

GERÇEK DEPREMLERİN ÖLÇEKLENME KAYITLARINA AİT TEPKİ SPEKTRUMLARININ FARKLI TASARIM İVME SPEKTRUMLARI İLE UYUMUNUN ARAŞTIRILMASI

T. Uçar¹ ve O. Merter²

¹ Yardımcı Doçent Doktor, Mimarlık Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

² Araştırma Görevlisi Doktor, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir
Email: taner.ucar@deu.edu.tr

ÖZET:

Çağdaş deprem yönetmeliklerinde yapıların tasarımına yönelik elastik deprem yüklerinin tanımlanmasında belirli bir deprem tehlikesi ve zemin sınıfı için esas alınan tasarım ivme spektrumları kullanılmaktadır. Farklı ülke yönetmeliklerinde verilen elastik tasarım ivme spektrumlarına ait spektral eğriler genel olarak birbirine benzemekle birlikte, dikkate alınan deprem tehlikesi ve zemin koşulları için spektrum ordinatları ve köşegen periyotları farklı tanımlanmıştır. Bu durum yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için genel olarak üç farklı kaynaktan elde edilebilen ve belirli özellikleri taşıyan deprem kayıtlarının ölçeklenmesine de yansımakta ve aynı deprem kayıtları için farklı ölçekleme katsayıları elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, aynı depremlerin ölçeklenmiş kayıtlarına ait ivme spektrumlarının farklı yönetmeliklerde tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumu ile uyumu araştırılmıştır. Depremin büyüklüğü, faylanma mekanizması ve zemin koşulları dikkate alınarak gerçek deprem kayıtları seçilmiştir. Bu kayıtların her biri için %5 sönüm oranına sahip tek serbestlik dereceli doğrusal sisteme ait ivme spektrumları oluşturulmuş ve belirli bir sismik bölge ve iki farklı zemin sınıfı için, belirli bir periyot aralığında Türk Deprem Yönetmeliği-2007, Eurocode 8 ve UBC97’de verilen hedef elastik tasarım ivme spektrumuna uyumlu olacak şekilde zaman tanım alanında ölçeklenmiştir. Her bir kayıt için hesaplanan doğrusal ölçekleme katsayıları, hedeflenen genlik ile ölçeklenmiş kayda ait tepki spektrumunun genlikleri arasındaki fark ve ölçeklenmiş kayıtlara ait zarf süreler karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Gerçek deprem kayıtları, elastik tasarım ivme spektrumu, DBYBHY 2007, Eurocode 8, UBC97, zaman tanım alanında ölçekleme.

1. GİRİŞ

Deprem yönetmeliklerinde verilen elastik tasarım ivme spektrumları, deprem yer hareketinin yapı sisteminden talep ettiği çeyrekli tasarım büyüklüklerini tanımlamaktadır. Bu nedenle yapı sistemlerinin zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtları seçilirken, bu kayıtlara ait elastik ivme spektrumunun, yönetmeliklerde tanımlanan tasarım spektrumları ile uyumu önemlidir. Bu tip analizlerin amacı, herhangi bir deprem yer hareketi için çeyrekli yapısal elemanlarda oluşan iç kuvvet ve yerdeğiştirmeleri hesaplamak olmayıp, olası depremler için tasarımda kullanılacak ortalama depremlerin belirlenmesidir. Aynı bölgede kaydedilmiş olmasına rağmen bu depremlerin tek başlarına gelecekte o bölgede gerçekleşmesi muhtemel depremleri temsil etmesi beklenemez. Ayrıca uygun deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklenmesi, yer ivmelerinin zamanın fonksiyonu olarak yapıya adım adım etkilendiği zaman tanım alanında hesap yöntemlerinden anlamlı sonuçlar elde edilebilmesi bakımından da gereklidir.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan analizde kullanılacak ivme kayıtlarının elde edilmesine yönelik olarak modern deprem yönetmeliklerindeki genel yaklaşım, tasarım ivme

spektrumu ile uyumlu olacak şekilde yapay olarak üretilen, benzer tirilmi ya da gerçek deprem kayıtlarının kullanılması şeklindedir. Yer sarsıntısının doğası ve belirli bazı özellikleri hakkında sağlıklı bilgiler içermesi (Fahjan, 2008) ve günümüzde kuvvetli yer hareketi kayıtlarının buldukları veri tabanından kullanıcının bilgisayarına kolaylıkla transfer edilebilmesi nedeniyle gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi daha çok tercih edilmektedir (Fahjan, 2008; Vera ve Chouw, 2008; Kayhan, 2011).

Herhangi bir ivme kaydından elde edilen elastik ivme spektrumunun deprem yönetmeliklerinde belirtilen koşulları doğrudan sağlaması ve yönetmelik tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olması çok zordur (Ay ve Akkar, 2014). Bu sebeple ivme kayıtları, zaman tanım alanında veya frekans alanında ölçeklendirilmektedir. Genel olarak tercih edilen zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi, kaydın frekans içeriği deyiştirilmeden kayıttaki bütün yer ivmeleri sabit bir katsayı ile çarpılarak ivme kaydının genliğini düzenleyen bir yaklaşımdır (Yaccini ve Ansal, 2008). Ölçekleme katsayısının büyüklüğü ile ilgili olarak yönetmeliklerde bir kısıtlama bulunmamasına rağmen, genel olarak çok büyük veya çok küçük olmayan katsayılar tercih edilir. Frekans tanım alanında ölçeklemede ise kaydın frekans içeriği deyiştirilerek yönetmelik tasarım spektrumu ile bire bir eşleştirmek amacıyla birden çok sayıda farklı ölçekleme katsayıları kullanılmaktadır.

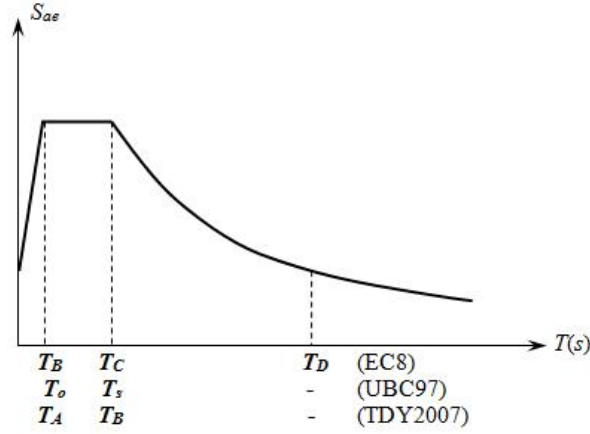
Çalışma kapsamında büyüklük, faylanma mekanizması ve zemin koşulları dikkate alınarak seçilen gerçek deprem kayıtları, TDY (2007) ve yaygın kabul gören UBC (1997) ve EC8 (2004) yönetmeliklerindeki tasarım ivme spektrumlarıyla uyumlu olacak şekilde zaman tanım alanında ölçeklenmiştir. Bu yönetmeliklerde etkin yer ivmesi (yer hareketi tasarım ivmesi, sismik bölge faktörü) değerleri ve ivmeye hassas spektral bölgenin alt ve üst sınır periyotları farklı tanımlanmıştır. TDY (2007) ve UBC (1997) tasarım spektrumlarından farklı olarak EC8 (2004)'de hız ve yerdeyiştirmeye hassas bölgeleri ayıran üçüncü bir kontrol periyodu da bulunmaktadır. Bu nedenle spektral eğrileri birbirine benzemesine rağmen farklı doğal ölçekleme katsayıları hesaplanmıştır. Bulunan ölçekleme katsayıları ve bunlara ait çeşitli istatistikler karıştırılmıştır. Ölçeklenen kayıtların zarf süreleri ve sıfır periyoda karşılık gelen spektral ivmelerin ortalaması değerlendirilmiştir.

2. ELASTİK TASARIM İVME SPEKTRUMLARI

Yapıların tasarımında, çoğu zaman, farklı tasarım parametrelerinin zamana bağlı olarak değişiminden ziyade tasarıma esas olan yapıya etkiyen yüklerin alabileceği en büyük değerler tasarımcı açısından önem kazanmaktadır. Deprem yönetmeliklerinde yapıların tasarımına yönelik olarak dikkate alınması gereken kuvvetli yer hareketi tasarım spektrumları kullanılarak tanımlanmaktadır. Tasarım spektrumları, belirli bölgeler için jeolojik ve jeofizik açıdan ortak özelliklere sahip yer hareketlerinin tepki spektrumlarının istatistik yöntemlerle değerlendirilmesi sonucunda elde edilir. Tanımlıkları fiziksel anlamlar açısından deprem mühendisliğinde en çok kullanılan spektrum tipleri spektral ivme (*PSA*), spektral hız (*PSV*) ve spektral yerdeyiştirme (*SD*) (Akkar ve Gülkan, 2002). Spektral ivme belirli bir deprem hareketinin yapıdan talep ettiği taban kesme kuvveti ile ilintili olduğundan bu tip spektrumlar tasarım açısından son derece kullanılandır ve farklı ülkelere ait deprem yönetmeliklerinde yer almaktadırlar (TDY, 2007; UBC, 1997; EC8, 2004).

Tipik spektral eğrisi şekil 1'de gösterilen elastik tasarım ivme spektrumu üzerinde bazı kontrol periyotları bulunmaktadır. Genel olarak zemin özellikleriyle birlikte belirtilen bu periyotlar, farklı ülkelere ait deprem yönetmeliklerinde farklı şekilde tanımlanmıştır ve deyişik değerler almaktadır. TDY (2007)'de spektrum karakteristik periyotları olarak adlandırılan T_A ve T_B periyotları tanımlanmıştır. UBC (1997)'de zemin özelliklerinin yanı sıra sismik C_a ve C_v faktörlerine bağlı olarak hesaplanan T_o ve T_s kontrol periyotları söz konusudur. Sismik açıdan en aktif bölgede (sismik bölge faktörü, $Z=0.4$) C_a ve C_v değerleri, yakın mesafe deprem etkilerini yansıtmak üzere N_a ve N_v yakın mesafe katsayılarıyla çarpılarak belirlenmektedir. TDY (2007)'deki T_A ve T_B periyotları ile UBC (1997)'deki T_o ve T_s periyotları ivmeye hassas spektral bölgenin alt ve üst sınırlarıdır. EC8 (2004)'de ivmeye bağlı spektral bölgenin sınır periyotları (T_B ve T_C periyotları) yanında

yerde i tirmeye hassas spektral bölgenin ba langıç periyodu T_D olarak verilmi tir. Söz konusu periyotların çalı mada ele alınan yönetmeliklerdeki kar ılıkları Tablo 1’de verilmi tir. EC8 elastik tasarım ivme spektrumuna ait periyot de erleri, yüzey dalgası büyüklü ü (M_s) 5.5 ve üstünde olan yer hareketleri içindir.



ekil 1. Elastik tasarım ivme spektrumlarının tipik ekli

Tablo 1. Spektrum kontrol periyotları

TDY2007			UBC97				EC8				
Yerel Zemin Sınıfı	Kontrol Periyotları		Yerel Zemin Sınıfı	Kontrol Periyotları		Yerel Zemin Sınıfı	Kontrol Periyotları				
	T_A (s)	T_B (s)		C_a ($Z=0.4$)	C_v ($Z=0.4$)		T_o (s)	T_s (s)	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
Z1	0.10	0.30	S_A	$0.32N_a$	$0.32N_v$	$0.2T_s$	$\frac{C_v}{2.5C_a}$	A	0.15	0.40	2.0
Z2	0.15	0.40	S_B	$0.40N_a$	$0.40N_v$			B	0.15	0.50	2.0
Z3	0.15	0.60	S_C	$0.40N_a$	$0.56N_v$	C	0.20	0.60	2.0		
Z4	0.20	0.90	S_D	$0.44N_a$	$0.64N_v$	D	0.20	0.80	2.0		
			S_E	$0.36N_a$	$0.96N_v$	E	0.20	0.50	2.0		

TDY (2007)’de dört farklı yerel zemin sınıfı yer almaktadır. Bu zemin sınıflarının belirlenmesinde ölçüt, zeminin relatif sıklı ı, serbest basınç direnci, kayma dalgası hız ve en üst zemin tabakası kalınlı ıdır. UBC (1997) ve UC8 (2004)’de zemin sınıflandırması zemin profilinin ilk 30 m’lik katmanına ait ortalama kayma dalgası hızına (V_{S30}) göre yapılmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. UBC97 ve EC8 yerel zemin sınıfları

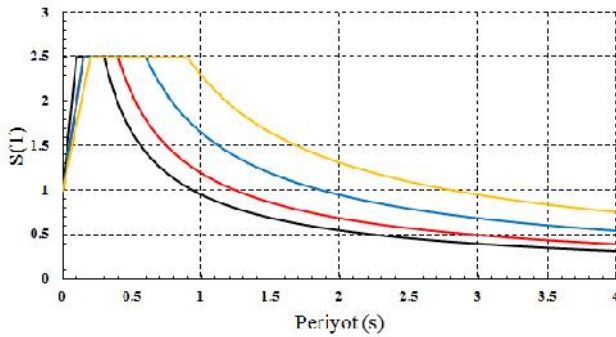
EC8		UBC97	
Yerel Zemin Sınıfı	V_{S30} (m/s)	Yerel Zemin Sınıfı	V_S (m/s)
A	> 800	S_A	> 1500
B	360 – 800	S_B	760 – 1500
C	180 – 360	S_C	360 – 760
D	< 180	S_D	180 – 360
E		S_E	< 180

TDY (2007), UBC (1997) ve UC8 (2004)’deki elastik tasarım ivme spektrumlarına esas eklini veren ifadeler Tablo 3’de verilmi tir. Burada $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmedir. TDY2007 sütununda yer alan A_0 deprem bölgesine ba lı olarak belirlenen etkin yer ivmesi katsayısı, I ise bina önem katsayısı, g ise yerçekimi ivmesidir. EC8 sütununda yer alan a_g yer hareketi tasarım ivmesini, S zemin parametresini ve γ ise sönüm oranının %5’den

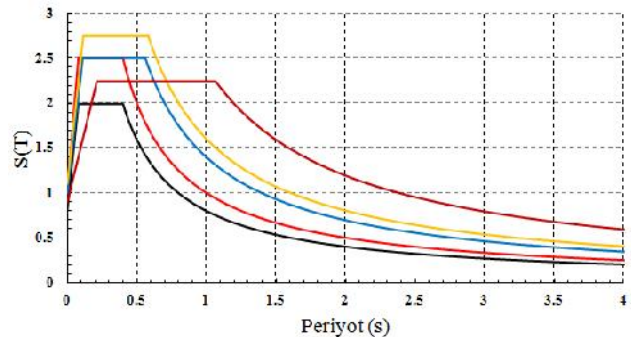
farklı alınması durumunda yapılacak olan düzeltmeyi gösterir. %5 sönüm oranı için $\gamma = 1$ 'dir. TDY (2007), UBC (1997) ve EC8 (2004)'de verilen tüm zemin sınıfları için olu turulan elastik tasarım ivme spektrumları ekil 2'de gösterilmiştir. Bu grafiklerde ordinat, spektrum katsayısı, $S(T)$, olarak ifade edilmiştir. Söz konusu tasarım spektrumlarının detaylı karşılaştırılması literatürde mevcuttur (Doğançın ve Livaoğlu, 2006).

Tablo 3. Elastik tasarım ivme spektrumu ordinatları

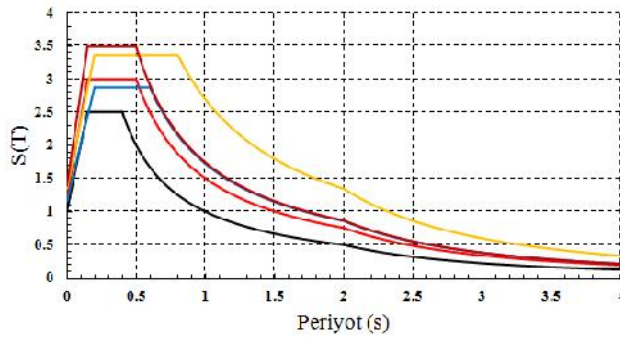
TDY2007	UBC97	EC8
$0 \leq T \leq T_A$	$T \leq T_o$	$0 \leq T \leq T_B$
$S_{ae}(T) = A_0 \cdot I \cdot \left(1 + 1.5 \frac{T}{T_A}\right) \cdot g$	$S_{ae}(T) = \left(C_a + \frac{1.5 \cdot C_a \cdot T}{T_o}\right) \cdot g$	$S_{ae}(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} (\gamma \cdot 2.5 - 1)\right]$
$T_A < T \leq T_B$	$T_o \leq T \leq T_s$	$T_B \leq T \leq T_C$
$S_{ae}(T) = A_0 \cdot I \cdot 2.5 \cdot g$	$S_{ae}(T) = 2.5 \cdot C_a \cdot g$	$S_{ae}(T) = a_g \cdot S \cdot \gamma \cdot 2.5$
$T_B < T$	$T_s \leq T$	$T_C \leq T \leq T_D$
$S_{ae}(T) = A_0 \cdot I \cdot \left[2.5 \left(\frac{T_B}{T}\right)^{0.8}\right] \cdot g$	$S_{ae}(T) = \left(\frac{C_v}{T}\right) \cdot g$	$S_{ae}(T) = a_g \cdot S \cdot \gamma \cdot 2.5 \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$
		$T_D \leq T \leq 4.0 s$
		$S_{ae}(T) = a_g \cdot S \cdot \gamma \cdot 2.5 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2}\right)$



— Z1 — Z2 — Z3 — Z4
a) TYD2007



— SA — SB — SC — SD — SE
b) UBC97



— A — B — C — D — E
c) EC8

ekil 2. Farklı yönetmeliklerdeki elastik tasarım ivme spektrumları

3. DEPREM KAYITLARI

Zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinde kullanılacak ivme kayıtları tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde yapay yollarla üretilebilmekte, benzer tirilmi veya gerçek deprem kayıtlarından elde edilebilmektedir (TDY, 2007). Günümüzde mevcut olan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının artması ve bu kayıtlara erişimin kolaylaşması sebebiyle, depremlerde kaydedilmiş ivme kayıtlarının kullanılması en çok tercih edilen seçenek haline gelmiştir (Özdemir ve Fahjan, 2007; Fahjan, 2008; Kayhan, 2011; Fahjan vd., 2011; Mert vd., 2014).

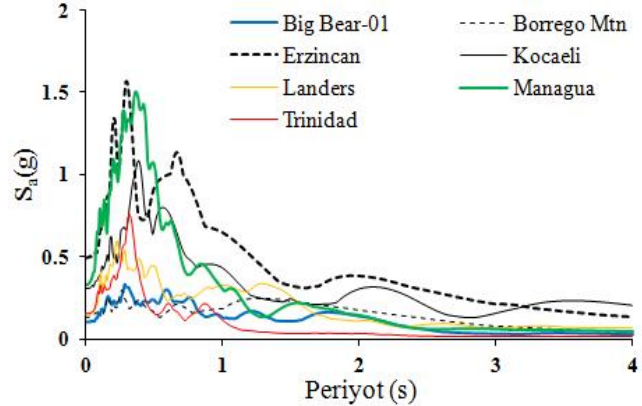
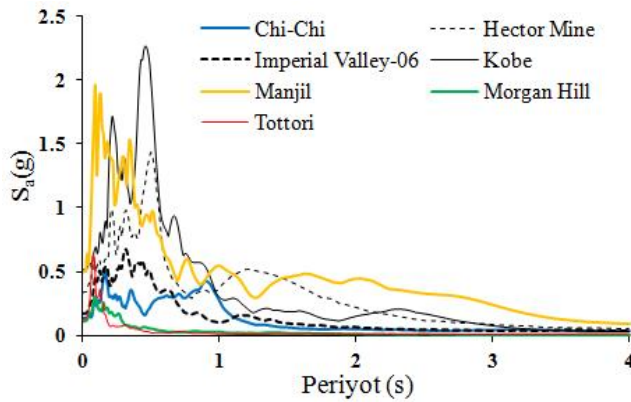
Bu çalışmada, birinci derece deprem bölgesi ve iki farklı yerel zemin sınıfı için TDY2007, UBC97 ve EC8’de esas alınan tasarım ivme spektrumlarıyla eşleşmek amacıyla gerçek deprem kayıtları kullanılmıştır. Deprem seçiminde, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER, 2015) veri tabanında yer alan kayıtlardan yararlanılmış ve depremin büyüklüğü, faylanma mekanizması ve zemin koşulları esas alınmıştır. Spektral eğrisi, elastik tasarım ivme spektrumuna benzer kayıtların seçilmesi ölçekleme açısından avantaj sağlar (Haselton vd., 2012), çalışmada bu özellik dikkate alınmıştır. Kullanılan kayıtların tamamı doğrusal titreşimli fayların olduğu depremlere aittir ve yakın fay etkisi içermemektedir. Depremlerin moment büyüklüğü (M_w) 6.2-7.5 arasında değişmektedir. Çalışmada kullanılan kayıtlar ve bu kayıtlara ait özellikler Tablo 4’de verilmiştir. Burada; J_{RB} Joyner-Boore mesafesi, V_{S30} zemin profilinin ilk 30 m’lik katmanına ait ortalama kayma dalgası hızı, PGA , PGV ve PGD ise sırasıyla en büyük yer ivmesi, yer hızı ve yer deplasmanıdır.

Tablo 4. Deprem kayıtları ve özellikleri

Deprem	stasyon	M_w	R_{JB} (km)	V_{S30} (m/s)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
Chi-Chi, Tayvan-04, 1999	CHY080	6.20	12.44	496.21	0.132	14.63	4.03
Hector Mine, 1999	Hector	7.13	10.35	726.00	0.337	41.76	14.00
Imperial Valley-06, 1979	Cerro Prieto	6.53	15.19	471.53	0.169	11.59	4.26
Kobe, 1995	Nishi-Akashi	6.90	7.08	609.00	0.509	37.19	9.34
Manjil, İran, 1990	Abbar	7.37	12.55	723.95	0.497	50.74	22.43
Morgan Hill, 1984	Gilray-Gavilan Coll.	6.19	14.83	729.65	0.114	3.56	0.96
Tottori, Japonya, 2000	SMNH05	6.61	78.58	710.63	0.124	5.58	5.67
Big Bear-01, 1992	San Bernardino-E & Hospitality	6.46	34.98	296.97	0.101	11.85	3.36
Borrego Mtn, 1968	El Centro Array #9	6.63	45.12	213.44	0.133	26.71	14.56
Erzincan, Türkiye, 1992	Erzincan	6.69	0.0	352.05	0.496	78.16	28.04
Kocaeli, Türkiye, 1999	Düzce	7.51	13.60	281.86	0.312	58.85	44.05
Landers, 1992	Yermo Fire Station	7.28	23.62	353.63	0.152	29.60	24.83
Managua, Nikaragua-01, 1972	Managua, ESSO	6.24	3.51	288.77	0.330	30.76	6.20
Trinidad, 1980	Rio Dell Overpass-FF	7.20	76.06	311.75	0.151	8.88	3.63

Seçilen kayıtlar zemin türüne göre gruplandırılmıştır. Bu gruplandırma yapılırken zemin profilinin ilk 30 m’lik katmanına ait ortalama kayma dalgası hızı (V_{S30}) dikkate alınmıştır. TDY (2007)’deki zemin sınıflandırması UBC (1997) ve EC8 (2004)’e göre daha kapsamlı olmasına karşın, deprem kayıtlarının alındığı kaynaklarda bu tür bir sınıflandırma yer almamakta ve genel olarak zemine ait V_{S30} değerleri verilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada kapsamında farklı zemin gruplarına ait kayma dalgası hızlarından yararlanılarak TDY (2007), UBC (1997) ve EC8 (2004)’deki zemin sınıfları arasında en uygun eşleşmeler yapılmaya çalışılmıştır. Buna göre çalışmada ele alınan Z2 yerel zemin sınıfı S_C (UBC, 1997) ve B (EC8, 2004) zemin grupları ile; Z3 yerel zemin sınıfı ise S_D (UBC, 1997) ve C (EC8, 2004) zemin grupları ile eşleştirilmiştir. Benzer eşleşmeler farklı çalışmalarda da rastlamak mümkündür (Niel ve Özmen, 2011; Niel vd., 2011). V_{S30} değerleri 360-760 m/s aralığındaki kayıtlar 1. grup depremler ve V_{S30} değerleri 180-360 m/s aralığındaki kayıtlar ise 2. grup depremler

olarak ayrılmıştır. Dolayısıyla 1. grup depremler Z2 ve e de eri zemin sınıflarına aitken, 2. grup depremler Z3 ve e de eri zemin sınıflarına aittir. Tablo 4'deki ilk yedi kayıt 1. gruba, diğer yedi kayıt ise 2. gruba dahildir. Seçilen deprem kayıtlarının her biri için %5 sönüm oranına sahip tek serbestlik dereceli doğrusal sisteme ait ivme spektrumları SeismoSpect (2015) programı kullanılarak oluşturulmuş ve zemin türüne göre gruplandırılan kayıtların tepki spektrumları ekil 3'de gösterilmiştir.



a) 1. grup depremler

b) 2. grup depremler

ekil 3. Depremlerin %5 sönümlü tek serbestlik dereceli sistem için elastik ivme spektrumları

4. DEPREM KAYITLARININ ÖLÇEKLENMESİ

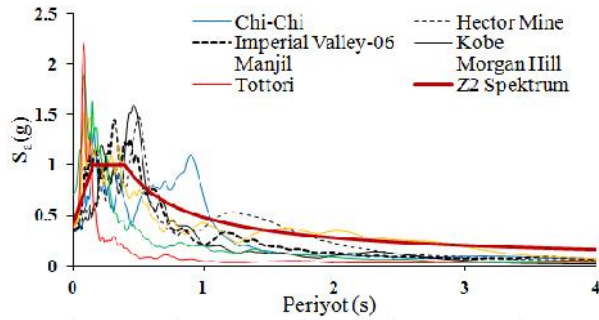
Gerçek deprem kayıtlarının göz önüne alınan tasarım ivme spektrumuna uyumlu olacak şekilde ölçeklenmesinde, zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında ölçekleme yöntemleri kullanılabilir. Zaman tanım alanında ölçekleme yönteminde, yer hareketi kaydının ordinatları 1'den büyük veya 1'den küçük sabit bir katsayı ile çarpılarak gerçek deprem kaydına ait % 5 sönüm oranı için oluşturulmuş olan tepki spektrumunun, belirli bir periyot aralığında hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun şekilde tirmesi yapılmaktadır. Bu işlemde kaydın frekans içeriği de dikkate alınmaktadır (Fahjan, 2008; Fahjan ve Ozdemir, 2008; Yalçın ve Ansal, 2008; Durgun vd., 2013). Frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi ise deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtları kullanılarak tasarım ivme spektrumu ile çok iyi uyum sağlayan kayıtların türetilmesi esasına dayanmaktadır (Özdemir ve Fahjan, 2007; Fahjan, 2008).

Çalışma kapsamında seçilen gerçek deprem kayıtlarının, birinci derece deprem bölgesi ve iki farklı yerel zemin sınıfı için TDY2007, UBC97 ve EC8'de verilen hedef elastik tasarım ivme spektrumuna uyumlu olacak şekilde ölçeklenmesinde, zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılmıştır. Deprem kayıtlarının genel olarak küçük ölçekleme katsayıları kullanılarak ölçeklenmesi tercih edilir (Kalkan ve Chopra, 2010). Bu nedenle, doğrusal ölçekleme katsayısı (r_s) En Küçük Kareler Yöntemi kullanılarak, ölçeklenmiş kayda ait elastik ivme tepki spektrumu ile hedef olarak alınan tasarım ivme spektrumunun genlikleri arasındaki fark minimize edilerek hesaplanmıştır. Ölçeklemenin yapıldığı periyot aralığının alt sınırı $T_1=0.01$ s, üst sınırı ise $T_2=4.00$ s olarak belirlenmiştir. Her bir deprem kaydı için ölçeklemede göz önüne alınan periyot aralığında hedef tasarım ivme spektrumu ile ölçeklenmiş kayda ait ivme spektrumunun genlikleri arasındaki oransal göreceli hata (OGH), Denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır (Fahjan, 2008). Denklem (1)'de T kaydın ivme tepki spektrumunun oluşturulmasında kullanılan periyot adım sayısıdır.

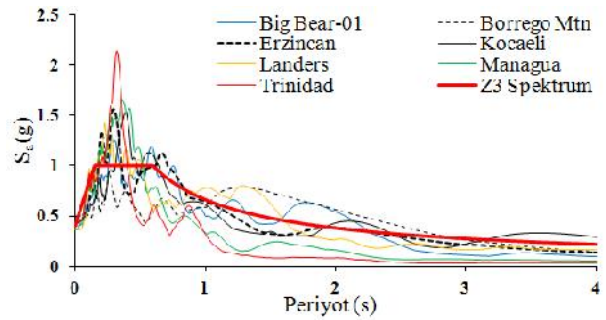
$$|OGH(\%)| = \frac{\Delta T}{T_2 - T_1} \cdot \sum_{T_1}^{T_2} \left| \left[r_s \cdot S_a^{gerçek}(T) - S_a^{hedef}(T) \right] / S_a^{hedef}(T) \right| \cdot 100 \quad (1)$$

Tablo 5. Ölçekleme katsayıları ve oransal göreceli hata değerleri

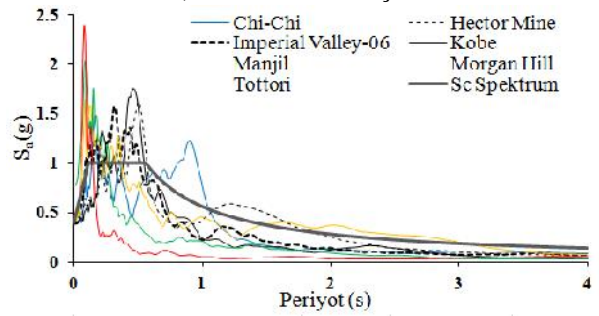
Deprem	TDY2007		UBC97		EC8	
	s	OGH (%)	s	OGH (%)	s	OGH (%)
Chi-Chi	2.60	48.43	2.90	42.29	3.20	33.17
Hector Mine	1.03	38.02	1.13	34.25	1.26	20.55
Imperial Valley-06	2.14	46.60	2.33	44.47	2.62	30.71
Kobe	0.70	56.67	0.77	54.65	0.88	44.63
Manjil	0.78	23.76	0.84	26.00	0.92	34.11
Morgan Hill	6.26	69.22	6.73	68.20	7.56	60.78
Tottori	3.46	82.46	3.75	80.61	4.10	73.61
Big Bear-01	3.99	31.82	4.03	30.42	4.14	23.78
Borrego Mountain	3.19	30.22	3.10	37.62	3.16	55.50
Erzincan	0.99	18.26	1.01	12.65	1.03	29.35
Kocaeli	1.41	23.21	1.42	33.14	1.44	64.46
Landers	2.38	27.50	2.40	18.90	2.46	30.35
Managua	1.09	40.92	1.16	36.63	1.19	35.55
Trinidad	2.84	71.10	3.03	66.87	3.10	62.48



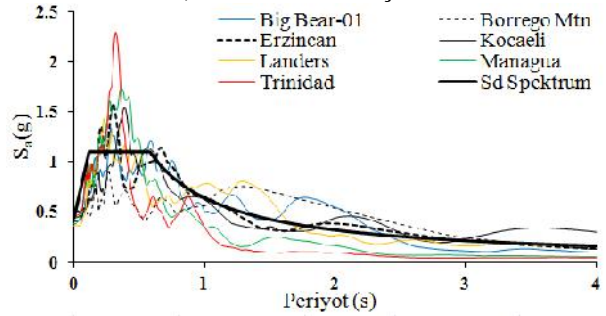
a) TDY2007 Z2 ölçekli



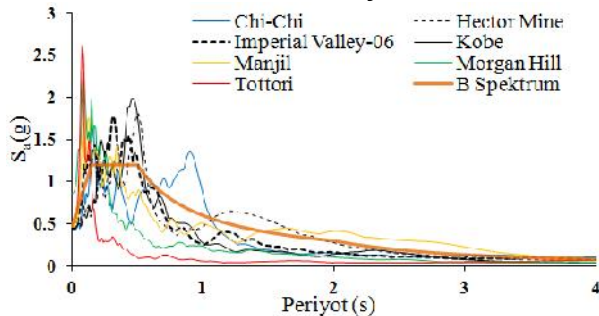
b) TDY2007 Z3 ölçekli



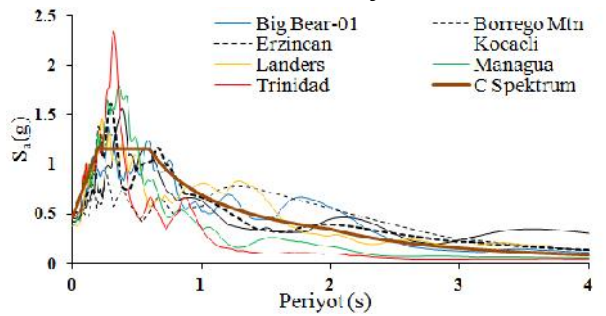
c) UBC97 S_C ölçekli



d) UBC97 S_D ölçekli



e) EC8 B ölçekli



f) EC8 C ölçekli

ekil 4. Ölçeklenmiş kayıtların %5 sönümlü elastik ivme spektrumları

Sonuç olarak her bir kayıt için hesaplanan do rusal ölçekleme katsayıları ve oransal göreceli hata miktarları Tablo 5’de verilmiştir. Morgan Hill depremi hariç diğer tüm kayıtlar için hesaplanan ölçekleme katsayıları 4’ün altındadır. Birinci derece deprem bölgesi ve iki farklı yerel zemin sınıfı için TDY2007, UBC97 ve EC8’de verilen hedef elastik tasarım ivme spektrumuna uyumlu olacak şekilde zaman tanım alanında ölçeklenmiş kayıtların %5 sönümlü elastik ivme spektrumları ilgili yönetmeliğin elastik tasarım ivme spektrumu ile birlikte ekil 4’de gösterilmiştir. Elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatı olan elastik spektral ivmenin ($S_a(g)$) hesaplanmasında bina önem katsayısı $I=1$ olarak alınmıştır.

Farklı yönetmeliklerde verilen hedef elastik tasarım ivme spektrumuna uyumlu olacak şekilde zaman tanım alanında ölçeklenmiş kayıtlara ait süre bilgileri Tablo 6’da verilmiştir. Depremin süresinin belirlenmesi için farklı yaklaşımlar bulunmakla birlikte bu çalışmada, yer hareketi süresi olarak anlamlı süre (significant duration) ve zarf süre (bracketed duration) esas alınmıştır. Tablodaki zarf süreler, 0.05g’lik e ik ivme de erinin ilk ve son a ılması arasında geçen süre olarak hesaplanmıştır. Anlamlı süreler ise ivme kaydındaki enerji miktarını gösteren Arias yoğunluğunun (AI) %5 ve %95 olumu arasında geçen süre olarak hesaplanmıştır (Denklem 2). Bu denklemde, $a(t)$ t anındaki ivmenin genliğidir, T ise kaydın toplam süresini göstermektedir. Anlamlı süre ölçeklemeye ba lı olarak de i mezken, zarf sürenin bulunmasında ölçeklenmiş kaydın kullanıldığı na dikkat edilmelidir.

$$0.05 \leq \int_0^t a^2(t) dt / \int_0^T a^2(t) dt \leq 0.95 \quad (2)$$

Tablo 6. Depremlere ait süreler

Deprem	Kayıt Süresi (s)	Anlamlı Süre (s)	Zarf Süre (s)				
			Orijinal Kayıt	TDY2007 Ölçekli	UBC97 Ölçekli	EC8 Ölçekli	
1. Grup Depremler	Chi-Chi	98.000	11.905	8.150	16.405	61.370	61.425
	Hector Mine	45.300	9.660	14.890	14.900	16.240	20.300
	Imperial Valley-06	63.730	29.710	33.810	48.350	52.040	55.790
	Kobe	40.950	9.720	16.490	13.820	16.460	16.490
	Manjil	45.980	29.080	42.800	41.240	41.740	42.800
	Morgan Hill	29.975	8.570	3.025	15.670	15.690	16.325
	Tottori	299.995	18.895	6.140	26.865	54.240	54.855
2. Grup Depremler	Big Bear-01	99.990	23.650	12.930	38.590	38.590	38.590
	Borrego Mountain	79.980	41.180	3.060	42.090	39.730	39.740
	Erzincan	20.775	7.425	12.620	12.620	12.620	12.620
	Kocaeli	27.180	11.790	14.740	19.920	19.920	20.310
	Landers	43.980	18.860	20.780	31.500	31.520	31.640
	Managua	45.685	8.225	13.115	13.245	14.180	14.185
Trinidad	21.995	10.000	11.375	18.205	18.915	18.920	

5. SONUÇLAR

Aynı depremlerin ölçeklenmiş kayıtlarına ait ivme spektrumlarının, farklı yönetmeliklerde tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumu ile uyumu araştırılmıştır. Büyüklük, faylanma mekanizması ve zemin koşulları dikkate alınarak seçilen gerçek deprem kayıtlarının her biri için oluşturulan %5 sönüm oranına sahip tek serbestlik dereceli do rusal sisteme ait elastik ivme spektrumları zaman tanım alanında ölçeklenmiştir. Hedef spektrum olarak birinci derece deprem bölgesi, $I=1$ bina önem katsayısı ve iki farklı zemin sınıfı için TDY (2007), UBC (1997) ve EC8 (2004)’deki elastik tasarım ivme spektrumları kullanılmıştır. Sonuç olarak 6 farklı

elastik tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde 7 farklı kayıt ölçeklenmiştir. Ölçeklemenin yapıldığı periyot aralığının alt sınırı $T_1=0.01$ s, üst sınırı ise $T_2=4.00$ s olarak belirlenmiştir. Toplamda 42 adet dörme ölçekleme katsayısı ve oransal göreceli hata değeri hesaplanmıştır ve söz konusu katsayılar kullanılarak, ölçeklenmiş kayıtlara ait zarf süreler ayrıca belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- TDY (2007), UBC (1997) ve EC8 (2004) yönetmeliklerindeki tasarım ivme spektrumları uyumlu olacak şekilde her kayıt için zaman tanım alanında hesaplanan ölçekleme katsayıları aynı zemin sınıfları içinde birbirine oldukça yakındır.
- Z3 ve e de eri kabul edilen yerel zemin sınıflarına ait tasarım ivme spektrumları kullanılarak hesaplanan ölçekleme katsayıları (2. grup depremler için hesaplanan katsayılar) birbirine daha yakındır.
- Her bir kayıt için en küçük ölçekleme katsayıları, her iki zemin sınıfı için de TDY (2007)'deki tasarım ivme spektrumu kullanılarak yapılan ölçeklemeden elde edilmiştir. En büyük ölçekleme katsayıları ise EC8 (2004)'deki tasarım spektrumuna göre ölçeklenen kayıtlar için hesaplanmıştır.
- Z2 ve e de eri kabul edilen zemin sınıflarına ait tasarım ivme spektrumları kullanılarak hesaplanan ölçekleme katsayılarının ortalama (μ) ve standart sapma (σ) değerleri: TDY (2007) için $\mu=2.42$, $\sigma=1.98$; UBC (1997) için $\mu=2.64$, $\sigma=2.13$ ve EC8 (2004) için $\mu=2.93$, $\sigma=2.38$ olarak hesaplanmıştır. Ölçekleme katsayısı oldukça büyük olarak hesaplanan Morgan Hill depreminin ortalamaya dahil edilmemesi durumunda TDY (2007) için $\mu=1.79$, $\sigma=1.13$; UBC (1997) için $\mu=1.95$, $\sigma=1.23$ ve EC8 (2004) için $\mu=2.16$, $\sigma=1.35$ olarak elde edilmektedir. UBC (1997) ve EC8 (2004) için hesaplanan ölçekleme katsayılarının ortalaması TDY (2007) için bulunan ortalamadan sırasıyla %9 ve %21 daha fazladır.
- Z3 ve e de eri kabul edilen yerel zemin sınıflarına ait tasarım ivme spektrumları kullanılarak hesaplanan ölçekleme katsayılarına ait ortalama (μ) ve standart sapma (σ) değerleri: TDY (2007) için $\mu=2.27$, $\sigma=1.15$; UBC (1997) için $\mu=2.31$, $\sigma=1.15$ ve EC8 (2004) için $\mu=2.36$, $\sigma=1.18$ olarak hesaplanmıştır. UBC (1997) ve EC8 (2004) için hesaplanan ölçekleme katsayılarının ortalaması TDY (2007) için bulunan ortalamadan sırasıyla %2 ve %4 daha fazladır.
- Z3 ve e de eri kabul edilen zemin sınıflarına ait tasarım ivme spektrumları kullanılarak hesaplanan ölçekleme katsayılarının standart sapması, diğer grup depremlere ait standart sapmalardan daha küçüktür. 1. grup depremlere Morgan Hill depreminin dahil edilmemesi durumunda bu gruba ait ölçekleme katsayılarının standart sapmasının, Z3 ve e de eri kabul edilen zemin sınıflarına ait tasarım ivme spektrumları kullanılarak hesaplanan ölçekleme katsayılarının standart sapmasına oldukça yakınlığı görülmektedir.
- Standart sapmanın ortalamaya göre yüzde kaçlık değişimi gösterdiğini belirten varyasyon katsayıları (c_v), 1. grup depremlere ait ölçekleme katsayıları için ortalama %81 civarında, 2. grup depremlere ait ölçekleme katsayıları için ise ortalama %50 civarında hesaplanmıştır. 1. grup depremlerde Morgan Hill depreminin dikkate alınmaması durumunda, ortalama $c_v=\%63$ olarak bulunmaktadır.
- Farklı yönetmelikler için ölçekleme katsayılarında gözlenen sistematik değişimler, oransal göreceli hata değerleri için geçerli değildir. Aynı kayıt için farklı yönetmeliklerdeki tasarım ivme spektrumları ile uyumlu olacak şekilde hesaplanan ölçekleme katsayısı büyüdüğü halde hesaplanan oransal göreceli hata değeri azalmakta veya artabilmektedir.
- Z2 ve e de eri kabul edilen yerel zemin sınıflarına ait tasarım ivme spektrumlarına göre ölçeklenen deprem kayıtlarının sıfır periyoda karşılık gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması TDY (2007) için $S_a(T_0)=0.419g > 0.40g$, UBC (1997) için $S_a(T_0) = 0.457g > C_a \cdot g = 0.40g$ ve EC8 (2004) için $S_a(T_0) = 0.509g > a_g \cdot S = 0.48g$ olarak bulunmuştur. 2. grup depremlerin ölçeklenmiş elastik ivme spektrumlarına ait aynı değerlerin ortalaması TDY (2007) için $S_a(T_0)=0.416g > 0.40g$, UBC (1997) için $S_a(T_0) = 0.423g < C_a \cdot g = 0.44g$ ve EC8 (2004) için $S_a(T_0) = 0.433g < a_g \cdot S = 0.46g$ olarak hesaplanmıştır.
- Depremlerin kayıt süresi ile zarf ve anlamlı sürelerine ait uzunlukların birbirinden oldukça farklı olduğu görülmüştür. Anlamlı süre ölçeklemeye bağlı olarak değişirken, zarf süresinin bulunmasında ölçeklenmiş kayıt kullanıldığında ölçekleme katsayısının büyümesiyle zarf süre de artmaktadır. Bazı durumlarda aynı kayda ait ölçekleme katsayıları çok farklı olmamakla birlikte zarf süresinin oldukça farklı elde edildiği durumlar olabilir.

KAYNAKLAR

- Akkar, S. ve Gülkan, P. (2002). Tasarım spektrumlarının performansa dayalı deprem mühendisli i (PDDM) ve yakın mesafe depremler yönünden incelenmesi. *ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisli i Sempozyumu*, 14 Ekim, ODTÜ, Ankara.
- Ay, B.Ö. ve Akkar, S. (2014). Evaluation of a recently proposed record selection and scaling procedure for low-rise to mid-rise reinforced concrete buildings and its use for probabilistic risk assessment studies. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* **43:6**, 889-908.
- Do angün, A. ve Livao lu, R. (2004). A comparative study of the design spectra defined by Eurocode 8, UBC, IBC and Turkish Earthquake Code on R/C sample buildings. *Journal of Seismology* **10:3**, 335-351.
- Durgun, Y., Vatansever, C., Girgin, K. ve Orakdö en, E. (2013). Dı merkez çaprazlı bir çelik perdenin deprem performansının do rusal olmayan dinamik hesap yöntemleri ile de erlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* **19:6**, 266-274.
- EC8 (2004). Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. European Committee for Standardization, Brussels.
- Fahjan, Y.M. (2008). Türkiye Deprem Yönetmeli i (DBYBHY, 2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi. *MO Teknik Dergi* **19:3**, 4423-4444.
- Fahjan, Y. ve Ozdemir, N. (2008). Scaling of earthquake accelerograms for non-linear dynamic analyses to match the earthquake design spectra. *14th World Conference on Earthquake Engineering*, 12-17 Ekim, Pekin.
- Fahjan, Y.M., Vatansever, S. ve Özdemir, Z. (2011). Ölçeklenmi gerçek deprem kayıtları ile yapıların do rusal ve do rusal olmayan dinamik analizi. *1. Türkiye Deprem Mühendisli i ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim, ODTÜ, Ankara.
- Haselton, C.B., Whittaker, A.S., Hortacsu, A., Baker, J.W., Bray, J. ve Grant, D.D. (2012). Selecting and scaling earthquake ground motions for performing response-history analyses. *The 15th World Conference on Earthquake Engineering*, 24-28 Eylül, Lizbon, Portekiz.
- nel, M. ve Özmen, H.B. (2011). Gerçek ivme kayıtları ve 2007 deprem yönetmeli i do rusal elastik olmayan deplasman talebi de erlerinin kar ıla tırılması. *1. Türkiye Deprem Mühendisli i ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim, ODTÜ, Ankara.
- nel, M., Çelik, S., Özmen, H.B. ve Önür, Ö. (2011). Betonarme binaların deplasman taleplerinin 3-B do rusal elastik olmayan dinamik analizle de erlendirilmesi. *1. Türkiye Deprem Mühendisli i ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim, ODTÜ, Ankara.
- Kalkan, E. ve Chopra, A.K. (2010). Practical Guidelines to Select and Scale Earthquake Records for Nonlinear Response History Analysis of Structures. U.S. Geological Survey Open-File Report.
- Kayhan, A.H. (2011). Eurocode-8 ile uyumlu ölçeklendirilmemi ivme kaydı setlerinin armoni ara tırması tekni i ile elde edilmesi. *1. Türkiye Deprem Mühendisli i ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim, Ankara.
- Mert, A., Fahjan, Y., Pınar, A. ve Hutchings, L. (2014). Prens adaları fayında kuvvetli yer hareketi benze imleri. *MO Teknik Dergi*, 6775-6804.
- Özdemir, Z. ve Fahjan, Y.M. (2007). Gerçek deprem kayıtlarının tasarım spektrumlarına uygun olarak zaman ve frekans tanım alanlarında ölçekleme yöntemlerinin kar ıla tırılması. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisli i Konferansı*, 16-20 Ekim, stanbul.
- PEER (2015). PEER Strong Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/>.
- SeismoSpect v2.1.2 (2015). Seismosoft Ltd., talya.
- TDY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve skan Bakanlığı, Ankara.
- UBC (1997). Uniform Building Code. International Conference of Building Officials. Whittier, California, USA.
- Vera, C.O. ve Chow, N. (2008). Comparison of record scaling methods proposed by standards currently applied in different countries. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, 12-17 Ekim, Pekin, Çin.
- Ya cı, B. ve Ansal, A. (2008). Mikrobölgeleme için yapay ve gerçek ivme kayıtlarının kullanımı. *TÜ Dergisi/d* **7:2**, 3-14.