



## Stokastik Kuvvetli Yer Hareketi Simülasyonu ile Gediz Grabeninde Zemin Davranışlarının İncelenmesi

### *Investigation of Soil Behaviour in the Gediz Graben by Stochastic Strong Ground Motion Simulation*

Nihal AKYOL<sup>1</sup>, Oğuz DEMİR<sup>1</sup>, M. Ali DANIŞMAN<sup>1</sup>, Ulubey ÇEKEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 5160, Kaynaklar kampüsü, Buca, İzmir.

<sup>2</sup> Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, 06530 Lodumlu, Ankara  
e-mail: nihal.akyol@deu.edu.tr

## ÖZ

Tektonik yapısı ve depremselliği ile dünya üzerindeki aktif kıtasal bölgelerden biri olan Batı Anadolu'daki, kaynak, ortam ve zemin parametrelerinin belirlenmesi oluşacak büyük bir depremin tanımlaması ve meydana getireceği hasarın ölçeklenmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, Gediz Grabeni dolgu birimi zemin davranışını incelenmiştir. İlk olarak, Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi, İzmir (IZM) ve Bornova (BRN) istasyonlarına ait mikro ve orta büyüklükteki ivme kayıtları kullanılarak, istasyonların üzerinde buldukları yerel jeolojik koşullara ait, zemin büyütmesi ve doğal rezonans frekansı belirlenmiştir. Daha sonra, Gediz grabeni için, derinliğin fonksiyonu olarak, ortalama bir hız ve bölgesel sönüm parametresi tanımlamak amacıyla, bölgeye ait detay jeoloji haritaları, jeolojik ve stratigrafik kesitler, sismik yansıma, gravite, rezistivite, hidrojeoloji, sondaj ve kuyu logu çalışmaları incelenmiştir. Elde edilen bilgiler, Çeyrek Dalga Boyu Yaklaşımı Metodu için girdi verisi olarak kullanılarak, graben dolgu biriminin yaratacağı zemin büyütme değerleri hesaplanmıştır. Bu büyütme değerleri kullanılarak, Gediz Grabeni üzerinde olması muhtemel, moment büyüklüğü  $M_w=7.0$  olan bir depremin graben dolgu birimi üzerinde, farklı uzaklık ve periyotlardaki yapılarla etkileşiminin ne olacağı, pik ivme ve spektral ivme değerleri hesaplanarak, modellenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; Gediz Grabeninde oluşacak  $M_w=7.0$  moment büyüklüğü ve 10 km derinliğindeki olası bir depremin üreteceği maksimum pik ivme değeri 0.42 g'dir. Depremin merkez üstünde, 0.3 sn periyodundaki yapılara etkiyecek maksimum yatay ivme yükü, 1.2 g'dir. Ayrıca, Gediz Grabeni için elde edilen spektral ivme değerlerinin, odak uzaklığı 10 ve 30 km olan depremler için 0.3 sn ve 100 km için 0.5 sn periyot değerlerinde en büyük olduğunu görmekteyiz.

**Anahtar Sözcükler:** Kuvvetli yer hareketi, Stokastik simülasyon, Zemin büyütmesi, Gediz Grabeni, Batı Anadolu.

**ABSTRACT**

*Determination of source, path and site characteristics in the Western Anatolia Region, which is one of the most seismically and tectonically active continental regions in the world, is a very important issue in the sense of scaling the seismic hazard of a possible large earthquake. For that reason, the soil behavior of the sedimentary fills of the Gediz Graben in the region was investigated. At first, site amplifications and natural resonance frequencies of the two sites (IZM/İzmir and BRN/Bornova stations) in Izmir were determined using micro and moderate sized earthquake data from two accelerometers operated by the Turkish National Strong Motion Network. After that, the detailed geology, stratigraphy, seismic reflection, gravity, resistivity, hydrogeology, water supply and well-logging studies in the graben were examined in order to obtain vertical distributions of average velocity and regional (anelastic) attenuation values for the sedimentary fill of the Gediz Graben. The Estimated vertical velocity and anelastic attenuation distributions were used as input parameters for the Quarter-Wavelength Approximation in order to determine an average site amplification function. Utilizing these amplification values, the Peak Ground Acceleration (PGA) and Spectral Acceleration (5% damped spectral acceleration, SA) values of a hypothetical earthquake, with  $M_w=7.0$  and hypocentral depth=10 km, were simulated in order to see the interaction between structures and this event, at different distances on the sedimentary fill of the Gediz Graben. The results implied that an obtained maximum PGA value is 0.42 g and the maximum horizontal SA value is 1.2 g at 0.3 sec at the epicentral location of the hypothetical earthquake. Dominant periods are 0.3 sec for hypocentral distances of 10-30 km and 0.5 sec for the hypocentral distance of 100 km in the Gediz Graben.*

**Key Words:** *Strong Ground Motion, Stochastic simulation, Site amplification, Gediz Graben, Western Anatolia.*

**GİRİŞ**

Anadolu levhasının batıya hareketinin Ege ve Batı Anadolu’ da K-G yönlü bir gerilme ile karşılandığı görüşü günümüzde yaygınca kabul görmektedir. Bölgedeki ~K-G açılma rejiminin oluşum yaşı ve nedeni halen tartışılmakta olan bir konudur. Batı Anadolu’nun deprem etkinliğine ve bölgedeki tektonik yapıların işlevlerine farklı araştırmacılar tarafından, değişik tektonik deformasyon modelleri önerilmiş ve Anadolu-Ege plakacılıkları arası yapısal ilişkiler oldukça

farklı biçimlerde yorumlanmıştır. Bozkurt (2001)’a göre; batı Anadolu’daki D-B uzanımlı grabenler ~ 4-5 Ma ya da olasılıkla daha geç oluşmuş yapısal birimlerdir. Ege bölgesinin kuzey-güney yönlü bir gerilme içinde biçim değiştirmesinin en açık verisi olan bu D-B doğrultulu grabenler, Ege de jeolojik ve morfolojik en egemen unsurlardır. Bölgede sismik aktivite yaklaşık D-B gidişli zonlar boyunca yoğunlaşmıştır. Bunlar grabenleri çevreleyen fay zonlarına karşılık gelmektedir ve

sismik aktivite normal fayların hareketleriyle bağlantılıdır.

Bölgede yer alan ana graben yapılarından biri olan, Gediz grabeni, ~D-B genel uzanımında ve ~150 km uzunluğundaki normal fay sistemine bağlı olarak şekillenmiştir (Emre, 1996). Son yıllarda yapılan çalışmalarda, grabenin düşük açılı normal fay denetiminde geliştiği anlaşılmış ve graben çökellerinin temeli niteliğindeki Menderes Masifi'nin bir metamorfik çekirdek kompleksi olduğu önerilmiştir. (örn: Bozkurt ve Park, 1994; Seyitoğlu ve Scott, 1996; Emre ve Sözbilir, 1997; Koçyiğit ve diğ., 1999; Yılmaz ve diğ., 2000). Jeolojik gözlemler; Gediz grabeni Neojen dolgu birimi kalınlığının 1.3-1.5 km olduğunu (Bozkurt ve Sözbilir, 2004) önermektedir. Grabeni dik kesen gravite kesitlerine dayalı modelleme çalışmaları ise 0.5-2.0 km arasında değişmekte olan bir kalınlık (Sarı ve Şalk, 2006) önermektedir.

Beklenen yer hareketinin depremin büyüklüğüne ve kaynaktan olan uzaklığına bağlı olarak elde edilmesi sismik risk çalışmalarına temel teşkil etmektedir. Deprem kaynağının özellikleri, deprem dalgalarının gözlem noktasına gelinceye kadar geçtiği ortamın fiziksel parametreleri, gözlem noktasındaki sığ yer yapısının fiziksel ve jeolojik özellikleri bir deprem kaydını oluşturan temel öğelerdir. Bir bölgede var olan sismik riskin ortaya çıkartılması bu üç önemli olayın detaylı olarak incelenmesine bağlıdır. Deprem kaydını etkileyen bu üç ana faktör, bize; deprem, depremi önceden belirleme ve deprem hasarlarını en aza indirmeye çalışmalarda önemli bilgiler sağlar. Bu faktörlerden birinin elde edilmesi veya davranışının incelenmesi için, diğer faktörlerin

bilinmesi gerekmektedir. Çünkü bu faktörler, birbirleri ile etkileşim içerisindeyler.

Zemin büyütmesi sığ yer yapısının yer hareketi spektrumuna etkisinin belirlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca mikrobölgeleme ve zonlama çalışmaları için gerekli bir parametredir. Sediment dolgu havza tabanı ile yani pekleşmemiş birim ile anakaya arasındaki arayüzeydeki, keskin hız süreksizliği nedeniyle oluşan empedans kontrastı dönüşmüş fazların ve tekrarlı yansımaların oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca, bu arayüzeyin hapsedtiği cisim dalgaları yüzey dalgalarının oluşumuna neden olmaktadır. Yatay olarak tabakalanmış sediment birim kalınlığındaki yerel değişimler, düşük geliş açılı ve uzun periyodlu yüzey dalgaları üretmekte ve bu da yer hareketinin frekans içeriğini değiştirmekte ve genlik ve süresini artırmaktadır. Tekarlı yansımalar, dönüşmüş fazlar, genlik ve süre artışı, tüm bunlar havza geometrisinden kaynaklanan karmaşık dalga yayılım modelinin sonuçlarıdır. Bu tip bölgeler sahip oldukları farklı hareket potansiyelleri ile, özellikle; köprü, geniş yol, boru hattı gibi havza boyunca uzanan mühendislik yapıları açısından ağır hasar kaynağı olabilecek riskli bölgelerdir. Bu nedenle pek çok araştırmacı, yer hareketi kaydı bulunmayan, sediment havzalarındaki zemin büyütme üzerinde çalışmaktadır (örn: Yalçinkaya ve Alptekin, 2005a, 2005b). Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, sediment dolgu birimin anakayaya kadar olan kalınlığı hesaba katılmadan sadece üstteki birimler gözönünde bulundurularak yapılan hesaplamalar hatalı sonuçlar vermektedir (Street ve diğ., 1997; Bard ve Ghavez-Garcia, 1993; Toro ve diğ., 1992; Hermann ve Akıncı, 1999; Akıncı ve Akyol, 2000).

Birbirlerine göre çeşitli avantaj ve dezavantajları olan pek çok yöntem, zemin etkisinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı Standart Spektral Oran Yöntemi olup, bu yöntemde zemin etkisi belirlenecek istasyon kayıtları, sağlam zemin üzerinde bulunan ve zemin etkisi taşımadığı düşünülen ve aynı kaynak için elde edilmiş referans istasyonu kaydına bölünür. Referans olarak değerlendirilecek bir istasyon bulunmadığı durumlarda, Standart Spektral Oran Yöntemine alternatif olarak, Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, düşey bileşenin yerel zemin koşullarından etkilenmediği kabulü ile, yatay ve düşey bileşenler arasındaki spektral oran, zemin etkisinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Pek çok araştırmacı yöntemin zeminin hakim titreşim periyodunu belirlemede başarılı olduğu ve Standart Spektral Oran Yöntemine göre daha küçük büyütme değerleri verdiği konusunda fikir birliği içerisinde (örn: Nakamura, 1989; Lachet ve diğ., 1996; Field ve Jacob, 1995; Lachet ve Bard, 1994).

Batı Anadolu'da, K-G açma rejimi etkisi altında oluşan B-D uzanımlı ana graben yapılarından biri olan, Gediz Grabeni dolgu birimi üzerinde zemin davranışının incelenmesi amacıyla, ilk olarak, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Dairesi tarafından işletilmekte olan Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesine bağlı, İzmir'de bulunan, iki deprem istasyonundan elde edilen mikro ve orta büyüklükteki depremlerin ivme kayıtları kullanılarak, Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi yardımıyla, istasyonların buldukları yerel zemin koşulları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır.

Verilen bir magnitüd ve uzaklık için yer hareketinin modellenmesi, sismik risk çalışmalarının temel girdisidir. Bu modelleme genellikle, azalım ilişkileri olarak tanımlanıp, yer hareketini büyüklük ve uzaklığın fonksiyonu olarak ifade etmektedir. Yer hareketi azalım ilişkileri iki şekilde hesaplanmaktadır: 1) Yer hareketi verilerini kullanarak, uzaklığa bağlı genlik azalımından en uygun eğriyi geçirerek, ampirik olarak; 2) Kaynak, ortam ve zemin özelliklerini tanımlayıp sentetik yer hareketleri üretmek, teorik olarak. İlgilenilen bölge için yeterli sayıda yer hareketi kaydı bulunmayışı nedeniyle grafiksel eğriler veya eşitlikler şeklinde zemine ait azalım ilişkileri, teorik modellemeler ile belirlenmektedir.

Gediz Grabeni dolgu birimi için, teorik yer hareketi modellemesi yapabilmek amacıyla, Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından, gediz grabeni üzerinde açılan 60 adet kuyu verisi ve Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından, Alaşehir'de açılmış olan bir derin sondaj verisi ve ayrıca, bölgeye ait detay jeoloji haritaları, jeolojik ve stratigrafik kesitler, sismik yansıma, gravite, rezistivite, hidrojeoloji ve kuyu logu çalışmaları kullanılarak, yüzeye yakın dolgu birimin stratigrafisi ve buna bağlı olarak düşey sismik hız dağılımı belirlenmiştir. Tüm bu verilerden elde edilen parametreler kullanılarak, Gediz Grabeni dolgu birimi üzerinde olası  $M=7.0$  büyüklüğündeki bir depremin neden olabileceği zemin davranışının ne olacağı, kuvvetli yer hareketi simülasyonu ile tespit edilmiştir. Bu amaçla, ilk olarak Çeyrek Dalga Boyu yaklaşımı (Joyner ve diğ., 1981) ile zemin büyütme değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, elde edilen bu büyütme değerleri kullanılarak, uzaklığın fonksiyonu olarak, maksimum ivme ve periyoda

bağlı spektral ivme değerleri modellenmiştir. Bu modelleme için, Boore (1996) tarafından derlenen, SMSIM (Stochastic Model- Strong Motion- Simulation) isimli ve bir seri fortran programını içeren bilgisayar kodu kullanılmıştır. Yöntem, ivme spektrumu karesinin integralinden RMS ivme değerlerini elde etmek için, Parseval teoreminin kullanılması esasına dayanmaktadır (Hanks ve McGuire, 1981).

## YÖNTEMLER

### Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi

Gediz Grabeni havza geometrisi içinde hapsolan deprem dalgası fazlarının neden olduğu zemin büyütme etkisi, bölgede bulunan ivme kayıtları ve Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi (Nakamura, 1989) kullanılarak elde edilmiştir. Bu amaçla, Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi verilerinden yararlanılmıştır. Her ikisinde yumuşak zemin üzerine kurulu, BRN kodlu Bornova ve İZM kodlu İzmir istasyonları tarafından kaydedilmiş odak uzaklıkları 1°'den küçük olan ivme kayıtları kullanılarak, istasyonlara ait zemin büyütmelerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Öncelikli amacımız Gediz Grabeni kuvvetli yer hareketi verilerini kullanmak iken, Gediz Grabeninde bulunan pek çok istasyonun analog olması nedeniyle ancak BRN ve İZM istasyonları için bu çalışma gerçekleştirilebilmiştir. Bu çalışmada kullanılan BRN ve İZM istasyonları ivme verilerine ait bilgiler, sırasıyla, Çizelge 1 ve 2'de verilmektedir.

**Çizelge 1.** Bornova (BRN) istasyonu tarafından kaydedilen ve bu çalışmada kullanılan depremlere ait parametreler.

**Table 1.** Parameters of the events recorded by BRN stations and used in this study.

No	Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Magnitüd (Md)
BRN01	29/04/97	17:43:54	38.71	27.24	3.4
BRN02	29/05/97	16:53:35	37.90	27.26	3.8
BRN03	09/07/98	17:37:02	38.08	26.68	5.1
BRN04	25/08/98	10:58:01	38.17	27.47	3.4
BRN05	10/01/99	08:34:56	38.87	26.72	3.6
BRN06	22/01/99	16:05:21	38.51	27.14	3.2
BRN07	26/06/99	23:00:19	37.99	26.53	3.7
BRN08	24/07/99	16:07:04	39.30	27.89	4.3
BRN09	25/07/99	06:57:54	39.29	27.85	4.4
BRN10	26/09/99	06:39:11	39.02	27.92	4.1
BRN11	10/02/00	01:47:46	38.35	27.56	3.5
BRN12	15/02/00	18:57:48	38.60	26.79	4.0
BRN13	08/09/00	05:47:22	39.34	27.64	4.6
BRN14	22/06/01	11:55:16	39.35	27.73	5.0
BRN15	23/06/01	12:18:58	39.32	27.77	3.9

**Çizelge 2.** İzmir (IZM) istasyonu tarafından kaydedilen ve bu çalışmada kullanılan depremlere ait parametreler.

**Table 2.** Parameters of the events recorded by IZM stations and used in this study.

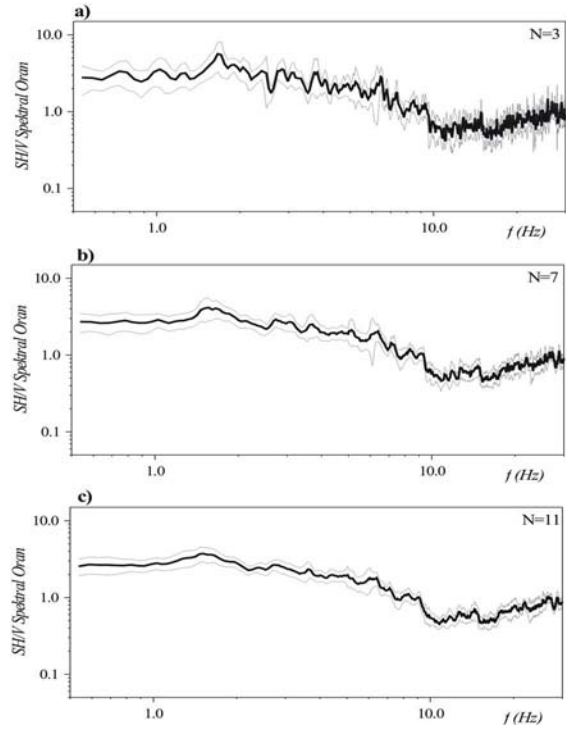
No	Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Magnitüd (Md)
IZM01	16/02/77	07:32:29	38.41	27.19	5.3
IZM02	24/05/94	02:18:34	38.67	26.60	5.0
IZM03	09/01/95	17:38:29	38.67	27.06	4.0
IZM04	12/01/95	00:21:28	38.53	27.11	4.3
IZM05	01/02/95	19:57:35	38.44	27.32	3.7
IZM06	30/01/96	17:36:10	38.50	27.00	4.5
IZM07	20/02/96	02:53:06	38.25	27.13	4.0
IZM08	02/04/96	07:59:21	37.78	26.64	4.9
IZM09	20/05/96	09:09:10	38.25	26.48	4.0
IZM10	26/07/96	21:20:52	38.30	27.62	3.3

İlk olarak, SH ve düşey bileşenlerde S dalga fazı 7 sn'lik pencere aralığında seçilmiş ve fazların hızlı Fourier dönüşümleri (FFT) alınarak

genlik spektrumları elde edilmiştir. Süreksizlikten kaynaklanan spektral bozuklukları gidermek için, veri FFT öncesi veri, 0.1 sn'lik bir periyoda sahip kosinüs fonksiyonu ile törpülenmiştir. Kosinüs fonksiyonu ile törpülenmiş, S-dalgasının yatay (SH) ve düşey bileşenli ivme spektrumları oranlanmadan önce 7-boylu yuvarlatma operatörü ile yuvarlatılmıştır. Yumuşak bir zemin tabakasında kaydedilen mikro-tremor kayıtlarının yatay ve düşey bileşenleri spektral oranının, zeminin doğal periyot ve büyütme özelliklerini verdiği ilk defa Nakamura (1989) tarafından ortaya atılmıştır. Bu nedenle yöntem, Nakamura Yöntemi olarak da anılmaktadır. Yöntemin deprem kayıtlarına uygulanması, Lermo ve Chavez-Garcia (1994) tarafından verilmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, Nakamura Yöntemi ile elde edilen spektral oranlar ile zemin hakim periyotlarının hesaplanmasında gerçekçi sonuçlar elde edildiğini göstermiştir (Lermo ve Chavez-Garcia, 1994; Drawinski ve diğ., 1996; Akyol ve diğ., 2002). Nakamura Yöntemi ile elde edilen spektral oranların sadece üst tabakalardaki zeminin Poisson oranına bağlı olmasından dolayı, zemin büyütmeleri için uygun sonuçlar vermediği ortaya atılmıştır (Lachet ve Bard, 1994). Ancak yöntem, mikrobölgeleme çalışmalarında mikrotremor kayıtlarının analizinde özellikle zemin hakim periyotlarının belirlenmesinde pratik olması açısından yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca genel bir fikir elde edebilmek için zemin büyütmesi hesaplarında da geniş olarak faydalanılmaktadır.

Yöntemin özünde kısaca; her istasyonda kaydedilmiş deprem verilerinin yatay ve düşey bileşenlerine ait spektrumlarının oranı sağlam veya sert zeminde 1 değerine yaklaşırken, yumuşak veya kötü zeminde belli frekanslarda

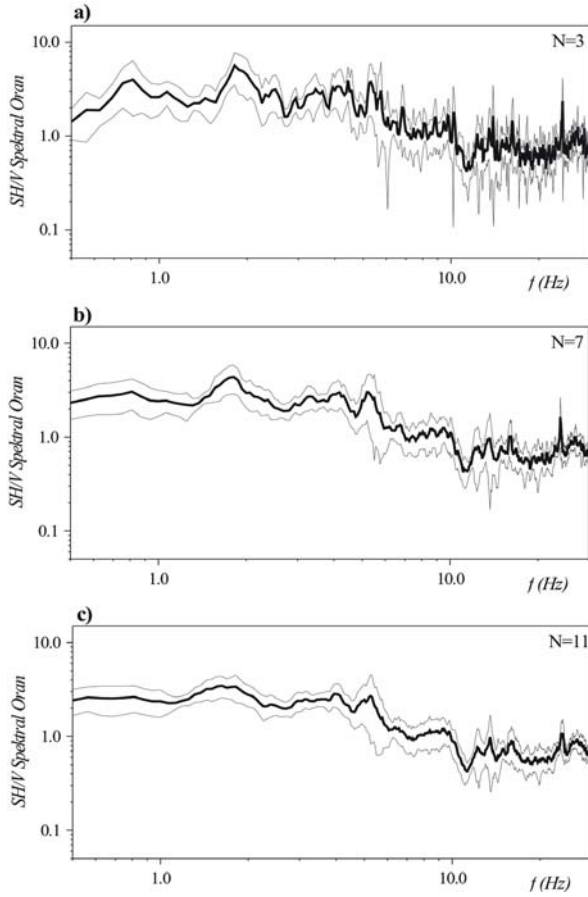
(genellikle düşük frekanslarda) pikler vererek, genlik büyütmesini (amplifikasyonu) vermektedir. Nakamura'nın bu tekniği birçok yazar tarafından mikro-deprem verilerini yorumlamak için başarıyla kullanılmıştır (örn: Castro ve diğ., 1997; Akyol ve diğ., 2002).



**Şekil 1.** BRN istasyonu için %90 güvenlik sınırı (açık çizgiler) ile, Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi kullanılarak elde edilen zemin büyütmeleri (koyu çizgiler). a) 3, b)7 ve c) 11-boylu (N değerleri) yuvarlatma işleçleri kullanılarak elde edilen sonuçlar.

**Figure 1.** The average site amplification (dark lines) and with 90% confidence intervals (light lines) from horizontal to vertical spectral ratio estimates for BRN stations. The results obtained by utilizing running average operator lengths (N values) of a) 3, b) 7 and c) 11.

Bu çalışmada, yuvarlatma işleç boyunun sonuca etkisini görmek amacıyla; BRN ve IZM istasyonlarının kaydedilen verilere 3, 7 ve 11-boylu yuvarlatma işleçleri kullanılarak spektral yuvarlatma uygulanmıştır. 3, 7 ve 11-boylu kayan ortalama işleci uygulanmış spektrumlardan elde edilen yatay/düşey spektral oran sonuçları,



**Şekil 2.** IZM istasyonu için %90 güvenlik sınırı (açık çizgiler) ile, Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi kullanılarak elde edilen zemin büyütme oranları (koyu çizgiler). a) 3, b) 7 ve c) 11-boylu (N değerleri) yuvarlatma işlemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar.

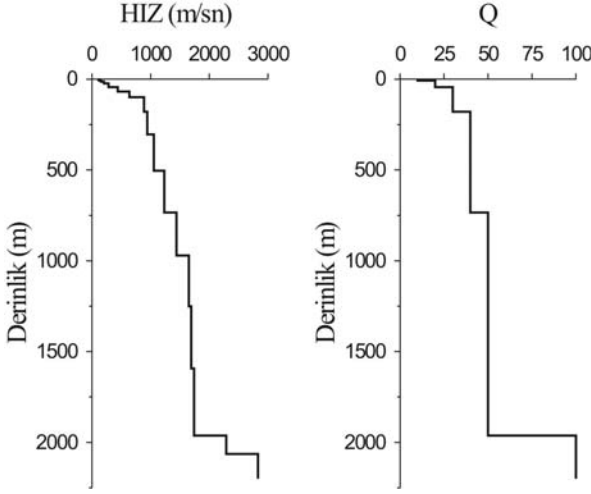
**Figure 2.** The average site amplification (dark lines) and with 90% confidence intervals (light lines) from horizontal to vertical spectral ratio estimates for IZM stations. The results obtained by utilizing running average operator lengths (N values) of a) 3, b) 7 and c) 11.

BRN ve IZM istasyonları için sırasıyla Şekil 1 ve 2'de verilmektedir. Bu şekillerde koyu renkli çizgiler Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi ile elde edilen ortalama zemin büyütme oranları ve açık renkli çizgiler ise ortalama

değer için, F-testi kullanılarak elde edilen, %90 güvenlik sınırlarını ifade etmektedir.

## Kuvvetli Yer Hareketi Simülasyonu

Gediz Grabeninde bulunan, ulusal kuvvetli yer hareketi kayıt şebekesine bağlı istasyonların pek çoğunun analog kayıtçılardan oluşması ve sadece İzmir ve Bornova istasyonlarına ait sayısal verinin zemin büyütme oranlarının değerlendirilmesi açısından yeterli olması nedeni ile, bölgede gerçekleştirilmiş olan diğer jeolojik/jeofizik çalışmalar incelenmiştir. Derinliğin fonksiyonu olarak, hız ve buna bağlı olarak bölgesel sönüm parametresini tanımlamak için, bölgeye ait bazı detay jeoloji haritaları, jeolojik ve stratigrafik kesitler, sismik yansıma, gravite, rezistivite, hidrojeoloji ve kuyu logu çalışmaları incelenmiştir. Bölgede DSİ tarafından yapılmış pek çok su amaçlı etüd raporları ve sondaj kuyusu litoloji bilgileri bulunmaktadır. DSİ'nin, Gediz grabeni üzerinde 1992-2000 yılları arasında açtığı, derinlikleri 69-290 m arasında değişen 60 adet kuyu litoloji bilgileri ve ayrıca TPAO tarafından Alaşehir'de açılmış olan 2000 m derinliğindeki petrol kuyusu hız bilgileri de kullanılarak, graben dolgu birimi hız yapısı modellenmeye çalışılmıştır (Şekil 3). Graben dolgu birimi için tanımladığımız, derinliğin fonksiyonu olarak değişmekte olan, ortalama hız ve bölgesel sönüm yapısıyla, çeyrek dalga boyu yaklaşımı (Joyner ve diğ., 1981) kullanılarak, zeminin frekansa bağlı büyütme fonksiyonu hesaplanmıştır (Şekil 4).

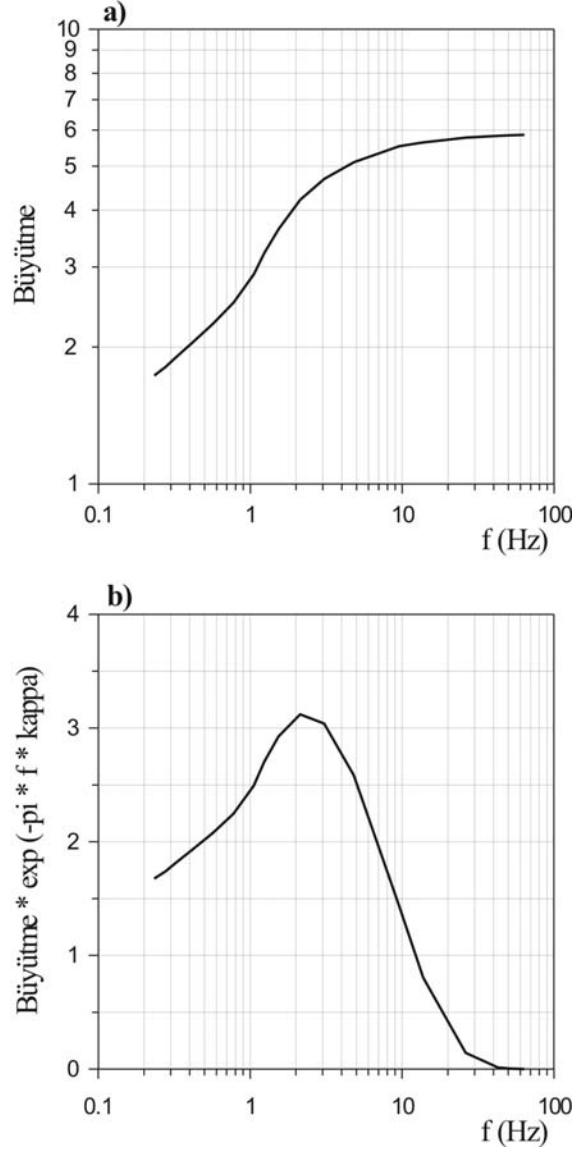


Şekil 3. Gediz Grabeni için derinliğin fonksiyonu olarak, ortalama hız ve bölgesel sönüm ( $Q$ -anelastik sönüm) değerleri.

*Figure 3. The average vertical distributions of velocity and regional attenuation ( $Q$ -anelastic attenuation) values for the Gediz Graben.*

Bu yaklaşımda, basitçe tanımlayacak olursak; verilen bir frekans için büyütme değeri; çeyrek dalga boyuna karşılık gelen derinlikteki sismik empedansın, kaynak derinliğindeki sismik empedansa oranının kareköküdür.

Yöntem sismik hız değişimindeki süreksizliklere karşı duyarlı olmayıp, tekrarlı yansımalar ve dönüşmüş fazların neden olduğu pikler üretmez. Bu nedenle yuvarlatılmış bir büyütme fonksiyonu elde edilir. Şekil 4a'da yerel sönüm parametresi etkisi olmaksızın ulaşılan büyütme değerleri, Şekil 4b'de ise, yerel sönüm parametresinin büyütme değeri üzerindeki etkisi görülmektedir. Yüksek frekanslardaki eğimin karakterize ettiği, yerel sönüm parametresi olarak; İzmir ve Bornova istasyonlarına ait ivme kayıtlarından elde ettiğimiz,  $\kappa=0.04$  değeri kullanılmıştır.



Şekil 4. Gediz Grabeni için, Çeyrek Dalga Boyu yaklaşımı kullanılarak elde edilen ortalama zemin büyütme değerleri, a) yerel sönüm parametresi etkisi olmaksızın, b) yerel sönüm etkisi ( $\kappa=0.04$ ) ile birlikte.

*Figure 4. Average site amplification for the Gediz Graben from the Quarter-Wavelength Approximation: a) with and b) without near-surface attenuation ( $\kappa=0.04$ ) effect.*

Zemin büyütme değerlerinin eldesinden sonra bölge için olası kuvvetli yer hareketlerinin yaratacağı, zeminin pik ivme değerleri ve inşaat mühendisliği açısından, yapı tasarımı için gerekli



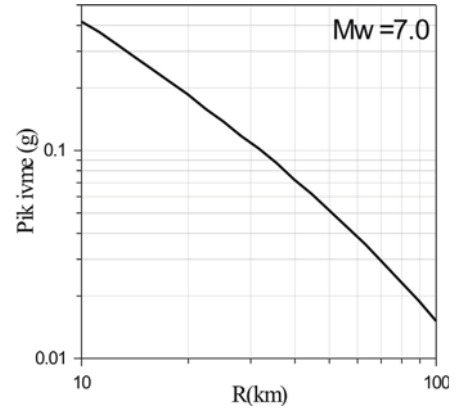
spektral ivme değerleri, stokastik kuvvetli yer hareketi simülasyonu (Boore, 1996) çalışmaları ile elde edilmiştir. Simülasyon için, Boore (1996) tarafından derlenen, SMSIM (Stochastic Model-Strong Motion- Simulation) isimli, pik ivme (PGA), ve spektral ivme (tepki spektrumu) hesaplayan ve Random Vibration Teori (RVT) ile verilen uzaklık ve magnitüd için hesap yapan programlar zinciri kullanılmıştır. Metod, zaman ortamındaki rastgele üretilmiş sismograma, kaynak, zemin ve ortam ile ilgili terimlerin eklenmesi ilkesi ile hem zaman ve hem de frekans ortamını kullanır. Yöntemin başarısı pik ve rms ivme değerlerini tahmin edebilmesi ve kaynak modeli olarak farklı frekans ortamı ölçekleme modellerini kullanılabilmesidir. Hanks ve McGuire (1981) ivme spektrumu karesinin integralinden rms ivme değerlerini elde etmek için Parseval teoremini kullanmışlar, RVT sonuçları ile PGA değerlerini ilişkilendirmişlerdir.

Bu çalışmada kullanılan stokastik modelleme parametreleri Çizelge 3’de verilmektedir.

**Çizelge 3.** Kuvvetli yer hareketi simülasyonu için kullanılan parametreler.

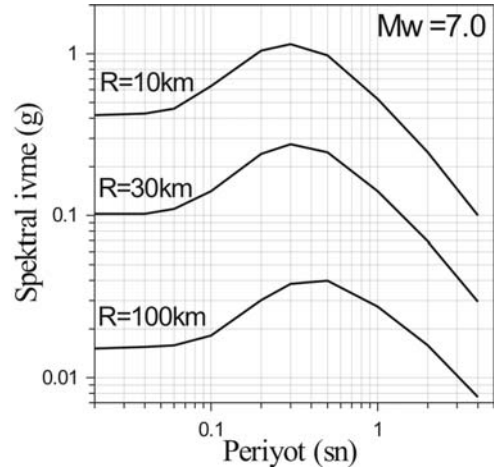
**Table 3.** Parameters used for stochastic strong ground motion simulation.

STOKASTİK MODEL PARAMETRELERİ	
<b>KAYNAK PARAMETRELERİ</b> (Brune nokta kaynak modeli)	
Kaynaktaki yoğunluk: $\rho = 2,8 \text{ gr/cm}^3$	
Kaynaktaki S dalga hızı: $\beta = 3.60 \text{ km/sec}$	
Büyüklik: $M_w = 7.0$	
Stres düşümü: $\Delta \sigma = 100 \text{ bars}$	
<b>ORTAMA AİT PARAMETRELER</b>	
Anelastik sönüm: $Q(f) = 220f^{0.52}$ (Cong ve Mitchell, 1999) Geometrik yayılma katsayısı = $1/r$	
<b>ZEMİN İLE İLGİLİ PARAMETRELER</b>	
S dalgası bileşenleri ayrılma faktörü = 0.71	
Yayınım örüntüsü katsayısı = 0.55	
Serbest yüzey büyütme faktörü = 2.0	
Yerel sönüm parametresi: $\kappa = 0.04$	



**Şekil 5.**  $M_w=7.0$  büyüklüğündeki ve 10 km derinliğindeki olası bir depremin, Gediz Grabeni dolgu birimi üzerinde yaratacağı, odak uzaklığına bağlı pik ivme değerleri.

**Figure 5.** Peak Ground Acceleration versus the hypocentral distance, for a hypothetical event with  $M_w=7.0$  and depth=10 km, in the Gediz Graben.



**Şekil 6.**  $M_w=7.0$  büyüklüğündeki ve 10 km derinliğindeki olası bir depremin, Gediz Grabeni dolgu birimi üzerinde, R=10, 30 ve 100 km’lik odak uzaklıklarında yaratacağı spektral ivme değerleri (%5 sönümlü).

**Figure 6.** 5%-damped Spectral Acceleration values, for a hypothetical event with  $M_w=7.0$ , depth=10 km, R=10, 30 and 100km, in the Gediz Graben.

Bölgede, 7.0 moment büyüklüğündeki ve 10 km derinliğindeki olası bir deprem için, tüm bu tanımlanan parametreler girdi verisi olarak

kullanılarak, zemine ait pik ivme ve spektral ivme değerleri, faylanma türü belirtilmeyen, dairesel yırtılmaya sahip nokta kaynak modeli için hesaplanmıştır. Odak uzaklığının fonksiyonu olarak elde edilen pik ivme değerleri Şekil 5’de ve periyoda bağlı spektral ivme değerleri ise Şekil 6’da verilmektedir. Şekil 6’da, 10, 30 ve 100 km’lik odak uzaklıkları için elde edilen spektral ivme değerleri görülmektedir.

## SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Oluşum yaşı ve nedeni hala tartışma konusu olan, Batı Anadolu’daki K-G açılma tektoniği denetiminde, bölgede bir dizi ~D-B uzanımlı graben yapıları gelişmiştir. Devam eden çekme gerilmeleri ile Gediz Grabenin güney kenarını boydan boya sınırlandıran düşük açılı sıyrılmaya/ayrılma fayı sistemin ana yapısal unsurudur. Erken Miyosen sonu veya orta Miyosende oluştuğu ve böylece Gediz grabeninin oluşum sürecinin başladığı düşünülmektedir. Tektonik açıdan oldukça aktif olan bölgede, deprem aktivitesinin çokluğu da kaçınılmaz bir gerçektir. Bölgede olması muhtemel büyük bir depremin çok önemli boyutlarda hasara neden olacağı açıktır. Bu çalışmada, Gediz Grabeni dolgu birimi zemin büyütme değerlerine ve zemin-yapı etkileşimi ile ilgili, pik ivme ve spektral ivme değerlerine ulaşılmıştır.

İlk olarak, Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi kapsamında İzmir’e kurulmuş olan İzmir (IZM) ve Bornova (BRN) istasyonlarına ait mikro ve orta büyüklükteki ivme kayıtlarına, Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi uygulanarak, istasyonların üzerinde buldukları yerel jeolojik koşullara ait, zemin büyütmesi ve zemin hakim titreşim periyodu belirlenmiştir. Şekil 1b ve 2b’de 7-boylu

yuvarlatma işleği ile yuvarlatılmış spektrumlara yöntemin uygulanması ile elde edilmiş sonuçlara baktığımızda, BRN istasyonu zemininin yer hareketini 1.3-1.7 Hz arasında yaklaşık 4 kat ve IZM istasyonu zemininin ise 1.8 Hz’de 4.5 kat büyüttüğünü görmekteyiz.

Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi öncesi uygulanan veri-işlem basamaklarından biri olan spektral yuvarlatma etkisinin araştırılması amacıyla farklı uzunluktaki kayan ortalama işleçleri kullanılmıştır. S-dalga fazının, SH ve düşey bileşen spektrumları oranlanmadan önce, her bir spektrum sırasıyla 3, 7 ve 11-boylu kayan ortalama işleği ile yuvarlatılmış ve her bir farklı işleç boyu uzunluğu için yöntem uygulanmıştır. BRN istasyonu için üç farklı yuvarlatma derecesine sahip spektrumların oranlanması ile elde edilen ortalama zemin büyütme değerleri, %90 güvenlik sınırları ile birlikte Şekil 1’de görülmektedir. 3, 7 ve 11-boylu yuvarlatmalar sonucu elde edilen Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi sonuçlarını karşılaştırdığımızda; zemin büyütme değeri sırasıyla 5.5, 4 ve 3.5 olmaktadır. Aynı biçimde 3, 7 ve 11-yuvarlatmalar sonucu, IZM istasyonu için elde edilen zemin büyütme değerleri (Şekil 2) ise; 5.7, 4.5 ve 3.5 olmaktadır. Her iki istasyon için elde edilen zemin büyütme değerlerine baktığımızda; zemin büyütme değerlerinin, yuvarlatma işleç boyu arttıkça, azaldığını görmekteyiz. Elde edilen sonuçlar; yuvarlatma işleç boyu seçiminin önemini ve farklı yöntemler kullanılarak aynı parametrelerin eldesi ile sonuçların karşılaştırılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Elde edilen maksimum büyütme değerleri, zeminlere ait doğal rezonans frekansını başka bir deyişle zemin hakim titreşim periyodunu belirlemektedir. BRN istasyonu için

bu değer 1.3-1.7 Hz arasında değişmekte iken, IZM istasyonu için 1.8 Hz'de pik büyütmeye değeri ile saptanmaktadır.

Sonuç olarak; İzmir ilinde bulunan bu iki kuvvetli yer hareketi kayıtçısının üzerinde bulunduğu zeminler yer hareketini ortalama 3.5-4.5 kat büyütmemektedir. Elde edilen bu sonuçlar, özellikle deprem açısından riskli ve mühendislik açıdan kötü zemin koşulları için gerçekleştirilen risk değerlendirmelerinde, yerel zemin koşullarına ait parametrelerin dikkatle irdelenmesi gerektiğini bir kez daha vurgulamaktadır. Bu tip bölgeler için yapılacak risk analizi, yapı dizayn ve zonlama çalışmaları kesinlikle bu parametreler dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir.

Gediz Grabeni dolgu birimi için, Çeyrek Dalga Boyu yaklaşımı ile elde ettiğimiz ortalama büyütmeye değerlerine baktığımızda (Şekil 4), dolgu birim üzerinde büyütmenin 2.5-3 Hz frekansı için 3 değeri ile maksimumlandığını görmekteyiz. Bu frekans, zemin hakim titreşim periyodu (ya da doğal salınım frekansı) olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle, Gediz Grabeni dolgu birimi, yer hareketinin 2.5-3 Hz frekanslı bileşenlerini 3 kat büyütürken yüzeye ve yüzey üzerindeki yapıya iletmemektedir.

Beklenen yer hareketinin depremin büyüklüğüne ve kaynaktan olan uzaklığına bağlı olarak elde edilmesi sismik risk çalışmalarına temel teşkil etmektedir. Bu çalışmada, Gediz Grabeni için, Çeyrek Dalga Boyu Yaklaşımı ile elde edilen zemin büyütme fonksiyonları girdi verisi olarak kullanılarak, bölge için olası  $M_w=7.0$  büyüklüğündeki bir depremin yaratabileceği spektral ivme değerleri, kuvvetli yer hareketi simülasyonu (SMSIM algoritması;

Boore, 1996) ile tespit edilmiştir. Şekil 5'e baktığımızda, Gediz Grabeninde oluşacak  $M_w=7.0$  moment büyüklüğündeki depremin üreteceği maksimum pik ivme değeri 0.42 g'dir. Üç farklı odak uzaklığı için elde ettiğimiz (10, 30 ve 100 km), spektral ivme değerlerini incelediğimizde (Şekil 6) ise, odak uzaklığı 10 ve 30 km için, 0.3 sn periyodunda maksimumlanma görüyoruz.  $M_w=7.0$  büyüklüğünde olası bir depremde, depremin merkez üstünde (derinlik 10km), 0.3 sn periyodundaki yapılara etkiyecek maksimum yatay ivme yükü, 1.2 g'dir. Depremin odak uzaklığı 30 km ise sözkonusu yatay ivme yükü, yine 0.3 sn için, 0.28 g dir. Depremin odağı 100 km uzakta ise, 0.5 sn periyodunda maksimum spektral ivme değeri 0.04 g'dir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, odak uzaklığı 100 km olan,  $M_w=7.0$  büyüklüğündeki bir deprem, en fazla, periyodu 5 sn olan yapıları etkileyecektir.

Gediz Grabeni için ulaşılan, zemin büyütmesi ve spektral ivme değerlerinin büyüklüğü, depreme dayanıklı yapı tasarımında ve buna yönelik sismik risk haritalarının hazırlanmasında, bölgesel ve yerel boyutlardaki zemin özelliklerinin ve pekleşmemiş dolgu malzemesi kalınlığının dikkate alınması gerektiğini bir kez daha vurgulamaktadır. Bu nedenledir ki, sediment dolgu havzalar üzerindeki yerleşim yerleri ve sanayi bölgeleri için, daha gerçekçi ve fiziksel parametreleri içeren yer hareketi tahminleri acil olarak gerekmektedir. Bunun için, ilk olarak, zeminlerin dolgu kalınlığı gözönünde bulundurulacak modellenmesi ve risk çalışmalarına temel teşkil eden sismik hız ve bölgesel sönüm parametrelerinin derinlikle değişimlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Yalnızca Gediz Grabeni için değil, ülkemizde bulunan pek çok havza üzerine kurulmuş yerleşim ve sanayi bölgeleri ve mühendislik açıdan kötü zemin koşulları için, risk çalışmalarının temel girdi verileri olarak, kaynak, hız ve sönüm parametreleri ve zemin büyütmelerinin ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir. Maalesef ülkemizde pek çok riskli bölgede henüz yeterince detay çalışma yapılmış değildir. Sağlıklı bir şekilde tespit edilecek bu veriler ile, yerel bazda deprem riski hakkında bilgi sahibi olunup, bunların doğrultusunda yerleşim planı ve yapı tasarımı yapılabilir. Tüm bunların yapılabilmesi için öncelikle bölgenin iyi bir sabit istasyon ağına ivedilikle ihtiyacı bulunmaktadır. Amaç, can ve mal güvenliğini bilimsel veriler doğrultusunda maksimum seviyeye taşımak olmalıdır.

### **EXTENDED ABSTRACT**

*Determination of source, path and site characteristics in the Western Anatolia Region, which is one of the most seismically and tectonically active continental regions in the world, is a very important issue in sense of scaling the seismic hazard of a possible large earthquake. The Western Anatolia Region, which has active tectonism, is one of the most important regions of Turkey with its high population and industrial potential. For that reason, a possible large earthquake would be destructive for the region. Because of increasing exposure and vulnerability to the effects of earthquakes, seismic hazard assessment is a very important issue in seismology, especially in tectonically active areas. The major purpose of this study is to estimate an average site-specific seismic risk*

*of the sedimentary fill of the Gediz Graben in the Western Anatolia Region.*

*In this study, firstly, site amplifications and natural resonance frequencies of two sites (IZM/Izmir and BRN/Bornova stations) in Izmir were estimated, by using micro and moderate sized earthquake data from two accelerometers operated by the Turkish National Strong Motion Network (General Directorate of Disaster Affairs - Earthquake Research Department). H/V ratio estimates had revealed that the obtained average site amplification for these two sites is about 3.5-4.5. The natural frequencies of the BRN and IZM sites are 1.3-1.7Hz and 1.8 Hz, respectively.*

*Since these two sites in Izmir can not characterize the whole of the Gediz Graben, the vertical distributions of average velocity and regional (anelastic) attenuation values for the sedimentary fill of the Gediz Graben were estimated, using information from some detailed geology, stratigraphy, seismic reflection, gravity, resistivity, hydrogeology, water supply and well-logging studies. Average site amplification values versus the frequency were estimated by using obtained vertical velocity and anelastic attenuation distributions as the input parameters for a Quarter-Wavelength Approximation. Obtained site amplification values were used to calculate the Peak Ground Acceleration (PGA) and Spectral Acceleration (5% damped spectral acceleration, SA) of a hypothetical earthquake with  $M_w=7.0$  and hypocentral depth=10 km. An obtained maximum PGA value is 0.42 g and the maximum horizontal SA value is 1.2 g at 0.3 sec at the epicentral location of the hypothetical earthquake. Dominant periods are 0.3 sec for hypocentral distances of 10-30 km and 0.5 sec for*

*hypocentral distance of 100 km in the Gediz Graben.*

*The results of this study again showed that successful evaluation of seismic risk/hazard assessment depends on a good estimate of source, propagation and site characteristics for the region. Description and choice of site are absolutely necessary to avoid the damage of earthquakes. Unfortunately, in many of the risky areas in our country these parameters have not been studied in detail yet. It is now clear that priorities need to be defined everywhere in Turkey, as well as in the USA and in Europe, to prepare detailed hazard maps. One of the goals of the seismologist is to provide these maps and engineers are expected to translate the seismic hazard maps into building codes. The results of geoscientific studies will help to better understand and define how to minimize the damage of earthquakes.*

## **KATKI BELİRTME**

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi tarafından desteklenen, 02.KB.FEN.085 nolu araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiş olup, 2-4 Kasım 2006 tarihinde gerçekleştirilen Aktif Tektonik Araştırma Grubu Toplantısı (ATAG-10)'nda sunulmuştur. Yazarlar makaleyi inceleyen Eşref Yalçınkaya ve Eser Durukal'a teşekkür eder. Bunun yanında, kullandığımız ivme verilerini sağlayan, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Dairesi, Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi tüm çalışanlarına, Gediz Grabeni üzerinde, geçmişten günümüze gerçekleştirmiş oldukları tüm çalışmaların arşivlerini kullanımımıza açan, Devlet Su İşleri, Ege Bölge Müdürlüğüne ve Alaşehir'de gerçekleştirmiş oldukları derin sondaj hız

bilgilerini kullanımımıza sunan, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Arama Grubu Başkanlığı teşekkürlerimizi sunarız.

## **DEĞİNİLEN BELGELER**

- Akıncı, A. ve Akyol, N., 2000. Importance of Alluvial Thickness in the Earthquake Ground Motion. Proceedings of the Third Japan-Turkey Workshop on Earthquake Eng., vol.1, 189-197.
- Akyol, N., Akıncı, A. ve Eyidoğan, H., 2002. Site Amplification of S-waves in Bursa City and Its Vicinity, Northwestern Turkey: Comparison of Different Approaches. Soil Dynamics and Earthquake Eng., 22,579-587.
- Bard, P. Y. ve Ghavez-Garcia, F. J., 1993. On the Decoupling of Surficial Sediments from Surrounding Geology at Mexico City. Bull. Seism. Soc. Am., 83, 1979-1991.
- Boore, D. M., 1996. SMSIM-Fortran Programs for Simulating Ground Motions from Earthquakes, Version 1.0. U. S. Geol. Survey, Open-file report 96-80-A.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey – a Synthesis. Geodinamica Acta, 14, 3-30.
- Bozkurt, E. ve Park, R. G., 1994. Southern Menderes Massif: An Incipient Metamorphic Core Complex in Western Anatolia, Turkey. J. Geol. Soc. London, 151, 213-216.
- Bozkurt, E. ve Sözbilir, H., 2004. Tectonic Evolution of the Gediz Graben: Field Evidence for an Episodic, Two-Stage Extension in Western Turkey. Geological Magazine, 141, 63-79.
- Castro, R. R., Pacor, F. Ve Petrongaro, C., 1997. Determination of S-wave Energy Release of Earthquakes in the Region of Friuli, Italy. Geophys. J. Int., 128, 339-408.
- Cong L. ve Mitchell, J. B., 1999. Lg Coda Q and Its Relation to the Geology and Tectonics of the Middle East, Pure Appl. Geophys., 153, 563-585.
- Drawinski, M., Ding, G. ve Wen, K. L., 1996. Analysis of Spectral Ratios for Estimating Ground Motion in Deep Basins. Bull. Seism. Soc. Am., 86, 843-847.
- Emre, T., 1996. Gediz Grabeni'nin Tektonik Evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 39, 2, 1-18.

- Emre, T. ve Sözbilir, H., 1997. Field Evidence for Metamorphic Core Complex, Detachment Faulting and Accommodation Faults in the Gediz and Büyük Menderes Grabens (Western Turkey). *Int. Earth Sci. Colloquium on the Aegean Region, Proceedings*, 1, 73-94.
- Field, E.H. ve Jacob K., 1995. A Comparison and Test of Various Site-Response Estimation Techniques Including Three that are not Reference-Site Dependent. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, 1127-1143.
- Hanks, T. C. ve McGuire, R. K., 1981. The Character of High Frequency Strong Ground Motion. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 2071-2095.
- Hermann, R. B. ve Akıncı, A., 1999. Probabilistic Seismic Hazard for the Central United States. *Seism. Soc. of Am.*, 94rd Annual Meeting, May 3-5, Seattle, Washington, USA.
- Joyner, W. B., Warrick R. E. ve Fumal, T. E., 1981. The Effects of Quaternary Alluvium on Strong Ground Motion in the Coyote Lake, California Earthquake of 1979. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 1333-1349.
- Koçyiğit, A., Yusufoğlu, H. ve Bozkurt, E., 1999. Evidence from the Gediz Graben for Episodic Two-Stage Extension in Western Turkey. *J. Geol. Soc. London*, 156, 605-616.
- Lachet, C. ve Bard, P. Y., 1994. Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of the "Nakamura's technique". *J. Phys. Earth.*, 42, 377-397.
- Lachet, C., Hatzfeld, D., Bard. P. Y., Theodulidis, N., Papaioannou, C. ve Savvaidis, A., 1996. Site Effects and Microzonation in the City of Thessaloniki (Greece)-Comparison of Different Approaches. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, 1692-1703.
- Lermo, J. ve Chavez-Garcia F. J. 1994., Site Effect Evaluation at Mexico City: Dominant Period and Relative Amplification from Strong Motion and Microtremor Records. *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 13, 413-423.
- Nakamura, Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimations of Subsurface using Microtremors on the Ground Surface. *Quarterly Rept. RTRI, Jpn.*, 30, 25-33.
- Sarı, C. ve Şalk, M., 2006. Sediment thicknesses of the western Anatolia graben structures determined by 2D and 3D analysis using gravity data. *J. Asian Earth Sci.*, 26, 39-48.
- Seyitoğlu, G. ve Scott, B.-C., 1996. The Cause of N-S Extensional Tectonics in Western Turkey: Tectonic Escape vs Back-Arc spreading vs Orogenic Collapse. *J. Geodynamics*, 22(1), 145-153.
- Street, R., Wang, Z., Woolery, E., Hunt, J. ve Harris, J., 1997. Site Effects as a Vertical Accelerometer Array Near Paducah, Kentucky. *Eng. Geology*, 46, 349-367.
- Toro, G. R., Silva, W. J., McGuire, R. K. ve Herrmann, R. B., 1992. Probabilistic Hazard Mapping of the Mississippi Embayment. *Seism. Res. Lett.*, 63, 3, 449-475.
- Yalcinkaya, E. ve Alptekin, Ö., 2005a. Contributions of the Basin Edge Induced Surface Waves to Site Effect in the Dinar Basin, Southwestern Turkey. *Pure and Applied Geophysics*, 162, 931-950.
- Yalcinkaya, E. ve Alptekin Ö., 2005b. Site Effect and Its Relationship with the Intensity and Damage Observed in the June 27, 1998 Adana-Ceyhan Earthquake. *Pure and Applied Geophysics*, 162, 913-930.
- Yılmaz, Y., Genç, S. C., Gürer, O. F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Aktunkaynak, Ş. ve Elmas, A., 2000. When did the Western Anatolian Grabens Begin to Develop? eds: Bozkurt, E., Winchester, J. A., Piper, J. D. A., *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, *Geol. Soc. London Special Publication*, 173, pp.353-384.

---

Makale Geliş tarihi : 15 Mart 2008

Kabul tarihi : 15 Mayıs 2008

*Received* : March 15, 2008

*Accepted* : May 15, 2008