGS	19:23:33	38,429	43,229	8	1)79 2)60	1)176 2)272	1)-31 2)-167	5,6	
	GCMT	19:23:37	38,3	43,28	13,5	1)72 2)89	1)267 2)358	1)179 2)18	5,7	
	EMSC	19:23	38,42	43,29	6				5,7	
	GEOFON	19:23	38,41	43,35	23	1)87 2)75	1)93 2)2	1)-164 2)-2	5,6	

USGS, GCMT, GEOFON, Centroid Moment Tensor Yöntemini 2 fay düzleminde kullanmıştır.

*: 1.fay düzlemi

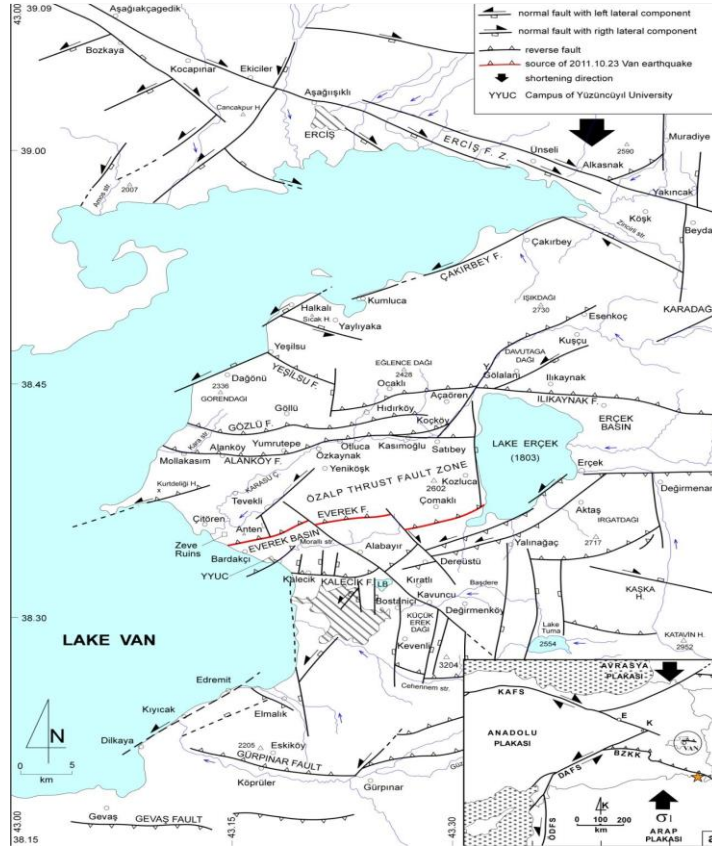
**:2.fay düzlemi

δ : eğim açısı

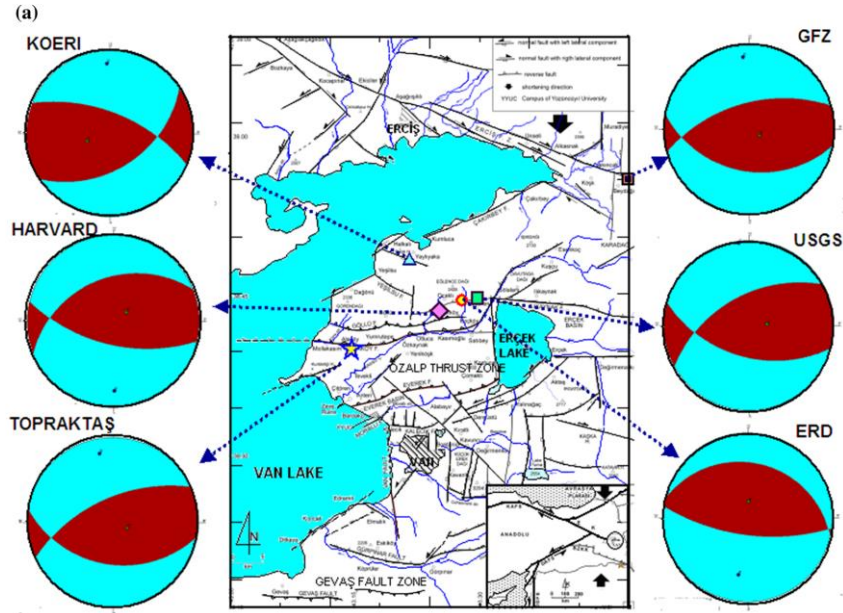
θ : doğrultu açısı

λ : kayma açısı

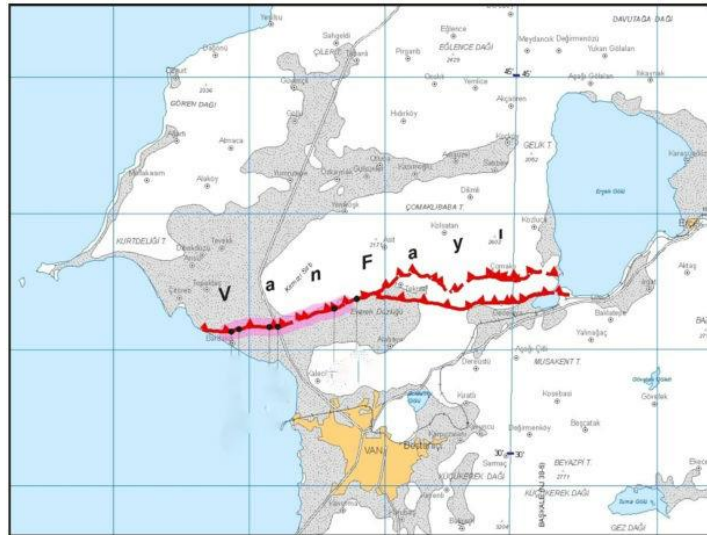
fay kırılması gözlenmemiştir. Fay kırılması (enerji boşalma süresi) yaklaşık 50s kadardır. Fayın kırılma doğrultusu kuzeye göre yaklaşık 250 derece ve fayın eğimi yaklaşık 35 derecedir (KOERİ). Odak derinliği 19.02 km olarak belirlenmiştir (AFAD, 2011). İlgili fay Van Fayı olarak adlanmıştır (MTA). Ek 1 ve Şekil 1.7’de depremden hemen sonra yapılan saha gözlemleri ve 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarında yapılan değerlendirmeler sonucu haritalanmış olan Van Fayı gösterilmektedir. Van fayı Erçek Gölü ile Van Gölü arasında D-B genel doğrultusunda uzanır. Her iki ucunda adı geçen göllerin suları altında bulunan fayın karada haritalanabilen toplam uzunluğu 27 km dir. Fayın kuzey bloğu genel morfolojide yüksektir. Batı ucunda, karada, yaklaşık 12 km uzunluğundaki bölümünde tek fay parçasından oluşur. 17 km uzunluğundaki doğu yarısında ise fay 2 km genişlikte, birbirine paralel uzanan iki parçadan oluşmaktadır.



Şekil 1.5 : Van ve yakın çevresindeki fay hatlarını gösteren harita (Koçyiğit, 2011).



Şekil 1.6 : 23 EKİM 2011 Van-Erciş depreminin çeşitli kuruluşlarca verilen odak mekanizması ve merkez üzü lokasyonları.



Şekil 1.7 : Van Fayı'nda 23 Ekim 2011 depreminde gelişen yüzey deformasyonlarını gösterir lokasyon haritası. Pembe bant 23 Ekim 2011 depreminde yüzey deformasyonlarının geliştiği segmenti göstermektedir (MTA).

09 Kasım 2011 Van-Edremit depremi

23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen 7,2 büyüklüğündeki depremden 17 gün sonra, 9 Kasım 2011 Çarşamba günü yerel saatle 21:23'de meydana gelen 5.7 büyüklüğündeki ikinci önemli deprem, Van yerleşim alanında 40'a ulaşan can kaybına ve önceki depremde hasar görmüş olan onlarca binanın yıkılmasına neden olmuştur. Merkez üssü Edremit ilçesi olan bu depremin USGS verilerine göre odak derinliği 5 km'dir. 9 Kasım 2011 depremine ait veriler Çizelge 1.5 'de sunulmuştur.

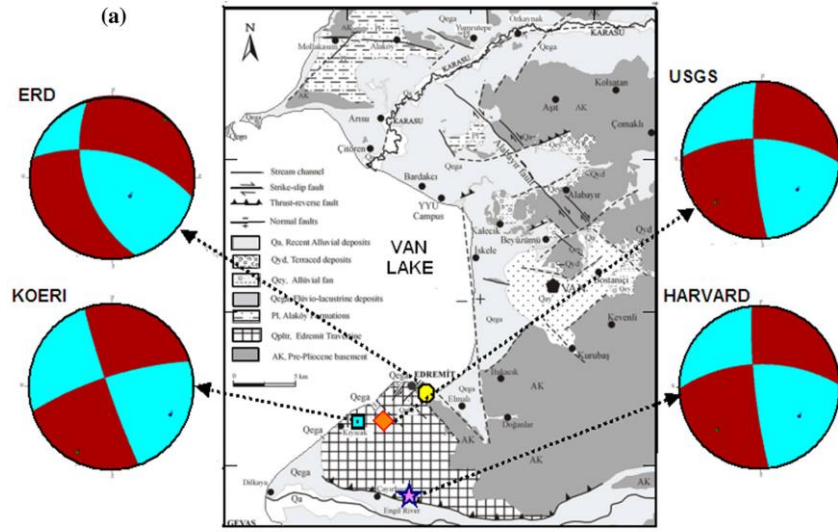
Fiziksel parametrelerden yararlanılarak geliştirilen fay çözümleri, bu depremin daha çok sağ doğrultu atımlı bir faylanma sonucu oluştuğunu belgelemektedir. Şekil 1.8 (KOERI, 2011), (USGS, 2011), (ERD, 2011), (HARVARD, 2011) gibi çeşitli kuruluşlarca belirlenen depremin merkez üssü lokasyonu ve odak mekanizma çözümleri gösterilmiştir. Bu depreme ait fay çözümlerinin yanı sıra, artçı şokların dizilimi KB-GD uzanımlı bir fayın bu depreme neden olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1.5 : 2011 Van'ın Edremit ilçesi ve Erciş ilçesinde meydana gelen depremlerle ilgili bilgiler.

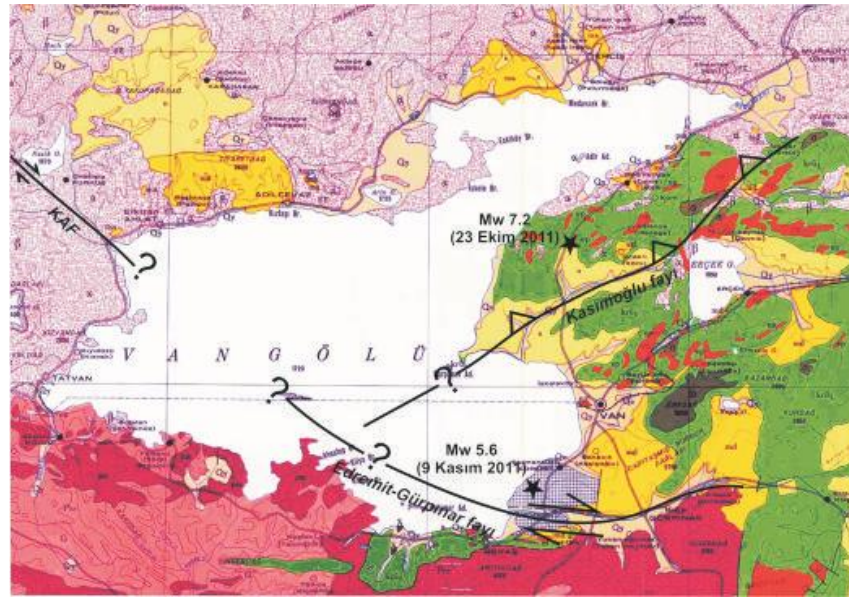
Deprem	Tarih	Büyükölük	Odak Çözümü	Fay Türü
Erciş/Van	23.10.2011	7.2		Sol yönlü doğrultu atım bileşeni olan ters fay
Edremit/Van	09.11.2011	5.7		Sol yönlü doğrultu atım bileşeni olan normal fay

Her iki depreme ait fay parametresi çözümleri, 7,2 büyüklüğündeki depremin KD-GB gidişli bindirme fayına (Kasımoğlu fayı) bağılı olarak geliştiğini gösterir (Şekil 1.9) (Yağmurlu vd., 2011). Buna karşın 5,6 büyüklüğündeki Edremit depremine ait fay çözümleri, bu depremin KB-yönünde uzanım gösteren sağ doğrultu atımlı bir faylanmaya bağılı olarak geliştiğini yansıtır. Bu depremin oluşumuna yol açan ve Edremit-Gürpınar hattından geçen sağ doğrultu atımlı fayın konumu ve doğrultusu, Kuzey Anadolu Fayının konum ve özelliklerine benzemektedir. Bu nedenle bu depremin, Kuzey Anadolu Fayının doğu bölümünü oluşturan Varto- Ahlat-Gürpınar segmentinin doğu bölümünde meydana geldiğini belirtmek mümkündür. Van Gölü çevresinde meydana gelen depremlerin oluşumuna yol açan fayların konumları Ek1'de gösterilmiştir. Buna göre, 7,2'lik depremi oluşturan KD gidişli bindirme fayı ile 5,6'lık deprem oluşturan KB-uzanımlı sağ doğrultu atımlı faylar, birbirleriyle dar açı oluşturan verev gelişmiş aktif fay sistemlerini yansıtır. Şekil 1.9'da önerilen tektonik modele göre, 7.2 büyüklüğündeki depremden sonar, artçı şoklarında etkisiyle, Varto- Ahlat-Gürpınar segmentinin doğu bölümünde giderek artan gerilme sonucunda, 5.7 büyüklüğündeki Edremit depremi meydana gelmiş olmalıdır. Kısacası, KD-gidişli bindirme fayına bağılı olarak oluşan 7.2 büyüklüğündeki deprem

ve buna eşlik eden artçı şoklar, sağ doğrultu atım özelliğine sahip Edremit-Gürpınar fayını tetikleyerek hareketlenmesine neden olmuştur.



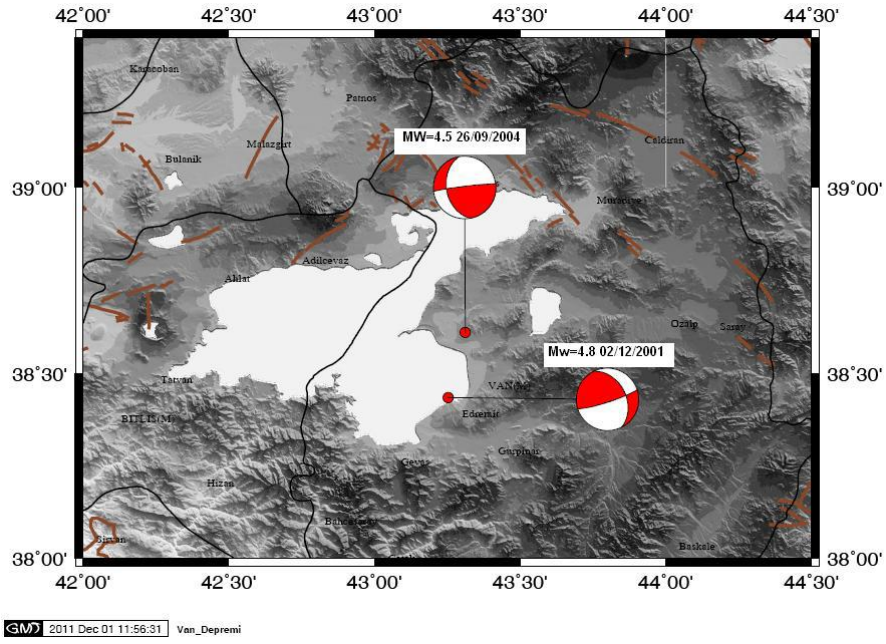
Şekil 1.8 : 09 KASIM 2011 Van-Edremit depreminin çeşitli kuruluşlarca verilen odak mekanizması ve merkez üssü lokasyonları.



Şekil 1.9 : Tektonik model, 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerine ait fayları Gösterir (Yoğurtlu vd., 2011).

1.2.2.3 23 Ekim ve 09 Kasım, 2011 depremlerinin, Van ilindeki geçmişe ait depremler ile benzerliği

2001 ve 2004 yıllarında aynı bölgede meydana gelen $M > 4.0$ olan depremlerin odak mekanizması çözümlerine bakıldığında, söz konusu depremlerin, 23 Ekim ve 9 Kasım 2011 tarihlerinde meydana gelen depremler ile yakın lokasyonlarda olduğu görülmektedir (Şekil 1.10).

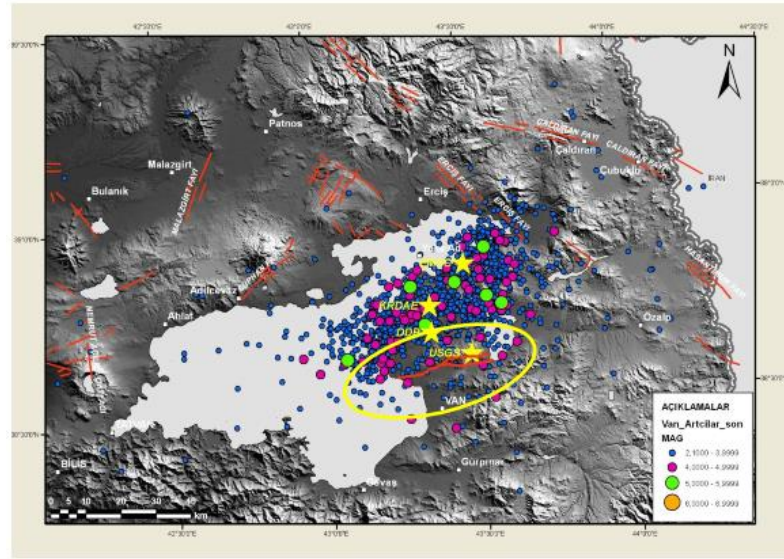


Şekil 1.10 : 02.12.2001 ve 26.09.2004 yılı depremlerinin, Centroid Moment Tensör çözümleri (SED).

1.2.2.4 Depremlerin artçı şokları

23 Ekim depreminin artçı şokları

23 Ekim 2011 depremden sonra Ekim ayı içerisinde Van bölgesinde büyüklükleri 1.7 ile 5.8 arasında değişen 1871 artçı şok meydana gelmiştir (AFAD, 2011). Ana şoktan itibaren ilk 24 saat içinde 339 adet artçı şok meydana gelmiştir. Artçı depremlerin dağılımı Van kenti kuzeyinde Van Gölü ile Muradiye ilçesi arasında kabaca DKD BGB uzanımında dağınık bir kümelenme sunmakta ve yaklaşık 100 km. lik bir uzunlukta yayılım göstermekte, derinlikleri 2 km ile 25 km arasında değişmektedir (AFAD, 2011 ve MTA) (Şekil 1.11). Artçı şoklar genellikle ana şokun kuzeyinde KD-GB yönünde Artçı şok dağılımına dik olacak şekilde alınan derinlik kesitine göre, tabaka eğiminin ana şokun odak mekanizması çözümündeki eğim açısı ile yaklaşık olarak uyumlu olduğu görülmektedir (AFAD, 2011). Ekim ayı içerisinde Van'da meydana gelen büyüklüğü 4.5 ve üzeri olan depremlerin mekanizma çözümleri Çizelge 1.6, de verilmiştir.



Şekil 1.11 : 23 Ekim 2011 Van depremi ana şok ve artçı depremlerin lokasyonunu gösterir harita. Sarı elips depremin kaynağı olan Van Fayı'nı göstermektedir (MTA).

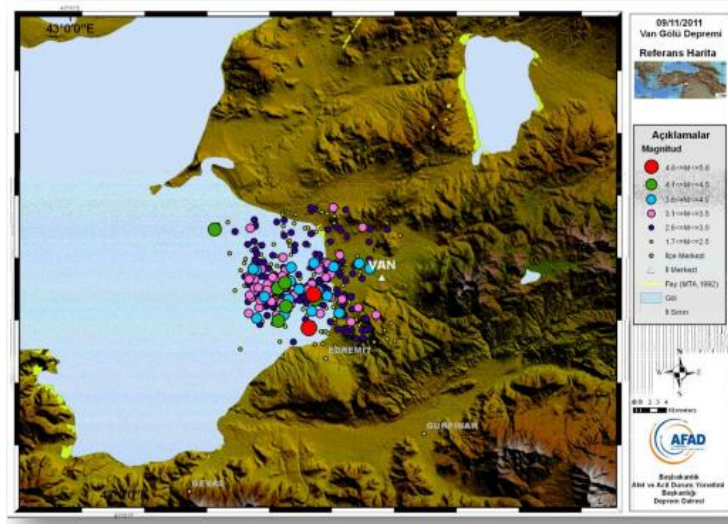
Çizelge 1.6 : 23/10/2011 Van-Merkez depremi ve artçılarının odak mekanizması çözümleri (AFAD, 2011).

	TARİH	BÜYÜKLÜK	YER	DOĞRULTU1	KAYMA1	DALIM1	DOĞRULTU2	KAYMA2	DALIM2
	23/10/2011 10:41:21	Mw 7.0	VAN MERKEZ	98.00	88.00	66.00	283.00	95.00	24.00
	23/10/2011 10:56:48	Ml 5.8	VAN MERKEZ	305.00	-140.00	71.00	200.00	-24.00	52.00
	23/10/2011 11:32:40	Ml 5.5	VAN MERKEZ	213.00	99.00	51.00	19.00	70.00	40.00
	23/10/2011 13:17:04	Ml 4.7	VAN MERKEZ	140.00	128.00	68.00	256.00	34.00	43.00
	23/10/2011 15:57:59	Ml 4.6	VAN MERKEZ	63.00	100.00	43.00	230.00	81.00	47.00
	23/10/2011 16:05:10	Ml 4.8	VAN MERKEZ	175.00	57.00	43.00	37.00	117.00	56.00
	23/10/2011 18:53:47	Ml 4.8	VAN MERKEZ	129.00	124.00	74.00	241.00	27.00	37.00
	23/10/2011 19:06:06	Ml 5.0	VAN MERKEZ	252.00	65.00	34.00	101.00	106.00	59.00
	24/10/2011 04:18:46	Ml 4.5	VAN MERKEZ	145.00	141.00	57.00	258.00	40.00	59.00
	24/10/2011 08:49:20	Ml 5.0	VAN MERKEZ	231.00	73.00	43.00	73.00	105.00	49.00
	24/10/2011 23:55:15	Ml 4.6	VAN MERKEZ	21.00	-22.00	89.00	111.00	-179.00	68.00
	25/10/2011 14:55:07	Ml 5.5	VAN MERKEZ	36.00	-9.00	89.00	126.00	-179.00	81.00
	25/10/2011 15:27:13	Ml 4.5	VAN MERKEZ	55.00	21.00	83.00	323.00	172.00	70.00

09 Kasım depreminin artçı şoklar

09 Kasım 2011 tarihinde Van Gölü içerisinde Edremit yakınlarında Ml=5.6 büyüklüğündeki depremden sonra aynı lokasyon içerisinde yaklaşık KB-GD

doğrultusunda $M_I=5.6$ büyüklüğündeki depremin artçıları olarak nitelendirebileceğimiz depremler meydana gelmiştir (Şekil 1.12) (AFAD, 2011) Van Edremit İlçesi yakınlarında meydana gelen depremlerin odak mekanizması çözümleri Çizelge 1.7’de verilmiştir.



Şekil 1.12 : 9 Kasım 2011 Van-Edremit ($M_I:5.6$) Depremi ve artçı şokları (Edremit ilçesi yakınları) (AFAD, 2011).

Çizelge 1.7 : Kasım 2011 de meydana gelen büyüklüğü $M \geq 4.5$ olan Van depremleri’nin odak mekanizması çözümleri (AFAD, 2011).

	TARİH (UTC)	BÜYÜKLÜK	YER	DOĞRULTU1	KAYMA1	DALIM1	DOĞRULTU2	KAYMA2	DALIM2
	08/11/2011 22:05:51	Ml 5.4	VAN GÖLÜ	255.00	59.00	43.00	114.00	116.00	54.00
	09/11/2011 19:23:34	Ml 5.6	VAN GÖLÜ	163.00	-44.00	52.00	284.00	-132.00	57.00
	14/11/2011 22:08:15	Ml 5.1	VAN GÖLÜ	256.00	66.00	41.00	106.00	109.00	53.00
	18/11/2011 17:39:39	Ml 5.2	VAN ÖZALP	201.00	20.00	90.00	111.00	180.00	70.00
	30/11/2011 00:47:21	Ml 5.0	VAN GÖLÜ	166.00	-58.00	56.00	298.00	-128.00	45.00
	04/12/2011 22:15:03	Ml 4.9	VAN GÖLÜ	32.00	2.00	86.00	302.00	176.00	88.00

1.2.2.5 Hasar

Hasar ile zemin cinsi ilişkisi

23 Ekim ($M_w: 7.2$) ve 9 Kasım 2011 ($M_w: 5.6$) Van depremleri sırasında meydana gelen hasar dağılımına bakıldığında, alüvyal zeminler üzerinde bulunan yerleşim alanlarında, yapısal hasarın yüksek olduğu görülmektedir. 9 Kasım 2011 depreminde kaydedilen yer ivmesi değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığı zaman, söz konusu

zeminlerin yer hareketi ve yapısal hasarlar üzerindeki etkisi anlaşılmaktadır. Edremit merkezli depremde travertenler üzerinde kaydedilen yatay yer ivmesi değeri 0.10 g iken, yaklaşık 15 km uzaklıkta alüvyal zemin üzerinde kaydedilen yatay yer ivmesi değeri ise 0.25 g dir. Zeminin yer ivmesi üzerindeki etkisi 2.5 kattır. Alüvyal zeminler üzerinde kayma dalgası hızına bağlı olarak hesaplanan zemin büyütme değerleri, yer hareketleri ile uyumludur (L.Selçuk vd., 2012). özellikle, hasarın yüksek olduğu mahallelerde, zemin kohezyonsuz, göreceli olarak daha gevşek ve su seviyesi yüzeye daha yakındır. Van ili merkez mahallelerinde gözlenen hasarın büyük bir kısmı ise düşük kalitede malzeme kullanımı ve yönetmeliklere uymayan yapılaşma ile ilişkilidir.

Saha gözlemleri

24-30 Ekim tarihleri arasında güneyde Gevaş, kuzeyde Erciş, doğuda Erçek ve batıda Van Gölü arasında kalan alan üzerinde yüzey kırığı ile ilgili deformasyonun takibi ile ilgili saha gözlemleri yapılmıştır (S.Akyüz vd., 2011).

Depremde meydana gelen yüzey kırığı arazide sınırlı alanlarda görülmüş ve Van'ın kuzeyinde, Van gölünün doğu kenarında yer alan Bardakçı köyünden itibaren doğuya doğru yaklaşık 4km izlenebilmiştir (Şekil 1.13). İnsan eliyle yapılmış yapılarda daha belirgin izlenebilen sıkışma yapıları doğal yüzeylerde daha çok çizgisel kot farkı, küçük ölçekli kabarmalar ve fay cephesindeki local yükselmeler nedeniyle meydana gelen fay cephesine paralel tansiyon çatlakları ile kendini belli eder. Kuzey blokta meydana gelen en çok 10 cm'lik yükselmeye karşılık gelen bu yüzey faylanması ve onunla ilgili gelişmiş deformasyon yapıları alt başlıklar halinde aşağıda sunulmuştur. Yüzey deformasyonunun doğuda görüldüğü son nokta Aşıt köyünün 4km güneyinde stabilize bir yol üzerindedir. Engebeli alan ile alüvyal düzlük kesişmesine karşılık gelen bu deformasyon çizgisel açılma (~ 1-1.5 cm) şeklindedir. K75D gidişli bu açılmanın doğuya devamında 50-80 cm yüksekliğinde ve kuzey bloğun yükselmiş olduğu çizgisel bir şev 200 m izlenebilir. Bu şevin önünde veya üzerinde herhangi bir güncel deformasyon izi görülmemiştir. Ana faya ait bu deformasyonlar dışında yüzey dalgaları ve şiddetli sarsıntıya bağlı çok sayıda yüzey deformasyonu görülmüştür. Bunların önemli bir kısmı yanılma, heyelan ve küçük ölçekli sıvılaşmalardır.

Lokasyon 1

Bardakçı köyünün yaklaşık 2 km kuzeybatısında, Van Gölü kıyısına oldukça yakın bir yerde kalan bu lokasyonda, gerek tarlalarda gerekse burada bulunan sulama kanalında kuzey bloğun tavanda kalarak yükseldiği K70D doğrultulu yüzey faylanması görülür. 200m kadar takip edilebilen bu deformasyon zonu, tarlalarda özellikle 27 Ekim tarihinde yağın yoğun kar ve sağanak yağmur sonrasında kaybolmuştur.

Lokasyon 2

Zeve Akademi Kooperatifi'nin kuzeybatısı, Bardakçı-Topaktaş yolunun batısında kalan bu hatboyunca, kuzey bloğun güneye bindirmesi sonucu oluşan K65D doğrultulu yüzey kırığı görülmüştür. Ayrıca, fayın dike yakın bir geometride kestiği sulama kanalında 5 ila 7 cm arasında ötelenme ölçülmüştür. Tarla yüzeyinde görülen çizgisel tek bir hattın aksine kanalda gelişen deformasyon 3 m civarında bir zona yayılmış durumdadır (Şekil 1.13a).

Lokasyon 3

23 Ekim 2011 Van Depremi sonrasında oluşan sıkışmalı yüzey deformasyonunun en belirgin olarak görüldüğü noktalardan biri, Bardakçı-Topaktaş yolunun bu kesimidir (Şekil 1.13b). K55D doğrultulu bu çizgisel deformasyon boyunca kuzey blok 5-8 cm kadar yükselmiştir. Bu bölgede yaşayan halk, yoldaki bu deformasyonun depremden sonra olduğunu teyit etmiştir.

Lokasyon 4

Topaktaş yolunun sıkışmalı deformasyon gösterdiği noktadan K55-60D doğrultusunda yüzey deformasyonu sürekli olarak takip edilmiş, yaklaşık 350 metre KD'da faylanmadan etkilenmiş başka bir sulama kanalının varlığı görülmüştür. Bu noktada kanalda 10 cm düşey atım görülürken yaklaşık 3 cm lik bir sol yanal ayrılma da belirlenmiştir (Şekil 1.13c). Bu kanalın yanında yer alan ve kabaca kuzeybatı-güneydoğu gidişata sahip toprak yol ise, yüzey kırığının hemen geçtiği yerde kuzey bloğun 1 m daha yüksek olduğu bir morfolojiye sahiptir (Şekil 1.13d). Bu veri bu hattın daha önceden de kırıldığını ve önceki depremlerde kırılan fayın muhtemelen yüzeyde düşey yerdeğiştirmelere neden olduğunu göstermektedir.

Lokasyon 5

Şekil 1.13c’da gösterilen sulama kanalının da bulunduğu K60D doğrultu 750 m’lik bir hat boyunca sıkışma ile ilgili yüzey deformasyonu arazide takip edilmiştir. Bu hat boyunca özellikle tarla seviyesinde kuzey bloğun yükseldiği görülür (Şekil 1.13e). Lokasyon 1’de olduğu gibi, uzun süreli devam eden sağanak yağış sonrası bu izlerin çoğu kaybolmuştur. Ayrıca bu bölgede yaşayanların verdikleri bilgilere göre, yüzey deformasyonun kuzeydoğuya doğru devam eden izi, depremden hemen sonra bu bölgedeki tarlaların sürülmesinden dolayı kaybolmuştur.

Lokasyon 6

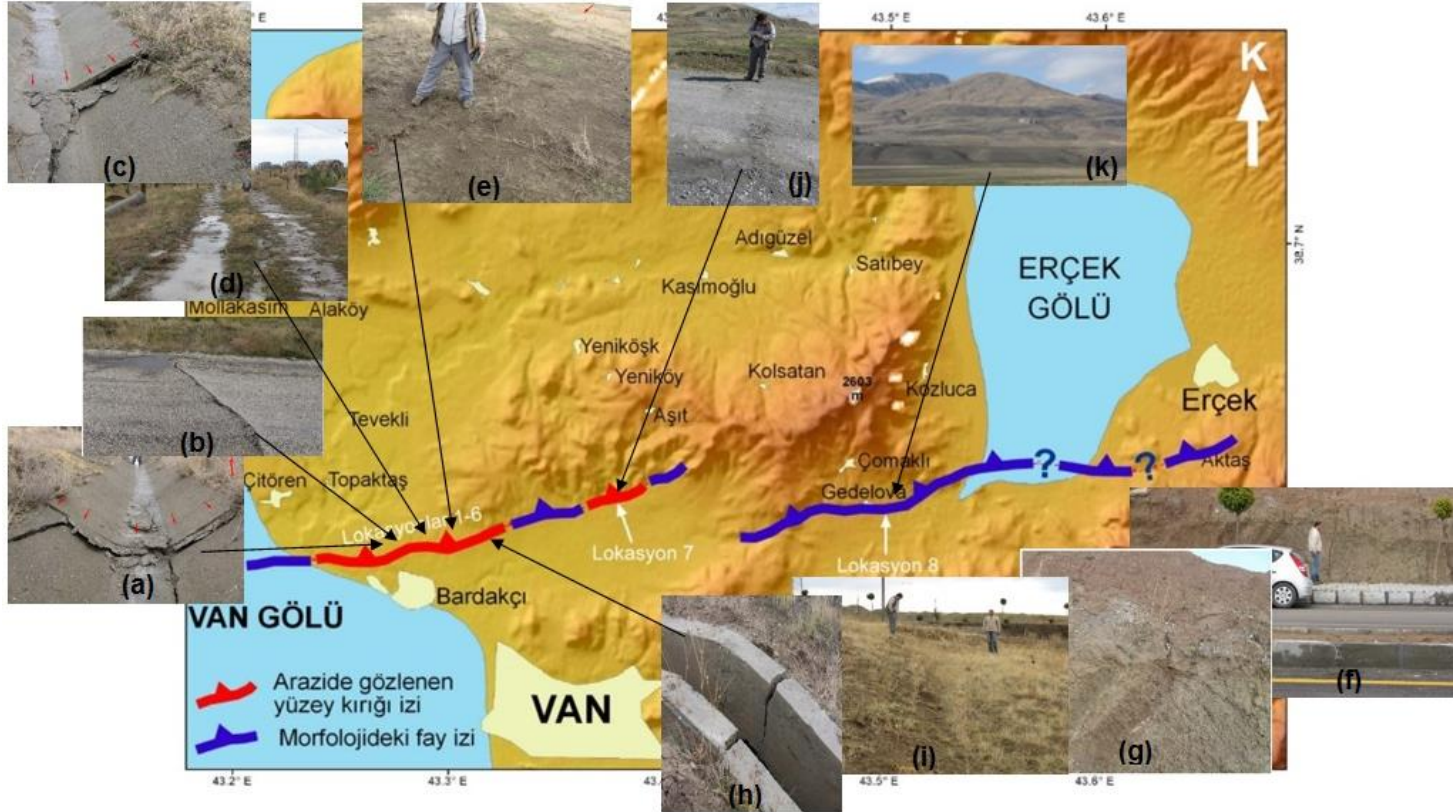
Deprem sonrasında Van-Ağrı yolunun değişik kesimlerinde deformasyonlar oluşmuş, bunlar hemen tamir edilmiştir. Van’ın 6-7km kuzeyinde meydana gelen ve tamir edilmeye ihtiyaç duyulmamış olan hafif bir çökme dikkat çekmiştir. Çökmenin olduğu yerde kaldırımda kırılma görülür (Şekil 1.13f). Yolun her iki tarafına bakıldığında doğal yüzeyde bir kırık izi görülmemiştir. Ancak yol kenarındaki yarmada görülen genç çökeller kuzeyden güneye itilmeyi gösteren veriler sunar (Şekil 1.13g). Ayrıca, yolun hemen batısında eğimli bir yüzeyde yer alan ve ana yola paralel uzanan sulama kanalında görülen deformasyon kuzey blokta bir yükselme olduğuna işaret eder (Şekil 1.13h). Bu kanalın batısına devam edildiğinde ise güneye eğimli bir morfoloji üzerinde belirgin bir çizgisel şev izlenir (Şekil 1.13i).

Lokasyon 7

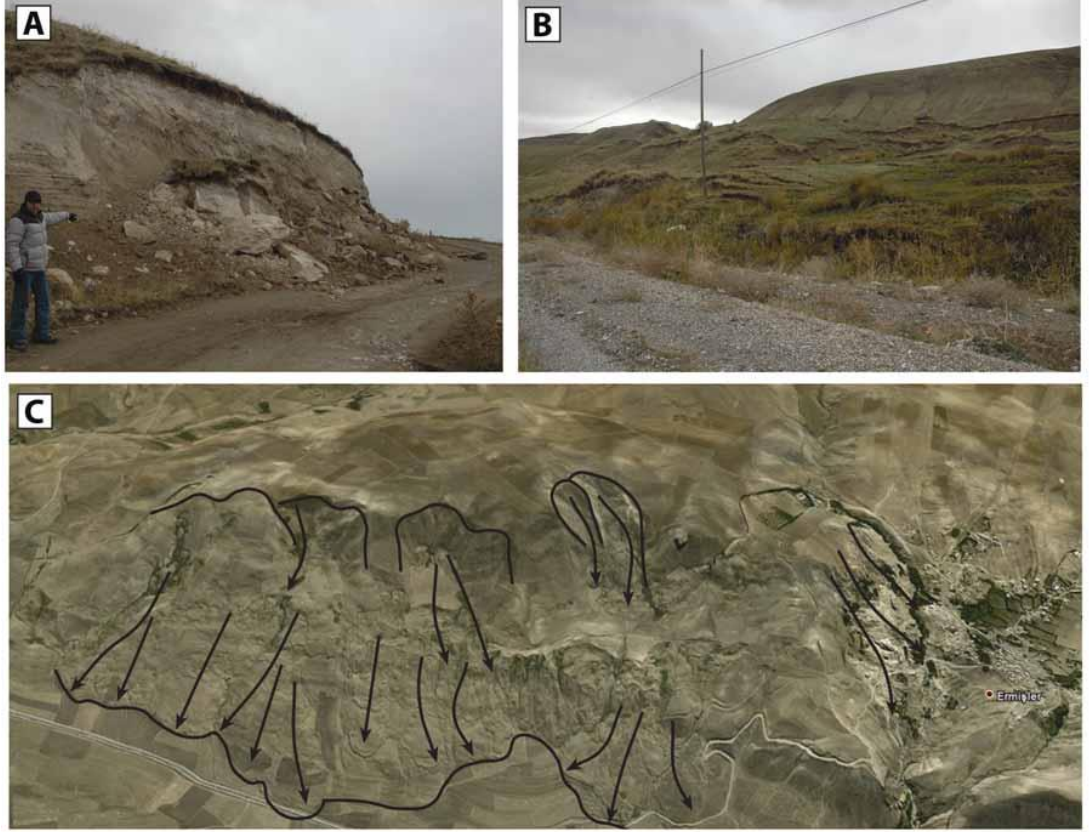
Yüzey deformasyonuna ait en doğuda gördüğümüz veri, stabilize bir yolda görülen çok ince kırılmalardır. Aşit köyünden güneye doğru inen stabilize yolun ovaya indiği kesimde görülen kırılmanın gidişi K75D’dur. Yağmur ve kar sonrası belirsizleşmeye başlayan bu kırık Aşit köyünden bir kılavuz tarafından da teyit edilmiştir.

Lokasyon 8

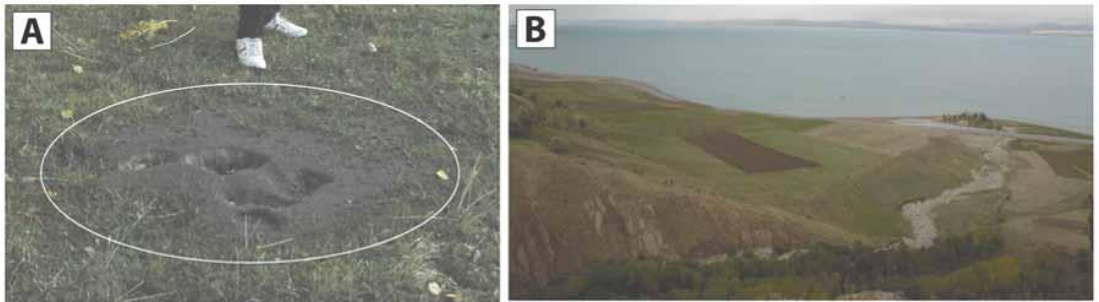
Gedelova’nın güneyinde yaklaşık D-B gidişli alüvyal bir düzlük yer alır. Bu düzlüğün sadece kuzey kesiminde belirgin görülen taraçalar güney yamaçlarda yoktur. Bu morfolojik veri ile bindirme fayının olası izi bu bölgeden geçirilmiştir (Şekil 1.13k).



Sahada yapılan gözlemler sonucunda zeminde meydana gelen deformasyonların bir çoğunun ana şok kaynaklı zemin kaymaları ve heyelanlar olduğu görülmüştür (Şekil 1.14). Ayrıca bölgedeki derelerde gözlenen erozyonun düşey yönde kazma eğilimi bölgede meydana gelen sıkışmaya bağlı yükselmenin göstergesi olup, birçok akarsu alüvyon düzlüğünde yaygın olarak sıvılaşma meydana gelmiştir (Şekil 1.15).



Şekil 1.14 : Arazi fotoğrafları (a) kaya düşmesi, (b) heyelan ve (c) Ermiş köyü doğusunda görülen heyelanın Quickbird görüntüsü üzerinden yapılmış yorumu (Google Earth'tan elde edilmiştir) (METÜ, 2011).

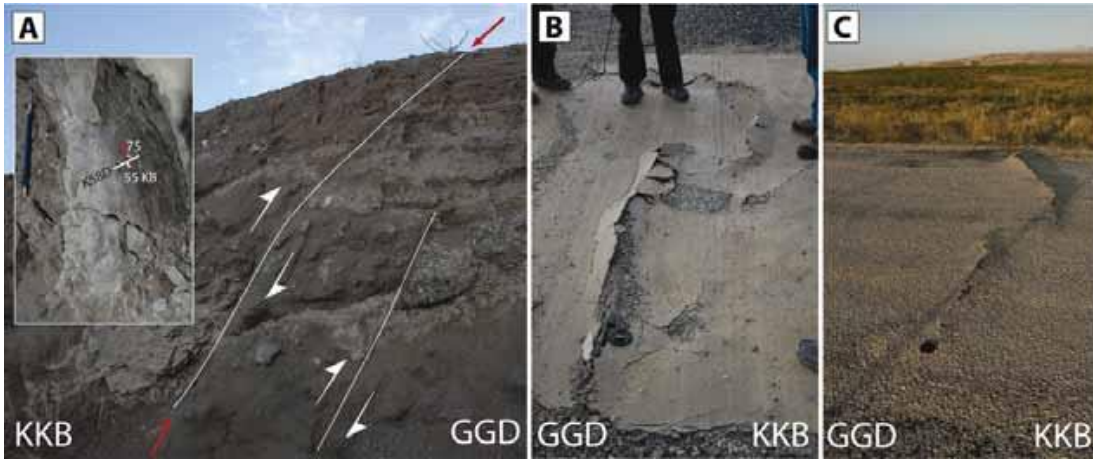


Şekil 1.15 : (a) Topaktaş köyünde gözlemlenen sıvılaşma yapısı, (b) bölgede meydana gelmekte olan derelerin düşey yönde erozyonunu gösteren fotoğraf (konum: Ermiş köyü civarı, Van gölü doğusu, bakış batıya).

Tipik zemin duraysızlığına bağlı kayma ve heyelanlar dışında, Van şehir merkezinin hemen dışında Van-Erciş yolu üzerinde akim kalmış bir hastane inşaatının zemininde

ve temel kazılarında depreme kaynaklık etmiş olması muhtemel ikincil faylar gözlenmiştir (Şekil 1.16.a).

İnşaat alanı zeminindeki beton zeminde meydana gelen kırıklar kazı duvarlarında görülen sıkışmaya bağlı gelişmiş ikincil faylarla birleşmekte olup devamlılık oluşturmaktadırlar (Şekil 1.16.b). İkincil faylarda görülen ötelenmenin, kazı pasasında devam ediyor olması, bu fayların ana şok sırasında hareket ettiğinin en büyük göstergesidir. Ayrıca, aynı hat boyunca TOKİ konutları civarında Van-Erciş karayolu ile Van-Topaktaş karayolu üzerinde kuzey bloğun yaklaşık 10 cm yükseldiği tepcikler ve yarılmalar gözlemlenmiştir (Şekil 1.16.c ve 1.17).



Şekil 1.16 : (a) Terk edilmiş hastane inşaat sahasında görülen ikincil faylar. Küçük şekil fay çiziklerini yakından göstermektedir, (b) Deprem sırasında inşaatın beton zemininde meydana gelen kırıklar. Fayın inşaat moluzunu da kesmiş olması, bu fayların deprem sırasında hareket ettiklerinin en önemli göstergesidir, (c) Topaktaş köyü ile Van-Erciş karayolunda görülen sıkışmaya bağlı gelişmiş deformasyonlar.



Şekil 1.17 : Yollarda meydana gelen ikincil deformasyonlar. (a) Van-Topaktaş yolu üzeri, hapishane yanı, (b) Van-Erciş yolu TOKİ konutları yanı.

Ayrıca depremi üreten fay hattı içinde bulunan Organize Sanayi bölgesindeki yapılarda K-G sıkışma yapıları ve yıkılmalar gözlenmiştir (Şekil 1.18). Bu gözlemler

ve arazi gözlemleri sonucu ortaya konulan BGB-DKD yönlü sıkışma karakterli ana fayın yönü ve konumu yanında odak mekanizması çözümlerle de uyumludur.



Şekil 1.18 : (a) K-G sıkışmayı gösteren güneye yıkılmış kolonlar, (b) Organize sanayi bölgesinde demir çubuklarda gözlenen K-G yönlü sıkışma yapıları.

Geoteknik hasar

Van il merkezinde ve Erciş’de incelenen binaların temellerinde aşırı deplasmanlara işaret eden bulgulara rastlanmamıştır. Ayrıca Van il merkezinde yer alan ve içerisine girilebilen hasarlı betonarme yapıların bodrum katlarının mevcut olduğu görülmüştür. Temel kotu ve yüzey kotu arasındaki zeminlerin ağırlığı temel taşıma gücüne önemli katkıda bulunmaktadır. Bahçıvan Mahallesinde ($38^{\circ}30'00.92''K$ $43^{\circ}23'14.47''D$) göçen iki binanın yanında yaklaşık 3 m derinliğinde bir dik kazı bulunmaktadır (Şekil 1.19.a). Burada gözlemlenen zeminler desteksiz kazıyı mümkün kılan sertliktedir. Burada yer altı suyu seviyesinin daha derinlerde olduğu düşünülmektedir. Bu bulgular Van Depremi’nde bodrumu olan binaların göçmesindeki esas belirleyici sebebin üst yapıdaki yapısal özelliklerin yetersizliğinden kaynaklandığı sonucunu desteklemektedir. Benzer şekilde, Van Gölü’ne yaklaşık 1 km uzaklıkta ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi’ne ait betonarme binalar içeriden ve dışarıdan gözle muayene edilmiştir (Şekil 1.19.b). Bu ön incelemelerde bodrumlu bu yapıların temellerinde aşırı oturmalarla işaret eden izlere rastlanmamıştır.



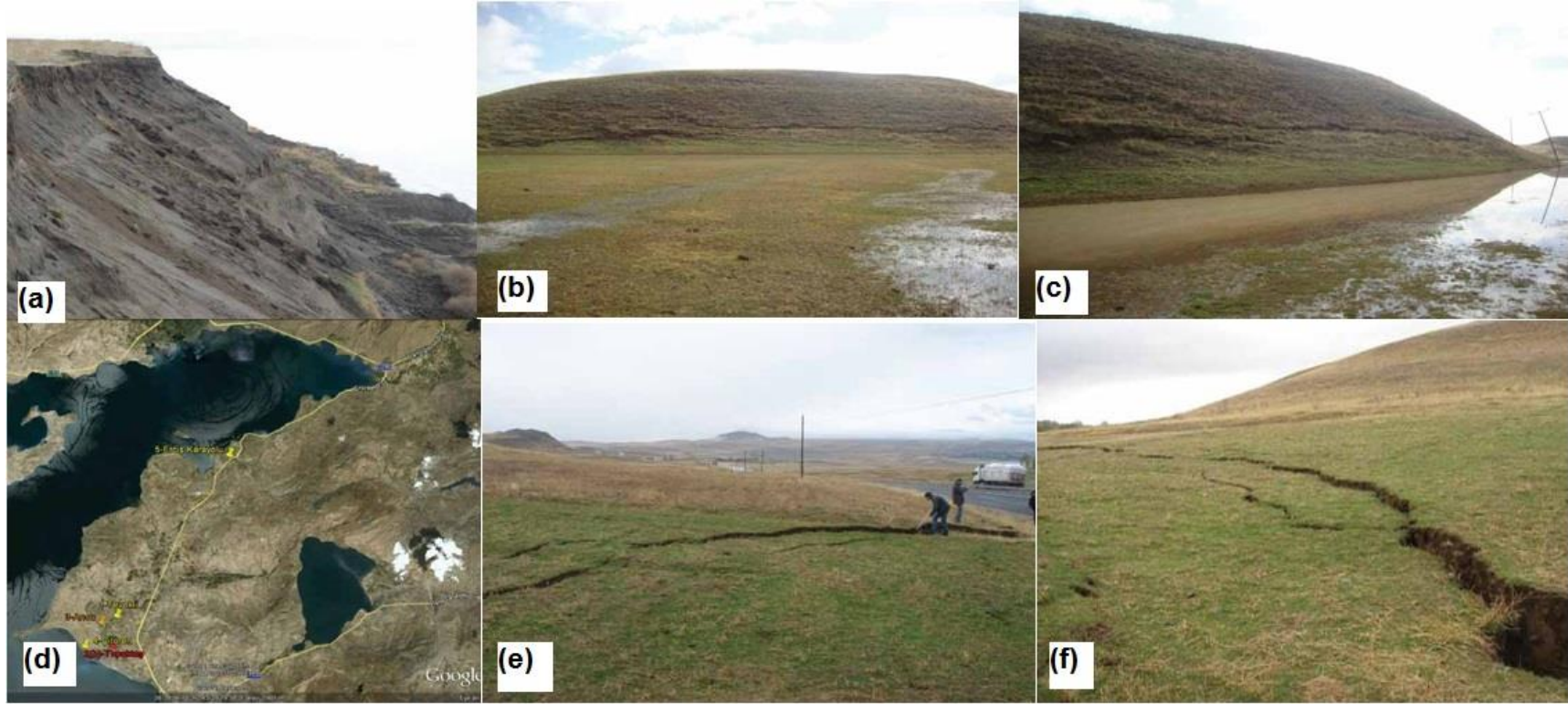
Şekil 1.19 : (a) Bahçivan Mahallesi’nde göçen 2 betonarme binanın arkasındaki dik kazı. (b) Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi’ne ait bina.

Doğal şevlerde ve karayolu dolgularında deprem hareketi etkisiyle kayma

Bölgede birçok noktada doğal şevlerde deprem hareketi etkisiyle kayma ve stabilite problemleri tespit edilmiştir. (Şekil 1.20.a)’de Çitören Köyü’nün hemen dışında Van Gölü kıyısında gösterilen şev kayması göl kıyısı boyunca diğer bölgelerde de benzer problemlerin olabileceğini düşündürmektedir. Şekil 1.20.b ve c’de gösterilen tepe, Topaktaş Köyü arazisi içerisinde Karasu Nehri kıyısında yer almaktadır (K38.5969°, D43.2471°). Tepe üzerinde yerleşimin bulunmaması nedeniyle bu resimde gözlenen stabilite problemi can ve mal kaybına yol açmamıştır. Gözlemlerin yapıldığı noktalar harita üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 1.20.d).

Van-Erciş Karayolu’nun 55. kilometresinde (Gedikbulak köyü yakını) karayolunun doğusundaki şevde oluşan geniş çatlaklar (K38.83478°, D43.42336°) karayolunun doğu şeridinin deforme olmasına ve çatlamasına neden olmuştur (Şekil 1.20.e ve f). Deformasyon dikey ekseninde yaklaşık 40 cm, çatlakların derinliği ise yaklaşık 2 m olarak ölçülebilmiştir (Şekil 1.20.e ve Şekil 1.21.b). Toprak kaymasının sebep olduğu yüzey deplasmanları ve nisbeten sınırlı seviyedeki yol hasarı (Şekil 1.21.a)’da gösterilmiştir. Deformasyonların sınırlı olması ve taç kısmındaki yer çatlağının hattın kabaca şeve paralel yönelimi, dinamik kuvvet genliklerinin kısa süreli şev yenilmelerine sebep olduğu ve zeminlerde yük çevrimlerinden daha uzun süreli akmaların gerçekleşmediği şeklinde yorumlanabilir. Nitekim, deformasyonların sınırlı olması yol üzerinde depremden sonra süratle onarım yapılabilmesine imkan vermiştir.

Yaklaşık 7 metre yüksekliğinde ve 14 derece eğimli bu şevin ayna kısmındaki 2 m derinliğindeki gerilme çatlaklarından yaklaşık 2 m derinlikten örselenmiş bir numune alınabilmektedir. Bu numune birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre siltli kum (SM) sınıfına girmektedir. İnce dane kısmı üzerinde yapılan Atterberg kıvam limitleri deneyinde likit limit 27%, plastik limit 20%, plastisite indisi 7% olarak bulunmuştur. Şevin (1) homojen olarak tek bir malzemedan oluştuğu kabul edilerek ve (2) gerilme çatlaklarının yerleri kesit üzerinde işaretlenerek dairesel kayma yüzeyinin muhtemel yeri belirlenmiş ve (3) şevde ve civarda su gözlenmediği dikkate alınarak, (4) deprem öncesi karayollarının şartnamesine de istinaden şevin statik güvenlik katsayısının 1.50'ın üstünde olduğu kabul edilerek, limit denge metodu ile $c=0$, drenajlı içsel sürtünme açısı 22 derece alınarak güvenlik katsayısı 1.90 (25 derece alınarak 2.16) bulunmuştur.

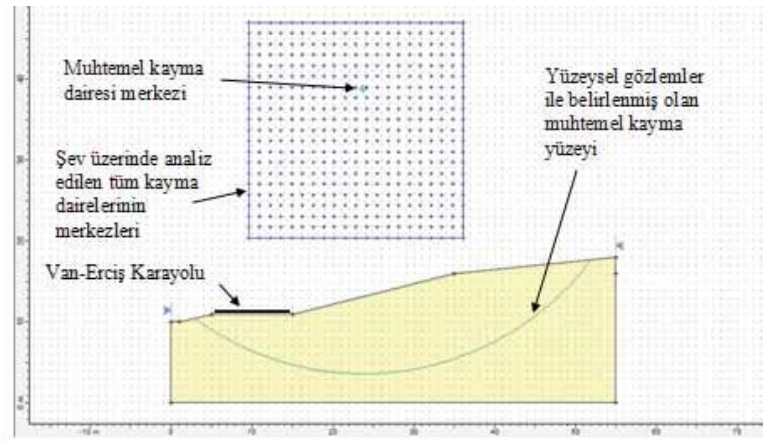


Şekil 1.20 : (a) Van Gölü kıyısında göle doğru kayan doğal şev (Çitören Köyü). (b) Topaktaş köyü arazisinde Karasu kıyısında yer alan doğal bir şev ve şev stabilitesi problemi. (c) Geoteknik gözlemlerin yapıldığı noktaların Google Earth görüntüsü üzerinde görünümü. (d) Van-Erciş Karayolu şev kayması dikey deformasyon. (e) Van-Erciş Karayolu şev kayması taç bölgesindeki çatlaklar.



Şekil 1.21 : (a) Van-Erciş yolu üzerinde Gedikbulak Köyü yakında karayolu hasarı ve onarımı. (b) Van-Erciş Karayolu şev kayması çatlakları.

Deprem durumu için Muradiye deprem kayıt istasyonunda alınan ivme ölçümleri, MTA Van depremi sonrası yayınlanan deprem raporundaki fay lokasyonu ve literatürdeki sönümlenme ilişkileri dikkate alınarak $0.2g$ 'lik yatay deprem ivme katsayısı belirlenmiştir. Bu yatay ivme katsayısı kullanılarak yapılan pseudo-statik limit denge analizleri ile drenajlı içsel sürtünme açısı 22 derece alınarak güvenlik katsayısı 1.01 (25 derece alınarak 1.15) bulunmuştur. Şekil 1.22'de analizde kullanılan kesit, muhtemel kayma yüzeyi ve muhtemel kayma dairesi merkezi gösterilmektedir. Yapılan bu ilk çalışmanın birçok belirsizlik de içerdiği göz önünde bulundurulsa bile depremin şevin güvenlik katsayısını ciddi derecede azaltacağı ve şev kaymasına sebep olabileceği beklenebilir.

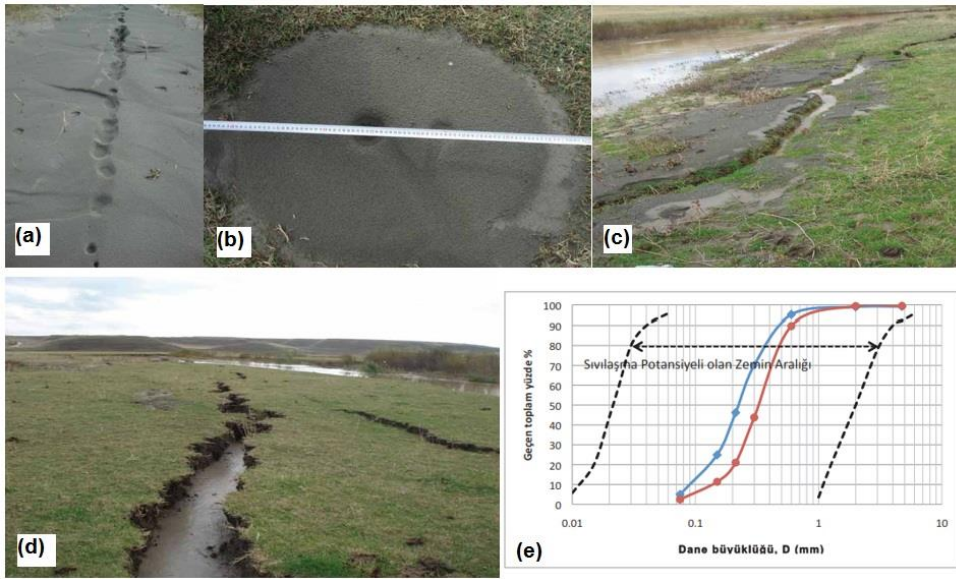


Şekil 1.22 : Şev analizinde kullanılan kesit, muhtemel kayma yüzeyi ve muhtemel kayma dairesi merkezi.

Geoteknik gözlemler: zemin sıvılaşması, yanal yayılma ve deformasyonlar

Karasu Nehri kıyısında yer alan Tevekli ve Topaktaş köylerinde zemin sıvılaşmasına bağlı olarak yanal deformasyon (lateral spreading), kum fişkirmaları (sand boils and sand cones) ve geniş yüzey çatlakları yoğun bir biçimde gözlenmiştir. Şekil 1.23.a ve b'de kum fişkirmaları ve kum tepcikleri gösterilmektedir. Deprem sırasında kum

tepecikleri oluşurken yeraltı suyunun 1-2 m yüksekliğe kadar fışkırdığı köy sakinleri tarafından ifade edilmiştir. Şekil 1.23.c ve d'da yanal yayılma ve deformasyon örnekleri ve buna bağlı yer çatlakları gösterilmektedir. Gözlemlerin yapıldığı bölgelerde yerleşim bulunmaması nedeniyle bu zemin problemlerinin bina hasarına etkisi olmamıştır. Topaktaş ve Tevekli köyünde sıvılaşan zeminlerden alınan numune örnekleri üzerinde laboratuvar da elek analizi deneyleri yapılmış ve numuneler için dane dağılım eğrileri çizilmiştir (Şekil 1.23.e). Analizlerin sonucu, alınan numunelerin dane dağılımı eğrilerinin sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerin dane dağılım eğrileri aralığında olduğunu göstermektedir.



Şekil 1.23 : (a) Şekil 2.13. Sıvılaşma örneği (Topaktaş Köyü – Karasu kıyısı). (b) Sıvılaşma ve kum tepeciği örneği (Topaktaş Köyü-Karasu kıyısı). (c) Sıvılaşma ve yatay deformasyon örneği (Topaktaş Köyü-Karasu Kıyısı). (d) Sıvılaşma-yatay deformasyona bir başka örnek (Topaktaş Köyü-Karasu Kıyısı). (e) Sıvılaşan zeminlerden alınan numunelerin dane dağılım eğrileri ve sıvılaşabilir zeminlerin dane dağılımı aralığı.

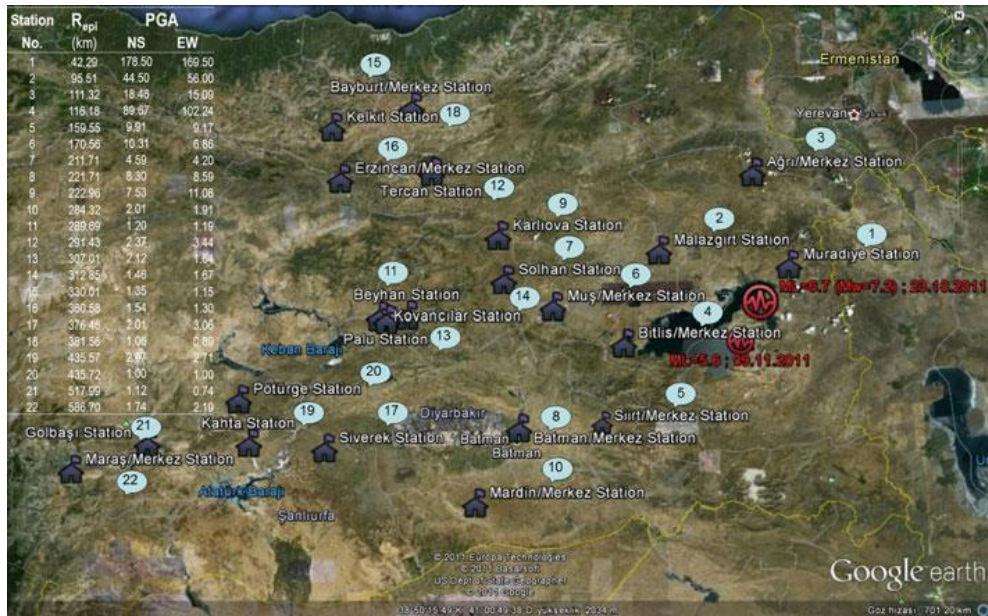
1.2.3 2011 Van depremlerinin kuvvetli yer hareketlerinin irdelenmesi

1.2.3.1 23 Ekim kuvvetli yer hareketlerinin irdelenmesi

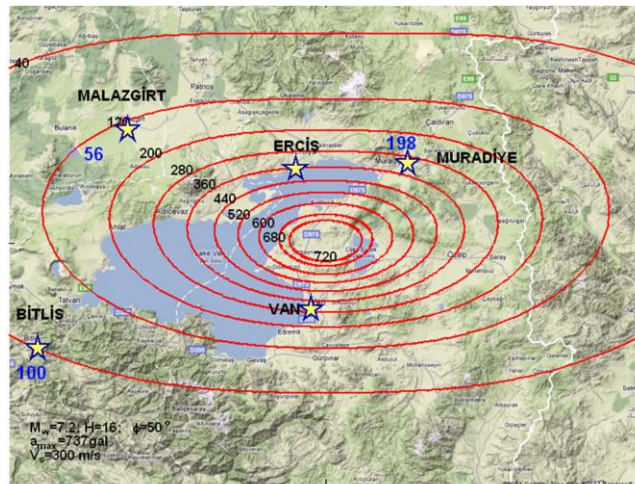
23 EKİM 2011 Depremi bölgeye en yakın olan 22 istasyonlar tarafından kaydedilmiş olsa da, En yakın olan cihaz, Van şehir merkezinde bulunuyordu fakat olay sırasında bozuldu. Bu istasyonların lokasyonları, merkez üssü uzaklıkları ve ham değerler için DB ve KG bileşenlerindeki, PGA değerleri Şekil 1.24 de gösterilmektedir (B.Taskin vd., 2013). Kuvvetli yer hareketini kayıt yapan 22 istasyon arasında, Muradiye istasyonu (38.99011N-43.76302E), depremin merkez üssüne en yakın olanıdır. Bu

istasyondan ölçülen maksimum yer ivme 0.2g (ERD, 2011) dır (Vs30: 293 m/s). Ercişin mekez üssüne kadarki mesafesi, Muradiye ile aynıdır (K.Konagai vd., 2012). Depremin merkez üssü, Van ve Ercişe hemen hemen aynı mesafede dir (Şekil 1.25), ama Erciş deki hasar çok daha yüksektir. Bunun sebebi Ercişin fay hattına göre, tavan blok ta, Van ise taban blokta yer almasıdır. Maalesef, Van ve Erciş de, kuvvetli yer hareket ölçüm cihazlarının bozulmasından dolayı, hiç bir deprem kaydı bulunmamaktadır (Ö.Aydan vd., 2014).

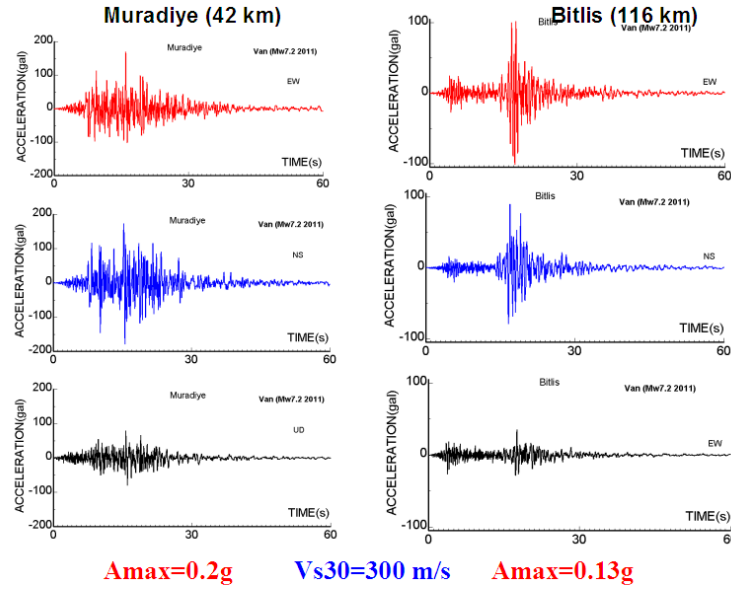
Şekil 1.26 de Muradiye ve Bitlis (38.46600N-42.15000E) için ivme-zaman diagramları sunulmuştur (K.Konagai vd., 2012).



Şekil 1.24 : İstasyonların lokasyon, merkez üssü uzaklıkları ve PGA değerleri (B.Taskin vd., 2013).

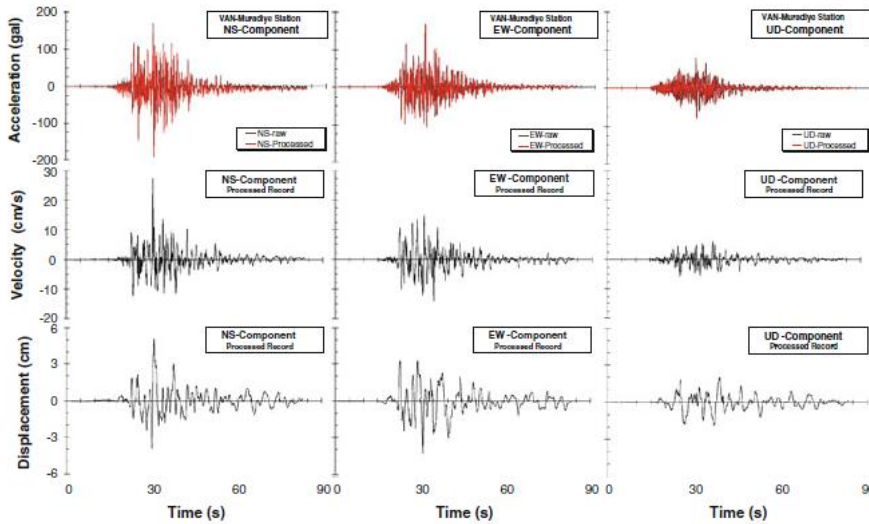


Şekil 1.25 : Kuvvetli yer hareketi istasyonlarının lokasyonları ve depremin merkez üssü çevresindeki maksimum yer ivmeleri (Ö.Aydan vd., 2014).



Şekil 1.26 : Muradiye ve Bitlis istasyonlarında kaydedilen, ivme kayıtları (K.Konagai vd., 2012).

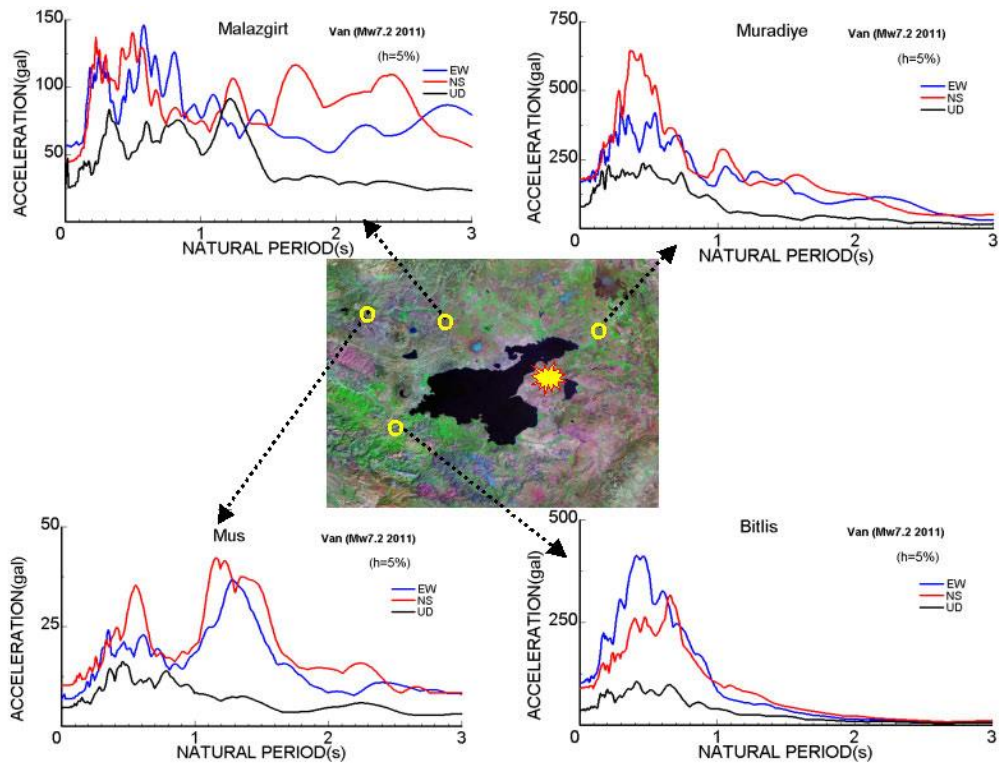
Şekil 1.27 Muradiye istasyonu ($R=43.5$ km) için üç bileşende ivme, hız ve deplasman diagramları gösterilmiştir. Muradiye istasyonunun KG bileşenine ait olan işlenmiş PGA değeri, 181.17 cm/sn^2 değer ile en yüksek değerdir, bu istasyona ait olan D-B PGA 169.46 ve Düşey PGA 80.52 cm/sn^2 dir. K-G bileşeni için PGV 27.5 cm/sn ve PGD 55.1 cm dir, D-B bileşeni için PGV 14.9 cm/sn ve PGD 4.3 cm dir ve Aynı şekilde düşey bileşen için PGV 6.2 cm/sn ve PGD 2 cm dir (B.Taskin vd., 2013).



Şekil 1.27 : Muradiye istasyonu, üç bileşenindeki ivme, hız ve deplasman diagramları (B.Taskin vd., 2013).

(Şekil 1.28) de Malazgirt, Muş, Muradiye ve Bitlis istasyonları için ivme tepkileri bir arada verilmiştir. Maksimum spectral ivme, Muradiye kaydında, doğal periyod için 0.4 saniye olduğu anlaşılmıştır.

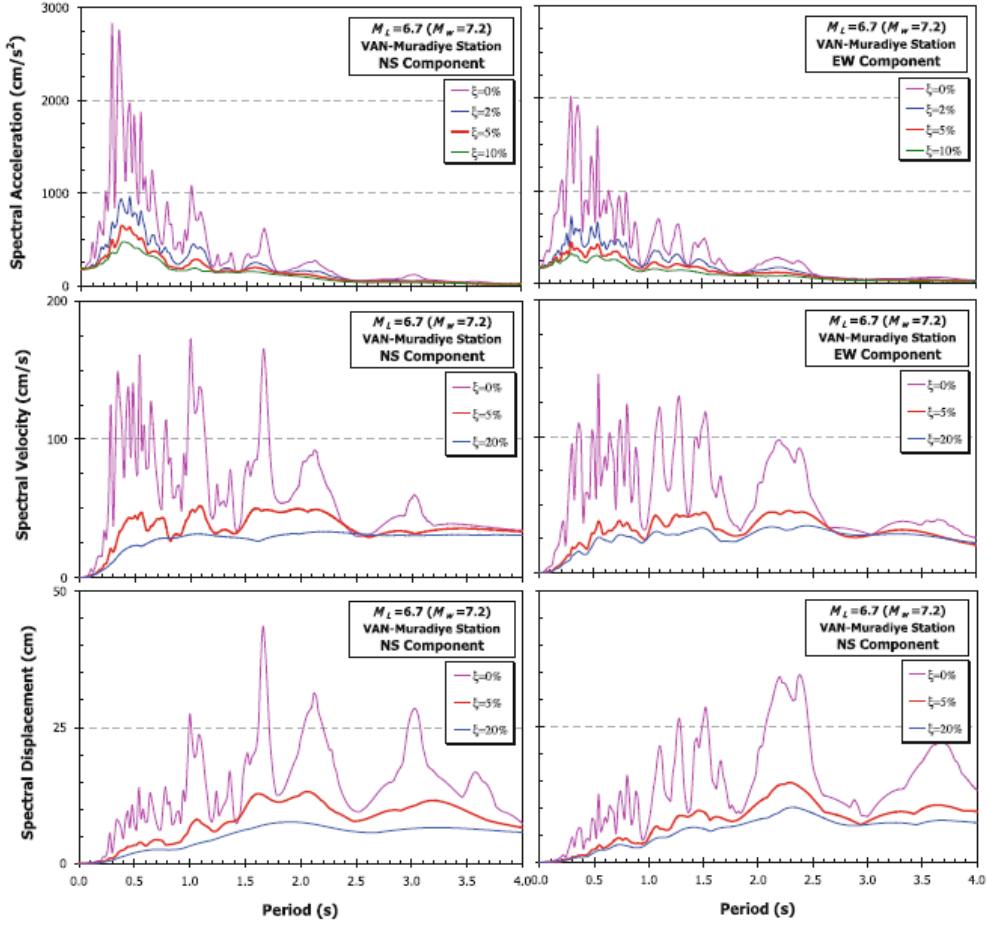
Türkiye yönetmenliğine göre 6 veya 8 katlı betonarme binalar için daha yüksek olmalıdır. Böylece 6-8 katlı binaların bu deprem esnasındaki ağır hasar ve yıkılma nedeni ortaya çıkmıştır. Muş, Malazgirt ve Bitlis de ise merkez üssünden daha uzak olmaları sebebiyle, uzun periyodun daha etkili olduğu gözükmemektedir. (Aydan vd. 2012a; Konagai vd. 2012). Mesela Muş ve Malazgirt teki minare yıkılması, uzun periyod etkisini göstermektedir.



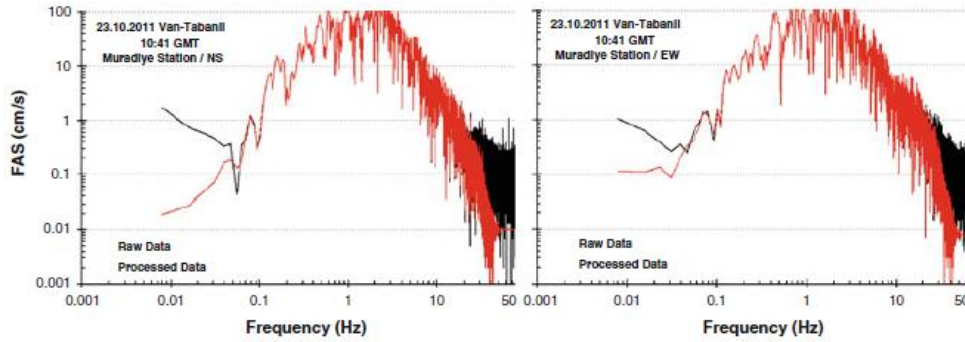
Şekil 1.28 : Malazgirt, Muş Muradiye ve Bitlis istasyonları Ivme tepki spektrumları (K.Konagai vd., 2012).

Şekil 1.29 Muradiye istasyonu için farklı sönüm oranları kullanarak işlenmiş ivme, hız ve deplasman ispektrumlarını K-G bileşeninde göstermektedir (B.Taskin vd., 2013).

Şekil 1.30 Muradiye istasyonu için, işlenmiş ve ham değerlerin fourier genlik ispektrumularını K-G ve D-B bileşenlerinde karşılaştırmıştır (B.Taskin vd., 2013).



Şekil 1.29 : Muradiye istasyonunun, K-G bileşeninde, 0%, 5% ve 20% sönümlerde işlenmiş ivme, hız ve deplasman Ispektrumları (B.Taskin vd., 2013).

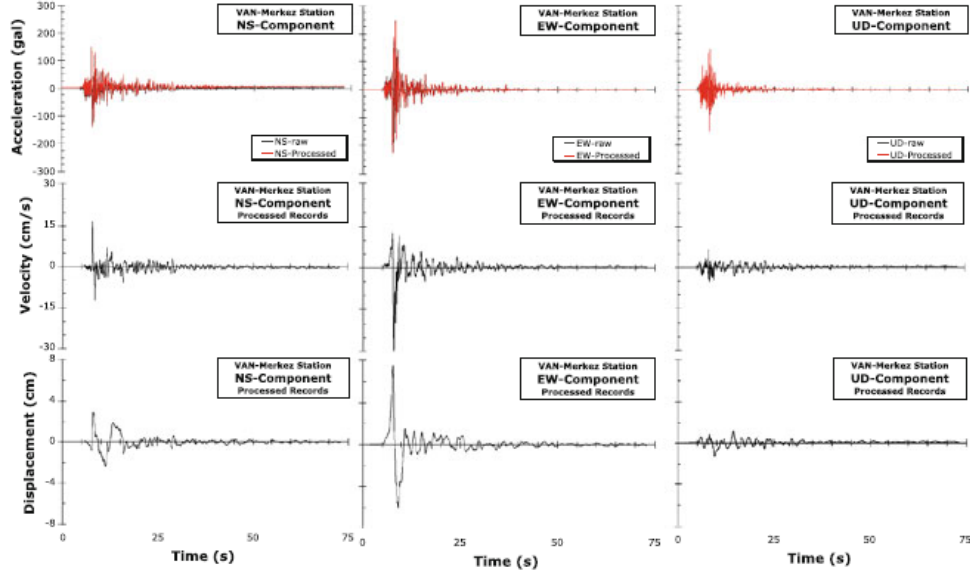


Şekil 1.30 : Muradiye istasyonunun, K-G ve D-B bileşenlerinde, işlenmiş ve ham değerlerin fourier genlik spektrumlarını karşılaştırılması (B.Taskin vd., 2013).

1.2.3.2 09 Kasım kuvvetli yer hareketlerinin irdelenmesi

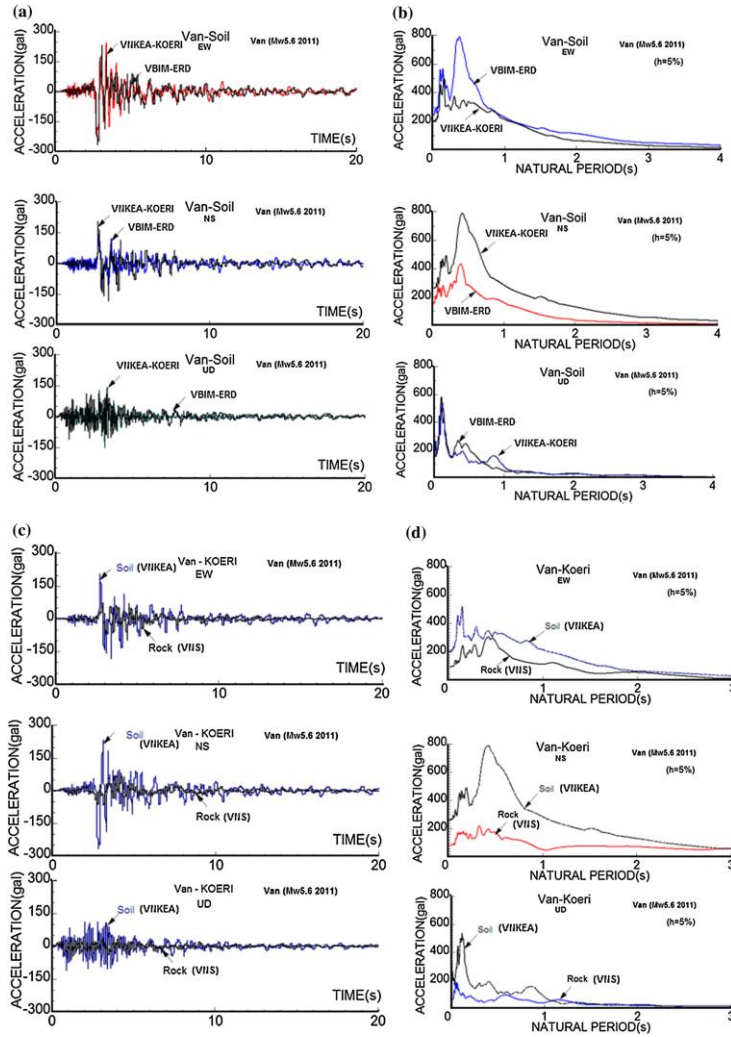
MTA ya göre ML5.6 olan 09 KASIM 2011 Van-Edremit depremi, Van gölünde, Edremit kıyılarına yakın, doğrultu atımlı fay üzrenide meydana gelmiştir. Bu ikinci deprem Van istasyonu (R=17Km) tarafından kaydedilmiştir.(K-G PGA=148.1gal, D-

B PGA=245.9gal ve Düşey PGA=150.5gal). Ham olan değerler, işletilmiş hale gelmiştir. Şekil 1.31 ivme, hız ve deplasman-zaman grafiklerini sunmaktadır. Grafiklerden anlaşıldığı gibi, pik yer hızı ve deplasmanı, D-B bileşenine aittir (PGV=31.6 cm/sn ve PGD=7.5 cm) (B.Taskin vd., 2013).



Şekil 1.31 : 09 Kasım, 2011 depreminde, Van istasyonuna ait, K-G ve D-B ve Düşey bileşenlerdeki, ivme, hız ve deplasman-zaman diagramları (B.Taskin vd., 2013).

Bu depremin esnasında, ERD tarafından ve KOERİ tarafından geçici olarak kurulan ağ dan, kuvvetli yer hareketleri kaydedilmiştir (Ö.Aydan vd., 2014). Şekil 1.32 a dan d ye 09 KASIM 2011 depremi için a. KOERİ ve ERD nin Van toprak zemin deki ivme kayıtlarının 3 bileşeninin karşılaştırılması b. KOERİ ve ERD nin Van toprak zemin deki ivme tepki spektrumlarının 3 bileşeninin karşılaştırılması c. KOERİ nin Van ivme kayıtlarının toprak ve kaya zemin da karşılaştırılması d.KOERİ nin Van ivme tepki spektrumlarının toprak ve kaya zemin da karşılaştırılmasını göstermekte.

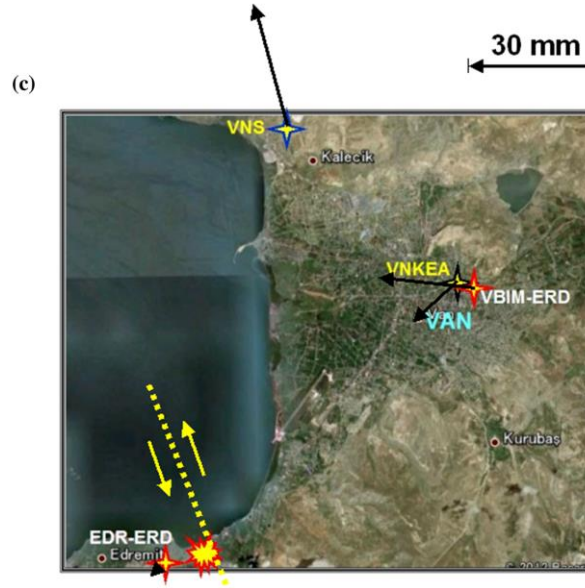
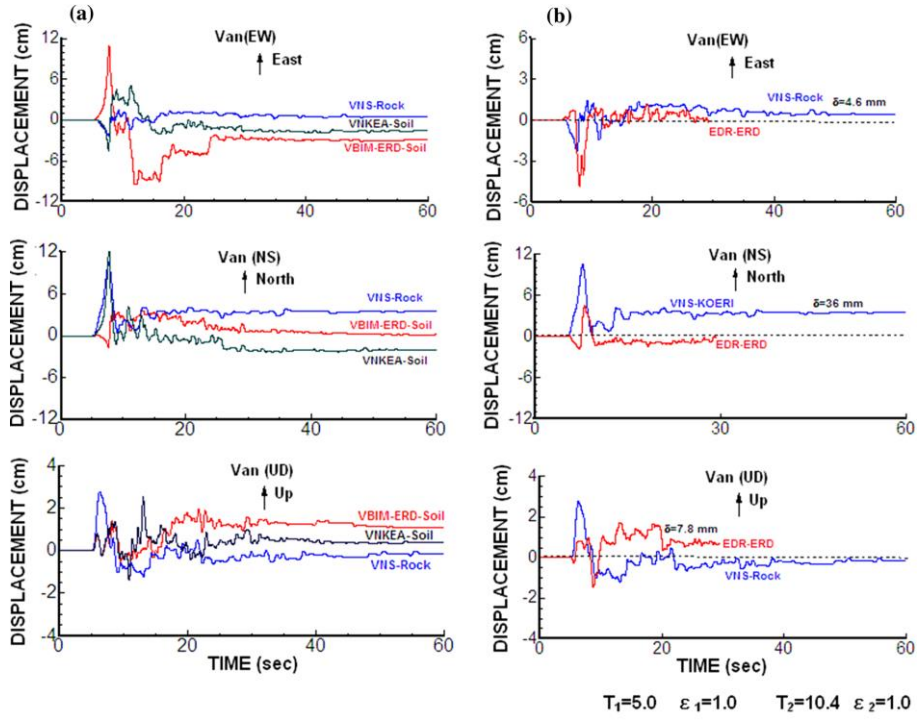


Şekil 1.32 : 09 KASIM 2011 depremi için a. KOERİ ve ERD nin Van toprak zemindeki ivme kayıtlarının 3 bileşeninin karşılaştırılması b. KOERİ ve ERD nin Van zemin deki ivme tepki spektrumlarının 3 bileşeninin karşılaştırılması c. KOERİ nin Van ivme kayıtlarının zemin ve kaya da karşılaştırılması d. KOERİ nin Van ivme tepki spektrumlarının zemin ve kaya da karşılaştırılması (Ö.Aydan vd., 2014).

Çizelge 1.8 : 09 KASIM 2011depremi için ölçülen maksimum yer ivmeşeri (Ö.Aydan vd., 2014).

R_e (km)	AMAX (gals)	Location	V_{s30} (m/s)	Ground type
13.6	271	Van-ERD	393	Soil
13.8	292	VNKEA		Soil
13.8	120	VNS		Rock
63.6	11.0	ERSKFB		Soil
64.1	13.2	ERKHY		Soil
63.17	18.3	ER-TEDAS		Soil
96.16	6.4	Bitlis		Soil
74.22	13.8	Muradiye	293	Soil
4.0	115	Edremit		Rocky

Dalgaların genliklerinin, biraz farklı olmasına rağmen, kayıtlar birbirine oldukça benzer. Ayrıca, ivmeler 0.1-0.15 periyotlar ve 0.35-0.4 saniyeleri arasında amplifiye oluyorlar. Ham ivme kayıtlarının karşılaştırılması amplifikasyonun 2.4 kat olduğunu ve ivme tepki spektrumlarının karşılaştırılması amplifikasyonun 3.6 kat olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yaklaşık 0.36-0.4 saniye periyotlara tekabül eden maksimum spektral ivme, 6-8 katlı betonarme binalar için uygun olmaktadır. depremler sırasında, zemin davranışını tahmin etmek ve sürekli zemin deformasyonlarını hesaplamak için, (Aydan ve Ohta, 2011b), EPS yöntemini (Ohta ve Aydan, 2007) modifiye etmiştir. EPS yöntemi merkez üssüne yakın alanlardaki istasyonlara, özellikle VBIM-ERD, EDR-ERD, VNS-KOERI ve VNKEA-KOERI istasyonlarına uygulanmıştır (Çizelge 1.8). Şeki 1.33a, tavan bloktaki Van ilinin 3 ayrı bileşendeki deplasman yönleri karşılaştırmıştır. Kaya ve toprak ters yönde hareket etmesi dikkat çeken bir sonuç dır. Bu özellik, yer hareketinin, zemin tabakısında plastic deformasyona sebep olacağını göstermektedir (Ö.Aydan vd., 2014). Şeki 1.33b de kaya zemin üzerindeki EDR-ERD ve VNS-KOERI, istasyonları için deformasyon tepkileri karşılaştırılmıştır. Eğer kuzey-güney uzanımlı fayın, doğusu tavan blok ise, doğrultu atımlı fayın vurguladığı gibi VNSKOERI istasyonunun EDR-ERD istasyonuna karşılaştırıldığında, önemli ölçekte sürekli yer deplasmanının olması gerekmektedir (Ö.Aydan vd., 2014). Şekil 1.33c EDR-ERD, VNS-KRDAE, VBIMERD ve VNKEA-KRDAE istasyonları için sürekli yer değiştirme tepkilerini gösterilmektedir. Net sürekli deplasman van kaya için kuzeye eğimli 37 mm iken, edremit kayada neredeyse sıfırdır. Bu sonuç aynı zamanda Edremit'teki hasarın, Vana karşı az olmasının sebebini açıklamaktadır (Ö.Aydan vd., 2014).



Şekil 1.33 : EPS yöntemi ile istasyonlar için hesaplanan deplasman; a Van ili zemin ve kaya , b Edremit ve Van da kaya için, c Van iline yakın, sürekli deplasman hesabının vektörleri (Ö.Aydan vd., 2014).

1.2.3.3 23 Ekim ve 09 Kasım, 2011 depremlerinde spektral ivmelerin, 2007 deprem yönetmeliği ile karşılaştırma

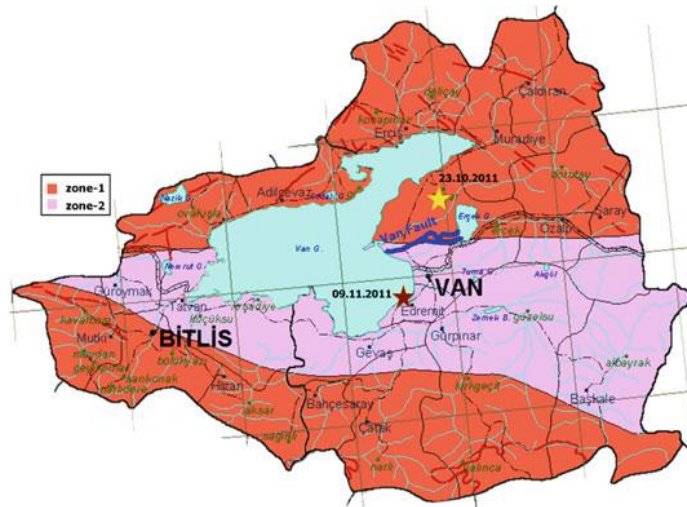
Şekil 1.34 de diri faylara dayalı olan, Türkiye sismik tehlike haritası gösterilmekte, haritaya dayalı olarak, Van gölünün çevresi 1. ve 2. derece sismik bölgede olduğunu göstermekte. 2 depreminde merkez üssü lokasyonuna bakıldığında zaman, 1.depremin iki deprem bölgesinin sınırında ve 2. deprem ise 2.derece bölgede yer alıyor.

Ayrıca, (Ozkaymak vd., 2004 ve 2011) yeni aktif sismik kaynakların, 2. derece sismik bölgesinde yer aldığına işaret etmektedir, ve buna ek olarak (Emre vd., 2011) de Van Fayı konumunu belirlemiştir.

Eğer Bu mevcut fay ve merkez üssü lokasyonları, Şekil 1.35 deki bölgenin sismik haritası ile karşılaştırılır ise, Van ve etrafı için sismik tehlike tanımının yeniden değerlendirilmesi önemini ortaya çıkar (B.Taskin vd., 2013). 23 EKİM 2011 depremi, 3 yakın istasyonunun ve 09 KASIM 2011 depremi, Van istasyonunun K-G ve D-B bileşenlerinde, 5% sönümlü normalize edilmiş ivme tepki ispektrumları, hesaplanıp ve TDY2007 de belirtilen Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin tipleri tasarım ispektrumu ile karşılaştırılmıştır (B.Taskin vd., 2013). Burada Z1 kaya için ve Z4 yumuşak toprağı temsil etmektedir.



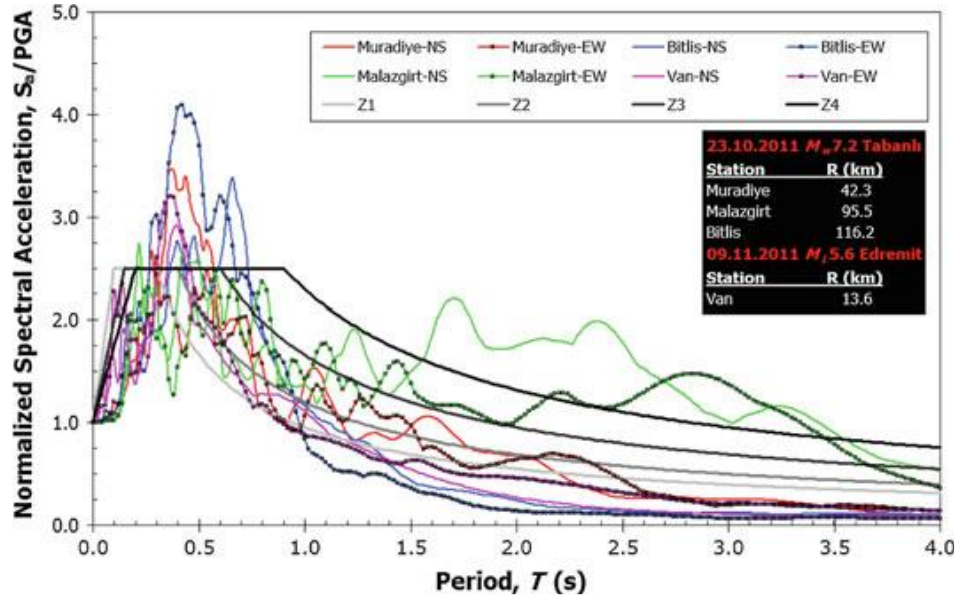
Şekil 1.34 : Van ve etrafının diri faylar haritası (Saroglu vd., 1992; mta.gov.tr).



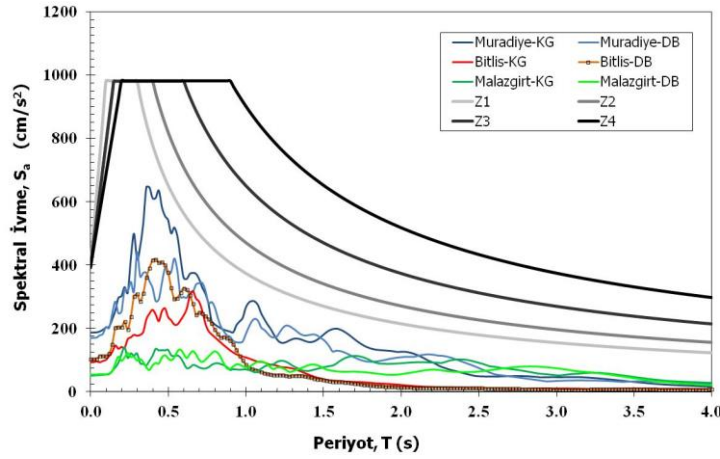
Şekil 1.35 : Van ilçesine ait sismik tehlike haritası (B.Taskin vd., 2013).

Penbe bölge : 1. Derece deprem bölgesi, minimum etkili ivme 0.4g

Kırmızı bölge : 2. Derece deprem bölgesi, minimum etkili ivme 0.3g



Şekil 1.36 : Deprem yönetmeliğindeki, Z1, Z2, Z3 ve Z4, zemin sınıfları için, tanımlanan tasarım spektrumunun, normalize edilmiş spektral ivmeler ile karşılaştırılması (B.Taskin vd., 2013 ve A.Sezen vd., 2012).



Şekil 1.37 : Spektral ivmelerin deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumu ile karşılaştırılması (A.Sezen vd., 2012).

Şeki 1.36 de, 23 Ekim 2011 depreminden, Muradiye, Malazgirt ve Bitlis istasyonlarının ve 09 Kasım 2011 depreminden, Van istasyonunun, K-G ve D-B bileşenlerinin normalize edilmiş, ivme spektrumları, deprem yönetmeliğindeki Z1, Z2, Z3 ve Z4, zemin sınıfları için tanımlanan tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır (B.Taskin vd., 2013 ve A.Sezen vd., 2012) ve Şeki 1.37 de, 23 Ekim 2011 depreminden, Muradiye, Malazgirt ve Bitlis istasyonlarının K-G ve D-B bileşenlerinin mutlak ivme spektrumları, deprem yönetmeliğindeki Z1, Z2, Z3 ve Z4, zemin sınıfları için tanımlanan tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır (A.Sezen vd., 2012). Bu karşılaştırılmadan B.Taskin vd., 2013 ve A.Sezen vd., 2012 den sunulan sonuçlar aşağıdaki gibidir :

23 EKİM için;

Bitlis kaydında, zemin büyütmesi, orta derece periyodlar, $T = 0.25-0.75s$ lar için, 2.5 olan tasarım kodu sınırını, 60% ve Muradiye kaydında ise 40% aşmıştır (B.Taskin vd., 2013 ve A.Sezen vd., 2012).

Merkez üstünden 95.5 km uzakta yer alan Malazgirt'te alınan kayıt ise 1.5 saniyeden uzun periyotlarda yumuşak zemin koşullarında zemin büyütmesinin tasarım değerlerini aştığını göstermektedir (B.Taskin vd., 2013 ve A.Sezen vd., 2012).

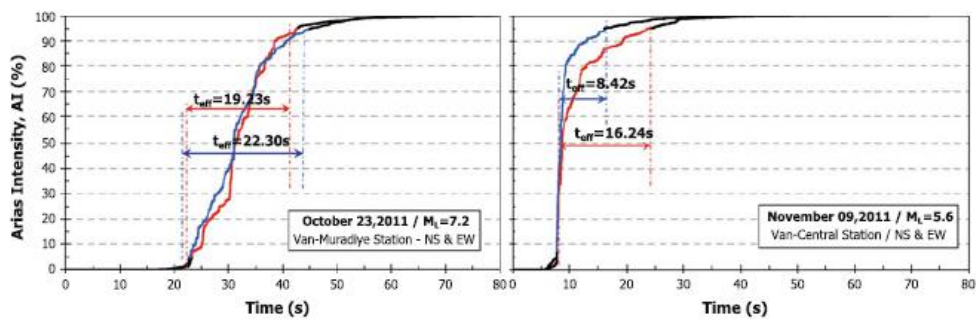
09 KASIM için;

Maksimum zemin büyütmesinin değeri 3.5, 0.3 ve 0.45 saniyeli periyodlar arasında gözükmektedir.

1.2.3.4 23 Ekim ve 09 Kasım Van depremlerinin etkin zamanları

Husid diyagramı ve Arias şiddetinin 5%-95% e takabul eden etkili zaman aralığı (teff), zemin hareketinin yıkıcılığın başka önemli göstergesi olarak gösterilebilirler (Şekil 1.38).

23 EKİM depremi için Muradiye istasyonunda K-G için teff 19.2sn ve D-B için teff 22.3sn elde edilmiştir. 09 KASIM depremi için Van istasyonunda K-G için teff 8.4sn ve D-B için teff 16.2sn elde edilmiştir.

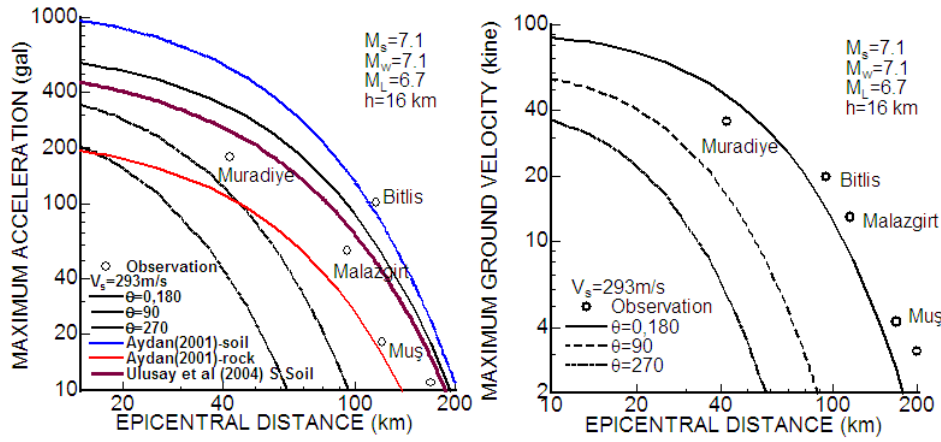


Şekil 1.38 : Mw7.2 ve Mw5.6 depremlerin Husid diagramları ve etkin zaman hesaplamaları (B.Taskin vd., 2013).

1.2.3.5 Gözlemlenen pik ivme ve hızların, azalım ilişkileri tahminleri ile karşılaştırma

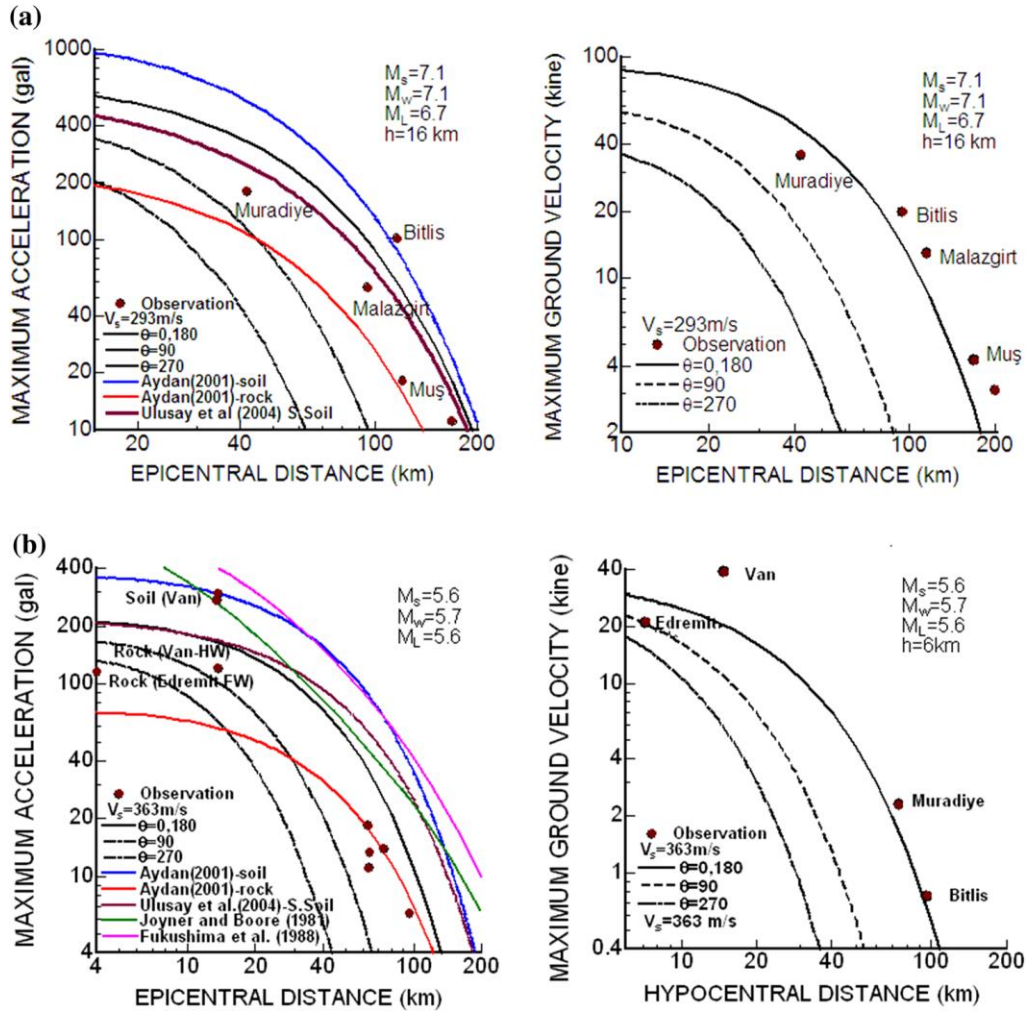
K.Konagai vd., 2012 de, 23 Ekim 2011 depreminde, Muradiye, Bitlis, Malazgirt ve Muş istasyonu için gözlemlenen pik ivme ve hızları, çeşitli azalım ilişkilerinden

tahmin edilen değerler ile karşılaştırmıştır. Gözlemlenen pik ivmeler ve pik hızlar, (Aydan, 2001) ve (Aydan ve Ohta, 2011) tarafından önerilen sınırlar içinde bulunmaktadır (Şekil 1.39), (K.Konagai vd., 2012).



Şekil 1.39 : Gözlemler ile çeşitli azalım ilişkileri tahminlerin Karşılaştırılması (K.Konagai vd., 2012).

Ö.Aydan vd., 2014 Şekil 1.40a de, 23 Ekim 2011 Van depremi için Muradiye, Bitlis, Malazgirt ve Muş istasyonu için gözlemlenen pik ivme ve hızları, çeşitli azalım ilişkilerinden tahmin edilen değerler ile karşılaştırmıştır. Gözlemlenen veriler, Aydan (2001) tarafından önerilen sınırlar içinde bulunmaktadır ve Şekilde belirtildiği gibi, (Aydan ve Ohta, 2011a) ve (Ulusay vd., 2004) tarafından yapılan tahminler, gözlemlenen verilerle de tahmin edilebilir ayrıca, bazı basit yapılardaki kaya şev duraylılığının başarısız modu (Aydan vd., 2012a) ele alınarak, Erciş için maksimum yer ivmesinin 0.3g üzeri ve maksimum yer hızının 30cm/s üzerinde olması tahmin edilmektedir (Ö.Aydan vd., 2014).



Şekil 1.40 : Çeşitli azalım ilişkisi tarafından tahmin edilen maksimum yer ivme ve maksimum yer hızının, a : 23Ekim 2011, Van depremi ve b : 09Kasım 2011, Van depremi için karşılaştırılması (Ö.Aydan vd., 2014).

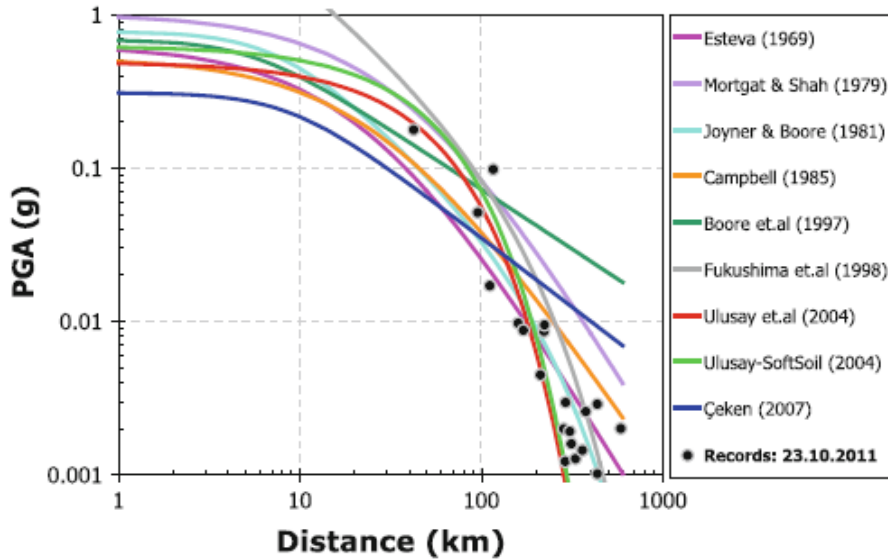
Ö.Aydan vd., 2014 Şekil 1.40b de ise, 09 Kasım 2011 Van depremi için Muradiye, Bitlis, Edremit ve ERD ve KOERİ tarafından geçici olarak kurulan, Van(toprak zemin), Van (kaya zemin) ve Edremit (kaya zemin) istasyonları için gözlemlenen pik ivmeler, Aydan 2001, Aydan ve Ohta 2011a, Ulusay vd. 2004, Joyner ve Boore 1981 ve Fukushima vd. 1988, azalım ilişkilerinden tahmin edilen değerler ile karşılaştırmıştır. Zemindeki maksimum yer ivmesi, (Aydan, 2001) tarafından önerilen azalım ilişkisi ile gayet iyi tahmin editmekte, halbuki, (Aydan ve Ohta, 2011a), Van istasyonunun V_s ini kullanan tahmininde ve (Ulusay vd., 2004) maksimum yer ivmesinin tahmininde 30-40% daha az bir değer bulmuştur. Diğer önemli gözlemlerden biri, fay oryantasyonunun etkisidir. Edremitin taban blok ta yer almasına karşın, Van istasyonu tavan blokta yer almaktadır. İki istasyon için maksimum yer ivmesi yaklaşık aynıdır. Edremit fay hattına 4km uzaklıkta ve Vanın fay hattına kadarki mesafesi 12km dir. Bu durum aynı zamanda, küresel ve silindirik

ilişkiler kullanıldığında, gözlemlenen verilerin dağılımında temel nedendir. Ayrıca, Şekil 1.40b de, pik yer hızı, (Aydan ve Ohta, 2011a) ve onun eğim açısı ve fay uzunluğunu dahil ederek geliştiren (Aydan, 2007) azalım ilişkisi ile karşılaştırılması verilmektedir (Ö.Aydan vd., 2014). Edremit, Muradiye ve Bitlis için hesaplanan maksimum yer ivmeleri, (Aydan ve Ohta, 2011a) azalım ilişkisi ile gayet iyi bir şekilde tahmin edilmektedir.

Ancak, Van istasyonu için gözlemlenen değer, $V_{s30}:363$ m/s kullanılarak tahmin edilen değerden biraz daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

23 EKİM 2011 depreminde, merkez üssüne yakın kuvvetli yer hareket kayıtlarının eksikliğidir, bunun için, B.Taskin vd., 2013 merkez üssüne ait PGA değerlerinin tahmin etmek için, 9ayrı azalım ilişkisi kullanmıştır (Esteve1969, Mortgat ve Shah 1979, Joyner ve Boore 1981, Campbell 1985, Boore vd. 1997, Fukushima vd. 1998, Ulusay vd. 2004 ve Ceken 2007) azalım ilişkilerinden yardım alınmıştır (Şekil 1.41)

En iyi tahmin Ulusay vd. 2004 ina ait olduğu düşünülür ise eğer, merkeş üssü PGA değeri yaklaşık 0.5g elde edilmiştir (B.Taskin vd., 2013).

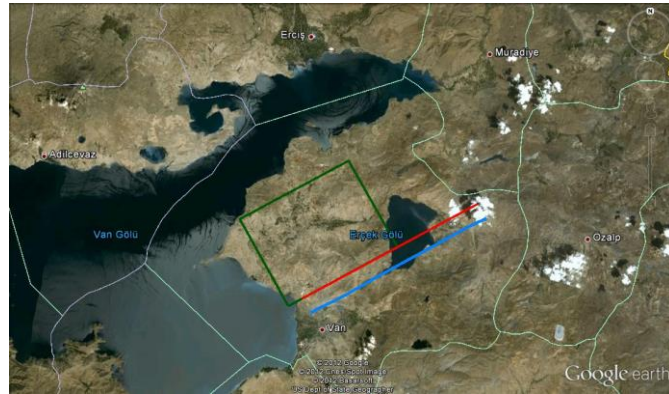


Şekil 1.41 : Çeşitli azalım ilişkileri ile kayıtların ortalama PGA larının Karşılaştırılması (B.Taskin vd., 2013).

1.2.3.6 Yeni Nesil Azalım İlişkileri (NGA)

23 Ekim 2011 Depremi sonucunda Erciş'te gerçekleşen en büyük ivme ve spektral değerlerin tahmin edilebilmesi için NGA kullanılmıştır. Zahradnik ve Sokos (2011)

aynı fay mekanizması dahilinde birbirini takip eden ve güney-batı yönünde şiddeti giderek azalarak ilerleyen iki ya da üç farklı kırılma olasılığından bahsetmektedir. Depremin Özalp Fay Kuşağı içine yer alan ters (bindirme) fay karakterindeki doğu-batı uzanımlı Everek Fayının üç segmentinin kırılması sonucunda meydana geldiği anlaşılmıştır (AFAD, 2011, Koçyiğit vd., 2011 ve Erdik vd., 2012). Hayes, 2011 tarafından yapılan sonlu fay modellemesine göre fay doğrultusu 241, dalım açısı ise 45- 51 arasındadır. Şekil 1.42’de dalım açısı 45 ve 51 (mavi ve kırmızı hatlar) olması durumunda fayın yüzeylendiği kırıklar verilmiştir. Ancak saha gözlemleri fayın yüzeylendiği hattın, (Hayes, 2011) tarafından önerilen 51 dalıma ait hattın yaklaşık 4 km kuzeyinde bir başka hat ile ifade edilmesinin daha doğru olacağını göstermektedir (AFAD, 2011, Koçyiğit vd., 2011 ve Akyüz vd., 2011). Gözlemlerle daha uyum içinde olan bu hat dikkate alındığında ve yapılan son çalışmalar neticesinde odak derinliğinin 16.0 km olarak alınabileceği düşünüldüğünde depremin merkez üstü Tabanlı olmaktadır (A.Sezen vd., 2012). Ancak elde saha gözlemleriyle tam uyumlu olan bir çözüm olmadığı için, burada (Hayes, 2011) ve (Atzori vd., 2011) tarafından önerilen fay mekanizması çözümlerinden daha kuzeyde ve dalım açısı 51 olan hat seçilmiş ve fayın geometrisi ve yerleşimi bu analize göre yapılmıştır. Fay uzunluğu ise, elde edilen fay mekanizması çözümleri ve Everek Fayı’nın uzunluğu da göz önüne alınarak 25 km olarak alınmıştır (A.Sezen vd., 2012).



Şekil 1.42 : Hayes, 2011 tarafından önerilen fay geometrisi ve bu çalışmada değerlendirilen fay düzlemi projeksiyonu (A.Sezen vd., 2012).

Yeni nesil azalım ilişkilerinde dikkate alınabilen bir başka parametre, ZTOR, ise fayın yüzeylenmesi ile ilgilidir. AFAD, 2011 kırılan fayın gömülü fay olarak değerlendirilebileceğini vurgulamış, (Akyüz vd., 2011) de kısmen gömülü bir faylanma durumu olduğunu ifade etmiştir. Emre vd., 2011’ne göre, gözlemlenen

yüzey deformasyonlarının özellikleri depremde gelişen kırılmanın yüzeye yakın çok sığ derinliklere ulaştığı ancak yüzeyde belirgin bir kırılmaya yol açmadığına yorumlanabilmektedir. Koçyiğit vd., 2011 ise, fayın yüzey kırığının oluştuğunu ve Everek fayının kör bindirme fayı değil, bir aşınım bindirmesi olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada fayın yüzeylenmemiş olması durumunda dahi yüzeye çok yakın olduğu düşünülerek, ZTOR = 200 metre alınmıştır (A.Sezen vd., 2012).

Depremden en çok etkilenen Erciş, kırılan fayın tavan bloğunda yer almaktadır.

Modellerin Analiz sonuçları Çizelge 1.9’de verilmiştir. Erciş’de depremde sonra kurulan istasyonda kaydedilen ve aynı fay düzleminde meydana gelen bir artçı deprem de bu analizlerde içerilmiştir (A.Sezen vd., 2012).

Çizelge 1.9 : Azalım ilişkisi analizlerinde kullanılan değerler ve elde edilen sonuçlar (A.Sezen vd., 2012).

İstasyon/Yer	R _{JB} (km)	R _{RUP} (km)	V _{s30} (m/s)	PGA (gal)	PGA _h AS (gal)	PGA _h BA (gal)	PGA _h CB (gal)	PGA _h CY (gal)
Muradiye	35.0	43.7	293	187.2	100	156	120	154
Malazgirt	74.5	78.5	311	54.1	60	82	62	60
Ağrı	108.7	111.5	295	16.5	44	51	45	40
Muş	146.5	148.6	315	10.3	30	29	34	25
Erciş-Merkez	26.0	36.0	250	-	130	188	154	160
Çelebibağ	23.8	34.5	200	-	147	193	154	214
Van-Merkez	7.4	7.4	363	-	324	316	327	413
Merkez Üstü	1	1	300	-	488	501	470	608
Erciş			250	10.2			14	7

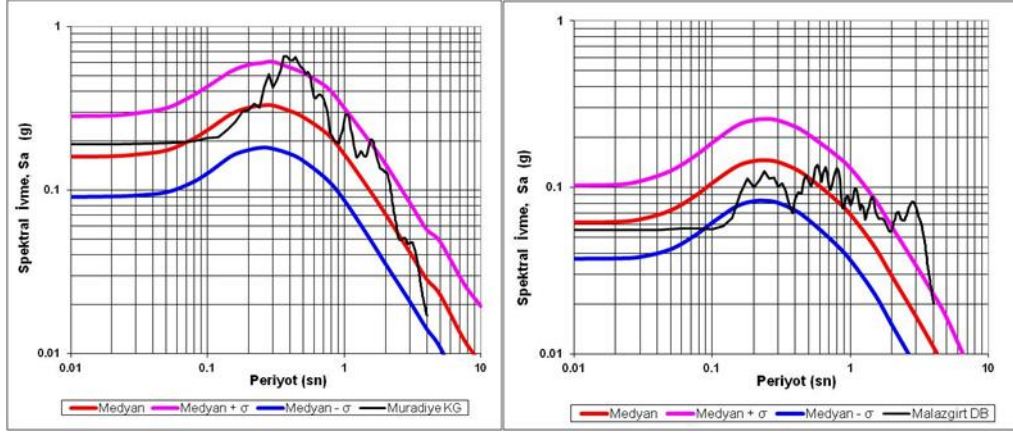
23 Ekim 2011 depreminde Muradiye, Malazgirt, Ağrı ve Muş istasyonlarında kaydedilmiş olan en büyük ivme değerleri ile model öngörülleri karşılaştırıldığında modellerin yakın mesafeler için daha uygun sonuçlar verdiği görülmektedir (A.Sezen vd., 2012). Benzer bir sonuç, azalım ilişkilerinin NGA modelleri ile belirlendiği (METU, 2011) raporunda da yer almaktadır. Özellikle 100 km uzaklıktan sonra kaydedilen ivme değerleri, modeller tarafından öngörülen ve medyan σ 1 standart sapma (σ) ile tanımlanan alanın altında kalmaktadır. Bu raporda Akkar ve Çağnan, 2010 tarafından Türkiye deprem kayıtları kullanılarak elde edilen azalım ilişkilerinin öngörü kapasitesinin daha yüksek olduğu da belirlenmiştir (A.Sezen vd., 2012). NGA modellerini geliştiren araştırmacılar da özellikle 80 kilometreden daha uzak mesafeler için yerel şartların önemli olduğunu ifade etmektedirler. Klasik azalım ilişkileri kullanıldığında da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Taskin vd., 2012 ve AFAD, 2011). Kakkamanos ve Baise, 2011, belirli açılardan birbirine göre

üstünlükleri bulunsa da genel olarak herhangi bir NGA modelinin bir diğerine göre daha iyi olduğunu söylemenin doğru olmayacağını ifade etmiştir. Ancak şüphesiz ki her deprem ve her jeolojik ortam kendi içinde biricik özellikler taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında gerek ana şok gerekse 20.02.2012 ML4.1 artçı depremi için (Chiou ve Youngs, 2008) modelinin daha uygun sonuçlar verdiği söylenebilir (A.Sezen vd., 2012).

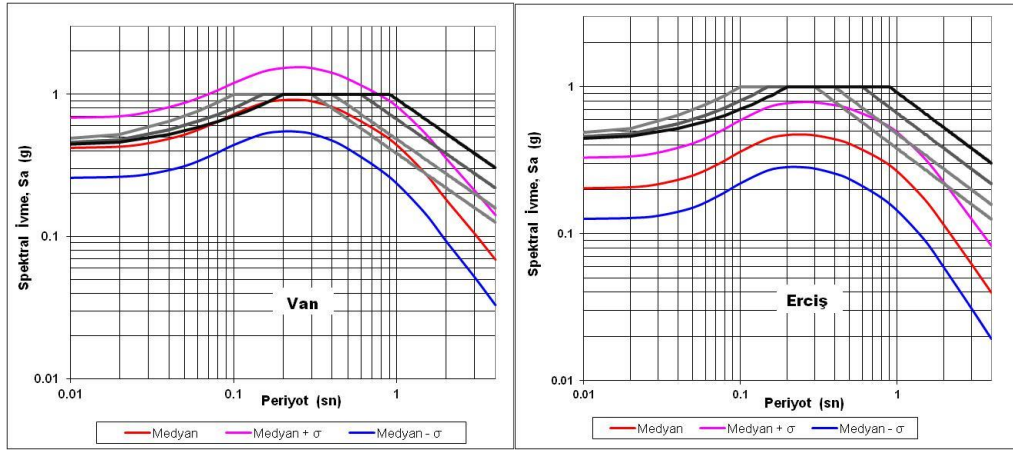
Çizelge 1.9’de yer alan sonuçlara ek olarak, Chiou ve Youngs, 2008 modeli dikkat alındığında medyan etrafında 1 standart sapma alt ve üst sınırları içindeki değerler şu şekilde elde edilmiştir; Erciş ilçe merkezinde, $PGA_h = 124-324 \text{ cm/s}^2$; Erciş-Çelebibağ’da, $PGA_h = 135-338 \text{ cm/s}^2$; Van il merkezinde, $PGA_h = 254-671 \text{ cm/s}^2$ ve depremin merkez üstü civarında, $PGA_h = 382-965 \text{ cm/s}^2$ (A.Sezen vd., 2012).

Erciş ve Çelebibağ’da gözlemlenen deprem etkisi ve hasar göz önüne alındığında depremin neden olduğu en büyük ivme değerlerinin NGA modelleri ile belirlenen ortalama değerlerin üstünde olduğu ve medyan+ σ değerleri civarında beklenebileceği düşünülmektedir (A.Sezen vd., 2012).

Şekil 1.43’te, % 5 sönüm oranı için Muradiye KG ve Malazgirt DB kayıtlarının ivme karşılık spektrumları, (Chiou ve Youngs 08), modeli ile elde edilen spektrum eğrileri ile birlikte verilmiştir. Buna göre, medyan+ σ aralığı Muradiye karşılık spektrumunu daha iyi modellemektedir (A.Sezen vd., 2012). Öte yandan model öngörüsüne göre $T=0.2\sim 0.4 \text{ s}$ aralığında en büyük zemin büyütmesi, $A_k=2.1$ iken, Muradiye deprem kaydında $T=0.35\sim 0.45 \text{ s}$ aralığında en büyük zemin büyütmesi, $A_k=3.5$ ’dir. Malazgirt kaydında ise kısa periyottaki spektral büyütmenin modellenenebilmesi mümkün olmuşsa da, orta ve uzun periyotlar için aynı şeyi söylemek olanaklı değildir (A.Sezen vd., 2012). Şekil 1.44’de ise Van ve Erciş için (Chiou ve Youngs, 08) modeli kullanılarak belirlenen ivme karşılık spektrumları verilmiştir. Deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumları da karşılaştırma amaçlı olarak bu şekle dahil edilmiştir. Medyan+ σ aralığı göz önüne alındığında, Van için en büyük ivme $T=0.2-0.3 \text{ s}$ aralığında 0.92 g ile 1.5 g arasında değişmektedir (A.Sezen vd., 2012). Erciş öngörüsünde ise en büyük ivme $T=0.2-0.4 \text{ s}$ aralığında 0.5 g - 0.8 g olarak bulunmuştur. Erciş için bu beklenen bir sonuç olsa da aynı şeyi Van için söylemek mümkün değildir. Azalım ilişkileri ile özellikle Erciş ve Çelebibağ için tavan blok etkisinin yeterince yansıtılamadığı düşünülmektedir (A.Sezen vd., 2012).



Şekil 1.43 : NGA sonuçları ile Muradiye ve Malazgirt istasyonlarının ivme karşılık spektrumlarının karşılaştırılması (sönüm=%5) (A.Sezen vd., 2012).



Şekil 1.44 : Van ve Erciş için NGA modellemesi ile elde edilen ivme karşılık spektrumları ve yönetmelik tasarım spektrumları (sönüm=%5) (A.Sezen vd., 2012).

1.2.4 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri, kuvvetli yer hareketi depremin genel özellikleri

17 Ağustos, 1999 da büyüklüğü $M_w=7.4$ olan deprem, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Kocaeli ve Sakarya illerini vurdu. Deprem Gölcük ilçesinin, 10 km doğusunda, 15km derinliğinde meydana gelmiştir. 1300 km uzunluğundaki, batı uzantılı, Kuzey Anadolu fay sisteminin, en kuzeyindeki kolunda, 4 bölümlen oluşan toplam 120km uzunluğundaki fay ile ilişkilidir. Ağırlıklı olarak, fayın önemli uzunluğunda, 3 ve 4 metre arasında, sağ yönlü doğrultu atımlı offsite sahiptir. Depremin meydana geldiği bölge, beklenen büyük depremin göstergesi olarak, Gerilme toplanmaya sahip, sismik boşluklu bir bölge olarak bilinmektedir.

Fay kırığının, doğu ucundaki bir başka bölümü, 12 KASIM $M_w=7.2$ olan Düzce depreminde kırılmıştır.

17 AĞUSTOS Kocaeli ve 12 KASIM Düzce 1999 depremlerinin ikisinde Kuzey Anadolu fayı ile ilişkilidir. Bu ana fay ağırlıklı olarak, 10-20 mm/sene arasında farklı atımlara sahip, tekil sağ yönlü, doğrultu atımlı bir faydır. Düzce depremi, Düzcenin güneyinde bir morfolojik sınır oluşturur ve Akyazı ile Kaynaşlı arasındaki 70km lik bir alana uzanmıştır.

1.2.4.1 Yüzey faylanma

17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi, doğu-batı eğilimi bir sağ-atımlı fay kolundaki bölge boyunca, yaklaşık 120km bir mesafe üzerinde sağ yönlü kara yüzeyli atım üretmiştir. Yüzey kırığı ifadesi 10-20m bir bölge boyunca, gerilme çatlaklarını ifade etmektedir.

Düzce depremi, Kocaeli depreminin Eften gölünün, doğu ucundaki kırığın ve Elmalıktaki Bolu tunelinin arasında, Düzce fayı üzerinde, yaklaşık 40km lik, yüzey fay kırığı oluşmasına sebep olmuştur. Maksimum sağ-yönlü ofset yaklaşık 4m olarak ölçülmüştür. Fay kırığı 10 -150 cm arasında bir düşey bileşene de sahiptir.

1.2.4.2 Deprem kaynaklarına ait işlemler

Kocaeli depremin sismik moment saha verileri göre kolaylıkla kontrol edilebilir.

Fay uzunluğu: 120km

Fay genişliği: 15km

Ortalama deplasman: 2.5m

Kesme modülü: 32GPa

Static moment= 1.4×10^{20} Nm

Ortalam stress drop = $2.5 \times M_0 / S^{**1.5} = 6$ Mpa.

Düzce depremi

Fay uzunluğu: 30km

Fay genişliği: 15km

Ortalama deplasman: 2.7m

Kesme modülü: 32GPa

Static moment= 3.9×10^{19} Nm

Ortalam stress drop = $2.5 \times M_0 / S^{1.5} = 12 \text{ Mpa}$.

1.2.4.3 Yer hareketi kayıtları

USGS moment tensor yöntemi

17.08.1999 Kocaeli Depremi: Merkez üssü: 40.639 29.830, mb=6.3, MS=7.8,

Sismik Moment: $M_0 = 1.4 \times 10^{20} \text{ Nm}$, $M_w = 7.4$

11.12.1999 Düzce Depremi: Merkez üssü: 40.768 31.148, mb=6.5. MS=7.3,

Sismik Moment: $M_0 = 4.5 \times 10^{19} \text{ Nm}$, $M_w = 7.1$

Michigan Üniversitesi, üçgensel tekil atım yöntemi

Kocaeli Depremi=> 14. saniyede => maksimum moment: $0.18 \times 10^{20} \text{ Nm/s}$

Düzce Depremi=> 10.5. saniyede => maksimum moment: $0.08 \times 10^{20} \text{ Nm/s}$

KOERİ ve İTÜ, Kocaeli depremi için faydan 200 km mesafeye kadar, en azından 27 kuvvetli hareket kaydı ve Düzce depremi için 32 kayıt üretmiştir.

Colombia Üniversitesi Lamont-Doherty (LD) tarafından, Karadere de, Düzce depremi için değerli veri kümesi verilmiştir. Veriler, 0.01km ve 31km arasındaki fay mesafesi ve 0.9g ve 0.03g arasında pik yatay ivmelere sahip, 8 kayıt dan oluşmaktadır. (Seeber vd., 2000). Bu çalışmada Seeber vd., 2000 tarafından sunulan bilgiler kullanılmıştır. Ayrıca, Düzce depremindeki artçışoklar dizisi için Fransalı grup (Bouchon, 2001) tarafından sunulan, 496 nolu istasyon kaydı kullanılmıştır.

Kocaeli depremi için, Yarımca, İzmit, Sakarya ve Düzce istasyonlarda fay mesafeleri ve Düzce depremi için, Düzce ve Bolu istasyonlarındaki fay mesafeleri için, Anderson vd.(2000) kullanılmıştır.

Bu çalışmada, Yapıdan bağımsız olan veriler kullanılmıştır.

Kocaeli ve Düzce depremleri, faya 20km mesafedeki, $M_w \geq 7.0$ doğrultu-atımlı depremlerin, deprem merkez üssüne yakın datalarına, en az sekiz güçlü hareket kaydı, eklemiştir.

Kocaeli depremindeki fay kırığına en yakın iki istasyon:

Sakarya istasyonu, 31km, yumuşak kaya

Yarımca istasyonu, 2.6km, sert kaya

Düzce depremindeki fay kırığına en yakın iki istasyon:

Düzce istasyonu, 8.3km

Bolu istasyonu, 19.9 km

Iwan ve Chen (1995) yöntemini kullanarak, yakın mesafe istasyon kayıtları düzeltilmiş ve Kocaeli depreminin yakın mesafe istasyonları için, düzeltilmiş ivme, hız ve deplasman- zaman diagramları çizilmiştir.

Kullanılan istasyonlar:

Kocaeli depremi için;

İzmit (K-G ve D-B), Düzce (K-G, D-B), Arçelik (K-G, D-B), Yarımca (K-G, D-B) ve Sakarya (D-B)

Düzce depremi için;

Düzce (K-G ve D-B), Bolu (K-G ve D-B), Lamont-Doherty375 (K-G ve D-B) ve French496 (K-G ve D-B)

Kocaeli depremi için yorumlar:

Sakarya (D-B);

Hız diagramında, güçlü hız darbeleri gözükmemektedir.

Deplasman diagramında, sabit deplasman 1.8 metrede meydana gelmiştir.

P ve S dalgasının arasında sadece 1.8sn vardır, ve bu kaynak ve Sakarya istasyonu arasındaki fay yayılmasının, yüksek kesme hızına (4.7km/s) sahip olmasının göstergesi olmalıdır.

Yarımca (D-B);

Hız diagramında, güçlü hız darbeleri gözükmemektedir.

Deplasman diagramında, sabit deplasman 1.0 metrede meydana gelmiştir.

İvme diagramının kompleks olması, ana şokun merkez üssüne yakınlığından kaynaklı, yüksek frekanslı titreşime sahip, erken artçı şok olduğunun göstergesidir.

Yarımca istasyonunun polarizasyonu, kayıt anında, gerçek DB-KG ile saat yönüne ters yönünde 30 derece uyum dışındadır. Buradaki sunulan mevcut verilerde, bu hata göze alınarak hesaplanmıştır.

Arçelik;

Dalga formu basittir.

En büyük hareket, fayın normal yönünde, kuzeye eğimli pik genliğe sahiptir.

Yatay ve Düşey pik ivmeler, batı ABD kuvvetli yer hareketi verilerini kullanarak geliştirilen, azalım ilişkileri ile karşılaştırılmıştır. İki yatay pik ivmenin geometrik ortalaması, Bore vd.(1997), Sadigh vd.(1997), Campbell vd.(1997) ve Abrahamson ve Silva(1997) azalım ilişkileri ile her deprem zemin ve kaya toprak için karşılaştırılmıştır. Ayrıca iki deprem için, pik düşey ivme toprak zemin ve kaya zemin de, Campbell vd.(1997) ve Abrahamson ve Silva(1997) azalım ilişkileri ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan azalım ilişkileri genellikle, merkez üssü mesafesinin 100km den az olan istasyonlar için uygulanabilirler, ama bu çalışmada, daha iyi bir karşılaştırma için, maksimum mesafe 300-400 kilometreye kadar olan istasyonlar da kullanılmıştır.

Kaya zemin, Bore vd.(1997), Sadigh vd.(1997), Campbell vd.(1997) ve Abrahamson ve Silva(1997) azalım ilişkileri ile karşılaştırılmasında, jenerik kaya($V_s=620\text{m/s}$), kaya, kaya ve sıg toprak ve birde yumuşak kaya zeminleri kapsamaktadır.

Toprak zemin, Bore vd.(1997), Sadigh vd.(1997), Campbell vd.(1997) ve Abrahamson ve Silva(1997) azalım ilişkileri ile karşılaştırılmasında, $V_s=250\text{m/s}$ (NEHRP, D tipi Zemin), toprak, derin toprak ve birde alüvyon zeminleri kapsamaktadır.

Tüm karşılaştırmalar, doğrultu-atımlı fay için yapılmıştır.

Karşılaştırmalardan çıkan sonuçlar:

Kocaeli depreminde, 20km den az olan mesafelerde, pik ivmeler için, modeller ile tahmin edilen değerler, gözlemlenen değerler den daha yüksektir. 20km den daha uzun olan mesafelerde, Kocaeli depremindeki ivme verileri, genellikle eksi ve arti iki standart sapma tahminine yakındır.

Geçmişteki depremlerin nerdeyse hepsindeki gibi, yer hareketi genlikleri toprak zemin için (Yarımca, Düzce), kaya zeminlerden (Gebze, İzmit, Sakarya) den daha büyüktür.

Azalım ilişkileri, daha uzun mesafeli ve daha küçük magnitüdlü depremleri, mesafe ve magnitüd aralığında, yer hareketi tahmininde kullanır ve merkez üssüne yakın ve büyük magnitüd durumlar için doğru tahmin vermemektedir.

Kocaeli depreminde, düşük ivmenin bir başka sebebi, fay kırığının pürüzsüzlüğü ve nispeten düşük stress drop olabilir.

Pik hız burada sunulmamıştır, benzer nitelikteki önceki depremlerle aynı durumda olduğu gözlemlenmiştir.

Frekans etkili özellikleri

Faya yakın istasyonlardaki ve önemli olabileceği düşünülen istasyonlardaki, 5% sönüm ile ivme spektrumları, FEMA 356(2000) ile karşılaştırılmak için çizilmiştir. Bu işlem için, B tipi toprakta, 0.2 sn ve 1.0sn arasındaki spectral ivmeler, Boore vd. (1997) azalım ilişkisi kullanılarak hesaplanmıştır.

Saha koşullarının etkisinin uyum sağlaması için, NEHRP (1997) deki, saha katsayıları (F_a ve F_v), saha tipi ve spektral ivme seviyesine göre, uygun düzenlemeler yapılarak kullanılmıştır.

Kocaeli depremi için, Arçelik, Düzce, Gebze, İzmit, Yarımca ve Sakarya istasyonlarında, ve Düzce depremi için, Düzce, Bolu, Lamont-Doherty375 ve French496 istasyonlarında, deterministic FEMA356, 5%sönümü ile, kayıtların D-B ve K-G bileşenleri baz alınarak çizilen FEMA356 spekturumu, karşılaştırılmıştır.

Yorumlar:

Kocaeli depremi;

Düzce istasyonu dışında, diğer istasyonlar, ortalamaya daha yakındırlar.

Düzce istasyonunda 0.45sn den büyük olan peryodlar, +1 standart sapma dan daha yüksektirler.

Merkez üssüne yakın olan Yarımca ve Sakarya da ispektral ivmeler önemli miktadra FEMA356 nın ortalamasından daha azdır.

Düzce depremi:

Genelde çok daha yüksek ispektral ivmeler vermiştir.

375 ve 497 istasyonlarında, ivmeler 0.6sn peryodlardan az olan peryodlar, FEMA 356 +1 standard sapmasından, önemli seviyede daha yüksektir.

Düzce ve Bolu istasyonlarında, ivmeler bütün periyotlarda +1standard sapmadan daha yüksektir.

Düzeltilmiş H/V oranları

Saha etkilerini ön değerlendirmek için, KOERİ den alınan, kuvvetli yer hareketi istasyonlarının (Yarımca, Heybeli, Arçelik, Darıca, Faith, Gata Kulesi) anaşok ve artışoklarında, düzeltilmiş H/V oranları (Nakamura, 1989) çizilmiştir. Bu diagramlar istasyonlar arasındaki farkları ortaya koymaktadır.

Düzeltilmiş H/V Oranları diagramlarından çıkan sonuçlar:

Yarımca istasyonunda, hiç bir sistematik büyütme gözükmemektedir. SASW ölçümünde (Rahtje, 2001) de, D tipi zemin olarak sınıflandırılmış olsada, çizilen diagramda kaya özelliklerini taşıyor(ortalama büyütme 1 civarında).

Darıca (D tipi zemin), Arçelik(C tipi zemin) ve Özellikle Fatih (D tipi zemin) istasyonları, belirgin hakim pikler sergilemekte ve ortalama büyütme sırasıyla, 5, 5 ve 10 olarak gözükmemektedir. Darıca ve Arçelik istasyonları benzer karektere sahiptir.

Heybeli istasyonu C tipi ve Galata Kulesi istasyonu ise D tipi zemine sahiptir.

İstasyonlar daki kappa ve fc lerin karşılaştırılması

Kappa (Anderson ve Hough, 1984) ve köşe frekansı, fc Andrews (1986) den Kocaeli ve Düzce depremleri için belirlenmiştir.

Kocaeli depreminin, yatay bileşenlerindeki ortalama Kappa 0.063sn ve bu değer Düzce depreminde 0.065sn dir. Kocaeli depreminin, D tipi zemin de ortalama Kappa 0.072sn ve bu değer Düzce depreminde 0.073sn dir. B ve C tipi zemin aynı grupta değerlendirilmiştir ve Kocaeli depreminin, ortalama Kappa 0.048sn ve bu değer Düzce depreminde 0.054sn dir. B ve C tipi zeminlerdeki tahminler, 0.025sn ve 0.094sn aralığında değişen, geniş dağılıma sahiptir. Zemin tiplerinin belirsizliği bu geniş dağılımı etkilemektedir.

Fourier spectrum ve teorik spektrumun karşılaştırılması

Kocaeli ve Düzce depreminde, Yarımca istasyonunda, teorik spectrum ve fourier genlik karşılaştırılmıştır. Teorik spectrum Brune (1970) kullanılarak çizilmiştir.

Arias şiddeti

Arias şiddeti Kocaeli ve Düzce depremlerinin kayıtları kullanılarak, uniform halde, sıvılaşma ve heyelan potansiyelliği bakımından Siyahi vd. (2001) ile irdelenmiştir. Siyahi vd. (2001) e göre iki depremde, sıvılaşma potansiyeli ölçen, mevcut ilişkileri doğrulamaktadır. Kocaeli depremi 0-20km de AI tahmin ilişkilerine karşı daha az AI miktarı sergilemektedir. Düzce depreminin AI değeri ise, algili azalım ilişkilerini daha çok doğrulamaktadır

Normal ve paralel fayların spektral karşılaştırılması

Her iki depremde, D-B eğimli fay kırığına sahip olmaları nedeni ile, kuvvetli yer hareketlerinin D-B bileşenleri, fayın paralel bileşeni olarak, ve kuvvetli yer hareketlerinin K-G bileşenleri, fayın normal bileşeni olarak belirlenmiştir.

Kocaeli depremine bakılınca, normal faydaki, İzmit kaydının 1-2sn arasındaki periyodu dışında, normal fay ve paralel fay arasında önemli değişiklik yoktur.

Düzce depremi, iki bileşen arasında daha belirgin farklılıklar göstermektedir. Bolu ve Düzce dışında, 375 ve 496 nolu istasyonlar da bu diagramlara ilave edilmiştir. Bolu ve Düzce, 0.2-0.6sn arasında normal fayda, paralel faya göre daha yüksek spektral ivmelere sahip oldukları gözükmektedir. 0-0.5saniye period aralarında, 375 ve 496nolu istasyonlar, normal fayda çok hakim değerler vermektedir.

Doğrultu etkileri

20km den daha az mesafede olan tek istasyon, Düzce istasyonu, ortalama tahminin üzerinde kalıyor. Bunun sebebi fay kırığının doğrultusudur.

Ambarlı (ATS), muhtemelen güçlü odaklanma ve saha etkilerinden kaynaklı, olağın üstü büyük ivmeler (her azalım ilişkisinin, +2standart sapmasında daha yukarı kalan) kaydetmektedir.

Kocaeli depremindeki fay, ilk önce Gölcük den 40 kilometreye yakın, batıya doğru kırılmış, daha sonra 80 kilometreye yakın doğuya doğru kırılmıştır. Fayın ilerdeki yönü, hem batı ve hemde doğu da görülebilir. 17 AĞUSTOS daki deprem fayının batı kısmı, İzmit körfezinde, doğudan batıya doğru kırılmıştır. Deprem için geliştirilen kaynak kırık modelinde gösterildiği gibi, doğrultu etkisi, Yalova ve Çınarcık ta hasara katkıda bulunmuştur.

İllerdeki fay kırığı doğrultusu, batı ve doğuda gözükmektedir. Sakarya ve Yarımca kayıtları D-B bileşeninde, kuvvetli hız darbeleri ve sırayla 2.0m ve 1.5m sabit deplasman göstermektedirler.

Ayrıca Yarımca kaydının K-G bileşeninde, kuzeye doğru hareketi gösteren, 1.2 metrelik sabit offset gözükmektedir. Yarımca kaydı diğer kayıtlara göre daha karmaşıktır ve bu Yarımcanın kaydının, merkez üssüne çok yakın, yüksek frekanslı titreşime sahip, erken artışı çok olduğunu göstermektedir. YPT dalga formunun karışıklığı, sahanın lokal jeolojisinin etkisini de gösterebilir.

Arçelik de dalga formu basittir, en büyük hareket, normal fay doğrultusunda, pik genliği güneye doğru olduğu gözükmektedir. Sakarya da P ve S dalgasının arasında sadece 1.8sn vardır, ve bu kaynak ve Sakarya istasyonu arasındaki fayı yayılmasının, yüksek kesme hızında (4.7km/s)

sahip olmasının göstergesi olmalıdır.

Kocaeli depremi esnasında, Düzce istasyonu, fayının doğu kısmının, ileri doğrultu etkisinde olduğu gözlemlenmiştir. Beklendiği gibi, fayın normal hareketi baskındır.

12 KASIM Düzce depreminde, Bolu, fayının kırılan kısmının, doğrultu etkisinde olduğu gözlemlenmiştir. Bolu daki kuvvetli hareketin, Düzceye nazaran kısa süreli olmasından da kanıtlanılabilir. Düzce istasyonu iki deprem esnasında, iki merkez üssüne yakın kuvvetli hareket kaydetmektedir. İvme spektrumlarını karşılaştırılması, 2Hz den yukarı olan frekansların benzer olduğunu göstermektedir. Orta seviyeli frekanslarda, 12 KASIM kaydı, daha büyük ivme spektrumuna sahiptir. Bu farklı kaynak özelliklerinin bir belirtisi olabilir.

Bolu daki yüksek şiddetli yer hareketi, ileri yönsellik, fay kırığı fazının ani kesilmesi ve saha tepkisinin belirtisi olabilir.

Düzce kaydı, süresinin uzun olması, enerji içeriğinin uzun periodlu olması, basen tepkisi ve yumuşak toprak etkisini gösterir.

Merkez üssüne orta uzaklıkta olan yer hareketleri

R=30km ile 100km arasındaki kayıtlar, Ambarlı (ATS) kaydı hariç, genelde, mevcut azalım ilişkilerinin tahminleri ile uyumludur.

1.2.4.4 Saha tepkileri

Kocaeli depreminde, İzmit körfezinin güneybatı kıyısı boyunca, yapıların ayrılmasından dolayı, düşey tektonik hareketin ve toprak kaymasının bileşmesinden, büyük ölçekte yer çökmesi meydana gelmiştir.

Gölcüğün doğusunda, bölgesel çökme meydana gelmiştir ve birçok kentsel yerleşimi ve inşaat halinde olan Ford fabrikasını etkilemiştir. Bu çökmenin sebebi, lokal yapıların ayrılması ile ilişkili olan çökme gibi eylemin sebep olduğu düşümlenmektedir. Bu çökme Gölcük sahiline yakın, 4km uzunluğundaki bölümün, 3m kadar batmasına sebep olmuştur.

Genç dereyatağı üzerine yerleşen Adapazarı, yumuşak ve sıvılaşmaya elverişli siltler ve kumlar ile çökmüş, yüzlerce yapı 1.5 metreye kadar batıp ve sıvılaşma meydana gelmiştir. Yanal yayılma ve kum kaynaması, Adapazı ve Sapanca daki sıvılaşmanın yüzey belirtileridir. Binalar, titreşim ve çok sayıdaki titreşim devirleri ile yumuşanan toprağın altına zımbalanmıştır ve bu kaldırımın toprak malzeme enjeksiyonundan dolayı kabarmasına neden olmaktadır. Ancak yumuşanan ve sıvılaşan toprak ortam bir isolator gibi enerjinin temel seviyede dağılmasına ve titreşimden kaynaklanan hasarın binaya yansımamasına sebep olmalıdır.

Düzce depreminde, Düzce ve Kaynaşlı da yüzey sıvılaşma belirtisine raslanmamıştır. Ancak Kocaeli depremindeki Adapazarında ki gibi, Düzcede de bir çok bina da oturma meydana gelmiştir ve buda kalın siltli-killi tabakanın altında, toplu veya kısmi sıvılaşma olabileceğinin göstergesidir (Aydan, 2000).

İki depremede, sınırlı şev arızası, daha çok caddelerdeki dolgu asarları şeklinde gözükmektedir. Düzce depremindeki tek ana toprak kayması, Bakacak Düzce deki E5 otoyolunun, batı şeritinde meydana gelmiştir. Toprak kayması doğal şev de ve kayanın aşırı yıpranmış bölümlerinde meydana gelmiştir.

Adapazarı depremindeki, Adapazarı ve Gölcük bölgelerindeki saha etkileri, bir dizi mikrotremorlar ve artçı şoklar gözlemlenerek, (Kudo vd., 2000) tarafından araştırılmıştır. Sonuçlar, Adapazı şehir merkezindeki kuvvetli yer hareketinin, SKR dan önemli derecede farklı olduğunu göstermekte. SKR sert zemine sahiptir. KOERİ den elde edilen arçışoklar dizisi, Adapazarında, SKR a göre 10x büyütme, vermektedir. Aynı şekilde Gölcük etrafındaki, tepelerde ve İzmit Körfezinde, kuvvetli hareketlerde büyük farklar sergilemektedir.

1.2.4.5 Artçı şoklar

Adapazarı

Artçı şokları kayd etmek için Adapazarı ve etrafında 11 istasyon kurulmuştur.(6sı Adapazarında, 3ü Toyota Fabrikasında, 1 Hendek ve 1 Gebeş de). Burada artçı şoklar iki istasyon için irdelenmiştir. IMAR, yumuşat kaya üzerinde ve HASTANE yumuşak zemin üzerinde dir. Yumuşak zemin etkisi, genlik, frekans içeriği ve yer hareketi süresinde çarpıcıdır.

Avcılar

Avcılar yakınlığındaki, artçı şokların ivme-zaman diagramları irdelendiğinde, uzun peryodlu hareketlerde büyük büyötmeler göze çarpmaktadır. AT1, AB1 istasyonları yumuşak zemin üzerinde ve hasar görmüş bölgededirler, HL1 istasyonu ise yumuşak kaya üzerinde va haliçe yakın, AT1 ve AB1 istasyonlarını 20km doğusundadırlar. AB1 ve AT1, özellikle kısa peryodlarda daha büyük genlik sergilemektedirler.

2. KUVVETLİ YER HAREKETLERİ

2.1 Kuvvetli Yer Hareketi

Depremeler olduğunda, ana kaynaktan yayılan sismik dalgalar yerkabuğu boyunca hareket ederler ve bu dalgalar yüzeye ulaştıklarında birkaç saniye ile birkaç dakika arasında değişebilecek sürelerde yer sarsıntısı üretirler. Belirli bir bölgedeki yer hareketinin şiddeti ve süresi, depremin yerine, büyüklüğüne ve o bölgedeki yerel zemin şartlarının özelliklerine bağlıdır. Aslında yer hareketi en önemli sismik tehlike olarak düşünülebilir çünkü diğer tüm tehlikelerin sebebi de yer hareketidir. Sismik dalgalar deprem kaynağından yüzeye kadar yolculuklarının büyük bir kısmını kayada geçiriyor, ancak yolculuğun son kısmında zeminle karşılaştığında zeminlerin karakteristikleri, yüzeydeki yer hareketini önemli oranda etkileyebiliyor. Zemin tabakaları, sismik dalgalar için bir filtre durumundadır. Bazı frekanslardaki hareket büyürken diğer frekanslardaki hareket azalabilmektedir.

Geoteknik deprem mühendisliği pratiğinin en önemli bölümlerinden biri, yer hareketleri üzerinde yerel zemin şartlarının etkisinin değerlendirilmesini kapsamaktadır.

Belirli bir bölgedeki depremin etkisinin değerlendirilmesi için yüzeydeki kuvvetli yer hareketinin çeşitli şekillerde tanımlanması gereklidir. Pratikte yer hareketi 3 bileşeni (doğu- batı, kuzey- güney, düşey bileşen) ile ölçülür. Bir ivme zaman kaydı şeklindeki yer hareketi çok fazla bilgi barındırır. Mühendislik açısından bu kayıtların bazı karakteristiklerinin tanımlanması için bu karakteristikleri yansıtan parametrelerin belirlenmesi gerekir. Mühendislik amacıyla yer hareketi karakteristiklerinin üçü özellikle çok önemlidir.

-Amplitüd (büyüklük)

-Frekans içeriği

-Süre

Yer hareketi karakteristiklerinden bir veya birkaçı hakkında bilgi veren çok sayıda farklı parametre önerilebilir. Pratikte, belirli bir yer hareketini karakterize etmek için genellikle birden fazla parametre gereklidir. Depremelerin ürettiği yer hareketi

kayıtları, deprem mühendisliği için en temel datadır. Bu veri tabanının ve bilginin olmaması durumunda sismik tehlikenin gerçekçi olarak değerlendirilmesi ve uygun sismik tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi mümkün değildir.

Yer hareketi ölçümlerinde çeşitli aletler kullanılabilir. Sismograflar relatif olarak zayıf yer hareketlerini ölçmede kullanılır. Bunların ürettiği kayıtlara ise sismogram denir. Güçlü yer hareketi kayıtları genellikle akselerograflar ile ölçülür ve akselerogram olarak tanımlanır.

Ölçüm aletlerinden alınan yer hareketleri kaba datalardır, bu kayıtlar bir kısım kaynak hataları içermektedir. Farklı kaynaklı gürültüler (trafik, rüzgar gibi), aletin kendi davranışı, titreşimin başlangıç hataları gibi, Bu nedenle kayıtların düzeltilmesi ve işlenmesi gerekir.

2.2 Yerhareketi Kayıtları İçin Bazı Kaynak Siteler

- USGS (US, Geological Survey)
- NCEER (SUNY US)
- PEER (Pacific Earthquake Engineering Research)
- Washington Üniversitesi web sitesi
- Güney Kaliforniya Üniversitesi web sitesi
- Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı
(http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php)
- KOERİ (Boğaziçi üniversitesi, Türkiye)

2.3 Yerhareketi Parametreleri

Kuvvetli yer hareketinin önemli karakteristiklerini (amplitüd, frekans içeriği, ve süresi olmak üzere) tanımlarlar. Bazıları tek bir özelliği tanımlarken bazıları ise birden fazla özelliğini yansıtabilmektedir. Deprem yer hareketinin kompleks olması nedeniyle, tüm önemli yer hareketi karakteristiklerinin tek bir parametre ile tam olarak tanımlanması mümkün olmamaktadır.

2.3.1 Amplitüd parametreleri

Yer hareketleri en genel şekilde zamana bağılı grafikler ile tanımlanır. Amplitüd parametreleri ise ivme, hız ve yerdeğiştirme olabilir.

İvme- zaman grafikleri ölçüldüğünde hız ve yerdeğiştirmenin zamana bağılı grafikleri integrasyon ile belirlenebilir. Integrasyon frekans ortamında düzleşme ve filtre etkisi gösterir.

2.3.1.1 Maksimum ivme ; pik ivme ; pha-peak horizontal acceleration

En çok kullanılan yer hareketi amplitüd parametresi, maksimum yatay ivmedir. Bunun sebebidir bu değerin atalet kuvvetleri olan ilişkisidir. İvme değeri rijit yapıları etkileyen en büyük dinamik kuvvettir. Pik ivme, deprem şiddeti ile korele edilebilir.

Düşey ivmeler deprem mühendisliğinde daha az ilgi görürler çünkü yatay kuvvetlere göre tasarım çoğunlukla düşey dinamik yüklere karşıda dayanımı sağlamaktadır ve pratikte “maksimum düşey ivme = 2/3 maksimum yatay ivme” olduğu varsayılır.

Yüksek pik ivmeye sahip yer hareketleri, düşük pik ivmeli harekete göre genellikle daha yıkıcı bir etkiye sahiptirler, ancak bu her zaman geçerli olmayabilir. Çok düşük periyotlardaki çok yüksek pik ivmeler, çoğu tipteki yapı için çok düşük bir hasara neden olur. Örneğin, 0.5g nin üzerinde pik ivme üretmiş olan pek çok deprem, çok yüksek frekanslarda olduğundan ve depremin süresi çok uzun olmadığından yapılar üzerinde hiç bir önemli hasara neden olmamıştır.

2.3.1.2 Maksimum hız; pik hız; phv-peak horizontal velocity

Hız, yer hareketinin yüksek frekanslı bileşenlerine daha az hassas olduğu için, yer hareketini orta derecedeki frekans seviyelerinde pik ivmeye nazaran daha doğru karakterize eder. Yüksek yada fleksible yapılar ile köprüler gibi orta dereceli frekans seviyelerindeki yüklemelere hassas yapılar için maksimum hız değeri, maksimum ivmeye nazaran potansiyel hasar için daha doğru bir gösterge olabilir.

2.3.1.3 Maksimum yerdeğiştirme

Yer hareketinin düşük frekanstaki bileşenlerine daha hassastır. Ancak kayıtların işlenmesi ve akselerogramların integrasyonu nedeniyle tam doğru bir şekilde

belirlenmesi çok zor olduğundan, pik ivme ve pik hız parametrelerine göre daha az kullanılan bir parametredir.

2.3.1.4 Efektif tasarım ivmesi

Bu parametre için iki farklı araştırmacı tarafından iki farklı tanım yapılmış, şöyleki;

- 8~9 Hz'in üzerindeki ivmeler filtrelendikten sonra elde edilen pik ivme efektif tasarım ivmesi olarak alınabilir.

- Filtrelenen ivme-zaman kaydından elde edilen 3. en yüksek pik ivme den %25 daha fazla olan ivme değeridir.

2.3.2 Frekans içeriği parametreler

Depremler geniş bir frekans içeriği aralığına sahip yer hareketi bileşenlerinden oluşan karışık bir yükleme üretirler. Frekans içeriği, yer hareketi büyüklüklerinin farklı frekans içeriklerinde nasıl dağıldığını tanımlar. Bir deprem hareketinin frekans içeriğinin o hareketin etkilerine katkısı çok büyük olduğundan, frekans içeriğini dikkate almadan hareketin özellikleri tanımlanmış sayılmaz.

2.3.3 Etkin süre

Sismik moment veya depremin büyüklüğünün fonksiyonu olan yer hareketinin süresi, fay kırığının fay yüzeyi boyunca yayılması için gereken zaman ile ilişkilidir.

Depremin süresini belirlemek için, ölçülen büyüklüğe göre değişiklik gösteren, “Zarf Süre (Bracketed Duration)”, “Düzenli Süre (Uniform Duration)” ve “Anlamlı Süre (Significant Duration)” gibi pek çok adlandırma yapılmıştır. “Zarf Süre (Bracketed Duration)” belirli bir eşik ivme değerinin (genellikle 0.05 g) ilk ve son aşılması arasındaki geçen süre olarak tanımlanır.

İvme kaydındaki belirli miktardaki enerjinin boşalması için geçen süreyi gösteren “Anlamlı Sürenin (significant duration)” hesabında referans olarak kullanılan büyüklük, doğal olarak, ivme kaydındaki enerji miktarını (hasar potansiyelini) gösteren Arias yoğunluğu (AI)’dur **(2.1)**.

$$AI = \frac{\pi}{2g} \int_0^{T_s} a^2 dt \quad (2.1)$$

$a(t)$: t anında deprem kaydındaki ivme genlikleri değerleri.

T_s : kaydın toplam süresidir.

Arias Yoğunluğunun (AI) zamanla değişimini (artışını) yüzde olarak gösteren eğri “Husid Plot” olarak adlandırılır. Bu eğri üzerinden Arias Yoğunluğunun (AI) %5 ve %95 oluşumu arasında geçen süre “Anlamlı Süre (significant duration)” olarak tanımlanır.

2.4 Yer Hareketi Spektrumları

Herhangi bir periyodik fonksiyon (sabit bir zaman aralığında kendini tekrarlayan fonksiyon), Fourier analiz kullanılarak açıklanabilir.

Fourier analiz, farklı frekans, amplitüd ve fazlardaki basit harmonik hareket serilerinin toplamıdır. Fourier serileri kullanılarak, periyodik bir fonksiyon $x(t)$ aşağıdaki şekilde yazılabilir (2.2).

$$x(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(\omega_n t + \varphi_n) \quad (2.2)$$

c_n = amplitüd

φ_n = faz açısı

ω_n = frekans

2.4.1 Fourier spektrumları

Fourier serisi formülünde, frekansa karşılık (ω_n) Fourier amplitüdü (c_n)’ün oluşturduğu grafiğe Fourier amplitüd spektrumu diyoruz. Bu spektrum, frekanslar gözönüne alınarak hareketin amplitüdün deki dağılımı göstermektedir.

Fourier amplitüd spektrumları dar yada geniş olabilir.

- Dar spektrumun anlamı; yer hareketinin düz ve yaklaşık olarak sinüsoidal; zamana bağlı değişimini üretebilen bir baskın frekansın (veya periyodun) olmasıdır.

- Geniş bir spektrum ise, çok değişik frekanslar içeren ve daha girintili-çıkıntılı, zamana göre düzensiz değişen harekete karşılık gelir.

Spektrumların şekilleri de oldukça farklıdır:

Kaya spektrumu düşük periyotlarda (veya yüksek frekanslarda) en kuvvetli iken, zemin kaydı için tersi bir durum gözlenmektedir.

Zaman tanım ortamındaki hareketlerin yakından incelenmesi frekans içeriğinde bir farklılık olduğunu ortaya koyacaktır fakat bu farklılık Fourier genlik spektrumu ile açık bir şekilde gösterilmektedir.

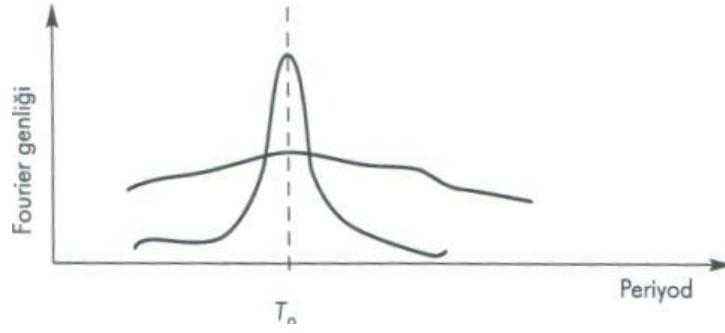
Gerçek deprem hareketlerinin Fourier genlik spektrumları düzleştirilip logaritmik ölçeklerde grafiğe aktarıldığında, karakteristik şekilleri daha kolay görülebilir. Fourier ivme genlikleri düşük tarafta köşe frekansı (f_c) ve yüksek tarafta da kesme frekansı (f_{max}) ile sınırlanmış geniş bir orta aralıkta en büyük olma eğilimindedir. Köşe frekansının teorik olarak sismik momentin küp kökü ile ters orantılı olduğu gösterilebilir (Brune, 1970 ve Brune, 1971). Hem yakın ortam 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.

Fourier faz spektrumu yer hareketinin zamana göre değişimini etkiler. Fourier genlik spektrumunun aksine, gerçek deprem kayıtlarının Fourier faz spektrumları karakteristik özellikler sergilemez.

2.4.1.1 Predominant periyot; hakim peryod

Bir yer hareketinin frekans içeriğini temsil eden kullanışlı tek parametre baskın periyodudur (T_p). Bu parametre frekans içeriğini tanımlamak için kabada olsa faydalı bir parametre olabilir. 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.

Ancak şekildedeki görüldüğü gibi, bu parametre iki hareket için aynı olsada, bu iki hareketin frekans içerikleri gerçekte çok farklı olabilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Baskın periyodu aynı fakat frekans içeriği farklı iki Fourier genlik spektrumu, üstteki eğri geniş bant hareketini ve alttaki de dar bant hareketini tanımlar.

2.4.2 Power spektrumları

Yer hareketinin frekans içeriği, power spektra ile de tanımlanabilir. Bu spektrum ivmenin karesine ait zaman grafiğinin altındaki alan olarak tanımlanan yer hareketinin şiddetine dayanmaktadır (2.3).

$$I_0 = \int_0^{T_d} [a(t)]^2 dt \quad (2.3)$$

2.4.3 Davranış spektrumları; (Response spectra)

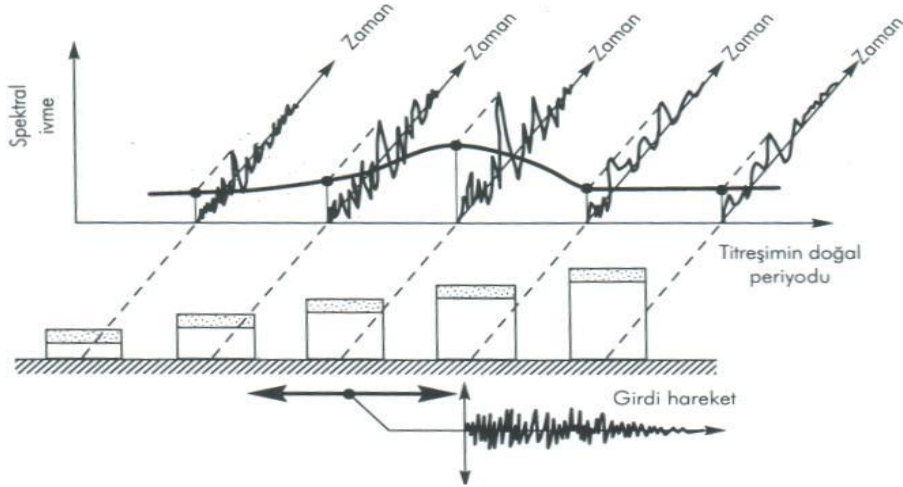
Tek dereceli serbestlikli (TDS) sistemin, doğal frekans (veya doğal periyod) ile TDS sistemin sönümlleme oranının bir fonksiyonu olarak belirli bir girdi (input) hareketine verdiği maksimum tepkiyi tanımlar. Spektral değerlerin doğal frekans yerine doğal periyoda göre ifade edildiği durumda ivme ve yer değiştirme eksenleri çevrilmektedir. Tipik tepki spektrumlarının şekilleri, pik spektral ivme; hız ve yer değiştirme değerlerinin farklı frekanslarda (veya periyodlarda) oluştüğunu göstermektedir. Tepki spektrumları genellikle ivme kontrollü (yüksek frekans), hız kontrollü (orta frekans) ve yer değiştirme kontrollü (düşük frekans) gibi bölümlere ayrılmaktadır.

Davranış spektrumu yer hareketi karakteristiklerini dolaylı bir şekilde yansıtır çünkü, davranış tek serbestlik dereceli bir yapı tarafından filtrelenir. Girdi hareketin genliği, frekans içeriği ve kısmen de süresi gibi faktörlerin hepsi de spektral değerleri etkilemektedir. Yapıların tepkisi deprem mühendisliğinde çok önemlidir ve kuvvetli yer hareketinin özelliklerini tayin etmede tepki spektrumun önemli ve faydalı bir gereç olduğu ispat edilmiştir (Kramer, 1996).

Zemin, özelliklerine göre, gelen deprem dalgalarının sadece belirli bir frekans aralığında olanları büyütür. Bu bazen mühendislik açısından hiç önemi olmayan bir frekans bandı olabileceği gibi, bazen de önemli yapılar için tehlike olabilecek bir frekans aralığı olabilir. Deprem zararlarının azaltılması açısından zemin özelliklerinin belirlenmesi ve üzerine inşa edilecek yapıların hakim titreşim periyotlarının, zemin hakim periyodundan uzak tutulması gereklidir.

Mühendislik uygulamalarında deprem kuvvetlerini tanımlamak için en çok kullanılan yaklaşım ivme kayıtlarından ivme, hız ve yer değiştirme tepki spektrumlarının hesaplanmasıdır. İvme, hız ve yer değiştirme tepki spektrumlarının hepsine birden genel bir terim olarak “Tepki (response) Spektrumu” denir.

Fourier spektra ve Power spektra doğrudan hareketin kendi frekans içeriğini yansıtır. Ancak davranış spektrumu, yer hareketinin farklı doğal periyotlardaki yapılar üzerindeki etkisini yansıtır. Başka bir deyişle davranış spektrumu, çok sayıda farklı yapının maksimum davranışını göstermektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Davranış spektrumu.

2.5 Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarım Spektrumu

Türk yönetmeliğinde tasarıma esas deprem, aşılma olasılığı 50 yıllık süre için %10 (dönüş periyodu 475 yıl) olan yer hareketi olarak kabul edilmektedir.

Bu hareketi göstermek için yerel zemin sınıflarına bağlı olarak % 5 sönüm oranındaki spektrum katsayıları, $S(T)$ tanımlanmıştır. Yerel zemin sınıflarının

tasarım spektrumu üzerinde yarattığı farklılık spektrum karakteristik periyotları (TA, TB) sayesinde yansıtılmaktadır.

Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde, tanımlanan dört zemin sınıfına karşı gelen karakteristik periyotlar verilmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : Spektrum karakteristik periyotları (TA, TB).

Yerel Zemin Sınıfı	TA (sn)	TB (sn)
Z1	0.1	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Analizlerde kullanılacak elastik spektral ivme katsayısı, $A(T)$; yapının periyoduna karşı gelen spektrum katsayısı, $S(T)$; bölgedeki deprem tehlikesini gösteren etkin yer ivmesi katsayısı, A_0 ; ve binanın kullanım türüne göre değişen bina önem katsayısı, I , çarpılarak bulunur ve %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme, $S(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi g 'nin çarpımına karşı gelmektedir, $S_{ae}(T)$, (2.4).

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

$$S_{ae}(T) = A(T) g \quad (2.4)$$

Etkin Yer İvmesi Katsayısı, A_0 , mevcut faylar ve daha önceki depremlere ait kayıtlar gözönüne alınarak belirlenmiş ve Türkiye beş deprem bölgesine ayrılmıştır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 : Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0).

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.4
2	0.3
3	0.2
4	0.1

Birinci bölge tehlikesi en çok olan kısımları gösterirken, beşinci bölge deprem tehlikesinin bulunmadığı kabul edilen alanları kapsamaktadır. Bina önem katsayısı, I , ise binanın kullanım amacı veya türüne göre 1.0 ile 1.5 arasında değişmektedir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 : Bina önem katsayısı (I).

<i>Binanın Kullanım Amacı veya Türü</i>	<i>Bina Önem Katsayısı (I)</i>
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
4. Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

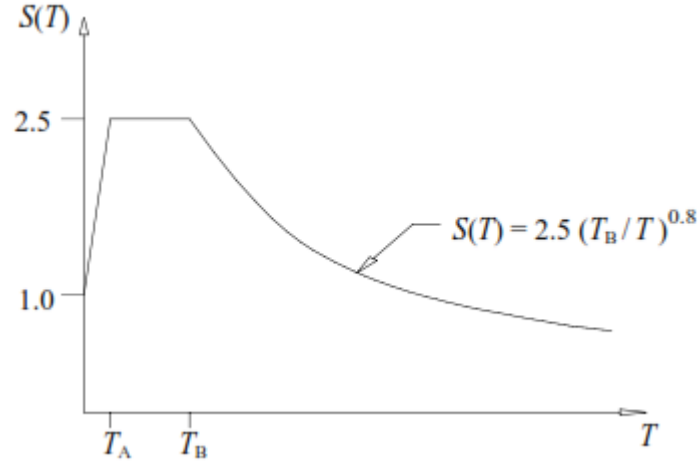
2.5.1 Spektrum katsayısı

(2.4), de yer alan spectrum katsayısı $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T ye bağlı olarak (2.5) ile hesaplanacaktır.

$$\begin{aligned}
 S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & 0 \leq T \leq T_A \\
 S(T) &= 2.5 & T_A \leq T \leq T_B \\
 S(T) &= 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & T_B < T
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

2.5.2 Özel tasarım ivme spektrumları

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları gözönüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilir. Ancak, bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için, Çizelge 2.1'teki ilgili karakteristik periyotlar gözönüne alınarak (2.4)'den bulunacak değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır.



Şekil 2.3 : Tasarım spektrumu.

2.6 Zemin Koşullarının Belirlenmesi

Yerel Zemin sınıfları DBYBHY-2007 de sunululan çizelgelerden belirlene bilir.

Çizelge 2.4 : Zemin grupları.

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	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)	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
(C)	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
(D)	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

Çizelge 2.5 : Yerel Zemin sınıfları.

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h ₁)
Z1	(A) grubu zeminler h ₁ ≤ 15m olan (B) grubu zeminler
Z2	h ₁ > 15m olan (B) grubu zeminler h ₁ ≤ 15m olan (C) grubu zeminler
Z3	15m < h ₁ ≤ 50m olan (C) grubu zeminler h ₁ ≤ 10m olan (D) grubu zeminler
Z4	h ₁ > 15m olan (C) grubu zeminler h ₁ > 10m olan (D) grubu zeminler

Deprem Bölgesinin Belirlenmesi

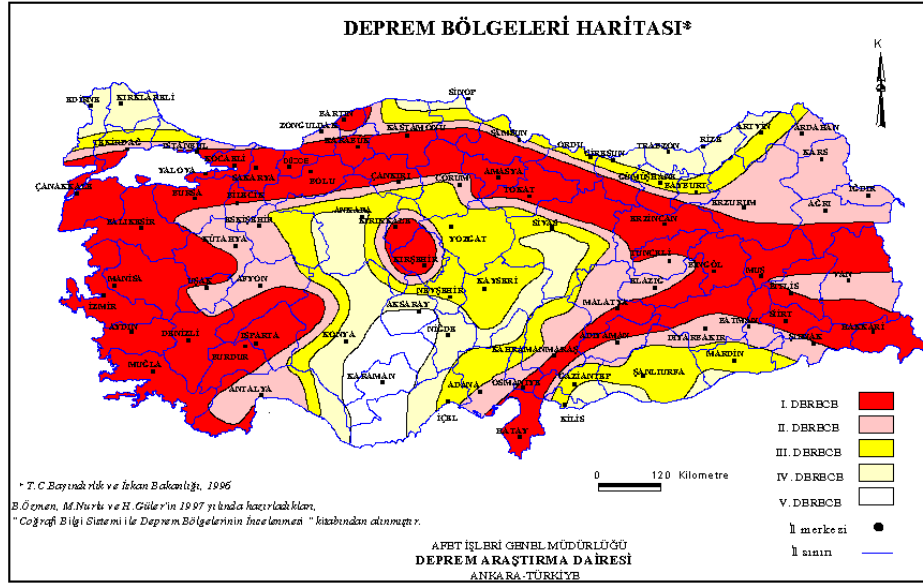
Türkiye deprem bölgeleri haritasında (Şekil 2.4), olasılık metodu hesaplarına göre çizilen eşivme kontur haritası esas alınarak deprem bölgeleri tesbit edilmiştir. Buna göre, normal bir yapı 50 yıllık ekonomik ömrü içinde %90 ihtimal ile bu ivme değerlerinden fazla bir yüklenmeye maruz kalmayacağı tahmin edilmektedir. Ekonomik ömrü daha uzun veya önemli yapılar için karşılaşılabilecekleri en büyük ivme değerlerinin ayrıca hesaplanması gerekir.

Deprem Bölgeleri Haritası ile Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik bir birini tamamlamaktadır. Bu yönetmeliğe göre deprem bölgelerinde kabul edilen hesap ivmeleri, 1.derece için 0.4g , 2.derece için 0.3g , 3.derece için 0.2g , 4.derece için 0.1g olarak alınmalıdır. 5.derece için deprem hesabı yapmak zorunlu değildir.

Türkiye Deprem Bölgeleri, ivme değerlerine göre aşağıdaki şekilde derecelendirilmiştir.

- 1.Derece deprem bölgesi : beklenen ivme değeri 0.40 g 'den büyük
- 2.Derece deprem bölgesi : beklenen ivme değeri 0.40 g ile 0.30 g arasında
- 3.Derece deprem bölgesi : beklenen ivme değeri 0.30 g ile 0.20 g arasında
- 4.Derece deprem bölgesi : beklenen ivme değeri 0.20 g ile 0.10 g arasında
- 5.Derece deprem bölgesi : beklenen ivme değeri 0.10 g 'den az

g: yer çekimi(981 cm/s²).



Şekil 2.4 : Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.

3. YENİ NESİL AZALIM İLİŞKİLERİ (NGA)

3.1 Giriş

Türkiye, tektonik açıdan dünyanın en aktif bölgelerinden birinde yer almaktadır. Anadolu bloğunun batı-doğrultutlu hareketinden dolayı, Türkiye ana fay sistemi boyunca, biriken gerilme enerjisi, geçmişte birçok büyük ve hasaryapıcı depremlere sebep olmuştur ve bu sürekli gerilme enerjisinin açığa çıkması, gelecekte de büyük depremlere sebebiyet vereceği kesindir. Son dönemlerde Nükleer santraller, köprüler ve gökdelenler gibi özel projelerin sayısının artması, Türkiye'de deprem tehlike ve riskinin kapsamlı değerlendirme gereksimine davetkardır. Yavaş yavaş dünya genelinde, sismik tehlike değerlendirilmesi için yürütülen yaygın yöntem, deterministik yaklaşımdan probabalistik bir yaklaşıma geçiş yapmıştır. Olasılıksal (probabalistik) sismik tehlike değerlendirilmesi (PSHA), sismik tehlike değerlendirilmesinde uzmanlara, depremlerin konumumları ve tekrarlama oranlarını ve yer hareketi özelliklerinin değişkenliklerinde, belirsizlikleri açık bir şekilde dikkate almalarını sağlar. Bu özellikler, sismik tehlike değerlendirilmesinde, PSHA çalışmalarını daha mükemmel ve güvenilir bir yöntem olmasını sağlıyor.

PSHA yöntemi ve onun ana bileşenleri, dünya çapında, özel yapılar ve deprem riski azaltma bilinci için yer hareketi karakterizasyon çalışmalarının sayısının artması ile hızla gelişmektedir. Yer hareketi tahmin denklemleri (GMPEs), PSHA'deki her kaynak dan gelen deprem senaryoları için yer hareketi parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılır. Bu denklemler, yer hareketi şiddetlerini, kaynak (büyüklük, derinlik, faylanma türü, vb.), yol (mesafe, vb.) ve bölge (bölge durumu, basen etkileri, vb.) değişkenlere bağlı olarak tahmin etmek için, yer hareketlerinin fiziksel özelliklerine dayalı olan istatistiksel modelleri kullanır. Yer hareketi tahmin modellerinin sunduğu belirsizlik, risk integralinde bulunan başka model parametrelerden önemli ölçüde daha yüksektir. Bu nedenle, bölge için uygun GMPEs seçimi, o bölgede hesaplanan toplam tehlikede önemli etkiye sahiptir.

2008 yılında, beş yeni GMPEs, Yeni Nesil Azalım yer hareketleri ("NGA-West," yada "NGA") Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) tarafından koordine edilen projenin bir parçası olarak yayınlandı.

California (US) için geliştirilen NGA modellerinin, Türkiye de yürütülen PSHA çalışmalarındaki uygulanabilirliği, bu modellerde kullanılan parametrelerin yerel bilgi eksikliğinden kaynaklanan sorunlardan dolayı, tartışılır bir konudur.

Bahsi geçen modeller aşağıda yazıldığı gibidir;

-Abrahamson ve Silva 2008, “AS08”

-Boore ve Atkinson 2008, “BA08”

-Campbell ve Bozorgnia 2008, “CB08”

-Chiou ve Youngs 2008a, “CY08”

-Idriss 2008, “I08”

3.2 Yeni Nesil Azalım Yer Hareketleri (NGA)

Yer hareketi tahmin denklemleri (GMPEs), yer hareketlerini, belirli konumunda deprem büyüklüğüne, depremin kaynağı ve diğer kaynaklardan mesafeye, yola ve saha özelliklerine bağlı fonksiyonlar olarak, tahmin etmek için kullanılır.

2008 yılında, beş yeni GMPEs, Yeni Nesil Azalım yer hareketleri (“NGA-West,” yada “NGA”) Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) tarafından koordine edilen projenin bir parçası olarak yayınlandı.

NGA modelleri (PGA) pik yer ivmesi, (PGV) pik yer hızı ve (PSA) %5-sönümlü pseudo-mutlak ivme tepki spektrumunu, California gibi tektonik açıdan aktif olan bölgelerdeki sık depremlerde tahmin etmek için düzenlenmiştir. Çok sayıda araştırmacı NGA modellerini küçük düzeltmeler yaparak, Diğer tektonik bölgelere de uygulanabileceğini vurgulamıştır.

3.3 Yeni Nesil Azalım Modelleri

GMPEs, zaman içinde temel formullerden, günümüzdeki daha geniş kapsamlı ve daha az hatalı formullere dönüşmüştür. 2005 senesinde, PEER bir kaç, azalım ilişkileri geliştirme ekiplerini, geliştirmiş kaynakları kullanarak, kendi NGA ilişkilerini, sistematik bir şekilde modellemeleri için, yeni nesil azalım (NGA)

projesine dahil etmiştir. En önemli gelişme, kuvvetli yer hareketi kayıtlarının sayısının artmasıdır, NGA-W1 veritabanı 173 sığ deprem için, 3551 kayıt içermektedir. Çoğu kayıtlar, PEER in kendi işleme prosedürü kullanılarak, işletilmiş halde (Chiou vd., 2008) ve diğer kayıtlar ise ham değer halinde sunulmaktadır. Her takım NGA-W1 veritabanını kendi kriterlerini kullanarak taramıştır ve kendi veritabanının versiyonunu, regresiyon analizinde kullanmıştır. Bu konuya dikkat edilmelidir ki, NGA veritabanları çoğunluk olarak, California daki depremleri kapsamaktadır ve Türkiye'den gelen depremlerin sayısı oldukça azdır. 3551 kayıt içinde, sadece 67 kayıt Türkiyedeki yer hareketlerini temsil etmektedir. Californiadaki sığ depremler için yer hareketi modellerinin tüm kaynakları, ortalama yatay bileşeni için, Beş azalım ilişki geliştirici grup vasıtasıyla geliştirilmiştir ((Abrahamson ve Silva (2008), Boore ve Atkinson (2008), Chiou ve Youngs (2008), Campbell ve Bozorgnia (2008), ve Idriss (2008)). NGA projesi modellerin Çizelge 3.1 de belirtilen geçerli kriterler aralıklarına uygun olarak hesaplanması için, gelişimcilere gereksinim duymaktaydı.

Çizelge 3.1 : NGA-W1 model gereksinimleri.

Fay Türü	Doğrultu atımlı, Ters, Normal
Mesafe Aralığı	0-200 km
Magnitüd Aralığı (Doğrultu atımlı fay için)	5.0-8.5
Magnitüd Aralığı (Ters ve Normal faylar için)	5.0-8.0
Yer Hareketi Parametreleri	PGA, PGV, PGD, Sa (% 5 sönüm) Yatay Ortalama, Normal Faylanma ve Paralel Faylanma için.
Spektral Periyod Aralığı	0.0 to 10.0 Sn

3.3.1 Abrahamson Ve Silva (2008)

AS08, 135 depremden elde edilen, 2754 kayıt kullanmıştır. Bu depremler iki ana kategoriye ayrılmıştır; Biri sistematik olarak diğer kategoriye nazaran daha az yer hareketi üreten artçı şoklar ve ikincisi anaşoku aynı zamanda öncü şokları içeren kategori. Saha etkilerini tanımlamak için iki parametre kullanıldı; Vs30 ve kayanın mühendislik derinliği Z1.0 (Z1.0 yer yüzünden Vs =1000 m/s olana kadarki derinik) ve doğrusal olmayan saha etkileri dahil edilmiştir. Fay geometrisini tanımlamak için, fay kırığının derinlikten tepeye kadar ki mesafe aralığı (ZTOR), fay eğim derecesi (δ), fay kırığı derinliğindeki fay genişliği (W), fay kırığı mesafesinde ayrıca

kullanılmıştır. Diğer iki kaynaktan sahaya mesafe ölçümleri, Rjb ve Rx (fay kırığı üst kenarından itibaren yatay mesafe) tavan bölümünde, modeli etkiler. Fay tipinin tanımlamak için iki yerine, üç kategori kullanılmaktadır (normal fay tipi tanımlanmıştır). Regresyon analizi için, Abrahamson and Youngs (1992) tarafından önerilen, rastgele etkiler modeli önceki model gibi uygulanmaktadır. Yeni medyan yer hareketi için kullanılan denklem, Abrahamson and Silva, 1997 modelinden daha karmaşıktır :

$$\begin{aligned} \ln Sa(g) = & f_1(M, R_{rup}) + a_{12}F_{RV} + a_{13}F_{NM} + a_{15}F_{AS} + f_5(PGA_{1100}, V_{S30}) \\ & + F_{HW} f_4(R_{jb}, R_{rup}, R_x, W, \delta, Z_{TOR}, M) + f_6(Z_{TOR}) + f_8(R_{rup}, M) \\ & + f_{10}(Z_{1.0}, V_{S30}) \end{aligned} \quad (3.1)$$

Sa : Medyan spektral ivme

M : Moment büyüklüğü

Rrup : Fay kırığı düzlemiyle istasyon arasındaki en yakın mesafe

FRV ve FNM : Fay türleri için yapay değişkenler

VS30 : Zemin profilinin en üst 30m'lik katmanına ait ortalama S-dalgası hızı

PGA_{1100} : Kaya yer pik ivmesi

RJB : Joyner-Boore mesafesi

Rx : Fay kırığı üst kenarından yatay mesafe

W : Fay genişliği

δ : Fay düzleminin eğim açısı

ZTOR : Fay kırığının derinlikten tepeye kadar ki mesafe aralığı, km biriminde

Z1.0 : Yer yüzünden Vs =1 km/s olana kadarki derinlik

a12 , a13 ve a15 : Regresyon katsayıları

f_1 : Magnitüd ölçeği için fonksiyonel formu temsil etmekte, bu parametre önceki model ile aynıdır.

f_4 ve f_5 : Tavan blok vesaha etkilerini tanımlamaktadır bu parametreler geçmişteki modelden önemli ölçüde modifiye edilmiştir.

f_6 , f_8 ve f_{10} : Fay kırığı derinlik etkilerini, büyük mesafe etkilerini (gamma terimi) ve basen etkilerini modelleyen yeni terimlerdir.

Ayrıca yeni modelin standart sapmaları, doğrusal olmayan saha tepki etkilerini içermektedir.

3.3.2 Boore Ve Atkinson (2008)

BA08 artçı şokları ortadan kaldırarak, NGA-W1 veritabanlarını kullanmaktadır. Bu elemanın sebebi, bu kayıtların, ana şok kayıtları ile karşılaştırıldığında, farklı yer hareketi ölçeğine neden olabilmesidir. Boore ve Atkinson, 2008, Boore vd., 1997'in başlangıç noktası gibi fonksiyonel formunu kullanılmıştır ve gerektiğinde daha fazla karmaşıklık eklemiştir. Kaynaktan sahaya ve magnitüd büyüklüğünü belirlemek için kullanılan parametreler, geçmişteki model ile aynıdır. VS30 saha özellikleri belirlenmesinde kullanılmıştır ve doğrusal olmayan saha etkileri dahil edilmiştir. Fay türleri 3 kategoriye ayrılmıştır; doğrultu atımlı, ters ve normal faylanma. Yeni model fay kırığının yüzeye kadarki derinliğini, taban/tavan blok yada basen derinliği etkilerini içermiyor, çünkü residual analizleri bu faktörlerin dahil edilmesi durumunda, formüllerin tahmin etme kapasitelerinde, gelişme olmadığını göstermektedir. Aynı istatistiksel yaklaşım (Joyner ve Boore, 1993, 1994, tarafından tanıtilan iki aşamalı regresyon) kullanılmaktadır. Medyan yer hareketi Tahmin denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) \quad (3.2)$$

Y : Spektral ivme

M : Moment büyüklüğü

RJB : Joyner-Boore mesafesi

VS30 : Zemin profilinin en üst 30m'lik katmanına ait ortalama S-dalgası hızı

F_M : Büyüklük ölçeğinin fonksiyonel formu

F_D : Mesafe ölçeğinin fonksiyonel formu

F_S : Zemin etkileri fonksiyonel formu

3.3.3 Campbell Ve Bozorgnia (2008)

CB08, 64 depremden elde edilen, 1561 kayıt (artçı şoklar alınmadı) kullanmıştır. İki saha parametresi, VS30 and Z2.5 (Z2.5 yer yüzünden $V_s = 2.5$ km/s olana kadarki derinik), yerel saha koşullarını tanımlamak için modelin geçmiş versiyonundaki, yapay saha özelliklerinin yerine kullanılmıştır. Fay türünü belirlemek için üç ayrı kategori, ters veya ters-oblik, normal veya normal-oblik ve doğrultu atımlı olarak sunulmaktadır ve bu sınıflandırmada için kayma açısı aralıkları kullanılmıştır. Yeni model de, fay kırığı düzlemiyle istasyon arasındaki en yakın mesafe (R_{rup}), eski modeldeki istasyon ve sismik enerjinin açığa çıktığı bölge arasındaki en kısa mesafenin (r_{seis}) yerine kullanılmaktadır. Geçmiş model maksimum 60km mesafe için geliştirilmişti, yeni mesafe kriterini elde etmek için, yeni formüle magnitüde bağlı, mesafe cinsinden bir eğim eklenilmiştir. Fay geometrisini tanımlamak için, fay kırığının derinlikten tepeye kadarki, km birimindeki mesafe aralığı (ZTOR) ve fay düzleminin derece birimin deki eğim açısı (δ) kullanılmaktadır. Yeni modelde normal fay ve düşey olmayan doğrultu atımlı depremler için tavan blok etkisi göze alınmıştır. Regresyon analizinde, Joyner and Boore (1993) tarafından önerilen iki aşamalı regresyon prosedürü kullanılmıştır. Medyan tahmin denklemi (3.3) formülünde sunulmuştur.

$$\ln \hat{Y} = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hug} + f_{site} + f_{sed} \quad (3.3)$$

$\hat{Y}$: Medyan spektral ivme

f_{mag} : Magnitüd terimi için fonksiyonel form

f_{dis} : Mesafe terimi için fonksiyonel form

f_{flt} : Fay türü terimi için fonksiyonel form

f_{hug} : Tavan blok terimi için fonksiyonel form

f_{site} : Saha koşulları terimi için fonksiyonel form

f_{sed} : Basen tepkisi terimi için fonksiyonel form

3.3.4 Chiou Ve Youngs (2008)

CY08, Sadigh vd., 1997nin güncelleşmiş NGA modelini kullanmaktadır. Bu model Abrahamson and Silva (2008) daki gibi artçı şokları ayrı bir ölçümleme kullanarak kullanıyor. CY08 de 125 depremden elde edilen, 1950 kayıt kullanılmıştır. Yeni formüldeki değişimlerden biri saha etkileri parametreleri dir. Yerel saha koşullarını tanımlamak için, yapay saha yerine, VS30 ve Z1.0 kullanılmaktadır. Magnitüd ve mesafe ölçümleri için, eski modeldekinin aynısı kullanılmaktadır. İki modelin mesafe ölçeklendirme formulleri tamamen farklıdır ve bu durum, özellikle 70km ötesi ve uzun peryodlu hareketlerde, azalım eğrilerinin farklı olmasını sonuçlandırıyor. Yeni model tavan blok etkisini içermektedir, dolayısıyla tavan blokta bulunan sahalarda daha sağlıklı bir denklem vermektedir. Abrahamson ve Silva (2008) daki gibi CY08 de R_x , tavan blok terimi için kullanılmaktadır. Regrasyon katsayıları, karışık regrasyon katsayı modeli (Abrahamson ve Youngs, 1992) kullanılarak tespit edilmiştir. Medyan yer hareketi (3.4) denkleminde bulunur.

$$\begin{aligned}
 \ln(y_{ij}) = & \ln(y_{ref_{ij}}) + \phi_1 * \min(\ln(\frac{V_{S30j}}{1130}), 0) \\
 & + \phi_2 (e^{\phi_3(\min(V_{S30j}, 1130) - 360) - e^{\phi_3(1130 - 360)}}) * \ln(\frac{y_{ref_{ij}} e^{\eta_i} + \phi_4}{\phi_4}) \\
 & + \phi_5 (1 - \frac{1}{\cosh(\phi_6 * \max(0, Z_{1.0} - \phi_7))}) \\
 & + \frac{\phi_8}{\cosh(0.15 * \max(0, Z_{1.0} - 15))}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

y_{ij} : Spektral ivme

$y_{ref_{ij}}$: Referans saha durumu için spektral ivme

S_{30j} : Kilometre biriminde kayma dalga hızı

η_i : Rastgele değişken

$Z_{1.0}$: Yer yüzünden $V_s = 1$ km/s olana kadarki derinlik

$\phi_1 - \phi_8$: Regresyon katsayıları

3.3.5 Idriss (2008)

ID08, 114 depremden elde edilen, 3179 kayıt (artçı şoklar alınmadı) kullanmıştır. Yerel zemin koşulları, iki zemin kategorisi ile belirlenmektedir: kaya zeminler için $900 \text{ m/s} < VS30$ ve toprak zeminler için ise $450 < VS30 < 900 \text{ m/s}$. Geoteknik mühendisliği açısından daha uygun olduğunu için, Idriss (2008) modelinde, VS30 için sürekli fonksiyon yerine, belirli VS30 ler kullanılmıştır. Kaynak mekanizma çözümünde ise, doğrultu atımlı ve ters olarak iki ayrı kategori kullanılmıştır. Deprem büyüklüğü belirlenmesinde, geçmiş model de yerel magnitüd (ML) ve yüzey dalga magnitüdü (MS) kullanılmıştı, yeni medel de ise bunların yerine moment büyüklüğü (MW) kullanılmıştır. Benzer bir şekilde, eski modeldeki hiposanter mesafesi (R_{hyp}), fay kırığına en yakın mesafe (R_{rup}) ile değiştirilmiştir. Medyan tahmin denklemi, denklem (3.5) da sunulmuştur.

$$\ln(PSA(T)) = \alpha_1(T) + \alpha_2(T)M - (\beta_1(T) + \beta_2(T)M) \ln(R_{rup} + 10) + \gamma(T)R_{rup} + \phi(T)F \quad (3.5)$$

$PSA(T)$: Spektral ivme

M : Moment büyüklüğü

R_{rup} : Fay kırığı düzlemiyle istasyon arasındaki en yakın mesafe

$\alpha_1(T)$, $\alpha_2(T)$, $\beta_1(T)$, $\beta_2(T)$, $\gamma(T)$ ve $\phi(T)$: Regresyon analizinden hesaplanır katsayılar

3.4 NGA, Yer-Hareket Tahmin Denklemlerinin Uygulanmasında, Bilinmeyen Parametrelerinin Tahmin Edilmesi

Yer hareketi tahmin denklemleri (GMPEs), 2008 yılındaki Yeni Nesil yer hareketlerini Azalım Denklemleri (NGA-West) projesinin bir parçası olarak, sismik tehlike analizlerinde yaygın olarak kullanılır hale gelmektedir. Ancak, bu yeni modeller önceki GMPEs den önemli ölçüde daha karmaşıktır, ve daha fazla giriş parametrelerine gereklidirler. NGA modellerini uygularken, gerekli giriş parametrelerden bazıları bilinmemektedir. Burada bilinmeyen parametreleri tahmin etmek için, bazı çerçeveler sunulmaktadır Kakkamanos and Baise (2011).

Çizelge 3.2, NGA modeller için gereken girdi parametreleri göstermektedir, modeller karmaşıklık ve belirleyici değişkenlerin sayısı açısından önemli ölçüde farklılık sergilmektedirler.

Çizelge 3.2 : NGA modeller için gereken girdi parametreleri.

Parametreler	Model				
	AS08	BA08	CB08	CY08	I08
Kaynak Parametreleri					
M	•	•	•	•	•
Z _{TOR}	•		•	•	
W	•				
δ	•		•	•	
Fay türü belirlenmesi	•	•	•	•	•
Artçı şokların belirlenmesi	•			•	
Uzaklık parametreleri					
Rrup	•		•	•	•
Rjb	•	•	•	•	
Rx	•			•	
Tavan belirlenmesi	•			•	
Saha parametreleri					
V _{s30}	•	•	•	•	
Z _{1.0}	•			•	
Z _{2.5}	•		•		
PGA (yada PSA) kaya üzerinde	•	•	•	•	

Kaklamanos ve Baise (2011) deki çerçevelerden yararlanmak için kullanıcıların en az 5 parametreyi bilmeleri gerekmektedir (M, RJB, VS30, Fay Türü, FHW).

Çizelge 3.4 : Fay türlerinin Kayma açısı ve NGA modellerine göre sınıflandırılması.

kayma açılarının aralığı (derece)			
Model	Ters fay	Normal fay	Doğru atımlı fay
AS08	$30 \leq \lambda \leq 150$	$-120 \leq \lambda \leq -60$	$-180 < \lambda < -120, -60 < \lambda < 30$ ve $150 < \lambda < 180$
BA08	$30 \leq \lambda \leq 150$	$-150 \leq \lambda \leq -30$	$-180 < \lambda < -150, -30 < \lambda < 30$ ve $150 < \lambda < 180$
CB08	$30 < \lambda < 150$	$-150 < \lambda < -30$	$-180 \leq \lambda \leq -150, -30 \leq \lambda \leq 30$ ve $150 \leq \lambda \leq 180$
CY08	$30 \leq \lambda \leq 150$	$-120 \leq \lambda \leq -60$	$-180 < \lambda < -120, -60 < \lambda < 30$ ve $150 < \lambda < 180$
I08	$30 \leq \lambda \leq 150$	N/A	$-180 < \lambda < 30$ ve $150 < \lambda < 180$

3.4.1.1 Fay genişlik parametresinin tahmini, W

$$W = \begin{cases} 10^{-0.76+0.27M} & \text{doğrultu atımlı durum} \\ 10^{-1.61+0.41M} & \text{ters durum} \\ 10^{-1.14+0.35M} & \text{normal durum} \end{cases} \quad (3.6)$$

W : Fay genişliği

M : Moment büyüklüğü

3.4.1.2 ZTOR parametresinin tahmini

$$Z_{TOR} = \max[(Z_{HYP} - 0.6W \sin \delta), 0] \quad (3.7)$$

$$Z_{HYP} = \begin{cases} 5.63 + 0.68M & \text{doğrultu atımlı durum} \\ 11.24 - 0.2M & \text{doğrultu atımlı olmayan durum} \\ 7.08 + 0.61M & \text{genel durum(belirsiz)} \end{cases} \quad (3.8)$$

ZTOR : Fay kırığının derinlikten tepeye kadar ki mesafe aralığı, km biriminde

ZHYP : içmerkezlik mesafesi

W : Fay genişliği

δ : Fay düzleminin eğim açısı

3.4.1.3 Derinlik parametreleri(Z1.0 ve Z2.5)

Z1.0, AS08 ve CY08 modelleri için belirlenmesi gerekmektedir. Z2.5 parametresi CB08 modeli için gerekmektedir. Z1.0 için Abrahamson ve Silva (2008) nın önerdiği formül (3.9) de sunulmuştur.

$$Z_{1.0} = \begin{cases} \exp(6,745) & V_{s30} < 180 m/s \\ \exp \left[6,745 - 135 * \ln \left(\frac{V_{s30}}{180} \right) \right] & 180 \leq V_{s30} \leq 500 m/s \\ \exp \left[5,394 - 4,48 * \ln \left(\frac{V_{s30}}{500} \right) \right] & V_{s30} > 500 m/s \end{cases} \quad (3.9)$$

Chiou ve Youngs (2008a), Z1.0 parametresinin belirlenmesi için önerdiği formül (3.10) de sunulmaktadır.

$$Z_{1.0} = \exp[28,5 - 3,82/8 * \ln(V_{s30}^8 + 378,7^8)] \quad (3.10)$$

Campbell ve Bozorgnia (2007), Z1,5 belli olduğu durum için, Z2.5 belirlenmesi için (3.11) formülünü ve Z1,0 belli olduğu durum için ise Z2.5 belirlenmesi için (3.12) formülünü sunmaktadır.

$$Z_{2.5} = 636 + 1,549 * Z_{1.5} \quad (3.11)$$

$$Z_{2.5} = 519 + 3,595 * Z_{1.0} \quad (3.12)$$

Buradaki bütün derinlikler metre olarak bulunmaktadır.

3.4.1.4 Eğim açısı (δ) parametresi

Chiou ve Youngs (2008b), eğim açısını fay türlerine bağlı olarak belirlemiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 : Eğim açısının, fay türüne göre sınıflandırılması.

Fay türü	Eğim açısı (δ, derece)
Ters fay	40
Normal fay	50
doğrultu atımlı	90

4. 23 EKİM 2011 VE 09 KASIM 2011 VAN DEPREMLERİNİN KUVVETLİ YER HAREKETLERİNİN YENİ NESİL AZALIM İLİŞKİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

4.1 Giriş

23 Ekim 2011 tarihinde saat (yerel saat) 13:41’de, Van İli’nin kuzeyinde, Van-Erciş karayolu’nun yaklaşık 45.km’sinde, merkez üssü Tabanlı Köyü (KOERI 2011) ve derinliği 19.02km (AFAD) olan yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Kuzeye eğimli ters bir faylanma sonucu oluşan Erciş depremi, merkez üssüne harita üzerinde yaklaşık 30 km uzaklıkta ve kuzeyde yer alan Van iline bağlı Erciş İlçesi’nde büyük hasara (yapısal hasar, zeminde bir çok stabilite kaybı, kaymalar, sıvılaşmalar ve bir çok can kaybı) neden olmuştur. Bu neden ile $M_w = 7.2$ büyüklüğündeki bu yıkıcı deprem Erciş (Van) depremi olarak adlanmıştır.

İlk ana depremin (Erciş depremi) ardından (18 gün sonra), 9 Kasım 2011 tarihinde ve yerel saatle 19:23 de, merkez üstü Van iline bağlı Edremit İlçesi’nin yaklaşık 3 km kuzeydoğusunda, Van İl merkezinin yaklaşık 10 km güneybatısında ve Van Gölü içinde Büyüklüğü $M_w = 5.7$ ve derinliği 6.09km (AFAD) olan yıkıcı bir deprem daha meydana gelmiştir. Bu deprem, merkez üssüne en yakın coğrafi yerleşkenin adıyla, Edremit (VAN) depremi olarak adlanmıştır. Yaklaşık K-G gidişli ve batıya dikçe eğimli normal bir faylanma sonucu oluşan Edremit depremi, özellikle Van İl merkezinde, Erciş depreminden çok daha yüksek şiddette hissedilmiş ve çok daha fazla hasara neden olmuştur.

Bu çalışmada, ters faylanmaya sahip 23Ekim 2011, $M_w=7.2$ büyüklüğündeki Van-Erciş ve normal faylanmaya sahip olan 09kasım 2011, $M_w=5.7$ büyüklüğündeki Van-Edremit depremleri için KYHK dan alınan, faya yakın istasyonlardaki ve önemli olabileceği düşünülen istasyonlardaki ve birde iki depremde müşterek olan istasyonların, kayıtları seismosignal programını kullanarak ivme-süre, hız-süre, deplasman-süre, Fourier speckrum, tepki spektrum ve etkili zamanları bulunup, incelenmiştir ve önemli farklılıkları ortaya konmuştur. Bu farklılıklar, deprem dalgasının odak bölgesinden dışarıya doğru yayılırken, içinden geçtiği jeolojik birimlerin özelliklerinden oldukça etkilendiği, uzaklığa bağlı olarak dalganın sönümlendiği ve yerel zemin koşullarının etkileşiminin önemli olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır.

Daha sonra, 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinde, Vs30 değerleri elde olan istasyonların spectral ivmeleri, PEER tarafından sunulan, Yeni Nesil Azalım İlişkileri (NGA)’ndeki, Abrahamson Ve Silva (2008) modeli ile karşılaştırılmıştır.

4.2 Çalışmada Kullanılan Deprem Kayıtları

Bu çalışmada, Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı, (http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php) bankasında bulunan deprem kayıtları kullanılmaktadır. Burada, 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi için 22 istasyondan alınan kayıt ve 09 Kasım Van-Edremit depremi için ise 5 istasyondan alınan kayıt kullanılmıştır. Bu istasyonların lokasyonları, merkez üssü uzaklıkları ve ivme değerleri Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1 da sunulmaktadır. 23 EKİM 2011 Depremi bölgeye yakın olan 22 istasyonlar tarafından kaydedilmiş olsa da, en yakın olan cihaz, Van şehir merkezinde bulunuyordu fakat olay sırasında bozulmuştur. Depremin merkez üssü, Van ve Ercişe hemen hemen aynı mesafede dir (Şekil 1.25), ama Erciş deki hasar çok daha yüksektir. Bunun sebebi Ercişin fay hattına göre, tavan blok ta, Van ise taban blokta yer almasıdır. Maalesef, Ercişte de, kuvvetli yer hareket ölçüm cihazlarının bozulmasından dolayı, hiç bir deprem kaydı bulunmamaktadır (Ö.Aydan vd., 2014).



Şekil 4.1 : 23Ekim ve 09Kasım 2011 Van depremlerinin, KYHK’dan alınan istasyonların adları ve lokasyonları.

Çizelge 4.1 : KYHK’ından alınan istasyonların ham (işlenmemiş) PGA ve koordinatları.

Koordinat	İstasyon Kodları ve isimleri	K-G PGA(gal)	D-B PGA(gal)	Düşey PGA(gal)
23 Ekim 2011 Van- Erciş				
38.68900N 43.46570E	Merkezüssü	-	-	-
38.99011N 43.76302E	6503-van muradiye	178,50	169,50	79,50
39.14394N 42.53072E	4902-muş malazgirt	44,50	56,00	25,50
38.47440N 42.15913E	1302-bitlis merkez	89,67	102,24	35,51
39.71978N 43.01640E	0401-ağrı merkez	18,46	15,09	7,22
37.91200N 41.93100E	5601-siirt merkez	9,91	9,16	7,05
38.76111N 41.50394E	4901-muş merkez	10,31	6,86	4,64
38.96616N 41.05040E	1211-bingöl solhan	4,59	4,20	2,46
39.29345N 41.00883E	1206-bingöl karlıova	7,53	11,08	4,66
37.87300N 41.15112E	7201-batman merkez	8,30	8,59	3,74
37.32632N 40.72374E	4701-mardin merkez	2,01	1,90	1,59
39.77665N 40.39108E	2407-erzincan tercan	2,37	3,44	2,27
38.72778N 40.13103E	2305-elazığ beyhan	1,20	1,19	1,00
38.69583N 39.93199E	2307-elazığ palu	2,12	1,64	1,71
38.72174N 39.86441E	2304-elazığ kovancılar	1,46	1,67	1,20
40.26230N 40.21010E	6901-bayburt merkez	1,35	1,15	1,27
39.74183N 39.51152E	2401-erzincan merkez	1,54	1,29	0,71
37.75240N 39.32910E	6303-şanlıurfa siverek	2,01	3,06	1,60
40.12439N 39.43658E	2902-gümüşhane kelkit	1,06	0,89	1,25
38.11700N 38.52400E	4404-malatya poturge	1,00	1,00	0,95
37.79177N 38.61597E	0205-adiyaman kahta	2,97	2,70	1,64
37.78694N 37.65275E	0208-adiyaman gölbaşı	1,12	0,74	0,36
37.57532N 36.91505E	4609-k.maraş merkez	1,74	2,19	0,96
09 Kasım 2011 Van- Edremit				
38.44720N 43.26380E	Merkezüssü			
38.41450N 43.26820E	6510-van edremit	65,70	102,60	44,25
38.50347N 43.40177E	6501-van merkez	148,08	245,90	150,54
38.99011N 43.76302E	6503-van muradiye	13,00	9,50	4,50
38.47440N 42.15913E	1302-bitlis merkez	3,92	5,84	2,13
39.14394N 42.53072E	4902-muş malazgirt	3,00	4,00	2,00

4.3 Kuvvetli Yer Hareketlerinin İrdelenmesi

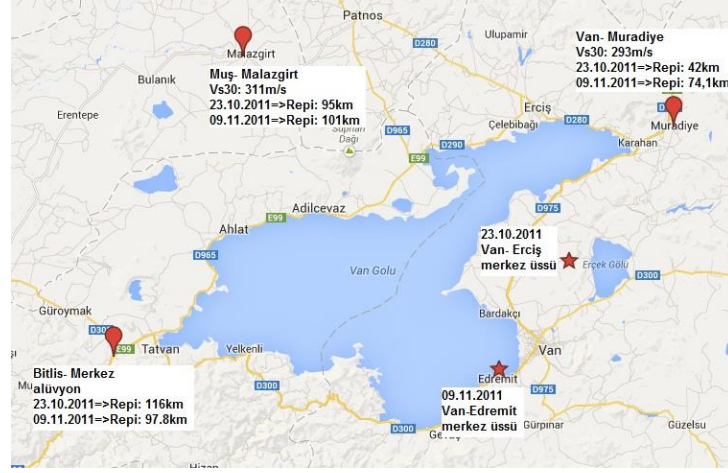
Bu bölümde, KYHK dan alınan ham ivme değerleri, seismosignal programı yardımı ile, Butterworth- Band Pass filtreden geçirip gerekli düzeltmeler yapılarak işlenmiş (düzeltilmiş) hale getirip, faya yakın istasyonlardaki ve önemli olabileceği düşünülen istasyonlardaki ve birde iki depremde müşterek olan istasyonların, kayıtları kullanarak ivme-süre, hız-süre, deplasman-süre, Fourier speckrum, tepki spektrum ve etkili zamanları bulunup, incelenip ve önemli farklılıklar ortaya konulmuştur. Çizelge 4.2 de istasyonların düzeltilmiş ivme, hız ve deplasman, merkezüssü mesafeleri ve Vs30 değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 4.2 de gözüktüğü gibi 23Ekime ait en yakın 3 istasyon Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez dir. Kuvvetli yer hareketi, Van-Edremit depreminde de aynı istasyonlar tarafından kaydedilmiştir. Van-Erciş depreminde Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonlarına ait en yüksek ivme değerleri sırasıyla,

0.19g (K-G), 0.05g (K-G) ve 0.10g (D-B) dir. İvme değerlerinin depremin merkez üssünden uzaklaştıkça azalması beklenirken, buradaki 3 istasyona bakılınca, Bitlis-Merkez (alüvyon) istasyonu, Muş-Malazgirt ($V_{30}=311\text{m/s}$) den, merkezüssü mesafesi açısından daha uzak konumda olmasına rağmen, daha yüksek ivmeye sahiptir. Bu durum, istasyonların üzerinde bulunduğu zemin koşullarının, deprem ivme değerlerini etkilediğinin bir göstergesidir. Başka bir ifade ile maksimum yer ivmesi değerleri deprem dalgalarının kat ettiği formasyonların türü ile yakından ilişkilidir. Ancak, depremin maksimum ivmesi tek başına deprem etkisini tanımlayabilen bir parametre değildir. Büyük yer ivmesine sahip olan ve çok kısa bir zaman diliminde meydana gelen bir depremin, daha küçük yer ivmesine sahip ve uzun süren depremlere göre daha az hasar yaptığı bilinmektedir. Bir başka dikkat çeken konu, alüvyon zemin üzerinde olan Bitlis-Merkez istasyonunun, maksimum ivme değerinin meydana gelidiği zaman dilimidir. Bu istasyonda pik ivme, 40.56 saniye de meydana gelmiştir ve bu zaman dilimi, bu istasyona nazaran daha az pik ivmeye sahip olan ve $V_{s30}=311\text{m/s}$ olan Muş-Malazgirt istasyonunun pik ivmesinin meydana geldiği zamandan (12,56sn) daha fazladır. Van-Erciş ve Van-Edremit depremlerinin fay türleri farklıdır, ilk deprem doğu-batı yönlü ters faydan ve ikinci deprem ise kuzey-güney uzanımlı bir faydan kaynaklanmaktadır. Van-Edremit depreminde, istasyonların merkezüssüne kadarki mesafeleri Van-Muradiye istasyonu için 74.1km, Bitlis-Merkez istasyonu için 97,8km ve Muş-Malazgirt istasyonu için ise 101km dir (Şekil 4.2). 09Kasım 2011 depreminde, bu istasyonlar tarafından kaydedilen en yüksek ivmeler değerleri sırasıyla 0.01g (K-G), 0.005g (D-B) ve 0.003g (K-G) dirler. Bu değerler, 23Kasım depremine nazaran çok daha küçük değerlerdirler. Bunun sebebi, kaynak fayın farklı türden olması, farklı merkezüssü mesafelerine sahip olmaları, farklı deprem büyüklüklerinden kaynaklı olmaları, olabilir.

Van-Erciş depremi D-B uzanımlı ters faylanmaya sahip olduğu için, kuvvetli yer hareketlerinin D-B bileşenleri, fayın paralel bileşeni ve yer hareketlerinin K-G bileşenleri, fayın normal bileşeni olarak belirlenmiş ve buna karşın, Van-Edremit depremi K-G uzanımlı normal faya sahip olduğu için, kuvvetli yer hareketlerinin D-B bileşenleri, fayın paralel bileşeni ve yer hareketlerinin K-G bileşenleri, fayın normal bileşeni olarak belirlenmiştir. Üç istasyonun pik ivmelerine bakınca, Van-Muradiye ($V_{s30}=293\text{m/s}$) ve Muş-Malazgirt ($V_{s30}=311\text{m/s}$) istasyonlarının, pik

ivmeleri 23Ekim (ters fay) depreminde, normal bileşende (K-G) ve Van-Edremit (normal fay) depreminde, paralel bileşende (K-G) meydana gelmiştir, alüvyon zemin üzerinde olan Bitlis-Merkez de ise tam ters durum hakimdir, yani 23Ekim de pik ivme paralel bileşende (D-B) ve 09Kasım de pik ivme normal bileşende (D-B) meydana gelmiştir.



Şekil 4.2 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin ortak istasyonlarını gösteren harita.

Çizelge 4.2 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, 3 bileşendeki maksimum ivme, hız ve deplasman değerleri.

			K-G							D-B							Düşey						
23 Ekim 2011Van-Erciş	Vs30	Repi	PGA@zaman	PGV@zaman	PGD@zaman	PGA@zaman	PGV@zaman	PGD@zaman	PGA@zaman	PGV@zaman	PGD@zaman	PGA@zaman	PGV@zaman	PGD@zaman	PGA@zaman	PGV@zaman	PGD@zaman	PGA@zaman	PGV@zaman	PGD@zaman			
6503-van muradiye	293m/s	42	195,5	30,6	26,9	30,45	5,13	30,95	167,18	30,99	17,46	31,11	4,85	30,96	80,52	30,72	6,22	37,471	1,96	38,84			
4902-muş malazgirt	311m/s	95	54,82	12,6	10,5	20,58	4,87	21,34	53,014	10,88	12,55	14,31	4,13	17,89	25,78	11,48	5,38	23,002	2,56	14,22			
1302-bitlis merkez	alüvyon	116	93,33	40	8,67	39,79	2,26	52,01	101,5	40,56	7,882	40,42	2,08	51,16	35,77	40,61	2,9	49,57	2,61	51,87			
0401-ağrı merkez	295m/s	121	15,67	92,7	7,23	92,12	3,69	89,76	13,294	81,64	5,144	95,99	2,53	109	8,556	88,62	2,54	111,94	2,23	88,51			
5601-siirt merkez	alüvyon	158	9,455	55,1	2,13	51,99	2,09	67,77	11,303	57,62	3,763	61,52	2,42	66,95	7,187	57,59	2,11	64,48	2,86	65,43			
4901-muş merkez	315m/s	170	10,33	40,2	2,73	53,11	1,34	53,77	7,7474	47,46	1,603	49	1,35	81,01	4,434	38,26	1,06	88,41	1,25	58,7			
1211-bingöl solhan	463m/s	211	4,009	49,2	1,72	118,9	2,12	117	4,2551	46,83	2,343	68,61	2,92	76,48	1,971	52,59	1,81	85,02	2,01	74,55			
1206-bingöl karlıova	sert	222	7,926	35,4	2,68	50,82	2,29	49,28	10,441	35,93	3,89	34,82	3,09	66,33	4,428	35,51	1,96	35,89	2,54	63,09			
7201-batman merkez	450m/s	223	8,65	60,6	2,95	69,9	2,18	68,98	8,901	57,44	1,997	55,79	2,03	81,7	3,917	63,7	2,26	85,11	2,45	83,48			
4701-mardin merkez	sert	284	1,844	33,2	1,01	56,88	1,16	58,68	1,9456	36,16	1,096	65,23	1,16	63,84	1,88	34,45	1,31	59,39	1,44	61,74			
2407-erzincan tercan	320m/s	289	2,275	72,8	0,88	68,94	1,16	58,12	2,961	71,02	1,665	70,43	1,61	71,25	1,678	64,24	0,92	81,14	1,21	83,74			
2305-elazığ beyhan	sert	289	1,546	38,2	0,81	84,37	0,89	82,84	1,12	31,89	0,88	78,99	0,92	80,94	1,124	41,67	0,71	73,55	0,82	78,74			
2307-elazığ palu	329m/s	307	2,094	43,2	1,31	94,14	1,36	92,78	1,6693	42,04	1,077	85,06	1,01	86,29	1,822	33,63	1,24	75,39	1,32	76,75			
2304-elazığ kovancılar	alüvyon	313	1,633	32,7	1,3	90,92	1,49	92,35	1,1159	34,91	0,955	80,66	0,97	79,15	1,158	40,85	0,92	78,66	1,15	80,53			
6901-bayburt merkez	sert	327	1,1	36,1	0,77	36,68	0,71	64,8	1,1842	42,57	0,824	59,9	1	57,93	1,214	40,06	0,87	41,57	1,02	59,33			
2401-erzincan merkez	314m/s	358	1,089	47,4	0,73	46,95	0,68	64,1	1,1496	78,31	0,923	64,36	1,03	62,38	0,725	65,15	0,56	65,8	0,63	64,73			
6303-şanlıurfa siverek	alüvyon	378	2,142	37,8	1	77,87	1,07	79,54	2,9495	30,27	1,088	73,91	1,35	75,95	1,147	77,48	1,3	76,43	1,54	74,34			
2902-gümüşhane kelkit	alüvyon	378	0,972	30	0,69	36,23	0,76	37,84	1,1097	31,63	0,529	53,63	0,73	52,11	1,108	32,61	0,78	34	0,66	32,75			
4404-malatya poturge	sert	405	0,874	30,8	0,78	78,7	0,82	80,45	0,968	33,85	0,484	94,49	0,55	78,18	0,967	31,05	0,59	93,11	0,78	86,56			
0205-adiyaman kahta	alüvyon	437	2,547	45,5	1,11	85,44	1,47	83,04	2,2207	45,14	1,074	77,25	1,15	85,95	1,699	46,28	0,88	86,94	1,09	89,35			
0208-adiyaman gölbaşı	469m/s	521	1,165	33,7	0,35	72,78	0,33	73,76	0,6164	63,38	0,318	63,84	0,26	79,2	0,421	42,22	0,15	80,31	0,25	82,31			
4609-k.maraş merkez	317m/s	590	1,762	55,5	0,88	69,82	0,68	89,38	2,4637	32,69	0,848	74,35	1,03	90,66	0,958	37,53	0,51	85,75	0,71	83,09			

			K-G							D-B							Düşey						
09 Kasım 2011 Van-Edremit	Vs30	Repi	PGA@zaman	PGV@zaman	PGD@zaman	PGA@zaman	PGV@zaman	PGD@zaman	PGA@zaman	PGV@zaman	PGD@zaman	PGA@zaman	PGV@zaman	PGD@zaman	PGA@zaman	PGV@zaman	PGD@zaman						
6510-van edremit	sert	2,9	69,28	12,7	12,1	12,59	3,83	12,86	103,08	13,7	14,04	13,26	3,29	14,49	44,85	13,68	4,44	14,035	1,64	15,38			
6501-van merkez	363m/s	12,7	152,6	7,98	16,4	7,91	2,89	8,12	260,33	8,4	33,28	7,94	6,48	8,73	145,6	8,22	6,07	8,05	1,25	9,47			
6503-van muradiye	293m/s	74,1	13,41	30,4	1,15	30,27	0,32	40,26	9,4933	26,61	1,314	39,05	0,45	39,48	4,536	30,8	0,59	38,758	0,25	36,36			
1302-bitlis merkez	alüvyon	97,8	4,076	34,9	0,44	34,82	0,13	45,03	5,7497	34,2	0,338	35	0,14	43,63	2,11	35,01	0,23	33,49	0,13	42,68			
4902-muş malazgirt	311m/s	101	3,397	30,1	0,57	47,84	0,26	68,3	3,1718	40,79	0,759	41,02	0,31	41,81	1,505	29,55	0,19	58,118	0,11	45,19			

Repi : Merkezüssü uzaklığı (km)

Vs30 : En üst 30 m zemin için ortalama kayma dalga hızı değeri (m/sn)

PGA : En Büyük Yer İvmesi (cm/sn²)

PGV : En Büyük Yer Hızı (cm/sn)

PGD : En Büyük Yer Değiştirme (cm)

Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez e ait ivme-zaman, hız-zaman ve deplasman-zaman diagramları Şekil 4.3-4.11 da sunulmuştur.

Çizelge 4.3 de Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonlarının pik ivme, hız ve deplasman değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 4.3 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonlarının pik ivme, hız ve deplasman değerleri.

istasyon	Vs30	23.10.2011 Mw=7.2				09.11.2011 Mw=5.6			
		Repi	PGA	PGV	PGD	Repi	PGA	PGV	PGD
6503-van muradiye	293,00	42,00	(K-G)195,49	(K-G)26,94	(K-G)5,13	74,10	(K-G)13,41	(D-B)1,31	(D-B)0,44
4902-muş malazgirt	311,00	95,00	(K-G)54,82	(D-B)12,55	(K-G)4,87	101	(K-G)3,39	(D-B)0,75	(D-B)0,31
1302-bitlis merkez	alüvyon	116,00	(D-B)101,5	(K-G)8,67	Düşey2,6	97,80	(D-B)5,74	(K-G)0,43	(D-B)0,13

Repi : Merkezüssü mesafesi (km)

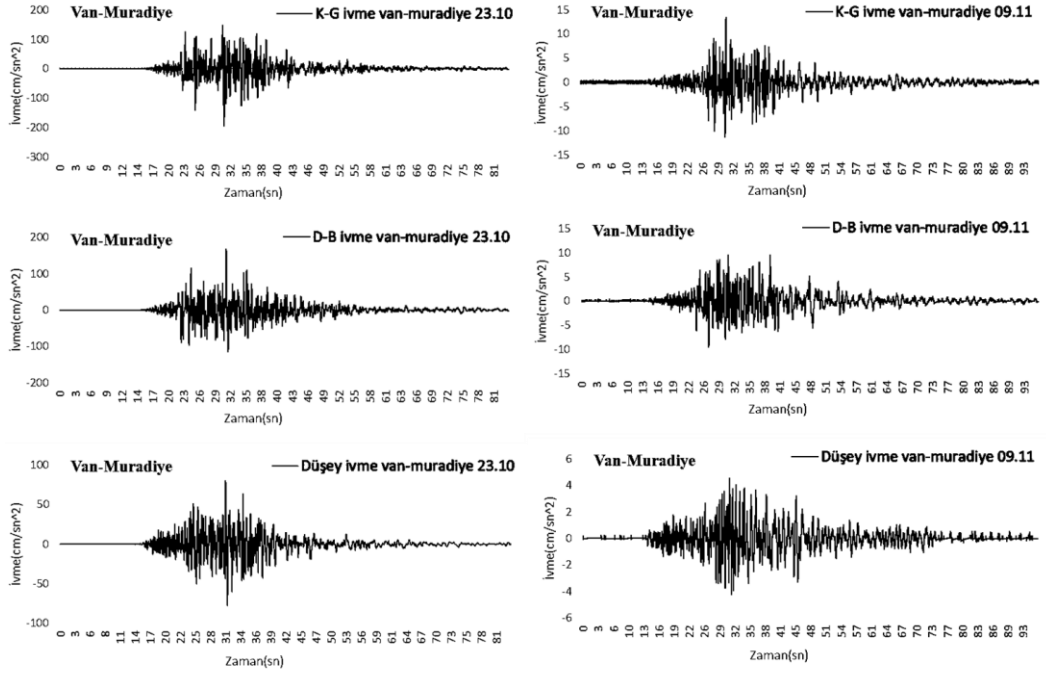
PGA : En büyük yer ivmesi (cm/sn²)

PGV : En büyük yer hızı (cm/sn)

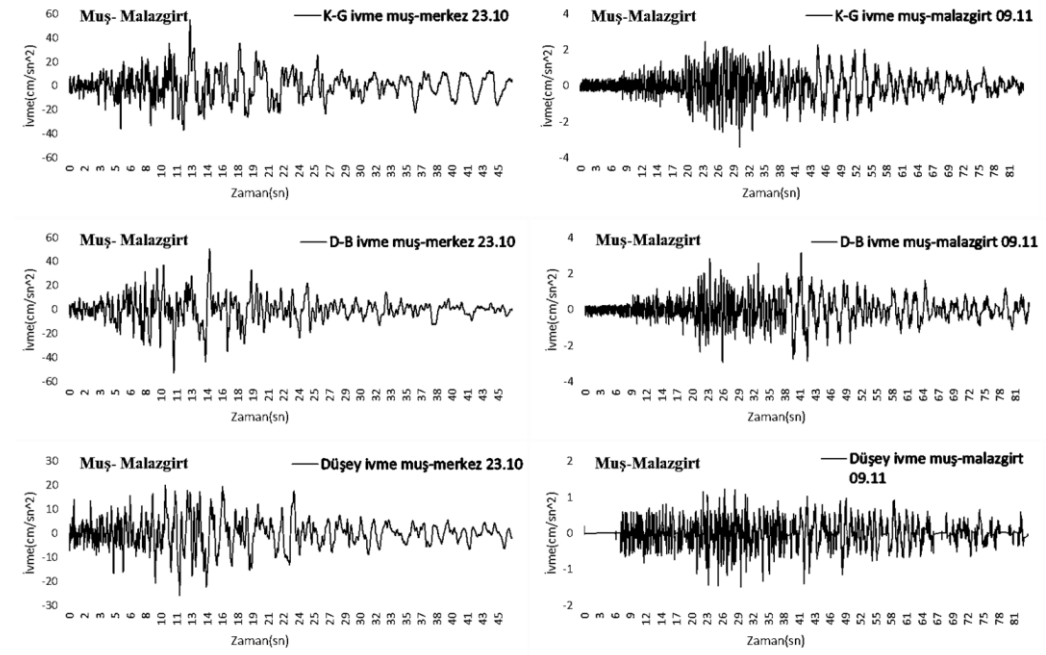
PGD : En büyük yer deplasmanı (cm)

İvme Diagramları;

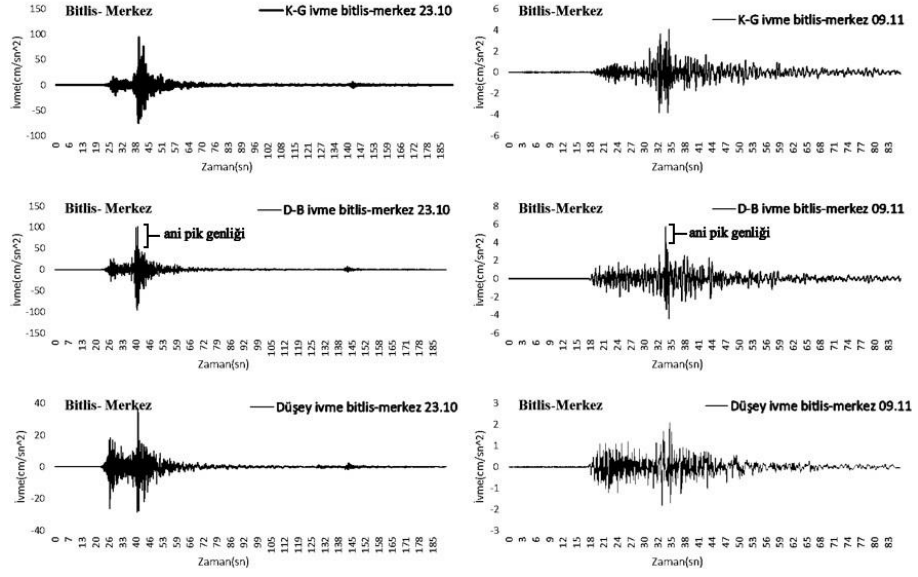
Her iki depremde, 3 istasyonun, ivme-zaman diagramlarına bakılınca, K-G ve D-B bileşenlerin arasında önemli fark gözükmemektedir. Van-Muradiye dalga formunun basit olduğu gözükmemektedir. Buna karşın Muş-Malazgirt ivme diagramı kompleksdir, buda erken artçı şok olduğunun göstergesi olabilir. Dalga formunun karışıklığı, sahanın lokal jeolojisinin etkisini de gösterebilir. Eğer Bitlis-Merkezin D-B kaydı iyi incelenirse, Van-Erciş derpeminde 40 saniye içerisinde yaklaşık 0.004g den 0.1g e ve Van-Edremit depreminde 34 saniye içerisinde 0.004g den 0.005g e ani pik (pluse) olduğu gözükmemektedir. Bu pulse bina hasarında ve ivme spektrumunda (Şekil 4.12) etkin bir değeri yoktur.



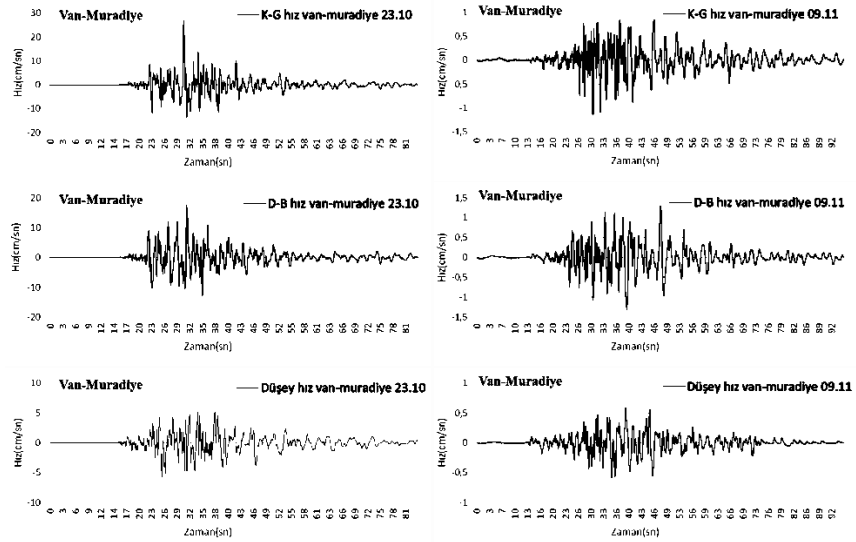
Şekil 4.3 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Van-Muradiye istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde ivme-zaman diagramları.



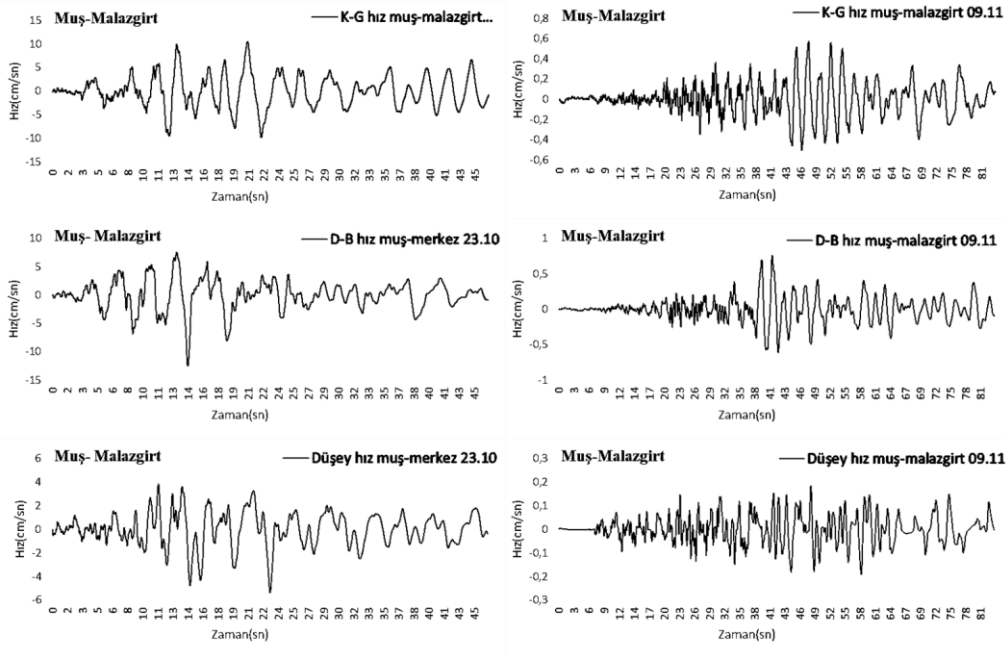
Şekil 4.4 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Muş-Malazgirt istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde ivme-zaman diagramları.



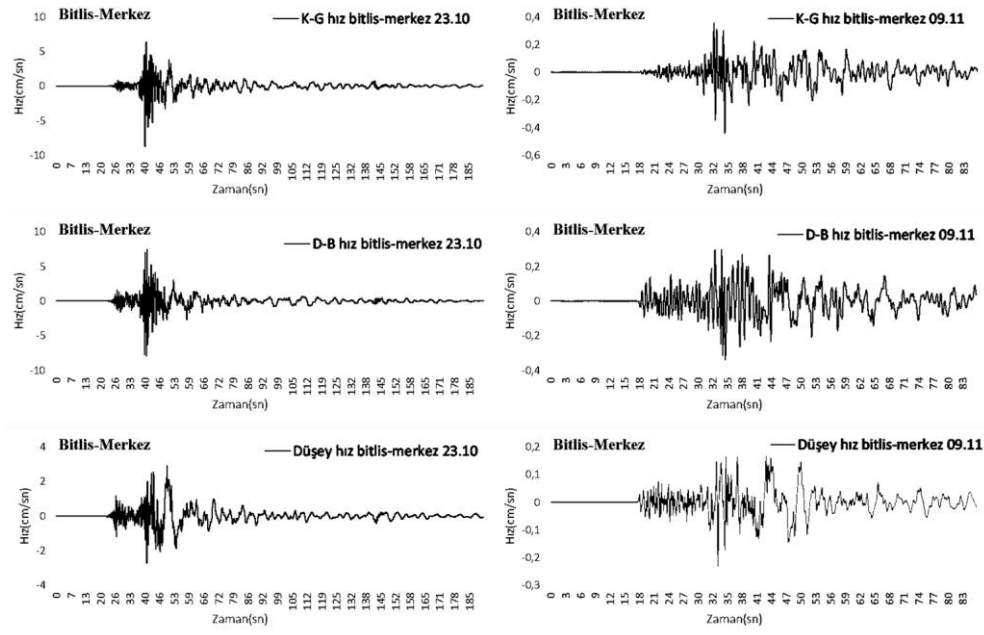
Şekil 4.5 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Bitlis-Merkez istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde ivme-zaman diagramları.



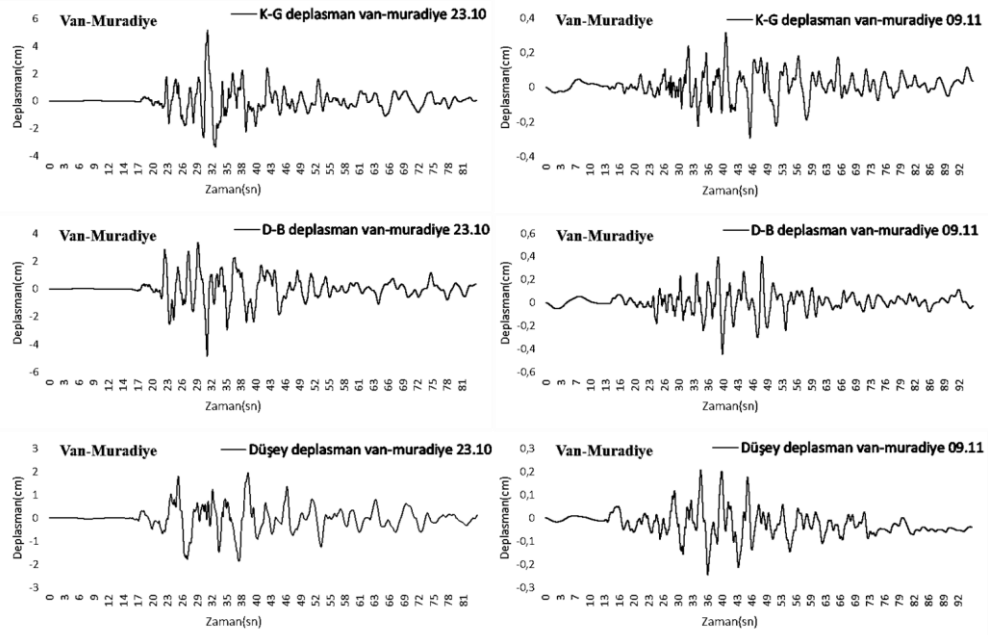
Şekil 4.6 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Van-Muradiye istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde hız-zaman diagramları.



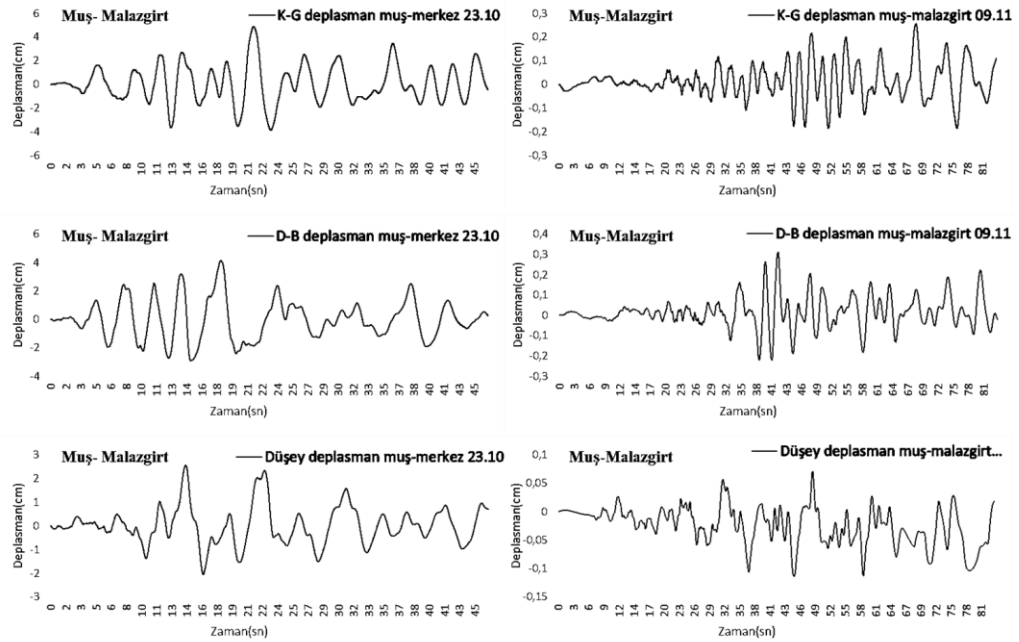
Şekil 4.7 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Muş-Malazgirt istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde hız-zaman diagramları.



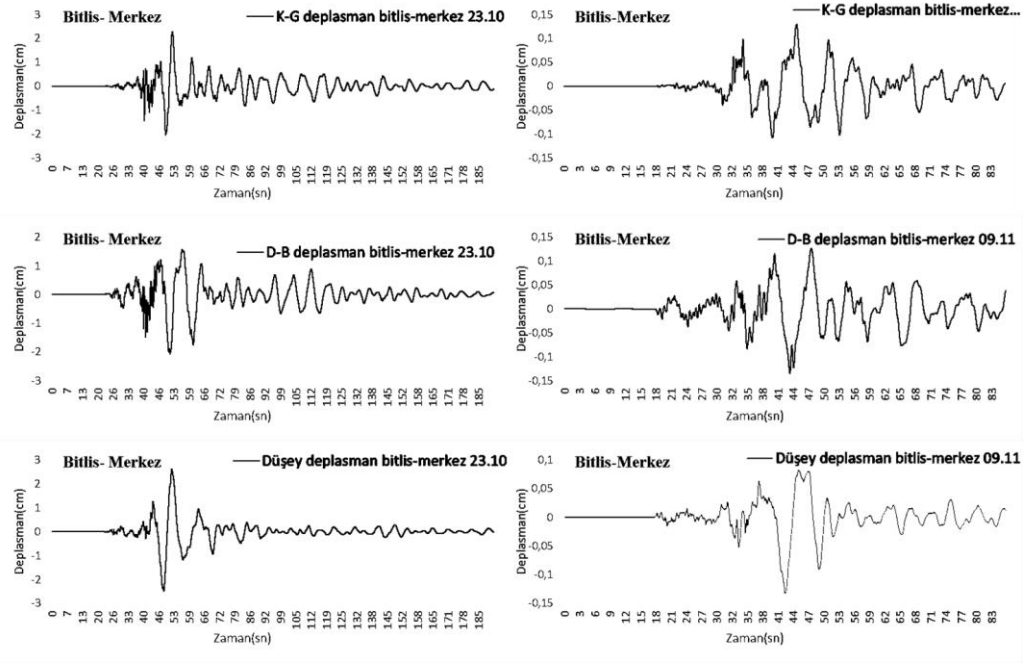
Şekil 4.8 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Bitlis-Merkez istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde hız-zaman diagramları.



Şekil 4.9 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Van-Muradiye istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde deplasman-zaman diagramları.



Şekil 4.10 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Muş-Malazgirt istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde deplasman-zaman diagramları.

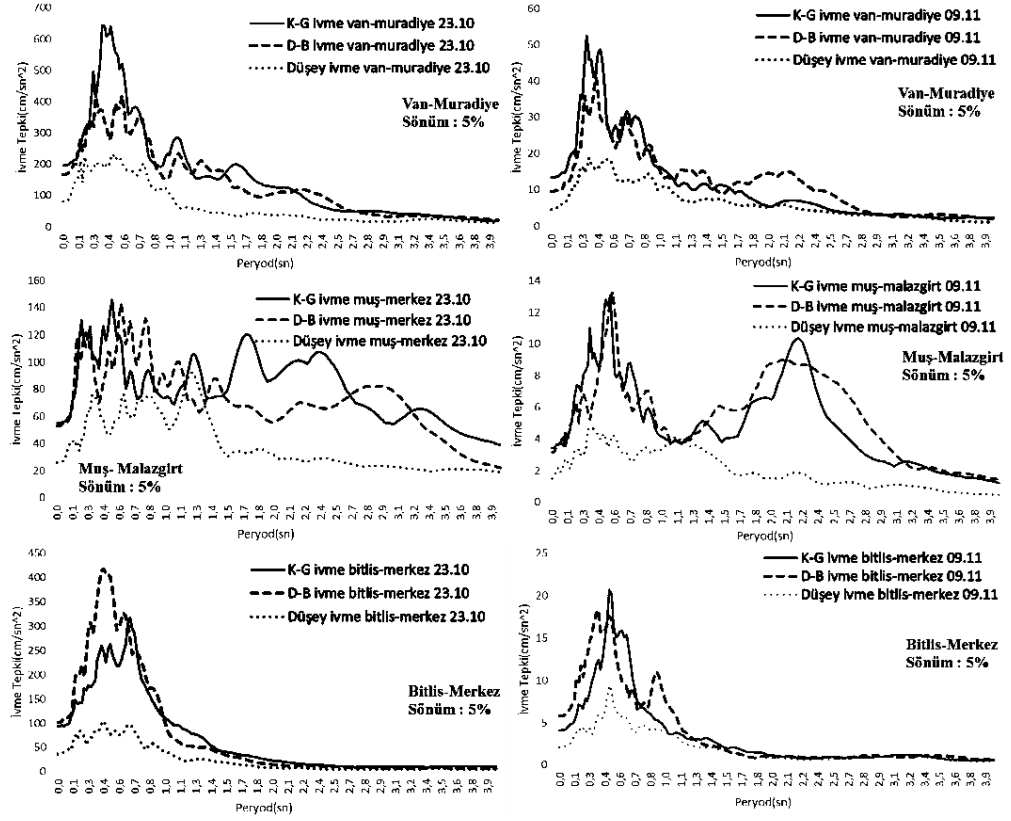


Şekil 4.11 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Bitlis-Merkez istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde deplasman-zaman diagramları.

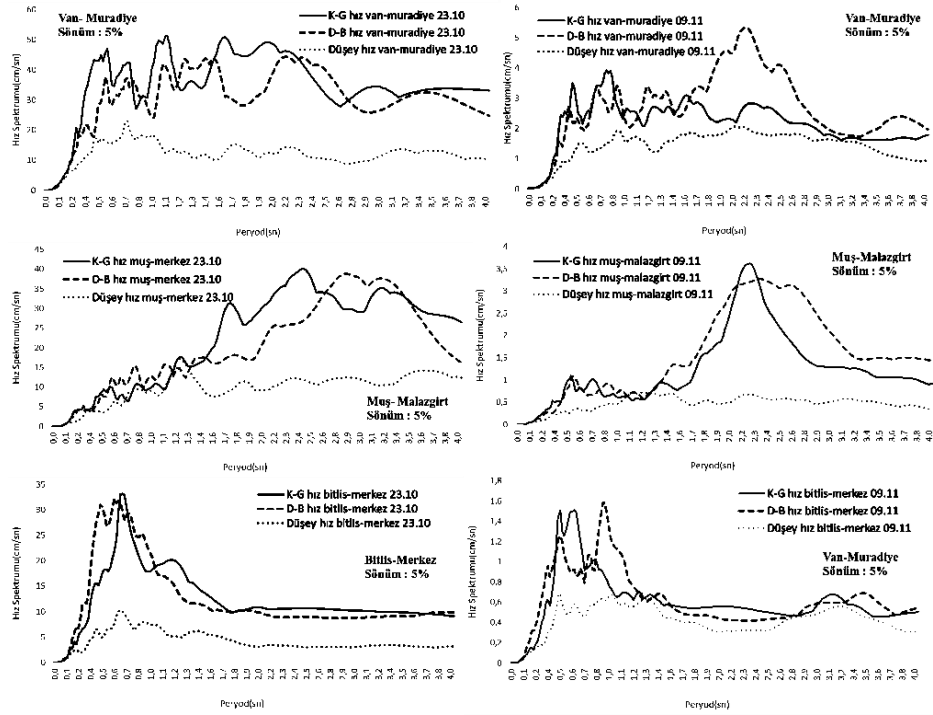
Hız Diagramları;

Hız diagramlarına baktımızda (Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8) Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonları için maksimum hız değerleri sırasıyla, 1.depremde 26.95cm/sn, 30.45sn (K-G), 12.55cm/sn, 14.31sn (D-B) ve 8.67cm/sn, 39.79sn (K-G) ve 2. Depremde ise sırasıyla, 1.31cm/sn, 39.04sn (K-G), 0.75cm/sn, 41.02sn (D-B) ve 0.44cm/sn, 34.82sn (K-G) değerler hız-zamana karşı gelmektedir (Çizelge 4.3).

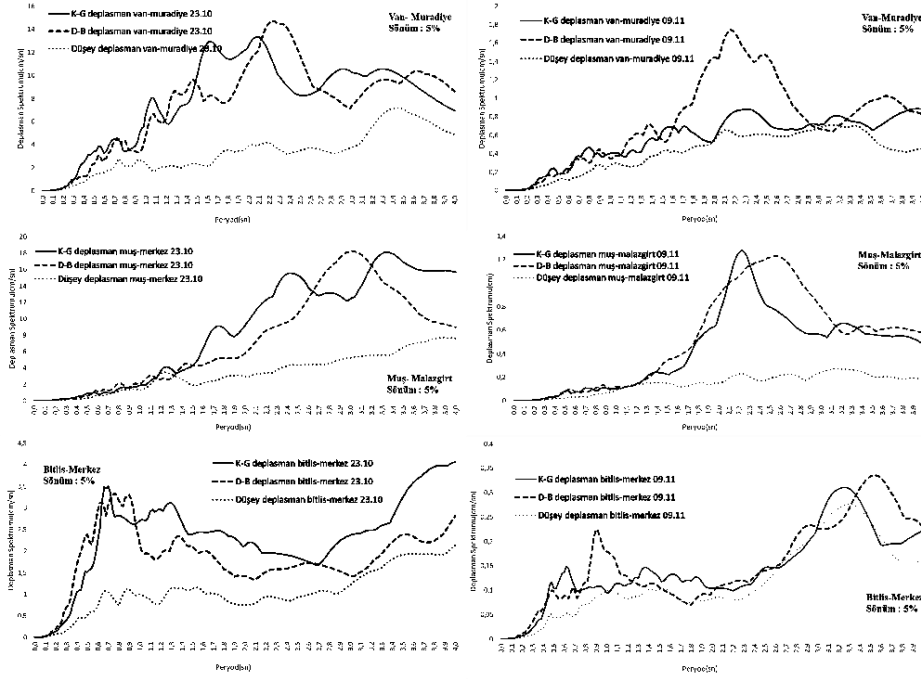
Her iki depremde, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkeze ait ivme, hız ve deplasman spektrumları, üç bileşen için Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14 de sunulmuştur.



Şekil 4.12 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Van-Muradiye, Muş-Merkez ve Bitlis-Merkez istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde ivme spektrum diagramları.



Şekil 4.13 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Van-Muradiye, Muş-Merkez ve Bitlis-Merkez istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde hız spektrum diagramları.



Şekil 4.14 : 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinin Van-Muradiye, Muş-Merkez ve Bitlis-Merkez istasyonunun K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde deplasman spektrum diagramları.

Deprem sırasında rezonans durumu bir hasar artırıcı etkidir. Genellikle yapıların ve binaların titreşimsel ötelenmeleri, zemininkinden daha büyük olduğu için, bina ve yapılar sönümleyiciler gibi davranır. Teorik olarak zaman içinde zeminin ötelenmesi, binanın ve yapının doğal salınımı ile uyuşuyorsa, belli bir sönümleme oranında genlik maksimum değere ulaşır ki, bu durumda hasar çok büyük olur. Zemin, özelliklerine göre, gelen deprem dalgalarının sadece belirli bir frekans aralığında olanları büyütür. Bu bazen mühendislik açısından hiç önemi olmayan bir frekans bandı olabileceği gibi, bazen de önemli yapılar için tehlike olabilecek bir frekans aralığı olabilir.

Her iki depremde Hakim periyod Van-Muradiye istasyonunda 0.3sn civarı, Muş-Malazgirt istasyonunda 0.5sn civarı ve Bitlis-Merkez istasyonunda ise 0.4sn civarında olduğu gözükmemektedir.

Çizelge 4.4 : Maksimum spektral ivme, hakim peryodlar ve zemin büyütme değerleri.

deprem	istasyon	Maksimum yer ivme (cm/sn ²)	Maksimum spektral ivme (cm/sn ²)	Büyütme	Hakim peryod(sn)
23.10.2011	Van- Muradiye	195,5	644,701	3,297703	0,36
	Muş- Malazgirt	54,825	145,6772	2,657131	0,5
	Bitlis- Merkez	101,5	418,1991	4,120188	0,42
09.11.2011	Van- Muradiye	13,412	52,5153	3,915546	0,32
	Muş- Malazgirt	3,1718	13,27462	4,185201	0,54
	Bitlis- Merkez	4,0759	20,69965	5,078547	0,46

Deprem dalgası bileşenlerine ayrılırken, hangi dalga bileşeninin genliğinin küçük olduğunu belirtmek, deprem dalgasının karakteri bakımından çok önemlidir. Fourier spektrumu, asıl dalganın hangi frekans bileşenlerini içerdiğini ve hangi bileşenlerin genliğinin büyük olduğunu göstermek bakımından, o deprem dalgasının yapılara yapacağı etkinin kestirilmesinde yarar sağlar.

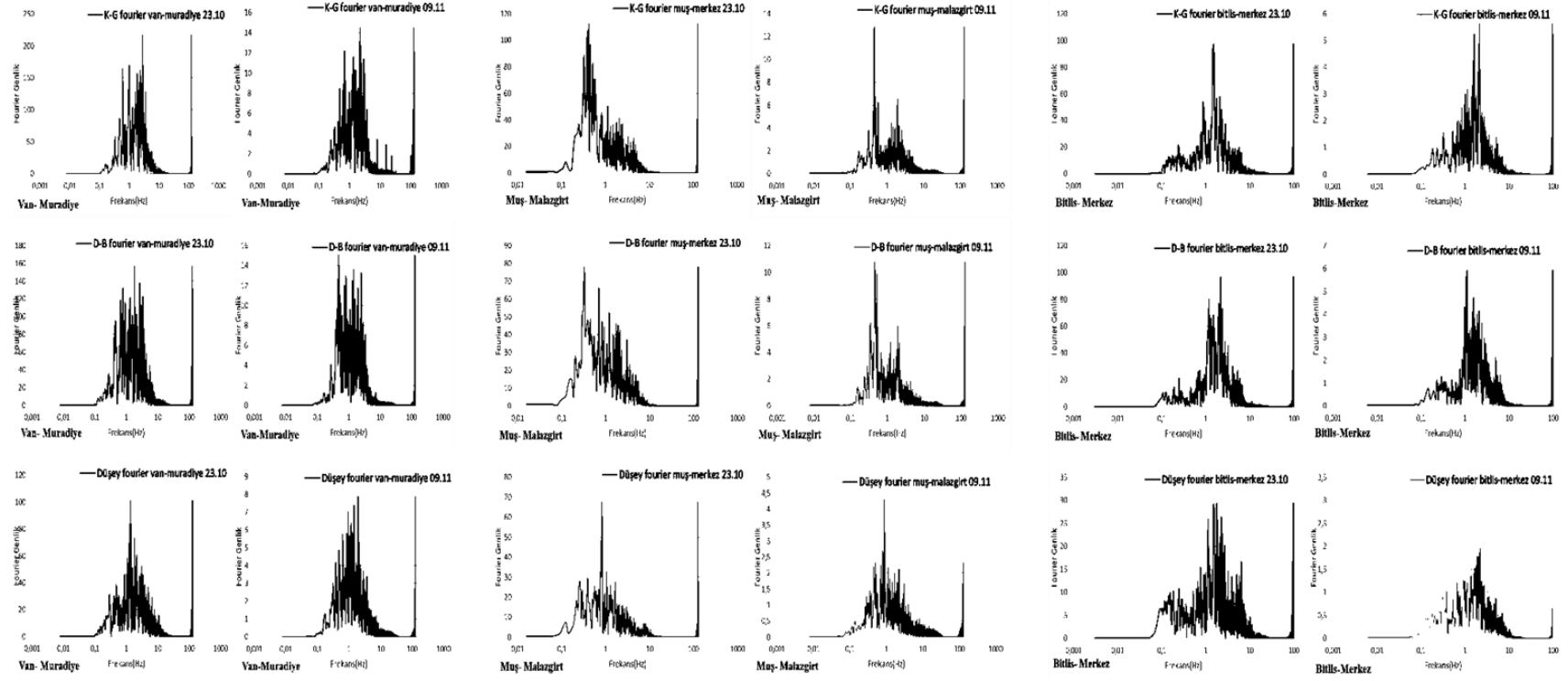
Her iki depremde, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkeze ait Fourier genlik spektrumları üç bileşen için Şekil 4.15 de ve maksimum FAS değerleri ve onlara karşı gelen hakim frekanslar Çizelge 4.5 de sunulmuştur.

Çizelge 4.5 : Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkeze ait maksimum FAS değerleri ve onlara karşı gelen hakim frekanslar.

deprem	istasyon	K-G		D-B		Düşey	
		FAS	Hakim Frekans (Hz)	FAS	Hakim Frekans(Hz)	FAS	Hakim Frekans(Hz)
23.10.2011	Van- Muradiye	217	2,86	100	1,83	100,75	1,35
	Muş- Malazgirt	112,1	0,42	77,86	0,32	63,79	0,82
	Bitlis- Merkez	97,21	1,5	96,74	2,2	29,35	1,79
09.11.2011	Van- Muradiye	14,41	2,23	14,96	0,47	5,9	1,91
	Muş- Malazgirt	12,46	0,44	10,75	0,45	4,3	0,86
	Bitlis- Merkez	5,61	2,13	5,92	1,12	3,169	2,13

FAS : Fourier genlik spektrumu.

Fourier spektrumlarından, görüldüğü gibi, deprem dalgası içinde hakim olan frekanslar, yaklaşık 0,32Hz ve 2,86Hz arasındadır. Yani, hareketi oluşturan enerjinin çoğu, frekansı bu aralıkta olan dalgalar tarafından taşınmıştır. Bu frekanstan sonraki bileşenlerin genlikleri oldukça küçüktür.



Şekil 4.15 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonları için, 3 bileşendeki Fourier genlik spektrumları.

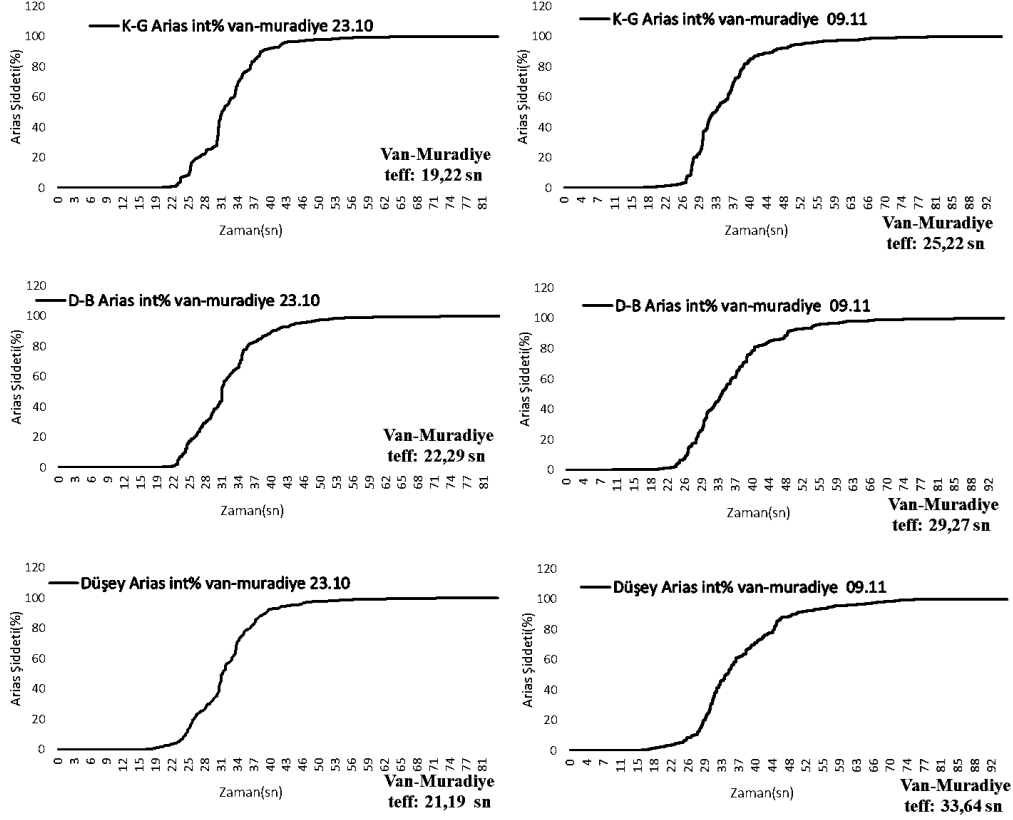
Husid diyagramı ve Arias şiddetinin 5%-95% e takabul eden etkili zaman aralığı (teff), zemin hareketinin yıkıcılığın başka önemli göstergesi olarak gösterilebilirler.

23 EKİM depremi için Van-Muradiye istasyonunda K-G için teff 19.2sn ve D-B için teff 22.3sn, Muş-Malazgirt istasyonunda K-G için teff 36.87sn ve D-B için teff 27.65sn ve Bitlis-Merkez istasyonunda K-G için teff 12.72sn ve D-B için teff 16.12sn ve Düşey için 26.1sn elde edilmiştir.

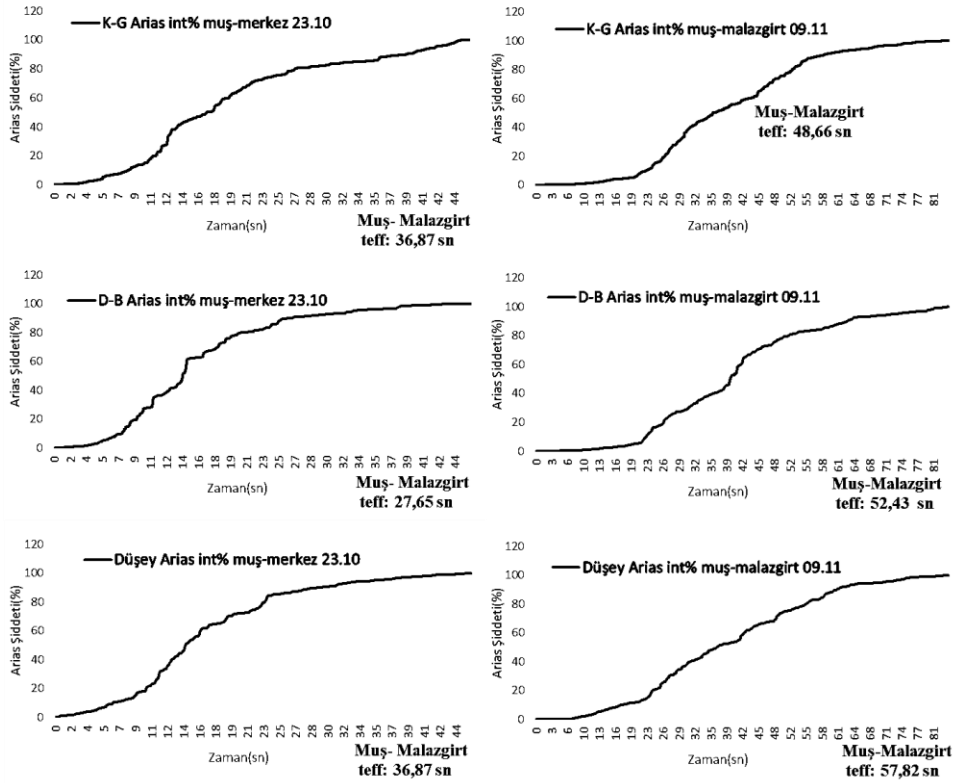
09 KASIM depremi için Van-Muradiye istasyonunda K-G için teff 25.22sn, D-B için teff 29.27sn ve Düşey için teff 33.64sn, Muş-Malazgirt istasyonunda K-G için teff 48.66sn, D-B için teff 52.43sn ve Düşey için teff 57.82sn ve Bitlis-Merkez istasyonunda K-G için teff 29.79sn, D-B için teff 34.53sn ve Düşey için 30.22sn elde edilmiştir (Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18) ve (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinde, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonlarının etkin süreleri.

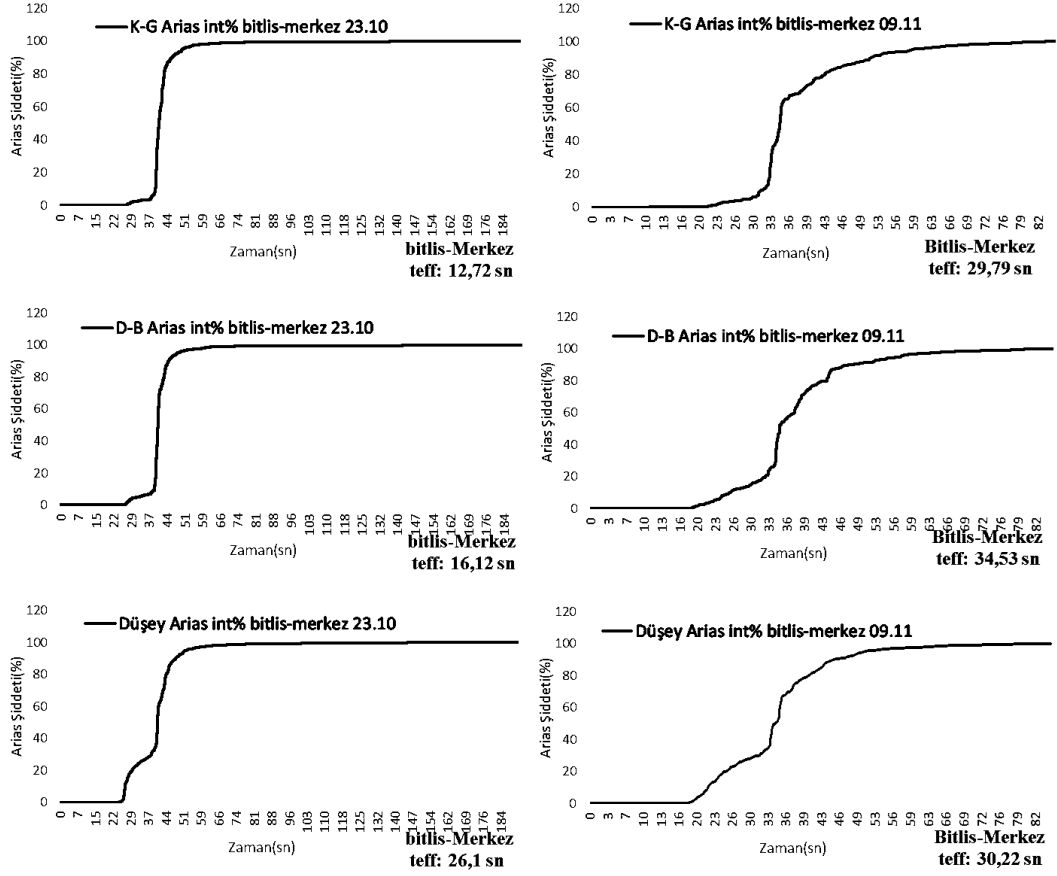
İstasyon	Etkin Süre(sn)					
	23.10.2011			09.11.2011		
	K-G	D-B	Düşey	K-G	D-B	Düşey
van-muradiye	19,227	22,2924	21,1926	25,2252	29,2734	33,6492
muş-malazgirt	36,8706	27,651	31,09	48,6642	52,4394	57,8214
bitlis-merkez	12,72	16,12	26,1	29,79	34,53	30,22



Şekil 4.16 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Van-Muradiye istasyonu için, 3 bileşendeki Husid diagramları ve etkin zaman hesaplamaları.

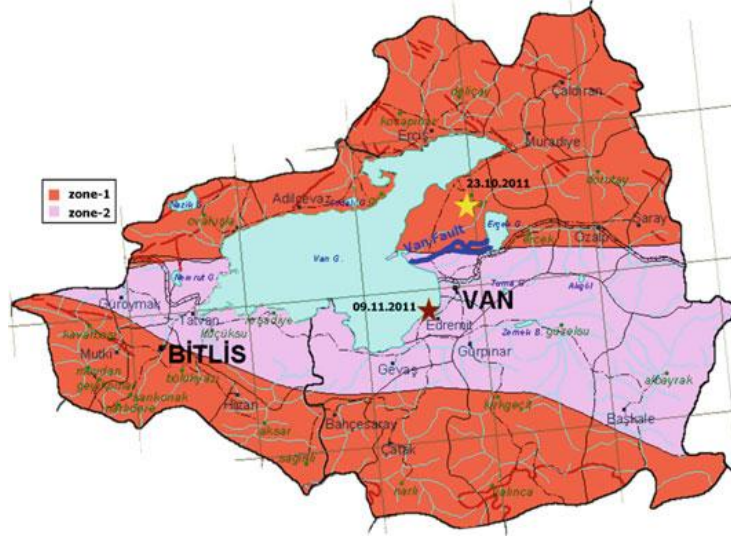


Şekil 4.17 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Muş-Malazgirt istasyonu için, 3 bileşendeki Husid diagramları ve etkin zaman hesaplamaları.

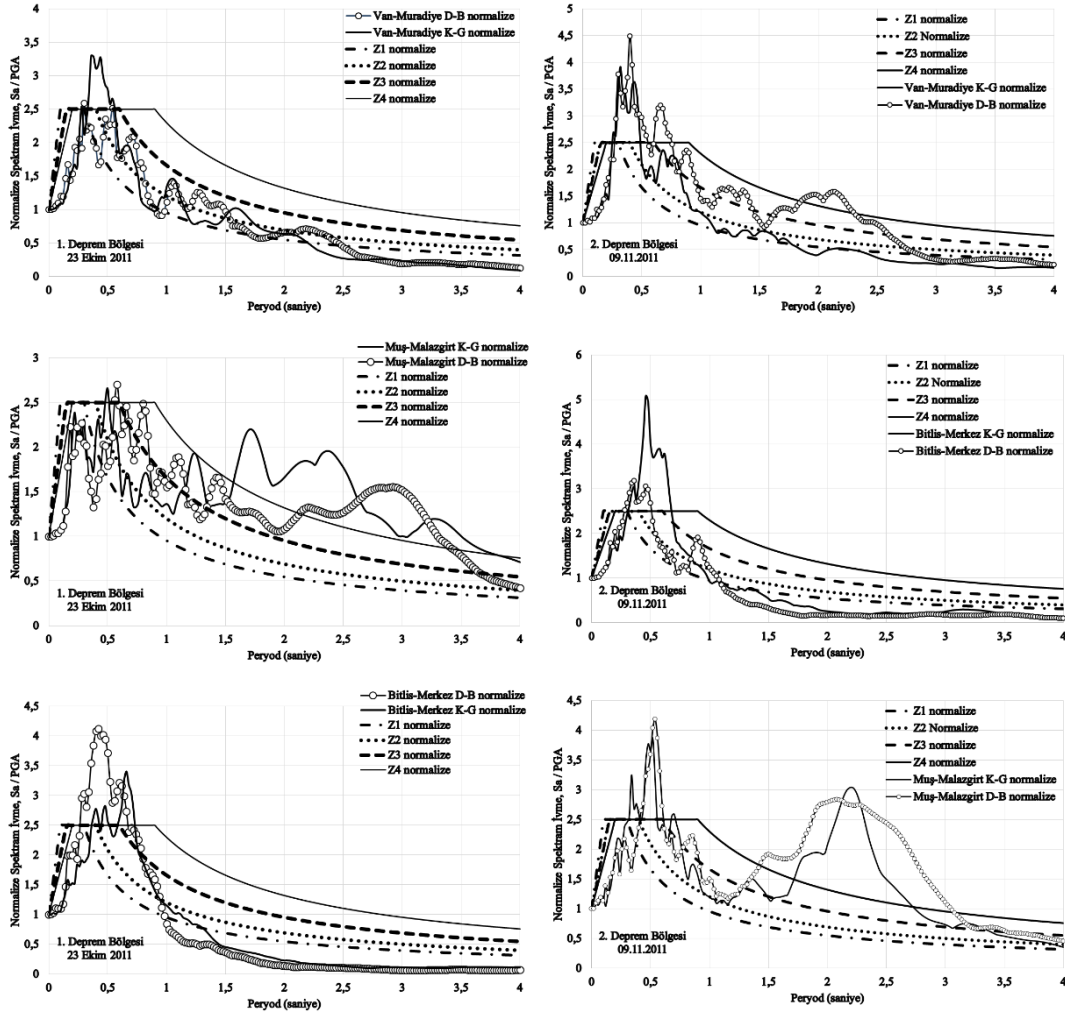


Şekil 4.18 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Bitlis-Merkez istasyonları için, 3 bileşendeki Husid diagramları ve etkin zaman hesaplamaları.

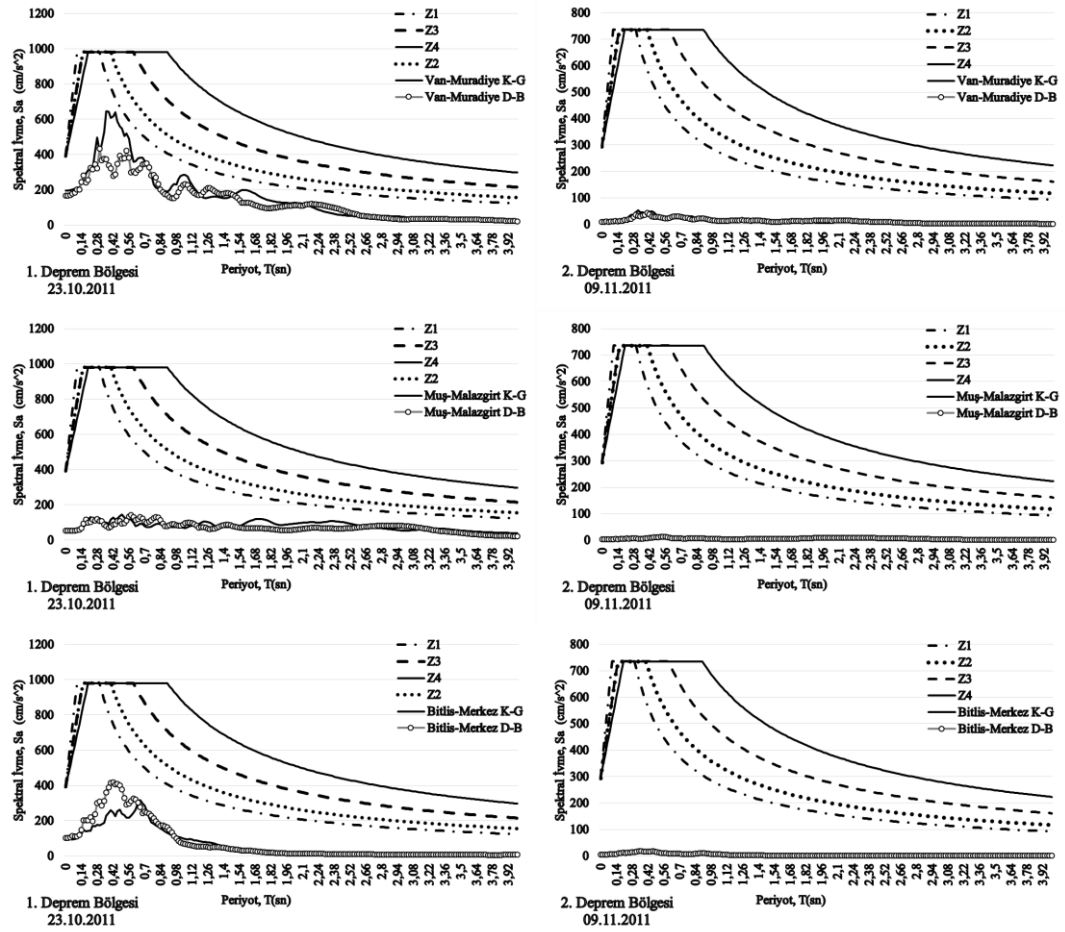
23EKİM ve 09 KASIM 2011 depremlerinde, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonlarında K-G ve D-B bileşenlerinde, 5% sönümlü normalize edilmiş ivme tepki ispektrumları, hesaplanıp ve TDY2007 de belirtilen Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin tipleri tasarım spektrumu ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.19 iki depremin merkezüssü lokasyonlarını gösterip, hangi deprem bölgesinde yer aldıklarını göstermekte. Haritaya göre 23Ekim depremi 1.deprem bölgesinde ve 09Kasım depremi ise 2.deprem bölgesinde yer almaktadır. Deprem yönetmeliğindeki Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları için her iki depremde, tanımlanan tasarım spektrumunun, normalize edilmiş spektral ivmeler ile karşılaştırılması Şekil 4.20 de gösterilmiştir. Şekil 4.21 de ise yönetmelikte öngörülen tasarım spektrumu, mutlak ivme değerleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.19 : Van ilçesine ait sismik tehlike haritası (B.Taskin vd., 2013).



Şekil 4.20 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonlarının normalize edilmiş Spektral ivmelerinin, deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.



Şekil 4.21 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinin, Van-Muradiye, Muş-Malazgirt ve Bitlis-Merkez istasyonlarının mutlak spektral ivmelerinin, deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.

09 Ekim 2011 Mw=5.7 Van depreminde, merkez üssüne en yakın 2 istasyon, Van-Edremit (R_{epi}= 2.9km) ve Van-Merkez (R_{epi}= 12.7km), Şekil 4.22 de harita üzerinde gösterilmiştir. Bu istasyonlara ait işlenmiş ivmeler, Van-Edremit için 103.08 (cm/sn²) ve Van-Merkez için 260 (cm/sn²) hesaplanmıştır. Van-Merkez istasyonu, merkezüssü mesafe açısından, Van-Edremitten daha uzak olmasına rağmen, daha büyük yer ivmesi kaydetmiştir. Bunun sebebi, Van-Merkez istasyonunun tavan blokta, Van-Edremit ise taban blokta yer almasıdır. Kaynak fayın kuzey güney uzanımlı, doğrultu atımlı fay olmasından dolayı, fayın paralel bileşeni K-G ve fayın normal bileşeni ise D-B bileşeni Kabul edilmektedir. Her iki istasyonda pik ivme değerleri, D-B bileşeninde (fayın normal bileşeninde) kayıt yapılmıştır. Çizelge 4.3 de Van-Merkez, Van-Edremit istasyonlarının pik ivme, hız ve deplasman değerleri sunulmaktadır. Şekil 4.23, 4.24 ve 4.25 de Van-Edremit ve Van-Merkez

istasyonlarına ait ivme-zaman, hız-zaman ve deplasman-zaman diagramları sunulmuştur.

Eğer Van-Merkez (D-B) bileşen kaydı iyi incelenirse (Şekil 4.23 sol orta), 0.06 sn içerisinde yaklaşık -0.009g'den 0.26g'e “ani pik” (pulse) olduğu görülmektedir. Çok yüksek bir frekans içeren bu “pulse”nin bina hasarında ve ivme spektrumunda etkin bir değeri yoktur.

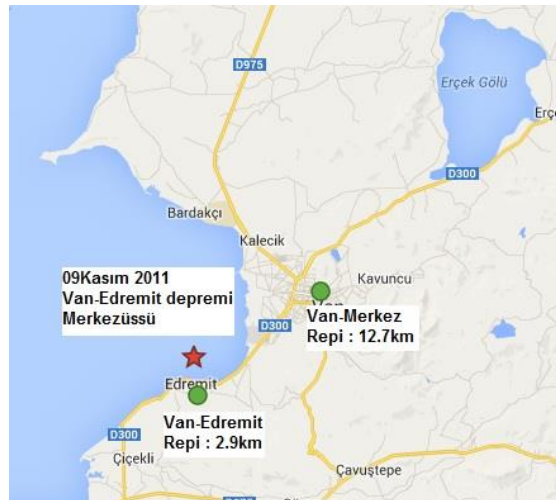
Van-Merkez istasyonunun, ivme-zaman diagramlarına bakılınca, K-G ve D-B bileşenlerin arasında önemli fark gözükmemektedir.

Van-Merkez hız diagramının K-G ve D-B bileşeninde güçlü hız darbeleri bulunmaktadır.

Şekil 4.26 da Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının K-G, D-B bileşenlerine ait deplasmanların karşılaştırılmıştır ve her iki istasyondada belli bir süre sonra, davranış biçimlerinin aynı olması gözükmemektedir.

Her iki istasyonun, üç bileşeninde de sabit deplasman gözükmemektedir. $V_{s30}=363\text{m/sn}$ olan Van-Merkezde en büyük deplasman fayın normal bileşenine (D-B) aittir (6.48 cm). Bu bileşende sert zemin üzerinde olan Van-Edremit istasyonunun deplasman miktarı, Van-Merkezinin yaklaşık yarısı kadardır (3.28 cm).

09 Kasım 2011 depreminde, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarına ait ivme, hız ve deplasman spektrumları, üç bileşen için Şekil 4.27 de sunulmuştur.



Şekil 4.22 : 09 Kasım 2011 depreminin merkez üssü ve, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarını gösteren harita.

Çizelge 4.7 : Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının pik ivme, hız ve deplasman değerleri.

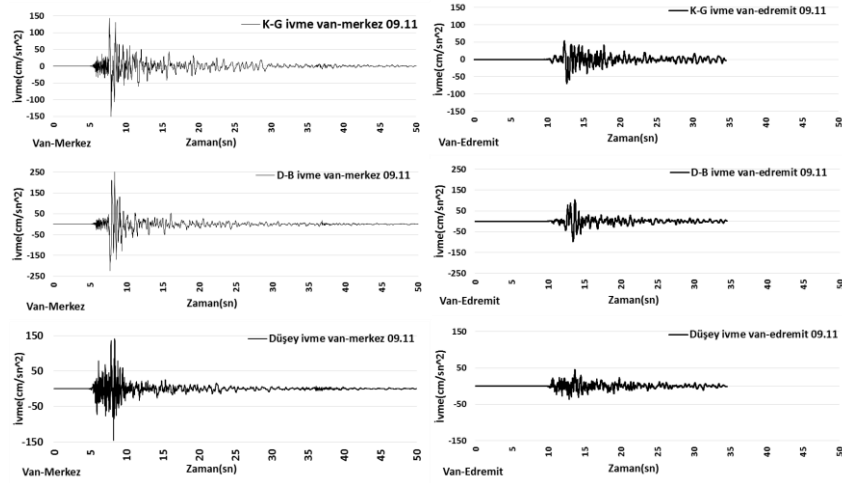
			09.11.2011 Mw=5.6		
istasyon	Vs30	Repi	PGA	PGV	PGD
6510-van edremit	sert	2,9	(D-B)103.08	(D-B)14.03	(K-G)3.82
6501-van merkez	363m/s	12,7	(D-B)260.33	(D-B)33.28	(D-B)6.47

Repi : Merkezüssü mesafesi (km)

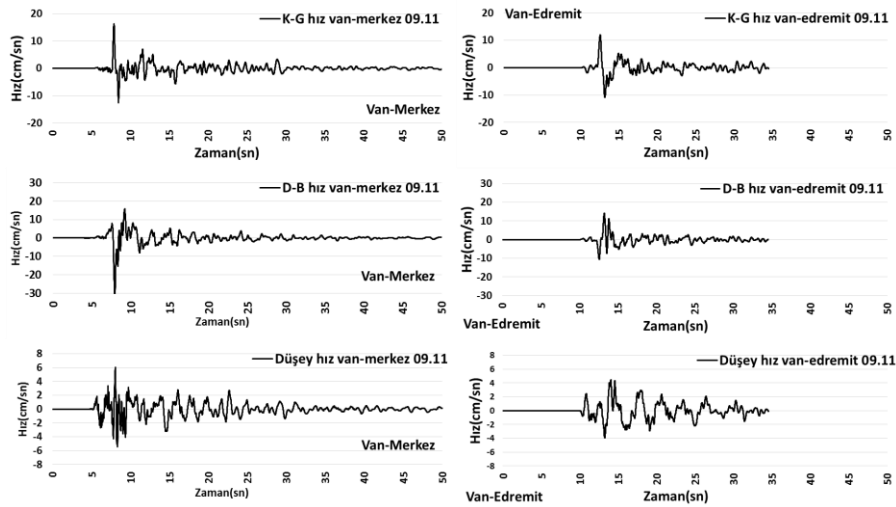
PGA : En büyük yer ivmesi (cm/sn^2)

PGV : En büyük yer hızı (cm/sn)

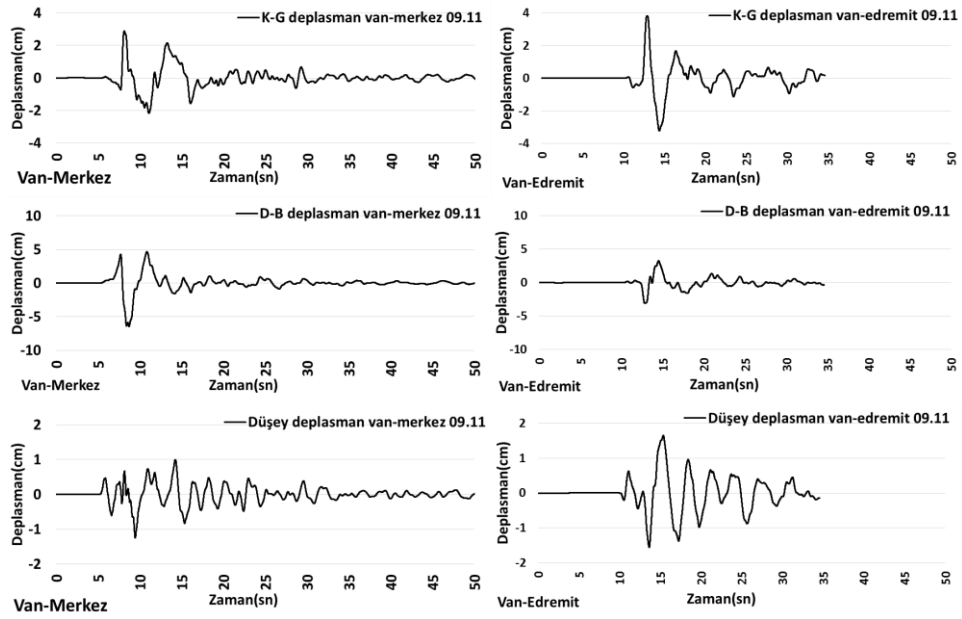
PGD : En büyük yer deplasmanı (cm)



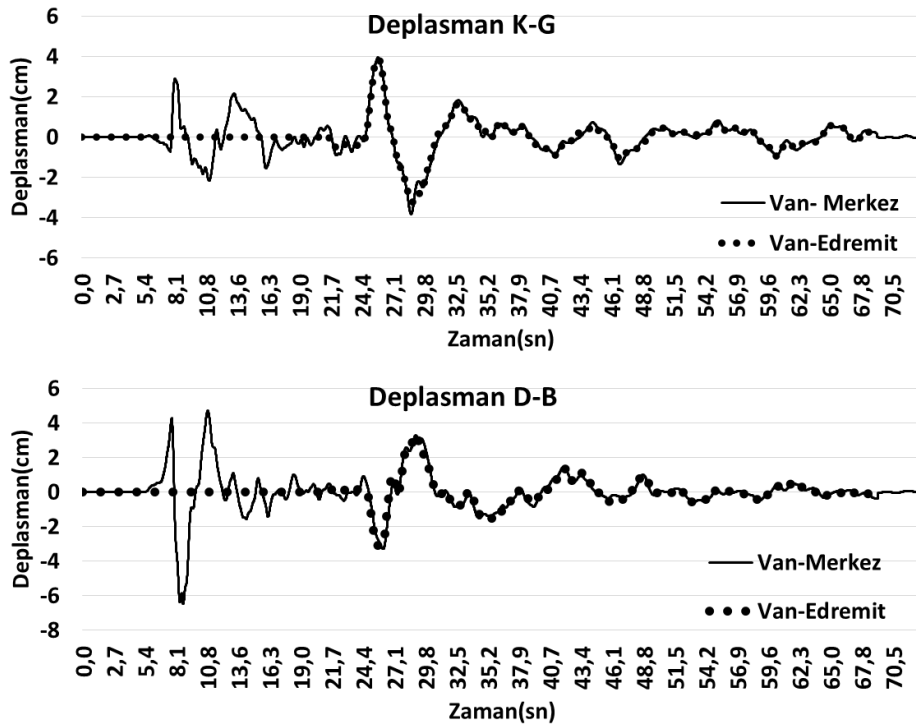
Şekil 4.23 : 09 Kasım depremlerinde Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde ivme-zaman diagramları.



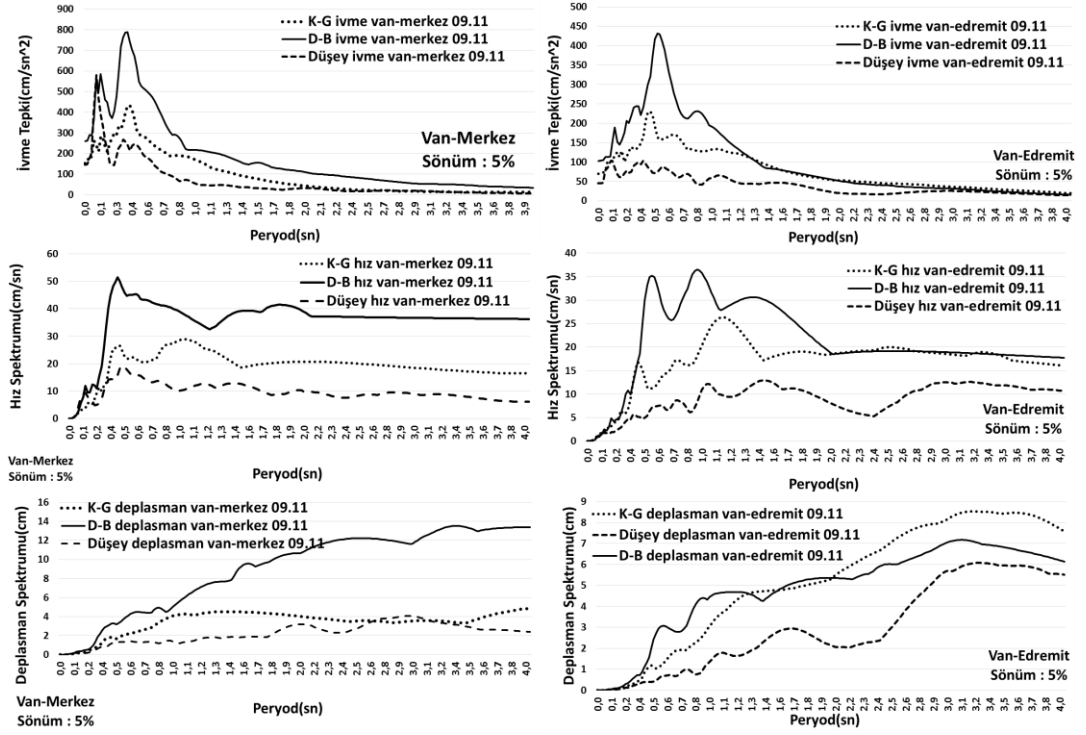
Şekil 4.24 : 09 Kasım depremlerinde Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde hız-zaman diagramları.



Şekil 4.25 : 09 Kasım depremlerinde Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde deplasman-zaman diagramları.



Şekil 4.26 : 09 Kasım depremlerinde Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının K-G, D-B bileşenlerine ait deplasmanların karşılaştırılması.



Şekil 4.27 : 09 Kasım depreminde Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının K-G, D-B ve düşey bileşenlerinde ivme, hız ve deplasman spektrum diagramları.

Çizelge 4.8 : Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının maksimum spectral ivme, hakim periyotlar ve zemin büyütme değerleri.

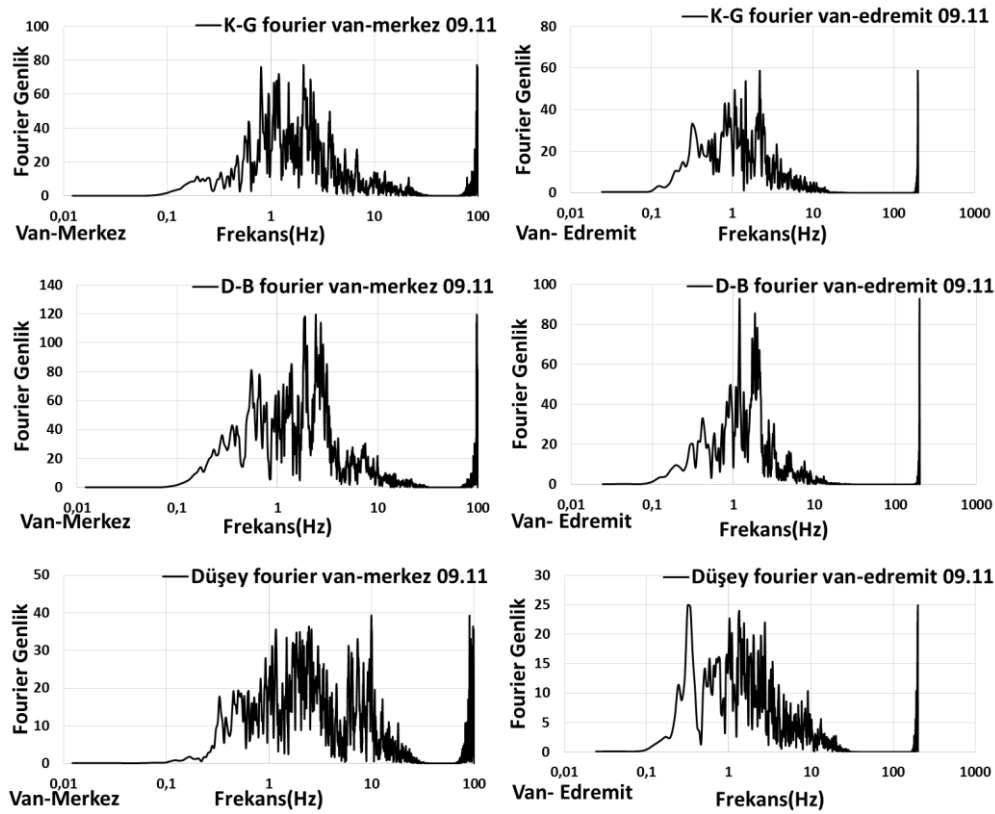
deprem	istasyon	maksimum yer ivme (cm/sn ²)	maksimum spektral ivme (cm/sn ²)	Büyütme	Hakim periyot(sn)
09.11.2011	Van-Edremit	103,08	432,2663349	4,193503	0,5
	Van-Merkez	260,33	787,9012528	3,026548	0,38

Bina hakim periyodun, Van-Edremit istasyonunda 0.5sn civarı ve Van-Merkez istasyonunda 0.4sn civarı olduğu gözükmektedir.

Van-Edremit depremlerinde Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarına ait Fourier genlik spektrumları üç bileşen için Şekil 4.28 de ve maksimum FAS değerleri ve onlara karşı gelen hakim frekanslar Çizelge 4.9 de sunulmuştur.

Çizelge 4.9 : Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarına ait maksimum FAS değerleri ve onlara karşı gelen hakim frekanslar.

deprem	istasyon	K-G		D-B		Düşey	
		FAS	Hakim Frekans (Hz)	FAS	Hakim Frekans (Hz)	FAS	Hakim Frekans (Hz)
09.11.2011	Van- Edremit	58,63	2,19	92,52	1,19	24,9	0,3
	Van- Merkez	77,35	2,07	119,42	2,41	39,28	9,9



Şekil 4.28 : 09 Kasım 2011 depremlerinin, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlar için, 3 bileşendeki Fourier genlik spektrumları.

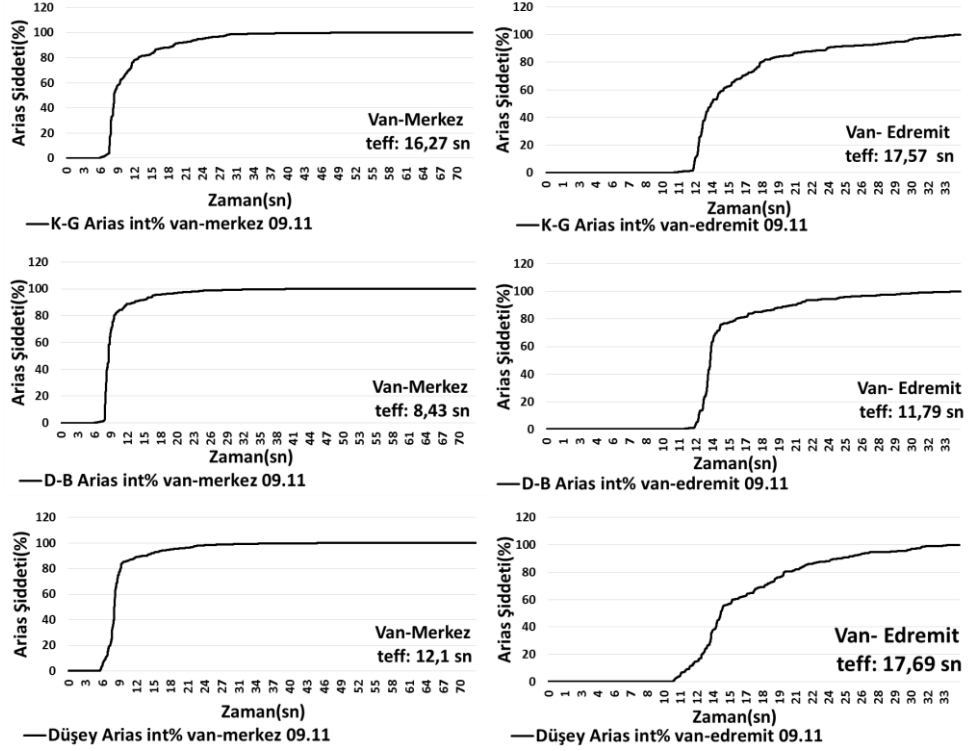
Van-Edremit istasyonunun K-G bileşeni, Van-Merkez istasyonunun K-G bileşeni ile hemen hemen aynı frekansta en büyük genliğe varmıştır, ama sert zemin üzerinde olan Van-Edremit, $V_{s30}=363\text{m/sn}$ olan Van-Merkeze nazaran daha dar bir spektruma sahiptir.

D-B bileşende, Van-Merkez, Van-Edremit'e nazaran daha yüksek bir frekansta, FAS'a varmıştır Ve şekil olarak daha dar spektruma sahiptir.

2 istasyon arasına en dikkat çeken fark Düşey bileşendedir, Van-Merkez 9.9Hz ile çok uzun bir frekansta maksimum genliğe varmıştır ve daha geniş spektruma sahiptir, Van-Edremit ise 0.3Hz de maksimum genliğe varıp ve daha dar spektruma sahiptir.

Husid diyagramı ve Arias şiddetinin 5%-95% e takabul eden etkili zaman aralığı (teff) Şekil 4.29ve Çizelge 4.10 da gösterilmektedir.

09 Kasım depremi için Van-Edremit istasyonunda K-G için teff 17,57sn ve D-B için teff 11,79sn, Van-Merkez istasyonunda K-G için teff 16,27sn ve D-B için teff 8,43sn elde edilmiştir.

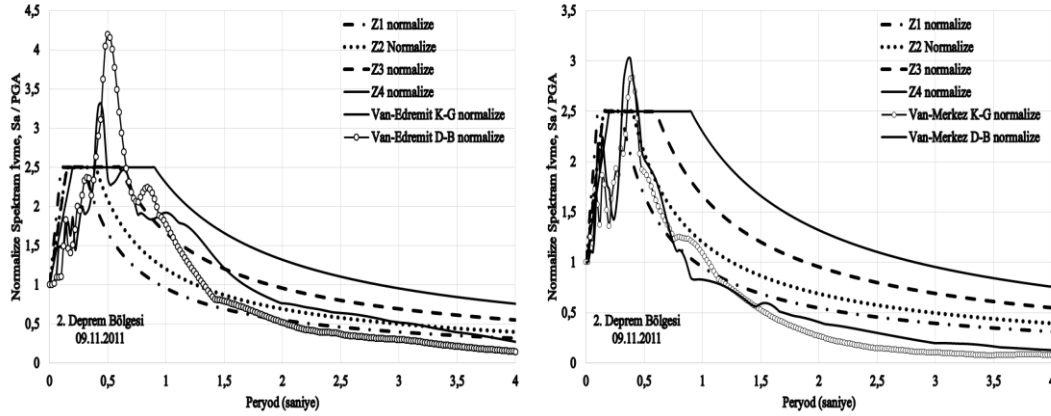


Şekil 4.29 : 09 Kasım 2011 depreminin, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonları için, 3 bileşendeki Husid diagramları ve etkin zaman hesaplamaları.

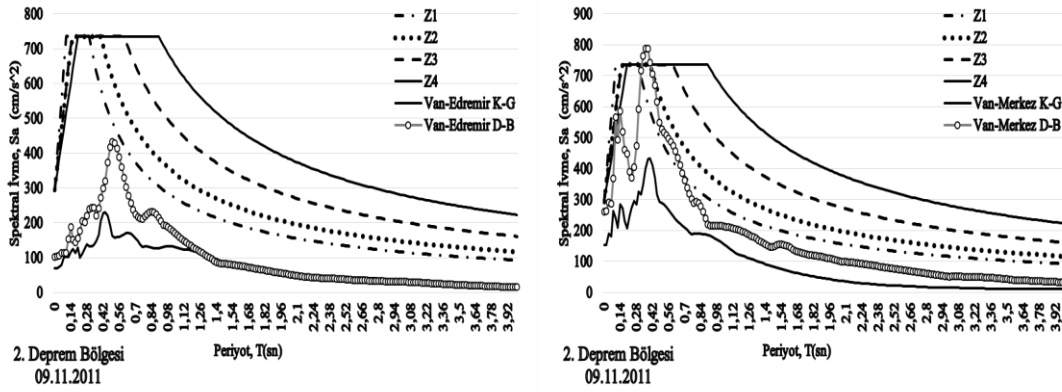
Çizelge 4.10 : 09 Kasım 2011 depremlerinde, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının etkin süreleri.

Deprem	İstasyon	Etkin Süre (sn)		
		K-G	D-B	Düşey
09.11.2011	Van-Edremit	17,57	11,79	17,69
	Van-Merkez	16,27	8,43	12,1

09 Kasım 2011 depreminin merkezüssü 2.deprem bölgesinde yer aldığını göze alarak, Van-Edremit ve Van-Merkez istasyonlarında K-G ve D-B bileşenlerinde, 5% sönümlü normalize edilmiş ivme tepki ispektrumları, hesaplanıp ve TDY2007 de belirtilen Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin tipleri tasarım spektrumu ile karşılaştırılmıştır (Şeki 4.30). Aynı zamanda mutlak ivme tepki spektrumlar da, tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.31).



Şekil 4.30 : 09 Kasım 2011 depreminin, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının normalize edilmiş Spektral ivmelerinin, deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.



Şekil 4.31 : 09 Kasım 2011 depreminin, Van-Merkez ve Van-Edremit istasyonlarının mutlak spektral ivmelerinin, deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.

2008 yılında, beş yeni GMPEs, Yeni Nesil Azalım ilişkisi (“NGA-West,” yada “NGA”) Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) tarafından koordine edilen projenin bir parçası olarak yayınlandı. NGA için, beş grup tarafından, 5 model sunulmuştur. Bahsi geçen modeller aşağıda yazıldığı gibidir;

-Abrahamson ve Silva 2008, “AS08”

-Boore ve Atkinson 2008, “BA08”

-Campbell ve Bozorgnia 2008, “CB08”

-Chiou ve Youngs 2008a, “CY08”

-Idriss 2008, “I08”

Bu konuya dikkat edilmelidir ki, NGA veri tabanları çoğunluk olarak, California daki depremleri kapsamaktadır ve Türkiye'den gelen depremlerin sayısı oldukça azdır. 3551 kayıt içinde, sadece 67 kayıt Türkiyedeki yer hareketlerini temsil etmektedir.

California (US) için geliştirilen NGA modellerinin, Türkiye de yürütülen PSHA çalışmalarındaki uygulanabilirliği, bu modellerde kullanılan parametrelerin yerel bilgi eksikliğinden kaynaklanan sorunlardan dolayı, tartışılır bir konudur.

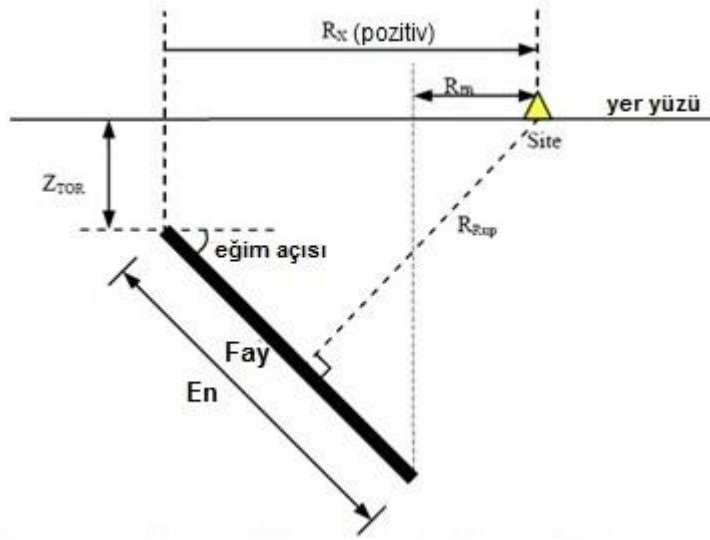
Bu çalışmada, 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinde, Vs30 değerleri elde olan istasyonların spectral ivmeleri, PEER tarafından sunulan, Yeni Nesil Azalım İlişkileri (NGA) ile karşılaştırılmıştır.

Van-Erciş depremi, büyüklüğü Mw=7.3 (USGS), derinliği 16km (USGS) ve eğim açısı 71 derece (USGS) olan ters faylanmaya sahip bir depremdir, Ve Van-Edremit depremi, büyüklüğü Mw=5.6 (USGS), derinliği 8km (USGS) ve eğim açısı 79 derece (USGS) olan doğrultu atımlı faylanmaya sahip bir depremdir. Kaynak-istasyon mesafe değerlerinin hesaplanması için Kakkamanos vd., 2011 tarafından tarif edilen yöntem uygulanmıştır. PGA değeri ham (işlenmemiş) olarak KYHK den alınmış daha sonra, zaman eksenini (baseline) düzeltmesine taabi tutulup, 4.derece Butterworth filtresi uygulanarak işlenmiş hale gelmiştir. Vs30 değerleri ise KYHK dan alınmıştır.

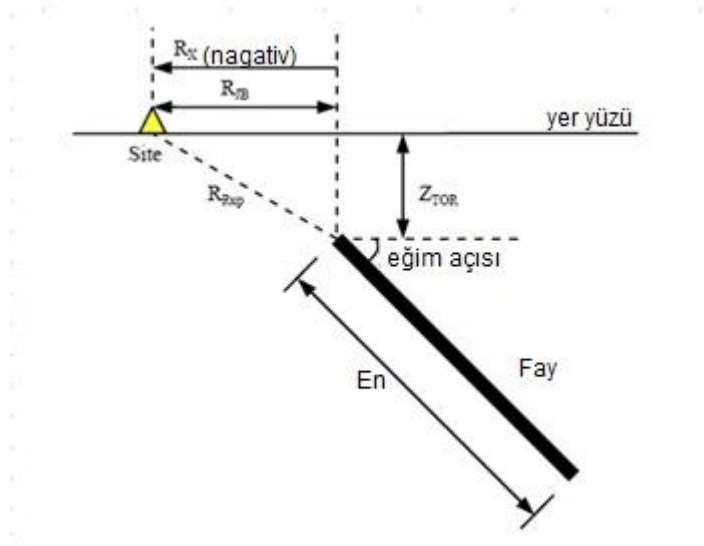
NGA modellerin uygulanması amacıyla Al.Atik, 2009 tarafından MS-Excel ile yazılan program kullanılmıştır.

Gerekli olan bilgiler Çizelge 4.12 da sunulmuştur.

Şekil 4.32 ve 4.33 mesafe parametrelerini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 4.32 : Ters veya normal fay, tavan blok.



Şekil 4.33 : Ters veya normal fay, taban blok.

Bu çalışmada V_{s30} değerlerinin, 450m/s den az olmasından dolayı, I08 modeli kullanılamaz.

Merkez üssü mesafesi 20km den az olan tek istasyon, 09 Kasım depreminde Van-Merkez istasyonunda, CY08 modeli daha iyi tahmin yürütmüştür (Şekil 4.34).

Van-Muradiye istasyonu, 23 Ekim depreminde ($Repi < 50km$), BA08 modeli ve 09 Kasım depreminde ($50 < Repi < 100$), CB08 modeli daha iyi tahmin vermiş (Şekil 4.35).

Muş-Malazgirt istasyonu ($Repi \sim 100km$), her iki depremde de, BA08 modelinde daha iyi tahmin vermiştir (Şekil 4.36).

23 Ekim depreminde, $R_{epi} > 100\text{km}$, Ağrı-Merkez ve Muş-Merkez istasyonlarında, BA08 modeli daha yakın tahmin yürütmüştür (Şekil 4.37).

NGA modellerini geliştiren araştırmacılar özellikle 80 kilometreden daha uzak mesafeler için yerel şartların önemli olduğunu ifade etmektedirler.

Kaklamanos ve Baise, 2011, belirli açılardan birbirine göre üstünlükleri bulunsa da genel olarak herhangi bir NGA modelinin bir diğerine göre daha iyi olduğunu söylemenin doğru olmayacağını ifade etmiştir. Ancak şüphesiz ki her deprem ve her jeolojik ortam kendi içinde biricik özellikler taşımaktadır.

Sonuç olarak PSA değeri açısından (Çizelge 4.11) en yakın tahmin, $50 < R_{epi} < 100$ olan ve doğrultu atımlı fay sistemine sahip olan, CB08 modelinde Van-Muradiye istasyonuna aittir. Ama genelde bu çalışma kapsamında BA08 modelinin daha uygun sonuçlar verdiği söylenebilir.

Çizelge 4.11 : NGA modellerinin sonuçları.

Deprem	İstasyon	PGA	Vs30	Repi	PSA(KYHK)	Pik Spektral İvme (NGA)				
						AS08	BA08	CB08	CY08	I08
23.10.2011	6503-van muradiye	195,50	293	46,63	644,701	833,85	470,88	392,4	kayma var	kullanılamaz
	4902-muş malazgirt	53,01	311	93,26	145,677	421,83	176,58	186,4	kayma var	kullanılamaz
	0401-ağrı merkez	15,67	295	121,83	51,1	313,92	107,91	137,3	kayma var	kullanılamaz
	4901-muş merkez	10,33	315	166,55	41,57	255,06	83,385	107,9	kayma var	kullanılamaz
09.11.2011	6501-van merkez	260,33	363	17,17	787,9	382,59	215,82	284,5	392,4	kullanılamaz
	6503-van muradiye	13,41	293	77,72	52,51	71,613	49,05	53,95	500,31	kullanılamaz
	4902-muş malazgirt	3,17	311	99,91	13,27	49,05	29,43	38,25	804,42	kullanılamaz

Çizelge 4.12 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremleri için, NGA modellerinde kullanılan parametreler.

Deprem	İstasyon	PGA	Vs30	FAY TÜRÜ	tavan/tabana	Repi	Rhyp	Rjb	Rrup	M	δ	Ztor	Rx	w
23.10.2011	6503-van muradiye	195,50	293	TERS	TV	46,63	49,11	19,51	28,49	7	71	36,57	12,72	21,98
	4902-muş malazgirt	53,01	311	TERS	TV	93,26	94,53	74,25	77,10	7	71	81,98	67,46	21,98
	0401-ağrı merkez	15,67	295	TERS	TV	121,83	122,80	114,01	115,89	7	71	110,26	107,22	21,98
	4901-muş merkez	10,33	315	TERS	TV	166,55	167,26	138,22	139,77	7	71	154,71	131,42	21,98
09.11.2011	6501-van merkez	260,33	363	NORMAL	TV	17,17	18,94	13,27	16,06	6	79	20,85	6,85	7,16
	6503-van muradiye	13,41	293	NORMAL	TV	77,72	78,13	74,43	75,19	6	79	80,04	68,01	7,16
	4902-muş malazgirt	3,17	311	NORMAL	TV	99,91	100,23	96,45	97,04	6	79	102,14	90,03	7,16

VS30 : Zemin profilinin en üst 30m’lik katmanına ait ortalama S-dalgası hızı (m/s).

PGA : pik yer ivmesi (cm/sn²).

Repi : Dışmerkezlik mesafesi (km).

Rhyp : İçmerkezlik mesafesi (km).

RJB : Joyner-Boore mesafesi (fay kırığı düzleminin düşey yönde yüzeye paralel projeksiyonuyla istasyon arasındaki en yakın mesafe) (km).

Rrup : Rupture mesafesi (fay kırığı düzlemiyle istasyon arasındaki en yakın mesafe), (km).

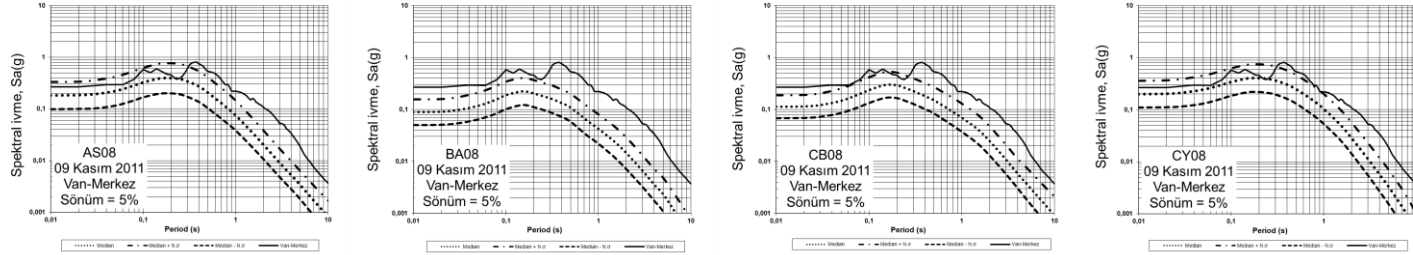
M : Moment magnitüd.

ZTOR : Fay kırığının yer yüzüne kadarki mesafesi.

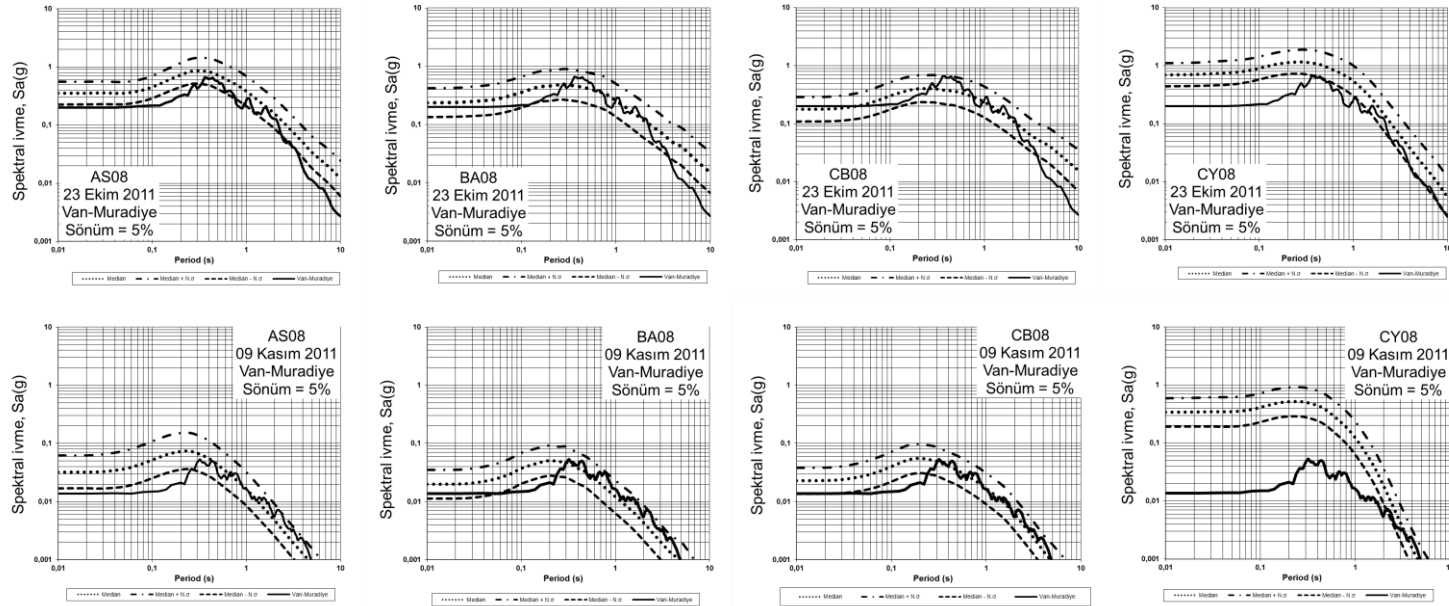
W : Fay kırığının genişliği.

δ : Fayın eğim açısı.

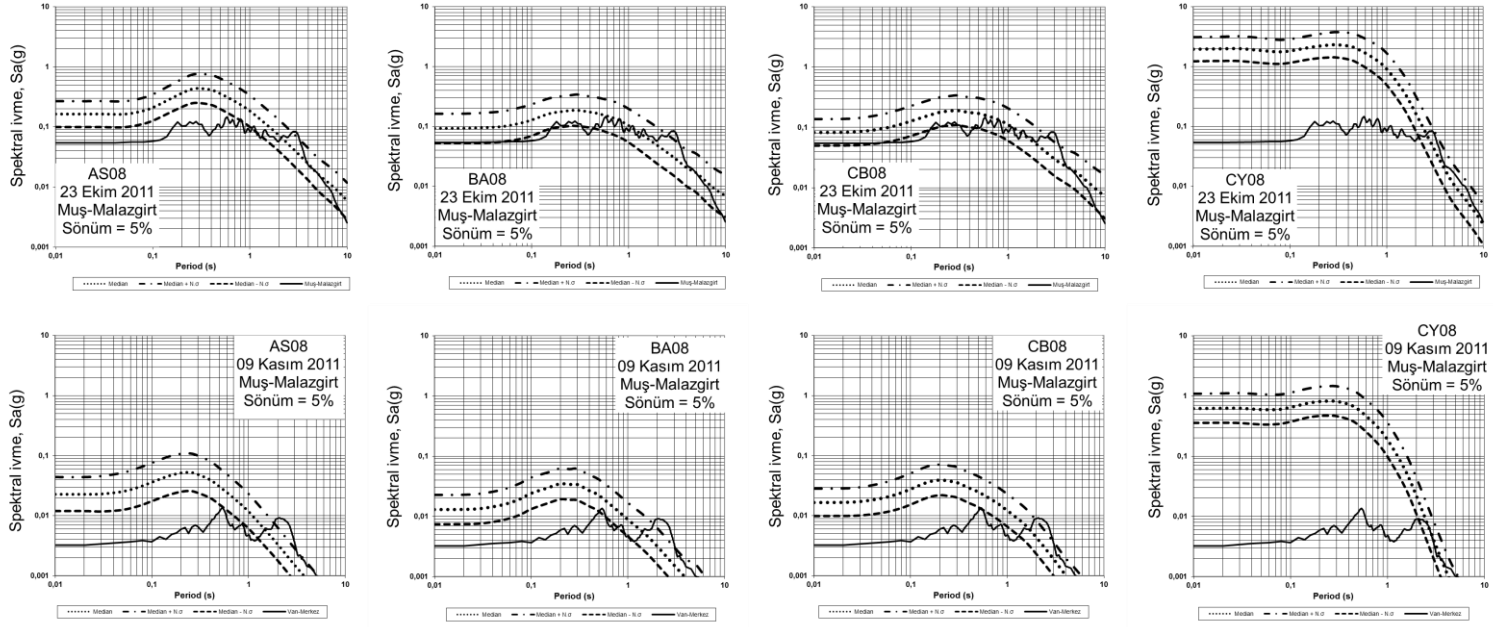
Rx : Fay kırığı üst kenarından yatay mesafe.



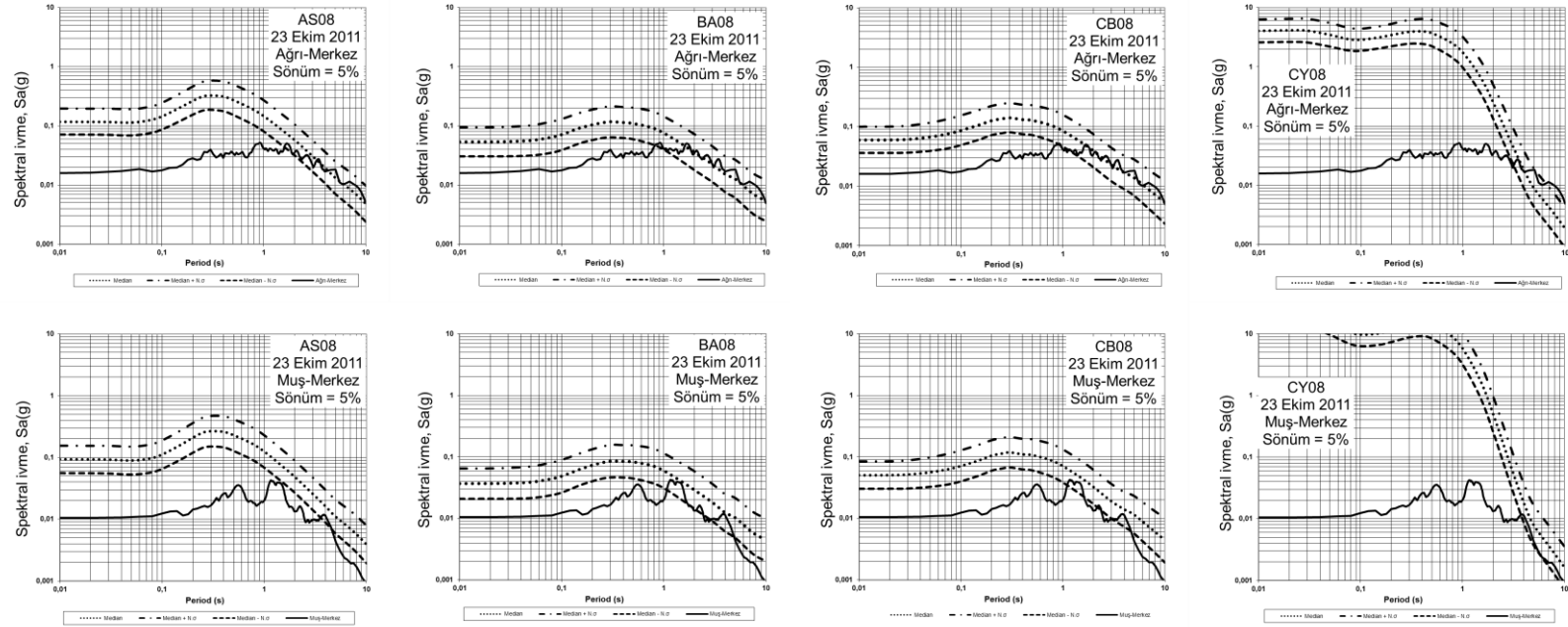
Şekil 4.34 : 09 Kasım 2011 depreminde Van-Merkez istasyonunun, NGA modelleri ile karşılaştırması (R_{epi}= 17.17km).



Şekil 4.35 : 23 Ekim ve 09 Kasım 2011 depremlerinde Van-Muradiye istasyonunun, NGA modelleri ile karşılaştırması (23 Ekim R_{epi}=46.63km ve 09 Kasım R_{epi}= 77.72km).



Şekil 4.36 : NGA modellerinin, 23 Ekim ve 09 Kasım depremlerinde, Muş-Malazgirt istasyonunda uygulanması (23 Ekim Repi=93,26km ve 09 Kasım Repi=99,91km).



Şekil 4.37 : NGA modellerinin, 23 Ekim depreminde, Ağrı-Merkez (Repi= 121,83km) ve Muş-Merkez (Repi=166,55km) istasyonunda uygulanması.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Depremler sırasında, ana kaynaktan yayılan sismik dalgalar yer kabuğu boyunca hareket ederler ve yüzeye ulaştıklarında yer sarsıntısı üretirler. Bu yolculuğun büyük bir kısmı kayada geçiyor, ancak yolculuğun son kısmında zeminle karşılaştığında zeminlerin karakteristikleri, yüzeydeki yer hareketini önemli oranda etkileyebiliyor. Zemin tabakaları, sismik dalgalar için bir filtre durumundadır. Bazı frekanslardaki hareket büyürken, diğer frekanslardaki hareket azalabilmektedir. Belirli bir bölgedeki yer hareketinin şiddeti ve süresi, depremin yerine, büyüklüğüne ve o bölgedeki yerel zemin şartlarının özelliklerine bağlıdır. Depremin etkisinin değerlendirilmesi için yüzeydeki kuvvetli yer hareketinin çeşitli şekillerde tanımlanması gereklidir. Pratikte yer hareketi 3 bileşeni (doğu- batı, kuzey- güney, düşey bileşen) ile ölçülür.

Olasılıksal sismik tehlike değerlendirilmesi (PSHA), uzmanlara, depremlerin konumları ve tekrarlama oranlarını ve yer hareketi özelliklerinin değişkenliklerinde, belirsizlikleri açık bir şekilde dikkate almalarını sağlar. Yer hareketi tahmin denklemleri (GMPEs), PSHA'deki her kaynak dan gelen deprem senaryoları için yer hareketi parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılır. Bu denklemler, yer hareketi şiddetlerini, kaynak, yol ve bölge değişkenlere bağlı olarak tahmin etmek için, yer hareketlerinin fiziksel özelliklerine dayalı olan istatistiksel modelleri kullanır. 2008 yılında, beş yeni GMPEs, Yeni Nesil Azalım yer hareketleri ("NGA-West," yada "NGA") Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) tarafından koordine edilen projenin bir parçası olarak yayınlandı.

Bu çalışmada Van-Erciş ve Van-Edremit depremlerinde kuvvetli yer hareketlerini kaydeden ve deprem merkez üssüne yakın olan, ortak istasyonlar ve 09 Kasım depreminin Repi mesafesi en kısa olan iki istasyonu tarafından kaydedilen kuvvetli yer hareketi kayıtları incelenmiştir. Devamında Vs30 değerleri elde olan, merkez üssüne yakın, 23 Ekim 2011 depreminde (Repi<120km) üç istasyonda ve 09 Kasım 2011 depreminde (Repi<101km) 5 istasyonda gerçek kayıtlar, NGA modelleri ile tahmin edilen, pik spektral ivme değerleri ve diagramları ile karşılaştırılmıştır ve

yürütülen tahminlerin ne kadar gerçeği yansıttığı ve bu modellerin ne kadar güvenilir tahmin yürüttükleri araştırılmıştır.

-Farklı istasyonlar tarafından kaydedilen kuvvetli yer hareketlerini karşılaştırdığımızda, önemli farklılıkları ortaya konmuştur, Bu farklılıklar deprem dalgasının odak bölgesinden dışarıya doğru yayılırken, içinden geçtiği jeolojik birimlerin özelliklerinden oldukça etkilendiği, uzaklığa bağlı olarak dalganın sönümlendiği ve yerel zemin koşullarının etkileşiminin önemli olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır.

- 23 Ekim depreminde, Van ve Erciş illeri depremin merkez üssüne yaklaşık aynı mesafetedirler, fakat hasar tavan blok ta yer alan Erciş'te, taban blokta yer alan Van'a nazaran çok daha yüksektir.

- İvme değerleri, merkez üssünden uzaklaştıkça azalması beklenir, ama Van-Erciş depreminde, 21km daha uzakta yer alan ve alüvyon zemin üzerinde kurulu olan Bitlis-Merkez istasyonu, taban blokta yer almasına rağmen, tavan blokta olan Muş-Malazgirt ($V_{s30}=311$ m/s) istasyonundan, yaklaşık 2 kat daha büyük yer ivme değeri kaydetmiştir ve zemin büyütme değerine bakınca, yine Bitlis-Merkez yaklaşık iki kat daha büyük, zemin büyütmesi sergilemiştir.

- Van-Edremit depremine baktığımızda, yaklaşık aynı durum tekrarlanmıştır; Van-Merkez istasyonu ($V_{s30}=363$ m/s), sert zemin üzerinde bulunan Van-Edremit istasyonundan yaklaşık 10km daha uzun merkezüssü mesafesine sahip olmasına rağmen, yaklaşık 2.5 kat daha büyük yer ivmesi kaydetmiştir. Bunun sebebi Van-Merkezin zemin koşulları ve tavan blokta yer almasıdır.

Bu durum, istasyonların üzerinde bulunduğu zemin koşullarının, deprem ivme değerlerini etkilediğinin bir göstergesidir. Başka bir ifade ile maksimum yer ivmesi değerleri deprem dalgalarının kat ettiği formasyonların türü ile yakından ilişkilidir. Ancak, depremin maksimum ivmesi tek başına deprem etkisini tanımlayabilen bir parametre değildir. Büyük yer ivmesine sahip olan ve çok kısa bir zaman diliminde meydana gelen bir depremin, daha küçük yer ivmesine sahip ve uzun süren depremlere göre daha az hasar yaptığı bilinmektedir.

- Van-Muradiye dalga formunun basit olduğu gözükmetedir. Buna karşın Muş-Malazgirt ivme diagramı kompleksdir, buda erken artçı şok olduğunun göstergesi olabilir. Dalga formunun karışıklığı, sahanın lokal jeolojisinin etkisini de gösterebilir. Ama burada daha çok kaydın doğruluğundan şüphelenmiştir, bu kayıt daha çok gürültüye benziyor.

-Deplasman değeri, ters faylanmaya sahip Van-Erciş depreminde merkez üssünden uzaklaştıkça azalmaktayken, doğrultu atımlı faya sahip, Van-Edremit depreminde, tavan blokta yer alan, kum ve çakıl birimlerinin hakim olduğu Van-Merkez istasyonunda, kaya üzerinde bulunan Van-Edremit istasyonundan az olması gerekirken, zemin koşullarından dolayı deplasman miktarı yaklaşık 2 katına çıkmıştır, ama deplasman diagramına baktığımızda belli bir süre sonra davranış biçimleri aynıdır. Devam edersek eğer diğeri istasyonlar merkez üssünden uzaklaştıkça deplasman azalmaya devam etmektedir ama alüvyon zemin üzerinde olan Bitlis-Merkez istasyonun, deplasman miktarı, daha uzakta olan Muş-Malazgirt istasyonundan daha azdır.

- Her iki depremde Hakim periyod Van-Muradiye istasyonunda 0.3sn civarı, Muş-Malazgirt istasyonunda 0.5sn civarı ve Bitlis-Merkez istasyonunda ise 0.4sn civarında olduğu gözükmetedir.

- Her iki depremde en uzun etkin süre, 50sn civarında Muş-Malazgirtte aittir. Sürenin uzun olması, enerji içeriğinin uzun periyodlu olması, basen ve yumuşak zemin etkisini gösterir.

-İki depremin ortak istasyonlarında, Fourier spektrumlarından, görüldüğü gibi, deprem dalgası içinde hakim olan frekanslar, yaklaşık 0,32Hz ve 2,86Hz arasındadır. Van-Edremit depreminde, Van-Merkez istasyonu 9.9Hz ile çok uzun bir frekansta maksimum genliğe varmıştır ve daha geniş spektruma sahiptir. Yani, hareketi oluşturan enerjinin çoğu frekansı bu aralıkta olan dalgalar tarafından taşınmıştır. Bu frekanstan sonraki bileşenlerin genlikleri oldukça küçüktür.

- Van ili merkez mahallelerinde gözlenen hasarın büyük bir kısmı, düşük kalitede malzeme kullanımı ve yönetmeliklere uymayan yapılaşma ile ilişkilidir.

- Depreme dayanıklı yapı tasarımı yapılırken, yapının oturacağı zemin tabakalarının depremler sırasındaki davranış özelliklerinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Deprem sırasında, yapısal davranışı kontrol eden yapı özellikleri yanında, depremin özellikleri ve zeminin dinamik yapısına bağlı yerel zemin koşulları, hasar dağılımında esas faktörlerdir. Deprem bölgelerinde inşa edilecek herhangi bir mühendislik yapısının ülke ekonomisi ve can emniyeti bakımından önem derecesi iyice tesbit edilerek, yapının ömür süresince maruz kalabileceği en şiddetli depremin risk- maliyet faktörü bilimsel yollardan tayin edilmelidir.

- Deprem zararlarını azaltmaya esas olarak ilgili mühendislik (sismoloji, jeofizik, jeoloji, inşaat) disiplinlerinin müşterek ve koordineli çalışmaları yanı sıra, olası bir depremde önemli mühendislik bilgileri içeren ivme kayıtlarına ihtiyaç bir gerçektir. Bu gerçeği, sismik olarak aktif bölgeler başta olmak üzere, ülke çapında çok sayıda detaylı istasyon karakteristiği ve normu belirlenmiş yerlere, gerçek zamanda sürekli kayıt yapabilecek ivme-ölçer gözlem ağlarının kurulması ve işletilmesi mümkün kılar.

- NGA modellerini geliştiren araştırmacılar özellikle 80 kilometreden daha uzak mesafeler için yerel şartların önemli olduğunu ifade etmektedirler.

Sonuç olarak PSA değeri açısından en yakın tahmin, $50 < R_{epi} < 100$ olan ve doğrultu atımlı fay sistemine sahip olan, CB08 modelinde Van-Muradiye istasyonuna aittir. Ama genelde bu çalışma kapsamında BA08 modelinin daha uygun sonuçlar verdiği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H.** (2014). Seismic, ground motion and geotechnical characteristics of the 2011 Van-Ercis, and Van-Edremit earthquakes of Turkey, and assessment of geotechnical damages, *Bull Eng Geol Environ.*, **73**, 643–66.
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü.** 23 Ekim 2011 Van Depremi (Mw= 7.2) Değerlendirme Raporu, İstanbul, Türkiye.
- Bozkurt, E.** (2001). Neotectonics of Turkey-asynthesis. *Geodinamica Acta.*, **14**, 3-30.
- Çeken, U.** (2014). Türkiye kuvvetli yer hareketi kayıt şebekesi ve 12 kasım düzce depremi'nin ivmesi, Afet işleri genel müdürlüğü,deprem araştırma dairesi.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H.** (2011). 23 ekim 2011 van depremi saha gözlemleri ve kaynak faya ilişkin ön değerlendirmeler, Jeoloji etütleri dairesi yer dinamikleri araştırma ve değerlendirme koordinatörlüğü aktif tektonik araştırmaları birimi, Ankara, Türkiye, 31 Ekim.
- Erdik, M.** Report on 1999 kocaali and düzce (turkey) earthquakes, bogazici university, dept. Of earthquake engineering, 81220 cengelkoy ,Istanbul, Turkey
- Fahjan, Y. M.** (2008). Türkiye deprem yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem Kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi.*, **292**, 4423-4444.
- Kaklamanos, J., Eeri, S. M., Baise, L. G., Eeri, M., Boore, D. M.** (2011). Estimating unknown input parameters when implementing the NGA ground-motion prediction equations in engineering practice, *Earthquake Spectra.*, **27**, 1219–1235.
- Kargioğlu, B.** (2012). *Turkey-adjusted next generation attenuation models*, middle east technical university, (yüksek lisans tezi), Ankara,Turkey.
- Koçyiğit, A., Deveci, Ş., Kaplan, M.** (2011) Van depremleri raporu (23 ekim – 30 kasım 2011) Orta Doğu teknik Üniversitesi (ODTÜ) Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Aktif Tektonik ve Deprem Araştırma Laboratuvarı. Ankara, Türkiye, 1 Aralık .
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S.** (2001). Neotectonic of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting, *Geodinamica Acta.*, **14**, 177-195.
- Konagai, K., Ulusay, R., Kumsar, H., AYDAN, Ö., Çelebi, M.** (2012). The characteristics of seismic, strong Motion and structural damage of the 2011 Van-erciş earthquake, *Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*, Tokyo, Japan, 1-4 Mart.

- Maden tetkik ve arama genel müdürlüğü.** (2002). 1:500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Van paftası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Maden tetkik ve arama genel müdürlüğü.** (2011). 09 kasım 2011 edremit (van) depremi bilgi notu, Jeoloji etütleri dairesi, yer dinamikleri araştırma ve değerlendirme koordinatörlüğü aktif tektonik araştırmaları birimi, Ankara, Türkiye, 10 kasım.
- METU/EERC.** (2011). 23 ekim 2011 MW 7.2 van depremi sismik ve yapısal hasara ilişkin saha gözlemleri, Rapor No: METU/EERC 2011-04, Ankara, Türkiye, Kasım.
- METU-EERC / İMO.** (2012). 9 kasım 2011 mw 5.6 van-edremit depremi sismik ve yapısal hasara ilişkin gözlemler, Rapor No: METU-EERC / İMO 2012-01 , Orta doğu teknik üniversitesi deprem mühendisliği araştırma merkezi, Ankara, Türkiye.
- Nurlu, M.** (2011). Van depremi 23 ekim 2011 raporu, T.C başbakanlık afet ve acil durum yönetimi başkanlığı, Deprem dairesi başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- Selçuk, L. ve Aydın, H.** (2012). Kuvaterner yaşlı alüvyal zeminlerin kuvvetli yer hareketine etkisi: 2011 van depremleri, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* ., **36**, 75-97.
- Senggr, A.M.C. ve Yılmaz, Y.** (1981). Tethyan evolution of turkey: a plate tectonic Approach, *Tectonophysics.*, **75**, 181-241.
- Sezen, A., Erken, A., Taşkın, B., Sargın, S., Nomaler, G. Ş., Yıldırım, H. C., Olgun, C.G.,** (2012). 23 ekim 2011 mw7.1 van depremi ve geoteknik bulgular. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 4 - 5 Ekim.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y.** (1986). Doğu anadoluda neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri, *MTA.*, **107**, 73-94.
- Şengör A.M.C. ve Kidd W.S.F.** (1979). Postcollisional tectonics of the Turkish – Iranian plateau and a comparison with Tibet, *Tectonophysics.*, **55**, 361–376.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y.** (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, *Tectonophysics.*, **75**, 181-241.
- Taskin, B., Sezen, A., Tugsal, U. M., Erken, A.** (2013). The aftermath of 2011 Van earthquakes: evaluation of strong motion, geotechnical and structural issues, *Bull Earthquake Eng*, **11**, 285–312 doi:10.1007/s10518-012-9356.
- Uner, S., Yeşilova, C., Yakupoğlu, T., Uner, T.** (2010). Pekişmemiş sedimanlarda depremlerle oluşan deformasyon yapıları (sismitler): Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu. *Yerbilimleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri ve Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi.*, **31**, 53-66.
- Yanık, K. ve Eravcı, B.** (2012). 2011 DEPREM YILLIĞI, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- Yağmurlu, F., Şentürk, M., Dumlupınar, İ.** (2011). 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 tarihlerinde meydana gelen van depremlerinin jeolojik değerlendirmesi, *SDUGEO.*, **4**, 3-9.

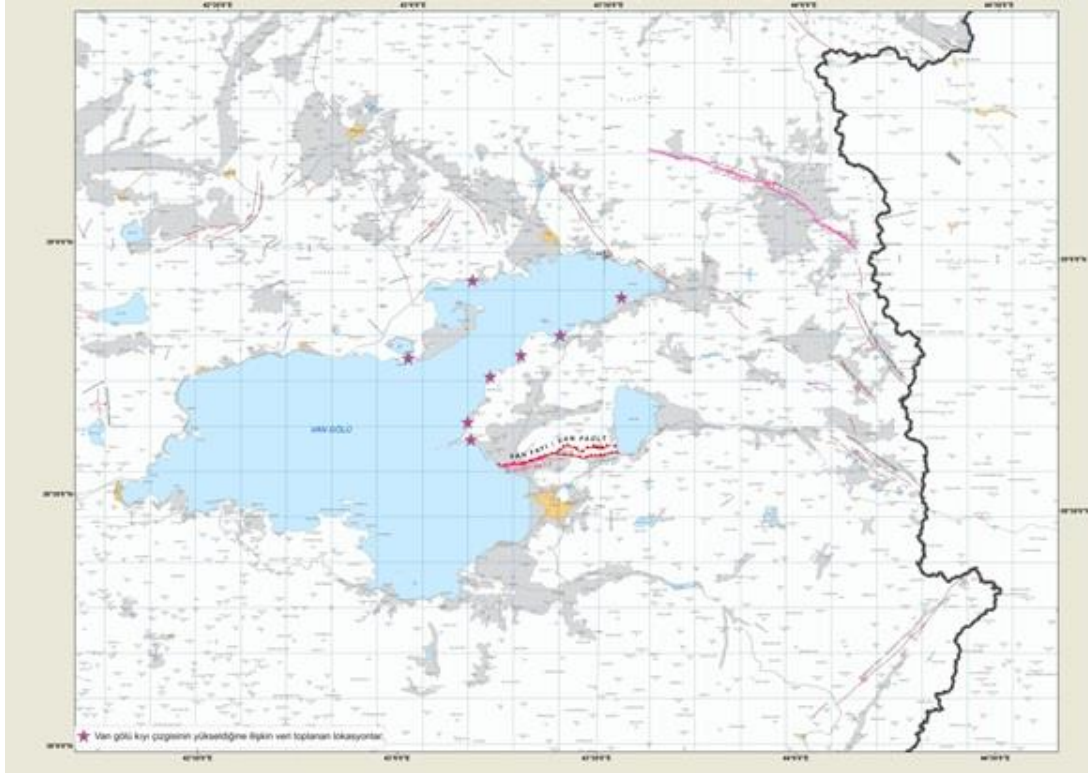
Yalçınkaya, E. (2004). Bir boyutlu modeller için zemin büyütmesine etki eden Parametrelerin incelenmesi, *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C. 17, S. 1, SS. 47-56.

Url-1<<http://www.emsc-csem.org>>, alındığı tarih: 20,08,2014.

EKLER

EK A: Haritalar

EK A



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Leila Mokhberioskouei

Doğum Yeri ve Tarihi: Iran-Tabriz 15.07.1985

E-Posta: mokhberioskouei@itu.edu.tr

Lisans: İnşaat Mühendisliği

