KUZEYBATI ANADOLU'DA FARKLI TEKNİKLER KULLANILARAK ZEMİNLERİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

F.Nurten ŞİŞMAN[1], Ayşegül ASKAN[2] ve Michael ASTEN[3]

[1] *Araştırma Görevlisi, Deprem Çalışmaları Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[2] *Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[3] *Profesör, Yerbilimleri Bölümü, Monash Üniversitesi, Victoria, Avustralya*
Email: f.nurtensisman@gmail.com

ÖZET:

Literatürde zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, alternatif yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçların güvenirliğinin test edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Düzce ve Bolu illeri çalışma alanları olarak belirlenmiştir. Alüvyon zemin üzerine kurulu olan bu iki il, aktif faylar ile çevrili bir bölgede yer almaktadır ve bu nedenle bu bölgede yapılacak çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada zemin hakim frekansını belirlemek amacıyla üç farklı yöntem kullanılmıştır. Öncelikle Düzce (DZC) ve Bolu (BOL) kuvvetli yer hareket istasyonu kayıtlarına H/V Spekral oran yöntemi uygulanarak hakim frekans belirlenmeye çalışılmıştır. Ardından seçilen sahalarda alınmış olan miktotremor kayıtlarının Çoklu-mod Uzaysal Otokorelasyon (MMSPAC) yöntemi ile analizleri yapılmıştır. Yüzey dalgası dispersiyon eğrisi temeline dayanan bu pasif sismik metot ile bir boyutlu kesme dalgası hız profili ve mikrotremor H/V spekral oran grafiği elde edilmiştir. Son olarak mikrotremor analizinden elde edilen hız modeli kullanılarak bir boyutlu zemin tepki analizi yapılmış ve sunulan alternatif yöntemlerden elde edilen zemin hakim frekans değerleri ve zemin büyütme faktörleri karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER : H/V spektral oran yöntemi, Çoklu-Mod Uzaysal Otokorelasyon (MMSPAC) yöntemi, zemin tepki analizi, Bolu, Düzce

1. GİRİŞ

Depremler yeryüzünde kentsel alanları etkilemekte olan en tahrip edici doğal felaketlerdendir. Depremlerin oluşturduğu yapı hasarları, depremin yalnızca odak ve yayılım özelliklerine değil, zemin özelliklerine bağlı olarak da büyük farklılıklar göstermektedir. Sert anakayanın üzerinde yer alan yumuşak zeminler, yer hareketini büyüterek ağır yapı hasarlarına neden olabilirler. Yapı ve zemin hasarları açısından son derece önemli olan zemin hakim periyotları, büyütme faktörleri ve zemin sınıflarının belirlenmesi, yapı hasarlarının, can ve mal kayıplarının azaltılması açısından kritik bir husustur. Dinamik zemin özelliklerinin belirlenmesi probleminde temel adım, zemin tabakalarının dalga hızlarının belirlenmesidir. Bu amaçla, literatürde çok yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi aktif veya pasif kaynaklı yüzey dalgası ters-çözüm yöntemidir. (Ör.: Rosenblad vd., 2006; Claprood ve Asten, 2009). Bu çalışmada da, pasif-kaynaklı (doğada varolan titreşimleri kullanan) MMSPAC yöntemi kullanılmış; bu amaçla Bolu ve Düzce illerinde yer alan 1401 BOL ve 8101 DZC adlı kuvvetli yer hareketi istasyonları yakınlarında mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Aynı istasyonlarda kaydedilmiş olan mikrotremor ve kuvvetli yer hareketleri üzerinde H/V (Nakamura) yöntemi uygulanmış; en son olarak da MMSPAC yöntemiyle elde edilen tek boyutlu hız modeli ile zemin tepki analizleri gerçekleştirilmiştir. Bolu ve Düzce bilindiği üzere paleotektonik ve neotektonik dönemlere ait Kuzey Anadolu Fayı ile bu zona bağlı doğrultu atımlı faylar ile çevrilmiş ve alüvyon zemin üzerine kurulmuş iki Kuzeybatı Anadolu şehrimizdir. 1999 Kocaeli ve 1999 Düzce depremleriyle üç ay içinde iki büyük sismik aktivite ile sarsılmış olan bu sahalar, bu

çalışmada önerilen yöntemlerin bölgede daha önce elde edilen verilerle sınanması amacıyla seçilmiştir. Yer kısıtlamasından ötürü, bu bildiride yalnızca Bolu'ya ait sonuçlar sunulacaktır.

2. YÖNTEM

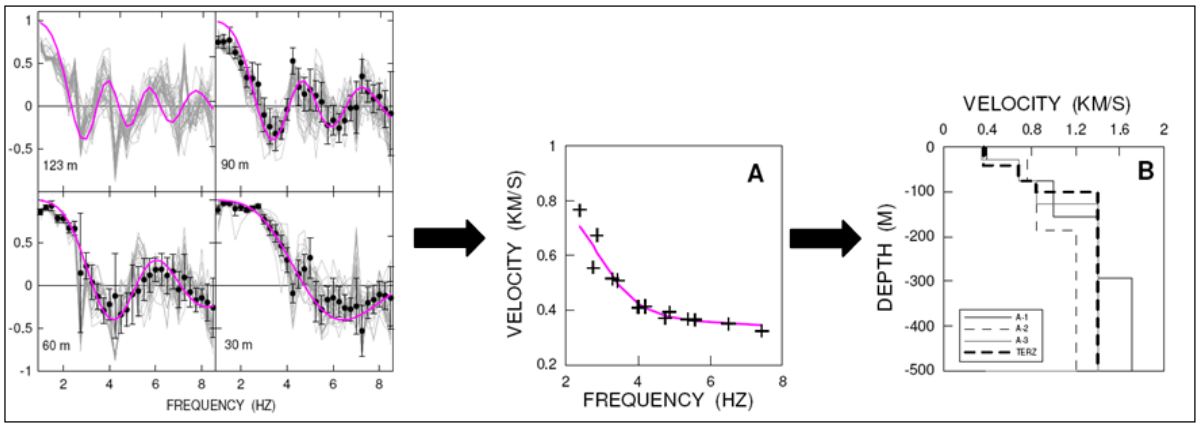
Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan MMSPAC ve H/V spektral oran yöntemleri ile tek-boyutlu zemin tepki analizleri kısaca sunulmuştur.

2.1. Çoklu-Mod Uzaysal Otokorelasyon (MMSPAC) Yöntemi

Uzaysal Özilişki yöntemi olarak da bilinen SPAC yöntemi, temel olarak mikrotremorlerin uzay ve zaman durağanlığı özelliklerini kullanarak alıcı (istasyon) çiftleri arasındaki uyumluluğun değerlendirilmesi esasına dayanır. Belirli bir frekanstaki yüzey dalgası faz hızı, birbirine bilinen bir "*r*" mesafesinde ölçülen titreşim kayıtlarından ve o frekanstaki dalganın bileşenlerinin SPAC (uzaysal özilişki) katsayılarından hesaplanabilir. Rayleigh dalgalarının herhangi bir *f* frekansındaki SPAC katsayısı *c(f)*, sıfırıncı dereceden birinci cins Bessel fonksiyonundaki *v(f)* faz hızı ile ilişkilendirilmiştir (Claprood ve Asten, 2009):

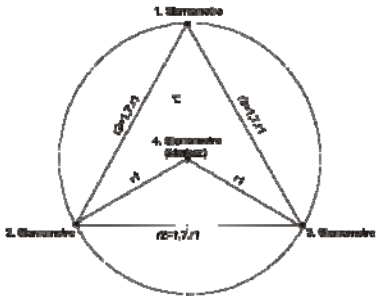
$$c(f) = J_0\left(\frac{2\pi f r}{v(f)}\right) \tag{1}$$

Geleneksel SPAC yönteminde Denklem 1'de verilen SPAC katsayısından her bir frekansa karşılık gelen faz hızı değerleri ile dispersiyon eğrisi elde edilmektedir. Bu dispersiyon eğrisinin ters çözümü ile tek boyutlu S-dalga hızı profilleri hesaplanmaktadır. Şekil 1, şematik olarak uzaysal özilişki (SPAC) katsayılarından S-dalga hızlarının elde edilmesi aşamalarını göstermektedir. SPAC yönteminde genellikle dairesel dizilimli alıcılarda düşey mikrotremor kayıt ve analizleri yapılmaktadır. Bu çalışmada ise SPAC yöntemi çoklu-modlar için geliştirilmiş; yalnızca düşey eksende değil 3-eksenli ölçümler yapılmış ve dairesel olmayan dizilimlerle çalışılmıştır (Asten ve Boore, 2005; Asten, 2006; Chavez-Garcia vd., 2006). Bu dizilim, yüksek modların faz hızına etkisini de göz önüne alarak, yalnızca temel modda yayılan Rayleigh dalgaları için değil, yüksek modlar için de doğru S-dalgası hız profilleri vermektedir (Asten, 2001). Birden fazla "*r*" istasyon-arası mesafesinde uyumlulukları kullanarak yüksek modlardaki yüzey dalgalarına ait frekans bantlarını da çözebildiği için bu dizilimle yapılan SPAC analizlerine MMSPAC (multi-mode, çoklu-mod SPAC) ismi verilir (Asten, 2006).



Şekil 1. SPAC Yöntemi ile Mikrotremor Veri Analizi Şeması (Maresca vd. 2006'dan derlenmiştir)

Bu çalışmadaki tüm MMSPAC yöntemi uygulamalarında üçgen dizilimler kullanılmış ve uyumluluk hesaplamaları bu dizilimlere göre yapılmıştır. Elde edilen gözlemsel eğriler her bir dizilime ait Şekil 2'de gösterilen r1 (daire üzerindeki istasyon-merkez istasyon arası mesafe) ve r2 (daire üzerindeki iki istasyon arasındaki mesafe) uzaklıkları içindir. r1 uzaklığı için, merkezdeki istasyon ile üçgenin köşelerini oluşturan istasyonlar arasındaki uyum; r2 uzaklığı için, üçgenin köşelerindeki istasyonlar arasındaki uyum göz önünde bulundurulmuştur. Ardından tek boyutlu kuramsal bir başlangıç hız modeli belirlenmiştir. Kuramsal model oluşturulurken, incelenen ortam için düşünülen yaklaşık tabaka sayısı belirlenmiş ve buna bağlı olarak her tabakaya ait S-dalga hızı, P-dalga hızı, kalınlık ve yoğunluk değerleri seçilmiştir. Bir MMSPAC veri işleme ve ters çözüm algoritması (Asten, 2001) kullanılarak bu değerlere göre hesaplanan kuramsal eğri ile arazi verilerinden hesaplanan gözlemsel uyumluluk katsayısı eğrisi çakıştırılmaya çalışılmıştır.

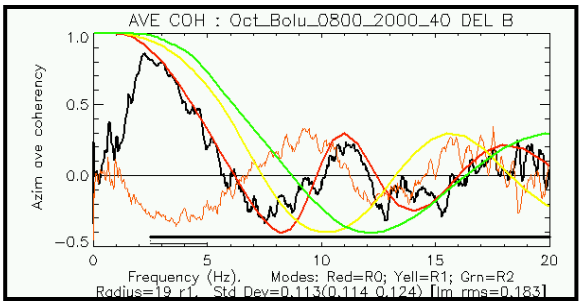


Şekil 2. MMSPAC yönteminde kullanılan üçgen dizilim krokisi

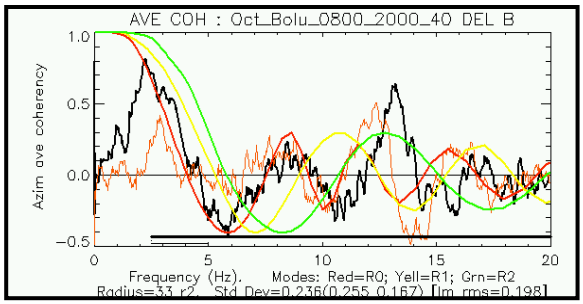
Bolu ilinde seçilen sahada gerçekleştirilen MMSPAC ölçümlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekil 3.a. ve 3.b'de gösterilen siyah eğri bu istasyonundaki üçgen diziliminde r1 ve r2 uzaklıklarına ait gözlemlenmiş uyumluluğu ifade etmektedir. Kırmızı, sarı ve yeşil eğriler sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü moda ait kuramsal uyumluluk eğrilerini ifade etmektedir. MMSPAC yönteminin diğer mikrotremor değerlendirme yöntemlerine göre en önemli avantajı, temel modun yanı sıra yüksek modların etkisini de göz önünde bulundurmasıdır**.** Bu çalışma kapsamındaki MMSPAC uygulamasında, geleneksel SPAC uygulamalarında olduğu gibi doğrudan dispersiyon eğrisinden ters çözüm yapılmamış, uyumluluk eğrilerine iteratif doğrulama ile yaklaşılmıştır. Buradan yola çıkarak Şekil 3.c'de gösterilen dispersiyon eğrisi, çözüm sırasında geri planda sürekli kontrol edilmiştir. Şekil 3.c'deki kırmızı noktalar gözlemsel verileri ve siyah eğriler ise farklı modlara ait kuramsal dispersiyon eğrilerini belirtmektedir. MMSPAC yöntemiyle BOL ve DZC istasyonları için ana kaya derinlikleri sırasıyla yaklaşık olarak 300 ve 150 metre olarak belirlenmiştir. BOL istasyonunda 1000 m/s'den yüksek hızlara yaklaşık 100 metrede erişilmişken (Şekil 4), DZC istasyonunda 150 metrede yaklaşık olarak 2000 m/s hıza ulaşılmıştır.

Bu çalışma kapsamında BOL ve DZC istasyonlarında MMSPAC yöntemiyle elde edilmiş olan hız profilleri, Şekil 5'te önceki çalışmalarda elde edilmiş olan profillerle karşılaştırılmıştır. Şekil 5'te gözlemlendiği gibi BOL istasyonunda ilk 30 metrede önceki çalışmaların sonuçları ile bu proje sonuçları arasındaki fark oldukça küçüktür. %15-20 civarındaki bu farkların bir nedeni SPAC yönteminin çok yüksek frekansları (ya da yüzey tabakalarını) ayrıştırmada kırılma ya da sondaj kadar etkili olmayışıdır. Ancak her iki istasyonda da en fazla derinliğe (diğer bir deyişle düşük frekanslara) SPAC ve MMSPAC yöntemleri ile yapılan çalışmalarda inilebilmiştir (Yamanaka, 2002 ile proje ekibi). Yine her iki istasyonda 30m-50m derinlikler arasına bakıldığında alternatif yöntemler arasındaki farkın %30 civarında olduğu gözlemlenmiştir. Bu karşılaştırma göz önüne alındığında MMSPAC yöntemiyle ara ve düşük frekansların başarıyla çözümlendiği ve yüzeye yakın tabaka

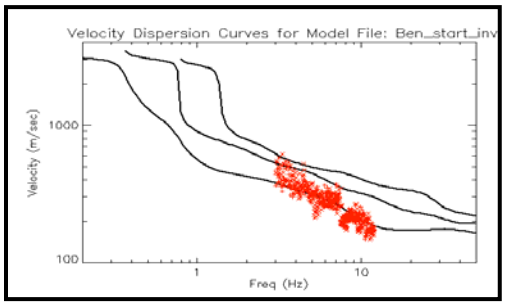
hızlarının da diğer yöntemlerden çok uzak olmadığı görülmüştür. DZC istasyonunda da benzeri gözlemler geçerlidir.



(a)

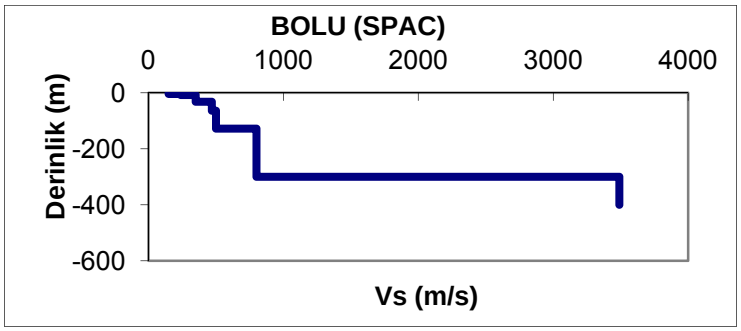


(b)

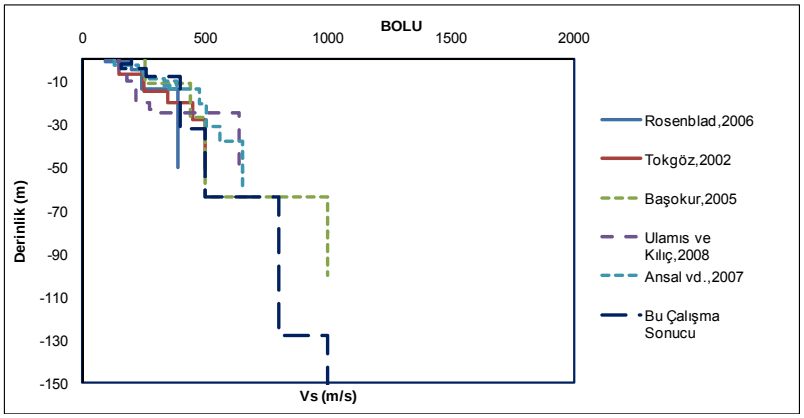


(c)

Şekil 3. Bolu ilinde uygulanan MMSPAC yöntemine ait uyumluluk ve dispersiyon eğrileri



Şekil 4. BOL istasyonunda MMSPAC yöntemiyle elde edilmiş tek-boyutlu S-dalga hız modeli



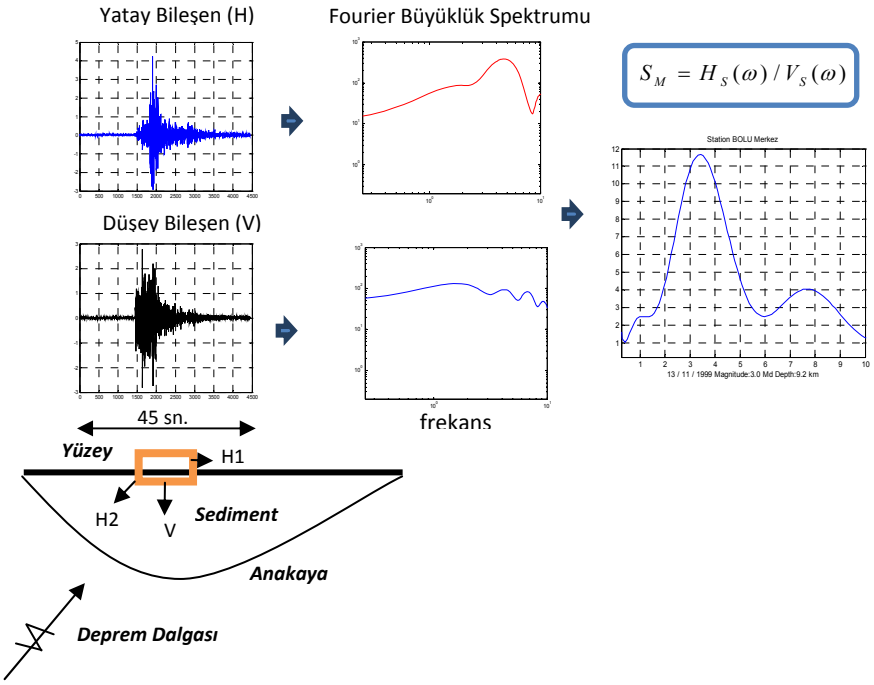
Şekil 5. BOL istasyonunda önceki çalışmalarda ve bu çalışmanın sonunda elde edilmiş olan S-dalga hızlarının karşılaştırılması

2.2. H/V Spektral Oran Yöntemi

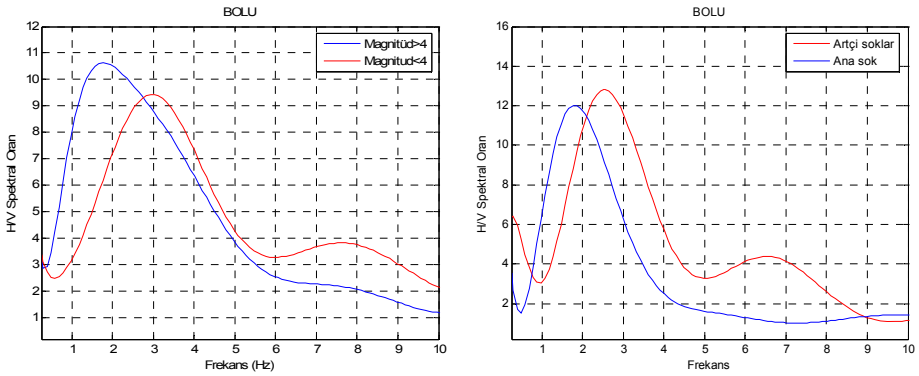
H/V Spektral oran yöntemi (yatay/düşey bileşen oranlama ya da Nakamura yöntemi), yerin elastik özelliklerine göre eliptik olarak yayılan Rayleigh dalgasının rezonans özelliklerini ampirik olarak değerlendiren bir yöntemdir. H/V Spektral oran yöntemi literatürde yaygın olarak, zemin tabakalarının rezonans frekanslarını, zeminlerin elastik özelliklerinin derinlikle ani değişiminden yaklaşık olarak hesaplamak için kullanılmaktadır (Nakamura, 1989). Bu yöntemde temel olarak yatay yer hareketi spekturumunun düşey spektruma oranı ile elde edilen frekansa bağlı H/V değerleri, zemin büyütme faktörleri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada ise BOL ve DZC istasyonlarında kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi verileri üzerinde H/V oranları hesaplanmış; sonuçlar MMSPAC yöntemiyle elde edilen tek boyutlu hız tabakalarından hesaplanan rezonans frekanslarını ve çok tabakalı zemin modeli varsayımını doğrulamak için kullanılmıştır. Şekil 6'da H/V spekral oran yönteminin uygulama aşamaları şematik olarak gösterilmiştir. H/V yönteminde önce kayıtların yatay ve düşey bileşen kayıtları zaman tanım alanında çizdirilerek uygun veri aralıkları seçilir. Ardından yatay ve düşey bileşenlerin Fourier genlik spektrumları hesaplanır; yatay bileşen Fourier genlik spektrumları düşey bileşen Fourier genlik spektrumlarına bölünerek H/V (yatay/düşey) spektral oranları elde edilir. Bu H/V spektral oranları frekansa bağlı olarak ifade edildiğinde, en yüksek H/V spektral oranına karşılık gelen frekans değeri çalışılan sahanın zemin tabakalarına ait hakim frekansını yaklaşık olarak temsil eder.

Bu çalışmada, H/V spekral oranlar yöntemi, hem mikrotremor hem de kuvvetli yer hareketleri üzerinde uygulanmıştır. Öncelikle, 1401 BOL ve 8101 DZC kodlu kuvvetli yer hareketi istasyonlarında kaydedilmiş tüm deprem verileri temelde iki farklı gruba ayrılarak değerlendirmiştir. Kayıtlar Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı internet sitesinden sağlanmıştır (http://daphne.deprem.gov.tr). Bu istasyonlarda birinci grup depremlerin büyüklükleri göz önüne alınarak hazırlanmış ve magnitüd 4'ten büyük (M>4) ile magnitüd 4'ten küçük (M<4) olmak üzere sınıflandırılmıştır. İkinci grupta, çalışma bölgesinde son 10 yıl içerisinde meydana gelmiş anaşok ve artçışoklar göz önüne alınarak sınıflandırma yapılmıştır. Düzce ve yakın çevresinde ağır can ve mal kaybına neden olmuş 12 Kasım 1999 tarihli Düzce depremi (Md=7.2) anaşok, ve ardından 15 dakikalık zaman dilimi içerisinde meydana gelmiş depremler artçı şoklar olarak seçilmiştir. Bu aşama, 8101 DZC kuvvetli yer hareketi istasyonunda 12 Kasım 1999 tarihli Düzce depreminin hemen ardından artçı şok kaydı alınamadığı için sadece 1401 BOL istasyonu kuvvetli yer hareketi kayıtlarına uygulanabilmiştir. Şekil 7.a.'da görüldüğü gibi BOL istasyonu için magnitudü 4'ten küçük kayıtların analizleri yapılıp ortalaması alındığında temel hakim frekans 3 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu değer, magnitüd 4'ten büyük olduğunda 2 Hz civarında hesaplanmıştır.

BOL istasyonu kayıtları anaşok ve artçı şokları olarak değerlendirildiğinde ise; anaşok temel hakim frekans 1-2 Hz arasında, artçşokların temel hakim frekansı ise 2-3 Hz aralığında hesaplanmıştır(Şekil 7.b.).



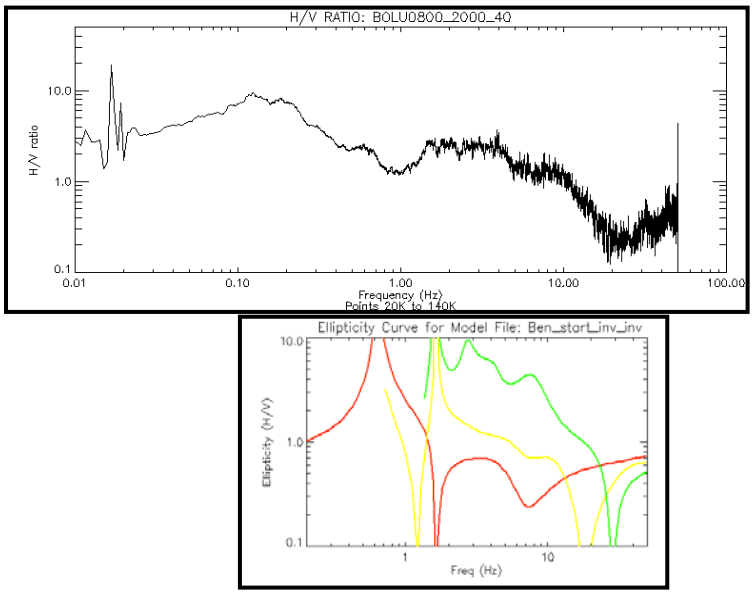
Şekil 6. H/V Spektral Oran Yöntemi Akış Şeması



(a) (b)

Şekil 7. BOL istasyonu için kuvvetli yer hareketi kayıtlarına uygulanan H/V Spektral oran yöntemi sonuçları

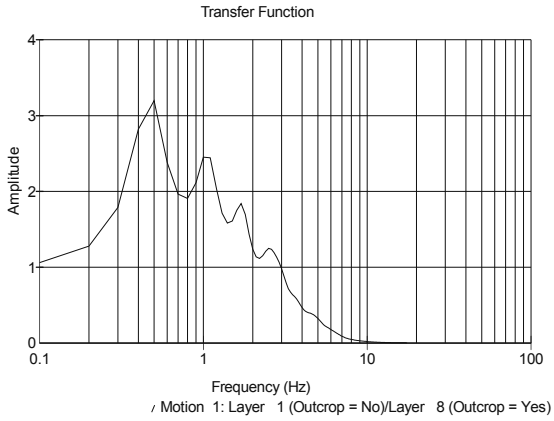
H/V yöntemi, mikrotremor ölçümlerine de uygulanmıştır. BOL istasyonu için MMSPAC ile elde edilen tek boyutlu S-dalga hız modellerine karşılık gelen teorik H/V (eliptiklik) eğrisi ile mikrotremor ölçümlerinden elde edilen H/V eğrisi Şekil 8'de karşılaştırılmış ve hakim frekans 3-4 Hz aralığında bulunmuştur.



Şekil 8. BOL istasyonu için mikrotremor kayıtlarına uygulanan H/V Spektral oran yöntemi sonucu

2.3. Zemin Tepki Analizi

Doğrusal davrandığı varsayılan zeminler için tek boyutlu zemin tepki analizleri, SV dalgası yayılım prensipleri kullanılarak frekans uzayında yapılmaktadır. (Schnabel vd., 1972). Doğrusal olmayan davranışı modellemek için ise sönümlenme oranı ve kayma modülünün kayma gerinimine bağlı olarak tanımlandığı eşdeğer doğrusal analizler yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında BOL ve DZC istasyonlarında eşdeğer doğrusal analizler yapılmıştır. MMSPAC yönteminden elde edilen zemin tabaka hız ve derinlikleri, zemin tepki analizlerinde zemin modeli olarak kullanılmıştır. Yer hareketi olarak ise NEHRP-C sınıfı sert bir zemin olan Sakarya (SKR) istasyonunda ölçülmüş olan 1999 Düzce depremi anaşok kaydı seçilmiştir. Analizler sonucu elde edilen BOL istasyonuna ait transfer fonksiyonu Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. MMSPAC sonucu elde edilen BOL hız profiline ait transfer fonksiyonu

Zemin tepki analizlerinden elde edilmiş olan temel frekanslar (Şekil 9), mikrotremor H/V oranlarından elde edilen hakim frekans değerlerinden daha düşüktür. Bunun nedeni eşdeğer doğrusal analizlerde doğrusal elastik olmayan bir zemin modeli diğer bir deyişle bir sönümlenme ve kayma modülü azalım modeli kullanılıyor

olmasıdır. Mikrotremor analizlerinde ise pasif titreşimcikler altında olan zeminlerin düşük gerilmelere karşılık olarak doğrusal elastik davrandığı varsayılır. Bu sebeple mikrotremor analizlerinden elde edilen zemin hakim frekansı daha yüksektir. Diğer yandan, doğrusal elastik olmayan zemin tepki analiz sonuçları ile büyük deprem kayıtlarından elde edilen H/V oranları birbirine yakın frekanslar belirlemektedir (Şekil 7.a ve Şekil 9).

3. DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, temel olarak kentsel alanlarda farklı yöntemlerle zemin hakim frekansları tayin edilmesi hedeflenmiştir. Öncelikle, Bolu ve Düzce'de tek boyutlu hız profilleri MMSPAC yöntemiyle belirlenmiş; ardından bu hız modelleri mikrotremor ve kuvvetli yer hareketlerine uygulanan H/V yöntemi ile sınanmış; son aşamada ise tek boyutlu zemin tepki analizleri yapılmıştır. Farklı yöntemlerle elde edilen hız profilleri, çoğunlukla derinliğe ve frekans aralığına bağlı olarak belirli farklılıklar göstermektedir. Ancak yine de herhangi bir derinlikte MMSPAC yöntemi ile elde edilen hız değerlerinin sondaj, kırılma gibi diğer yöntemlerle elde edilen ortalama dalga hızlarından en fazla %30 farklı olduğu gözlemlenmiştir.

Zeminlerin hakim titreşim frekans değerleri, alternatif yöntemler ile hesaplandığında farklılıklar gösterse de, bu farkların çoğunlukla uygulanan yer hareketi altında zeminin doğrusal elastik davranış gösterip göstermediğine bağlı olarak ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada sunulan alternatif yöntemlerin -yöntemlere ait varsayımlar gözönünde bulundurularak- uygun frekans aralıklarında birleştirilerek kullanılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Mikrotremor ölçümleri, Mülga Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nden sağlanan ekipman ve uzman desteği ile gerçekleştirilmiştir. Dr. Murat Nurlu ve ekibine bu destek için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Ansal, A., Kurtuluş,A. ve Tönük,G. Bolu İl Merkezi Sismik Mikrobölgeleme Çalışması, BU Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü Araştırma Raporu, Bölüm 2, (2007).

Asten, M. The Spatial Auto-Correlation Method for Phase Velocity of Microseisms – Another Method for Characterization of Sedimentary Overburden: in Earthquake Codes in the Real World, Australian Earthquake Engineering Soc., Proceedings of the 2001 Conference, Canberra, Paper 28, (2001).

Asten, M., and D. Boore. Microtremor methods applied to hazard site zonation in the Santa Clara Valley, *Seismol. Res. Lett.*, 76, 257, (2005).

Asten, M. (2006). On bias and noise in passive seismic data from finite circular array data processed using SPAC methods, Geophysics, 71, V153– V162.

Başokur, A. T. Yapı-Yeri İncelemelerinde Makaslama Dalgası Hız Kesitinin Remi Yöntemi İle Saptanması, Kocaeli Deprem Sempozyumu 2005, 23-25 Mart 2005, Kocaeli, (2005).

Chavez-Garcia, F. J., M. Rodriguez, and W. R. Stephenson. Subsoil structure using SPAC measurements along a line, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 96, 729–736, (2006).

Claprood, M. And Asten, M. (2009). Initial results from spatially averaged coherency, frequency-wavenumber, and horizontal to vertical spectrum ratio microtremor survey methods for site hazard study at Launceston, Exploration Geophysics, 40, 132–142

Maresca, R., Nardone, L., Galluzzo, D., La Rocca, M., Del Pezzo, E. (2006). Application of the SPAC Method to Ambient Noise Recorded in the Vesuvius Area (Italy), Third International Symposium on The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Grenoble, France, 30 August - 1 September 2006, Paper Number: 073.

Nakamura, Y., (1989) A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Railway Technical Research Institute Report*. 30, 25-30

Rosenblad, B., Rathje, E. M. and K.H. Stokoe. Shear Wave Velocity Profiling by the SASW Method at Selected Strong-MotionStations in Turkey, Project Final Report, peer.berkeley.edu/lifelines/lifelines_pre_2006/.../2A02a-FR.pdf, (2006).

Theodulidis, N., Bard P. Y., Archuleta R. J., and Bouchon M., (1996), horizontal to vertical spectral ratio and geological conditions: the case of Garner Valle downhole array in Southern California. *Bull. Seism. Soc. Am.,* 86, 360-319.

Schnabel, P.B., J. Lysmer and H.B. Seed (1972). SHAKE — A computer program for earthquake response analysis of horizontal layered sites. In: *Report EERC* 72-12, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley.

Şengör, A.M.C, Tüysüz, O., İmren, C.,Sakınç, M., Eyidoğan, H., Görür, N.,Pichon X.L., Rangin.,C.(2005).The North Anatolian Fault: A New Look. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci*. 2005. 33:37–112

Ekincioğlu, E.E. (2007). Dairesel Dizilimli Mikrotrmorlar ve SPAC Yöntemi ile Yakın Yüzey S Dalgası Hız Yapısının Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Müh. Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ankara

Tokgöz, E. (2002). Bolu ve Yakın Çevresinde Mikrotremor Verileri ile Yer Etkisinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Müh. Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ankara