TÜRKİYE'NİN KAYDEDİLMİŞ EN BÜYÜK TERS FAY DEPREMİNİN ÖZELLİKLERİ, ÜRETTİĞİ YAPISAL HASAR VE YÖNETMELİK

K. Beyen[1]

[1] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli*
Email: kbeyen@kocaeli.edu.tr

ÖZET:

Bu çalışma ters fay sisteminin Türkiye'de ürettiği kaydedilmiş en büyük moment büyüklüğü Mw7.2 olan deprem kayıtlarının bir mühendislik değerlendirmesini yapmaktadır. Fayın yapısal özelliği ve kuvvetli yer hareketi analiz sonuçları kullanılarak, 23 Ekim 2011 Van depremi yapı deprem mühendisliği açısından tartışılmıştır. Tartışmada, (i) ters fayın ürettiği kuvvetli yer hareketi kayıtları tanılanmaya çalışılmış, parçalı kırılma, yırtılma etkisi ve yönelim etkisi irdelenmiş; (ii) bölgede kayıt istasyonları civarının yerel etkileri irdelenmiş; (iii) faya parallel ve normal bileşenler özellikle dikkate alınarak yerel etkilerin tasarım mühendisliği açısından önemi vurgulanmıştır. Yapı dinamiği ve yönetmeliklerin sunduğu yapısal analiz yöntemlerini göz önünde tutarsak, kuvvetli yer hareketi çalışmalarının sonuçları yakın alan etkisi, yırtılma etkisi, yönelim etkisi ve ters fay özelliği olan bölgelerde karekteristik tavan ve taban özelliklerinin yürürlükte olan yapı tasarım yönetmeliklerinde önemle dikkate alınmalıdır. Bulgular ayrıca elastik ve doğrusal elastik olmayan tasarım spektrumlarının sayılan bu etkileri göz önüne alacak şekilde Türkiyenin sınıflandırılmış fay sistemleri için geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Çalışma sonuçları depreme dayanıklı yapı tasarımının geliştirilmesi yönünde araştırma ihtiyaçlarımızı gerekçeleriyle göstermektedir.

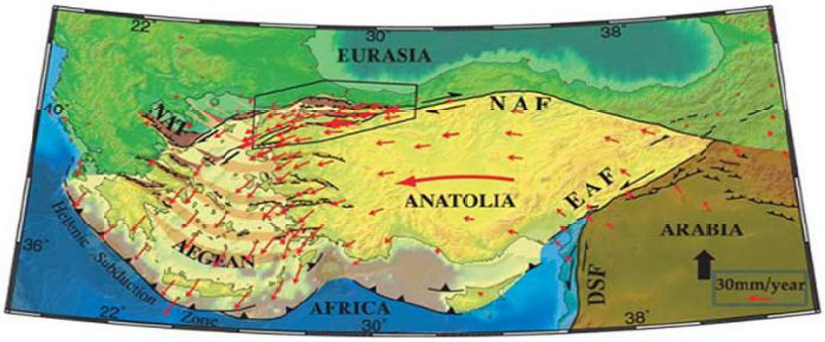
ANAHTAR KELİMELER: Ters fay, Van depremi, yönelim etkisi, normal bileşen etkisi, yırtılma etkisi, tasarım spektrumu, yerel etki.

1. GİRİŞ

Türkiye önemli üç ana plakayı oluşturan Afrika ve Arap plakalarıyla güneyden, Avrasya plakasıyla kuzeyden kuşatılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü gibi (Rolando Armijo vd., 2005), Türkiyenin güneyinde Bitlis-Zagros kenet kuşağı boyunca Arap plakasının uyguladığı 2-2.5 cm'lik sıkışmanın 1-1.2 cm'sinin sıkışma zonunda plaka çarpışması içinde alınmasına karşın 2.5 cm'nin 1-1.3 cm'lik artık itme değeri aktif tektonik yapı içinde yanal atımlı ve sıkışma/ters fayları hareketlendirmektedir (Rolando Armijo et. al., 2005; Barka, A. and Reilinger, R. 1997). Bu tektonik disiplin içinde, sığ odak derinliği olan ters/oblik bir mekanizmayla Everek fayı 23 Ekim 2011'de yerel saat 13:41'de Van ve civarını vurmuştur. Zayıf beton kalitesi, yetersiz inşaat kalitesi ve betonarme imalat yetersizliklerine sahip yüzlerce apartman yapılarının ana şok sırasında Erciş'te yıkılmasına sebep olmuştur. Van depremi Everek fayının doğusunda başlamış batıya Van gölüne doğru çok parçalı yırtılmalarla ana şoku tamamlamıştır. Depreme kaynaklık eden fay ve segmentleri arazide çalışılmış ve literatürde detaylı tartışılmıştır (Koçyiğit, A., 2013). Yapı deprem analizi ve tasarımı için yönetmeliğin sunduğu kriterler ışığında ana şok kayıtları tartışılmıştır.

Uygulanan inşaat mühendisliği içinde yer hareketinin türü ve etkilerinin tartışılması hala gündemdedir. Klasikleşmiş yaklaşım içinde yer ivme genliğinin tepe değerinin yapı tasarımında yeterli parameter olarak alınması günümüzde yetersiz görülmekte ve tartışılmaktadır. Zaman tanım alanında kaydedilmiş yer ivmesinin en büyük değerinin deprem büyüklüğü ve en önemli mühendislik parametresi olarak yönetmeliklerde alınması yetersizdir. Yer sarsıntısının şiddetinin frekans muhteviyatıyla beraber değerlendirilmesi yerel şartların

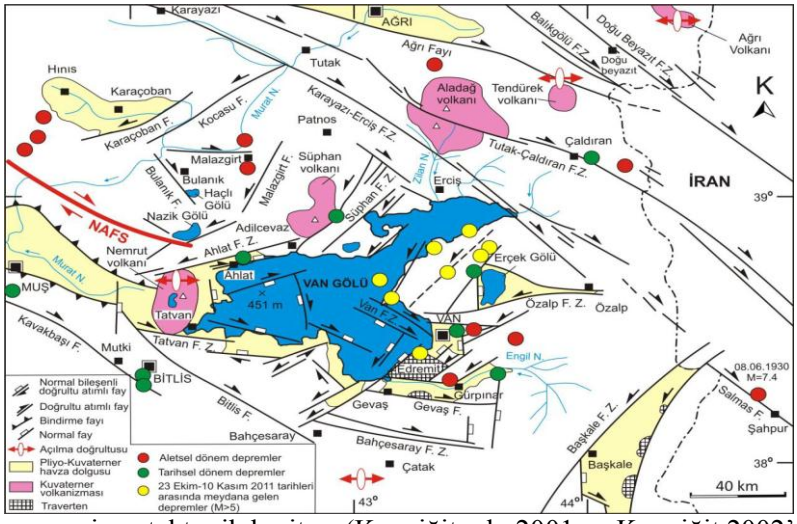
etkisinide tasarımda göz önüne alma imkanını sunmuştur. Bu imkan %5 sönüm ve farklı hakim frekanslara sahip tek serbestlik dereceli sistemlerin ivme tepkilerinin bir zarf olarak değerlendirmede temel ölçü olarak alınmasıyla kuvvet bazlı inşaat mühendisliği tasarımında yer bulmuştur. Son yüzyılın son çeyreğinde ulaşılan teknolojik gelişmelerin sunduğu imkanlar deprem merkezinden ve kaynak faya yakın istasyonlardan elde edilen ivme kayıtlarının sadece kuvvet (ivme) cinsinden önerilen yönetmelik tasarım depremleriyle yapılarda gözlenen yıkıcı hasarı azaltamayacağı, depremin hız ve deplasman değerlerininde tasarımda önemini açığa çıkarmıştır. Yapı tasarımında dikkate alınması gereken yakın alan etkileri içinde sayabileceğimiz, yönelim etkisi ve yırtılma doğrultu etkisi gibi etkenlerin yerel etkilerle beraber yapılarda hasarı artırıcı unsurlardır. Odak merkezinde kaydedilmiş büyük hız genlikleri ve kalıcı statik deplasmanların yanı sıra düşey bileşenlerin ihmal edilemeyecek yer ivme değişimleriyle hasarda pay sahibidirler. Bu gözlemlere dayanan çalışmalar artık yönetmeliklerde ifade edilmeye başlamıştır. 1997'de Uniform Building Code (UBC), yakın alan potansiyelini göz önüne alan ve değeri mesafeyle değişen N parametresini tasarım depreminin yeniden tanımlanması için önermiştir. Yakın alan etkilerini potansiyel olarak barındıran inşaat sahaları için N parametresi tasarım depremini büyütebilmektedir (P. Somerville at all, 2000). UBC'de önerilen tabloda 10km ve ötesi uzaklıklardaki sahalar için N 1'e eşit olmaya başlarken, ters fayın neden olduğu Northridge depreminde bu mesafelerin 10km'yi aşıp 20km'lere kadar uzadığı gözlenmiştir (P. Somerville at all, 2000). İlk Somerville ve diğerlerinin (1997) önerdiği yönelim etkisi modeli bir dizi geliştirmeler sonunda genlik bağımlı özelliğiyle moment magnitudü (Mw) 6.0'ya kadar küçülen depremlerde kuvvetle görülmüştür (Abrahamson, N. A., 2000; Bommer, J. J. vd., 2001). Abrahamson'un güncellediği modelinde yönelim etkilerinin 60km mesafelerde zayıfladığı ve kaybolduğu, ama ilk 30km içinde etkilerin sabit kaldığı yönündedir (Abrahamson, 2000). Ulaşılan birikim yakın alan etkilerinin farklı fay mekanizmaları olan depremler için çalışılmasının yönetmelik eksiklerini tamamlamak için kaçınılmaz olduğunu gösterirken, aletli kayıt tarihi içinde gerçekeleşen en büyük ters fay depreminin (Koçyiğit, A., 2013) neden olduğu ciddi hasar alan Erciş ve az hasar alan Van'ın durumunun da anlaşılmasına yardımcı olacaktır.



Şekil 1. Avrasya ve Arap plakalarının göreceli hareketleri ve Anadolu plakası (Rolando A. vd., 2005).

2. VAN HAVZASININ TEKTONİK YAPISI

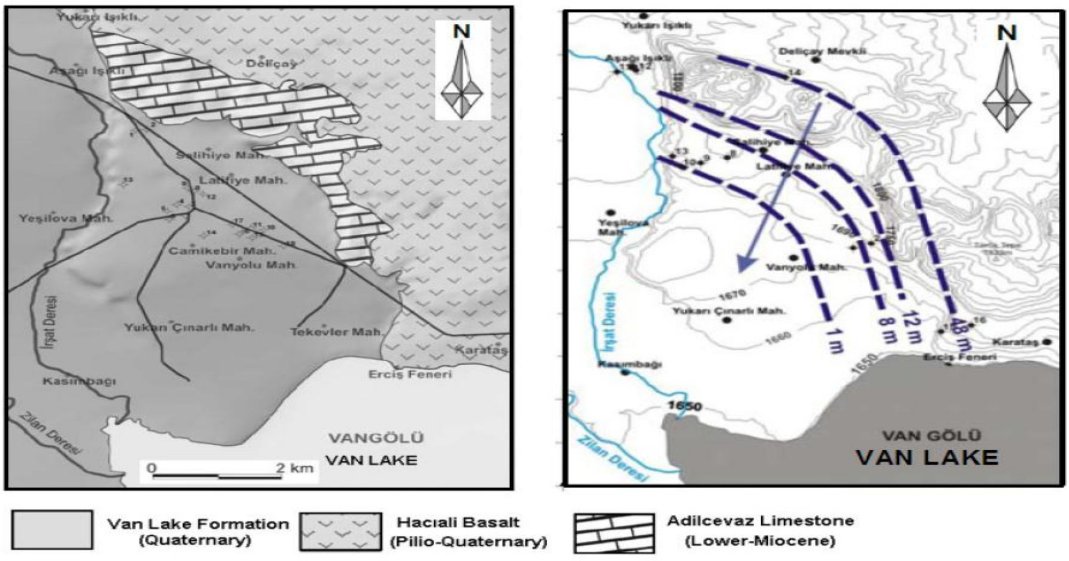
Doğu Anadolu'da kıta-kıta çarpışmasının neden olduğu sıkışma tektoniğine bağlı olarak gelişen volkanik aktivite geç Miyosen döneminde başlamış ve günümüzde de devam etmekteir (JMO; 2012). Kuzey-güney yönlü sıkışma etkisi altındaki bölgede kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı, sol yönlü ve kuzeybatı güneydoğu uzanımlı, sağ yönlü doğrultu atımlı faylar (Erciş, Çaldıran, Hasantimur Gölü, Süphan ve Malazgirt fayları), doğu-batı uzanımlı kıvrım, sıkışma ve ters faylar (Muş sıkışması) ile kuzey-güney yönlü normal fay veya açılma çatlakları (Nemrut açılma çatlağı) gelişmiştir. Van hafzasının mevcut tektonik yapısı Şekil 2'de verilmiştir. 23 Ekim 2011 depremine ilişkin fay düzlemi çözümleri ve saha bulguları kaynak fayın yaklaşık olarak doğu-batı uzanımlı sıkışma veya ters fay niteliğinde olduğunu ortaya koymuştur (Bülent vd., 2013).



Şekil 2. Van hafzasının sismotektonik haritası (Koçyiğit vd., 2001 ve Koçyiğit 2002'den değiştirilerek alınmıştır). NAFS: Kuzey Anadolu Fay Sistemi. (Van (Tabanlı-Edremit) Depremleri Raporu JMO, 2012)

3. ERCİŞ YERLEŞİMİNİN JEOLOJİSİ

Şekil 3'de görüldüğü gibi önemli hasarlar alan Erciş ve civarı Van'ın kuzeyinde Erciş ovasında yerleşmiştir. Bir diğer birikinti ova ise Zilan ve İrşat ırmakları arasında bulunmaktadır. Bu ırmaklar Hacıali bazaltlarının (Plio-Quaternary birkintiler) oluşturduğu kalınlığı 188m (DSİ, 1977) bulan ovanın temel drenaj sistemleridir. Özvan vd., (2008) Erciş'te yer altı su seviyesinin yüzeye çok yakın olduğunu, 1m'den başlayıp yamaçlarda 8 m'ye kadar derine indiğini tespit etmişlerdir. Şekil 3b'de yer altı suyu akışının yüksek kotlardan Güneye doğru gerçekleştiğini ve yer altı su seviyesinin göl seviyesinde yüzeye çok yakın olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Erciş yerleşiminin a) Jeolojisi, b) Hidrolojisi (Özvan ved., 2008).

4. 23 EKIM 2011 VAN (TABANLI) DEPREMI

Van Gölü Havzası ve yakın çevresinde aletsel dönemde meydana gelen 5 ve üstü depremler Tablo 1'de verilmiştir. Geçmiş büyük depremler bölgenin bir aktif tektonik yapıya sahip olduğunu göstermektedir (AFAD, 2011). 23 Ekim, 2011 tarihinde, yerel saat 13:41'de deprem merkez üssü olarak Tabanlı köyü (Van) olarak açıklanan moment büyüklüğü Mw7.2 olan Van depremi Bitlis-Zagros kenet kuşağı üzerindeki plaka çarpışma zonunda sıkışma kaynaklı Everek fayının ürettiği Türkiyenin en büyük ters fay depremidir (A. Koçyiğit, 2013). Bu çalışmada, ana şokun faya parallel (FP) olan doğu-batı (DB) ve faya dik (FD) olan kuzey-guney (KG) bileşenleri çalışılmıştır. Bölgesel olarak 22 istasyon tarafından kaydedilmiş bu arşivin içinde malesef yakın alan istasyonları olan Van ve Erciş teknik nedenlerden kayıt alamamıştır. Çalışmada sayısal ivme verileri işleme tabi tutulmuş, her bir bileşenin yerel tepki spektrumları Matlab (MATLAB, 2008) içinde geliştirilen yazılımlarla hesaplanmış ve tartışılmıştır. Analizlerde kayıtların hız ve deplasman dönüşümleri için oluşturulan integrasyon algoritmaları duyarlılık testlerine tabi tutularak hassaslık mertebesi yüksek nümerik integral sonuçlarında örneğin büyük hız genlikleri içinde göreceli statik yer değiştirme etkilerinin ayıklanması için iki yönlü işlem uygulanarak sıfır faz etkili düşük frekans süzgeçleriyle verinin süzülmesi ve temel eksen düzeltmeleri yapılmıştır. Alternatif temel eksen düzeltme algoritmalarından Iwan (metod-1) kullanılmıştır (D.M. Boore, 1999).

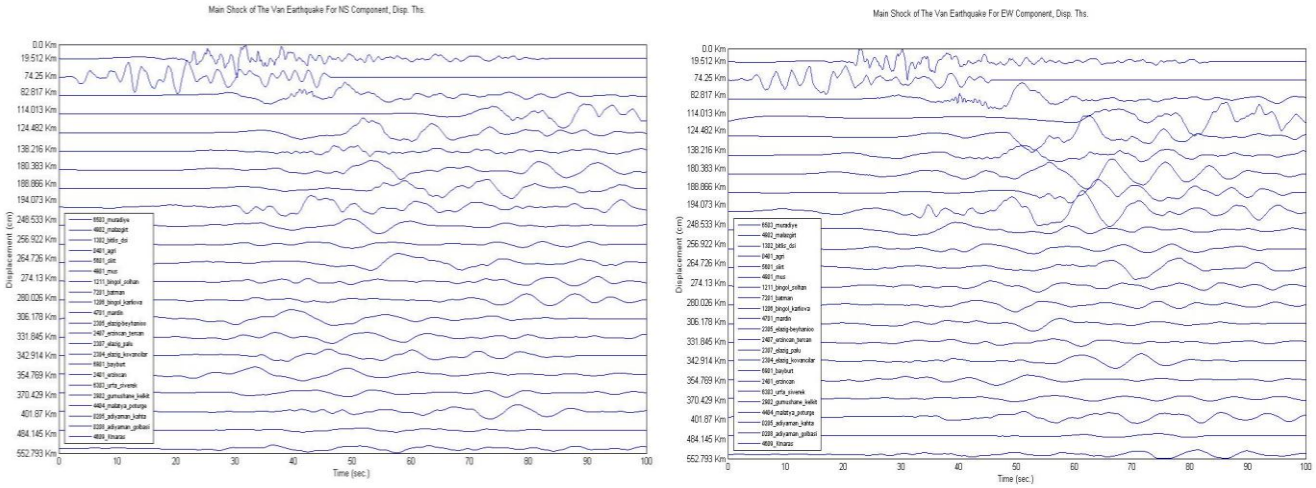
Bölgede betonarme (BA) eğilme moment–kayma dirençli çerçeve binalar tuğla dolgulu bölme duvarlarıyla farklı inşaat kalitelerinde olup kat sayısına göre 1. hakim mod periyodları 0.2 ile 1 saniye aralığında değişmektedir. Bu yapısal periyot aralığında depremin enerjik girdi taleplerinin yükseldiğini ve yapı sağlığı için risk oluşturduğunu geçmiş depremlerden bilmekteyiz. Düşük ivme genliği olan 7.2Mw ana şokun aktive olan fay düzlemine en yakın mesafe (Joyner-Boore mesafesi) 19km ile Muradiyede kaydedilmiş olması ve yaklaşık aynı mesafedeki Erciş'te neden olduğu yıkıcı hasarın açıklanması çok zordur. Ana şok karekteristiği olarak yerel etkilerin yanısıra yayılım-yönelim etkisi ve yırtılma etkilerinin FP ve FD yönlerde incelenmesinin yanısıra özel anlamda tavan bloğun yerleşimi olan Erciş ve taban bloğun yerleşimi olan Van için araştırılması ve yönetmelik bağlamında tartışılması hasarın ihtimal sebepleri içinde tasarım parametrelerini de tartışılır hale getirmektedir. Ana şokun önemli özellikleri içinde ters fayın tavan ve taban bloklarında yer alan kayıtların beklenen büyük genlik farlılıklarının yanısıra Everek fayı üstünde DB istikametinde gerçekleşen yırtılmanın önünde yer alan Bitlis-DSİ istasyon kayıtlarının FP ve FD bileşenlerinin frekans tanım alanında spektral özelliklerinde açığa çıkmaktadır.Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) altında ulusal kuvvetli yer hareketi gözlem ağı'nın deprem dış merkezine 42km ile 590km uzaklıkları arasında bulunan 22 yerel ivme ölçer istasyon tarafından 23 Ekim 2011 Van depremi kaydedilmiştir (AFAD, 2011). Tablo 2'de bu çalışmada kullanılan istasyonlar, donanımları, deprem merkez üssüne uzaklıkları, istasyon noktasındaki kayma dalgası hız bilgileri ve ölçülen tepe ivme değerleri özetlenmiştir. Üç bileşenli kayıtcılar 2-3 katlı kamu binalarının zemin katında yer almakta olup deprem kaynağı fay hattının yaklaşık doğu-batı uzanımlı olmasından dolayı çalışmada bileşenlerin döndürülmesine ihtiyaç duyulmamıştır. Teknik yetersizliklerden dolayı Van ve Erciş istasyonları anaşoku kaydedememişlerdir. Şekil 4'de deprem dış merkezine yakın olan istasyondan uzak olana doğru hesaplanmış ve çizilmiş deplasman genlikleri atenuasyon etkisiyle küçülmüştür.

Tablo 1. Aletsel dönem 5 ve üzeri büyüklükte hasar veren depremler

Tarih	Yerel Saat	Mahal	Enlem	Boylam	Büyüklük
28.04.1903	23:39	Malazgirt/Muş	39.14	42.65	6.3(Ms)
06.05.1930	22:34:23	Hakkari sınır	38.22	44.66	7.2(Ms)
10.09.1941	21:53:57	Erciş/Van	39.45	43.32	5.9(Ms)
20.11.1945	06:27:58	Çatak/Van	38.63	43.33	5.2(Ms)
25.06.1964	00:11:52	Erciş/Van	39.13	43.19	5.3(Ms)
24.11.1976	14:22	Çaldıran, Muradiye/Van	39.0506	44.0368	7.6(Ms)
17.01.1977	19:24.7	Erciş/Van	39.2703	43.7006	5.1(Ms)
25.06.1988	15:38.3	Merkez/Van	38.5034	43.0727	5.0(Ms)
15.11.2000	05:34.9	Merkez/Van	38.51	43.01	5.7(Ms)
23.11.2011	13:41	Tabanlı/Van	38.691	43.497	7.2(Mw)
09.11.2013	21:23	Edremit/Van	38.4382	43.2825	5.6(ML)

Tablo 2. 23 Ekim 2011 Van depremi Ölçüm İstasyonları (AFAD, 2011)

	İstasyon		Cihaz Türü	İvme Değerleri (gal)			İstasyonun Deprem Merkez Üssüne Uzaklığı (km)	İstasyon ortamının Kayma Dalgası Hızı V_{S30} (m/sn)
No	Şehir	İlçe		KG	DB	Düşey		
1	Van	Muradiye	SMACH	178.5	168.5	75.5	42	293
2	Muş	Malazgirt	SMACH	44.5	56.0	25.5	95	311
3	Bitlis	Merkez	CMG-5TD	89.66	102.24	35.51	116	Alivyum*
4	Ağrı	Merkez	CMG-5TD	18.45	15.08	7.21	121	295
5	Siirt	Merkez	CMG-5TD	9.90	9.16	7.04	158	Alivyum*
6	Muş	Merkez	CMG-5TD	10.3	6.86	4.64	170	315
7	Bingöl	Solhan	CMG-5TD	4.58	4.19	2.46	211	463
8	Bingöl	Karlıova	CMG-5TD	7.52	11.08	4.65	222	Sert*
9	Batman	Merkez	CMG-5TD	8.29	8.58	3.74	223	450
10	Mardin	Merkez	CMG-5TD	2.0	1.90	1.58	284	Sert*
11	Elazığ	Beyhan	CMG-5TD	1.20	1.19	0.99	289	Sert*
12	Elazığ	Palu	CMG-5TD	2.11	1.64	1.72	307	329
13	Elazığ	Kovancılar	CMG-5TD	1.45	1.66	1.20	313	Alivyum*
14	Erzincan	Tercan	CMG-5TD	2.37	3.43	2.26	289	320
15	Erzincan	Merkez	CMG-5TD	1.53	1.29	0.71	358	314
16	Bayburt	Merkez	CMG-5TD	1.35	1.14	1.27	327	Sert*
17	Gumuşhane	Kelkit	CMG-5TD	1.05	0.88	1.25	378	Alivyum*
18	Şanlıurfa	Siverek	CMG-5TD	2.0	3.06	0.96	378	Alivyum*
19	Malatya	Pötürge	CMG-5TD	0.99	0.99	0.94	405	Sert*
20	Adıyaman	Kahta	CMG-5TD	2.96	2.7	1.64	437	Alivyum*
21	Adıyaman	Gölbaşı	CMG-5TD	1.12	0.74	0.35	521	469
22	K. Maraş	Merkez	CMG-5TD	1.74	2.18	0.96	590	317
		*Yerel zemin cinsine saha incelemesiyle karar verilmiştir.						

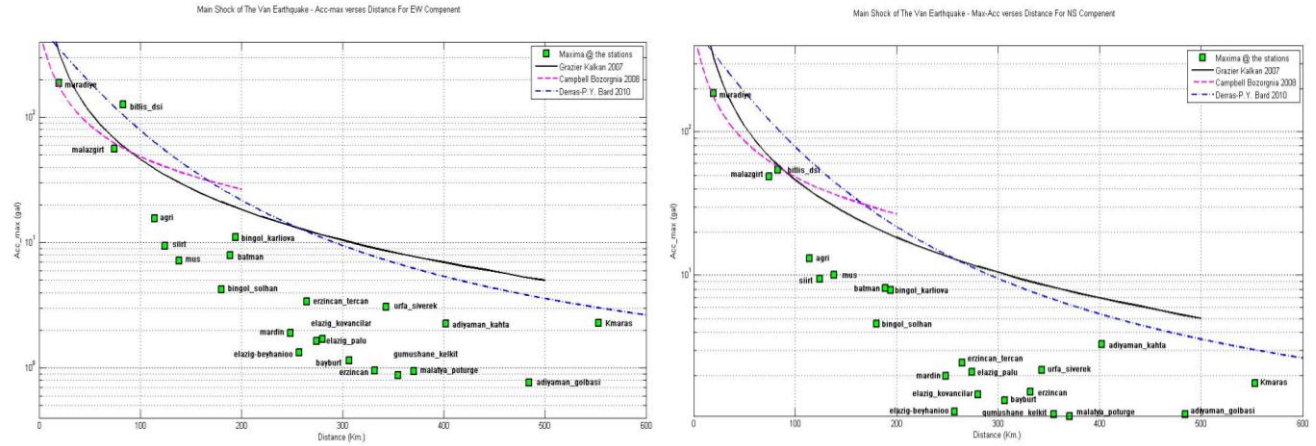


Şekil 4. 22 yerel istasyonun kaydettiği KG ve DB deplasman bileşen kayıtları.

5. KUVVETLI YER HAREKETININ ÖZELLIKLERI

5.1. Genlik – Mesafe Özelliği

Ana şokta, Van ve Erciş istasyonlarının teknik nedenlerden dolayı çalışmaması, Muradiye istasyonunu bölgede deprem merkezine en yakın istasyon konumuna getirmiştir. Joyner-Boore (r_{jb}) mesafesi olarak, Erciş ve Van istasyonlarına yaklaşık aynı mesafede bulunan Muradiye istasyonunun aldığı kayıt eğer yerel şartların benzer olması yada olan ufak farklılıkları gözardı edecek olursak en azından aynı kuvvetli yer hareketine maruz kalacaklarını kabül edebiliriz. Ercişin konumu gereği depremi üreten fayın normali üzerinde bulunması Ercişi yayılım (forward directivity) etkisine maruz bırakacağı gibi tavan blokta yer alması taban blokta yer alan Van istasyonuna göre daha yüksek genlik değerlerine ulaşmasına sebep olacaktır. Van havzasında deprem dış merkezine yakın coğrafyada sınırlı kuvvetli yer hareketi kaydı alan ivme ölçerlerin olması, yerel genlik-mesafe ilişkisi içinde soğrulma (atenuasyon) özellikleri çalışılırken global verilerden elde edilmiş son nesil atenuasyon modellerinin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Bunun yanısıra, yerel depremlerin çalışılmasıyla geliştirilmiş atenuasyon modeli de kullanılmıştır (Grazier, V., ve Kalkan, E., 2007; Campbell, K. W., ve Y. Bozorgnia, 2008; PEER, 2012; Derras, B., vd., 2012).



Şekil 5. Kaydedilmiş yanal ana şok yer ivmesi tepe değerlerinin mesafeyle değişimi ve bu ilişkilerin modeller tarafından tahmini.

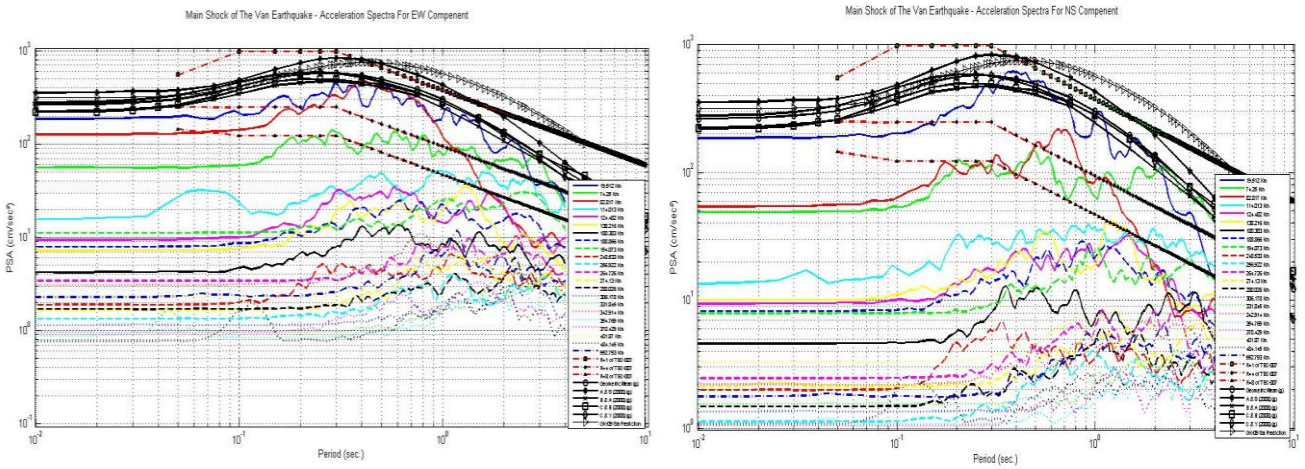
Modellerin verdiği genlik-mesafe ilişkisi Şekil 5'de görüldüğü gibi tavan blokta olan istasyon genlikleri taban blok istasyon genliklerine göre çok yüksektir. 100Km ile 200Km arasında bulunan taban istasyon kayıtlarının genliklerinin 3-4 gal civarında olması ters fay davranışının bir özelliğidir. Bitlis-DSİ istasyonunun Joyner-Boore mesafesi olarak 82Km uzakta olmasına rağmen depremi üreten faya parallel doğrultu üstünde ve yayılım istikametinde olmasıyla açıklanabilecek büyük değerleri DB (FP) yönde 126 gal ve KG (FD) yönde 54 galdir. Model tahminleri mukayese edildiği zaman, ilk 100Km'den sonra kabül edilebilir bir sapma içinde kaydedilmiş değerlerle tahminlerin yüksek tutarlılık gösterdiğini görememekle beraber, tahmin değerlerinin yüksek olması aletsel kaydı olmayan yerleşimler için alınacak ivme değerlerinin güvenilir bir band içinde kullanılmasına imkan vermektedir. Şekil 5'den anlaşılacağı gibi, tavan blokda yer alan Ercişin yönelim etkisiyle Muradiye ölçümlerinden daha yüksek ivme değeri alabileceği, taban blok Van'in ise düşük değer alacağı, buna mukabil yayılım istikametinde 82Km uzakta olan Bitlis-DSİ'nin yayılım etkisi özelliği gösterdiğini söyleyebiliriz.

5.2. Yerel Tepki Spektrumları

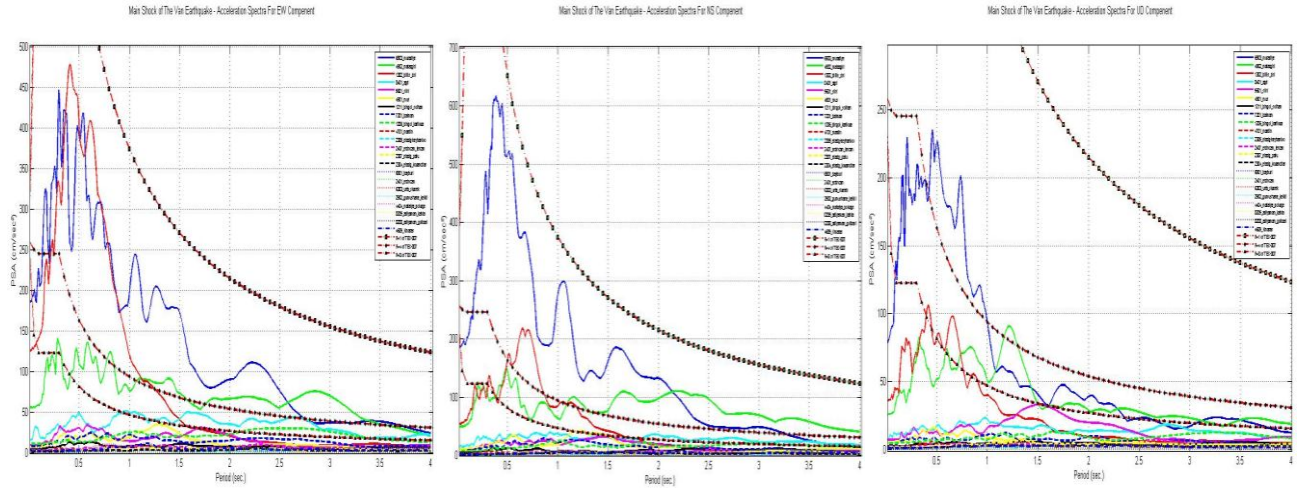
Yönetmeliğin 475 yıl dönüşümlü, %10 aşılma olasılığı olan şiddetli bir deprem için %5 sönüm ile hesaplayıp can güvenliği performans seviyesi için önerdiği elastik ivme spektrumu yapıların deprem etkisini analiz ederken farklı performans seviyeleri için kullanılmaktadır. Mukayese amacıyla ana şok için hesaplanan yerel tepki spektrumları, tahmin modelleri (Abrahamson, N. A., vd., 2008; Boore, D. M., vd., 2008; Campbell, K. W., vd., 2008; Chiou, B. S. J., vd., 2008a; Kalkan, E., vd., 2004) ve yönetmeliğin önerdiği spektrum değişik performans seviyeleri için hesaplanarak Şekil 6'da çizilmiş ve tartışılmıştır. Elastik deprem yükü, taşıyıcı sistemin tipine, periyoduna ve davranış katsayısına (R) bağlı olarak karar verilen deprem yükü azaltma katsayısına (R_a) bölünerek normal ve yüksek süneklik düzeyleri için uygulanıp, bölgede ve özellikle Erciş'deki betonarme binaların davranışları tartışılmıştır. Bölgede gözlenen yönetmelik yaptırımlarından uzak konstruktif hatalar, kötü işçilik, ve yetersiz mukavemete sahip betonarme yapıların sahip olacağı hakim periyot değerlerinin yerel zemin şartlarının köşe periyodu T_A'dan büyük olacağı düşünülür ve $R_a = R$ alınır, 4 süneklik düzeyi normal ve 8 ise yüksek sünek yapı için kullanılırsa, deprem kuvvetlerinin yapılardan taleplerini yönetmelik sınırları içinde hangi mertebelerde gerçekleştirdiğini Şekil 6 ve 7'de verilen spektrumlardan görebiliriz. Süneklik düzey normal olan ($R=4$) yapıların deprem yüklerini eğilme momenti ve kayma dirençli çerçevelerin akmaya ulaşmadan önce rezerv kapasitenin yitirilmesi gerektiğini, süneklik düzeyi yüksek olan ($R=8$) yapıların ise güç yitimine müteakip oluşacak akma sonrası oluşacak plastik deformasyonlarla şiddetli depremlerde göçmeden ayakta kalacağını yönetmeliğin hedeflediği performanslar olarak bilmekteyiz. Grafiklerde kesik çizgiyle gösterilen yönetmelik spektrumlarından kare olanlar $R=1$ ile elastik tasarım spektrumunu baklava olanlar $R=4$ ve üçgen olanlar $R=8$ ile inelastik tasarım spektrumlarını göstermektedir. Yapıların ortalama 0.2sn - 0.3sn ile 1sn arasında değişen hakim periyodları göz önüne alındığında, anaşokta istasyon (yerel) spektrumlarından inelastik yönetmelik spektrumlarını geçen periyot bandındaki her bir yapının rezerv kapasitesi harcanarak elasto-plastik davranışa geçtikleri bilinmektedir. Çalışmaya alınan spektrum tahmin modelleri göz önüne alındığında, yönetmelik spektrumunun küçük periyotlu yapılar için güvenli tarafta kaldığı görülmektedir. Uzun periyotlarda Gülkan-Kalkan modelin diğer yeni nesil tahmin modellerinden ve yönetmelikten daha büyük değerler vererek yumuşak zeminlerin ve alluvial yapıların büyütmesini daha gerçekci tahmin ettiği söylenebilir. Burada spektrum tahmin modellerinin istatistiki ağırlıklı ortamaların bir zarfı olduğu, yerel spektrumların ise %5 sönümlü tek serbestlik dereceli bir sistemin tepki spektrumu olduğunu ve sadece bir deprem için üretildiğini unutmamalıyız.

Şekil 7'den anlaşılacağı gibi yönetmelik ivme spektrumu tipik betonarme yapılar için küçük periyotlarda ($T_i < T_A$) benzer değerler almaktayken Şekil 9'da görülen deplasmanların ivme hassas periyot bölgesinde ($T_i < T_A$) çok küçük olduğu açıktır. Dolayısiyle küçük periyotlu yapılar çok az deformasyonlara bu depremde maruz kalırken, periyodu T_B'ye yaklaşan yapılar sönüm özelliklerine bağlı olarak yaklaşık sabit bir ivmeye maruz kalırken yapı-zemin etkileşimiyle girdi kuvvetlerde büyütme veya azalım gerçekleşmiş olabilir. Buna mukabil büyük periyotlarda ($T_i > T_B$) deplasmanların önemli hasar etkeni olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 9'dan Bitlis-DSİ istasyonunun ($\boldsymbol{r_{jb}}$) 82Km ve Muradiye istasyonunun ($\boldsymbol{r_{jb}}$) 19Km deprem dış merkezine olan mesafelerde kırılma yayılımının olduğu DB yönde (FP) kaydettikleri büyük spektral deplasmanlar sırasıyla 2sn ve 3sn tepe

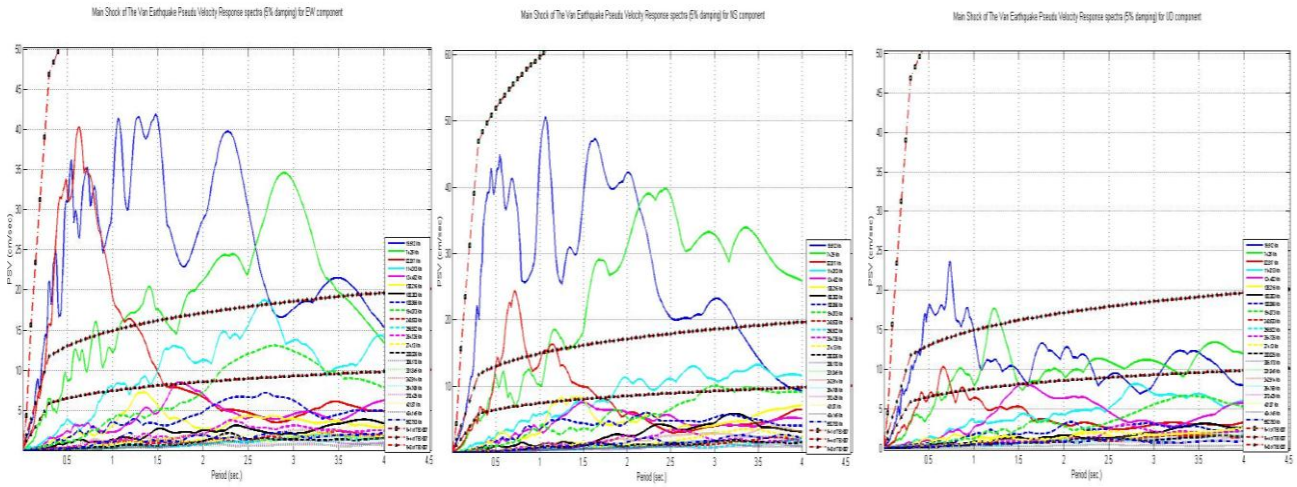
periyotlarında 16cm ve 18cm olarak gerçekleşmiştir. Deprem dış merkezine en yakın üç istasyondan tavan blokda bulunan Muradiye (19Km) ve Malazgirt (74Km) ile yırtılma yönünde bulunan Bitlis-DSİ (82Km) büyük deplasmanlara maruz kalmıştır. Bu yerlerde bulunabilecek uzun periyoda sahip bina türü yapıların yanı sıra viyadük, ayaklı su deposu veya silo gibi yapıların elastik ötesi davranışa geçerek hasar alması çok mümkündür. Binaların tasarım dışı gelişen kötü imalatın neden olduğu büyümüş periyotlarla deplasman taleplerine iştirak ettiği, dolayısiyle elastik limitlerin aşıldığı ve kalıcı hasarların tetiklendiği düşünülmektedir. Büyük periyotlu deplasman hassas bölgede ivmelerin etkisinin azaldığı ve hasar veya göçme sebebi olamayacağı aşikardır. Yerel periyotlara uyan/yaklaşan binalarda büyük göreceli kat ötelenmelerinin neden olduğu hasarlar mümkündür. Orta periyot bölgesinde ($T_A<T_i<T_B$) yaklaşık sabit hız talebi yapıdan istenmektedir. Şekil 8'de yırtılma yönünde olan 82Km (r_{jb}) uzaktaki Bitlis-DSİ'nin FP istikamette hız duyarlı bölgesi incelendiği zaman periyot bandının dikkat çekecek şekilde oldukça kısa olduğu ama hız tepe değerlerinin 19Km (r_{jb}) uzakta olan Muradiye'den dahi büyük olduğu görülür. Bu özellik faya dik bileşende Bitlis-DSİ kayıtlarında izlenmezken en yakın istasyon Muradiye'de (19 Km) FN ve FD yönlerde yalancı spektral ivmenin ortalama 35cm/sn değeri etrafında 3sn periyoda kadar salındığı gözlenmektedir.



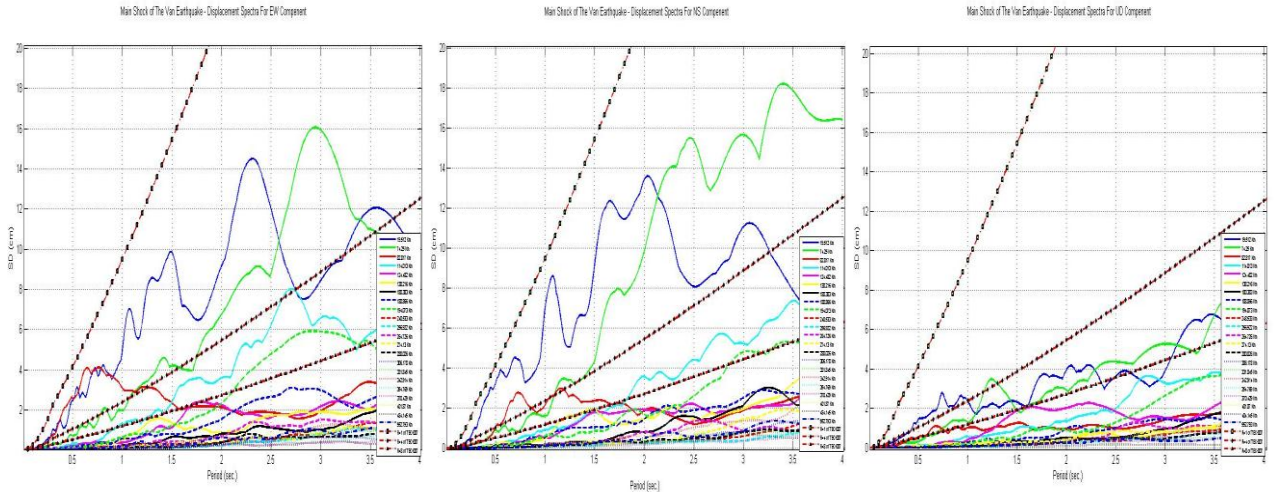
Şekil 6. Anaşokun 22 istasyon tarafından kaydedilmiş verilerinin yalancı spektral ivmeleri ve R=1, 4, 8 için yönetmelik spektrumu, yeni nesil yer ivmesi tahmin spektrumları, (a) DB (FP) ve (b) KG (FD).



Şekil 7. Anaşokun 22 istasyon tarafından kaydedilmiş verilerinin yalancı spektral ivmeleri ve R=1, 4 ve 8 için yönetmelik spektrumları, (a) DB (FP), (b) KG (FD) ve (c) Düşey yönde.



Şekil 8. Anaşokun 22 istasyon tarafından kaydedilmiş verilerinin yalancı spektral hızları ve R=1, 4 ve 8 için yönetmelik spektrumları, (a) DB (FP), (b) KG (FD) ve (c) Düşey yönde.



Şekil 9. Anaşokun 22 istasyon tarafından kaydedilmiş verilerinin spektral deplasmanları ve R=1, 4 ve 8 için yönetmelik spektrumları, (a) DB (FP), (b) KG (FD) ve (c) Düşey yönde.

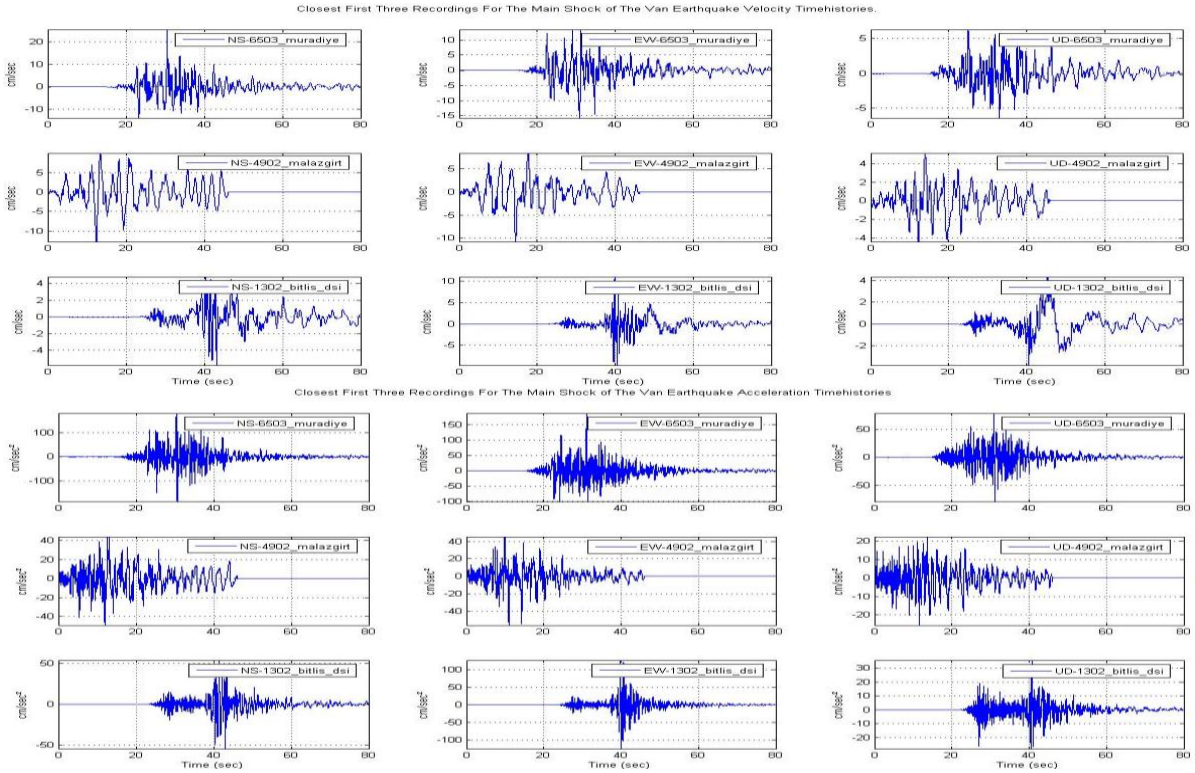
5.3. Yönelim ve Yırtılma Etkileri

Ana şoka kaynaklık eden faya yakın sahada istasyonların az olması önemli bir eksiklik olmakla beraber, elde edilenlerin dahi yönelim ve yırtılma etkilerinin tahlili için yeterli veriler olduğu kanaati oluşmuştur. Bu çerçevede yapılan hız çözümleri Şekil 10'da yakın üç istasyon için çizildiğinde kuvvetli hız bileşenlerinin FD yönde var olduğu görülmekte olup, faya yakın yapılarda yüksek hız talebi bilinmektedir (Chopra A.K., 2001; Champion C, 2010). Bu hız yapısı ilk kırılma enerjisinin boşaldığı yerden yüzeye ve yırtılma yayılım yönüne doğru gerçekleşmektedir (Somerville vd., 1997; Paul G. Somerville, 2003). Yönelim etkisi Şekil 10'da çizilen tavan blok istasyonları Muradiye ve Malazgirt hız hikayesinde büyük hız genlikli ardışık palslar ters fay mekanizmasının oblik yapısı içinde FD ve düşey bileşenlerde baskındır. Yırtılma cephesinde bulunan Bitlis-DSİ'nin hız hikayesinde büyük genlikli ve büyük periyotlu hız yapısı üstüne binmiş küçük genlikli küçük periyotlu palslar diğer iki istasyondan farklıdır. Muradiye ivme kayıtlarında gözlenen kısa süreli büyük ivme genliği özellikle yapılar için şiddetli hasar nedenidir. Bu durum yaklaşık aynı mesafede ve kuvvetli FD etki altında bulunan Erciş içinde geçerlidir. Hasarın büyümesi kısa süreli büyük ivme genlikleri ve FD etkilerle

açıklanabilir. Ayrıca, Muradiye(19Km) ve Bitlis-DSİ(82Km) ivme kayıtlarında iki koda yapıdaki ivme kayıdı parçalı kırılmaya işaretdir. Bu özellik Bitlis-DSİ kayıtlarında özellikle düşey bileşende ters fay mekanizmanın oblik gerçekleşmesiyle bir diğer özellik olarak çok parçalı kırılmaya işaret etmektedir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Türkiye'nin kaydedilmiş en büyük ters fay depreminin özellikleri ve ürettiği yapısal hasar yönetmelik elastik tasarım spektrumu referans alınarak tartışılmıştır. TDY-2007'nin can güvenliği performans seviyesi için önerdiği şiddetli depremi tarifleyen tasarım spektrumu ters-oblik fay yapının ürettiği Van depreminin spektral bileşenlerini bir zarf olarak kapsamaktadır. Yönetmeliğin önerdiği normal ve yüksek sünek yapı davranışı için tasarım spektrumu değerlerini bazı periyotlarda bir kaç kez aşan deprem spektrumu yapıların normal veya yüksek sünek tasarım içinde rezerv mukavemet yitimine ve sonrası eleman kalıcı hasarlarıyla can güvenliği ve göçme öncesi kriterleri sağlayacak şekilde betonarme çalışmasını önerirken, yönetmelik bölüm 3'de açıklanan betonarme binalar için depreme dayanıklı tasarım kurallarının uygulanmaması yapı göçmelerini bir sonuç olarak getirmiştir. Yapıların kötü imalat şartlarından veya yetersiz tasarım şartlarından kaynaklanan normal ve/veya yüksek sünek yapı davranışını deprem esnasında sergileyemedikleri anlaşılmaktadır.



Şekil 10. Yakın üç istasyonun kaydetiği anaşokun hız (ilk üç sıra), ivme (son üç sıra) zaman geçmişi.

Kaydedilen yer ivmesi değerlerinin küçük olmasına rağmen yönelim (directivity) etkisi, (ruptering) kırılma etkisi, yerleşim olarak fay normalinde bulunması ve tavan blok farkı Erciş'in yapısal hasarını büyütmüştür. Van yerleşiminin taban blokda yer alması daha küçük deprem kuvvetlerine maruz bırakmıştır. Çok parçalı kırılma ihtimali kırılma yönünde bulunan Bitlis-DSİ kayıtlarında kuvvetli ve kırılma yönünün arkasında kalan Muradiyede de anlaşılır mertebede görmekteyiz. Malazgirt kayıdının deprem öncesi süresinin olmaması ve kaydın 45 saniyede kesilmesine rağmen düşey atımlı bir ters fay yapısının ürettiği çok parçalı kırılma izleri yatay

bileşenlerde kuvvetli görülmektedir. Düşey bileşen hasara giren yapının kendi düşey ağırlığını artı/eksi değiştiren bir yer çekim kuvveti olduğu görülmeli ve göz önüne alınmalıdır. Van ve civar havzaların yüksek sismik yapısı ve mevcut gerilme dengelerinin değişmesi başka depremleri tetikleyebilmektedir. Bölgede yer alan/alacak olan örneğin Nissibi köprüsü gibi yüksek periyotlu yapıların ve diğer sanayi ve ulaştırma mühendislik yapılarının büyük periyotlu yüksek hız risklerine, statik deplasmanlara, FD ve FP yönler göz önüne alınarak yayılım, yönelim ve kırılma etkileri analizlerde göz önüne alınmalıdır.

KAYNAKLAR

Abrahamson, N. A., 2000, 'Effects of rupture directivity on probabilistic seismic hazard analysis', Proceedings of the Sixth International Conference on Seismic Zonation, Earthquake Engineering Research Institute, Palm Springs, CA, pp. 151–156.

Abrahamson, N.A., and Silva, W.J., 2008, 'Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground-motion relations', Earthquake Spectra, vol. 24, no. 1, pp. 67-97.

AFAD, 2011, Deprem Dairesi Başkanlığı, http://www.deprem.gov.tr

Barka, A. and Reilinger, R., 1997, 'Active tectonics of the Eastern Mediterranean Region: Deduced from GPS, neotectonic and seismicity data', Annelis de Geofisica, 40, 3, 587-610.

Bommer, J. J., Georgallides, G., and Tromans, I. [2001] "Is there a near-field for small-to-moderate magnitude earthquakes?," Journal of Earthquake Engineering 5(3), 395–423.

Boore, D.M., and Atkinson, G.M., 2008, Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5% damped PSA at spectral periods between 0.01s and 10.0s: Earthquake Spectra, vol. 24, no. 1, pp. 99-138.

Bülent Doğan, Ahmet Karakaş, 2012, Geometry of co-seismic surface ruptures and tectonic meaning of the 23 October 2011 Mw 7.1 Van earthquake (East Anatolian Region, Turkey), Journal of Structural Geology, 1-16.

Campbell, K. W. and Y. Bozorgnia (2008), NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10s, Earthquake Spectra, 24(1), 139-171.

Champion C., 'The Effect of Near-Fault Directivity on Building Seismic Collapse Risk', MS Thesis, University of Colorado at Boulder, 2010.

Chiou, B.S.J. and Youngs, R.R., 2008a, Chiou-Youngs NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters, Earthquake Spectra, vol. 24, no. 1, pp. 173-215.

Chopra A. K., Chintanapakdee C., 'Comparing response of SDF systems to near-fault and far-fault earthquake motions in the context of spectral regions' ,Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2001; 30:1769–1789.

D.M. Boore, 1999, 'Effect of Baseline Corrections on Response Spectra for Two Recordings of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake', USGS, Open-File Report 99-545

Derras, B., PY Bard, F. Cotton and A. Bekkouche, 2012, 'Adapting the Neural Network Approach to PGA Prediction: An Example Based on the KiK-net Data', BSSA, 102, doi: 10.1785/0120110088.

DSİ (1977). "Van-Erciş Plain Hydrogeological Investigation Report." DSİ Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, Ankara (in Turkish).

Graizer, V., and Kalkan, E., 2007. Ground motion attenuation model for peak horizontal acceleration from shallow crustal earthquakes, Earthquake Spectra 23, 585–613.

Jeoloji Mühendisleri Odası, 2012, Van (Tabanlı-Edremit) Depremleri Raporu.

Kalkan E. Gülkan P., 'Site-Dependent Spectra Derived from Ground Motion Records in Turkey', Earthquake Spectra, Vol.20, No. 4, pp. 1111-1138, Nov. 2004.

Koçyiğit, A., 2013, 'New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian Plateau, E Turkey', Journal of Asian Earth Sciences 60,586-605.

MATLAB 8.2, the MathWorks Inc., Natick, MA, 2008.

Özvan, A., Şengül, M.A. ve Tapan, M. (2008). "Van Gölü havzası Neojen çökellerinin jeoteknik özelliklerine bir bakış: Erciş yerleşkesi." Geosound, 52, 297-310 (in Turkish).

P. Somerville at all, 2000, 'Prediction of Ground Motions for Thrust Earthquakes', USGS

Paul G. Somerville, 'Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse', Physics of the Earth and Planetary Interiors, 137 (2003) 201-212.

PEER, 2012, http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database/spectras/17691/edit

Rolando Armijo et. al., 'Submarine fault scarps in the Sea of Marmara pull-apart (North Anatolian Fault): Implications for seismic hazard in Istanbul', G3, vol 6, No. 6, 2005

Somerville, P. G., Smith, N. F., Graves, R. W., and Abrahamson, N. A., 1997, 'Modification of empirical strong ground-motion attenuation relations to include the amplitude and duration effect of rupture directivity', Seismological Research Letters 68(1), 199–222.

TDY-2007, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007

UBC, Uniform Building Code, 1997, USA.