Yerbilimleri, 2016, 37 (3), 237-252
Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni
Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

Düşük Magnitüdlü Kayıtların Yer Hareketi Tahmin Denklemleri Üzerindeki Etkisi: Türkiye için Bir Ön Çalışma

Effects of Low Magnitude Records on Ground-Motion Prediction Equations: A Preliminary Study for Turkey

M. ABDULLAH SANDIKKAYA[1]*

[1]Hacettepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Beytepe, 06800, Ankara

Geliş *(received)* : 27 Ocak (*January*) 2016
Kabul *(accepted)* : 26 Eylül (*September*) 2016

ÖZ

Bu çalışmada, Türkiye için üretilen yer hareketi tahmin denklemleri incelenmiş ve tartışma kapsamında incelenecek olan denklemler seçilmiştir. Seçilen denklemlerin 2008-2014 yılları arasında kaydedilen düşük magnitüdlü (M_w<5.5) kuvvetli yer hareketi kayıtları ile değerlendirmesi yapılmış ve yeni kayıtların tahminlerden daha düşük spektral değerler aldığı gözlenmiştir. Bu kayıtların doğrudan yer hareketi tahmin denklemi üretilirken regresyona katılmaları durumunda özellikle orta büyüklükteki deprem davranışının olumsuz etkilendiği görülmüştür. Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalarda regresyonun aşamalı olarak yapılması ve üç parçalı bir magnitüd ölçekleme fonksiyonu kullanılması tavsiye edilir.

Anahtar Kelimeler: Düşük magnitüdlü deprem davranışı, Kuvvetli yer hareketi kayıtları, Yer hareketi tahmin denklemleri.

ABSTRACT

This study includes investigation and selection of the ground-motion prediction equations developed for Turkey. The selected equations are evaluated with the low-magnitude (M_w<5.5) earthquakes recorded from 2008 to 2014. The predictive equations generally give higher spectral ordinates than the observed data. Directly using of these low-magnitude data in the regression analysis for generation of predictive equations yields incorrect estimation of the spectral ordinates in mid-magnitude range. For this reason, utilizing a step by step regression with three piece-wise magnitude scaling function is recommended for future studies.

Keywords: *Low-magnitude earthquake behavior, Ground-motion prediction equations, Strong ground-motion records.*

*M.A. Sandıkkaya
e-posta: abdullahsandikkaya@hacettepe.edu.tr

GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada deprem hasarlarını en aza indirgeyecek şekilde tasarıma izin veren deprem şartnameleri kullanılmaktadır (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007; BSSC, 2003). Söz konusu şartnamelerin amacı deprem sırasında yapıya etkiyecek olan kuvvetlere karşı koyabilecek tasarımların yapılmasını sağlamaktır. Bu kuvvetleri doğru kestirebilmek için, şartnamelerde bölgesel sismik özelliklerin iyice belirlenmiş ve çalışılmış olması gerekmektedir. Son zamanlarda bu işlem olasılıksal sismik tehlike analizleri ile yapılmaktadır. Bu analizlerin sonucunu etkileyen en önemli bileşenlerinden biri yer hareketi tahmin denklemleridir. Bu denklemler kuvvetli yer hareketi deprem kayıtlarından elde edilen gözlemsel ivme zaman serilerine (deprem kayıtlarına) ait pik yer ivmesi ve spektral ivme değerlerinin, temel olarak fay tipi, depremin buyüklüğü (M_w), alan kaynak mesafe ölçüleri (kırılan faya en yakın uzaklık, R_{rup} veya Joyner-Boore mesafesi, R_{JB}) ve saha koşulları (30 m'lik kayma dalgası hız-zaman ortalaması; V_{S30}) gibi parametreler ile değişimlerinin istatistiksel yöntemler (medyan ve belirsizlik hesabı) kullanılarak üretilmesi ile elde edilmektedir (Kramer, 1996).

1976 yılından beri Türkiye'de meydana gelen depremlere ait kuvvetli yer hareketi kayıtları Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı altında faaliyet gösteren Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) tarafından arşivlenmektedir. Söz konusu deprem kayıtlarının 2008 kadar olan kısmı TÜBİTAK 1007 Programı kapsamında 105G016 nolu "Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Şebekesi Veri Tabanının Uluslararası Ölçütlere Göre Derlenmesi" projesi kapsamında bilim insanlarının kullanımına sunulmuştur (Akkar vd., 2010; Sandıkkaya vd., 2010). Avrupa veritabanı güncellenirken Türkiye'de 2008-2012 arasında meydana gelen orta ve büyük magnitüdlü depremler çalışılmış ve Avrupa Deprem Hareketi İçin Referans Veritabanı (Reference Database for Seismic Ground-Motion in Europe; RESORCE) veritabanına eklenmiştir (Akkar vd., 2014). 2008-2014 tarihleri arasında meydana gelen depremler çerçevesi Akkar vd. (2014) çalışmasında belirlenmiş olan sistematiğe göre derlenerek oluşturulmuştur. Meydana gelen depremlerin lokasyonu, moment büyüklüğü ve fay çözümü uluslararası ajanslardan (Global CMT Web Sitesi, 2016; Regional Centroid Moment Tensor Web Sitesi, 2016; CSEM Moment Tensor Web Sitesi, 2016) bulunmuş ve fay tipleri belirlenmiştir. Alan kaynak mesafe uzaklıkları hesaplanmış ve kayıtlar mühendislik uygulamalarında kullanılması amacıyla filtreleme işlemine tabi tutulmuştur.

Bu çalışmanın temel amacı, 2008 sonrasında Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanında (2016) kaydedilmiş düşük magnitüdlü depremlerin incelenerek Türkiye için üretilecek olan bir sonraki tahmin denklemlerine yol göstermesidir. Çalışmaya Türkiye için üretilmiş olan yer hareketi tahmin denklemlerinin değerlendirilmesi yapılarak başlanmıştır. Üretilen denklemler incelendiğinde 2008 sonrasında kaydedilen verilerin kullanılmadığı tespit edilmiştir (Kale vd. (2015)'nin çalışmasında sadece 2008 yılından sonra meydana gelen M_w>5.6 depremler kullanılmıştır). Bu nedenle çalışılan veritabanı, tüm denklemler için "yeni" olarak değerlendirilmiş ve 2008 yılı öncesindeki kayıtlara değerlendirme aşamasında yer verilmemiştir. (Batı Amerika için Yeni Nesil Azalım İlişkilerinin Geliştirilmesi (Enhancement of Next Generation Attenuation Relationships for Western US) projesi kapsamında üretilen denklemlerde kullanılan kayıtlar genellikle M_w>3 olacak şekilde seçilmiştir (Bozorgnia vd., 2014). Bu çalışmada da bu alt sınırlara yakın olan depremler kullanılmak istenmiş ancak eldeki veri yetersizliği dikkate alınarak M_w= 3.5 alt sınır olarak belirlenmiştir. Veritabanında orta ve yüksek magnitüdlü depremlerin azlığından ötürü çalışma düşük magnitüdlü depremler (M_w<5.0) ile sınırlandırılmıştır. Magnitüd üst limiti ise 0.5 birim yukarıda olacak şekilde M_w= 5.5 olarak belirlenmiştir.

Denklemlerin değerlendirilmesi aşamasında öncelikle değerlendirmeye alınacak tahmin denklemleri seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında literatürde denklemlerin test edilmesi şeklinde olan metodlar kullanılmamıştır (ör. ; Scherbaum vd., 2004; Sherbaum vd., 2009; Kale ve Akkar, 2013; Güllü ve İyisan, 2016). Bu metodlar sismik tehlike analizlerinde kullanılmak üzere yer hareketi tahmin denklemlerinin seçiminde ve seçilen denklemlerin mantık ağacı uygulamalarında kullanılmak üzere bir ağırlıklandırılma işleminde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın bu kapsamın dışında olduğu burada vurgulanmalıdır. Seçilen denklemlere ait magnitüd ve mesafe ölçeklemeleri gözlemsel veriler ile karşılaştırılmış ve daha sonra deprem-arası ve içi kalıntıları (residüelleri) Scassera vd. (2009) çalışmasında kullanılan deprem-içi ve deprem-arası residüel ayırma metodolojisi ile hesaplanarak çeşitli sismolojik parametrelere göre değişimleri incelenmiştir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında Kale vd. (2015) tahmin denkleminin magnitüd ölçekleme fonksiyonunun düşük magnitüdlü kayıtlar

ile nasıl değişeceği tartışılmış ve düşük magnitüdlü kayıtlar içeren bir veritabanı ile nasıl bir modelleme yapılması gerektiği önerilmiştir.

KUVVETLİ YER HAREKETİ VERİSETİ

AFAD arşivinde bulunan 2008-2014 arasında kaydedilmiş depremlere ait ivme-zaman serileri aşağıdaki kriterler kullanılarak seçilmiştir: (1) Moment büyüklüğü (M_w) 3.5 ile 5.5 arasında olan depremler, (2) Fay tipi (normal, ters veya yanal atımlı) belirlenmiş depremler, (3) Odak derinliği 30 km'den sığ olan depremler, (4) V_{S30} değeri belli olan istasyonlardan elde edilen kayıtlar, (5) Kaynak-saha mesafesi 200 km'nin altında olan kayıtlar, (6) En az dört istasyonda kaydedilmiş depremler.

93 depremden elde edilen 983 kayıtlık veri setine ait M_w- R_{JB} dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. M_w 3.8 ile 5.2 arasında olan depremlerde düzgün dağılım gözlenmiş ama bu aralığın dışında kalan kısımda dağılımın seyrekleştiği görülmüştür. Aynı şekil ayrıca kayıtların hem fay tipi hem de saha koşullarını da göstermektedir. Kullanılan kayıtlara bakıldığında sadece % 6'sının ters atımlı kayıtlardan oluştuğu görülmüştür. Normal ve yanal atımlı kayıtların sırasıyla oranı %64 ve %30'dur. Saha koşulları NEHRP zemin sınıflandırma kriterlerine (BSSC, 2003) göre incelendiğinde 53 kaydın kaya zemin sınıfından (V_{S30}>760m/s); 406 kaydın sert zemin sınıfından (360<V_{S30}<760m/s) ve 524 kaydın ise yumuşak zemin (V_{S30}<360m/s) sınıfından alınmıştır.

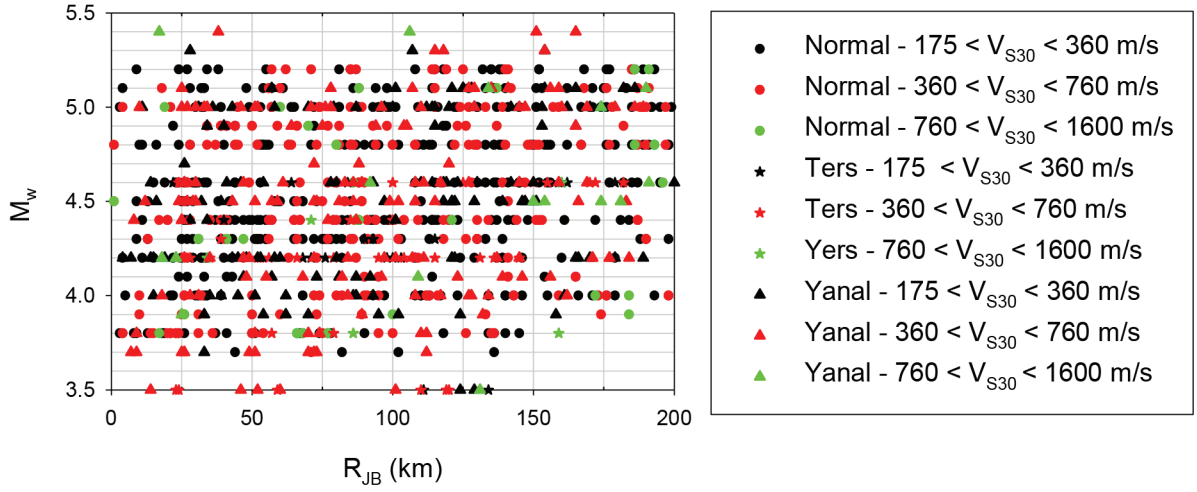
TAHMİN DENKLEMLERİNİN SEÇİMİ

Özellikle 1999 depremlerinden sonraki geçici ve kalıcı istasyonların kurulması ile veri artışına bağlı olarak yer hareketi tahmin denklemlerinin sayısı ülkemizde artış göstermiştir. Bu bağlamda Türkiye için 26 denklemin üretildiği görülmüştür (bu denklemlerin belirlenmesinde Kale vd. (2015), Güllü ve İyisan (2016) ve Douglas (2016)'ın çalışmalarından faydalanılmıştır). Bu denklemlerden Aydan vd. (1996), Inan vd. (1996), Ansal (1997), Aydan (2001), Ulutaş ve Özer (2003), Beyaz (2004), Ulusay vd. (2004), Aydan (2007), Güllü ve Erçelebi (2007), Güllü vd. (2008), Günaydın ve Günaydın (2008), Cabalar ve Cevik (2009), Ulutaş ve Özer (2010), Kayabalı ve Beyaz (2011), Yılmaz (2011) ile Güllü (2012) sadece pik ivme için üretildiği için incelemeye alınmamıştır. Schwarz vd. (2002) ve Bindi vd. (2007)'nin çalışmaları M_w ile tahmin yapmadığı gerekçesiyle envanterden çıkarılmıştır. Gülkan ve Kalkan (2002) ile Akkar ve Çağnan (2010) sırasıyla Kalkan ve Gülkan (2004) ile Kale vd. (2015) çalışmalarıyla güncellendiği için kapsam dışı bırakılmıştır. Kalan altı denklem olan Kalkan ve Gülkan (2004), Özbey vd. (2004), Akyol ve Karagöz (2009), Ulutaş vd. (2011), Kale vd. (2015) ve Gülerce vd. (2016) ait özellikler Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çalışmalardan olan Gülerce vd. (2016), Yeni Nesil Azalım İlişkileri (Next Generation Attenuation Relations; NGA) projesi (Power vd., 2008) kapsamında üretilen beş ayrı denklemin katsayılarını Türkiye için uyarlamıştır. Uyarlanan denklemler içinde ihtiyaç duyulan parametrelerin az olması nedeniyle sadece uyarlanmış Boore ve Atkinson (2008) denklemi ile elde edilen sonuçlar tartışılacaktır.

Seçilen denklemlere ait magnitüd (sol sütun) ve mesafe (sağ sütun) ölçeklemeleri Şekil 2'de pik ivme (üst satır), T=0.2s (orta satır) ve T=1.0s (alt satır) için verilmiştir. Veri setinde bulunan tüm kayıtlara ait spektral ivme değerleri saha koşulu V_{S30}=400m/s'de, magnitüd ölçeklemesinde R_{JB}=15km ve mesafe ölçeklemesinde M_w= 4.5 olacak şekilde yeniden hesaplanarak gösterilmiştir. Bu amaçla Abrahamson ve Youngs (1992) tarafından önerilen rassal etki regresyon algoritması ile basit bir tahmin denklemi üretilmiştir. Magnitüd ölçeklemesi dikkate alındığında denklemlerin genellikle veriden daha büyük değerler verdiği gözlenmiştir. Bu duruma tek istisna, T=1.0s'de Özbey vd. (2004)'nin çalışmasının yaptığı tahminlerdir. Mesafe ölçeklemesinde de hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmiştir. Hem magnitüd hem de mesafe ölçeklemelerinde Kalkan ve Gülkan (2004)'nın modeli ile Ulutaş vd. (2011)'ninki benzer sonuçlar verirken Akyol ve Karagöz (2009), Kale vd. (2015) ve Gülerce vd. (2016)'nin modeli bu iki denklemden daha düşük sonuçlar vermiştir.

Bu gözlemler doğrultusunda denklemlerin daha detaylı olarak incelenmesi ihtiyacı doğmuştur. Belirtildiği üzere tahmin denklemleri üretilirken deprem-arası ve deprem-içi belirsizlik hesabı rassal olarak dikkate alınır (Abrahamson ve Youngs, 1992). Bu nedenle yukarıda bahsi gecen denklemlerin performansları yeni derlenen düşük magnitüdlü kayıtlar ile değerlendirilirken Scassera vd. (2009) tarafından önerilen deprem-içi ve deprem-arası residüel ayırma metodu kullanılacaktır (Eşitlik 1).

$$R_{ijk} = \ln(Y_j) - \ln(\mu_{ijk}) = c_k + \eta_{Bjk} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$



Şekil 1. Verisetine ait moment büyüklük - mesafe dağılımı.
Figure 1. Magnitude vs distance scatter plot of the dataset.

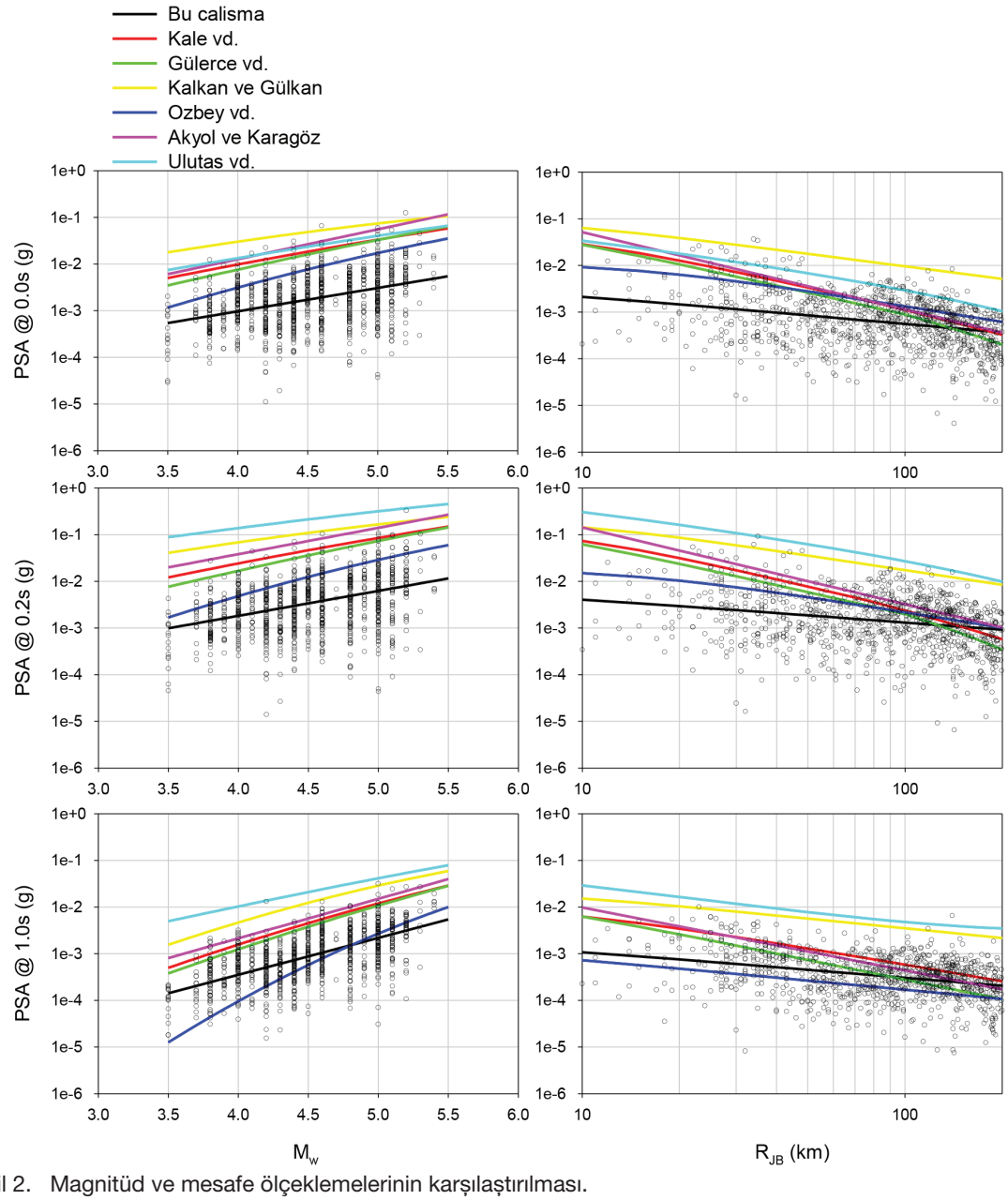
Çizelge 1. Değerlendirmede kulllanılan tahmin denklemlerin özellikleri.
Table1. Properties of prediction equations that are used in evaluation.

Denklem	Bölge	Kayıt Sayısı	M_w Aralığı	Mesafe Cinsi ve Aralığı	Zemin ölçeklemesi	Fay tipi ölçeklemesi
Özbey vd. (2004)	Kuzey Batı	195	5-7.4	R_{JB}: 5-300km	Saha sınıfları	Yok
Akyol ve Karagöz (2009)	Batı	168	4-6.4	R_{hyp}: 15-200km	Saha sınıfları	Yok
Kalkan ve Gülkan (2004)	Ulusal	112	4-7.4	R_{JB}:1.2-250km	V_{S30}	Yok
Ulutaş vd. (2011)	Kuzey Batı	751	4-7.4	R_{JB}:0-200km	Yok	Yok
Kale vd. (2015)	Ulusal	670	4-7.6**	R_{JB}:0-200km	V_{S30}	Var
Gülerce vd. (2016)*	Ulusal	1142	4-7.6**	R_{JB}:0-200km	V_{S30}	Var

* Uyarlanmış Boore ve Atkinson (2008) denklemi için verilmiştir.
** 1999 Kocaeli moment büyüklükleri farklı kulllanılmıştır.

Bu denklemde "i" depreminde "j" istasyonunda kaydedilen gözlemsel verinin (Y_{ij}), "k" denklemi kullanılarak elde edilen tahminin (μ_{ijk}), logaritmik olarak farkı residüel (R_{ijk}) olarak tanımlanır. Bu residüel daha sonra ilki toplam sapma (c_k) olmak üzere üç bileşene ayrılır. Toplam sapma her bir denklem için tüm residüellerin ortalaması alınarak hesaplanır ve bu miktar residüellerden çıkartılır. Bu sayede ortalaması "0" olacak şekilde deprem-içi (η_i)ve deprem-arası (ε_{ij}) residüeller hesaplanır. Burada bir depreme ait residüellerin ortalaması deprem-içi; her bir kaydın bu ortalamadan uzaklığı ise deprem-arası olarak nitelenir.

Denklemlerin toplam sapma miktarı (c_k) Özbey vd. (2004)'nin modeli hariç hepsinde negatif bulunmuştur ve bu değerler Çizelge 2'de sunulmuştur. Her bir denkleme ait deprem-içi residüellerin M_w (ilk sütun) ile deprem-arası residüellerin mesafeye (orta sütun) ve V_{S30}' a (son sütun) bağlı olarak dağılımları pik ivme (birinci satır), T=0.2s (ikinci satır) ve T=1.0s (üçüncü satır) spektral periyodları için gösterilmiştir (Şekil 3-8). Bu şekillerde ayrıca deprem-içi residueller 0.5 birim aralıklılarla gruplanmış ve her bir grubun ortalaması verilmiştir. Keza deprem-arası residüeller yakın mesafe (0-20 km), orta mesafe (20-80 km) ve uzak mesafe (80-200 km) ile yumuşak zemin (V_{S30}<360 m/s), sert zemin (360<V_{S30}<760 m/s) ve kaya zemin (V_{S30}>760 m/s) olacak şekilde gruplandırılmış ve ortalamaları gösterilmiştir.

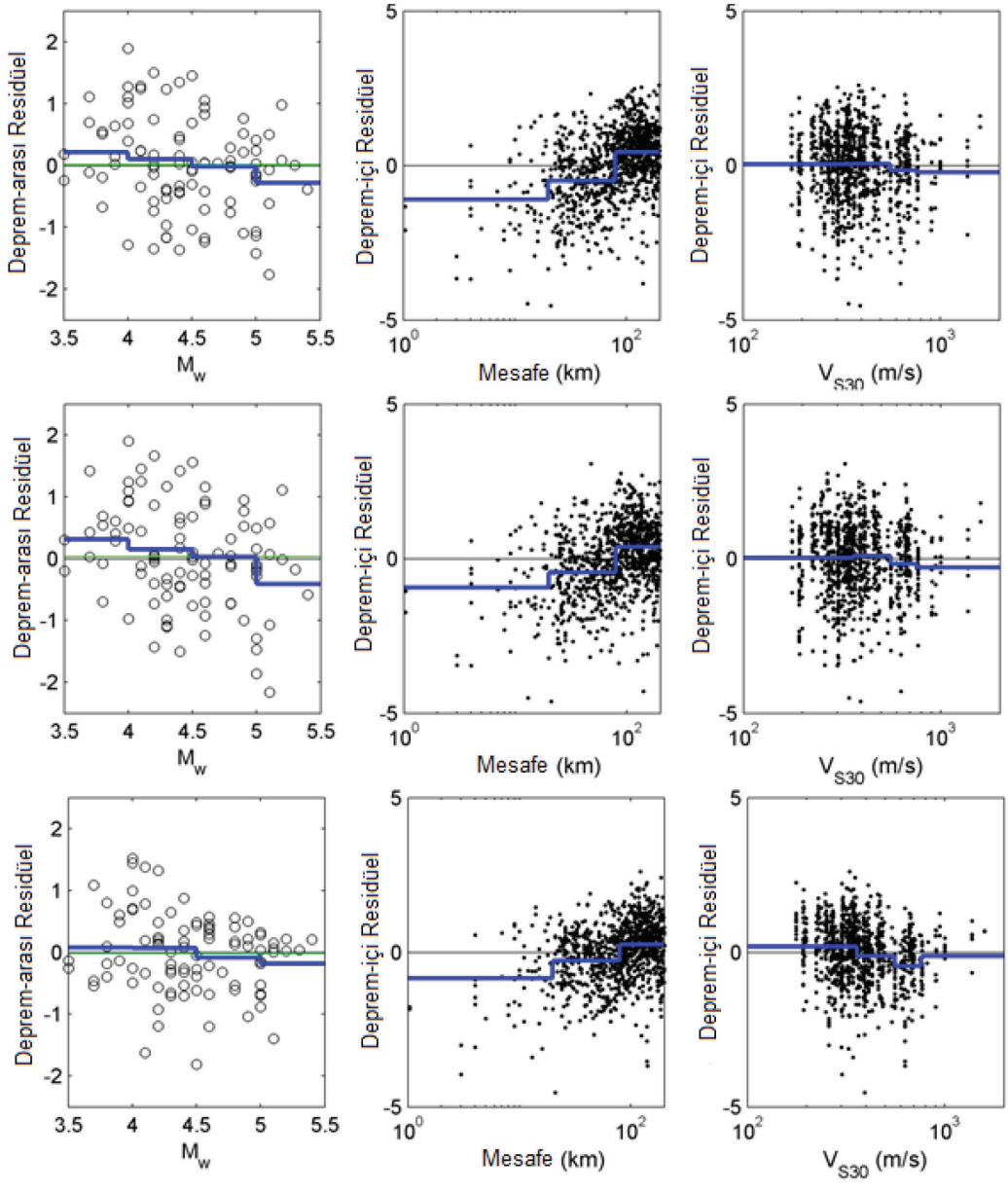


Şekil 2. Magnitüd ve mesafe ölçeklemelerinin karşılaştırılması.
Figure 2. Comparison of magnitude and distance scaling.

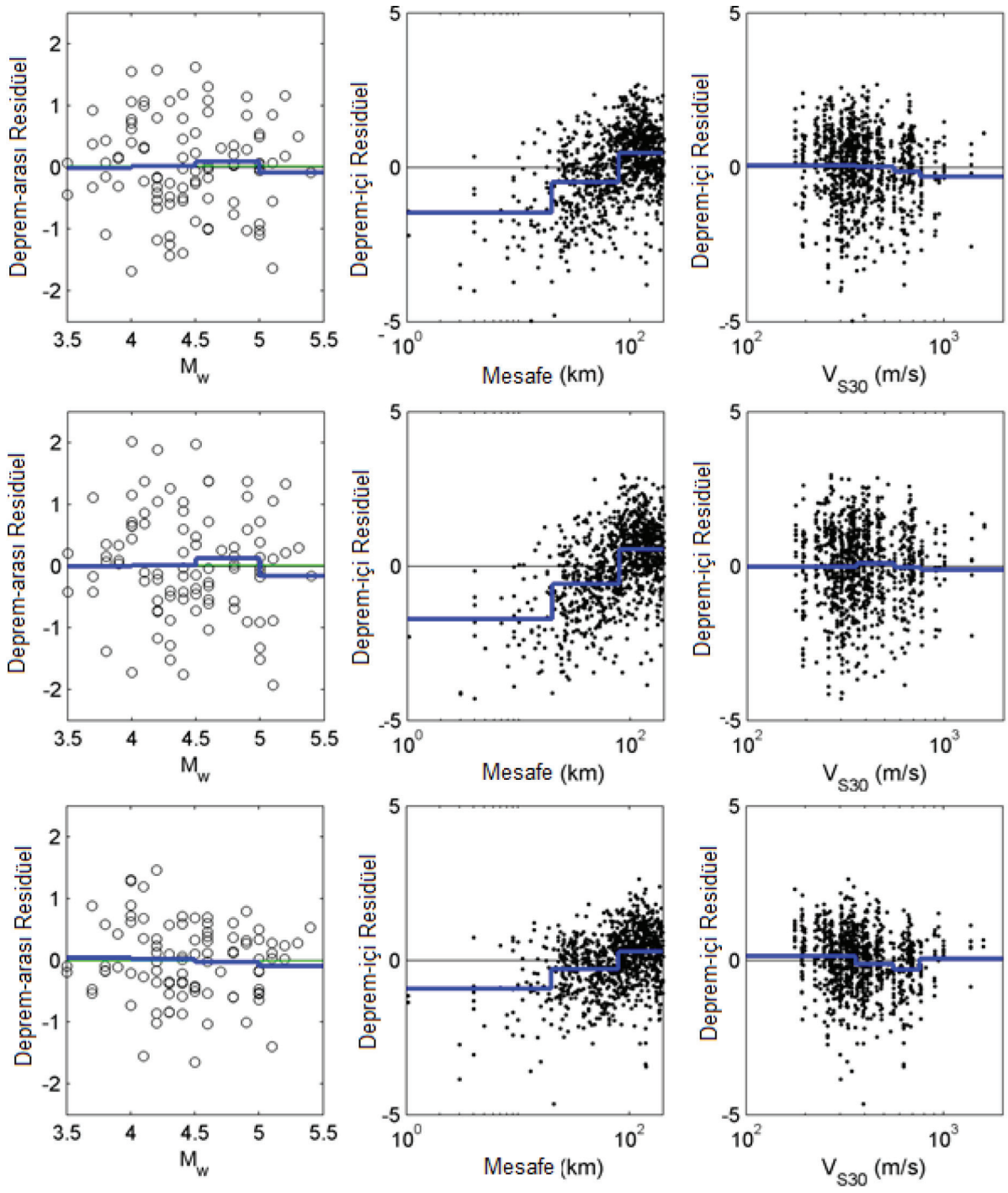
Kale vd. (2015)'nin denklemine ait deprem-içi residuellerinin dağılımı nispeten diğerlerine göre daha iyi bir sonuç vermiştir. Gülerce vd. (2016) ve Özbey vd. (2004)'nin denklemleri için M_w 3.5-4 aralığında gözlemlenen değerler tahmin edilen değerlerden yüksek bulunmuştur ve bu trend magnitüd arttıkça düşerek M_w 5-5.5 için tam tersi yani gözlemlenen değerler tahmin edilen değerlerden düşük bulunmuştur. Ulutaş vd. (2011), Akyol ve Karagöz (2009) ile Kalkan ve Gülkan (2004)'ın denklemlerinde bu davranışın tersi çıkmıştır. Ölçülen değerlerin ampirik bağıntılarla karşılaştırılması sonucu mesafe ve sahaya göre yapılan karşılaştırmalarda deneysel bağıntılarda önerilene yakın değerler elde edilmiştir. Ancak kaya zemin koşulunda (Gülerce vd. (2016) ve Kale vd. (2015) hariç) denklemlere ait residuel dağılımında negatif değerler elde edilmiştir.

Çizelge 2. Tahmin denklemleri için toplam sapma (c_k) miktarları.
Table2. Total bias (c_k) for prediction equations.

	T=0s	T=0.2s	T=1s
Gülerce vd. (2016)	-0.7245	-0.8412	-0.345
Kale vd. (2015)	-1.0055	-0.9706	-0.7186
Ulutaş vd. (2011)	-1.8521	-3.2487	-2.8262
Akyol ve Karagöz (2009)	-1.1663	-1.378	-0.8117
Kalkan ve Gülkan (2004)	-2.9782	-2.7906	-2.4235
Özbey vd. (2004)	-1.1717	-0.7972	0.5477



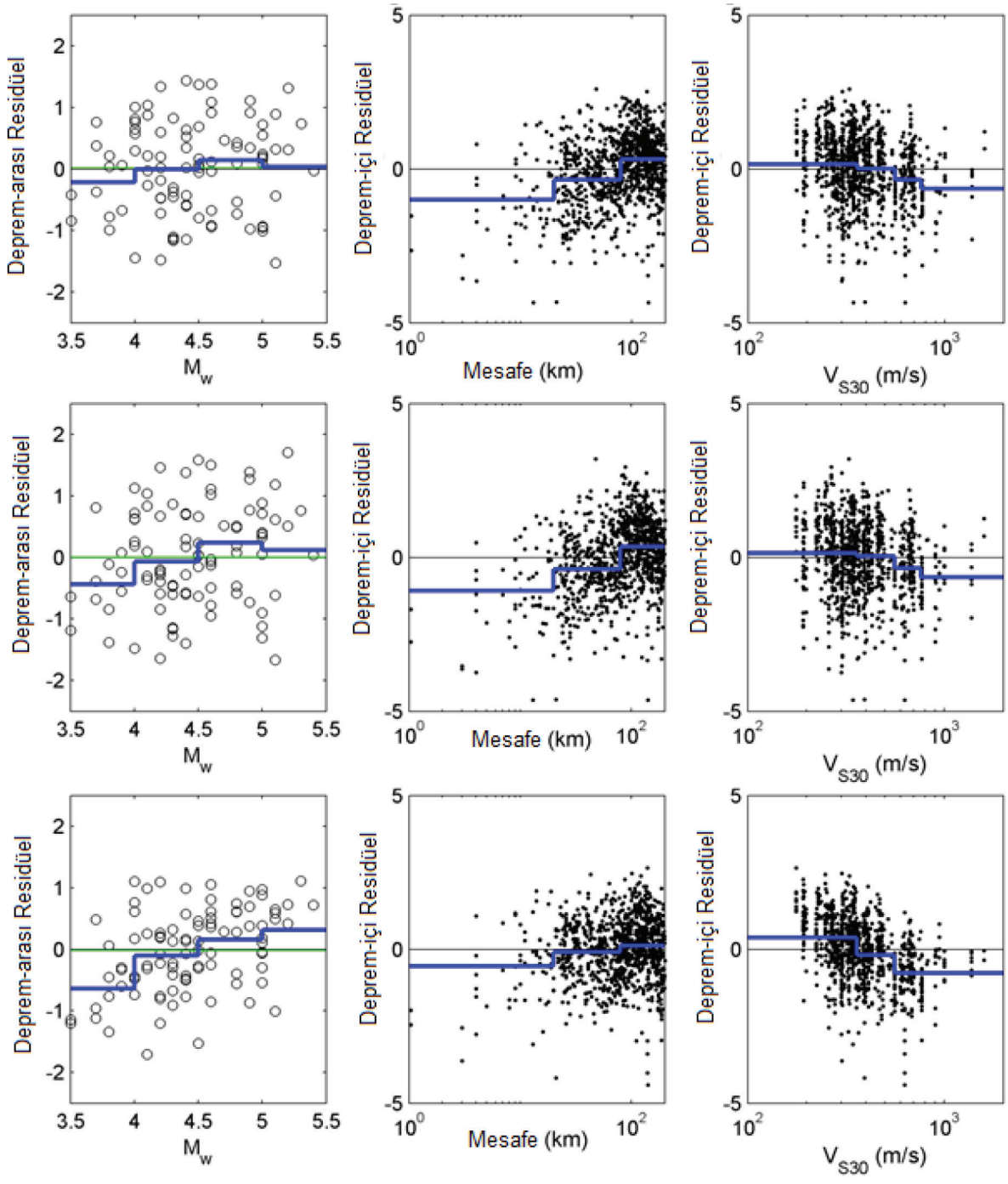
Şekil 3. Gülerce vd. (2016)'nin denklemi ile elde edilen residüel dağılımları.
Figure 3. Residual distribution for Gülerce et al. (2016) equation.



Şekil 4. Kale vd. (2015)'nin denklemi ile elde edilen residüel dağılımları.
Figure 4. Residual distribution for Kale et al. (2015) equation.

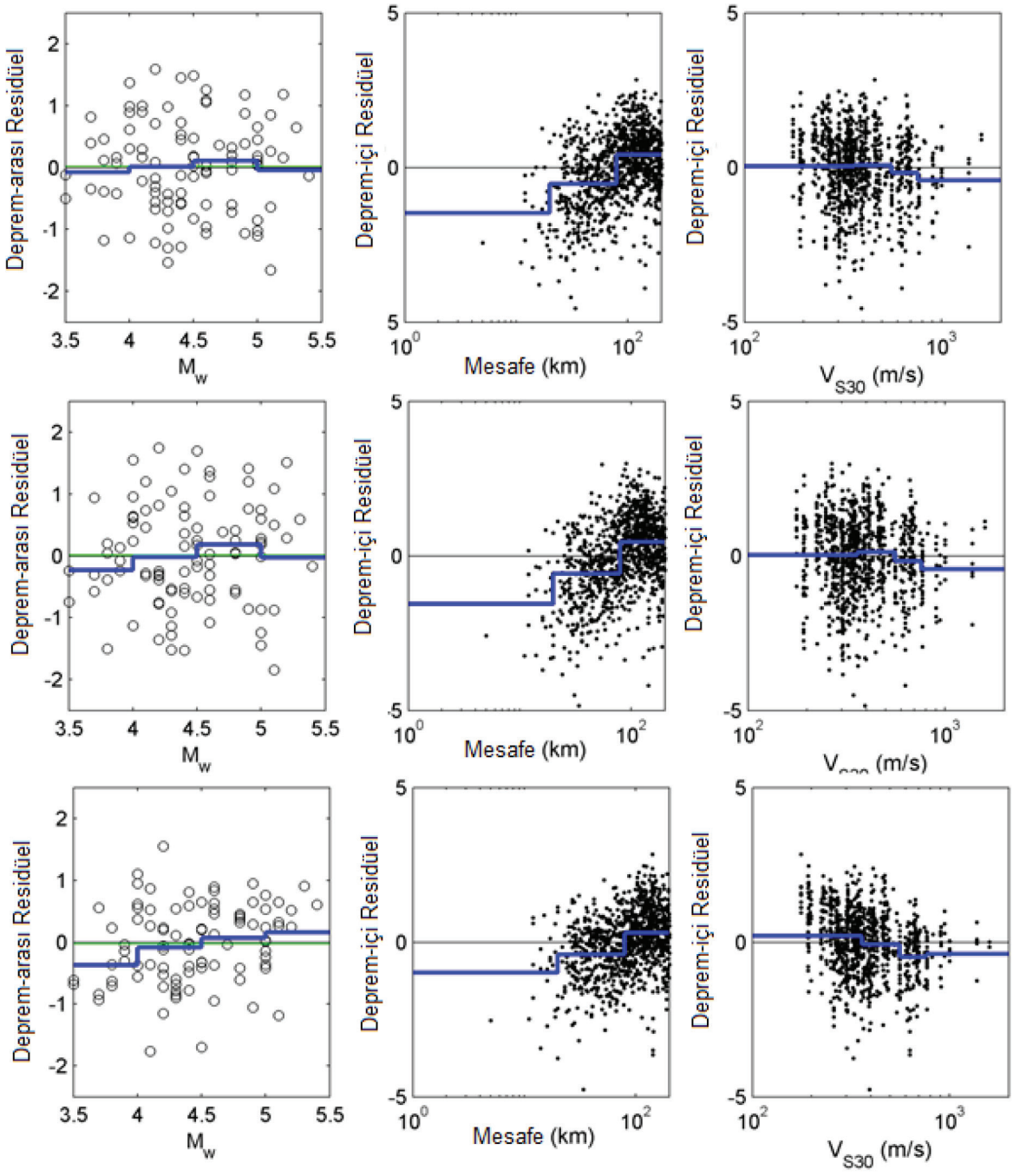
DÜŞÜK MAGNİTÜDLÜ DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Yukarıda özetlenen bulgular bize düşük magnitüdlü kayıtlar kullanılarak üretilecek tahmin denklemlerinde özellikle magnitüd ölçeklemesine dikkat edilmesi sonucunu çıkarmıştır. Bu bulguyu desteklemek üzere bir önceki kısımda kullanılan kayıtlara RESORCE veritabanından Türkiye'de kaydedilmiş moment büyüklüğü 3.5'tan büyük olan 30 km'den sığ ve alan kaynak



Şekil 5. Ulutaş vd. (2011)'nin denklemi ile elde edilen residüel dağılımları.
Figure 5. Residual distribution for Ulutaş et al. (2011) equation.

mesafesi 200 km içinde bulunup V_{S30} değeri belli olan 691 kayıt eklenerek yeni bir veritabanı oluşturulmuştur. Regresyon için denenecek fonksiyon Eşitlik 2'de sunulmuştur. Sırasıyla f(m), f(m,r), f(f) ve f(z) magnitüd, mesafe, fay tipi ve zemin fonksiyonlarını ifade etmektedir. Magnitüd ölçeklemesinde moment magnitüd kullanılarak (Eşitlik 3) Abrahamson vd. (2014) tarafından önerilen üç parçalı bir fonksiyon (c_1 ve c_2 magnitüd seviyeleri ile ayrılmış) tercih edilmiştir. Mesafe ölçeklemesinde R_{JB} alan-kaynak mesafesi magnitüd etkisi ile beraber hesaba katılırken (Eşitlik 4); saha ölçeklemesinde doğrusal zemin büyütmesi



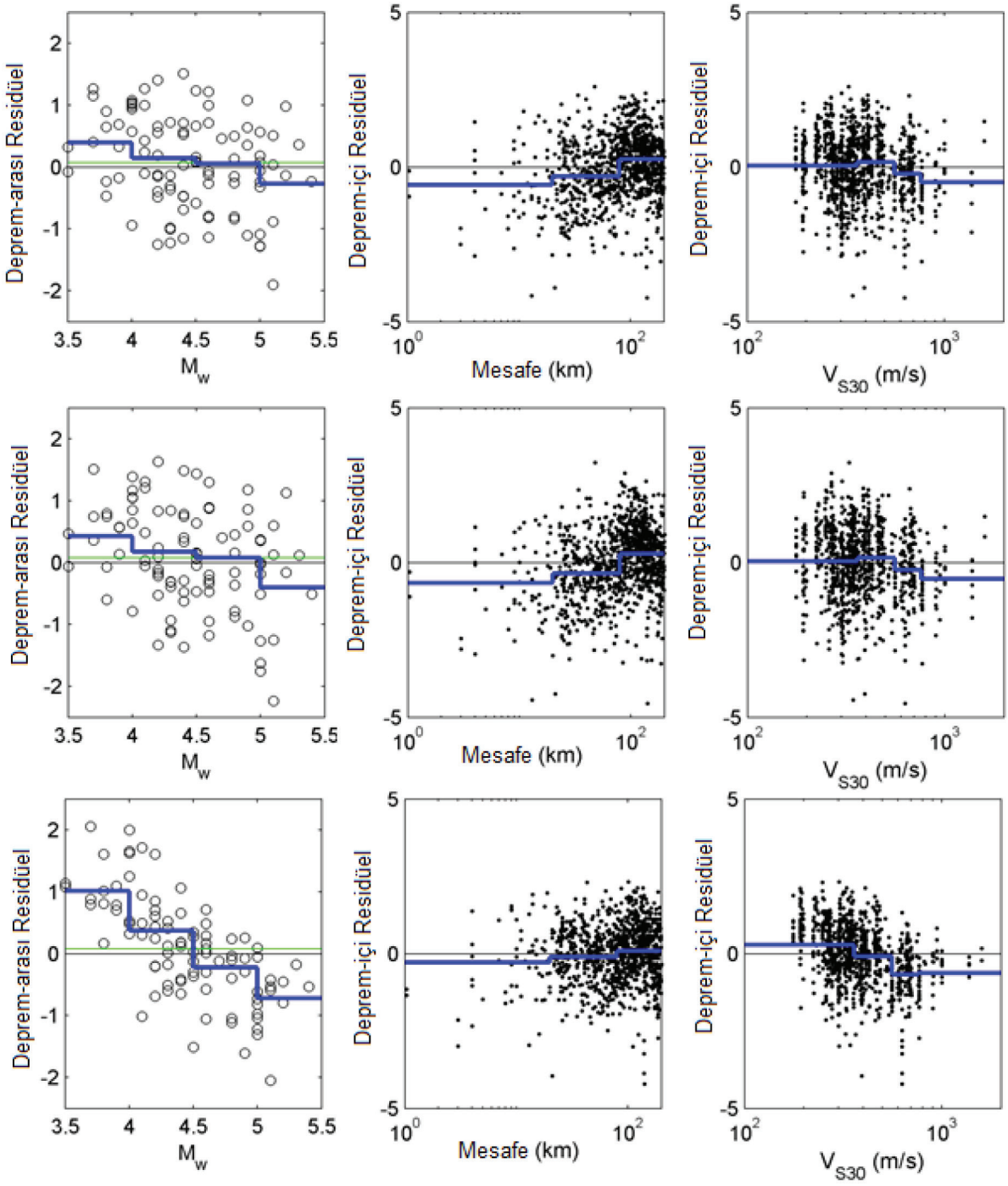
Şekil 6. Akyol ve Karagöz (2009)'ün denklemi ile elde edilen residüel dağılımları.
Figure 6. Residual distribution for Akyol and Karagöz (2009) equation.

V_{S30} ile ifade edilmiştir (Eşitlik 5). Normal ve ters atımlı fay tiplerini yanal atımlı fay tipinden ayırmak için F_N ve F_R değişkenleri kullanılmıştır (Eşitlik 6). Fay tipinin yanal atımlı olması durumunda her iki değişken de 0 değerini alırlar. Normal atımlı fay tipinde F_N 1 olurken F_R 0 değerini alır. Ters atımlı fay durumunda ise tam tersi olur.

$$\ln(Y) = f(m) + f(m,r) + f(f) + f(z) \tag{2}$$

$$f(m) = \begin{cases} \mathrm{d} + \mathrm{a}_1 + \mathrm{a}_5(M_w - c_2) & M_w \le c_2 \\ \mathrm{a}_1 + \mathrm{a}_2(M_w - c_1) + a_3(8.5 - M_w)^2 & c_2 < M_w < c_1 \\ \mathrm{a}_1 + \mathrm{a}_4(M_w - c_1) + a_3(8.5 - M_w)^2 & M_w \ge c_1 \end{cases} \tag{3}$$

$$d = \mathrm{a}_2(c_2 - c_1) + a_3(8.5 - c_2)^2$$



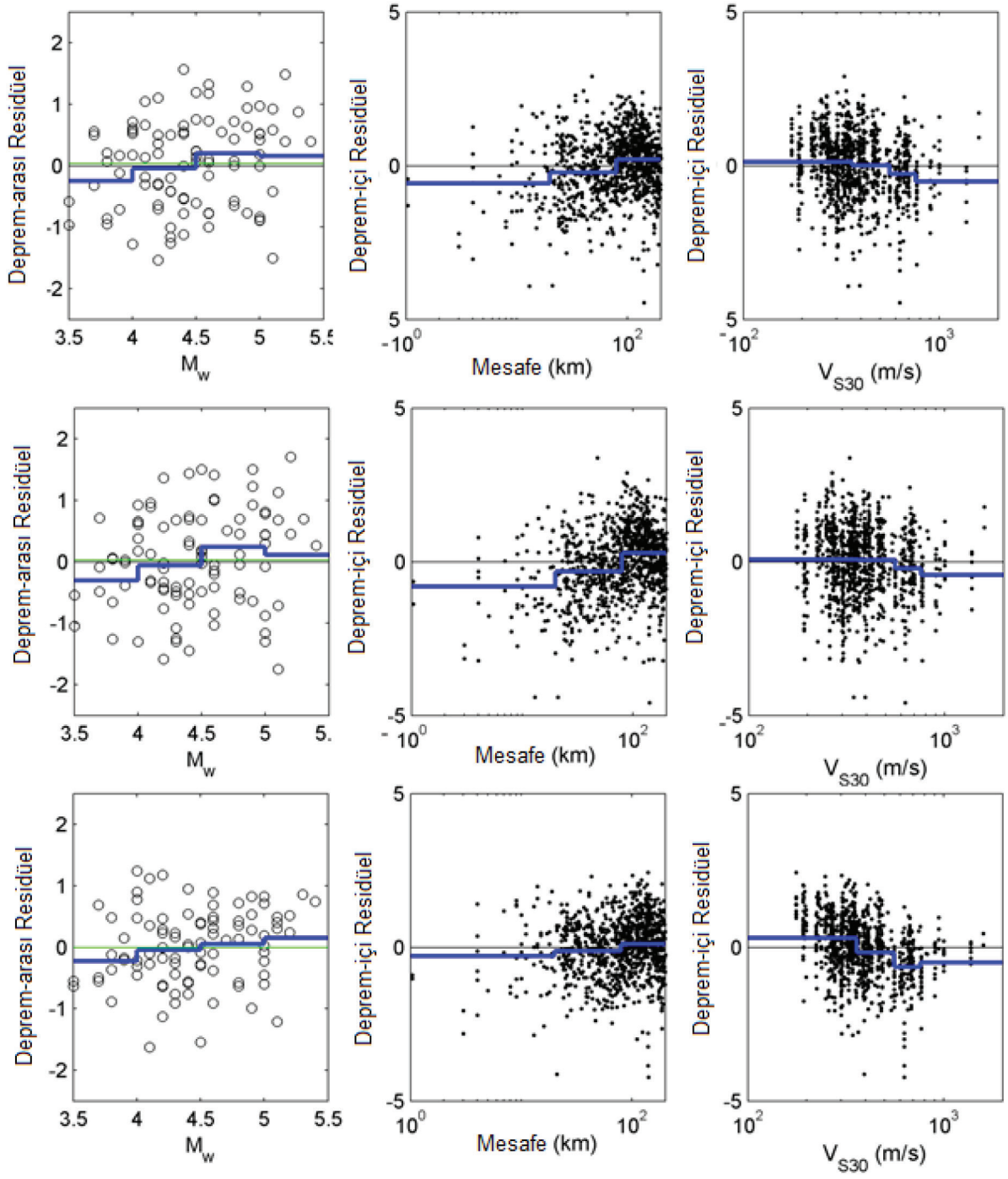
Şekil 7. Özbey vd. (2004)'in denklemi ile elde edilen residüel dağılımları.
Figure 7. Residual distribution for Özbey et al. (2004) equation.

$$f(m,r) = (b_1 + b_2 M_w) * ln\sqrt{b_3 + R_{JB}^2} \quad (4)$$

$$f(z) = b_4 \ln\left(\frac{\min(V_{S30},1000}{750}\right) \quad (5)$$

$$f(f) = b_5 F_N + b_6 F_R \quad (6)$$

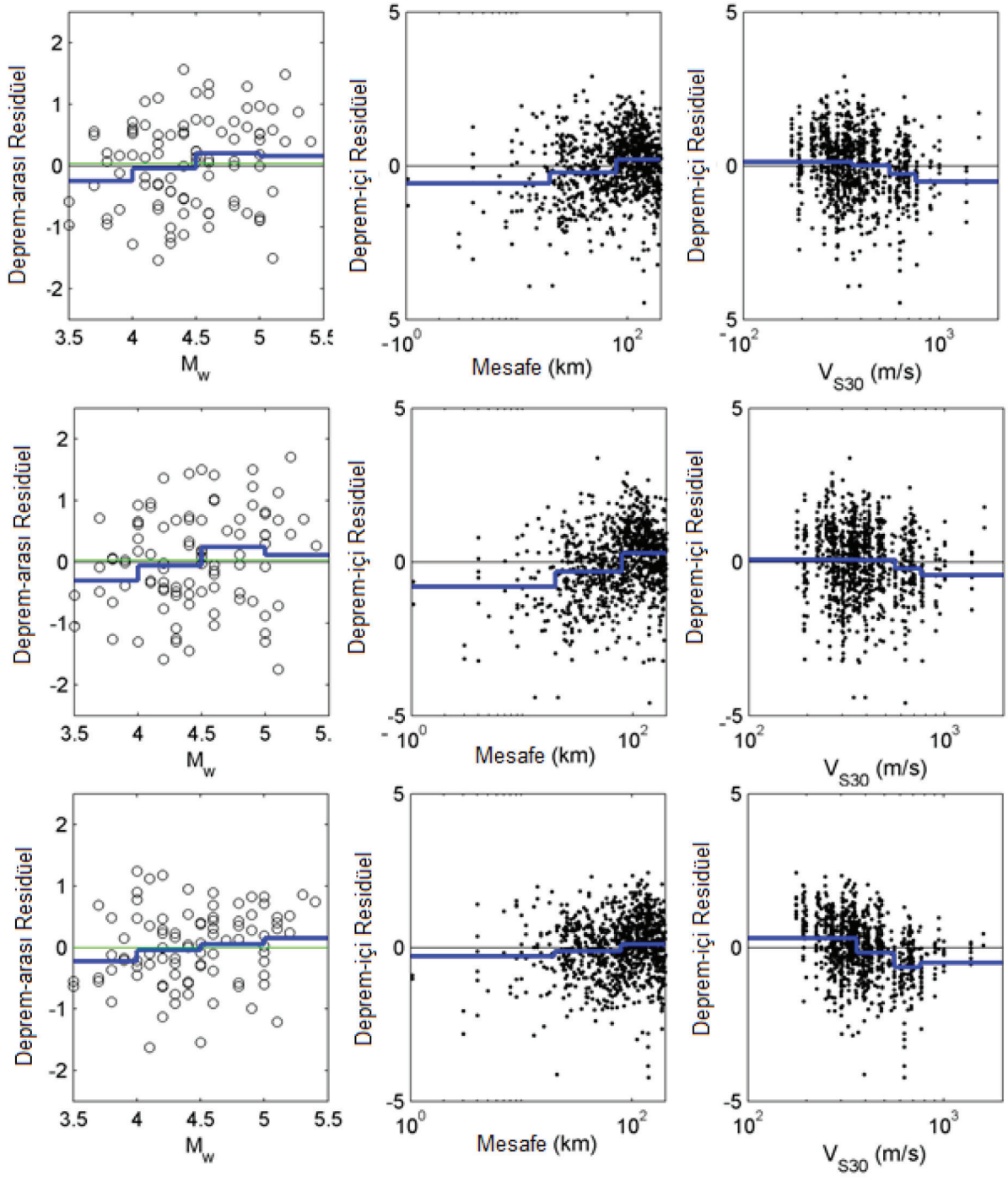
Burada a_1-a_5 ile b_1-b_6 regresyon katsayılarıdır. Yapılan ilk regresyon denemesinde özellikle M_w<6 için Kale vd. (2015)'nin çalışmasına göre daha düşük değerler bulunmuştur. Örneğin M_w=5.5 için Kale vd. (2015)'nin denklemi yaklaşık iki kat daha büyük bir tahminde bulunmuştur. Bu fark M_w>6.5 için önemsiz



Şekil 7. Özbey vd. (2004)'in denklemi ile elde edilen residüel dağılımları.
Figure 7. Residual distribution for Özbey et al. (2004) equation.

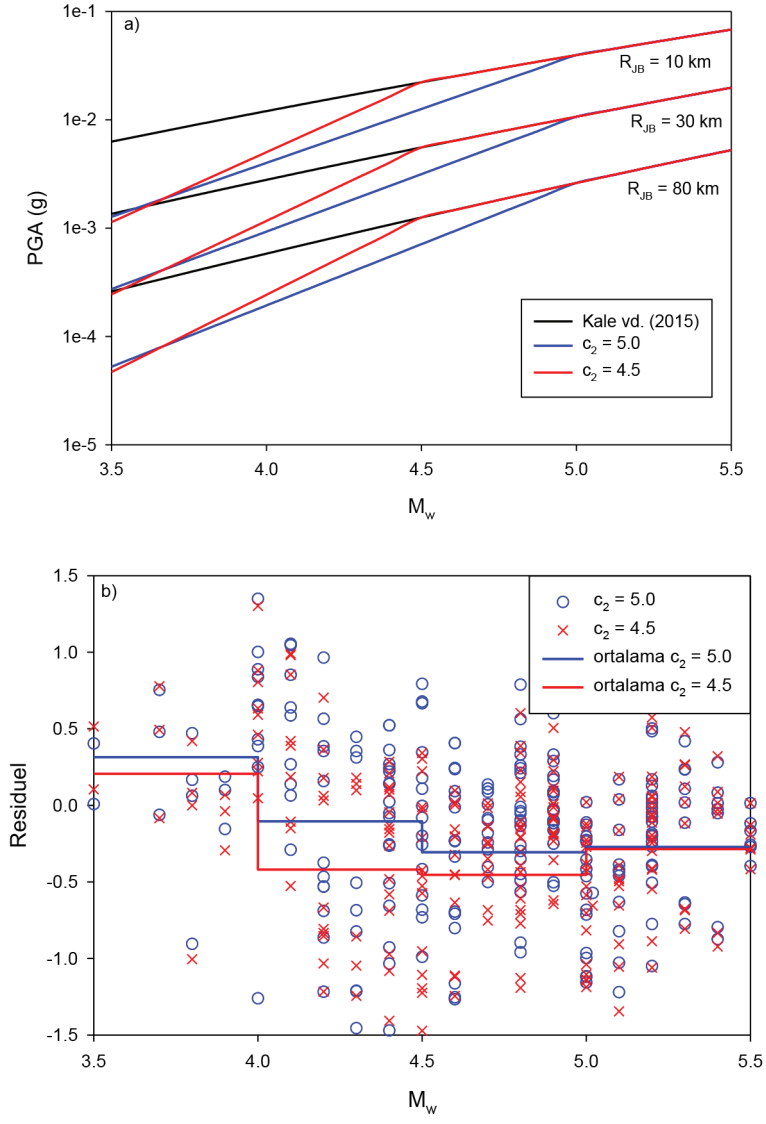
hale gelmiştir. Bunun nedeni olarak elimizde olan verinin düşük magnitüdlerde Kale vd. (2015)'nin denklemine göre nisbeten daha düşük amplitüdlarda olmasıdır. Bu ikilemi ortadan kaldırmak amacıyla (düşük magnitüd ölçeklemesi için ihtiyaç duyulan) a_5 ve c_2 katsayıları regresyon ile belirlenmiş ve diğer katsayılar ise Kale vd. (2015) çalışmasından adapte edilmiştir. Böylelikle orta magnitüd aralığında tahmin değerleri korunmuştur.

Denklem 3'ten anlaşılacağı üzere magnitüd ölçeklemesi iki kırılım göstermektedir. Bunlardan ilki c_1



Şekil 8. Kalkan ve Gülkan (2004)'ın denklemi ile elde edilen residüel dağılımları.
Figure 8. Residual distribution for Kalkan and Gülkan (2004) equation.

katsayısı ile belirlenen yüksek magnitüd deprem davranışı ve c_2 katsayısı ile belirlenen düşük magnitüd deprem davranışıdır. c_1 katsayısı yapılan gözlemler ile Kale vd. (2015)'nin çalışmasında 6.75 olarak belirlenmiştir. Elimizde bulunan düşük magnitüdlü deprem kayıtları kullanılarak c_2 katsayısı 4.5 ve 5.0 olacak şekilde denemeler yapılmıştır. Her iki durumda elde edilen magnitüd ölçeklemesi ve residuel dağılımı Şekil 9'da verilmiştir. Residuellerin magnitüd aralığındaki ortalamaları incelendiğinde c_2 = 5.0 olarak kullanıl-

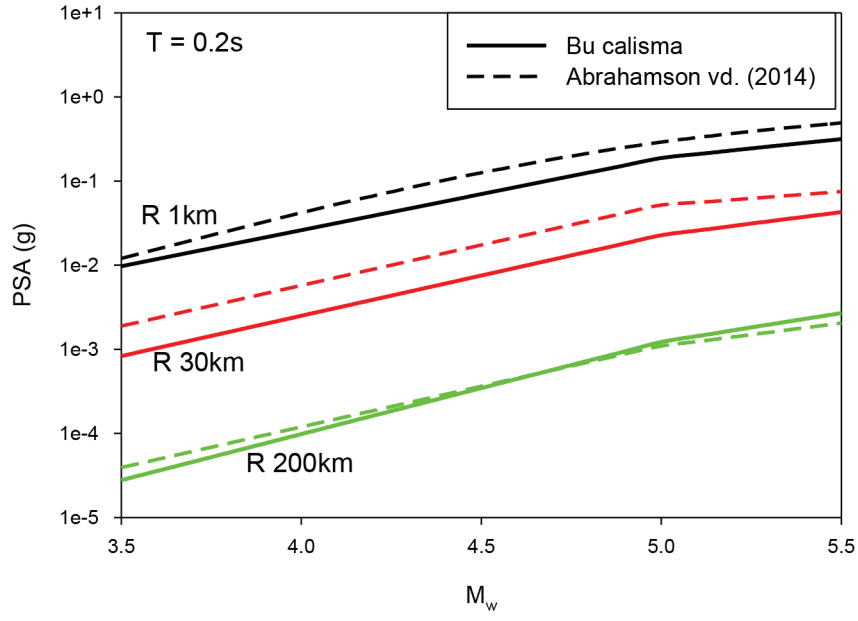


Şekil 9. c_2 değerlerine göre (a) magnitüd ölçeklemesi ve (b) residuellerin karşılaştırılması.
Figure 9. Comparison of magnitude scaling (a) and residuals (b) for different c_2 values.

masının daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Daha sonra a_5 katsayısı da hesaplanarak düşük magnitüd için tahmin denklemi elde edilmiştir. Şekil 10'da T = 0.2s periyodunda önerilen denklem, Abrahamson vd. (2014)'nin denklemi ile çeşitli mesafelerde karşılaştırılmıştır. Aynı fonksiyon kullanılmasından ötürü magnitüd ölçeklemesinde benzer davranış elde edilmiş ancak yakın ve orta mesafelerde daha düşük, uzak mesafelerde ise benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı altında faaliyet gösteren Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) tarafından arşivlenen 2008-2014 arasında kaydedilen düşük magnitüdlü kuvvetli yer hareketi ivme-zaman serileri ile Türkiye için üretilmiş olan yer hareketi tahmin denklemleri değerlendirilmiştir. Öncelikle veritabanından seçilen kayıtlar ile denklemlere ait magnitüd ve mesafe ölçeklemeleri karşılaştırılmıştır. Gözlemsel veriden elde edilen spektral değerlerin tahmin denklemlerinkine göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Kale vd. (2015) ile Gülerce vd. (2016) muhtemelen en son katalog bilgilerini kullandığından diğer denklemlere göre residüel farkları daha az bulunmuştur. Ancak bu bulgudan diğer denklemlerin sismik tehlike çalışmalarında kullanılamayacağı sonucu çıkarılmamalıdır. Mantık ağacı uygulamalarında epistemik



Şekil 10. Önerilen model ile Abrahamson vd. (2014)'nin denkleminin magnitüd ölçeklemesine ait karşılaştırma.
Figure 10. Comparison of magnitude scaling of proposed model and Abrahamson et al. (2014) equations.

belirsizliği dikkate almak için diğer modeller faydalı olabilirler. Scassera vd. (2009) tarafından önerilen deprem-içi ve deprem-arası residüel hesaplama yöntemiyle çeşitli sismolojik parametrelere göre bu residüellerin değişimleri incelenmiştir ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra çalışmaya orta ve büyük magnitüdlü kayıtlar eklenmiş ve Abrahamson vd. (2014) tarafından önerilen üç parçalı magnitüd ölçekleme fonksiyonu ile regresyon yapılmıştır. Düşük magnitüdlü depremler içeren veritabanları kullanılarak üretilen denklemlerde özellikle orta büyüklükteki deprem davranışının daha düşük sonuçlar verecek şekilde etkilediği görülmüştür. Bu olumsuz davranışın önlenmesi için regresyonun Abrahamson vd. (2014) veya Kale vd. (2015) çalışmalarındaki gibi aşamalı olarak yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmayı değerlendirerek kalitesinin artmasına yardımcı olan iki hakeme ve Kale vd. (2015) çalışmasında kullanılan regresyon aşamalarındaki açıklamalarından ötürü Dr. Özkan Kale'ye teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Abrahamson, N.A., and Youngs, A.A., 1992. A stable algorithm for regression analyses using the random effects model. Bulletin of the Seismological Society of America, 82 (1), 505-510.

Abrahamson, N.A., Silva, W.J., and Kamai, R., 2014. Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions. Earthquake Spectra, 30 (3), 1025-1055.

Akkar, S., and Çağnan Z., 2010. A local ground-motion predictive model for Turkey and its comparison with other regional and global groundmotion models. Bulletin of the Seismological Society of America, 100 (6), 2978-2995.

Akkar, S., Çağnan, Z., Yenier, E., Erdoğan, Ö., Sandıkkaya, M.A., and Gülkan, P., 2010. The recently compiled Turkish strong motion database: Preliminary investigation for seismological parameters. Journal of Seismology, 14, 457-479.

Akkar, S., Sandikkaya, M.A., Senyurt, M., Sisi, A.A., Ay, B.Ö., Traversa P., Douglas, J., Cotton, F., Luzi, L., Hernandez, B., and Godey, S., 2014. Reference database for seismic ground-motion in Europe (RESORCE). Bulletin of Earthquake Engineering, 12, 311-339.

Akyol, N., and Karagöz, Ö., 2009. Empirical attenuation relationships for western Anatolia, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 18, 351-382.

Ansal, A.M., 1997. Istanbul icin tasarim deprem ozelliklerinin belirlenmesi. Prof. Dr. Rifat Yarar Sempozyumu, İstanbul.

Aydan, Ö., 2001. Istanbul Bogazi denizalti gecisi icin tup tünel ile kalkan tünelin uygunlugunun karsilastirilmasi. Jeoloji Mühendisligi, 25 (1), 1-17.

Aydan, Ö., 2007. Inference of seismic characteristics of possible earthquakes and liquefaction and landslide risks from active faults. In The 6th National Conference on Earthquake Engineering of Turkey, İstanbul.

Aydan, Ö., Sedaki, M., and Yarar, R., 1996. The seismic characteristics of Turkish earthquakes. In Proceedings of Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Mexico.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar. Ankara, Türkiye.

Beyaz, T., 2004. Development of a new attenuation relationship of seismic energy for Turkey using the strong motion records free of soil effect. PhD Thesis, Ankara University, Turkey.

Bindi, D., Parolai, S., Grosser, H., Milkereit, C., and Durukal, E., 2007. Empirical ground-motion prediction equations for northwestern Turkey using the aftershocks of the 1999 Kocaeli earthquake. Geophysical Resarch Letters, 34, L08305, doi: 10.1029/2007GL029222.

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 0.1 and 10.0 s. Earthquake Spectra, 24, 99-138.

Bozorgnia, Y., Abrahamson, N.A., Atik, L.A., Ancheta, T.D., Atkinson, G.M., Baker, J.W., Baltay, A., Boore, D.M., Campbell, K.W., Chiou, B.S.J., Darragh, R., Day, S., Donahue, J., Graves, R.W., Gregor, N., Hanks, T., Idriss, I.M., Kamai, R., Kishida, T., Kottke, A., Mahin, S.A., Rezaeian, S., Rowshandel, B., Seyhan, E., Shahi, S., Shantz, T., Silva, W., Spudich, P., Stewart, J.P., Watson-Lamprey, J., Wooddell, K., and Youngs, R., 2014. NGA-West2 research project. Earthquake Spectra, 30, 973-987.

BSSC, Building Seismic Safety Council (2003) NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, part 1 – provisions and part 2 – commentary. Federal Emergency Management Agency, Washington DC.

Cabalar, A.F., and Cevik, A., 2009. Genetic programming-based attenuation relationship: An application of recent earthquakes in Turkey. Computers and Geosciences, 35, 1884-1896.

CSEM Moment Tensor Web Sitesi, 2016, http://www.emsc-csem.org/Earthquake/index_tensors.php; 07 Aralık 2015.

Douglas, J., 2016. Ground motion prediction equations 1964-2016. Strathclyde, UK.

Global CMT Web Sitesi, 2016; http://www.globalcmt.org , 07 Aralık 2015.

Gülerce, Z., Kargioğlu, B., and Abrahamson, N.A., 2016. Turkey-adjusted NGA-W1 horizontal ground motion prediction models. Earthquake Spectra, 32, 75-100.

Gülkan, P., and Kalkan, E., 2002. Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey. Journal of Seismology, 6 (3), 397-409.

Güllü, H., 2012. Prediction of Peak Ground Acceleration by Genetic Expression Programming and Regression: A Comparison Using Likelihood-Based Measure. Engineering Geology, 141, 92-113.

Güllü, H., and Erçelebi, E., 2007. A neural network approach for attenuation relationships: An application using strong ground motion data from Turkey. Engineering Geology, 93, 65-81.

Güllü, H., and İyisan, R., 2016. A seismic hazard study through the comparison of ground motion prediction equations using the weighting factor of logic tree. Journal of Earthquake Engineering, 20, 861-884.

Güllü, H., Ansal, A.M., and Özbay, A., 2008. Seismic hazard studies for Gaziantep city in south Anatolia of Turkey. Natural Hazards, 44, 19-50.

Günaydın, K., and Günaydın, A., 2008. Peak ground acceleration prediction by artical neural networks for northwestern Turkey. Mathematical Problems in Engineering, Article ID 919420, http://dx.doi.org/10.1155/2008/919420.

Inan, E., Colakoglu, Z., Koc, N., Bayülke, N., and Coruh, E., 1996. Earthquake catalogs with acceleration records from 1976 to 1996. Technical report, General Directorate of Disaster Affairs, Earthquake Research Department, Ankara, Turkey.

Kale Ö., and Akkar, S., 2013. A New Procedure for Selecting and Ranking Ground-Motion Prediction Equations (GMPEs): The Euclidean Distance-Based Ranking (EDR) Method. Bulletin of the Seismological Society of America, 103, 1069-1084.

Kale, Ö., Akkar, S., Ansari, A., Hamzehloo, H., 2015. A Ground-Motion Predictive Model for Iran and Turkey for Horizontal PGA, PGV, and 5% Damped Response Spectrum: Investigation of Possible Regional Effects. Bulletin of the Seismological Society of America, 105, 963-980.

Kalkan, E., and Gülkan, P., 2004. Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey. Earthquake Spectra, 20, 1111-1138

Kayabali, K., and Beyaz, T., 2011. Strong motion attenuation relationship for Turkey – a different perspective. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 70, 467-481.

Kramer, S.L., 1996. Geotechnical earthquake engineering. Prentice-Hall, New Jersey.

Özbey, 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.

Power, M., Chiou, B., Abrahamson, N., Bozorgnia, Y., Shantz, T., and Roblee, C., 2008. An overview of the NGA project. Earthquake Spectra, 24, 3-21.

Regional Centroid Moment Tensor Web Sitesi, 2016. http://www.bo.ingv.it/RCMT/searchRCMT.html, 07 Aralık 2015.

Sandıkkaya, M.A., Yılmaz, M.T., Bakır, B.S., and Yılmaz, Ö., 2010. Site classification of Turkish national strong-motion stations. Journal of Seismology, 14, 543-563.

Scassera, G., Stewart, J., Bazzurro, P., Lanzo, G., and Mollaioli, F., 2009. A comparison of NGA ground-motion prediction equations to Italian data. Bulletin of the Seismological Society of America, 99, 2961-2008.

Scherbaum, F, Delavaud, E., and Riggelsen, E., 2009. Model selection in seismic hazard analysis: an information theoretic perspective. Bulletin of the Seismological Society of America, 99 (6), 3234-3247.

Scherbaum, F., Cotton, F., and Smit, P., 2004. On the use of response spectral-reference data for the selection and ranking of ground-motion models for seismic-hazard analysis in regions of moderate seismicity: the case of rock motion. Bulletin of the Seismological Society of America, 94 (6), 2164-2185.

Schwarz, C. Ende, J., Habenberger, D.H., Lang, M., Baumbach, H., Grosser, C., Milereit, S., Karakisa, S., and Zünbül, S., 2002. Horizontal and vertical response spectra on the basis of strong-motion recordings from the 1999 Turkey earthquakes. In Proceedings of the XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission, Lizbon.

Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı, 2016. http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php, 05 Haziran 2015.

Ulusay, R., Tuncay, E., Sonmez, H., and Gokceoglu, C., 2004. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. Engineering Geology, 74, 265-291.

Ulutaş, E., and Özer, M.F., 2003. Attenuation relationship for estimation of peak ground horizontal acceleration in eastern Marmara region of Turkey. In EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France.

Ulutaş, E., and Özer, M.F., 2010. Empirical attenuation relationship of peak ground acceleration for eastern Marmara region in Turkey. Arabian Journal for Science and Engineering, 35, 187-203.

Ulutaş, E., Coruk, Ö., and Karakaş, A., 2011. A Study of Residuals for Strong Ground Motions in Adapazarı Basin, NW Turkey, By Ground Motion Prediction Equations (GMPEs). Studia Geophysica et Geodaetica, 55, 213-240.

Yilmaz, S., 2011. Ground motion predictive modelling based on genetic algorithms. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 2781-2789.