



Dinar'da zemin büyütmesi ve 1 Ekim 1995 depreminde gözlenen hasarla ilişkisi

Site amplification in Dinar and relationship with damage observed on the October 1, 1995 earthquake

Eşref YALÇINKAYA, Ömer ALPTEKİN

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar, İSTANBUL

ÖZ

Bu çalışmada 1 Ekim 1995'te meydana gelen Dinar depreminin artçı şokları kullanılarak Dinar'da kurulmuş 5 istasyonda Klasik Spektral Oran (KSO) ve Yatay/Düşey Spektral Oran (YDSO) yöntemleri ile zemin büyütme hesaplanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, KSO yöntemi ile hesaplanan büyütme YDSO yöntemine göre 2-3 kat daha büyüktür. YDSO yönteminin özellikle büyütme başarısız kalmasının ana nedeni, düşey bileşen kayıtlarının varsayılan aksine yerel zemin koşullarından etkilenmesidir. Bu çalışmada Dinar Ovası içinde yer alan istasyonlarda düşey bileşendeki büyütme değerlerinin yatay bileşendeki büyütme değerlerine yakın olduğu görülmüş ve ova içindeki istasyonlarda 8 katına varan büyütme belirlenmiştir. Bu istasyonlarda zemin hakim titreşim periyodu 0.43-0.5 s (2-2.3 Hz) civarındadır. Bu değer, Dinar'da en fazla hasar gören 4-5 katlı binaların doğal titreşim periyodu ile çakışmaktadır. Bu nedenle, oluşan hasarda zemin büyütme ve rezonans etkisinin önemli rol oynadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Dinar, klasik spektral oran yöntemi, rezonans, yatay/düşey spektral oran yöntemi, zemin büyütmesi.

ABSTRACT

In this study, site amplifications at 5 stations located in Dinar were estimated with the aid of Classical Spectral Ratio (CSR) and the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) methods by using the records of the aftershocks of the October 1, 1995 Dinar earthquake. The results of the study suggested that site amplifications estimated by using the CSR method were 2-3 times higher than those estimated by the HVSR method. The reason for this discrepancy is due to the vertical motion records which were also affected by local geological conditions. The results of this study indicated that amplifications on the vertical motion records were approximately equal to those on the horizontal motion records. The stations located in the Dinar basin have site amplifications up to 8 times. At these stations, predominant soil periods are between 0.43 and 0.5 sec (2-2.3 Hz) and very close to the natural periods of buildings which were extensively damaged during the Dinar earthquake of October 1, 1995. Therefore, it was concluded that site amplifications and resonance effect have played important role in the damages occurred in Dinar during the earthquake.

Key words: Dinar, classical spectral ratio, resonance, horizontal-to-vertical spectral ratio, site amplification.

GİRİŞ

Bir deprem meydana geldiğinde, sismik dalgalar kaynaktan yola çıkarlar ve yer içinde hızla yayılırlar. Bu dalgalar yer yüzeyine eriştiklerinde bir-

kaç saniyeden dakikalara varan sürelerde titreşimler üretirler. Belirli bir yerdeki titreşimin süresi ve şiddeti, deprem kaynağına olan uzaklığa, depremin büyüklüğüne ve o yerin zemin özelliklerine bağlıdır. Sismik dalgalar, kaynaktan yer

yüzüne kadar olan yayılmalarının önemli bir bölümünü yer kabuğunu oluşturan sert kaya içinde geçirmelerine karşın, yayılmanın son aşaması özellikleri kayaya göre oldukça farklı olan yumuşak zemin tabakaları içinde gerçekleşir ve bu zemin tabakalarının özellikleri yer yüzünde gözlenen titreşimin özelliğini büyük ölçüde etkiler. Zemin tabakaları, sismik dalgalar için adeta bir süzgeç gibidir. Bazı frekanslardaki sismik dalgalar sönlendirilirken bazıları da büyütülür. Sismik dalgaların zemin tabakaları içinde geçirdiği değişimlerin tümüne yerel zemin koşulları etkisi adı verilir. Genellikle bu değişim genliklerin artması şeklinde gözlemlendiğinden, yerel zemin koşulları etkisi terimi zemin büyütmesi veya zemin transfer fonksiyonu ya da zemin tepkisi olarak da adlandırılır. Kuramsal olarak, zemin büyütmesi terimi, sismik dalgaların yer yüzüne yakın yumuşak zemin tabakaları içinden geçerken genliklerinin artmasına karşılık gelir. Bunun nedeni, zemin tabakalarının sahip olduğu düşük hız ve yoğunluğu, diğer bir ifadeyle düşük empedans değeridir (Kramer, 1996). Yumuşak zemin tabakalarının gelen deprem dalgalarını önemli oranda büyüttüğü ve yeryüzünde meydana gelen hasarda önemli rol oynadığı uzun süredir bilinmektedir (Gutenberg, 1957). Ancak bu konudaki önemli gelişmeler 80'li yıllardan sonra meydana gelen 1985 Michoacan Meksika, 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremleri gibi büyük depremlerden elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle oluşmuştur (Singh vd., 1988; Irikura vd., 1996).

1 Ekim 1995 Dinar depremi ($M_L=6.0$, $M_W=6.2$), 90 kişinin yaşamını yitirmesine, 260 kişinin yaralanmasına ve 1000 civarında binanın yıkılmasına, ya da ağır hasar görmesine neden olmuştur (TÜBİTAK, 1995). Merkez üstünden birkaç kilometre uzakta bulunan MTR istasyonunda K-G, D-B ve düşey bileşenlerde kaydedilen en büyük yer ivmesi değerleri sırasıyla 0.28g, 0.33g ve 0.15g'dir. 1 Ekim 1995 Dinar depremi, Dinar ve çevresinde önemli derecede hasara neden olmuştur. İlçenin farklı jeolojik birimler üzerinde kurulu yerleşim birimlerinde oldukça farklı derecelerde hasar görülmesi nedeni ile oluşan hasarda yerel zemin koşullarının önemli rol oynadığı hemen göze çarpmıştır (Erdik vd., 1995). Kayabalı (1997) yaptığı çalışmada, sondaj verileri kullanarak SHAKE programıyla Dinar için zemin hakim titreşim periyodu ve büyütme hesaplamış, bulduğu periyod değerlerinin,

Dinar'da hasar gören binaların doğal titreşim periyodlarından oldukça farklı olması nedeniyle, oluşan hasarı daha çok kötü inşaat kalitesine bağlamıştır. Farklı sondaj verileri kullanılarak benzer bir çalışma Erşahin (1997) tarafından yapılmış, önemli zemin büyütmelerine karşın, bir rezonans etkisi gözlenememiştir. Güllü (2001) ve Ansal vd. (2001) çalışmalarında, sondaj verilerine ek olarak mikrotremor kayıtlarını kullanmışlar ve ağır hasarlı bölgenin genel olarak yüksek büyütmelere sahip ve bazı bölgeler için rezonans etkisinin önemli olduğunu vurgulamışlardır. Bu konuda son bir çalışma Bakır vd. (2002) tarafından, yine kuramsal modeller kullanılarak yapılmış ve oluşan hasar iki boyutlu havza kenarı etkileri ile açıklanmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmanın önceki çalışmalardan farkı, veri olarak deprem kayıtlarını kullanılmasıdır. Yerel zemin koşullarının etkilerinin belirlenmesinde en güvenilir ve istenen yaklaşım, doğrudan deprem kayıtlarının kullanılmasıdır. Ancak, çoğu bölge için bu tür veriye sahip olmak neredeyse imkansızdır. Bu çalışmada, 5 istasyonda kaydedilen 1 Ekim 1995 Dinar depremi artçı şokları kullanılarak, bu istasyonlarda yerel zemin koşullarının etkisi belirlenmeye çalışılmış, daha sonra bulunan sonuçlar oluşan hasar ile karşılaştırılmıştır. Yerel zemin koşullarının etkilerini belirlemekte kullanılan yöntemler; Klasik Spektal Oran (Borcherdt, 1970) ve Yatay/Düşey Spektral Oran (Nakamura, 1989) yöntemleridir. Her iki yöntem, yerel zemin koşullarının etkisinin belirlenmesinde ve oluşan hasarla ilişkilendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerdir.

DİNAR VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

Dinar bölgesi, açılma rejimi altındaki horst ve grabenlerden oluşan güneybatı Anadolu'da yer alır (Alptekin, 1973; Şengör, 1980; Koçyiğit, 1984). Dinar ilçesi ve yakın çevresinde KB-GD ve KKD-GGB doğrultulu iki ana fay sistemi bulunmaktadır. Bunlar, Dinar ve Akdağ fay sistemleridir (Şekil 1). Bu fayların varlığından dolayı, Dinar ve çevresi iki büyük çöküntü (graben) ve onları birbirinden ayıran yapısal bir yükselim alanına (horst) bölünmüştür. Grabenlerden doğuda yer alanı Dombayova, batıdaki ise Dinar Grabeni olarak adlandırılmıştır (Öztürk, 1982; Koçyiğit, 1984). Dinar Grabeni KB-GD uzanımlıdır ve kuzeybatıya doğru genişliği 1.5 km'den 15 km'ye değin artar. Dinar Grabeni'nin D-KD



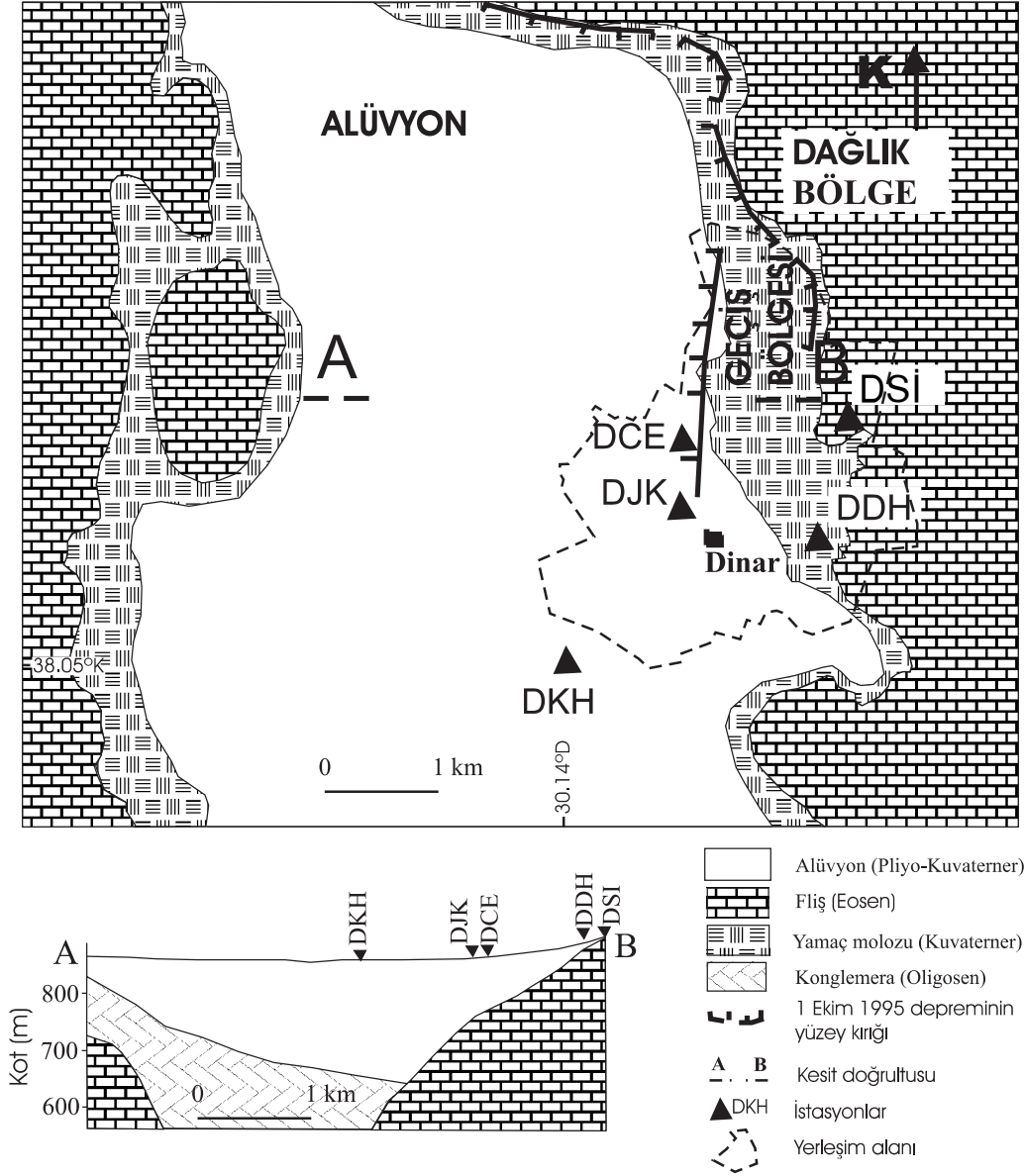
Şekil 1. Dinar ve çevresinin neotektonik haritası: 1)Pliyo-Kuvaterner yaşlı, gevşek alüvyon dolgusu, 2)talus, 3)temel kayaları, 4)alüvyon yelpazesi, 5)fay, 6)1995 depreminin yüzey kırığı, 7)alüvyon sınırı, 8)akarsular, 9)yerleşim alanları (TÜBİTAK, 1995'ten).

Figure 1. Neotectonic map of Dinar and vicinity: 1)loosely-consolidated Plio-Quaternary alluvium, 2)talus, 3)limestone bedrock, 4)alluvial fan, 5)fault, 6)surface rupture of the 1995 earthquake, 7)alluvial deposits contact, 8)rivers, 9)settlement areas (after TÜBİTAK, 1995).

kenarını Dinar Fayı sınırlar. Dinar Fayı, çok az yatay bileşeni olan eğim atımlı normal bir faydır ve uzunluğu yaklaşık 75 km'dir. Dinar Fayı güney batıya eğimli olup, batı bloğu düşen, doğu bloğu ise yükselen bloktur. Bu nedenle Dinar Fayı'nın batı bloğu bir grabene (Dinar Grabeni), doğu bloğu ise bir horsta (Akdağ Horstu) karşılık gelmektedir. 1 Ekim 1995 Dinar depreminde, Dinar Fayı'nın yaklaşık 10 km'lik bir kısmının kırıldığı yüzey kırığından anlaşılmıştır (Öncel vd., 1998). Utkucu vd. (2002)'ne göre, kırılma iki aşamalı gerçekleşmiştir ve yüzey kırığını oluşturan, fayın GD parçasıdır. Buna karşın, fayın KB parçası yüzey kırığı vermemiştir. Ana şoka neden olan fay, küçük bir doğrultu atıma sahip normal faylanma karakteri taşımaktadır (Eyidoğan ve Barka, 1996).

Dinar ve çevresi zemin özellikleri açısından 3 farklı bölgeye ayrılabilir (Şekil 2). Bunlardan bi-

rincisi ilçenin doğu bölümünde yer alan orta-sert kaya özelliği taşıyan dağlık kesimdir ve Eosen ve Kretase yaşlı kireçtaşı, marn ve şistlerden oluşur. İlçenin bu bölgede yer alan kesimlerinde hasar oranı oldukça düşüktür. İlçenin yoğun yerleşim alanı, dağlık kesimin batısında bulunan alüvyonla kaplı ova içinde yer alır. Bu bölgede ilçe merkezinden 3 km uzaktaki Dinar Küçük Sanayi Sitesi'nde yapılan bir sondajda ana kaya derinliğinin 103 m olduğu saptanmıştır (ODTÜ ve TMMOB, 1995). Sondaj bilgilerine göre; yüzeyden itibaren konglemeradan oluşan ana kayaya kadar kil-killi kum-çakıl-çakıllı kumlu kil dizilimi gözlenmiştir. Tüm ovanın; başlıca kum, kil ve çakıldan oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon ile kaplı olduğu düşünülmektedir. Ovanın merkezine doğru alüvyon kalınlığının 150-200 m'ye ulaştığı, öz direnç ölçümleri ve sondaj verilerinden anlaşılmaktadır (Özpinar, 1978). Şekil 2'de A-B kesiti, Özpinar (1978)'in öz direnç ölçümler-



Şekil 2. Dinar ve çevresinin jeolojik özellikleri ve çalışmada kullanılan istasyon yerleri.
Figure 2. The geology of Dinar and vicinity, and locations of the stations used in this study.

rinden çıkarılmıştır. Bu bölgede yeraltı suyu seviyesinin derinliği 2 m civarındadır. Dağlık kesim ve ova arasında karasal çökeller ve yamaç molozları ile kaplı geçiş bölgesi yer alır. Bunların kalınlığı 0.5 ile 2 m arasında değişmektedir.

1 EKİM 1995 DİNAR DEPREMİNE İLİŞKİN VERİ

Yerel saat ile 17:57'de meydana gelen 1 Ekim 1995 Dinar depremi, Dinar ve çevresinde önemli can ve mal kaybına neden olmuştur. Ana şok-

tan 4 gün önce başlayan ve büyüklükleri $M_L=4.7$ 'e erişen öncü şoklar nedeniyle, halkın büyük çoğunluğunun yaşamlarını evlerinin dışında geçirmeleri ölü sayısını azaltmıştır. Ancak, oluşan yapısal hasar orta büyüklükteki bir deprem için oldukça yüksektir. 1 Ekim 1995 Dinar depremi ana şokundan hemen sonra Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı tarafından Dinar ilçesinde hem artçı şokları izlemek, hem de hasar oranları ve yerel zemin koşullarının etkisini araştırmak

amacıyla 5 adet ivme ölçer yerleştirilmiştir (bkz. Şekil 2). İstasyonlardaki aletler SSA-320 üç bileşen sismometre ve GSR-16 kayıtçılardan meydana gelmektedir. Sismometrelerin tepki spektrumları yaklaşık 30 Hz'e kadar düzdür. Bu çalışmada kullanılan kayıt istasyonlarından DSİ istasyonu dağlık bölge içinde, DDH istasyonu geçiş bölgesinde, DCE, DJK ve DKH istasyonları ise alüvyon ova içinde yer alırlar (bkz. Şekil 2). DJK istasyonu, en ağır hasarın meydana geldiği bölge içine konumlandırılmıştır. En az iki istasyon tarafından kaydedilen artçı şoklar bu çalışmaya kaynak oluşturmuştur. Kullanılan depremlerin merkez üstü koordinatları, büyüklükleri, oluş zamanları ve kayıt edildikleri istasyonların adları Çizelge 1'de verilmektedir. Şekil 3'te ise, istasyonların ve merkez üstlerinin dağılımını gösteren harita verilmiştir.

YÖNTEMLER VE VERİNİN HAZIRLANMASI

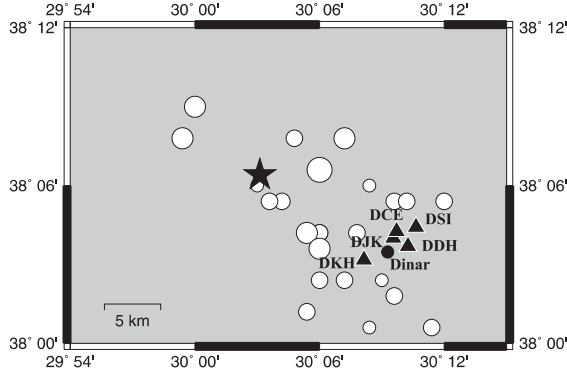
Çalışmada kullanılan yöntemler, yerel zemin koşullarının etkilerinin belirlenmesinde en güvenilir olarak kabul edilen Klasik Spektral Oran (KSO)

yöntemi (Borcherdt, 1970) ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle oldukça yaygın olan Yatay/Düşey Spektral Oran (YDSO) yöntemidir (Nakamura, 1989). KSO yöntemi, Borcherdt (1970) tarafından önerildiğinden bu yana, yerel zemin koşulları etkisinin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, belirli bir yerdeki yerel zemin koşulları etkisini yakın bir referans yerine göre belirler. Yerel zemin koşulları etkisi, analiz edilen yerdeki bir kaydın genlik spektrumunun referans yerindeki aynı bileşen kaydının genlik spektrumuna bölünmesi ile hesaplanır ve referans yerinin yerel zemin koşulları etkisi taşımadığı düşünülür. Diğer bir ifadeyle, referans istasyonu kaydının zemin tabakaları altından giriş yapan ana kayaya ait kayda eşit olduğu düşünülür. Genellikle ana kaya mostrası üzerinde yer alan istasyonlar referans olarak seçilirler. Ancak, son zamanlardaki araştırmalar (Steidl vd., 1996), bu istasyonların da, yüzeydeki ayrışmalar ve çatlaklar nedeniyle zemin etkisi taşıma özelliğine sahip olabileceğini göstermiştir. Ayrıca, büyük boyutlu havzalar düşünüldüğünde, böyle yakın bir istasyon yeri bulmak oldukça zordur.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan artçı şoklara ait parametreler ve kaydedildikleri istasyonlar.
Table 1. Parameters and recorded sites for the aftershocks used in this study.

Tarih (Gün.Ay.Yıl)	Zaman (Saat:Dak:Sn)	Enlem-Boylam (°N-°E)	Büyüklük (M_L)	İstasyon				
				DDH	DKH	DJK	DCE	DSİ
08.10.1995	21:26:49	38.09-30.07	3.3	x	x			
08.10.1995	22:00:32	38.13-30.08	3.3	x	x			
08.10.1995	23:08:21	38.07-30.10	3.1	x	x	x		
08.10.1995	23:39:59	38.13-29.99	3.6	x	x	x		
09.10.1995	00:16:49	38.02-30.09	3.1	x	x	x		
09.10.1995	00:55:32	38.07-30.13	3.3	x	x	x		
09.10.1995	06:43:04	38.04-30.10	3.3	x	x	x		
09.10.1995	10:34:14	38.15-30.00	3.6		x	x		
09.10.1995	17:50:50	38.09-30.06	3.2	x	x	x	x	
09.10.1995	18:34:33	38.10-30.14	2.5	x	x			
09.10.1995	21:37:02	38.03-30.16	3.2	x	x		x	
10.10.1995	00:22:55	38.04-30.12	3.3	x	x	x	x	x
10.10.1995	04:14:42	38.13-30.12	3.6	x	x	x	x	
10.10.1995	17:24:31	38.09-30.16	3.3	x	x			x
10.10.1995	17:33:53	38.01-30.19	3.2	x	x	x		
11.10.1995	00:07:43	38.09-30.20	3.1	x			x	
11.10.1995	01:13:16	38.09-30.17	2.9	x	x	x	x	
11.10.1995	02:26:09	38.04-30.15	2.9	x	x	x	x	
11.10.1995	06:44:58	38.11-30.10	4.1	x	x	x	x	x
11.10.1995	08:40:20	38.09-30.17	3.1	x	x	x		x
11.10.1995	17:12:51	38.07-30.10	3.1	x	x	x	x	
11.10.1995	17:59:55	38.10-30.05	2.7	x	x			
12.10.1995	02:28:45	38.07-30.09	3.5	x	x			
12.10.1995	03:07:14	38.01-30.14	2.5	x	x			
12.10.1995	08:30:17	38.06-30.10	3.7	x	x	x		x

M_L : Richter büyüklüğü



Şekil 3. Çalışmada kullanılan Dinar depremi artçı şoklarının merkez üstlerinin (içi boş daireler) ve kayıt istasyonlarının yerlerini (içi dolu üçgenler) gösteren harita (ana şok merkez üstü yıldız ile gösterilmiştir).

Figure 3. Map illustrating the epicenter locations of the aftershocks (circles) and recording sites (triangles; star indicates epicenter of the mainshock).

YDSO yöntemi ilk kez Langston (1979) tarafından telesismik kayıtlardan kabuk ve üst manto çalışmaları için kullanılmıştır. Daha sonra, Nakamura (1989) mikrotremor kayıtları ile sedimanter kayalarındaki tabakalardan kaynaklanan zemin büyütmelerini aynı yöntem ile hesaplamıştır. Lermo ve Chavez-Garcia (1993), aynı yöntem ile S dalgaları üzerindeki yerel zemin koşullarının etkisinin hesaplanabileceğini göstermişlerdir. Yöntemin esası; düşey bileşen kayıtlarının yerel zemin koşullarından etkilenmediği varsayımına dayanır. Bu şekilde, yerel zemin koşullarının etkisi belirlenmek istenen bir yerdeki kaydın yatay bileşeninin düşey bileşene oranı yerel zemin koşullarının etkisini verir. Yerel zemin koşullarının etkisini belirlemek için tek istasyon kaydının yeterli olması, yöntemi oldukça kullanışlı kılar. Ancak, kuramsal temelindeki eksiklikler nedeniyle, yöntemin güvenilirliği halen tartışmalıdır (Lachet ve Bard, 1994; Field ve Jacob, 1995).

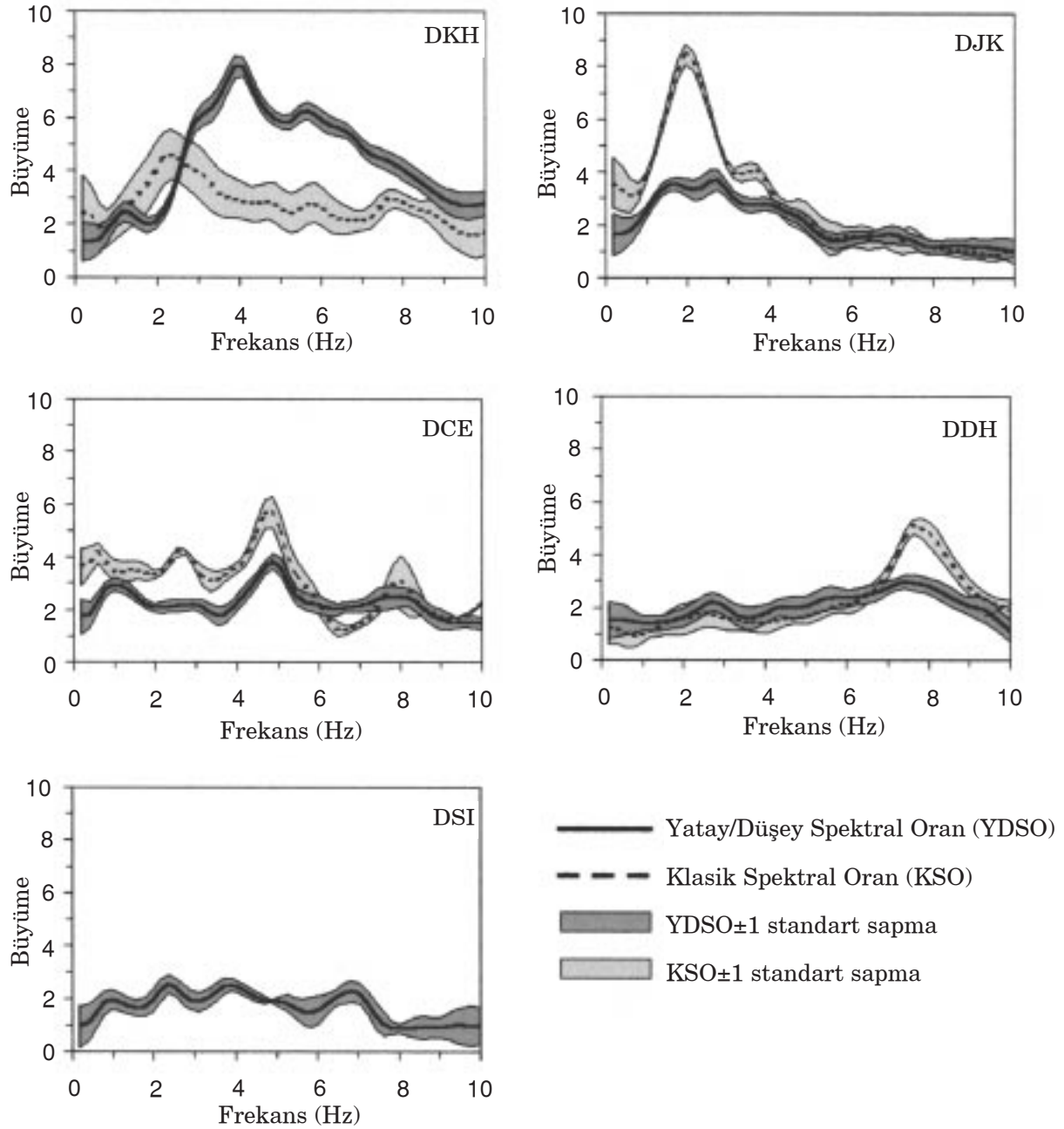
Zemin büyütmesini hesaplamak için veriler bir dizi işleminden geçirilmiştir. Bu tür çalışmalarda genellikle daha fazla büyütme uğradıklarından ve yapısal hasarlarda önemli olduklarından kayıtların S dalgası kısımları kullanılmaktadır. Bu amaçla her bir kayıttan önce 5.12 s uzunluğunda bir pencere ile S dalgaları seçilmiştir. %10 kosinüs pencere ile uçları kesilen verilerin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) ile spektrumları

hesaplanmıştır. Spektral oranlarda oluşabilecek ani saçılmaları önlemek amacı ile tüm spektrumlar örnekleme frekansının beş katı genişliğinde bir kayan Parzen pencere ile yuvarlatılmışlardır. Yuvarlatma penceresinin genişliği birkaç denemeden sonra belirlenmiştir. Çok dar pencere kullanımı önemli bir yuvarlatma yapmaz iken, çok geniş pencere kullanımı spektrumlarda önemli dorukların kaybolmasına neden olabilir. Son olarak, yatay bileşenlerdeki yön farkının giderilmesi için K-G ve D-B bileşen kayıtların ortalaması alınarak, ortalama yatay bileşen spektrumu elde edilmiştir. Büyütme fonksiyonları, sinyal/gürültü oranının 3'ten büyük olduğu ve mühendislik çalışmaları için yeterli olan 10 Hz'e kadar hesaplanmıştır.

ZEMİN BÜYÜTMESİ

Dinar bölgesindeki beş istasyon için YDSO yöntemi ile elde edilen ortalama yatay bileşen büyütme Şekil 4'te sürekli eğri ile gösterilmiştir. KSO yöntemi için bilindiği gibi öncelikle ana kaya üzerinde yer alan bir referans istasyonuna ihtiyaç vardır. DSİ istasyonu, bölgenin en sağlam litolojik birimi olarak bilinen Eosen ve Kretase yaşlı kireçtaşı, marn ve şistlerden oluşan dağlık bölge içinde yer alır (bkz. Şekil 2). Ayrıca, Şekil 4'ten görüldüğü gibi, YDSO yönteminden elde edilen sonuçlarına göre yerel zemin koşullarından en az etkilenen bu istasyon olmakla birlikte, ideal bir referans istasyonu değildir. Çünkü, incelenen frekans aralığında büyütme genelde 1'den büyüktür. Muhtemelen kaya yüzeyinde meydana gelen aşınmalar, çatlaklar veya yüzeyi kaplayan ince toprak örtü bu büyütme neden olmuştur. Dolayısıyla bulunan büyütme mutlak değil, DSİ istasyonuna göre farklıdır. DSİ istasyonu referans seçilerek KSO yöntemi ile elde edilen ortalama yatay bileşen büyütme Şekil 4'te kesikli eğri ile gösterilmekte ve bu şekildeki gölgeli alanlar, ortalama ± 1 standart sapmaları göstermektedir.

Her iki yöntemden elde edilen sonuçlarının karşılaştırıldığı DKH, DJK, DCE ve DDH istasyonlarında, KSO yöntemi YDSO yöntemine göre DKH istasyonu hariç daha büyük büyütme vermektedir (bkz. Şekil 4). Yine DKH istasyonu hariç, iki yöntemden saptanan en büyük büyütme görüldüğü frekanslar uyumludur. DKH istasyonunda YDSO yöntemine göre baskın frekans 4 Hz civarında iken, KSO yöntemi sonuç-



Şekil 4. Ortalama yatay bileşen büyütme fonksiyonları ve standart sapmalar (sürekli eğriler Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSF) yöntemi sonuçlarını, kesikli eğriler Klasik Spektral Oran (KSO) yöntemi sonuçlarını, gölgeli alanlar ortalama ± 1 standart sapmaları gösterir).

Figure 4. Average horizontal component amplification functions and standard deviations (continuous and dashed curves indicate the results of the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSF) and the Classical Spectral Ratio (CSR) methods respectively. The shaded regions indicate plus and minus standard deviations of the averages).

larına göre bu değer 2.3 Hz civarındadır. Ayrıca, YDSO yönteminin belirlediği en büyük büyütme KSO yönteminden alınan sonuçlara göre yaklaşık iki kat daha fazladır. DJK istasyonunda her

iki yöntemin sonucuna göre de en büyük büyütme 2 Hz civarındadır. YDSO yöntemi, yaklaşık 4 Hz'e kadar büyütme belirlemede yetersiz kalmaktadır. En büyük büyütme, KSO yöntemi-

ne göre 8 civarında iken, YDSO yönteminde bu değer 3 civarındadır. DCE istasyonunda düşük frekanslarda belirgin bir hakim frekans belirlemek güçtür. 4.8 Hz'te her iki yöntem sonuçları da en büyük büyütme vermektedir. Yine KSO yöntemi ile elde edilen büyütme yaklaşık 6 Hz'e kadar daha büyüktür. DDH istasyonunda ise, hakim frekansın görüldüğü 7.8 Hz civarında büyütme arasında bir fark görülse de, genelde iki yöntemden elde edilen sonuçlar oldukça benzerdir.

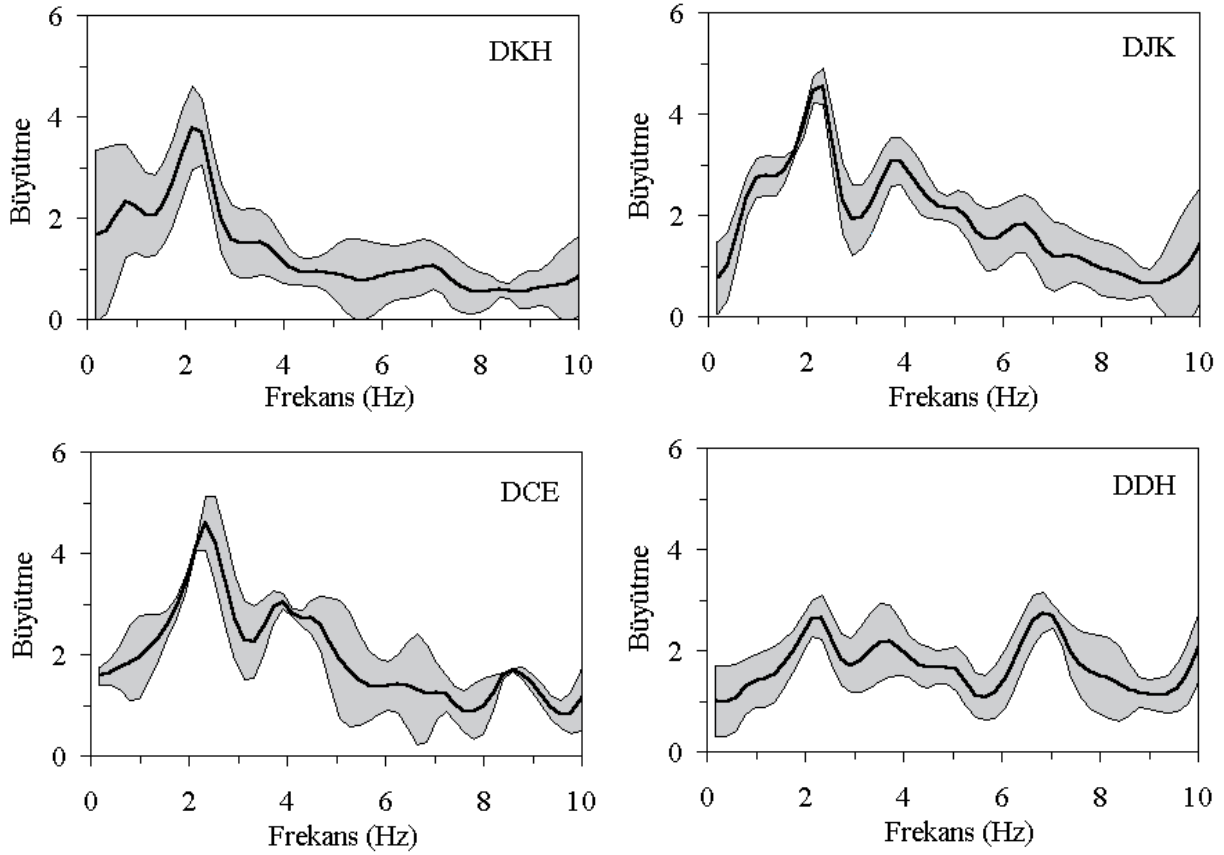
Şekil 4'te sunulan büyütme fonksiyonlarından YDSO yönteminin özellikle hakim frekans civarında büyütme belirlemede yetersizliği anlaşılmaktadır. Bilindiği gibi, YDSO yönteminin başlıca varsayımı, düşey bileşen kayıtlarının yerel zemin koşullarından etkilenmediğidir. Hem bu varsayımı kontrol etmek, hem de büyütme neden küçük belirlendiğini araştırmak amacıyla bu kez KSO yöntemi ile düşey bileşen büyütme hesaplanmıştır. Yine DSI istasyonu referans seçilerek hesaplanan ortalama düşey bileşen büyütme ve standart sapmalar Şekil 5'te gösterilmiştir. Normalde beklenen, eğer ortamdan kaynaklanan bir fark yok ise, ortalama düşey bileşen spektral oranlarının 1 civarında olmasıdır. Ancak, Şekil 5'te görüldüğü gibi, yatay bileşenler kadar olmasa da, düşey bileşenler de önemli büyütme sahiptirler. Genelde, düşey bileşen büyütme fonksiyonları dört istasyon için de çok benzerdir. DKH, DJK ve DCE istasyonlarında zemin hakim titreşim frekansı 2.3 Hz civarındadır. DDH istasyonunda ise 2.3 Hz'teki doruk değerini yanı sıra, 6.8 Hz'de ikinci bir doruk görülmektedir. Ayrıca, DJK ve DCE istasyonlarında 4 Hz civarında ikinci bir doruk da söz konusudur. Büyütme genel olarak bu hakim frekanslar civarında yoğunlaşmış olup, DKH, DJK ve DCE istasyonlarında en fazla, yaklaşık 4 kat, DDH istasyonunun da ise 2.5 kat civarındadır. Düşey bileşen büyütme fonksiyonlarının benzerliği, istasyonların benzer yerel zemin koşullarına sahip olduklarının bir göstergesi olabilir. DKH, DJK ve DCE istasyonlarının tamamı alüvyonda yer almalarına karşın, ana kaya derinliği veya tabaka dizilimlerinin ve özelliklerinin aynı olup olmadığı konusunda ayrıntılı bir çalışma mevcut değildir. Ayrıca, düşey bileşen büyütme fonksiyonlarında görülen benzerlik, yatay bileşen büyütme fonksiyonlarında açık olarak görülmemektedir. Büyütmenin daha küçük olduğu DDH istasyonu ise, dağlık bölge ile ova arasındaki geçiş

bölgesinde yer alır. Bu istasyonun yatay bileşen büyütme fonksiyonunda 7.8 Hz'de, düşey bileşen büyütme fonksiyonunda ise 6.8 Hz'de görülen doruk, muhtemelen yamaç molozlarından oluşan örtüden kaynaklanmaktadır. Bu husus için diğer bir neden de topoğrafik etki olabilir. Çünkü, bu istasyonun yerleşim biriminin hemen güneydoğusunda bir yamaç üzerinde kurulmuş olması, havza geometrisinin de büyütme etkin olabileceğini gösterir (Bruno vd., 1999).

ZEMİN BÜYÜTMESİNİN HASAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

1 Ekim 1995 depremi 35.000 nüfuslu Dinar ilçesinde 90 kişinin yaşamını yitirmesine, 260 kişinin de yaralanmasına neden olmuştur. Deprem sonrası hem Afet İşleri Genel Müdürlüğü, hem de Boğaziçi Üniversitesi KRDAE Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı tarafından hasarı saptama çalışmaları yapılmıştır (Erşahin, 1997; Durukal vd., 1998). Bu çalışmaların sonuçlarına göre, ilçe içinde yaklaşık 1000 bina, ya tamamen çökmüş, ya da ağır hasar görmüştür. İlçede genel olarak 1-3 katlı betonarme yapılar fazladır. Bundan yüksek yapılar genel olarak ilçe merkezinde toplanmış olup, homojen bir dağılım göstermezler. 4 ve 5 katlı yapıların çoğu ya tamamen çökmüş, ya da ağır hasara uğramışlardır. Bazı 3 katlı yapılarda benzer hasarlar görülmüştür. 1-2 katlı binalar ise seyrek olarak çökmüştür. Yakın çevredeki köy ve kasabalarda hasar oranı hafif veya orta derecede olup, Dinar ilçe merkezinden uzaklaştıkça hasar hızla azalmaktadır.

Dinar ilçesi, 1 Ekim 1995 depreminde gözlenen hasar oranlarına bakılarak genel olarak üç farklı bölgeye ayrılabilir (Erdik vd., 1995; Erşahin, 1997) (Şekil 6). Bu ayırım, oluşan hasar beş ayrı sınıfta incelenerek ve her bir mahalle için bu sınıflara düşen hasar oranlarının hesaplanması ile yapılmıştır. Her bir mahalle için hesaplanan hasar oranlarına bakılarak, benzer ayırımlar Ansal vd. (2001) ve Bakır vd. (2002)'nin çalışmalarında da mevcuttur. Birinci bölge, hafif hasar bölgesi olup, ilçenin doğusunda dağlık bölge üzerinde yer alan yerleşim birimlerini kapsar. Bu bölgede kat sayısı düşük ve yapılar genelde eski tip, betonarme olmayan binalardan oluşmaktadır. Bu bölge içinde yer alan Suçikan mahallesi için kat sayısına göre hasar oranı (tamamen çökmüş, ya da onarılamayacak hasar oranı) Er-



Şekil 5. Klasik Spektral Oran yöntemi ile hesaplanan ortalama düşey bileşen büyütme fonksiyonları (gölgeli alanlar, ortalama ± 1 standart sapmaları gösterir).

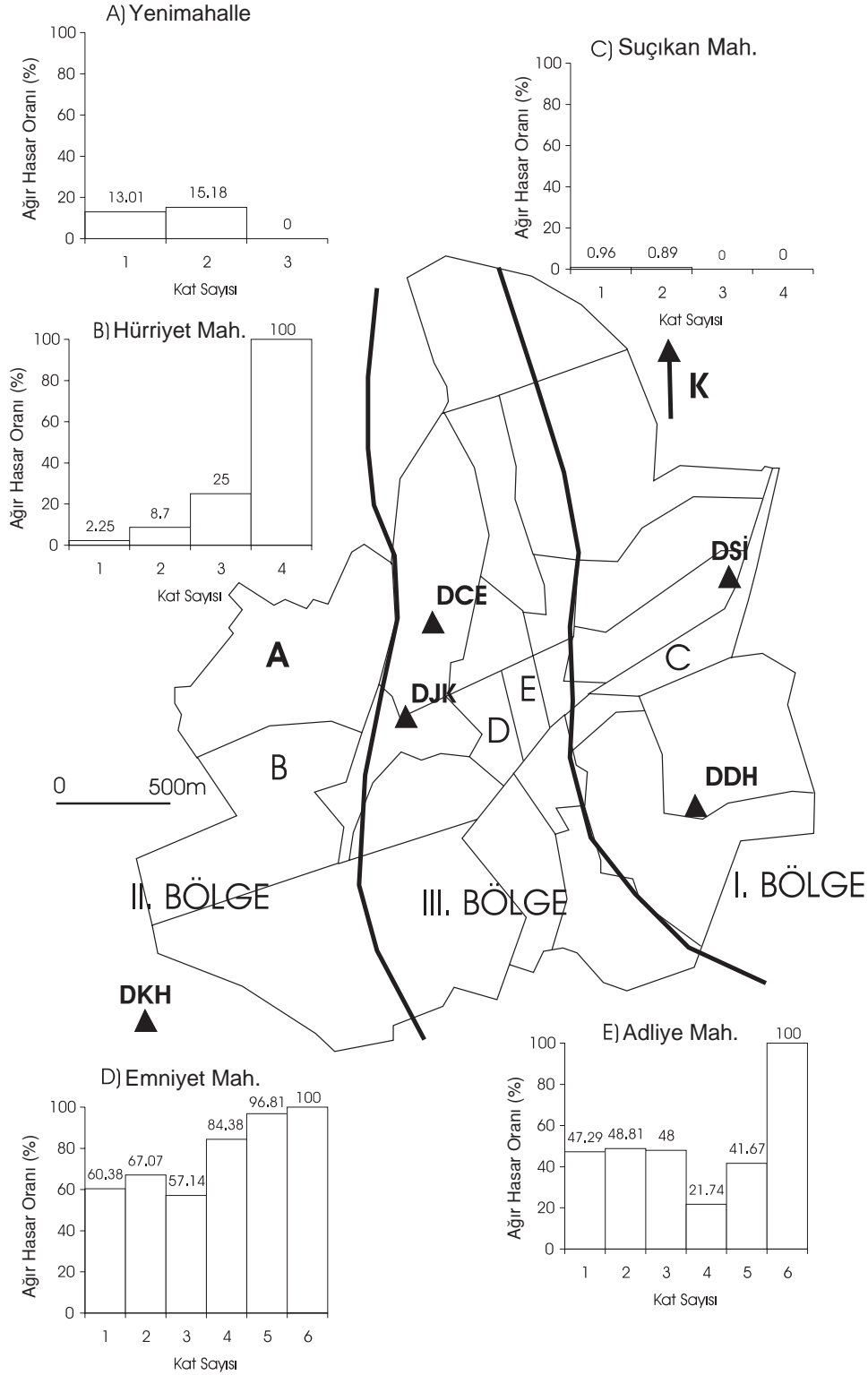
Figure 5. Average vertical component amplification functions estimated with the Classical Spectral Ratio method (the shaded regions indicate plus and minus standard deviations of the averages).

şahin (1997)'den yararlanılarak Şekil 6'da gösterilmiştir. İkinci bölge, orta hasar bölgesidir ve demiryolunun batısında kalan alüvyon üzerindeki yerleşim birimlerini kapsar. Bölge içinde yer alan Yenimahalle ve Hürriyet mahalleleri için hasar istatistikleri Şekil 6'da histogramlar halinde gösterilmiştir. Üçüncü bölge ise, ağır hasar bölgesi olup, batıda demiryolu doğuda ise alüvyon ile kaya arasındaki sınırı oluşturan çizgi arasında kalan alanı kapsar. Yerleşim yeri olarak en yoğun ve bina olarak yüksek katlı binaların toplandığı şehrin merkezini oluşturur. Bu bölge içinde yer alan Emniyet ve Adliye mahalleleri için ağır hasar oranları Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 6'dan görüleceği gibi, hasar bölgeleri ile Şekil 2'de gösterilen jeolojik bölgeler hemen hemen aynıdır. Sert zemini oluşturan dağlık bölgede hasar oranları çok düşük iken alüvyon ova içinde oldukça yüksektir. En ağır hasar dağlık bölge ile ova arasında kalan geçiş bölgesinde

oluşturmuştur. Yüzey kırığının da bu bölge içinde olması ve bölgenin havza kenarında yer alması hasarın yüksek olmasının nedeni olabilir. Benzer havza kenarı yüksek hasar oranlarına Tertulliani (2000)'nin çalışmasında değinilmiştir. Bakır vd. (2002), Dinar'da geçiş bölgesinde, özellikle 1-3 katlı yapılarda oluşan hasarı havza kenarı etkilerine bağlamışlardır.

Kayabalı (1997) ve Erşahin (1997) sondaj verileri kullanarak hesapladıkları zemin hakim titreşim periyodunun, Dinar'da hasar gören binaların doğal titreşim periyodlarından farklı olması nedeniyle, oluşan hasarda bir rezonans etkisi belirleyememişlerdir. Bilindiği gibi, ana kaya derinliği arttıkça zemin hakim titreşim periyodu büyümektedir (Dobry vd., 1976; Yalçınkaya, 2002). Kayabalı (1997) ve Erşahin (1997) çalışmalarında, Dinar ovası içinde ana kaya derinliğini 100 m ve daha büyük kullanmaları nedeniyle, zemin hakim titreşim periyodunu her iki çalışmada sı-



Şekil 6. 1 Ekim 1995 depreminde Dinar ilçesinde gözlenen 3 farklı hasar bölgesi ve bazı mahalleler için kat sayısına bağlı ağır hasar oranlarının (tamamen çökme veya onarılamayacak hasar) değişimi (Erşahin, 1997'den). I. Bölge: hafif hasar bölgesi, II. Bölge: orta hasar bölgesi, III. Bölge: ağır hasar bölgesi.

Figure 6. Three different damage zones observed in Dinar after the October 1, 1995 earthquake and heavy damage ratios (collapse or heavy damage) relative to number of story for some districts (after Erşahin, 1997). I. Zone: light damage zone, II. Zone: medium damage zone, III. Zone: heavy damage zone.

rası ile 1.3-2.7 s ve 0.9-1.5 s aralığında hesaplamışlardır. Güllü (2001)'nin kullandığı ana kaya derinliğinin daha küçük olması (yaklaşık 30-40 m), hesaplanan zemin hakim titreşim periyodlarının 0.2-0.5 s aralığında çıkmasına neden olmuştur. Ansal vd. (2001)'nin mikrotremor kayıtlarıyla yaptıkları çalışmada ise, hesaplanan zemin hakim titreşim periyodları 0.14-0.93 s aralığındadır. Bu çalışmada deprem kayıtlarını kullanarak, ova içindeki DKH, DJK ve DCE istasyonlarında hesaplanan zemin hakim titreşim periyodu 0.43-0.5 s (2-2.3 Hz) civarındadır (bkz. Şekil 4 ve 5). Görüldüğü gibi bu değerler, mikrotremor kayıtlarından ve daha sığ ana kaya derinliği (30-40 m) kullanılarak hesaplanan zemin hakim titreşim periyodları ile uyuşurken, 100 m ve daha büyük ana kaya derinliği kullanılarak hesaplanan zemin hakim titreşim periyodlarına göre çok küçüktür. Deprem kayıtlarında 0.43-0.5 s periyodlarda gözlenen rezonans, muhtemelen ana kaya sınırında oluşan yansımalar yerine, iki boyutlu havza yapısına bağlı olarak oluşan havza içi yüzey dalgalarından kaynaklanmaktadır. Çünkü, Dinar'da yaklaşık 100 m kalınlığı ve ortalama S dalga hızı 300 m/s kabul edilen alüvyon için, zemin hakim titreşim periyodunun 1.3 s civarında olması gerekir ($T=4H/V_S$; T; zemin hakim titreşim periyodu, H; alüvyonun kalınlığı, V_S ; alüvyonun S dalga hızı). Benzer havza kenarı yüzey dalgası etkileri, Field (1996) ve Raptakis vd. (2000) çalışmalarında da bahsedilmiştir.

Yukarıda değinilen önceki çalışmalarda, oluşan hasar daha çok düşük inşaat kalitesi ve zemin büyütmelemelerine bağlanmıştır. Ancak, bu çalışmada deprem kayıtlarından elde edilen sonuçlar, bir rezonans etkisinin de var olduğunu göstermektedir. Hasar sonuçları, Dinar'da ova içinde 4-5 katlı binaların en fazla hasara uğrayan yapılar olduğunu göstermiştir (Erşahin 1997; Durukal vd., 1998; Ansal vd., 2001). Binaların doğal titreşim periyodları, $T=N/10$ (N; kat sayısı) bağıntısı kullanarak kabaca hesaplanabilir (Hays, 1986). Buna göre, 4-5 katlı bir binanın doğal titreşim periyodu 0.4-0.5 s'dir. Bu değerler, deprem kayıtları kullanarak ova içindeki istasyonlar için hesaplanan zemin hakim titreşim periyodu ile çakışmaktadır. Zemin hakim titreşim periyodu ile bina doğal titreşim periyodunun çakışması rezonansa neden olur ve rezonans altındaki yapılar önemli zararlar görürler. Bu nedenle, Dinar'da oluşan hasarda, düşük inşaat kalitesi ve

yüksek zemin büyütmelemelerine ek olarak bir rezonans etkisinin var olduğu açıktır.

SONUÇLAR

Dinar'da zemin büyütmelemelerinin hesaplandığı 5 istasyondan DSİ istasyonu sağlam zemin olarak bilinen dağlık bölgede, DDH istasyonu ova ve dağlık bölge arasındaki geçiş bölgesinde ve DKH, DJK, DCE istasyonları ise ova içinde yer almaktadırlar. Referans istasyonu olarak seçilen DSİ istasyonunun ideal bir referans istasyonu olmadığı anlaşılmaktadır. Çünkü, bu istasyon için YDSO yöntemi ile hesaplanan büyütme fonksiyonu, incelenen frekans aralığında genelde 1'den büyük büyütmelemelere sahiptir. Muhtemelen kaya yüzeyinde meydana gelen ayrışmış tabaka bu büyütmelemelere neden olmaktadır. Bu nedenle, KSO yöntemi ile hesaplanacak yerel zemin koşullarının etkilerinin değerlendirilmesi açısından, referans istasyonunun seçiminde büyük dikkat gösterilmelidir. DKH istasyonu hariç, her iki yöntemle belirlenen hakim frekanslar kabaca uyumludur. Ancak, özellikle hakim frekanslarda büyütmelemeler arasında önemli farklar görülmektedir. KSO yöntemi ile hesaplanan büyütmelemeler, YDSO yöntemi ile hesaplanan büyütmelemelere göre yaklaşık 2-3 kat daha fazladır. YDSO yöntemiyle küçük büyütmelemelerin belirlemedeki en önemli neden, düşey bileşen kayıtlarının da yerel zemin koşullarından etkilenmiş olmasıdır. KSO yöntemi ile hesaplanan düşey bileşen büyütme fonksiyonlarından, yatay bileşenler kadar olmasa da, düşey bileşenlerin de yerel zemin koşullarından önemli oranda etkilendiği görülmektedir. Düşey bileşenlerin yerel zemin koşullarından etkilenmesi bazen, DKH istasyonunda olduğu gibi, YDSO yönteminin zemin hakim titreşim periyodunu da yanlış belirlenmesine neden olabilmektedir.

Ova içindeki istasyonlardan belirlenen zemin hakim titreşim periyodu 0.43-0.5 s aralığındadır. Bu periyodlarda hesaplanan en büyük büyütmelemeler 8 kata kadar çıkabilmektedir. Bu periyodlardaki rezonans, muhtemelen ana kaya sınırında oluşan yansımalar yerine, havza içi yüzey dalgalarından kaynaklanmaktadır. 1 Ekim 1995 Dinar depreminde en büyük hasar, geçiş bölgesinde ve ova içindeki yapılarda meydana gelmiştir. Özellikle, 4-5 katlı yapıların tamamına yakını ağır hasar görmüştür. Bu binaların doğal periyodları 0.4-0.5 s aralığında kabul edilirse (kat

sayısına bağlı olarak), bunların deprem kayıtları kullanarak hesaplanan zemin hakim titreşim periyodları ile çakıştığı görülmektedir. Bu nedenle, düşük inşaat kalitesi ve zemin büyümesinin yanı sıra, rezonans etkisinin oluşan hasarda etkin olduğu açıktır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar değerli görüş ve katkılarından dolayı, dergi editörü Prof.Dr. Reşat Ulusay'a ve isimleri belli olmayan hakemlere teşekkür ederler. Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından 1176/070998 ve B-798/02112000 numaralı projeler ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Alptekin, Ö., 1973. Focal mechanism of earthquakes in western Turkey and their tectonic implications. Ph.D. Thesis, New Mexico Institute of Mining and Technology, Socorro, New Mexico, 190 pp (unpublished).
- Ansal, A.M., İyisan, R., and Güllü, H., 2001. Microtremor measurements for the microzonation of Dinar. *Pure and Applied Geophysics*, 158, 2525-2541.
- Bakır, B.S., Özkan, M.Y., and Cılız, S., 2002. Effects of basin edge on the distribution of damage in 1995 Dinar, Turkey earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, 335-345.
- Borcherdt, R.D., 1970. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. *Bulletin Seismological Society of America*, 60, 29-61.
- Bruno, P.P.G., Di Fiori, V., Rapolla, A., and Roberti, N., 1999. Influence of geometrical and geophysical parameters on the seismic site amplification factor. *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 4, 51-70.
- Dobry, R., Oweis, I., and Urzua, A., 1976. Simplified procedures for estimating the fundamental period of a soil profile. *Bulletin Seismological Society of America*, 66, 1293-1321.
- Durukal, E., Erdik, M., Avcı, J., Yüzügüllü, Ö., Alpay, Y., Avar, B., Zülfikar, V., Biro, T., and Mert, A., 1998. Analysis of the strong motion data of the 1995 Dinar, Turkey earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 17, 557-578.
- Eyidoğan, H. ve Barka, A., 1996. 1 Ekim 1995 Dinar depremi: kaynak özellikleri ve sismotektonik yorumu. Süleyman Demirel Üniversitesi IX. Mühendislik Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 51-56.
- Erdik, M., Aydınoğlu, N., Pınar, A., and Kalafat, D., 1995. October 1, 1995 Dinar (Turkey) earthquake (Ms=6.1): preliminary reconnaissance report. *Proceedings of the 5th International Conference on Seismic Zonation, Nice, France, Invited Papers*, 3, 2235-2245.
- Erşahin, B., 1997. Assessment of the effects of local soil conditions on earthquake damage distribution case study: 1 October 1995 Dinar earthquake. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, 142 pp (unpublished).
- Field, E.H., and Jacob, K.H., 1995. A comparison and test of various site-response estimation techniques, including three that are not reference-site dependent. *Bulletin Seismological Society of America*, 85, 1127-1143.
- Field, E.H., 1996. Spectral amplification in a sediment-filled valley exhibiting clear basin-edge-induced waves. *Bulletin Seismological Society of America*, 86, 991-1005.
- Gutenberg, B., 1957. Effects on ground on earthquake motion. *Bulletin Seismological Society of America*, 47, 221-250.
- Güllü, H., 2001. Dinar'ın zemin büyütmelelerine göre coğrafik bilgi sistemlerine ile mikrobölgeleşmesi, Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 289 s (yayınlanmamış).
- Hays, W. W., 1986. Site amplification of earthquake ground motion. *Proceedings of the Third U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, 1, 357-368.
- Irikura, K., Iwata, T., Sekiguchi, H., and Pitarka, A., 1996. Lessons from the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake: why where such destructive motions generated to buildings? *Journal of Natural Disaster Science*, 17(2), 99-127.
- Kayabalı, K., 1997. The role of soil behavior on damage caused by the Dinar earthquake (southwestern Turkey) of October 1, 1995. *Environmental and Engineering Geoscience*, III, 111-121.
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27, 1-6.
- Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, New Jersey, USA, 653 pp.
- Lachet, C.D., and Bard, P.Y., 1994. Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique. *Journal of Physics of the Earth*, 42, 377-397.

- Langston, C.A., 1979. Structure under Mount Rainer, Washington, inferred from teleseismic body waves. *Journal of Geophysical Research*, 84, 4749-4762.
- Lermo, J., and Chavez-Garcia, F.J., 1993. Site effect evaluation using spectral ratios with only one station. *Bulletin Seismological Society of America*, 83, 1574-1594.
- Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report of Railway Technology Research Institute*, 30, 25-33.
- ODTÜ ve TMMOB, 1995. 1 Ekim 1995 Dinar depremi mühendislik raporu. ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Merkezi ve TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ankara, 62 s.
- Öncel, A.O., Koral, H., and Alptekin, Ö., 1998. The Dinar earthquake of October, 1995 (Mw=6.2) in southwestern Turkey and earthquake hazard of Dinar-Çivril fault. *Pure and Applied Geophysics*, 152, 91-105.
- Özpınar, B., 1978. Afyon-Dinar ovası jeofizik rezistivite etüdü. Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta, 8 s (yayımlanmamış).
- Öztürk, A., 1982. Tectonic of Dinar-Sandıklı-Işıklı region. *Communications, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Seri C*, 25, 1-58.
- Raptakis, D., Chavez-Garcia, F.J., Makra, K., and Ptilakis, K., 2000. Site effects at Euroseis-test-1. Determination of the valley structure and confrontation of observations with 1D analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, 1-22.
- Singh, S.K., Lermo, J., Dominguez, T., Ordaz, M., Espinosa, J.M., Mena, E., and Quaaas, R., 1988. The Mexico earthquake of September 19, 1985 - A study of amplification of seismic waves in the valley of Mexico with respect to a hill zone site. *Earthquake Spectra*, 4, 653-674.
- Steidl, J.H., Tumarkin, A.G., and Archuleta, R.J., 1996. What is a reference site? *Bulletin Seismological Society of America*, 86, 1733-1748.
- Şengör, A.M.C., 1980. Principles of Turkey's Neotectonics. *Turkish Geological Association Conference Series*, 2, 40 pp.
- TÜBİTAK, 1995. 1 Ekim 1995 Dinar depremi. TÜBİTAK İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu, Ankara, 41 s.
- Tertulliani, A., 2000. Qualitative effects of local geology on damage pattern. *Bulletin Seismological Society of America*, 90, 1543-1548.
- Utkucu, M., Pınar, A., and Alptekin, Ö., 2002. A detailed slip model for the 1995, October 1, Dinar, Turkey, earthquake (Ms=6.1) determined from inversion of teleseismic P and SH waveforms. *Geophysical Journal International*, 151, 184-195.
- Yalçınkaya, E., 2002. Bir boyutlu (1-D) modeller ile zemin büyütmesi. *Jeofizik Dergisi (inceleme)*.