TÜRKİYE DEPREMLERİ İÇİN SİSMİK ŞİDDET İLE YER HAREKETİ PARAMETRELERİ ARASINDA BAĞINTILAR

M. Bilal[1] ve A. Askan[2]

[1] *Doktora Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[2] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
Email: mst.bilal@gmail.com

ÖZET:

Depremler yüksek hasar potansiyeli taşıyan doğal afetlerdir. Ancak bu afetlerden doğacak kayıpları çeşitli önlemler ile azaltmak mümkündür. Sismik kayıpların azaltılması için önemli bir husus, depremlerden hemen sonra deprem bölgesindeki şiddet dağılımının belirlenmesidir. Bu amaçla, öncelikle yer hareketi şiddeti için güvenilir bir değerlendirme yönteminin belirlenmesi gerekir. Literatürdeki çalışmalarda, hissedilen şiddetin ölçülen yer hareketlerine bağlı olduğu ancak bu bağıntıların bölgesel oldukları belirlenmiştir. An itibariyle Türkiye verileri için hissedilen şiddet ile ölçülen yer hareketi parametreleri arasında iyi kurulmuş bağıntılar bulunmamaktadır. Bu çalışmada doğrusal en küçük-kareler regresyon yöntemi kullanılarak hissedilen şiddet ile maksimum yer hareketi parametreleri arasında iki bağıntı oluşturulmuştur. Bu bağıntılardan ilki Değiştirilmiş Mercalli Şiddeti (MMI) ile Maksimum Yer İvmesi (MYİ), ikincisi ise MMI ile Maksimum Yer Hızı (MYH) arasındadır. Regresyon analizinde kullanılan 92 adet MMI, MYİ ve MYH veri çiftini oluşturmak için eski hasar raporları ve eşşiddet haritaları kullanılmıştır. Elde edilen bağıntılar dünyadaki diğer deprem bölgeleri için çıkarılmış denklemler ile karşılaştırılmıştır. Bu yerel bağıntılar, gelecekte ülkemizdeki acil müdahale ve afet yönetimi uygulamalarında eşşiddet haritaları oluşturmak için kullanılabilecektir.

ANAHTAR KELİMELER: Hissedilen şiddet, eşşiddet haritası, en küçük-kareler regresyonu, değiştirilmiş Mercalli şiddeti (MMI).

1. GİRİŞ

Bir depremin hasar oluşturma potansiyeli, yer hareketi parametreleri cinsinden nicel olarak, hissedilen şiddet cinsinden ise nitel olarak belirlenebilmektedir. Maksimum yer hareketi parametreleri, ivme ve hız kayıtlarından; şiddet değerleri ise insanların depreme verdiği tepkilerden ve yapılarda oluşan hasarların gözleminden elde edilmektedir. Yer hareketi parametreleri ile hissedilen şiddet arasındaki ilişkiler, tarihsel depremlerin değerlendirilmesi, sismik tehlike ve risk çalışmaları gibi çeşitli alanlarda önemli bir araç olarak kullanılmasından ötürü büyük önem arz etmektedir. Hissedilen şiddet ile ölçülen yer hareketi parametreleri arasındaki ilişkinin en yaygın olarak kullanıldığı uygulama ise eşşiddet haritalarıdır. Eşşiddet haritaları depremlerden çok kısa bir süre sonra oluşturulabilmektedir. Bu haritalar, depremden etkilenen alan hakkında ilk değerlendirmenin yapılmasını ve yapılarda oluşabilecek hasar hakkında hızlıca yaklaşık bir fikir edinilmesini mümkün kılmaktadır. Dünyanın birçok yerinde depremden sonra müdahale anında veya afet yönetimi alanında kullanılan eşşiddet haritalarından en yaygın olanı ShakeMap uygulamasıdır (Wald vd., 1999a). Hissedilen şiddet (MMI)-maksimum yer ivmesi (MYİ) ve hissedilen şiddet-maksimum yer hızı (MYH) bağıntıları, eşşiddet haritalarının oluşturulmasında en yaygın kullanılan ilişkilerdir. Yer hareketi parametreleri ile hissedilen şiddet arasında ilişki kurma çabaları deprem mühendisliği literatüründe önemli bir yere sahiptir (örn: Murphy ve O'Brien, 1977; Wald vd., 1999b; Kaka ve Atkinson, 2004; Tselentis ve Danciu, 2008; Faenza ve Michelini, 2010). Bu ilişkiler bölgesel veya global veri tabanları kullanılarak elde edilebilir. Ancak MMI değerleri yapılardaki hasara da bağlı oldukları için,

bu değerler lokal bir karakteristik gösterecektir. Dolayısıyla, benzer yer hareketi kayıtları için farklı bölgelerde farklı MMI değerleri gözlenmesi muhtemeldir. Bu nedenle, bu ilişkilerin mümkün olduğunca lokal ölçekte elde edilmesi önerilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye için elde edilen MMI-MYİ ve MMI-MYH denklemleri sunulmuştur.

Sismik olarak son derece aktif bir bölgenin üzerinde yer alan Türkiye, geçtiğimiz yüzyılda Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda oluşan birçok yıkıcı deprem ile sarsılmıştır (Ambraseys, 2009). Yıkıcı depremler sonrasında afet yönetim stratejisinde köklü değişikliklere gidilmiş olup, bu strateji doğrultusunda halen sismik tehlike ve risk azaltma alanında birçok çalışma yürütülmektedir. Ancak, Türkiye'deki depremler detaylı bir şekilde incelenerek hissedilen şiddet ile ölçülen yer hareketi parametreleri arasında güçlü bir bağıntı kurmayı amaçlayan çalışmalara yeterince yer verilmediği gözlemlenmektedir. MMI-MYİ arasında mevcut olan tek denklem Arıoğlu vd. (2001) tarafından önerilen ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli (Mw=7.4) depreminin 13 kaydı kullanılarak elde edilen denklemdir. Bu denklem halen Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) Başkanlığınca da kullanılmaktadır. Ancak, tek bir depremden elde edilmiş 13 tane veriye dayanan bu denklemin ülke genelinde doğru sonuçlar veremeyebileceği bilinmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada birçok depremden yararlanılarak MMI-MYİ ile MMI-MYH arasında daha genel ve ülke çapında kullanıma elverişli denklemler elde edilmiştir.

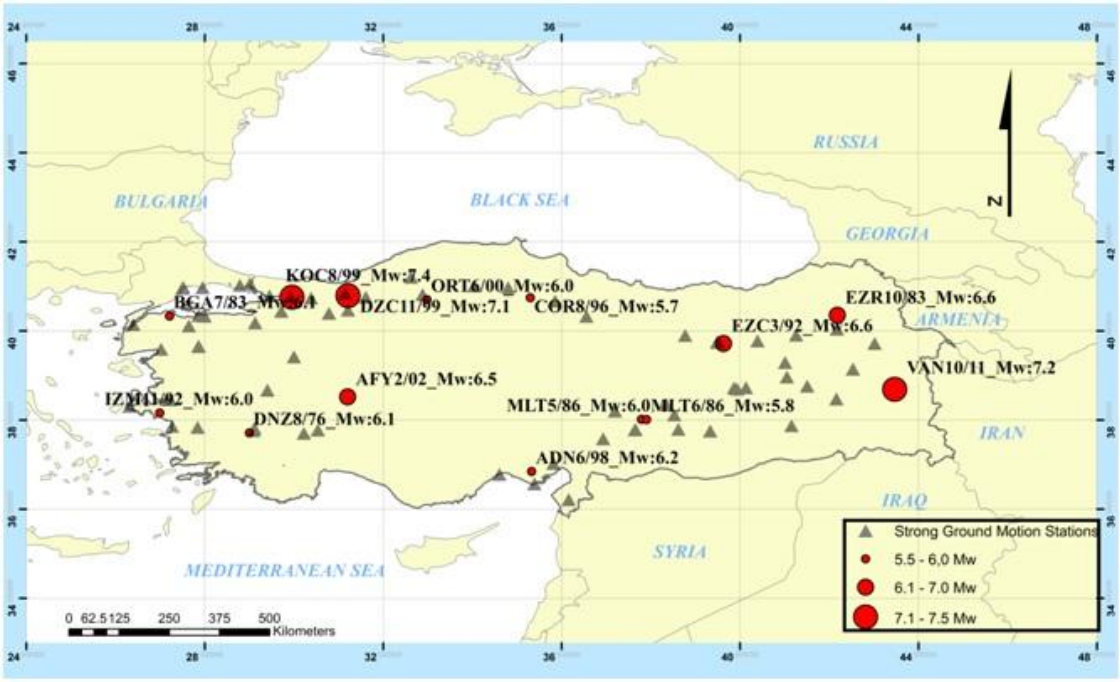
Yapılan bazı çalışmalarda MMI-MYH ilişkisinin hasar oranları için daha kuvvetli bir belirteç olduğu aktarılmıştır (örn.: Boatwright vd., 2001; Atkinson ve Kaka, 2007). Ancak Türkiye'de MMI değerlerinin yapıların rijitliğine göre MYİ veya MYH ile ilişkilendirilebileceği de görülmüştür (Akansel vd., 2012). MYİ daha rijit yapılar olan yığma binalarda, MYH ise nispeten daha esnek yapılar olan betonarme yapılarda hasar oranlarının belirlenmesi için daha iyi bir ölçektir (Erberik, 2008a; 2008b). Türkiye'de betonarme yapılar ve yığma yapılar en yaygın iki yapı türüdür. Bu bildiride bu iki yapı tipinde kullanılması amacıyla MMI-MYİ ve MMI-MYH denklemleri sunulmuştur. Bu çalışmada, MMI-MYİ ve MYH ilişkisinde moment büyüklükleri (Mw) 5.7 ile 7.4 arasında değişen 14 depremden 92 veri çifti kullanılmış ve verilerin en küçük-kareler metodu ile regresyon analizi yapılmıştır.

2. VERİ

Bu çalışmada 1976 ile 2011 yılları arasında meydana gelmiş, büyüklükleri 5.7 ile 7.4 arasında değişen 14 depremden elde edilen 92 veri çifti kullanılmıştır. Deprem ham verileri Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı internet adresinden (http://daphne.deprem.gov.tr) temin edilmiştir. Sıfırdan sapma (baseline) düzeltmesi ve filtreleme işlemlerinde Akkar ve Bomer (2006) ve Akkar vd.(2011) tarafından tavsiye edilen prosedür uygulanmıştır.

23 Ekim 2011 Van (Mw=7.2) depremi dışındaki depremlere ait şiddet değerleri AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı arşivinde bulunan eşşiddet haritalarının analiz edilmesiyle belirlenmiştir. 23 Ekim 2011 Van (Mw=7.2) depreminin şiddet değerleri ise USGS'nin ağ tabanlı anket sistemi "Did You Feel It? (DYFI)"ten alınmıştır. Eşşiddet haritalarının büyük bir çoğunluğu MMI ölçeğinde hazırlanmış olmasına rağmen bir kısmının da MSK ölçeğinde hazırlandığı görülmüştür. Standart bir ölçeğe bağlı kalmak ve yurtdışındaki literatür çalışmalarıyla uyumlu olmak amacıyla MSK ölçeğindeki raporlar Musson vd.(2010) tarafından önerilen çevrim tablosuyla MMI ölçeğine uyarlanmıştır. Elde edilen şiddet değerleri kayıt alınan en yakın istasyona atanmıştır.

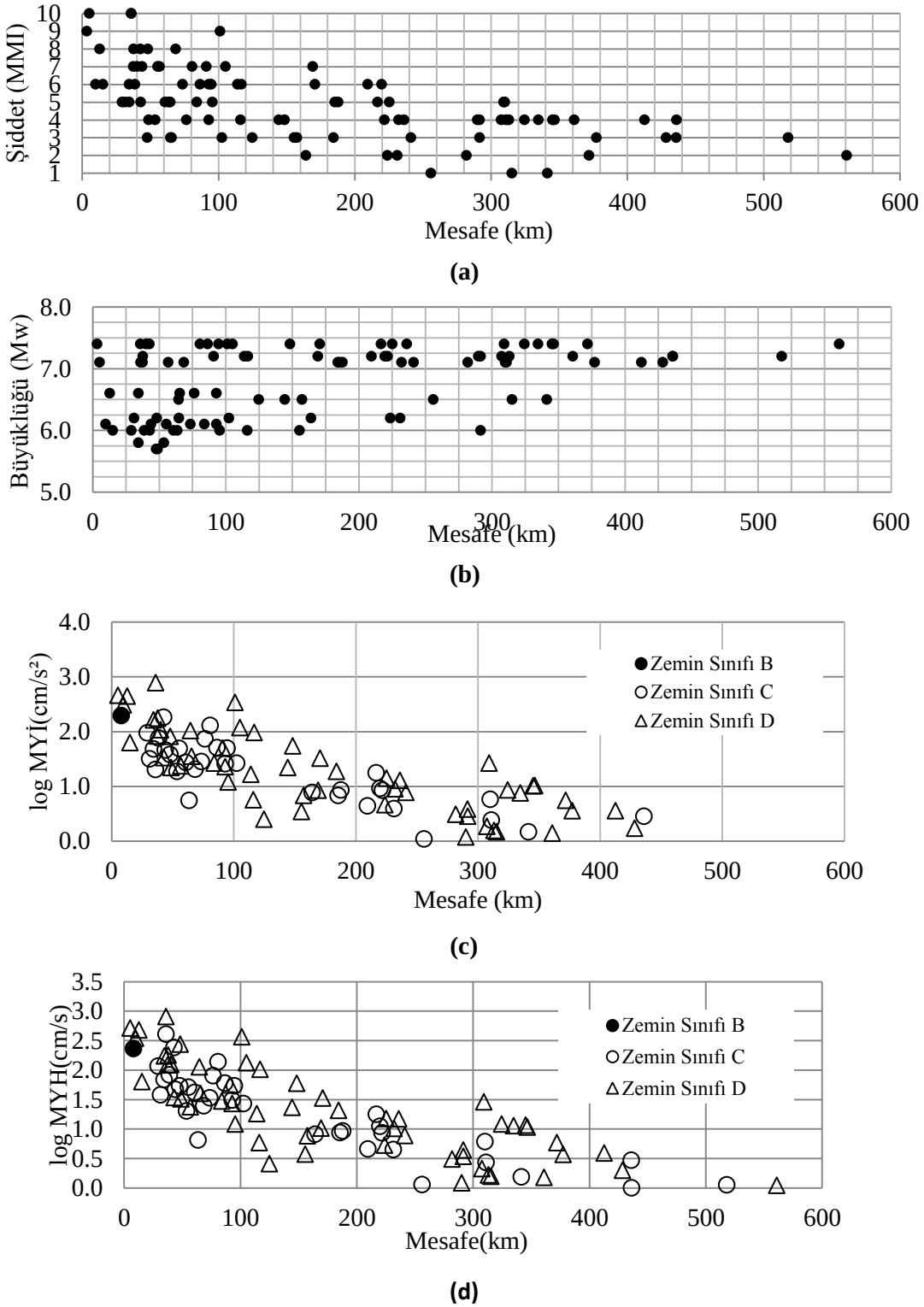
Analizde kullanılan depremlerin yerleri ve kayıt alan istasyonlar Şekil 1'de; depremler, şiddet değerleri, istasyonlar ile ilgili detaylı bilgiler ise Tablo 1'de sunulmuştur. Mw, zemin sınıfı, MMI, MYİ ve MYH parametrelerinin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan depremler ve kayıt alınan kuvvetli yer hareketi istasyonları

Tablo 1. Depremlerin tarih, koordinat, büyüklük ve kayıt alan istasyonların mesafe bilgileri

Deprem (Kısaltma)	**Tarih (GG/AA/YYYY)**	**Enlem (K)-Boylam (D)**	**Büyüklük (Mw)**	**MMI-MYİ Veri Çifti Sayısı**	**MMI-MYH Veri Çifti Sayısı**	**Mesafe (km)**
Kocaeli (KOC)	17/08/1999	40.756-29.955	7.4	21	21	3.40-561.02
Adana (ADN)	27/06/1998	36.845-35.325	6.2	7	7	31.31-231.31
Afyon (AFY)	03/02/2002	38.520-31.202	6.5	7	7	64.71-341.40
Biga (BGA)	05/07/1983	40.332-27.210	6.1	5	5	44.05-93.00
Çorum (COR)	14/08/1996	40.746-35.296	5.7	2	2	47.80-48.86
Denizli (DNZ)	19/08/1976	37.711-29.000	6.1	1	1	9.85
Düzce (DZC)	12/11/1999	40.806-31.187	7.1	16	16	5.27-428.46
Erzincan (EZC)	13/03/1992	39.715-39.629	6.6	3	3	12.83-76.45
Erzurum (ERZ)	30/10/1983	40.352-42.179	6.6	2	2	34.50-93.01
İzmir (IZM)	06/11/1992	38.109-26.956	6.0	3	3	38.74-60.80
Malatya (MLT)	05/05/1986	38.016-37.789	6.0	1	1	29.24
Malatya (MLT)	06/06/1986	38.009-37.905	5.8	2	2	34.44-53.61
Orta (ORT)	06/06/2000	40.700-32.982	6.0	6	6	15.24-291.61
Van (VAN)	23/10/2011	38.689-43.465	7.2	16	16	37.80-518.00



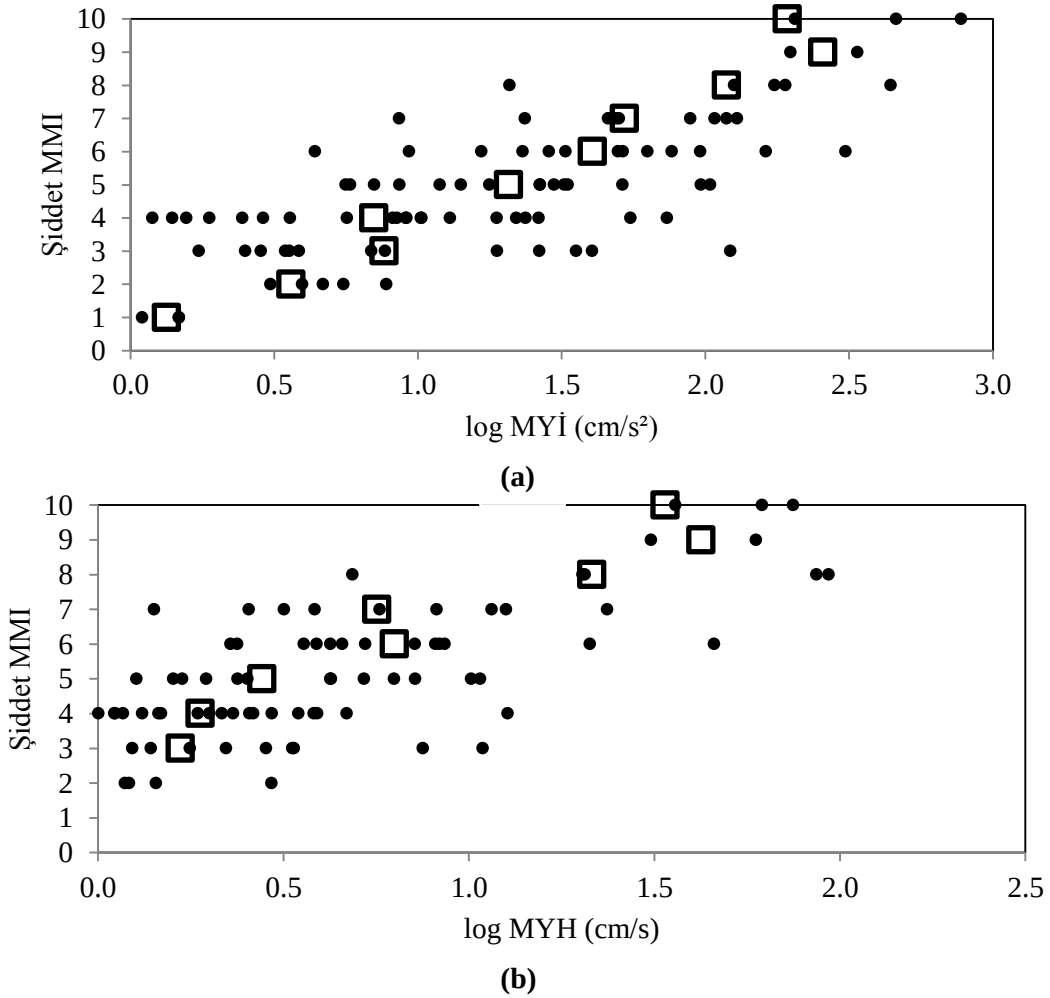
Şekil 2. Mesafeye karşı (a) Moment büyüklüğü, (b) MMI, (c) log(MYİ) (d) log(MYH) değişim grafikleri (NEHRP zemin sınıflandırması kullanılmıştır)

3. REGRESYON ANALİZİ

MMI-MYİ/MYH analizlerinde en küçük-kareler regresyon metodu kullanılmıştır. MMI değerlerinin log(MYİ) ve log(MYH) dağılımları Şekil 3.a ve Şekil 3.b'de sunulmuştur. MYİ/MYH değerlerinde meydana gelebilecek saçılımı minimize etmek amacıyla önceki çalışmalarda (Kaka ve Atkinson, 2004; Tselentis ve Danciu, 2008) da kullanıldığı üzere her bir MMI değerine, o değere karşılık gelen MYİ/MYH değerlerinin ortalaması atanmıştır. MMI değerlerine karşılık gelen log(MYİ)/log(MYH) değerlerine ait değerler Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü üzere, veri setini Denklem (1) ve Denklem (2) formunda doğrusal denklemler ile ifade etmek mümkün olacaktır.

$$MMI = a_1 + a_2 \log(MY\dot{I}) \quad (1)$$

$$MMI = c_1 + c_2 \log(MYH) \quad (2)$$



Şekil 3. Gözlemlenen şiddete karşı gelen (a) log(MYİ), (b) log(MYH) değerleri grafiği (Her bir MMI değerine karşılık gelen yer hareketi parametrelerinin ortalama değerleri kare işareti ile gösterilmiştir)

Tablo 2. Her bir MMI için kaydedilen log(MYİ) değerleri ve bu değerlerin istatistiksel parametreleri

MMI	Ortalama (logMYİ)	Standart Sapma (logMYİ)	Her MMI için gözlemlenen kayıt sayısı
I	0.125	0.073	3
II	0.559	0.316	6
III	0.882	0.610	14
IV	0.846	0.534	22
V	1.315	0.403	15
VI	1.607	0.500	13
VII	1.719	0.381	9
VIII	2.073	0.499	5
IX	2.409	0.168	2
X	2.285	0.856	3

Tablo 3. Her bir MMI için kaydedilen log(MYH) değerleri ve bu değerlerin istatistiksel parametreleri

MMI	Ortalama (logMYH)	Standart Sapma (logMYH)	Her MMI için gözlemlenen kayıt sayısı
I	-0.420	0.135	3
II	-0.040	0.430	6
III	0.222	0.421	14
IV	0.276	0.307	22
V	0.442	0.399	15
VI	0.799	0.358	13
VII	0.751	0.389	9
VIII	1.331	0.455	5
IX	1.625	0.210	2
X	1.529	0.524	3

Regresyon sonucunda elde edilen denklem katsayıları ve denklemlerin standart hataları Tablo 4'te verilmiştir. Her iki denklem için de standart hata 1 MMI değerinden küçük olup, MMI-MYİ ilişkisindeki standart hata MMI-MYH ilişkisindeki hatadan daha düşük çıkmıştır.

Bilindiği üzere, regresyon analizinde artık hata (residual) değerlerinin normal dağılım sergilediği varsayılmaktadır. Bu varsayımı doğrulamak amacıyla yapılan istatistik testler sonucu regresyon analizinin geçerliliği de doğrulanmıştır.

Tablo 4. Denklemlerin katsayıları ve standart hataları

Denklem	Regresyon Değişkeni	Regresyon Katsayısı	Regresyon Katsayısının Standart Hatası	Denklemin Standart Hatası (σ)
$MMI = a_1 + a_2 \log(MY\dot{I})$	a_1	0.132	0.370	$\sigma_{MMI-PGA}$=0.545
	a_2	3.884	0.237	
$MMI = c_1 + c_2 \log(MYH)$	c_1	2.673	0.284	$\sigma_{MMI-PGV}$=0.635
	c_2	4.340	0.309	

4. LİTERATÜRDEKİ BENZER ÇALIŞMALARLA KARŞILAŞTIRMALAR

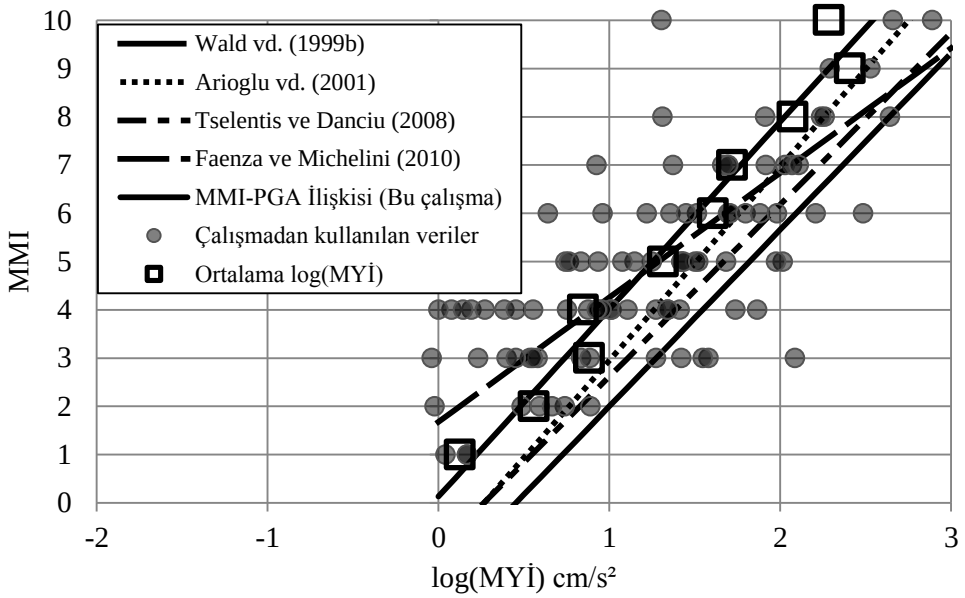
Bu kısımda, bu çalışmada elde edilen denklemler ile literatürde yer alan benzer çalışmalar karşılaştırılmıştır. MMI-MYİ denklemi Wald vd. (1999b), Arıoğlu vd. (2001), Tselentis ve Danciu (2008) ve Faenza ve Michelini (2010) ile; MMI-MYH denklemi ise Wald vd. (1999b), Kaka ve Atkinson (2004), Tselentis ve Danciu (2008) ve Faenza ve Michelini (2010) denklemleri ile karşılaştırılmıştır. Denklemlere ait detaylar Tablo 5 ve Tablo 6'da; denklemlerin grafiksel kıyaslaması Şekil 4 ve Şekil 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. MMI-MYİ referans çalışmaları ve denklemleri

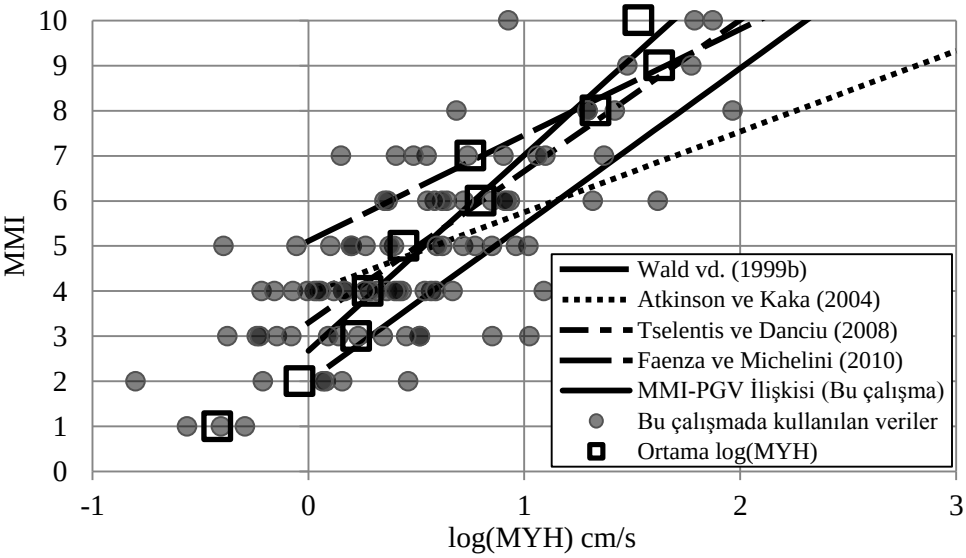
Referans Çalışma	Denklem	Veritabanı
Wald vd. (1999b)	MMI=3.66*log(MYİ)-1.66	California, ABD
Arıoğlu vd. (2001)	MMI=1.748*ln(MYİ)-1.078	Marmara, Türkiye
Tselentis ve Danciu (2008)	MMI=-0.946+3.563*log(MYİ)	Yunanistan
Faenza ve Michelini (2010)	MMI=1.68+2.58*log(MYİ)	İtalya
Bu çalışma	MMI=0.132+3.884*log(MYİ)	Türkiye

Tablo 6. MMI-MYH referans çalışmaları ve denklemleri

Referans Çalışma	Denklem	Veritabanı
Wald vd. (1999b)	MMI=2.35+ 3.47*log(MYH)	California, ABD
Kaka ve Atkinson (2004)	MMI=3.96+1.79*log(MYH)	Kuzey Doğu Amerika
Tselentis ve Danciu (2008)	MMI=3.30+3.358*log(MYH)	Yunanistan
Faenza ve Michelini (2010)	MMI=5.11+2.35*log(MYH)	İtalya
Bu çalışma	MMI=2.673+4.340*log(MYH)	Türkiye



Şekil 4. Bu çalışmada elde edilen MMI-MYİ denkleminin diğer çalışmalar ile kıyaslanması



Şekil 5. Bu çalışmada elde edilen MMI-MYH denkleminin diğer çalışmalar ile kıyaslanması

Şekil 4 incelendiğinde California denkleminin (Wald vd., 1999b), Türkiye veri seti için düşük MMI değerleri verdiği gözlemlenmektedir. İnsanların benzer sarsıntılara benzer tepkiler verdikleri, dolayısıyla farklılıkların temelinde binaların inşa yönteminin olduğu düşünülmektedir. Ek olarak, California yapı stokunun Türkiye yapı stokuna göre daha az hasar görebileceği ve depreme daha dayanıklı olduğu çıkarımı da yapılabilmektedir. Tselentis ve Danciu (2008) denkleminin de benzer bir şekilde düşük değerler verdiği gözlemlenmiştir. Faenza ve Michelini (2010), bu çalışmada önerilen denkleme yakın sonuçlar vermekte olup İtalya yapı stoku ile Türkiye

yapı stoku arasında bir benzerlik olduğu bilinmektedir. Arıoğlu vd. (2001) denkleminin ise düşük ivme değerlerinde yaklaşık 1 MMI ölçeği kadar düşük değerler verdiği görülmüştür. Bu farkın, o çalışmadaki kayıt çeşitliliğinin az olması nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir. Bu çalışmada 14 ayrı depremden 92 veri ile analiz yapılırken, Arıoğlu vd. (2001) analizleri tek bir depremi esas almaktadır.

Şekil 5 incelendiğinde ise MMI-MYH denkleminin MMI-MYİ ilişkisine göre daha yüksek bir standart sapmaya sahip olduğu görülmektedir. Türkiye'deki yapı stokunun ivmeye duyarlı olan daha az sünek ve kırılgan yapılardan oluştuğu dikkate alındığında elde edilen sonuç şaşırtıcı olmamıştır. Bununla birlikte Wald vd. (1999b) ve Atkinson ve Kaka (2007) tarafından MYH'nin yüksek MMI değerleri için daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir. Bunun nedeni söz konusu çalışmalara temel oluşturan yapılar hasarın MYH ile daha iyi ilişkilendirilebileceği daha sünek ve uzun periyotlu yapılar olmasıdır. Öte yandan, bu çalışmadaki MMI-MYH denklemine kıyasla Wald vd.(1999) denkleminin tüm şiddet değerleri için düşük sonuçlar verdiği; diğer denklemlerin ise düşük şiddet değerlerinde yüksek, yüksek şiddet değerlerinde düşük değerler verdiği görülmektedir. Sonuçlardaki bu farklılığın yapı stoku farkının yanı sıra, MYH'nin büyük varyanslı bir yer hareketi parametresi olması nedeniyle benzer MYH değerlerine farklı MMI değerlerinin atanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuç olarak, MMI-MYH ilişkisinin, MMI-MYİ ilişkisinden daha belirgin bir şekilde bölgesel karakteristik taşıdığı görülmüştür. Bu sebeple, başka bölgelere ait denklemler mümkün olduğunda kullanılmamalı ve kullanılması durumunda oluşacak hata payları göz önüne alınmalıdır.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye yer hareketi veri tabanı kullanılarak MMI-MYİ ve MMI-MYH arasında yeni tahmin denklemleri elde edilmiştir. MMI veritabanı ise gözlemlere dayanan eski eşşiddet haritalarından oluşturulmuştur. Bu çalışma sonucu elde edilen denklemler, literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. California için geliştirilen denklemin Türkiye veritabanı için düşük değerler verdiği gözlemlenmiştir. Bu farkın California yapı stokunun depreme daha dayanıklı yapılardan oluşmasından meydana geldiği düşünülmüş; dolayısıyla benzer yer sarsıntılarının daha az hissedildiği ve daha az hasara sebep olduğu sonucuna varılmıştır. MMI-MYİ/MYH denklemlerinin mevcut olmaması durumunda diğer denklemler aracılığıyla yaklaşık sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak yer hareketi parametreleri ve bina karakteristikleri bölgesel farklılık gösterdiğinden depremlerden sonra mümkün olduğunca ilgili bölgeler için elde edilmiş denklemlerin kullanılması önerilmektedir. Bu çalışmada yapılan analizler doğrultusunda önerilen denklemler, ülkemizde afet öncesi risk azaltma çalışmalarında, afet sonrasında ise hızlı ve etkin müdahalede kullanılabilecektir.

KAYNAKLAR

Akansel, V., Ameri, G., Askan, A., Caner, A., Erdil, B., Kale, O., and Okuyucu, D. (2013). The 23 October 2011 Mw 7.0 Van (Eastern Turkey) Earthquake: Interpretations of Recorded Strong Ground Motions and Post Earthquake Conditions of Nearby Structures, Earthquake Spectra.

Akkar, S. and Bommer J.J. (2006). Influence of long-period filter cut-off on elastic spectral displacements, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35, 1145-1165.

Akkar, S., Kale, O., Yenier, E. and Bommer J.J. (2011). The high-frequency limit of usable response spectral ordinates from filtered analogue and digital strong-motion accelerograms, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 40, 1387-1401.

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

Arıoğlu, E., Arıoğlu, B., Girgin, C. (2001). Assessment of the Eastern Marmara Earthquake in Terms of Acceleration Values, Beton Prefabrikasyon, 57-58, 5-15.

Atkinson, G. M., and Kaka, S. L. (2007). Atkinson, G. M. and Kaka, S. L., (2006). Relationships between Felt Intensity and Instrumental Ground Motion in Central United States and California, *Bulletin of Seismological Society of America*, 91-2, 497-510.

Boatwright, J., K. Thywissen, and L. Seekins (2001). Correlation of ground motion and intensity for the 17 January 1994 Northridge, California earthquake, Bull. Seism. Soc. Am. 91, 739–752.

Erberik, M.A. (2008a). Generation of fragility curves for Turkish masonry buildings considering in-plane failure modes, Earthquake Eng. and Str. Dyn. 37, 387-405.

Erberik, M.A. (2008b). Fragility-based assessment of typical mid-rise and low-rise RC buildings in Turkey, Engineering Structures 30, 1360-1374.

Faenza, L. and Michelini, A. (2010). Regression Analysis of MCS Intensity and Ground Motion Parameters in Italy and its Application in ShakeMap, Geophysical Journal International, 180, 1138-1152.

Kaka, S.L. and Atkinson, G.M. (2004). Relationships between Instrumental Ground-Motion Parameters and Modified Mercalli Intensity in Eastern North America, Bulletin of Seismological Society of America, 94-5, 1728-1736.

Murphy, J. R. and O'Brien, L. J. (1977). The Correlation of Peak Ground Acceleration Amplitude with Seismic Intensity and Other Physical Parameters, Bull. Seism. Soc. Am., 67-3, 877-915.

Musson, R. M. W., Grünthal, G. Stucchi, M., (2010). The Comparison of Macroseismic Intensity Scales, Journal of Seismology, 14, 413-428.

Tselentis, G. and Danciu, L. (2008). Empirical Relationships between Modified Mercalli Intensity and Engineering Ground-Motion Parameters in Greece, Bulletin of Seismological Society of America, 98-4.

Wald, D.J., Quitoriano, V., Heaton, T.H., Kanamori, H., Scrivner, C.W., and Worden, B.C. (1999a). TriNet "ShakeMaps": Rapid generation of peak ground-motion and intensity maps for earthquakes in southern California: Earthquake Spectra, v. 15, no. 3, p. 537-556.

Wald, D. J., Quitoriano, V., Heaton, T. H., Kanamori, H. (1999b). Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California, Earthquake Spectra, 15-3, 557-564.

Wald, D., V. Quitoriano, L. Dengler, and J. Dewey (1999c). Utilization of the Internet for rapid community intensity maps. Seismological Research Letters 70, 680–697.