YER HAREKETİ TAHMİN DENKLEMLERİNİN ESKİŞEHİR ŞEHRİ İÇİN İSTATİSTİKSEL OLARAK UYGUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ

Hakan KARACA[1], M. Semih YÜCEMEN[2]

[1]Doktora Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, ODTÜ, Ankara
[2]Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, ODTÜ, Ankara
[1]karaca26@hotmail.com, [2]yucemen@metu.edu.tr

ÖZET:

Bu çalışmanın amacı Eskişehir ili ve civarındaki geçmiş depremsellik göz önüne alınarak ve en yaygın yer hareketi tahmin denklemleri kullanılarak yerel bir spektral ivme eğrisi elde etmektir. Türkiye'nin depremselliği göz önüne alındığında, Eskişehir'in en aktif deprem kuşağında bulunmadığını görürüz. Ancak, Eskişehir, depremselliği yüksek olan Ege Bölgesi ile, Kuzey Anadolu Fay Hattı arasında bir geçiş bölgesinde bulunmaktadır. Dolayısıyla Eskişehir için hem yakın hem de uzaktaki depremlerden etkilenme olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenle Eskişehir ili için deprem tehlikesi ve risk değerlendirilmesinin yapılmasında yer hareketi tahmin denklemlerinin gerçeğe yakın olması çok önemlidir.

Bu çalışmanın sonunda yerel spektral ivme eğrisi elde edilmesi için hali hazırdaki yer hareketi tahmin denklemlerinin o bölgenin depremselliği göz önüne alınarak parametrelenin değiştirilmesi ya da parametrik katsayılarının yeniden çıkarılmasının gerçeğe en yakın sonucu elde etmeye yönelik bir yaklaşım olduğu gösterilmiştir. Çalışmada moment büyüklüğü 7.0 olan ve şehir merkezine 10 km uzaklıktaki bir depremin ivme spektrumları uygun görülen denklemler kullanılarak hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

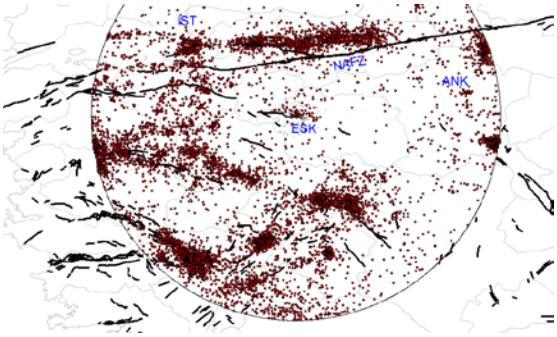
1. GİRİŞ

Sismik tehlike analizinin önemli bir kısmını tehlikenin belirleneceği alan için en uygun yer hareketi tahmin denkleminin belirlenmesi oluşturur. Şu an halen kullanımda olan ve özellikle belirli alanlara özel, sadece birkaç çeşit deprem tipi için geliştirilmiş yer hareketi tahmin denklemleri bulunmaktadır. En yaygın olarak kabul gören ve kullanımda olan yer hareketi tahmin denklemlerinin oluşturulmasında küresel veritabanları kullanılmış, birçok değişik ülkede ve kıtada meydana gelmiş depremler veritabanlarına dâhil edilmiştir. Ancak, bu denklemlerin herhangi bir alan için uygulanabilirliği, o alanın yerel sismik verileri ve jeolojik yapıları göz önüne alınarak sorgulanmalıdır. Dolayısıyla, bu denklemler kullanılarak o alana özel bir analizin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, yerel ve geçmiş depremler kullanılarak Eskişehir şehri için ivme spektrumu geliştirmek olup, yöntem olarak Campbell (2003) tarafından önerilen ampirik yerine koyma metodu ele alınmış ve en yaygın olarak kullanılan yer hareketi denklemleri ile, Eskişehir için derlenen veritabanına göre bu denklemlerin uyumluluğu araştırılmıştır.

2. BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ VE AZALIM İLİŞKİLERİ

Türkiye'nin depremselliği göz önüne alındığında Eskişehir şehrinin en aktif deprem bölgelerin dışında olduğunu görürüz. Ancak tektonik olarak aktif Ege Bölgesi ile dünyanın en aktif fay hatlarından birisi olan Kuzey Anadolu Fay Hattı arasında bulunması nedeniyle deprem tehlikesine maruz kalabilecek bir konumdadır. Şimdiye kadar derlenmiş 1900 öncesi depremlerle ilgili kataloglarda, Eskişehir ve çevresinde kaydedilmiş önemli bir depreme rastlanmamıştır (Ambraseys, 2009). 1900-2010 arasında ise, 20.02.1956 tarihli ve M_s=6.4 büyüklüğünde meydana gelen deprem, Eskişehir'e en yakın ve en büyük deprem olarak kayda geçmiştir.

Bir yer hareketi tahmin denkleminin geliştirilmesinde ya da değerlendirilmesinde en önemli adımlardan birisi, denklem parametrelerinin yerel yer hareketleri ile olan bağıntısının uyumlu olup olmadığının değerlendirilmesidir. Dolayısıyla, ilk aşama olarak bölge için geçmiş yer hareketlerinin derlenmesi önemlidir. Bu çalışma için, 39.78^0 K ve 30.52^0 D koordinatında bulunan Eskişehir; 300 km çapında bir çemberle çevrelenmiş 27.5^0-33.5^0 D boylam ve 37.5^0-42.0^0 K enlemleri arasında kalan bir alanda, yer hareketleri incelenmiştir. Şekil 2.1'de görüldüğü üzere incelenen bölgedeki depremsellik Kuzey Anadolu Fay Hattında ve Ege Bölgesinde yoğunlaşmakta, fakat Eskişehir de kayda değer yer hareketlerine maruz kalmaktadır.



Şekil 2.1. 1900 -2008 arası Eskişehir ve Çevresi Depremselliği (Magnitüd>3.0 ; KOERI'den alınma)

2.1. Yer Hareketi Tahmin Denklemleri

Türkiye'de deprem tehlikesinin modellenmesi çalışmalarında, başka ülkeler için geliştirilmiş yer hareketi tahmin denklemleri kullanılmıştır. Erdik vd. (1985) ve Gülkan vd. (1993) Amerika'nın Kaliforniya eyaletinde bulunan San Andreas fay sisteminin Kuzay Anadolu Fay Hattına benzerliği nedeniyle bu eyalet için geliştirilen denklemlerden yararlanmışlardır. Zorunlu Deprem Sigortası Programı kapsamında yapılan çalışmalarda Batı Amerika için geliştirilen denklemlerin yeterince güvenilir ve uygulamasının kolay olması ve Türkiye kuvvetli yer hareketlerinin davranış biçiminin Batı Amerika verileri ile benzerlikleri nedeniyle bu bölge için geliştirilen denklemler uygun görülmüştür (Bommer vd., 2002).

1999 yılına kadar, Türkiye'ye özel bir yer hareketi tahmin denklemi geliştirmek için yeterli sayıda yer hareketi kaydı bulunmamaktaydı. 1999'da meydana gelen depremlerden sonra, birçok araştırmacı tarafından yer hareketi tahmin denklemleri geliştirilmeye başlanmıştır (Gülkan ve Kalkan, 2002, Kalkan ve Gülkan, 2004, Özbey vd, 2004). ABD'de "Yeni Nesil Yer Hareketi Tahmin Denklemleri Geliştirilmesi" adı altında oluşturulan ve en yaygın olarak kullanılan denklemlerin geliştiricisi beş ayrı takım tarafından; denklemlerin güncelleştirilmesi ve yeni bilgiler doğrultusunda geliştirilmesi planlanmıştır. Artan mühendislik, akademik ve sigorta sektörünün gereksinimlere uygun olarak tasarlanan denklemler yeni bulgular ve meydana gelen depremlerin de eklenmesiyle derlenen genişletilmiş kataloglardan yararlanılarak geliştirilmiş, yeni değişkenlerin eklenmesiyle denklemlerin hassaslığı artırılmıştır. Abrahamson ve Silva (1997), Boore vd. (1997), Campbell (1997), Campbell ve Bozorgnia (2003) Sadigh vd. (1993,1997) ve Idriss (1991, 2002) tarafından yayımlanan denklemler geliştirilerek Abrahamson ve Silva (2008), Boore ve Atkinson (2008); Campbell ve Bozorgnia (2008); Chiou ve Youngs (2008) ve Idriss (2008) yayınlarında tanıtılmış ve sunulmuştur.

3. YÖNTEM, VERİ HAZIRLANMASI VE ANALİZ

Eskişehir ve yöresinde meydana gelen depremlerle ilgili olarak veritabanı oluşturulmasında özellikle 1961 ve sonrası için herhangi bir sıkıntı bulunmamakla beraber, kayıtlı kuvvetli yer hareketi verilerinin azlığı ve bu hareketlerin çok az meydana gelmiş olması bir eksiklik olarak kaydedilmiştir. Zayıf yer hareketlerinin bolluğu, bu veritabanı kullanılarak geliştirilen yer hareketi tahmin denklemlerinin kuvvetli yer hareketlerini modellemede

zayıf kalmasına sebep olacaktır. Bu nedenle, Campbell (2003) tarafından geliştirilen ampirik yerine koyma yöntemi kullanılacak ve yer hareketi tahmin denklemlerinde gerekli değişiklikler yapıldıktan sonra veritabanını oluşturan depremler değerlendirilerek değişkenlerin katsayıları hesaplanacaktır

Türkiye için en yaygın olarak kullanılan yer hareketi tahmin denklemlerinden Ambraseys (1996), Boore vd. (1997), Abrahamson ve Silva (1997), Sadigh vd. (1997), Campbell (1997), Idriss (2002) ve yeni nesil yer hareketi tahmin denklemlerinden Abrahamson ve Silva (2008), Boore ve Atkinson (2008), Campbell ve Bozorgnia(2008), Chiou ve Youngs(2008), Idriss(2008) ve özellikle Türkiye için oluşturulan Gülkan ve Kalkan (2002), Kalkan ve Gülkan (2004), Özbey vd (2004) ve Akkar ve Çağnan (2010) tarafından tasarlanan denklemler değerlendirilecek, karşılaştırılacak ve hazırlanan veritabanı ve yerel zemin koşulları göz önüne alınarak uygunlukları belirlenecektir.

Her araştırmacı değişik bir veritabanı oluşturmuş ve denklemlerini çıkartmıştır. Sonuç olarak bu farklı kaynaklar kullanılarak geliştirilmiş denklemlerin bu çalışma için uygunluğunun araştırılması gerekmektedir. Tablo 3.1'de bu denklemlerin magnitüd, mesafe, kayma dalgası vb. gibi değişkenlerle kullanılabilirlik sınırları verilmektedir.

Tablo 3.1. Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinin Uygulama Sınır Değerleri

Model*	Magnitüd	Mesafe (km)	V_{s30} (m/s)	Diğer Değişkenler
A96	$4.0 \le M_S \le 7.5$	$R_{rup} \le 200$ km	-	-
AS97	$4.5 \le M$	-	-	N-S ve E-W ortalaması
BJF97	$5.5 \le M \le 7.5$	$R_{JB} \le 80$ km	-	Sığ (Yırt Der. < 20 km)
SY97	$4.0 \le M$ (SS, RV)	$R_{rup} \le 100$ km	-	Sığ Depremler
I02	$4.5 \le M \le 8.0$	$R_{rup} \le 100$ km	$450 \le V_{s30} \le 900$	-
OB04	$5.0 \le M$	$R_{JB} \le 100$ km	-	Yatay Bileşenlerin
AS08	$5.0 \le M \le 8.5$	$R_{rup} \le 200$ km	-	-
BA08	$5.0 \le M \le 8.0$	$R_{rup} \le 200$ km	$180 \le V_{s30} \le 1300$	-
CB08	$4.0 \le M \le 7.5$	$R_{rup} \le 200$ km	$180 \le V_{s30} \le 1300$	$Z_{2.5} \le 10$ km
CY08	$4.0 \le M \le 8.0$ (NM ve	$R_{rup} \le 200$ km	$180 \le V_{s30} \le 1300$	-
I08	$4.5 \le M \le 8.0$	$R_{rup} \le 200$ km	$450 \le V_{s30} \le 900$	-
AC10	$5.0 \le M \le 7.4$	$R_{rup} \le 200$ km	-	-

* A96, Ambraseys (1996), AS97, Abrahamson ve Silva (1997), BFJ97, Boore, Fumal and Joyner (1997), SY97, Sadigh vd.(1997), I02, Idriss (2002), OB04, Özbey vd (2004), AS08, Abrahamson ve Silva (2008), BA08, Boore ve Atkinson (2008), CB08, Campbell ve Bozorgnia (2008), CY08, Chiou ve Youngs (2008), I08, Idriss (2008) ve AC10 Akkar ve Çağnan (2010) yerine kullanılmıştır.

Tablo 3.1. de sunulan bilgiler ışığında CY08 denkleminin çok fazla veriye gereksinim duymasından ve bu çalışma kapsamında toplanabilen verilerin yetersiz kalmasından dolayı bu denklem dışlanmıştır. Her denklemin kullanım amacına uygun olarak değişen değişkenleri bulunmakla beraber, bütün denklemlerde magnitüd, mesafe, fay tipi ve yerel zemin koşulları ile ilgili değişkenler yer almaktadır. Ayrıca bunların bazılarında alüvyon zemin derinliği, fay kırılma şekilleri ve kırılma derinliği, fay aynası açısı gibi çok daha detaylı zemin koşulları ve deprem oluş biçimleri ile ilgili değişkenler de bulunmaktadır.

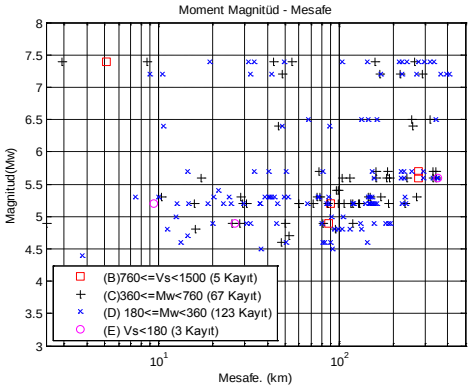
3.1. Kuvvetli Yer Hareketleri Veritabanı

Tablo 3.2.'de gösterilen ve 1976-2009 arasında meydana gelen 27 adet kuvvetli yer hareketinin 199 toplam kaydı, Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Projesi (2007) ve Afet İşleri Genel Müdürlüğünün internet sayfasından elde edilmiştir.

Bu depremler seçilirken deprem büyüklüğü açısından homojen bir dağılım hedeflenmiş; ayrıca kayıtlarda bir ya da birkaç depremin ağırlığının olmamasına dikkat edilmiştir. Depremlerin magnitüdü 4.0 ile 7.4 arasında değişmekte olup, eleme yöntemi ile bazı depremler üstte verilen listeye sokulmamıştır. Kaynak-kayıt istasyonu uzaklıkları 2.4 km ile 657.3 km arasında değişmekte olup, Şekil 3.1 de görüleceği üzere yine homojen bir mesafe dağılımı olmasına özen gösterilmiştir. Fay çeşitleri yerel fayların genel özelliklerini yansıtmakta olup, güneyde normal ve kuzeyde (Kuzey Anadolu Fay Hattı ve çevresinde) yanal atımlı faylar olmak üzere iki türlüdür. Kayıt istasyonlarının bulunduğu noktalardaki en üst 30 m'lik tabakanın ortalama kayma dalgası hızı için yukarıda bahsi geçen proje kapsamında yapılan ölçümlerden elde edilen değerler kullanılmıştır. Kayma dalgası hızları NEHRP tarafından yapılan sınıflandırmaya göre değerlendirildiğinde, Şekil 3.1'de de görüldüğü üzere, kayıt istasyonlarının zeminlerinin çoğunlukla C ve D zeminleri olarak sınıflandırılması gerekmektedir. Deprem kayıtları iki yatay ve bir dikey olmak üzere üç tane kayıt içermektedir. Regresyon analizi için kullanılan girdi iki yatay yer ivmesi değerinin geometrik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. 2007 tarihine kadar olan kayıtlar Kuvvetli Yer Hareketi Projesi kapsamında işlenmiş olup (2005-2009), 2007 tarihinden sonraki kayıtlar için bu proje standartları göz önüne alınarak kayıtlar işlenmiştir.

Tablo 3.2. Bu Çalışmada Kullanılacak Veritabanını Oluşturan Depremlerin Listesi

Tarih	Deprem	Fay	M_w	Derinlik (km)	Dış Merkez Enlem	Dış Merkez Boylam	Kayıt Sayısı
19.08.1976	Denizli	N	5.3	20	37.71	29.00	1
18.07.1979	Dursunbey	SS	5.3	7.0	39.66	28.65	1
29.03.1984	Balıkesir	SS	4.5	0.0	39.64	27.87	1
01.10.1995	Dinar	N	6.4	5.0	38.11	30.05	2
21.01.1997	Buldan	N	4.8	9.0	38.12	28.92	1
04.04.1998	Dinar	N	4.6	7.0	38.14	30.04	12
17.08.1999	Kocaeli	SS	7.4	18.0	40.70	29.91	26
11.11.1999	Sapanca	SS	5.7	8.9	40.81	30.20	8
12.11.1999	Düzce	SS	7.2	10.0	40.74	31.21	19
23.08.2000	Hendek	SS	5.1	153.0	40.68	30.71	11
04.10.2000	Denizli	N	4.7	8.4	37.91	29.04	3
26.08.2001	Yığılca	SS	5.4	7.8	40.95	31.57	2
03.02.2002	Sultandağı	R	6.5	5.0	38.57	31.27	7
03.04.2002	Burdur	SS	4.2	5.0	37.81	30.26	1
09.03.2003	Akyazı	SS	4.0	4.4	40.73	30.59	2
21.05.2003	Düzce	SS	4.7	7.7	40.87	30.98	2
09.06.2003	Bandırma	SS	4.0	14.7	40.20	27.97	8
23.07.2003	Buldan1	N	5.5	5.0	38.17	28.85	8
26.07.2003	Buldan2	N	5.3	5.0	38.11	28.88	7
26.07.2003	Buldan3	N	5.7	4.3	38.11	28.89	8
26.07.2003	Buldan4	N	5.2	8.5	38.11	28.84	4
24.10.2006	Manyas	N	5,2	16.7	40.25	27.98	24
20.12.2007	Bala1	SS	5,7	2.8	39.42	33.05	9
26.12.2007	Bala2	SS	5,6	23.5	39.41	33.04	11
18.07.2007	Simav	N	4,5	11.7	39.30	29.31	2
12.03.2008	Cınarcik	SS	4,9	24	40,63	29,02	18
17.02.2009	Simav	N	5,2	7	39,15	29,04	8



Şekil 3.1. Kayıt İstasyonu Kayma Dalgası Hızlarının Dağılımı

3.2. Verilerin Ön Değerlendirmesi

Bir yer hareketi tahmin denkleminde, deprem kaynağı ile ilgili değişkenler, deprem dalgalarının yayılması ile ilgili değişkenler ve yerel zemin koşulları ana etkenler olarak görülür. En temel bağıntı olarak, yer hareketinin ivmesi ya da hızı vb değişkeninin logaritması ile depremin magnitüdü arasındaki oransal ilişkidir. Ayrıca deprem dalgalarının mesafe ile ters orantılı olarak sönümlenmesi, yerel zemin koşulları nedeniyle genliğinin artması ve fay kırılmasının yönü doğrultusunda oluşan güçlü bir dalga bileşeni vb ilişkiler yer hareketi tahmin denklemlerinde ifade edilebilir. Bu bilgiler ışığında işlemden geçirilmiş kayıtların analizi tek aşamalı regresyon analizi kullanılarak yapılmış ve her bir denklemin verilerle olan genel uyumluğu ve denklemlerin bütün değişkenlerinin uyumluluğu araştırılmıştır.

Tablo 3.3 Bu Çalışmada ve Orijinal Katsayılar Kullanılarak Bulunan Kararlılık Katsayısı ve Standart Sapma Değerleri

Denklem	Kayıt Sayısı	PGA				T=0.2 s				T=1.0 s			
		Orijinal Katsayılar		Bu Çalışma		Orijinal Katsayılar		Bu Çalışma		Orijinal Katsayılar		Bu Çalışma	
		R^2	σ	R^2	σ	R^2	σ	R^2	σ	R^2	σ	R^2	σ
A96	155	0.75	0.16	0,86	0,76	0.67	0.21	0,84	0,83	0.64	0.27	0,76	0,99
AS97	199	0.77	0.83	0,84	0,59	0.67	1.27	0,82	0,72	0.66	1.28	0,72	1,07
BFC97	24	0,71	0,62	0,73	0,71	0,68	0,61	0,70	0,72	0,73	0,86	0,77	0,82
SY97	102	0,47	1,48	0,78	0,62	0,45	1,56	0,75	0,73	0,38	2,70	0,69	1,39
I02*	9	0.80 -	0.80 -	0,89	0,61	0.85 -	0.72 -	0,90	0,65	0.73 -	1.01 -	0,90	0,78
OB04	71	0.71	0.82	0,81	0,21	0.70	0.84	0,78	0,24	0.59	1.57	0,74	0,43
AS08	113	0.81	0.65	0,87	0,47	0.76	0.80	0,84	0,54	0.68	1.28	0,75	0,95
BA08	113	0.73	0.76	0,83	0,59	0.61	1.10	0,81	0,65	0.58	1.84	0,73	1,06
CB08	113	0.77	0.78	0,82	0,64	0.73	0.89	0,78	0,75	0.67	1.32	0,69	1,30
I08*	9	0.50 0.98	1.80 0.00	0,90	0,58	0.42 0.99	2.48 0.00	0,88	0,65	0.69 0.79	1.02 0.01	0,84	0,82
AC10	113	0.81	0.60	0,81	0,62	0.80	0.65	0,80	0,69	0.69	1.10	0,71	1,02

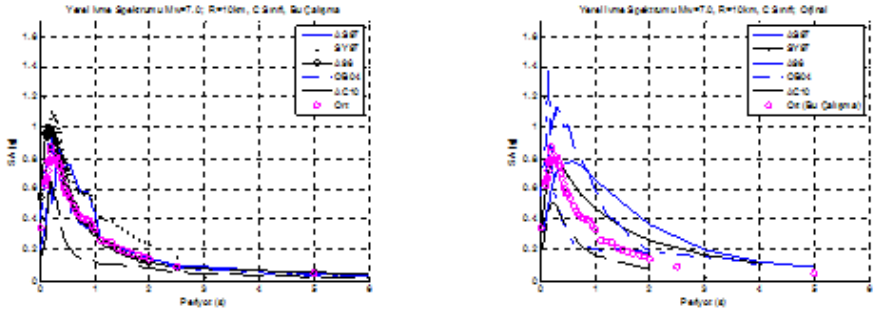
* Yeterince veri bulunmaması nedeniyle bu çalışma kapsamında tek magnitüd gurubu kullanılmıştır.

Tablo 3.3'de denklemleri geliştiren araştırmacılar tarafından belirtilen koşullara uygun sayıda kayıt sayısı, etkin yer ivmesi ve 0.2 s ve 1.0 s için kararlılık (determination) katsayısı ve standart sapma değerlerinin logaritması verilmiştir. Denklemlerin araştırmacılarının önerdiği orijinal değişken katsayıları ile bu çalışmada elde edilen katsayılardan hesaplanan kararlılık katsayıları ve standart sapma değerleri ard arda verilmiştir. Ayrıca denklemin değişkenlerle genel uyumu ve her bir değişkenin anlamlılık katsayıları %5 hassasiyet oranı ile t-test kullanılarak çıkarılmış ve sonuçların geçerliliği onaylanmıştır. Analizler sonucunda I02 ve I08 için sadece 9 tane deprem kaydının uygun olduğu ve bu nedenden dolayı, BFC97 denkleminin ise kararlılık katsayının düşük olması nedeniyle elenmeleri gerektiğine karar verilmiştir. Tablo 3.3'de özetlenen kararlılık katsayılarıyla anlatılmak istenen özetle, en yaygın olarak kullanılan tahmin denklemlerinin ampirik olarak yerine koyma yöntemiyle, o bölgeye özel veritabanı kullanılarak çıkarılan değişken katsayılarıyla daha başarılı bir sonuç elde edilebileceğidir. Sonuç olarak I02, I08 ve BFJ97 modelleri elenmiş ve geriye kalan denklemler, bu çalışmada elde edilen katsayılarla çalışmanın bir sonraki aşamasında kullanılmak üzere seçilmiştir.

4. SONUÇLAR

Her ne kadar bir önceki bölümde verilen karşılaştırma tablosu ve t-test sonuçları göreceli olarak denklemlerin ve ampirik yerine koyma yönteminin başarısını göstermeye yetse de, bu denklemlerin başarılı olup olmadığını tam olarak anlatamaz. Bu nedenle modellerin başarısının anlaşılabilmesi için hata (residual) analizi yapılması zorunludur. Hata terimlerinin mesafe ya da magnitüdün eksen olarak kullanılarak görsel gösterimi, hata terimlerinin herhangi bir bağıntısal dağılım gösterip göstermemesi modelin başarılı olup olmadığını göstermeye yeterlidir. Sayfa kısıtlaması nedeni ile A96, AS97, SY97, OB04, AS08, BA08, CB08 ve AC10 denklemlerinin hata terimlerinin mesafe eksenindeki değişimini gösteren şekillere burada yer vermek mümkün olamamıştır.

Tek aşamalı regresyon analizi sonucunda bulunan ve araştırmacılar tarafından elde edilen katsayılarla, modellerin değerlendirmesini yapmak için, magnitüdü 7.0, deprem kaynağına uzaklığı 10 km ve yerel zemin koşulları NEHRP C sınıfı olan bir nokta için, ivme spektrum eğrileri hesaplanmıştır. İvme spektrum eğrilerinin göreceli olarak karşılaştırılmasının yapılması, o modellerin başarısı ve geçerliliği açısından önem arz etmektedir.

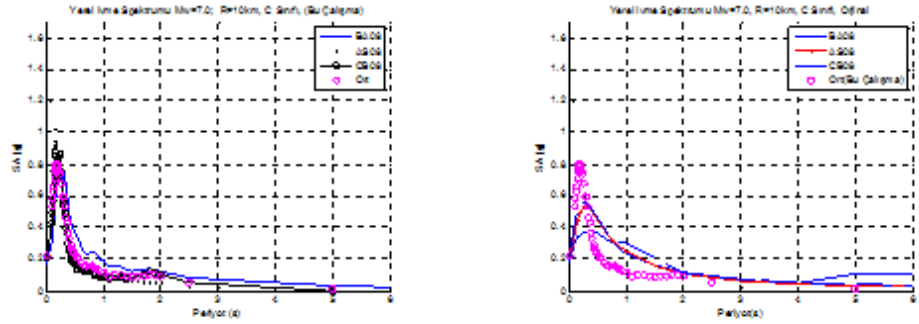


a) Bu Çalışma Katsayıları b) Orjinal Katsayılar

Şekil 4.1. C Sınıfı Yerel Zemin Koşulu ve M_w = 7.0, R= 10 km İçin ve AS97, AS96, OB04, SY97 ve AC10 Kullanılarak Elde Edilen İvme Spektrumları

Şekil 4.1.a.'da verilen ivme eğrileri NEHRP sınıflandırma sitemine göre C sınıfı olarak kabul edilen zemin koşulları için bu çalışma kapsamında geliştirilmiş olup, bütün denklemler genelde ortalamaya yakın bir eğilim göstermektedir. Maksimum değerlerin en büyük SY97 ve en küçük AC10 olmak üzere, SY97 için 1.1g ve AC10 için 0.7g civarında olduğu görülmektedir. Şekil 4.1.b.'de araştırmacılar tarafından hazırlanan tahmin denklemleri değişken katsayıları kullanılmıştır. İvme spektrumu bir önceki şekle göre daha çok farklılık göstermekle birlikte,

büyükten küçüğe doğru yapılacak sıralamada da maalesef aynı sırayı göstermemektedir. İvme değerleri 0.5g ile 1.4g arasında değişmekte ve en büyük değerler OB04 ve A96 modellerinin değerleri olarak ortaya çıkmaktadır.

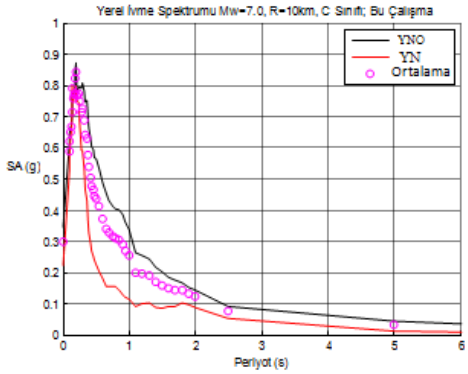


a) Bu Çalışma Katsayıları b) Orjinal Katsayılar

Şekil 4.2. C Sınıfı Yerel Zemin Koşulu ve M_w = 7.0, R= 10 km İçin ve AS08, CB08 ve BA08 Kullanılarak Elde Edilen İvme Spektrumları

Şekil 4.2. yeni nesil yer hareketi tahmin denklemlerinin ayrı değerlendirilebilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Denklemlerin şimdiye kadar pek fazla denenmemeleri nedeniyle ayrı gösterilmesi uygun görülmüştür. Şekil 4.2.a.'da ivme spektrum değerleri değişken değerler almakta, en düşük 0.75g ile BA08 ve en yüksek 1.0g ile AS08 denkleminden elde edilmiştir. Şekil 4.2.b., aynen şekil 4.2.a.'da olduğu gibi AS08, BA08 ve CB08 kullanılarak geliştirilmiş ancak denklemin orijinal katsayıları kullanılmıştır. Bu şekilden de anlaşılacağı üzere modeller çok farklı davranış sergilemiş ve 0.35g ile 0.55g arasında değişen değerler göstermişlerdir.

Çalışma kapsamında çıkarılan katsayılar kullanılarak daha anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu analizlerin son aşama ürünü olarak Şekil 4.3'te; elde edilen katsayılar kullanılarak hesaplanan ivme spektrumları verilmiştir.



Şekil 4.3 Ortalama İvme Spektrumu, Yeni Nesil (YN) AS08, CB08 ve BA08 Denklemlerinin Ortalaması ve Yeni Nesil Olmayan (YNO) A96, AS97, OB04, SY97 ve AC10 Denklemlerinin Ortalaması (M_w=7.0 ve R=10 km, C Sınıfı Yerel Zemin Koşulu)

5. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada Eskişehir için oluşturulan deprem veritabanı kullanılarak en yaygın yer hareketi tahmin denklemlerinin uygunluğu değerlendirilmiştir. Veritabanının oluşturulmasında deprem magnitüd ve ölçüm mesafeleri bakımından homojenlik sağlanmış, Eskişehir çevresinde 1976-2009 arasında meydana gelen 27 adet depremden elde edilen 199 adet kayıt kullanılmıştır. Oluşturulan veritabanında sadece Eskişehir ve çevresinde

meydana gelen depremler kullanılmış dolayısı ile bu çalışmada değerlendirilen tahmin denklemlerinin oluşturulmasında kullanılan veritabanlarına göre daha kısıtlı kalmıştır.

Modellerin seçilmesi ve elenmesi sırasında kullanılan t-test, görsel olarak modellerin değerlendirilmesi, hata terimlerinin mesafe ekseninde gösterilmesi sonucunda yapılan değerlendirmeler ve en sonunda ivme spektrumu elde edilmesi; hangi modellerin veritabanını ve incelenen bölgeyi daha çok temsil ettiği konusunda fikir vermektedir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilen ivme spektrumlarındaki farklılıklar, bu eğrileri elde etmek için kullanılan denklemlerin geliştirilme amacı, kullanım sınır değerleri, geliştirilirken kullanılan veritabanları göz önüne alınarak değerlendirilmeli, ancak yerel yer hareketlerinin davranış biçimi, yerel zemin özellikleri ve jeolojik yapıların farklılığı göz önüne alındığında bu denklemlerin ampirik olarak kullanılmasının zorunlu olduğu ya da yeni bölgesel denklemlerin geliştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

Abrahamson N. A. and Silva W. J. (1997). Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes, *Seismological Research Letters*, Vol. 68, No. 1, pp. 94-127.

Abrahamson N. A. and Silva W. J. (2008). Summary of the Abrahamson and Silva Ground-Motion Relations *Earthquake Spectra*, Vol. 24, Issue I., pp. 67-97.

Akkar S. ve Çağnan Z. (2010). A local ground motion predictive model for Turkey and its comparison with other regional and global ground-motion models, submitted to Bull. Seism. Soc. Am. for publication.

Ambraseys, N.N., Simpson, K.A., Bommer, J.J., (1996) Prediction of Horizontal Response Spectra in Europe. *Earthquake Engineering and structural Dynamics*, 25, 371-400.

Ambraseys N. (2009). Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: A Multidisciplinary Study of Seismicity up to 1900, Cambridge University Press

Boore, D. M., ve G. 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, *Earthq. Spectra* 24, no. 1, 99–138.

Boore, D. M., W. B. Joyner ve T. E. Fumal (1997) Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: A summary of recent work, Seism.Res. Lett. 68, no. 1, 128–153.

Campbell, K. W. (2003a). Prediction of strong ground motion using the hybrid empirical method and its use in the development of ground-motion (attenuation) relations in eastern North America, *Bull. Seism. Soc. Am.* **93**, 1012–1033.

Campbell, K., ve 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 s to 10 s, *Earthquake Spectra* 24, no. 1, 139–171.

Chiou, B., and R. Youngs (2008) An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra, *Earthquake. Spectra* 24, no. 1, 173–215.

Erdik, M., V. Doyuran, N. Akkas, P. Gülkan, (1985), A probabilistic assessment of the seismic hazard in Turkey, *Tectonophysics*, 117 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 295-344.

Gülkan, P., Koçyiğit, A., Yücemen, M.S., Doyuran, V., Başöz, N.,(1993) En son verilere göre hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası. *Ortadoğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Rapor no. 93-01*, 156 s.

Gülkan, P. ve Kalkan, E. (2002) Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey. *Journal of Seismology*, 6, 397-409.

Idriss, I.M., (2007), "Empirical Model for Estimating the Average Horizontal Values of Pseudo-Absolute Spectral Accelerations Generated by Crustal Earthquakes. Interim Report Issued for USGS Review, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley

Idriss, I. M.,(2008), "A NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes", *Earthquake Spectra*, Vol. 24, pp. 217 – 242.

Kalkan, E., ve P. Gülkan, (2004), Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey, *Earthq. Spectra*, 20, no. 4,1111–1138.

KOERI, Earthquake Catalog, *http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/*

National Strong Ground Motion Project , (2005-2009), EERC-METU, ERD-GDDA, Ankara

Özbey, C., Sarı, A., Manuel, L., Erdik, M. ve Fahjan, Y. (2004). An empirical attenuation relationship for northwestern Turkey ground motion using a Random Effects Approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **24**, 115−125

Sadigh K, C.Y., Chang, J.A. Egan, F. Makdisi, R.R. Youngs (1997), "Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data," *Seismological Research Letters*, Vol. 68 (1), pp. 180-189.