

Mikrobölgeleme için yapay ve gerçek ivme kayıtlarının kullanımı

Banu YAĞCI¹, Atilla ANSAL*²

1 BAÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çağış Kampüsü, Balıkesir

2 BÜ Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul

Özet

Mikrobölgelemenin bir tanımı; olası deprem özellikleri ile mevcut zemin özellikleri arasındaki karşılıklı etkileşimi göz önüne alarak, zemin yüzeyinde seçilen deprem özelliklerini ve bunlarla ilişkili yapı tasarım parametrelerinin değişimini belirlemek olarak verilebilir. Bu çalışmada, mikrobölgeleme amaçlı zemin davranış analizlerinde yapay ve ölçeklenmiş gerçek kayıtlar kullanılarak farklı deprem ve yapı tasarımı parametrelerinin zemin yüzeyindeki değişimi incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, gerçek deprem kayıtları kullanılarak en büyük ivme ölçekleme yöntemi ve RASCAL yapay kayıt programı yardımıyla iki farklı şekilde ivme zaman kayıtları üretilmiştir. Balıkesir tasarım depremi için üretilen bu kayıtlar, 105 zemin profilinin davranış analizlerinde kullanılmış ve yüzeydeki yer hareketi parametrelerinin frekans dağılımları hesaplanmıştır. En büyük yatay ivme, Arias şiddeti ve spektral ivme olarak seçilen parametrelere ait frekans dağılımlarında, kullanılan gerçek kayıtların önemli bir faktör olduğu görülmüştür. Sonuçlar özellikle en büyük ivme ölçekleme yöntemi için kullanılan gerçek kayıtlara dayalı olarak frekans dağılımlarının önemli oranda değişebileceğini göstermiştir. Diğer taraftan bu etki tasarım parametresine göre de farklılık gösterebilmektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında RASCAL programı ile üretilen kayıtların kullanıldığı davranış analizleri için, NEHRP kriterlerinin sağlandığı bir optimizasyon yaklaşımına dayalı olarak spektral ivmeler belirlenmiş ve bu ivmeler aynı tehlike seviyesi için NEHRP yaklaşık yöntemine göre bulunan spektral ivmelerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar tasarım depremi ve zemin özellikleri arasındaki karşılıklı etkileşime dayalı farklılıkların D grubu zeminler için daha yüksek olduğunu ve bu etkileşimde yüzeydeki yer hareketi özelliklerinin zemin davranış analizleri ile bulunmasının önemli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Mikrobölgeleme, yapay deprem kayıtları, ölçekleme, en büyük ivme, Arias şiddeti, spektral ivme.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Atilla ANSAL. ansal@boun.edu.tr; Tel: (216) 332 55 30.

Makale metni 09.01.2007 tarihinde dergiye ulaşmış, 11.01.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 01.02.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Use of simulated and real acceleration records for microzonation

Extended abstract

Soil layers under earthquake excitations can strongly influence earthquake characteristics on the ground surface. These effects may be evaluated with respect to structural design parameters based on microzonation studies. In a microzonation study, the variation of selected ground motion parameters on the ground surface are determined by taking into account the interaction between ground motion and local soil conditions. In this study, the interaction between earthquake and soil characteristics were evaluated based on simulated and real acceleration records used for site response analyses with respect to different parameters. In the first stage, simulated acceleration records were generated by RASCAL frequency domain procedure (Silva and Lee, 1987) and real acceleration records were scaled with respect to the estimated peak ground acceleration.

RASCAL (Response Spectra and Acceleration Scaling) is a semi-empirical procedure, which evolved from random vibration theory-based techniques, with the additional utilization of the observed Fourier phase spectrum of a real ground motion recording. Input target spectra used in this simulation procedure are uniform hazard spectra developed using two attenuation relationships based on different data sets for predetermined probabilistic earthquake hazard ($M=7.5$ with epicenter of $R=40$ km corresponding to exceedance probability of 10% in 50 years) (Ansal, 2001). Input acceleration time histories were selected from the earthquake records in Turkey with magnitude range, $M \geq 5$ and distance, $27 \text{ km} < R < 71 \text{ km}$. Taking into account regional source characteristics for Balıkesir, stress drop was taken as $\Delta\sigma=100$ bar. For the whole-path attenuation, frequency-dependent Q model of $Q(f)=300 f^{0.5}$ was adopted. As for the near surface attenuation, the kappa values was taken as $\kappa=0.035$. With RASCAL program, six simulated time histories were generated based on six different real earthquake records.

In the scaling option, previously recorded real acceleration records were scaled with respect to the peak ground acceleration estimated based on the earthquake design parameters ($M=7.5$, $R=40$ km).

The peak ground acceleration on the rock outcrop was calculated as 0.26g, corresponding to the exceedance probability of 10% in 50 years. Previously recorded real acceleration records were selected with respect to ratio factor determined for scaling procedure. With scaling option, six acceleration time histories were calculated based on different earthquake records. Characteristics of both sets of acceleration records were calculated and compared. It was observed that the range of some parameters such as maximum velocity and velocity spectrum intensity were smaller for the records calculated by RASCAL procedure.

Using two groups of acceleration records, site response analyses were conducted by SHAKE91 (Idriss and Sun, 1992) based on 1D equivalent linear method for 105 soil profiles selected previously. Response variability on the ground surface was evaluated in terms of histograms of peak acceleration, Arias intensity and spectral acceleration at 0.2s. In the case of peak and spectral accelerations at 0.2s, the analyses using real scaled records yielded very different statistical distributions for each record. However, the results of the analyses using input records generated by RASCAL gave very similar statistical distributions for all the records in this set. In the case of Arias intensity, both sets of records were found to be more effective yielding different statistical distributions on the ground surface for each input record.

In the second stage of this study, the average acceleration response spectra for each soil profile were calculated according to the analyses conducted with records simulated by RASCAL. Utilizing an optimization approach that provide all the requirements of the NEHRP design spectrum, spectral accelerations for short and long periods were determined for average response spectra. These spectral accelerations were compared with spectral accelerations obtained from the NEHRP formulation corresponding to the same earthquake hazard level. The results indicate that the variability based on the interaction between earthquake and soil characteristics was relatively large for D group soils and that the frequency content of ground motions have significant effect on site response.

Keywords: Microzonation, simulated acceleration records, scaling, peak ground acceleration, Arias intensity, spectral accelerations.

Giriş

Dünyanın birçok bölgesinde orta şiddetli ve büyük depremler için farklı uzaklıklar ve farklı faylanma mekanizmalarında alınmış ivme zaman kayıtları sınırlıdır. Bu nedenle mühendislik yapılarının dinamik analizleri için olası depremin ivme zaman kayıtları cinsinden tanımlanması gerektiği durumlarda, gerçek kayıtlar dışında iki tip yer hareketi kaydı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Carballo ve Cornell, 2000, Steward vd., 2001, Steward vd., 2002, Acevedo 2003, Erdik vd., 2003). Bunlar sismolojik modellerden deterministik ya da stokastik yaklaşımlar ile üretilen teorik sentetik kayıtlar (Erdik ve Durukal, 2001, Boore, 2003) ve tasarım davranış spektrumu ile uyumlu yapay kayıtlar olmaktadır. Spektral uyumun metotlarından bazıları aynı zamanda gerçek yer hareketi kayıtlarının kullanıldığı yöntemlerdir (Silva ve Lee, 1987, Carballo ve Cornell, 2000). Bu tür yaklaşımlarda gerçek kayıtların kullanımı, Fourier faz spektrumu ve davranış spektrumunun düzeltilmemiş karakteristiği gibi doğrusal olmayan dinamik analizler için önemli olan bazı özelliklerin korunması amacını taşımaktadır (Carballo ve Cornell, 2000, Steward vd., 2001, Erdik vd., 2003).

Diğer taraftan son zamanlarda geoteknik ve yapı mühendisliğindeki analizlerde, ölçekleme yöntemlerinin uygulandığı gerçek kayıtların kullanımı tercih edilen bir alternatif durumundadır (Kappos ve Kyriakakis, 2000, Acevedo 2003, Naeim vd., 2004, Durukal vd., 2005, Ansal vd., 2006, Watson ve Abrahamson, 2006). Ölçekleme yöntemi farklı yer hareketi parametreleri için gerçek kaydın zaman tanım alanında yalnızca genliğini düzenleyen bir yaklaşım olarak tanımlanabilir. Bu durumun bir nedeni de zamana bağlı olarak kaydedilen gerçek yer hareketlerinin artması ve sentetik ya da yapay kayıtların elde edilmesi ile karşılaştırıldığında, ölçekleme yönteminin rölatif bir kolaylığa sahip olmasıdır (Bommer ve Acevedo, 2004).

Bu çalışmada, yapay ve gerçek olmak üzere 2 tip yer hareketi kayıt grubu oluşturulmuştur. Yapay kayıtlar frekans tanım alanındaki spektral uyum yöntemlerinden biri olan RASCAL

(Response Spectra and Acceleration Scaling) programı (Silva ve Lee, 1987) kullanılarak üretilmiştir. RASCAL gerçek yer hareketi kaydına ait Fourier faz spektrumunun kullanımıyla birlikte rassal titreşim teorisine dayalı geliştirilen yarı-ampirik bir yöntemdir. Basit fonksiyonel formdaki kaynak özellikleri ve dalga yayılım ortamı için stokastik bir yaklaşımla (Boore, 2003), hedeflenen davranış spektrumlarıyla uyumlu yer hareketi kayıtları üretmektedir. Gerçek kayıtlar için ise en büyük ivme ölçekleme yöntemi uygulanmış ve yöntemde orantı faktörü (hedeflenen genlik ile gerçek kaydın genliği arasındaki oran) 0.25 ile 4 arasında seçilmiştir (Krinitszky ve Chang, 1979).

Bu kayıt grupları Ansal (2001) tarafından hesaplanmış olan Balıkesir tasarım depremi göz önüne alınarak farklı iki yaklaşım ile üretilmiştir. Ansal (2001) çalışmasına göre 50 yılda % 10 aşılma olasılığına karşı gelen tasarım depremi büyüklüğü $M_s=7.5$, kaynak uzaklığı $R=40$ km'dir. Tehlike analizlerinde Balıkesir etrafında seçilen 100 km yarıçapındaki alan içinde kalan sismotektonik bölge göz önüne alınmış ve bu alan içinde sismik etkinliklerin olduğu fayların, geçmiş depremlerde genel olarak yanal atım bileşeni olan normal faylanma özelliği gösterdikleri saptanmıştır. Bu fay tipi özelliği de göz önüne alınarak, RASCAL ile yapılan simülasyonlarda, bölgesel olarak uyumlu olan farklı spektral azalım ilişkileri kullanılmıştır. Ölçekleme yönteminde de yine bölgesel olarak uyumu dikkate alan farklı bir yaklaşım ile Türkiye'deki kayıtlara dayalı bir azalım ilişkisinin kullanılması tercih edilmiştir. Her iki yaklaşım için kullanılan gerçek kayıtlar da Türkiye'de olmuş depremler arasından seçilmiştir.

Farklı iki yaklaşıma dayalı olarak elde edilen kayıtlar Balıkesir yerleşim alanı sınırları içinde modellenmiş 105 temsili zemin profilinin (Yağcı, 2005) davranış analizlerinde kullanılmıştır. Analizler SHAKE 91 programı (Idriss ve Sun, 1992) ile yapılmış ve sonuçlar mikrobölgeleme amacı ile değerlendirilmiştir. Son yıllarda mikrobölgeleme çalışmalarında tercih edilen yaklaşım, yüzeydeki yer hareketi parametrelerinin inceleme alanındaki frekans dağılımlarına

dayalı olarak yorumlanmasıdır (DRM, 2004, Ansal vd., 2003, Ansal vd., 2004, Ansal vd., 2005). Analiz sonuçları bu yaklaşım doğrultusunda, en büyük ivme, Arias şiddeti ve spektral ivme cinsinden değerlendirilmiştir. Sonuçlar yüzeydeki yer hareketi parametrelerinin frekans dağılımları üzerinde, simülasyon ve ölçekleme yöntemlerinde kullanılan gerçek yer hareketi kayıtlarının önemli ve her iki yaklaşım için de farklı etkilere sahip olduğunu göstermektedir.

Çalışmada ayrıca yapay kayıtların kullanılması durumunda yüzeydeki değişim, NEHRP (2000) kriterlerinin sağlandığı bir optimizasyon yaklaşımına dayalı olarak belirlenen tasarım spektrumu değerleri cinsinden incelenmiştir.

Yapay yer hareketi kayıtları

Programın girdisi hedef spektrumlar için Boore vd. (1997) ve Ambraseys vd. (2004) olmak üzere 2 ayrı azalım ilişkisi kullanılmıştır. Boore vd. (1997) ilişkisi Türkiye için kullanılabilecek en uygun spektral ilişki olarak gösterilmektedir (DRM, 2004). Aktif tektonik bölgelerdeki sığ yer kabuğu hareketleri grubunda derlemiş ilişkilerden biridir. Bu grup ilişkilerdeki fay tipi faktörü genel olarak ters ve yanal atımlı depremlere ait hareketler arasındaki farkı yansıtmaktadır. Bunun sebebi veri tabanlarında normal fay tipindeki depremlerin çok az sayıda bulunmasıdır. Bu durumdan farklı olarak Ambraseys vd. (2004) ilişkisinde normal ve yanal atımlı fay tipleri ayrılmaktadır. Bu ilişkinin diğer bir farkı da Kaliforniya ve Avrupa' daki yer hareketleri arasında önemli farklar olduğunu gösteren çalışmalara dayalı olarak, veri tabanının Avrupa ve Ortadoğu bölgesiyle sınırlı tutulmuş olmasıdır.

Balıkesir için etrafındaki sismotektonik bölgede yer alan fayların, yanal atım bileşeni olan normal faylanma özelliği gösterdikleri de göz önüne alındığında bölgesel olarak uyumlu olabilecek ancak veri tabanı ve fay tipi faktörü açısından farklılık gösteren iki azalım ilişkisinin de kullanılması tercih edilmiştir. Bu doğrultuda Balıkesir tasarım depremi ($M_s=7.5$, $R=40$ km) için ana kaya seviyesinde iki ayrı azalım ilişkisine dayalı olarak 3 ivme spektrumu (Ambraseys vd. (2004) azalım ilişkisi normal ve

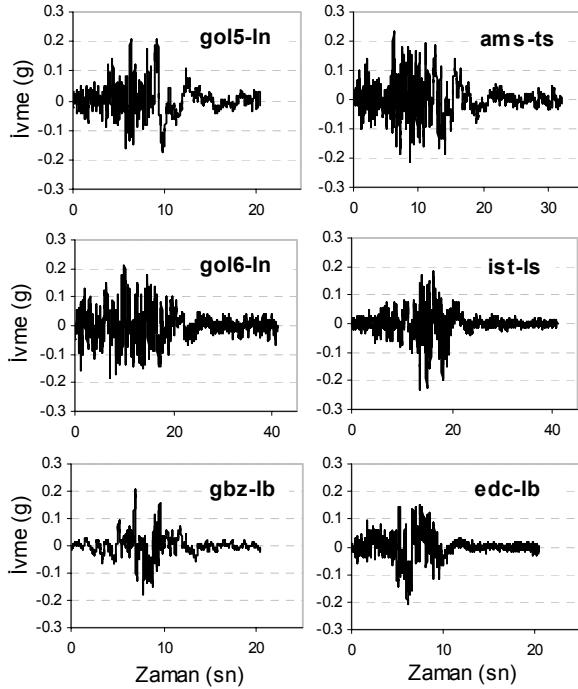
yanal atımlı faylar için ayrıldığından) hesaplanmıştır. Bu aşamada, tasarım depremi kriteri olarak belirlenen genel tehlike mertebesinin korunabilmesi amacıyla, bu azalım ilişkilerindeki değişkenlik ve saçılımda aşılma olasılıkları cinsinden değerlendirilmiş ve 50 yılda % 10 aşılma olasılığına sahip hedef spektrumlar elde edilmiştir.

Tablo 1'de simülasyon ve ölçekleme yöntemi için Ambraseys vd., (2004) çalışması veri tabanından seçilen ve BİB Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi veri tabanından temin edilen kayıtların hangi depremlere ait oldukları gösterilmiştir. RASCAL için kullanılan kayıtlar Türkiye'de moment büyüklüğü $M_w > 5$ ve faya olan uzaklıkları $27 \text{ km} < R < 71 \text{ km}$ (Joyner-Boore uzaklığı) arasında olan depremlere ait kayıtlardır. Analiz için kullanılan yatay bileşenler sonraki şekil ve tablolarda kayıt koduna eklenmiştir. Kaynak ve yol özelliklerine ait bölgesel parametrelerden, gerilme farkı $\Delta\sigma=100$ bar, frekans bağımlı kalite faktörü $Q=300 f^{0.5}$ ve yüksek frekans azalım parametresi $\kappa=0.035$ alınmıştır (Yağcı, 2005).

Tablo 1. RASCAL programında ve ölçekleme yönteminde kullanılan yer hareketi kayıtları

Kayıt kodu	İstasyon	Deprem	Tarih	M_w	R (km)
gol5	Gölbaşı, D. H.	Doğuşehir Malatya	05.05.1986	6	27
gol6	Gölbaşı, D. H.	Doğuşehir Malatya	06.06.1986	5.8	34
gbz	Gebze, TMAM	Kocaeli	17.08.1999	7.6	30
edc	Edincik, K.G. İ.	Biga Çanakkale	05.07.1983	6.1	56
ist	İstanbul, B.İ.M.	Kocaeli	17.08.1999	7.6	71
ams	Amasya, B. M.	Amasya	14.08.1996	5.7	33
bng	Bingöl B. M.	Bingöl	01.05.2003	6.3	14

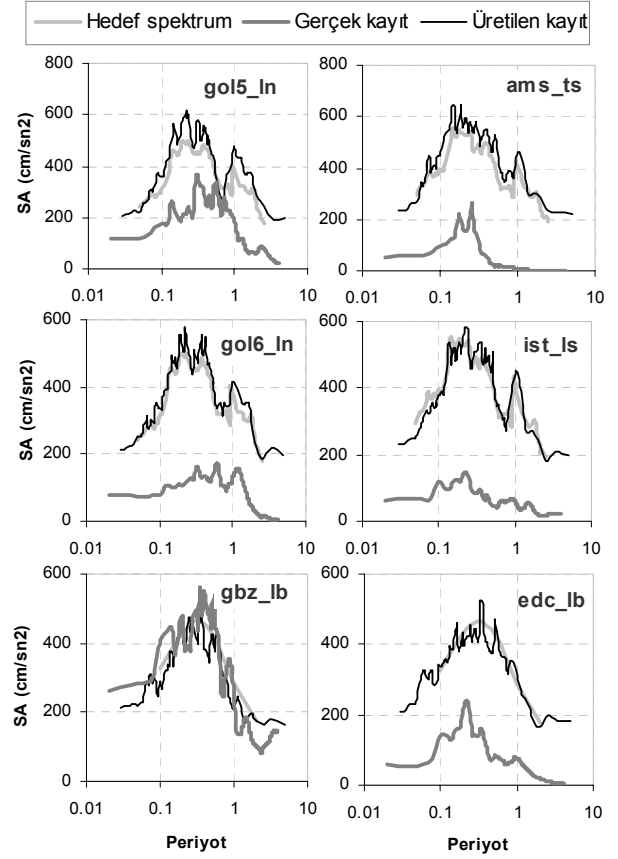
Başlangıç aşamasında her üç azalım ilişkisi için de 6 gerçek yer hareketinin kullanıldığı 18 kayıt üretilmiş ve bu üretilen kayıtların hedef spektrumlar ile uyumuna dayalı olarak 6 kayıt seçilmiştir. Üretilen kaydın hedef spektrum ile uyumu kullanılan gerçek yer hareketine dayalı olarak değişmektedir. Sonuç olarak hangi azalım ilişkisi ile hangi kayıtların kullanılacağı bu uyum dikkate alınarak belirlenmiştir. Üretilen kayıtlar, bu kayıt spektrumlarının hedef spektrumlar ile uyumu ve kayıtlara ait bazı yer hareketi parametrelerinin değişimi sırasıyla Şekil 1, 2 ve Tablo 2 de gösterilmiştir. Şekil ve tablolarda kullanılan gerçek kaydın koduna eklenen ilk harf kaydın bileşenini (l ya da t bileşeni), ikinci harf ise kullanılan azalım ilişkisini (b; Boore vd. (1997), n; Ambraseys vd. (2004)-normal fay, s; Ambraseys vd. (2004)-yanal atımlı fay) göstermektedir.



Şekil 1. RASCAL ile üretilen yer hareketleri

Ölçekleme yöntemi ile üretilen kayıtlar

En büyük ivme ölçekleme yönteminin uygulanmasında, Tablo 1' de görülen deprem kayıtları arasından orantı faktörünün 4 olması kriterine göre seçilmiş 6 kayıt bileşeni kullanılmıştır. Bu kayıtların yalnızca 3 tanesi aynı zamanda RASCAL programı için kullanılan kayıtlardır (gol5-l, gol6-l, gbz-l).



Şekil 2. Yapay kayıt spektrumlarının hedef spektrum ile uyumu ve kullanılan kayıtların spektrumları

Tablo 2. RASCAL ile üretilen kayıtlara ait yer hareketi parametreleri

Kayıt kodu	En büyük ivme (g)	En büyük hız (cm/sn)	Arias şiddeti (m/sn)	RMS ivme (g)	İvme spektrum şiddeti (g)	Hız spektrum şiddeti (cm/sn)	Süre-Bracketed (sn)	Süre-Significant (sn)
gol5-ln	0.21	79.0	0.83	0.051	0.212	148.6	20.4	9.6
gol6-ln	0.21	52.7	1.53	0.049	0.202	154.0	41.0	24.6
gbz-lb	0.21	54.8	0.47	0.038	0.166	91.4	20.4	8.1
edc-lb	0.21	62.4	0.52	0.041	0.172	99.5	20.4	7.6
ist-ls	0.23	52.1	0.91	0.038	0.206	145.3	40.7	14.6
ams-ts	0.23	59.3	1.30	0.051	0.223	153.3	31.9	16.3

Tasarım depremi için ($M_s=7.5$, $R=40$ km) ana kaya seviyesindeki en büyük ivme değerinin hesaplanmasında Ansal (1997) azalım ilişkisinin kullanılması tercih edilmiştir. Çünkü bu ilişki, Ambraseys (1995) tarafından önerilen ilişkinin sadece Türkiye’de alınan kayıtlar kullanılarak geliştirilmesi ile elde edilmiştir. Önceki yaklaşımda da olduğu gibi tasarım depremi için seçilmiş olan genel tehlike mertebesinin korunması amacıyla bu azalım ilişkisindeki değişkenlik ve saçılım aşılma olasılıkları cinsinden değerlendirilmiştir. Bu şekilde ana kaya seviyesinde 475 yıllık dönüş periyoduna sahip en büyük ivme değeri, 0.26g olarak hesaplanmıştır. Bu ivme değeri ile ölçeklenen kayıtlar ve bu kayıtlara ait bazı yer hareketi parametreleri Şekil 3 ve Tablo 3 de gösterilmiştir. Ölçeklenen kayıtlar, bazı yer hareketi parametreleri cinsinden RASCAL ile üretilen kayıtlarla karşılaştırıldığında, yalnızca en büyük hız ve hız spektrum şiddeti parametreleri için saçılımın daha fazla olduğu görülmektedir (Tablo 3).

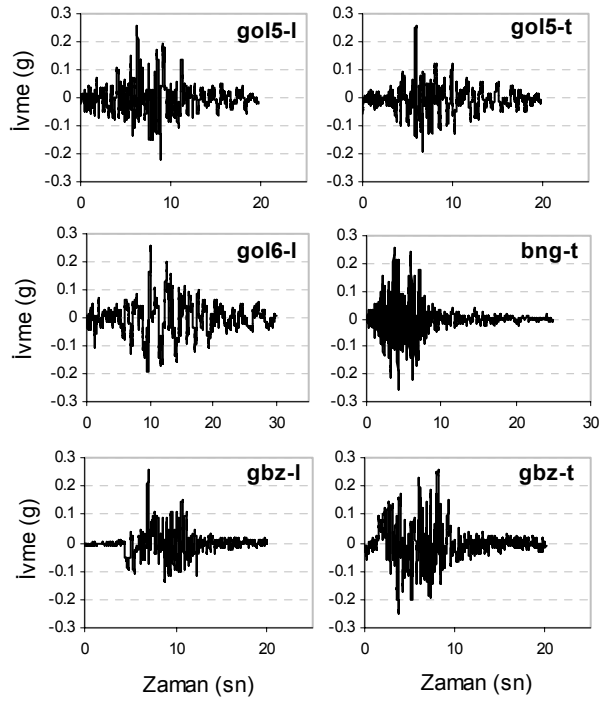
Tablo 3 En büyük ivme ölçekleme yöntemi ile üretilen kayıtlara ait bazı parametreler

Kayıt kodu	En büyük ivme (g)	En büyük hız (cm/sn)	Arias şiddeti (m/sn)	RMS ivme (g)	İvme spektrum şiddeti (g)	Hız spektrum şiddeti (cm/sn)	Süre-Bracketed (sn)	Süre-Significant (sn)
gol5-l	0.26	59.2	0.78	0.051	0.235	113.9	19.6	10.7
gol6-l	0.26	80.6	1.45	0.056	0.152	222.0	29.7	15.7
gbz-l	0.26	72.7	0.53	0.041	0.181	73.5	15.4	7.5
gol5-t	0.26	93.3	0.54	0.042	0.221	94.2	19.6	11.1
bng-t	0.26	20.4	0.72	0.043	0.244	74.34	23.9	6.6
gbz-t	0.26	71.4	1.07	0.059	0.273	113.7	20.1	8.1

Yüzeydeki yer hareketi parametreleri

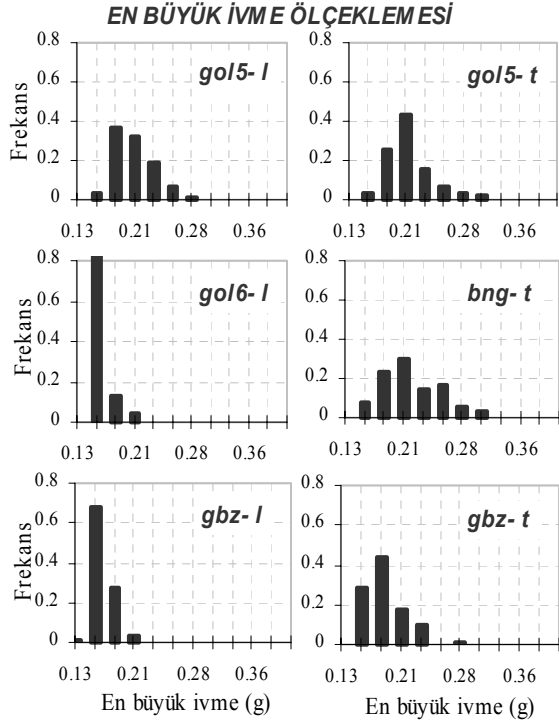
RASCAL ve ölçekleme yöntemi ile üretilen kayıtların, mikrobölgeleme amaçlı zemin davranış analizlerinde kullanılması durumunda yüzeydeki yer hareketi parametrelerinin frekans dağılımları öncelikle kullanılan her gerçek kayıt için ayrı değerlendirilmiştir. Burada amaç her

iki yöntem ve yaklaşım için de seçilen gerçek kayıtların yüzeydeki hareketi hangi oranda etkilediğinin belirlenmeye çalışılmasıdır. Diğer taraftan bu etkinin mikrobölgeleme için seçilecek olan parametreye (en büyük ivme, Arias şiddeti, spektral ivme) dayalı olarak değişimi de incelenmiştir. Kullanılan kayıtların 3 tanesi her iki yöntem için de ortak olan kayıtlardır (gol5-l, gol6-l, gbz-l) ve bunlar frekans dağılımlarına ait şekillerin sol yanında gösterilmiştir.

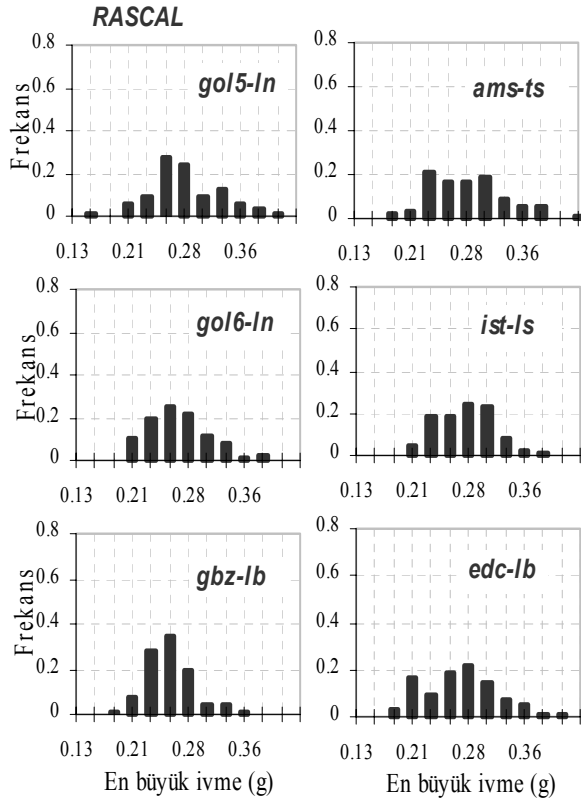


Şekil 3. En büyük ivme ölçekleme yöntemi ile elde edilen yer hareketleri

Zemin davranış analizleri sonucunda belirlenen yüzeydeki en büyük ivme frekans dağılımları (Şekil 4) incelendiğinde, ölçekleme yöntemi ile üretilen kayıtlar (Şekil 4a) için yöntemin girdisi her bir gerçek kaydın sonuçlar üzerinde çok etkili olduğu görülmüştür. Diğer bir deyişle seçilen gerçek kayıta dayalı olarak yüzeydeki en büyük ivme frekans dağılımları çok farklı olabilmektedir. Özellikle gol6-l ve gbz-l kayıtlarının bu anlamda diğer kayıtlardan daha farklı olduğu söylenebilir. Diğer taraftan aynı parametre için RASCAL ile üretilen kayıtların kullanılması durumunda (Şekil 4b) yüzeydeki frekans dağılımlarının, programın girdisi gerçek



Şekil 4a. Ölçekleme yönteminde kullanılan her bir kayıt için, yüzeydeki en büyük ivme frekans dağılımları



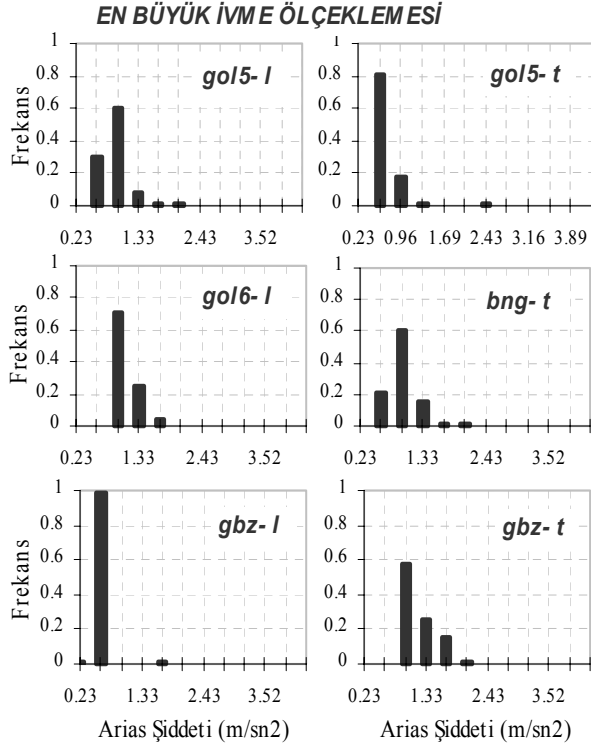
Şekil 4b. RASCAL yönteminde kullanılan her bir kayıt için, yüzeydeki en büyük ivme frekans dağılımları

kayıtlardan çok etkilenmediği görülmektedir. 6 kayıt için de aynı değer aralığında benzer dağılımlar elde edilmiştir.

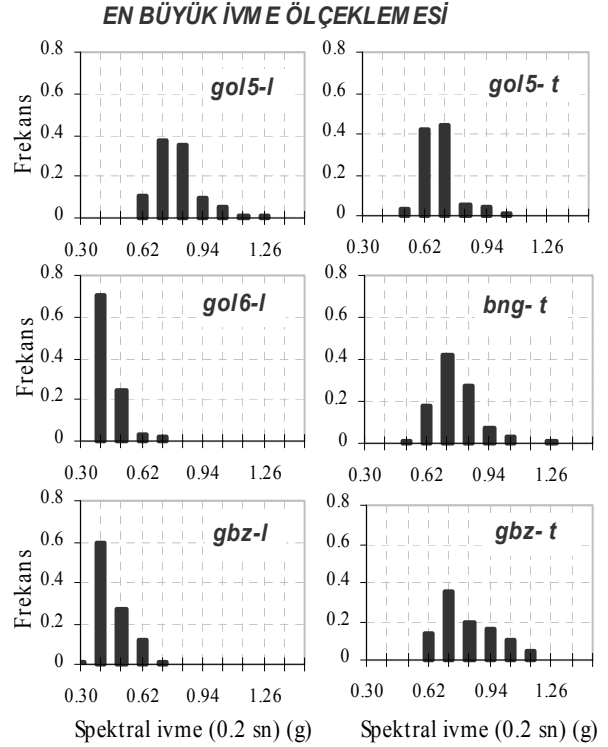
Yüzeydeki yer hareketi parametresinin Arias şiddeti olması durumu değerlendirilirse (Şekil 5); frekans dağılımlarının RASCAL yöntemi ile üretilen kayıtlar (Şekil 5b) için de farklı olabileceği görülmüştür. Ölçekleme yöntemi için dağılımların (Şekil 5a) kendi içinde daha benzer olduğu söylenebilir de, en farklı dağılım en büyük ivme parametresinde olduğu gibi gbz-l kaydının kullanılması ile elde edilmiştir. Bu sonuçlar sadece her iki yöntem için de ortak olan ve şekillerin sol yanında yer alan 3 kayıt göz önüne alınarak karşılaştırılırsa, yüzeydeki frekans dağılımları üzerinde kullanılan gerçek kayıtların etkisinin, en büyük ivme ölçekleme yöntemi için daha fazla olduğu söylenebilir.

$T=0.2$ sn periyoduna karşılık gelen spektral ivmeler cinsinden, yüzeydeki frekans dağılımlarında (Şekil 6) en büyük ivme parametresinde olduğu gibi RASCAL ile üretilen kayıtlar için daha benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ölçekleme yönteminde ise özellikle yine gol6-l ve gbz-l kayıtlarının kullanılması, yüzeydeki spektral ivmelerin diğerlerine göre oldukça farklı bir değer aralığında ve saçılımda olmasına neden olmuştur.

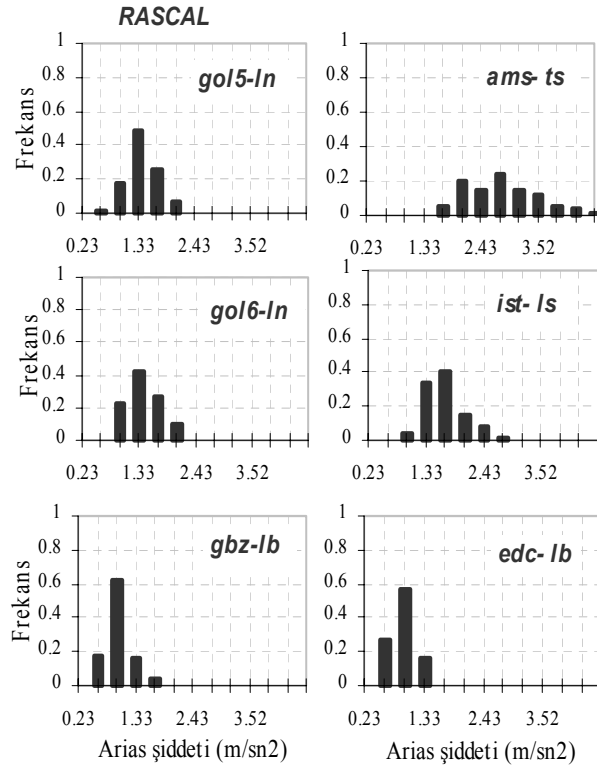
Mikrobölgeleme çalışmaları için zemin davranış analizlerinde en az 3 deprem kaydının kullanılması önerilmektedir (DRM 2004). Bu açıdan değerlendirildiğinde her üç parametre için de yüzeydeki frekans dağılımları, sadece ortak olan 3 gerçek yer hareketi kaydının kullanıldığı yada tamamen farklı diğer 3 kayıt grubunun kullanıldığı varsayılarak incelenebilir. Bu durumda ölçekleme ve RASCAL uygulamalarının sonuçları karşılaştırılırsa; ortak kayıtlar için özellikle en büyük ivme ve spektral ivme frekans dağılımlarının daha değişken, farklı kayıtlar içinse beklenenin aksine daha benzer olduğu görülebilir. Ortak kayıt grubuna ait bu sonuçlar yine en büyük ivme ölçekleme yöntemi için seçilen gerçek kayıt gruplarına dayalı olarak, yüzeydeki yer hareketi parametrelerine ait frekans dağılımlarının önemli oranda değişebileceği sonucunu desteklemektedir.



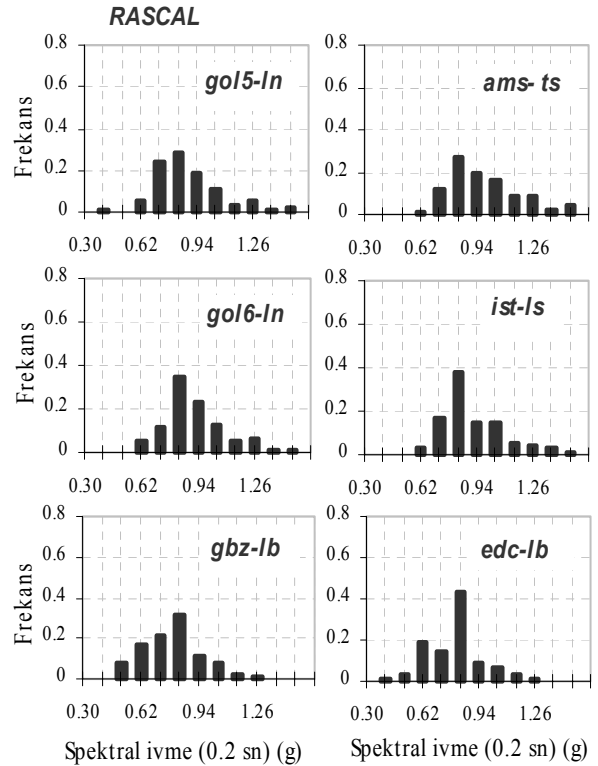
Şekil 5a. Ölçekleme yönteminde kullanılan her bir kayıt için, yüzeydeki Arias şiddeti frekans dağılımları



Şekil 6a. Ölçekleme yönteminde kullanılan her bir kayıt için, yüzeydeki 0.2 sn periyotlu spektral ivmelerin frekans dağılımları

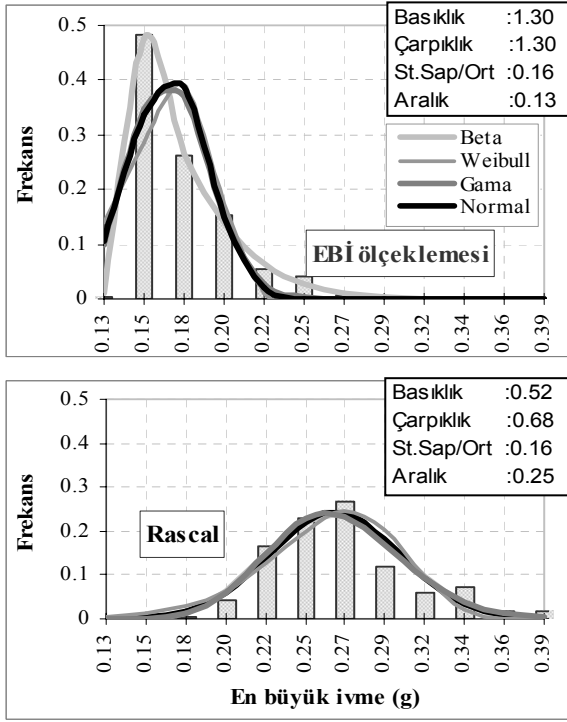


Şekil 5b. RASCAL yönteminde kullanılan her bir kayıt için, yüzeydeki Arias şiddeti frekans dağılımları



Şekil 6b. RASCAL yönteminde kullanılan her bir kayıt için, yüzeydeki 0.2 sn periyotlu spektral ivmelerin frekans dağılımları

Diğer bir aşama birden fazla kayıt için oluşturulan grupların toplam frekans dağılımlarını, istatistiksel parametreler ile birlikte değerlendirmek olabilir. Bu amaçla her iki yaklaşım için (ölçekleme ve RASCAL programının kullanıldığı) ortak olan 3 gerçek kaydın kullanıldığı davranış analizi sonuçlarına dayalı frekans dağılımları karşılaştırılmıştır (Şekil 7-9).

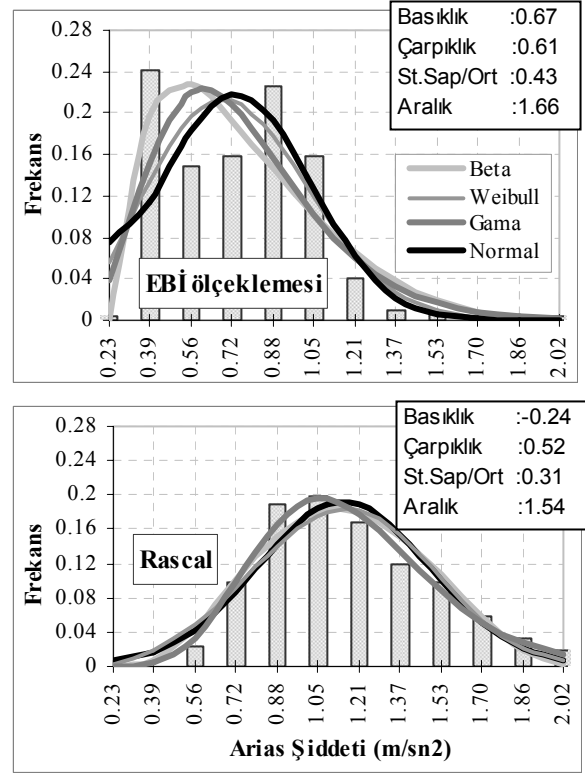


Şekil 7. En büyük ivme frekans dağılımları

Dört farklı istatistiksel dağılım modeli (Normal, Beta, Weibull, Gamma) kullanılarak yapılan değerlendirmede, RASCAL ile üretilen kayıt grubu için bu dağılım modelleri arasında fark olmadığı görülmektedir. Ölçekleme ile üretilen kayıtların kullanıldığı davranış analizlerinden elde edilen sonuçlarda ise genel olarak bu dağılım modelleri arasında önemli farklar bulunmamakla birlikte yalnızca en büyük ivme ve spektral ivme cinsinden bir farklılık ortaya çıkmaktadır.

Farklı istatistiksel modeller arasında ki bu genel uyum istatistiksel olarak mikrobölgeleme çalışmaları açısından önemli bir sonuç olarak zemin davranış analizlerinde çok sayıda ivme kaydının kullanılması gerektiğini göstermektedir. Böylelikle farklı deprem özelliklerinin etkisi göz önüne alınabilmektedir. Ayrıca çok sayıda deprem

ivme kaydı kullanılması, sonuçların istatistiksel olarak da yorumlanmasına imkân verecektir.

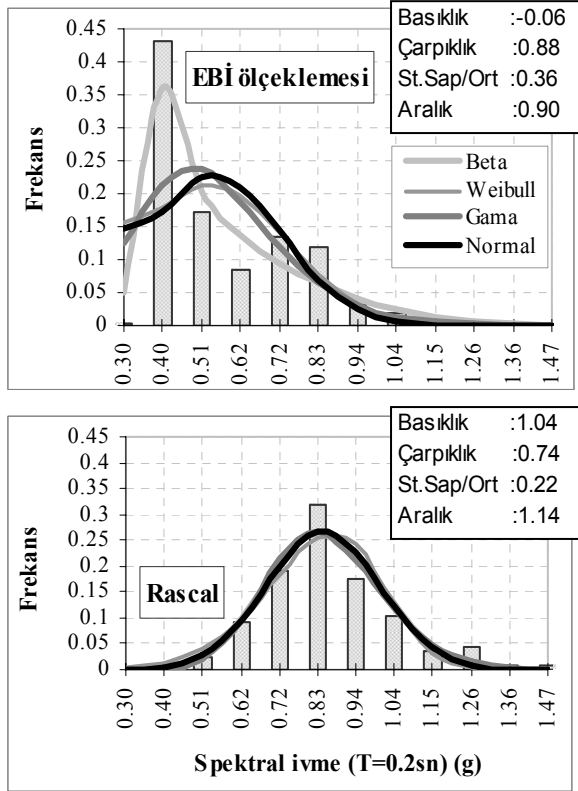


Şekil 8. Arias şiddeti frekans dağılımları

Yüzeydeki Arias şiddeti ve 0.2 sn periyoduna karşı gelen spektral ivmeler, RASCAL ile üretilen kayıtların kullanılması durumunda, ortalama değere göre standart sapması (St.Sap/Ort) daha düşük bir dağılım göstermektedir. En büyük ivme frekans dağılımlarında ise bu saçılım değeri her iki yöntem ile elde edilen kayıtlar için de eşittir. Diğer yandan saçılım aralığının en büyük ivme ölçeklendirmesi yapılarak elde edilen kayıtların kullanılmasında değerlendirilen iki parametre için (en büyük ivme, spektral ivme) daha az olması bu yöntemin tercih edilmesini destekleyebilir.

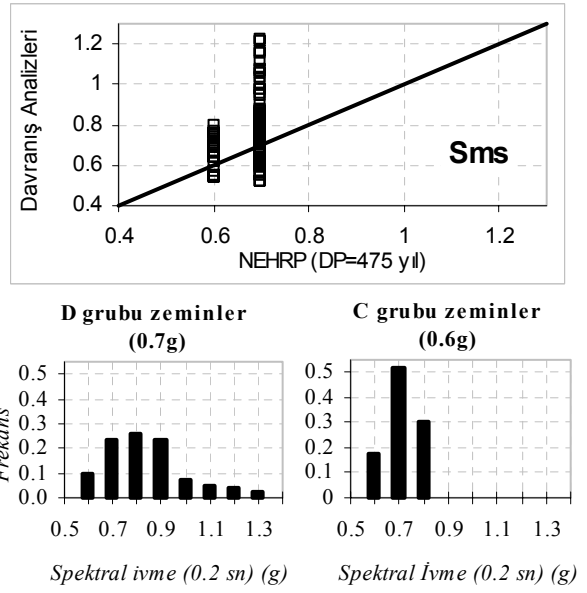
NEHRP kriterlerine uygun tasarım spektrumu parametreleri

Bu bölümde RASCAL ile üretilen kayıtların kullanıldığı zemin davranış analizleri sonucunda, yüzeyde hesaplanan ortalama davranış spektrumları için NEHRP (2000) kriterlerinin sağlandığı tasarım spektrumu parametreleri belirlenmiştir.

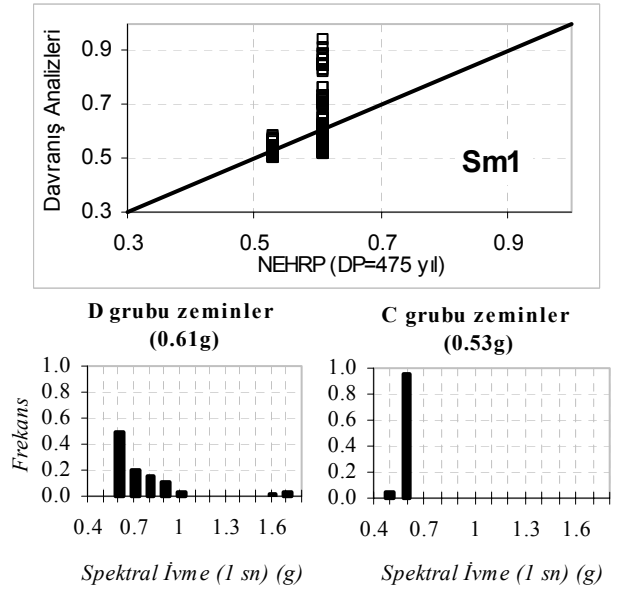


Şekil 9. 0.2 sn periyotlu spektral ivme frekans dağılımları

Bu aşamada Sms ($T=0.2$ sn karşı gelen) ve Sm1' in ($T=1.0$ sn karşı gelen) bağımsız değişkenler olarak alındığı bir optimizasyon yaklaşımı (Ansal vd., 2005) uygulanarak ortalama ivme spektrumu dış zarfları elde edilmiştir. Davranış analizlerine dayalı optimizasyon yöntemi ile elde edilen bu tasarım spektrumu parametreleri aynı tehlike seviyesi için NEHRP prosedürüne göre bulunan spektral ivmelerle karşılaştırılabilir. Çünkü mikrobölgeleme amaçlı olarak yerel zemin şartlarının etkisinin değerlendirilmesinde ampirik bir yaklaşım olarak NEHRP prosedürü de kullanılmaktadır. Karşılaştırma sonuçları Şekil 10-11 ile gösterilmiştir. NEHRP'e göre D grubu zeminlerden oluşan profillerde, optimizasyon yöntemi ile elde edilen 0.2 sn periyotlu spektral ivmelerin çoğu, NEHRP prosedürüne göre bulunan 0.7g değerinin üstünde geniş bir dağılım göstermektedir. C grubu ile tanımlanan profillerde de, hesaplanan ivme değerlerinin çoğu, 0.6g olan NEHRP prosedürü değerinin üstünde, ancak daha dar bir dağılımdadır.



Şekil 10. Optimizasyon yöntemi ve NEHRP prosedürü ile bulunan 0.2 sn periyotlu spektral ivmelerin karşılaştırılması



Şekil 11. Optimizasyon yöntemi ve NEHRP prosedürü ile bulunan 1 sn periyotlu spektral ivmelerin karşılaştırılması

Optimizasyon yaklaşımına dayalı 1sn periyotlu spektral ivmeler, C grubu ile tanımlı profillerin tamamında, NEHRP prosedürü için 0.53g olan değere çok yakın iken, D grubu ile tanımlı profillerin yarısında 0.61g' nin üzerinde geniş bir

dağılım göstermektedir. Bu sonuçlar NEHRP yöntemi kullanılarak zemin yüzeyinde bulunan spektral ivme değerlerinin güvensiz yönde kaldığını göstermektedir. Bu durumda eğer inceleme alanında yeterli veri (sondaj kesitleri, tabaka özellikleri, gibi) bulunuyorsa zemin büyütme analizleri yapılması tercih edilmelidir.

Sonuçlar

RASCAL ve ölçekleme yöntemi ile üretilen kayıt gruplarının kullanıldığı davranış analizleri sonucunda, yüzeyde hesaplanan en büyük ivme, Arias şiddeti ve $T=0.2$ sn periyoduna karşı gelen spektral ivmeler cinsinden frekans dağılımlarına dayalı değerlendirmeler, üretilen kayıtlar için kullanılan yöntemlerin ve seçilen gerçek yer hareketlerinin etkisini göstermektedir. Özellikle en büyük ivme ölçekleme yöntemi ile üretilen kayıtların kullanıldığı davranış analizlerinde, kullanılan gerçek kayıtlar, yüzeydeki davranışın, en büyük ivme ve spektral ivme cinsinden çok farklı olmasına neden olabilmektedir. Bu durumda, mikrobölgeleme amaçlı çalışmalarda kullanılacak yer hareketi sayısının, en büyük ivme ölçekleme yönteminin kullanılması halinde daha yüksek tutulması tercih edilmelidir. Diğer taraftan mikrobölgeleme parametrelerinden birinin Arias şiddeti olması durumunda, her iki yöntem için de, yüzeydeki frekans dağılımları seçilen gerçek yer hareketlerine dayalı olarak farklı olabilmektedir. Her iki yöntem için ortak olan 3 gerçek kaydı göz önüne alan bir değerlendirme ile toplam frekans dağılımları karşılaştırıldığında; RASCAL ile üretilen kayıt grubu genel olarak ortalama değere göre standart sapması daha düşük bir dağılım göstermiştir. Ayrıca bu kayıt grubu için kullanılan istatistiksel dağılım modelleri arasında tam bir uyum olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile farklı yöntemlerin kullanıldığı iki ayrı yaklaşım için yüzeydeki yer hareketi parametrelerinin değişiminde kullanılan gerçek kayıtların etkisi değerlendirilmiştir. Kullanılan yöntemlerin tam olarak karşılaştırılabilmesi için, her iki yöntemde de tek bir azalım ilişkisinin kullanılması ve ortak girdi kayıtlarının sayısının artırılması uygun olacaktır.

Diğer taraftan, her profildeki ortalama spektrumlar için, NEHRP kriterlerinin sağlandığı optimizasyon yaklaşımına dayalı olarak belirle-

nen NEHRP tasarım spektrumu ivmeleri, aynı tehlike seviyesi için NEHRP yaklaşık yöntemine göre bulunan spektral ivmeler ile karşılaştırıldığında; özellikle D grubu zeminler için yer hareketi özellikleri ile zemin özellikleri arasındaki etkileşimin neden olduğu değişkenliğin, daha yüksek olduğu görülmüştür. Sonuçta NEHRP yaklaşık yöntemi ile yer hareketi şiddeti ve zemin özellikleri arasındaki etkileşim göz önüne alınabilmesine karşılık, zemin davranış analizlerine göre sonuçların güvensiz tarafta kaldığı görülmektedir.

Kaynaklar

- Acevedo, A. B., (2003). Seismological criteria for selecting and scaling real accelerograms for use in engineering analysis and design, *M.Sc. Thesis*, European School of Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk, Rose School.
- Ambraseys, N.N., (1995). The prediction of earthquake peak acceleration in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **24**, 467-490.
- Ambraseys N.N., Douglas J., Sarma S.K., Smit, P.M., (2004). "Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: Horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration", *Bulletin of Earthquake Engineering*, **3**, 1.
- Ansal, A., (1997). "İstanbul İçin Tasarım Deprem Özelliklerinin Belirlenmesi", *Prof.Dr.Rifat Yazar Sempozyumu Kitabı*, **1**, 233-244.
- Ansal A., (2001). Balıkesir Şehri Bahçelievler, Plevne, Hasan Basri Çantay, Akıncılar Mahalleleri ve 18-02 Konut Bölgesinin Yerleşime Uygunluk Çalışmalarının, Depremsellik ve İnşaat Mühendisliği Açısından Değerlendirilmesi, İTÜ Geliştirme Vakfı, Uygulamalı Araştırma Raporu.
- Ansal, A., Biro, Y., Erken, A., Gülerce, Ü., (2004). Seismic Microzonation: a case study, in Ansal, A. eds., *Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation*, Kluwer Academic Publishers, 253-266.
- Ansal, A., Durukal, E. and Tonuk, G., (2006). Selection and scaling of real acceleration time histories for site response analyses, *Proceeding, ETC12 Workshop*, Athens, Greece.
- Ansal, A., Özyayın, K., Erdik, M., Yıldırım, H., Kılıç, H., Adatepe, Ş., Özener, P.T., Tonaroğlu, M., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., (2005). Seismic Microzonation for urban planning and

- vulnerability assessment, *Proceedings of the Int. Symposium of Earthquake Engineering (ISEE2005)*, Awaji Island, Kobe, Japonya.
- Ansal, A., Springman, S., Studer, J., Demirbaş, E., Önalp, A., Erdik, M., Giardini, D., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., Akman, H., Fah, D., Christen, A., Laue, J., Buchheister, J., Çetin, Ö, Siyahi, B., Fahjan, Y., Gülkan, P., Bakır, S., Lestuzzi, P., Elmas, M., Köksal, D., Gökçe, O., (2003). Adapazarı ve Gölcük için Mikrobölgeleme çalışmaları, *5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.
- Bommer, J. J. and Acevedo, A. B., (2004). The use real earthquake accelerograms as input to dynamic analyses, *Journal of Earthquake Engineering*, **8**, 1, 43-91.
- Boore D.M., Joyner W. B., Fumal T.E., (1997). Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work, *Seismological Research Letters*, **68**, 1.
- Boore D.M., (2003). Simulation of Ground Motion Using the Stochastic Method, *Pure and Applied Geophysics*, **160**, 635-676.
- Carballo J.E., Cornell C.A., (2000). Probabilistic Seismic Demand Analysis: Spectrum Matching and Design, Report No. RMS-41
- DRM-World Institute for Disaster Risk Management, (2004). "Belediyeler için Sismik Mikrobölgeleme", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- Durukal, E., Ansal A. and Tonuk, G., (2005). Effect of ground motion scaling in site response analyses, *Proceeding*, TC4 Satellite Conference on Recent Developments in Earthquake Geotechnical Engineering.
- Erdik, M. and Durukal, E., (2001). A Hybrid Procedure for the Assessment of Design Basis Earthquake Ground Motions for Near-fault Conditions, *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, **21**, 431-443.
- Erdik, M., Durukal, E., Siyahi, B., Fahjan, Y., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., Akman, H., (2003). Depreme dayanıklı yapı tasarımında deprem yer hareketinin belirlenmesi, *5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.
- Idriss, I.M, Sun, J.I (1992). Shake91, A Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analysis of Horizontally Layered Soil Deposits Modified based on the original SHAKE program Published in December 1972 by Schnabel, Lysmer and Seed.
- Kappos, A. J. and Kyriakakis, P., (2000). A re-evaluation of scaling techniques for natural records, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **20**, 111-123.
- Krinitzky, E. L. and Chang, F. K., (1979). State-of-the-art for assessing earthquake hazards in the United State: specifying peak motions for design earthquakes, Miscellaneous Paper S-73-1, Report 7, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Naeim, F., Alimoradi, A., and Pezeshk, S., (2004). Selection and Scaling of Ground Motion Time Histories for Structural Design Using Genetic Algorithms, *Earthquake Spectra*, **20**, 2, 413-426.
- NEHRP (2000). Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, (Fema 369).
- Silva, W.J. and K. Lee (1987). WES RASCAL code for synthesizing earthquake ground motions, State-of-the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States, Miscellaneous Paper S-73-1 Report 24, U.S.Army Engineers Waterways Experiment Station.
- Stewart, J. P., Chiou, S., Bray, J. D., Graves, R. W., Somerville, P. G., Abrahamson, N. A., (2001). Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design, PEER Report 2001/09 Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley.
- Stewart, J. P., Chiou, S. J., Bray, J. D., Graves, R. W., Somerville, P. G. and Abrahamson, N. A., (2002). Ground motion evaluation procedures for performance-based design, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **22**, 9-12, 765-772.
- Watson, J. and Abrahamson, N., (2006). Selection of ground motion time series and limits on scaling, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **26**, 477-482.
- Yağcı, B., (2005). Mikrobölgeleme Metodolojileri ve Balıkesir için Bir Uygulama, *Doktora Tezi*, BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.