TÜRKİYE ULUSAL KUVVETLİ YER HAREKETİ GÖZLEM AĞI VERİLERİNİN MEVCUT YER HAREKETİ TAHMİN İLİŞKİLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Y. Kamer[1] ve C. Zülfikar[2]

[1] *Araştırma Görevlisi,Deprem Müh. Anabilim Dalı, Boğaziçi Üniversitesi, KRDAE*
[2] *Dr., Deprem Müh. Anabilim Dalı, Boğaziçi Üniversitesi, KRDAE*
Email: yaver.kamer@boun.edu.tr

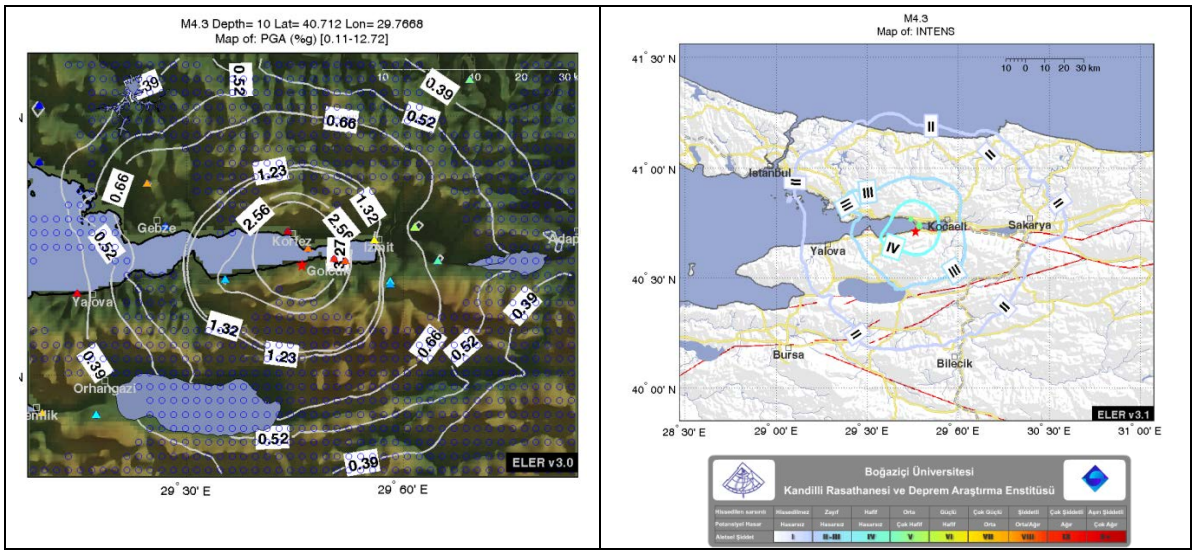
ÖZET:

Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı (AFAD, daphne.deprem.gov.tr) verileri ve Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kuvvetli yer hareketi verileri Avrupa Komisyonu 6. Çerçeve Programı NERIES "Network of Research Infrastructures for European Seismology" projesi kapsamında incelenmiştir. Proje kapsamında geliştirilen veri işleme kodu kullanılarak 1976-2011 yılları arasında kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi verileri (M2.2-M7.4) işlenmiş ve mühendislik parametreleri çıkarılmıştır. İşlenen veriler proje sonunda oluşturulan Avrupa deprem veri portalında (www.seismicportal.eu) arşivlenmiştir. İşlenen kuvvetli yer hareketi verilerinden elde edilen mühendislik parametreleri maksimum yer hareketi genlikleri, spektral değerler, yer hareketi süresi ve şiddet tahminlerini içermektedir. Bu hesaplanan parametreler deprem ve kayıt bilgileri ile ilişkilendirilmiştir. Merkez üssü uzaklıkları 0.36 km ile 655 km arasında değişen toplam 11208 (3736 x 3) kuvvetli yer hareketi verisi incelenmiştir. Elde edilen yer hareketi parametreleri gerçek zamanlı yerhareketi ve hissedilen şiddet haritalarının oluşturulmasında kullanılan Yer Hareketi Tahmin İlşkilerinin (YHTİ) değerlendirilmesinde ve karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER : Kuvvetli Yer Hareketi Verileri ve Parametreleri, Yer Hareketi Tahmin İlişkileri,

1. GİRİŞ

Tektonik yapısından dolayı deprem riskinin bir hayli yüksek olduğu ülkemizde deprem öncesi ve deprem sonrası uygulanabilecek zarar azaltma çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Deprem riski taşıyan bölgelerde deprem öncesinde yapılacak güçlendirme ve toplumu bilinçlendirme çalışmaları kadar depremden hemen sonra yapılacak acil müdahale faaliyetleri de hayati önem taşımaktadır. Depremin hemen ardından yaralı ve mahsur duruma düşenlerin kurtarılma şansları zamana bağlı olarak azaldığından yıkımın olduğu muhtemel yerlerin ivedilikle belirlenebilmesi gerekmektedir.
1999 Kocaeli depreminde de gözlendiği gibi depremin hemen ardından etki alanının ve yardımların nereye sevk edileceği bilgisine ancak günün ağarması ve bölgeden gelen gözlem raporları sayesinde ulaşılmıştır. Deprem felaketine maruz kalan yaralıların kurtarılmasında 72 saatin kritik süre olduğu göz önünde bulundurulduğunda hasarın tahmini ve tespiti için yapılacak hızlı çözümler önem kazanmaktadır.
Günümüzde zayıf ve kuvvetli yer hareketi gözlem ağlarının dünya çapında yaygınlaşması, istasyon sayılarının ve kapsama alanlarının artırılması sonucu depremlere ilişkin merkez üssü ve büyüklük gibi parametrelerin belirlenmesi için gereken süreyi ciddi oranda kısaltmıştır. Geçmiş depremlerden elde edilen kuvvetli yer hareketi kayıtlarının küresel ölçekte sistematik olarak derlenmesi ve regresyon analizleri sonucu çeşitli yer hareketi tahmin ilişkileri (YHTİ) elde edilmiştir. Bu gelişmelere ek olarak nüfus, bina, yer şekilleri, jeolojik yapı gibi verilerin coğrafi dağılımlarının yaygınlaşması ve iyileştirilmesine bağlı olarak depremin hemen sonrasında hissedilen şiddet, olası hasar ve can kaybı dağılımları elde edilmeye başlanmıştır.



Şekil 1. 20.01.2011 tarihinde Marmara Bölgesinde olan M4.3 depreminin ELER programı çıktısı pik ivme ve şiddet dağılım haritaları

2000'li yılların başında Amerikan Jeoloji Enstitüsü (USGS) tarafından geliştirilen ShakeMap yazılımı sayesinde depremlere ilişkin tahmini yer hareketi dağılım haritaları elde edilmeye başlanmıştır. Bu tür uygulamaların kullanımı günümüzde İtalya, Japonya, Romanya ve Yunanistan gibi ülkeleri de kapsayarak yaygınlaşmıştır. Ülkemizde de Avrupa Komisyonu 6. Çerçeve Programı tarafından finanse edilen NERIES "Network of Research Infrastructures for European Seismology" projesi JRA-3 çalışma grubu kapsamında BÜ-KRDAE Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı tarafından geliştirilen Earthqauke Loss Estimation Routine (Deprem Kayıp Tahmin Yazılımı) ELER sayesinde deprem parametreleri girilerek tahmini yer hareketi ve hissedilen şiddetin dağılım haritaları oluşturulmaktadır (Erdik, 2011). Şekil-1'de 20.01.2011 tarihinde Marmara Bölgesinde olan M4.3 depreminin ELER programı çıktısı pik ivme ve şiddet dağılım haritaları verilmiştir. Hasara neden olması muhtemel, belli bir büyüklüğün üzerindeki depremler için bu şiddet haritaları Türkiye nüfus ve bina envanteriyle birlikte kullanılarak olası kayıp haritaları oluşturulmaktadır. Yakın tarihte BÜ-KRDAE Ulusal Deprem İzleme Merkezi (UDİM) ile yürütülen entegrasyon ve otomasyon çalışmaları sonucunda deprem kaynak parametrelerinin belirlenmesinin hemen ardından otomatik olarak olası şiddet ve kayıp haritaları oluşturulmaya başlanmıştır (Ref: www.koeri.boun.edu.tr).
Bütün bu gelişmelerin ışığında, hesaplanan olası yer hareketi dağılımı ve bunlardan elde edilen şiddet haritalarındaki belirsizlikleri en aza indirmek ve şiddet bazlı kayıp tahminlerindeki güvenirliği artırabilmek için kuvvetli yer hareketi istasyon kayıtları büyük önem taşımaktadır.

2. YER HAREKETİ TAHMİN İLİŞKİLERİ (YHTİ)

Depremin etkin alanı içinde yer alan istasyonlardan alınan kayıtlardan elde edilen yer hareketi parametreleri hem bulundukları yerdeki şiddet ve kayıp tahminlerinin güvenirliğini artırmakta hem de istasyon olmayan yerlerdeki yer hareketlerinin kestirimi için kullanılan azalım ilişkilerinin kalibrasyonunda kullanılmaktadır.
Ülkemizde kurulu olan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının sayısı geçmişe kıyasla artış gösterdiyse de, ülkemizin büyük bir bölümünün etkin faylar barındıran 1. dereceden deprem bölgesinde yer aldığı düşünüldüğünde olası depremlerin etkisinin sadece gerçek istasyon kayıtlarına dayalı olarak belirlenmesi

güçleşmektedir. Bu noktada deprem etkisinin daha kapsamlı ve güvenilir olarak belirlenmesi için YHTİ ler devreye girer.

Dijital sensör ve kayıt teknolojilerinin gelişmesiyle farklı tektonik rejimlerde meydana gelen depremler için merkez üssüne farklı mesafede, farklı zemin tiplerinde elde edilen yer hareketi kayıtlarının sayısı giderek artmıştır. Bu tür kuvvetli yer hareketi kayıtları tekil olarak lineer/nonlineer yapısal ve zemin davranış analizlerinde kullanılabilecekleri gibi benzer kaynak mekanizması, merkez üssü uzaklığı, zemin tipine göre sınıflandırılarak bu parametrelere dayalı YHTİ lerin oluşturulmasında kullanılırlar. Günümüzde artan kuvvetli yer hareketi kayıt sayılarındaki çeşitlilik, farklı tektonik rejimler ve regresyon analizlerinde kullanılan farklı modellerden dolayı literatürde birçok YHTİ yer almaktadır.

Depremin hemen ardından gerçek istasyon kayıtlarının mevcut olmaması durumunda, oluşturulacak yer hareketi dağılım haritalarının doğruluğu kullanılan YHTİ nin meydana gelen deprem olayını tanımlamadaki başarımına bağlıdır. Elde edilen sonuçların bina ve nüfus envanterine dayalı kayıp tahminlerinde kullanılmasından dolayı gerçek zamanlı tahmini yer hareketi ve şiddet dağılım haritalarının oluşturulmasında kullanılacak YHTİ nin önemi büyüktür. Literatürde yer alan YHTİ ler için regresyon analizleri sonucunda elde edilen standart sapma değerlerini bilinse de bunlar sadece söz konusu YHTİ nin regresyonda kullanılan verilere ne kadar iyi uyum sağladığının göstergesidir. Deprem esnasında kaydedilen yer hareketi kayıtlarına ulaşıldığında bunlara en iyi uyum sağlayan YHTİ belirlenebilse de bunun mümkün olmadığı süre zarfında oluşturulacak yer hareketi dağılım haritalarında hangi YHTİ nin kullanılacağı önceden yapılacak değerlendirmelerle belirlenmelidir.

Bu çalışmada gerçek zamanlı yer hareketi ve hissedilen şiddet haritalarının oluşturulması esnasında kullanılacak YHTİ nin belirlenmesi için gerçekleştirilen değerlendirmeler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu kapsamda Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı verileri ve Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kuvvetli yer hareketi verileri NERIES projesi kapsamında incelenmiştir. 1976-2007 yılları arasında farklı büyüklük (M2.2-M7.4) ve merkez üssü uzaklıklarında (8.72 km - 512 km) kaydedilmiş toplam 6762 (2254 x 3) kuvvetli yer hareketi verisi işlenmiş ve mühendislik parametreleri çıkarılmıştır. Elde edilen mühendislik parametreleri maksimum yer hareketi genlikleri, spektral değerler, yer hareketi süresi ve şiddet tahminlerini içermektedir. Çalışmada bu parametrelerden yapısal davranış analizinde birinci dereceden öneme sahip olan en büyük yer ivmesi (PGA), 0.2s deki spektral ivme (PSA02) ve 1s deki spektral ivme (PSA10) değerleri deprem mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılan çeşitli YHTİ ler ile karşılaştırılmıştır. Bu YHTİ ler Tablo 1 de verilmiştir.

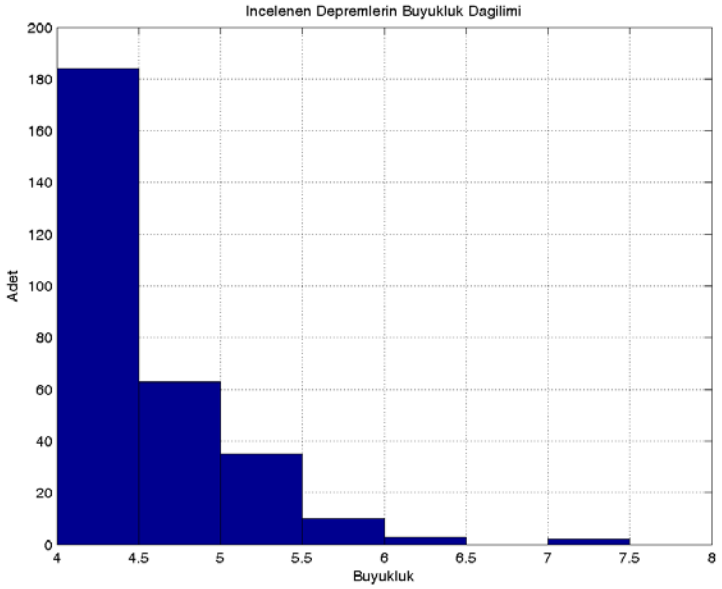
Tablo 1. Çalışmada kullanılan YHTİ

Tarih	Yazarlar	Kısaltma
1997	Abrahamson & Silva	AS_97
2007	Boore & Atkinson	BA_07
2007	Campbel & Bozorgnia	CB_07
2007	Chiou & Youngs	CY_07
1997	Boore vd.	BJF_97
1997	Sadigh vd.	SD_97
2008	Çeken vd.	CE_08
2004	Kalkan & Gülkan	KG_04
2004	Özbey vd.*	OZ_04

*: Bu çalışmada sadece 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri ve bunların artçı şoklarından elde edilen kayıtlar kullanılmıştır.

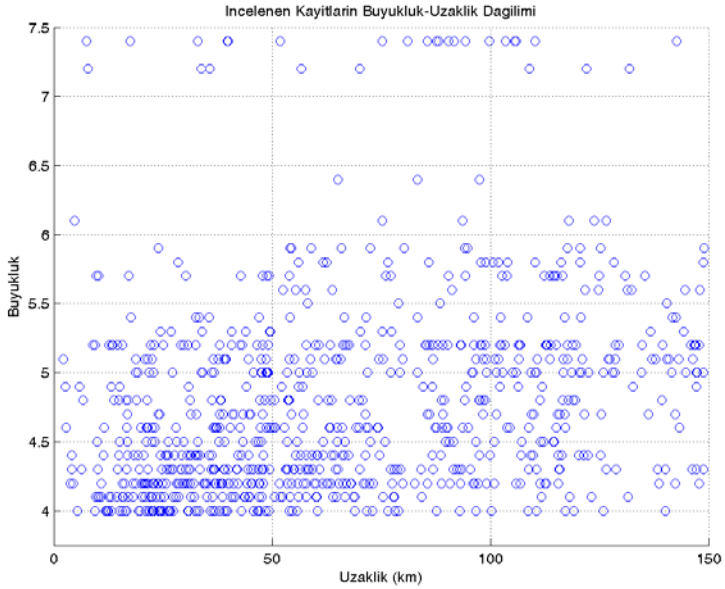
3. VERİLER

Çalışmada kullanılan yer hareketlerinin kaydedildikleri depremlere ilişkin büyüklük histogramı Şekil 2'de verilmiştir.



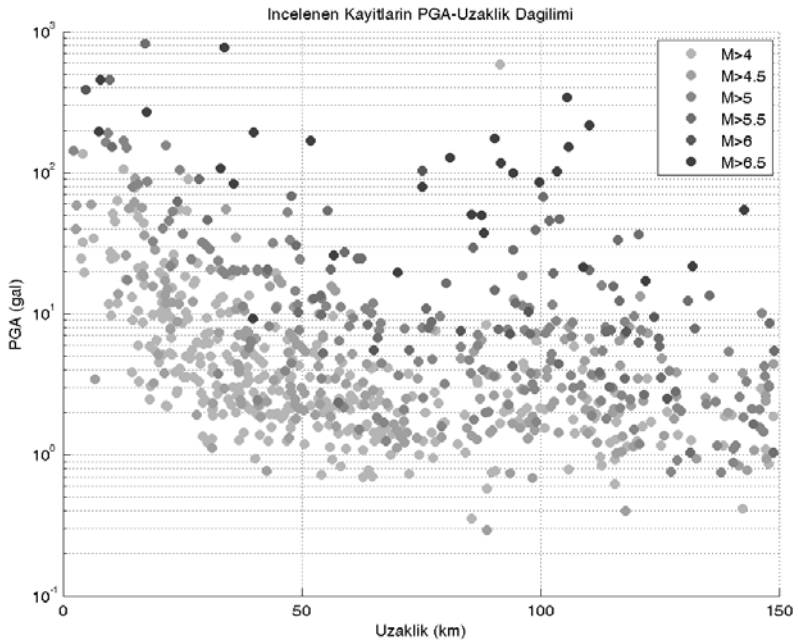
Şekil 2. Çalışmada kullanılan yer hareketlerinin kaydedikleri depremlere ilişkin büyüklük histogramı

Kayıtların deprem büyüklüğü ve istasyon-merkez üssü arası uzaklık ilişkisi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan kayıtların deprem büyüklüğü ve istasyon-merkez üssü arası uzaklık ilişkisi

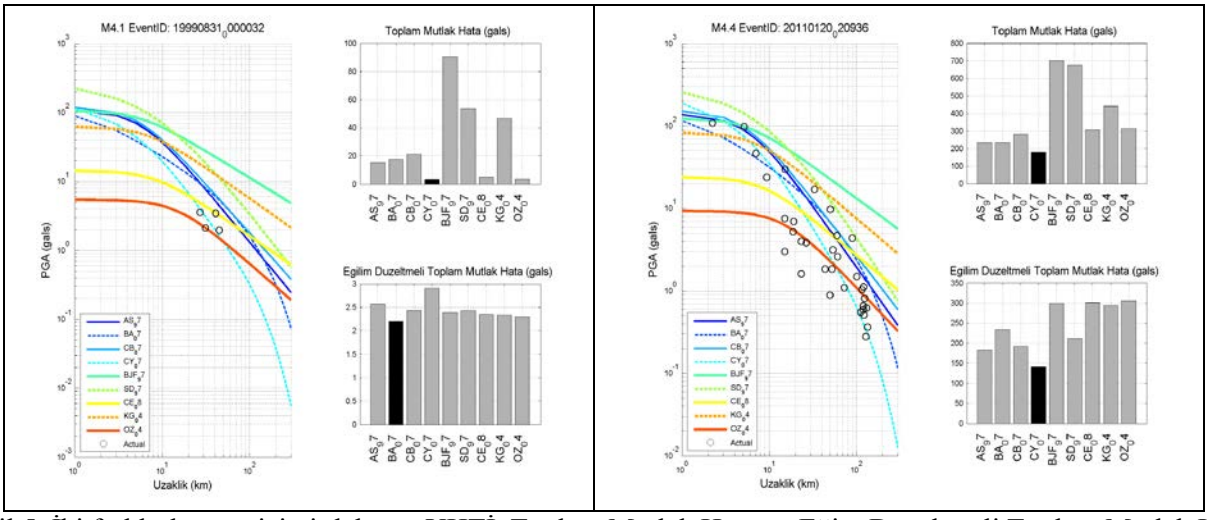
İncelenen kayıtların yatay ekseninde tespit edilen en büyük yer ivmesi ve bu kayıtların merkez üssüne uzaklıkları arasındaki ilişki Şekil 4'te verilmiştir. Bu şekildeki noktalar ait oldukları depremlerin büyüklüklerine göre açıktan koyuya doğru renklendirilmiştir.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan yatay eksen kayıtlarının pik ivme – merkez üssü uzaklığı ilişkisi

4. YÖNTEM

Gerçek zamanlı tahmini yer hareketi dağılım uygulamalarında amaç sahada ölçülen/gözlenen değerlere en yakın dağılımı elde etmektir. Bu nedenle ele alınan YHTİ lerin değerlendirilmesinde sadece depremin oluş anından hemen sonra yayınlanan parametreler (büyüklük, merkez üssü ve derinlik) kullanılmıştır. İlerleyen zamanlarda depreme ilişkin olarak elde edilen doğrultu, atım fay yırtığı gibi kaynak bilgileri kullanılarak tahminlerin doğruluğu artırılabilecek olsa da öncelikli amacın dağılımın en hızlı biçimde elde edilmesi olduğu dikkate alınarak bu yöntem uygulanmıştır. Yer hareketi dağılım haritaları depremin etkilediği sınırlı alanlar için oluşturulduğundan karşılaştırmalarda merkez üssüne 150 km ve daha yakın istasyonlar dikkate alınmıştır. Tahminlerin yapıldığı lokasyonlardaki zemini NEHRP sınıflandırmasına göre BC olarak alınmıştır. Parametreler istasyonlarda 3 eksende ölçülen yer hareketi kayıtlarından hesaplanmış ve yatay eksenlerin geometrik ortalaması o istasyona ait parametre olarak atanmıştır. Karşılaştırma sonucunda her depremde ölçülen ve YHTİ ler ile tahmin edilen değerler arasındaki mutlak hata hesaplanmış ve bunların toplamı o YHTİ nin ilgili depremdeki başarım ölçütü olarak kaydedilmiştir. Bir diğer başarım ölçütü de YHTİ tahminlerine eğilim düzeltme katsayısı uygulandıktan sonra elde edilen fark değeridir. Bu yöntemde YHTİ tahminleri ile ölçülen değerler arasındaki toplam mutlak hatayı minimize eden katsayı bulunur ve YHTİ tahminleri bu katsayı ile çarpılır

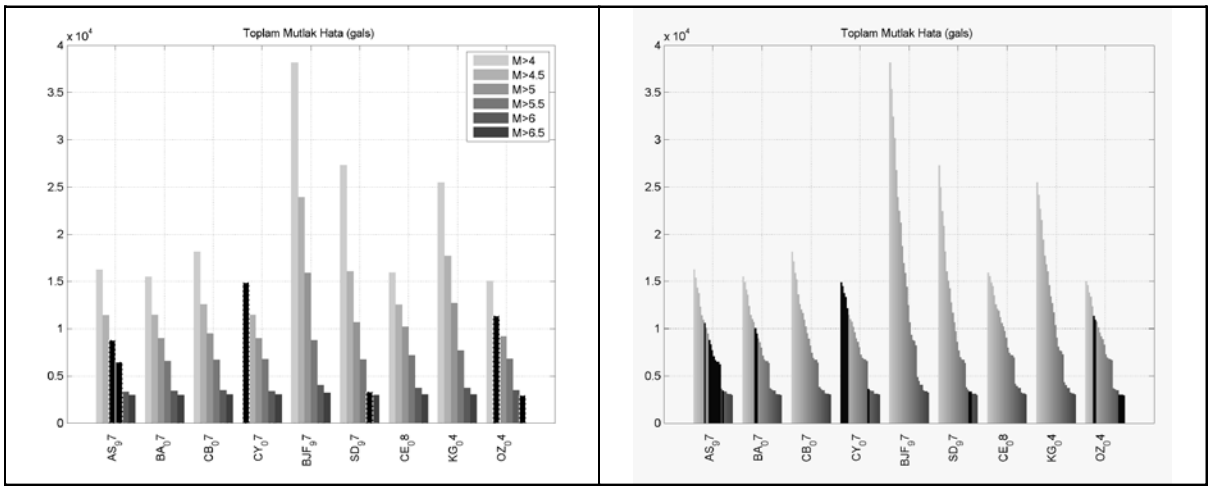


Şekil 5. İki farklı deprem için irdelenen YHTİ, Toplam Mutlak Hata ve Eğim Düzeltmeli Toplam Mutlak Hata grafikleri

5. KARŞILAŞTIRMA SONUÇLARI

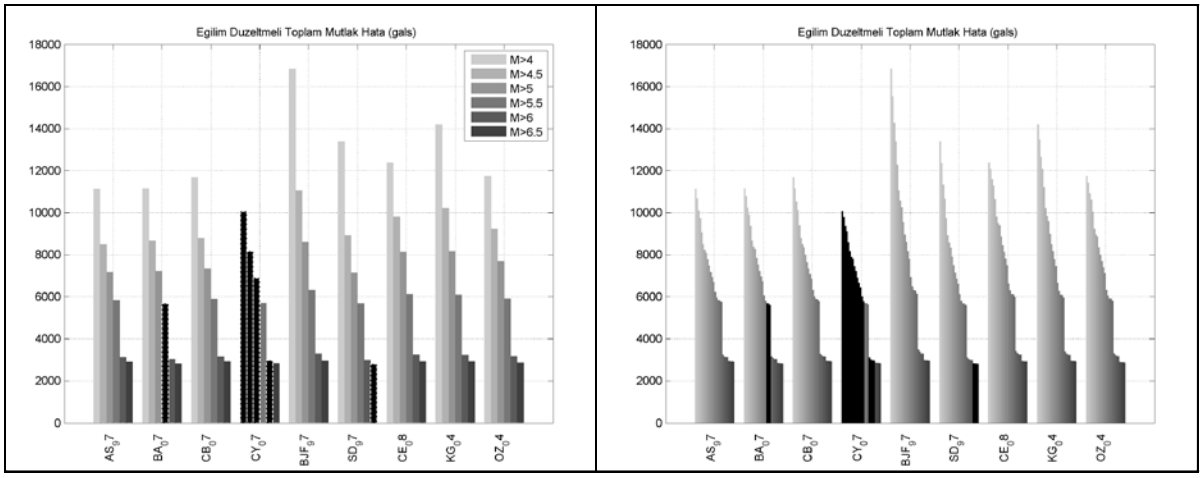
İrdelenen YHTİ lerin deprem sonrası kaydedilen kuvvetli yer hareketlerinde ölçülen en büyük yer ivmesine göre hesaplanmış toplam mutlak hata değerleri iki örnek deprem için Şekil 5'te verilmiştir. Burada görüldüğü üzere her YHTİ ler arasında belirgin başarım farklılıkları bulunmaktadır. Her tahmin ilişkisi için ölçülen değerlere en yakın tahmini sağlayan eğilim düzeltme katsayısı hesaplanıp tahmin değerlerinin bu katsayı ile çarpılmasından elde edilen toplam hatalardan da görüldüğü üzere düzeltmesiz ve düzeltmeli değerler arasında farklar mevcuttur. Eğilim düzeltme katsayısının tahmin ilişkisine ilişkin eğriyi sadece düşey düzlemde kaydırdığı göz önünde bulundurulursa bu düzeltme katsayısının kullanıldığı karşılaştırmaların depremde gözlenen azalımın şekline en iyi uyumu sağlayan YHTİ ilişkisini ortaya çıkardığı söylenebilir. Ölçülen değerlerin birbirine yakın tek bir uzaklık bandında kümeleştiği durumlarda, eğilim düzeltme katsayısı uygulandığında tüm YHTİ ler birbirlerine yakın toplam hata değerleri vermektedir. Bunun nedeni tek nokta etrafında kümeleşmiş verilerin eğilim düzeltmesinde kısıtlayıcı olamamaları ve düşey eksendeki kaydırmalarla farklı eğrilerin kümeleşme noktasına çekilebilmeleridir.

İncelenen YHTİ için her depremden için elde edilen toplam hata değerlerinin toplanmasıyla her tahmin ilişkisinin tüm kuvvetli yer hareketi veritabanı üzerindeki genel başarımı elde edilmiştir. Şekil 6'da herhangi bir düzeltme olmaksızın her YHTİ ne ilişkin toplam hata değerleri verilmiştir. Bu şekilde farklı büyüklüklerin üzerindeki depremlerden elde edilen toplam hata değerleri ayrı renklerle gösterilmiştir. Bir başka deyişle açık renkli sütunlar küçük depremleri de kapsarken renk koyulaştıkça sonuçlar artan büyüklükteki depremlerden elde edilen hataları yansıtmaktadır. Her bir sınıfta en az hatayı veren YHTİ nin sütunu siyah renkle gösterilmiştir. Örneğin Şekil 6'a da Chiou & Youngs 2007 tahmin ilişkisinin M4 ve üzeri bütün depremlerde en az hataya sahip olduğu görülmektedir. Şekil 6'a daki sınıflandırma M0.5 lik aralıklarla yapılmıştır, deprem büyüklüğü-toplam hata arasındaki ilişkinin daha net görülebilmesi için aynı analiz M0.1 lik aralıklar için de tekrarlanmıştır. Buna ilişkin sonuçlar Şekil 6'b de verilmiştir.



Şekil 6. Her bir YHTİ için toplam hata değerleri

Eğilim düzeltmeli hata değerlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Buradan görüldüğü üzere eğilim düzeltmesi uygulandığında farklı aralıktaki depremlerde en iyi tahminler veren YHTİ ler değişmektedir. Çalışmada dikkate alınan merkez üssü etrafındaki 150 km çapındaki alanda sadece tek bir yer hareketi kaydının mevcut olması durumunda eğilim düzeltmesinin yapılmadığı unutulmamalıdır.



Şekil 7. Her bir YHTİ için Eğilim düzeltmeli toplam mutlak hata değerleri

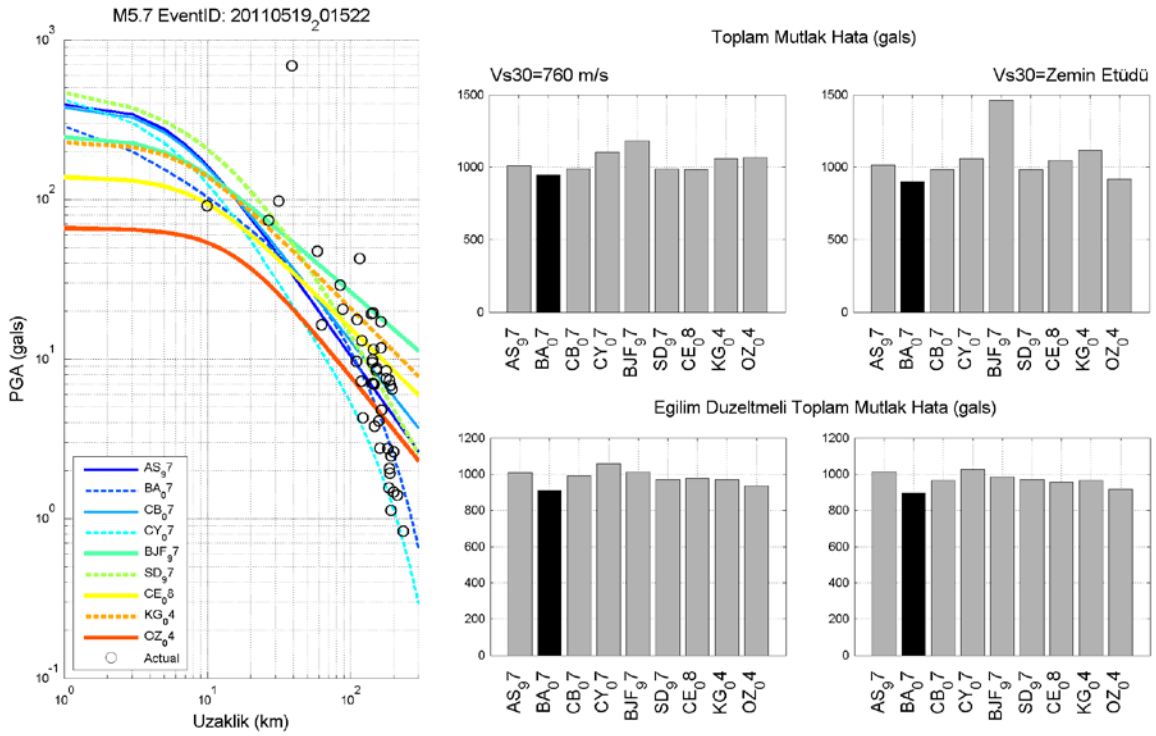
6. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ ETKİSİ

Daha önceki bölümde de belirtildiği üzere YHTİ ler ile kestirim yapılan istasyon lokasyonlarında zemin NEHRP sınıflandırmasına göre BC olarak alınmıştır. Bunun başlıca nedeni olası bir depremin hemen arkasından oluşturulacak yer hareketi dağılım haritalarında tahmin yapılacak olan noktalardaki zemin koşullarının bilinmemesidir. Bir diğer kısıtlayıcı sebep de Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı ve Kandilli

Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü bünyesinde yer alan istasyonların bir kısmında zemin etütlerinin yapılmamış olmasıdır.

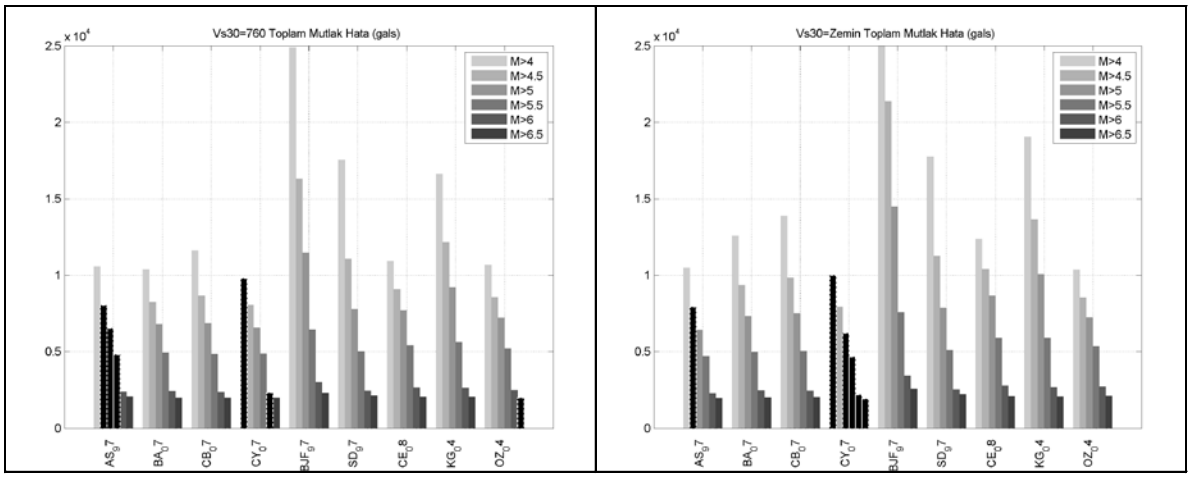
Yerel zemin koşullarının yer hareketi kayıtlarının büyüklük ve frekans dağılımlarında bir hayli etkili olduğu bilinmektedir. Bu yüzden zemin koşullarının YHTİ başarımlarına etkisini incelemek amacıyla zemin etüdü yapılmış ve üst 30 metredeki kayma dalgası hızı (Vs30) hesaplanmış istasyonlar belirlenmiştir. Seçilen bu istasyonlarda kaydedilen yer hareketi kayıtları ilk önce Vs30=760 m/s (NEHRP BC sınıfı) alınarak yapılan YHTİ kestirimleri ile kıyaslanmış ve toplam hata değerleri elde edilmiştir. Daha sonra aynı YHTİ kestirimler bu sefer her istasyonda yapılan zemin etüdünden elde edien Vs30 değerleri kullanılarak yapılmış ve elde edilen hatalar kıyaslanmıştır.

Şekil 8 de 19 Mayıs 2011 tarihli M5.7 Simav depremi için her iki Vs30 durumunda elde edilen toplam mutlak hata sonuçları verilmiştir. Bu şekilde bazı YHTİ lerde kestirimde zemin etüdü sonucu bulunan Vs30 değerinin kullanılmasının hatayı azalttığı (BA_07, CY_07, OZ_04) bazılarında ise artırdığı (BJF_97, CE_08, KG_04) görülmektedir. Sert zeminlerde daha düşük yer hareketi büyüklükleri bekendiğinden Vs30=760 m/s için gerçek kayıtların üstünde tahmiler veren YHTİ ler, yerel zemin koşullarında daha yumuşak zeminlerin hesaba katılmasıyla daha da yüksek tahmin değerlerine çıkıp toplam hatalarını artırmaktadırlar.



Şekil 8. 19.05.2011 Simav depreminde yerel zemin koşullarının toplam kestirim hatasına etkisi

Sadece zemin etüdü yapılmış istasyonlarda edilen kayıtlar dikkate alınarak tüm depremler üzerinden elde edilen toplam hata değerleri NEHRP BC ve yerel zemin koşullarına göre karşılaştırmalı olarak Şekil 9 da verilmiştir. Buradan görüleceği üzere Vs30 un hesaba katılmasıyla BA_07 ve CB_07 nin toplam hatasında belirgin bir düşüş olurken buna BJF_97 ve KG_04 te hata artmıştır.



Şekil 9. Tüm kayıtlar için NEHRP BC ve yerel zemin koşullarına göre toplam hata

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada 1976-2007 yılları arasında Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı ve Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından kaydedilmiş kuvvetli yer hareketlerinden elde edilen mühendislik parametreleri irdelenmiştir. Ülkemizde halen yürütülmekte olan gerçek zamanlı yer hareketi ve bunlara bağlı hasar tahmin çalışmalarında kullanılabilecek, literatürde yer almış çeşitli YHTİ'lerin bu kayıtları tahmin etmekteki başarımları değerlendirilmiş ve karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlarda farklı deprem büyüklüklerinde farklı YHTİ lerin iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Kaydedilen yer hareketlerine göre yapılan eğilim düzeltmesi işleminin tahmin ilişkilerinin hatalarını azaltmasına rağmen doğru YHTİ seçiminin önemli olduğu gözlenmiştir. BJF_97, KG_04 ve SD_97 ile yapılan kestirimlerde diğer YHTİ lerine kıyasla belirgin olarak daha yüksek hatalar elde edilmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda yurtdışındaki çalışmalarda geliştirilen tahmin ilişkilerinin ülkemizde nispeten iyi sonuçlar verdiği de gözlenmiştir.
Çalışmada sunulan karşılaştırma yöntemi ülkemizde ve yurtdışında yürütülen deterministik ve olasılıksal tehlike ve kayıp tahminlerinde kullanılacak YHTİ lerin seçiminde kullanılabilir. Bu alanda ileriye dönük yapılacak çalışmalarda deprem kaynak parametrelerinin ve istasyon zemin durumlarının da dikkate alınmasıyla bu verilerin YHTİ başarımlarına etkisinin detaylı olarak istasyon ve deprem bazlı incelenmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Abrahamson, N. A., and W. J. Silva (1997), Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes, *Seismological Research Letters, 68*(1), 94-127.

AFAD, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (www.afad.gov.tr)

Boore, D. M. and G. M. Atkinson (2008). Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s, *Earthquake Spectra* 24

Boore, D. M., W. B. Joyner, and T. E. Fumal (1997), Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: A summary of recent work, *Seismological Research Letters*, *68*(1), 128-153.
Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y.(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 10 s. *Earthquake Spectra*, 24:139.

Chiou, B.S.J. and Youngs, R.R. (2008) An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra*, 24:173.

Çeken U., Beyhan G. ve Gülkan P. (2008). Kuzeybatı Anadolu Depremleri için Kuvvetli YerHareketi Azalım İlişkisi, *18. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi*, Vol:3B14, ss:1-4,Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Kültür Sitesi, Ankara, 14-17 Ekim.

Erdik M., Sesetyan K., Demircioglu M.B., Hancilar U. and Zülfikar C. (2011) Rapid earthquake loss assessment after damaging earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(2):247 - 266
Kalkan E. Gülkan P (2004). Empirical Attenuation Equations for Vertical Ground Motion in Turkey, *Earthquake Spectra*, Vol. 20, No. 3, pp. 853-882.

Ozbey, C., Sari, A., Manuel, L., Erdik, M. and Fahjan, Y.(2004). An empirical attenuation relationship for Northwestern Turkey ground motion using a random effects approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(2):115–125.

Sadigh, K., C. -Y. Chang, J. A. Egan, F. Makdisi, and R. R. Youngs (1997), Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data, *Seismological Research Letters*, *68*(1), 180-189.