

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ GENİŞ BAND DEPREM KAYITÇISI İÇİN UYGUN YER SEÇİMİ VE ÖRNEK UYGULAMALAR

SITE SELECTION FOR ISTANBUL UNIVERSITY BROAD-BAND SEISMIC STATION AND SAMPLE STUDIES

Eşref Yalçinkaya, Ali Pınar, Murat Utkucu, Ali İsmet Kanlı, Ömer Alptekin
İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Jeofizik Mühendisliği, Avcılar 34850, İstanbul, eyalcin@istanbul.edu.tr

ÖZ : İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği tarafından çalıştırılması planlanan CMG40T geniş band deprem kayıtçısı için uygun bir istasyon yeri belirlemek amacı ile Avcılar ve çevresinde değişik noktalarda gürültü seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda istasyon yeri olarak en düşük gürültü seviyesine sahip İ.Ü. Silivri kampüsü belirlenmiş ve sismograf bu noktada sürekli çalıştırılmaya başlanmıştır. Bu alet ile yapılabilecek çalışmalara örnek olabilmesi amacı ile bazı noktalarda gürültü kayıtları kullanılarak Nakamura Yöntemi ile zemin transfer fonksiyonları hesaplanmıştır. Ayrıca, tek istasyon üç bileşen deprem kaydı kullanılarak hesaplanabilecek Centroid Moment Tensor (CMT) çözümlerine örnek verilmiştir.

Anahtar kelimeler: CMG40T geniş band deprem kayıtçısı, sismik gürültü (mikrotremor), zemin büyütmesi, Nakamura yöntemi, Centroid Moment Tensor.

ABSTRACT : We investigate the seismic noise level in the Avcılar campus and at several other locations so as to find a proper place for a broadband seismic station that will be run by the staff of Department of Geophysics, Istanbul University. The lowest noise level was measured at Silivri campus of our university where we deployed the broadband equipment and commenced data collection. We give some results of scientific studies that can be realized using a single station 3-component waveform data, e.g., estimation of soil transfer function using the Nakamura's method, Centroid Moment Tensor (CMT) retrieval of local earthquakes.

Keywords: CMG40T broad-band seismograph, seismic noise (microtremor), soil amplification, Nakamura method, Centroid Moment Tensor

GİRİŞ

1999 İzmit-Gölcük ve Düzce depremlerinden sonra İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu kapsamında bir proje ile Avcılar bölgesinde bir geniş band (broad-band) deprem istasyonu kurulması amaçlanmıştır. Geniş bantlı bir deprem kayıtçısının en önemli özelliği çok yüksek frekanstan çok düşük frekanslara kadar titreşimleri geniş bir frekans bandı aralığında kaydedebilmesidir (0.033-50 Hz). Bu da kullanıcılara geniş bir spektrum aralığında çalışma olanağı sağlar. Çok uzun periyotlu dalgalar kullanılarak yer için derinlikleri ve deprem kaynakları hakkında bilgi edinmek mümkün iken, yüksek frekanstaki bilgiler ise istasyona yakın bölgelerin veya yakın jeolojik etkilerin belirlenmesinde kullanılabilir.

Bilindiği gibi Avcılar ilçesi, içinde birçok fayı barındıran Marmara Denizinin hemen kuzeyinde, Türkiye Deprem Bölgeleri haritasına göre 1. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Bölgede çok yakınında ciddi boyutlarda deprem üretebilecek kaynakların varlığı birçok ulusal ve uluslararası bilim

adamlarımız tarafından ortaya atılmıştır (örneğin Pınar ve diğ., 2001). Diğer taraftan, 1999 yılında yaşadığımız depremlerin episantrları Avcılar ilçesinin çok uzaklarında (100-150 km) olmasına rağmen yaptığı etkiler bir felaket olarak nitelendirilebilir. Bu bölgenin neden aynı uzaklıklardaki diğer bölgelerden çok daha fazla etkilendiği hala bir araştırma konusudur. 3-bileşenli geniş band sayısal deprem kayıt cihazı ile hem bölgede bulunan fayların kinematiği incelemeye alınabilir hem de bölgenin bazı noktalarda yeraltı yapısının özellikleri belirlenerek neden bölgenin 1999 depremlerinden çok etkilendiği sorusuna da yanıt aranabilir. Bunun dışında, 17 Ağustos 1999 Kocaeli (M=7.4) ve 12 Kasım 1999 Düzce (M=7.2) depremleri Kuzey Anadolu Fayı'nın Bolu'dan başlayıp Marmara denizinin doğusuna kadar olan kısmını hareket ettirmiştir. Marmara denizinin batısında meydana gelen 9 Ağustos 1912 Şarköy-Mürefte depremini (M=7.3) de dikkate alarak Marmara denizinin tamamı bir sismik boşluk olarak nitelendirilebilir. Bu sismik boşluktaki deprem tehlikesini şu iki olgu bize göstermektedir: 1)

Tarihsel deprem verilerine göre sismik boşlukta en son yıkıcı deprem 1766 yılında meydana gelmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1991), 2) Son yıllarda yapılan GPS çalışmaları Marmara bölgesinde yıllık hareketin yaklaşık 2 cm olduğunu göstermektedir (McClusky et al, 2000). Denizdeki faylarda biriken sismik enerjinin asismik olarak boşalmadığını varsayarak ve bu iki olguyu birleştirirsek, denizdeki faylarda biriken atım miktarının 4-5 metre civarında olduğunu kolayca hesaplayabiliriz ($236 \times 2 = 472$ cm). Bu atım değerleri Kocaeli ve Düzce depremlerinde ölçülen en büyük atım değerleri düzeyindedir. Sözü edilen sismik boşluktaki gelişmeleri, sismolojik yöntemlerle izlemek mümkündür. Avcılar bölgesinin Marmara denizine olan yakınlığından dolayı burada kurulacak bir 3-bileşenli deprem kayıt cihazı ile civardaki mikro-deprem etkinliği eş zamanlı olarak izlenebilir. Böylece, Marmara denizinde oluşabilecek bir sismik etkinliği anında görmek mümkün olacaktır. Bilindiği gibi, bazı büyük depremlerden önce çok sayıda mikro-deprem oluşmakta ve bu mikro-deprem etkinliği büyük bir depremin habercisi olarak tanımlanabilmektedir (Rikitake, 1981).

Bu istasyonun kurulması ile bölgede oluşan depremler çok geniş bir büyüklük aralığında kaydedilebilecektir. Bir deprem çalışmasında amaç, sadece deprem kaynağından yayılan sismik dalgaları kaydetmektir. Bunun dışında kalan tüm etkiler gürültü olarak nitelendirilir ve mümkün olduğunca bunlardan uzak kalınmak istenir. Sismik dalga kayıtları kullanılarak yapılabilecek çalışmalardan bazıları şu şekilde sıralanabilir: 1- Bölgedeki fayların kinematik ve dinamik özellikleri (Fan and Wallace, 1991), 2- Yerel ve bölgesel ölçekte sönümlenme özellikleri (Cong ve Mitchell, 1998), 3- Deprem istasyonu altındaki kabuk yapısı (Ammon, 1991; Yalçinkaya ve Alptekin, 2001), 4- Yerel ve/veya bölgesel uzaklıklardaki depremlerin moment tensörleri (Jimenez ve diğ., 1989). Diğer yandan sismik gürültüler (mikrotremor) son yıllarda mühendislik çalışmalarında zemin araştırmaları için kullanılan en değerli kaynaklardan birisi olmuştur. Sismik gürültüleri, depremler ve patlatmalar gibi kısa süreli olaylar hariç tüm yer titreşimleri olarak adlandırabiliriz. Rüzgar, yağmur, deniz dalgaları, trafik ve endüstriyel çalışmaları sismik gürültülerin kaynakları arasında sayılabilir. Bu gürültülerin etkinliği zamana ve bölgeye bağlı olarak değişir. İçerdikleri frekanslarda değişiklikler gösterir. Deniz dalgaları genellikle uzun periyotlu titreşimlere neden olurken (yaklaşık 0.1 Hz), insan kaynaklı gürültüler 1 Hz'in üzerindeki titreşimlere neden olurlar (Seht ve Wohlenberg, 1999). Sismik gürültülerden faydalanarak zemin hakim periyodunun ve büyütmelerin belirlenmesi son yıllarda giderek önem kazanmaktadır. Bunun nedeni bu tür verinin hem parasal açıdan hem de zaman açısından önemli avantajlara sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Zemin hakim periyodunun ve büyütmelerin belirlenmesinde en çok istenilen deprem verilerinin kullanılmasıdır. Ancak bu hem uzun zaman alır hem de maliyeti yüksek bir çalışmadır. Ayrıca sismik etkinliği düşük bölgeler için uygun değildir. Diğer bir veri grubu sondaj, sismik veya öz direnç çalışmaları ile elde edilen geoteknik parametrelerdir. Bu çalışmalarında maliyeti yüksektir. Oysa gürültü verileri çok kısa zamanda ve çok küçük bir bütçe ile kolayca toplanabilir (Yalçinkaya ve Alptekin, 2001).

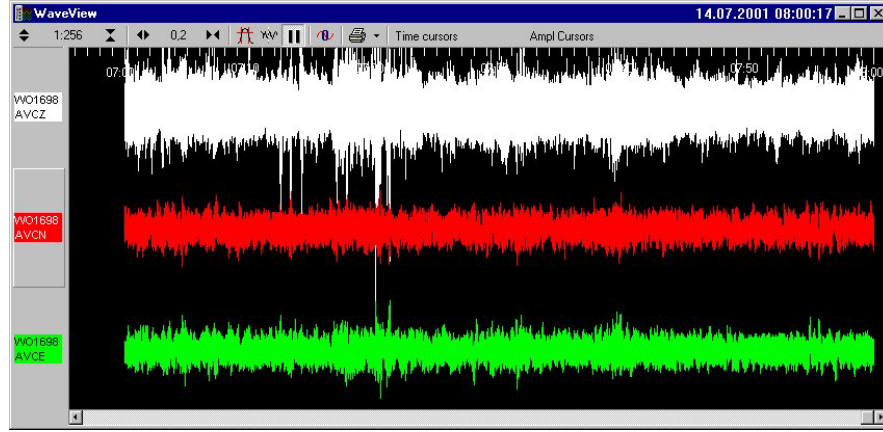
Bu makalede CMG40T geniş band deprem kayıtçısı için Avcılar ve çevresinde uygun bir istasyon yeri belirlemek amacı ile yapılan gürültü kayıtları değerlendirilecektir. Ayrıca, bu alet ile yapılabilecek çalışmalara örnek olması amacı ile bazı noktalarda gürültü kayıtları kullanılarak Nakamura (1989) yöntemi ile zemin transfer fonksiyonları belirlenecek ve lokal uzaklıklarda meydana gelen depremlerin tek istasyon üç bileşen kaydı kullanılarak hesaplanabilecek moment tensörleri için hem yöntem test edilecek hem de örnek bir deprem için çözüm yapılacaktır.

İSTASYON YERİNİN BELİRLENEBİLMESİ İÇİN YAPILAN GÜRÜLTÜ ANALİZLERİ

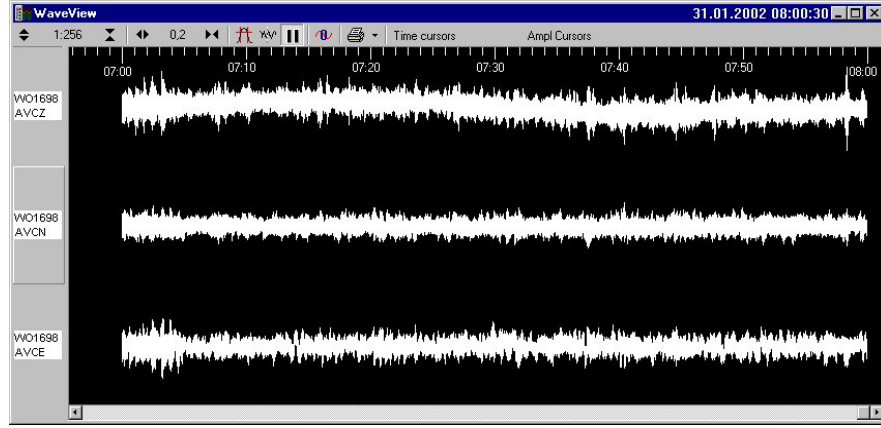
Elde edilecek dalga şekli verileriyle yapmayı düşündüğümüz bilimsel çalışmaların spektrumunu geniş tutabilmek için deprem kayıt cihazının yer seçiminde birçok noktaya dikkat edilmesi gerekmektedir. Geniş bantlı sismografların frekans ve dinamik aralığının çok büyük olması, hem küçük depremlerin hem de büyük depremlerin dalga şekillerini kullanarak gerek yer içi hakkında gerekse deprem kaynağı hakkında ayrıntılı çalışmalar yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu olgu dikkate alınarak sismografin yer seçimine büyük özen gösterilmiştir. Bu çerçevede, sismografi farklı noktalarda çalıştırarak gürültü seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Gürültü seviyesinin düşük olması mikro-depremlerin izlenmesine olanak vermektedir. Uygun bir yer seçimi için İ.Ü. Avcılar kampüsü içinde üç, Gürpınar ve Çatalca ilçelerinde, İ.Ü. Beyazıt kampüsünde, İ.Ü. Silivri kampüsünde ve Bahçeşehir Üniversitesi kampüsünde birer noktada gürültü ölçümleri yapılmıştır.

Şekil 1(a-f)'de sırası ile İ.Ü. Avcılar kampüsü, Bahçeşehir Üniversitesi kampüsü, İ.Ü. Beyazıt kampüsü, Çatalca, Gürpınar ve İ.Ü. Silivri kampüsü örnek üç bileşen gürültü kayıtları görülmektedir. Günün farklı saatlerinde gürültü içeriğinin farklı olabileceği düşüncesi ile örnekler tüm istasyonlarda aynı saat dilimlerinde alınmıştır ve karşılaştırma yapabilmek için tüm şekillerde genlik ölçeği eşit çizdirilmiştir.

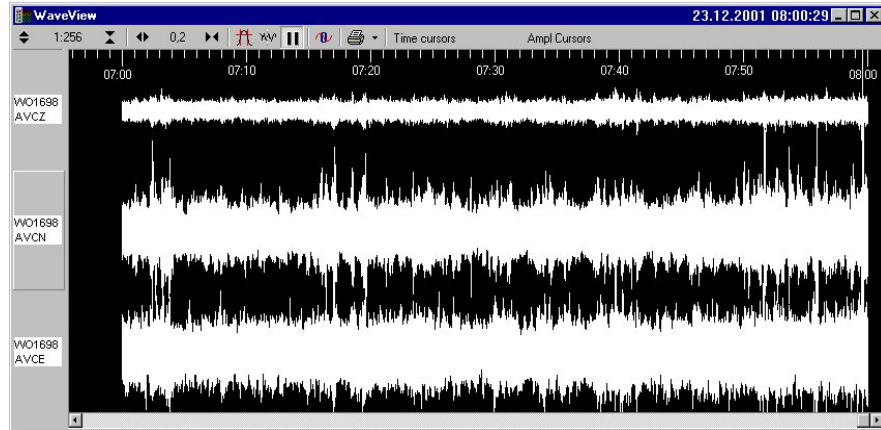
Öncelikle, her bir ölçüm noktası için, genel bir gürültü genliği belirlenmiştir. En yüksek gürültü seviyesine İ.Ü. Avcılar kampüsünde ve İ.Ü. Beyazıt kampüsünde rastlanılmıştır. Gündüz saatlerinde bu



Şekil 1a. İ.Ü. Avcılar kampüsünde 14.7.2001, 8:00-9:00 saatleri arasındaki gürültü kaydı.
Figure 1a. Seismic noise records in Avcılar campus, on July 14th, 2001, during 8:00-9:00.



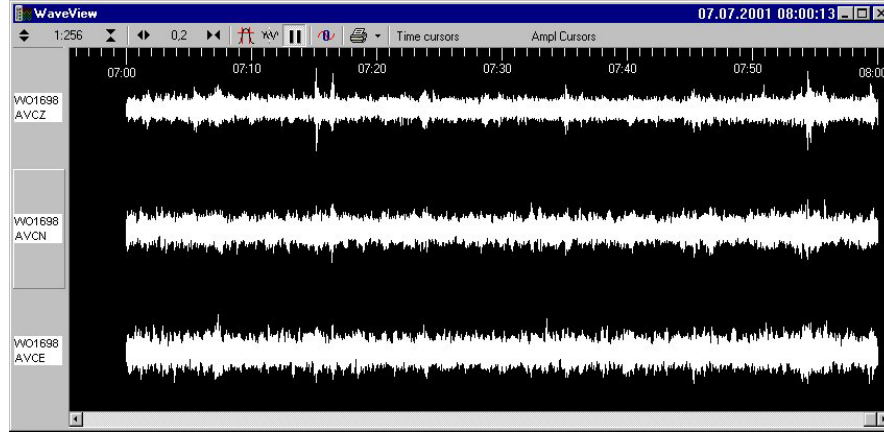
Şekil 1b. Bahçeşehir Üniversitesi kampüsünde 31.1.2002, 8:00-9:00 saatleri arasındaki gürültü kaydı.
Figure 1b. Seismic noise records in Bahçeşehir University main campus, on January 31st, 2002 during 08:00-9:00.



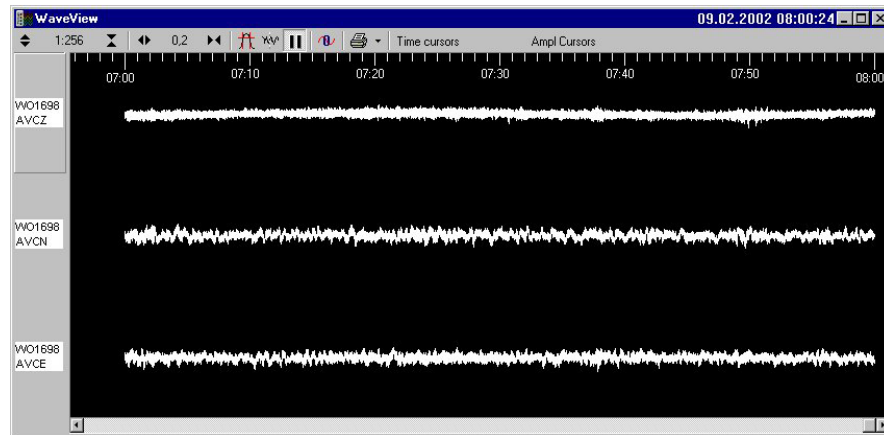
Şekil 1c. İ.Ü. Beyazıt kampüsünde 23.12.2001, 8:00-9:00 saatleri arasındaki gürültü kaydı.
Figure 1c. Seismic noise records in Istanbul University, Beyazıt campus, on December 23rd, 2001 during 8:00-9:00.



Şekil 1d. Çatalca'da 19.7.2001, 8:00-9:00 saatleri arasındaki gürültü kaydı.
Figure 1d. Seismic noise records in Çatalca, on July 19th, 2001 during 8:00-9:00.



Şekil 1e. Gürpınar'da 7.7.2001, 8:00-9:00 saatleri arasındaki gürültü kaydı.
Figure 1e. Seismic noise records in Gürpınar, on July 7th, 2001 during 8:00-9:00.



Şekil 1f. İ.Ü. Silivri kampüsünde 9.2.2002, 8:00-9:00 saatleri arasındaki gürültü kaydı.
Figure 1f. Seismic noise records in İstanbul University, Silivri campus, on February 9th, 2002 during 8:00-9:00.

noktalardaki ortalama gürültü seviyesi 8000-9000 birim civarındadır. Her iki noktanın da yoğun çalışma merkezlerine yakın olması ve trafik ile iç içe olması gürültü seviyelerinin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Gürpınar, Çatalca ve Bahçeşehir noktalarında gürültü seviyeleri nispeten daha düşüktür. Özellikle Çatalca noktası sağlam kaya üzerinde yer alır ve gürültü seviyesi 3000 birim civarındadır. Fakat Şekil 1d'de görüldüğü gibi, bu kayıtlarda da küçük gürültü pikleri yer almaktadır. Ölçüm noktasının hemen önünde yer alan yol üzerindeki hız kesme tümseklerinin bu piklere neden olduğu belirlenmiştir. Gürültü testlerine göre en düşük gürültü seviyesine İ.Ü. Silivri kampüsünde rastlanılmıştır (yaklaşık 1000-1500 birim). Bu nokta hem sert kumtaşları üzerinde yer alır hem de endüstriyel gürültülerden nispeten uzaktır. Bu nedenle, istasyon yeri için en uygun noktanın burası olduğuna karar verilmiş ve alet bu noktada sürekli kayıt alabilecek şekilde çalıştırılmaya başlanmıştır.

ZEMİN TRANSFER FONKSİYONLARININ HESAPLANMASI

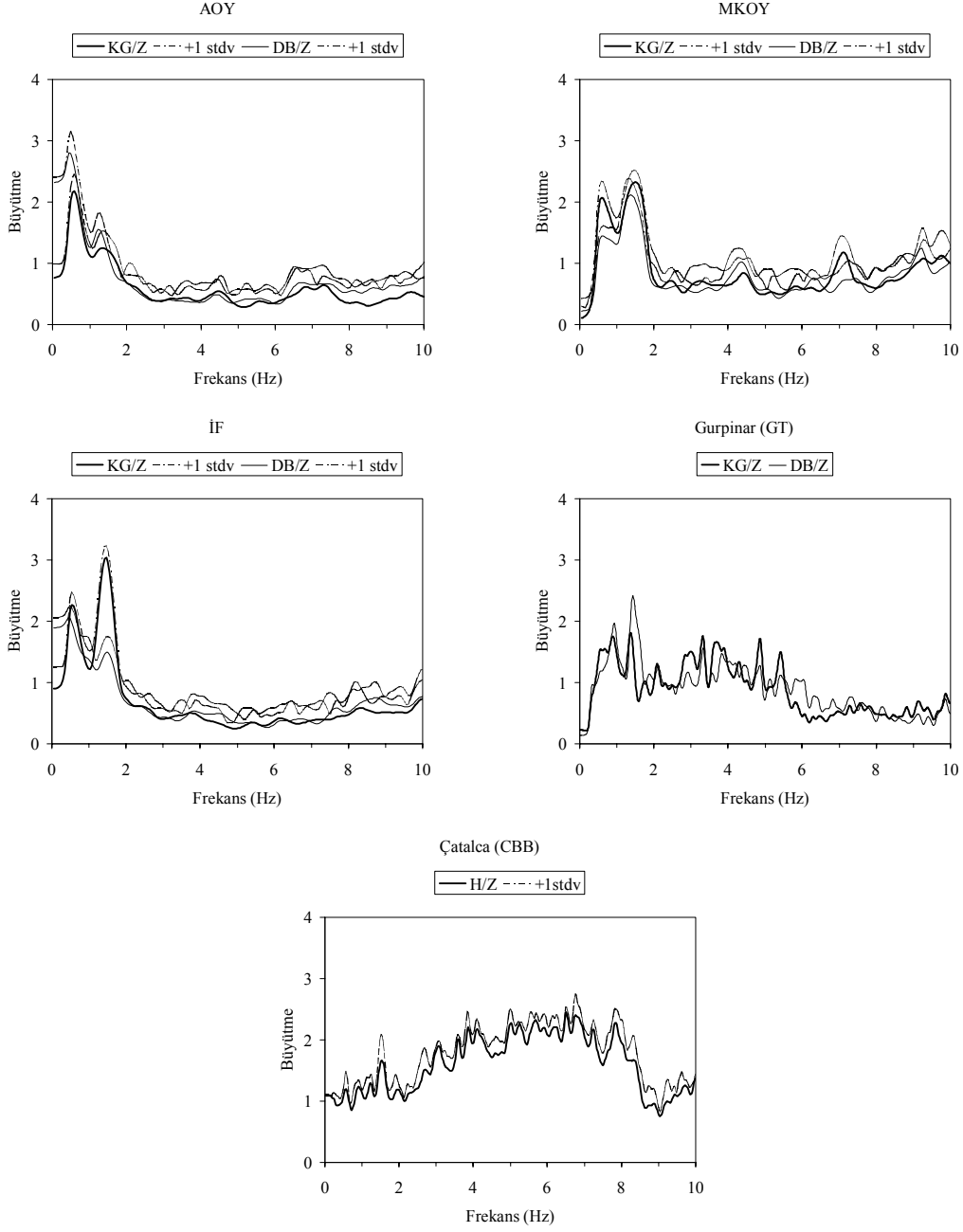
Giriş bölümünde belirttiğimiz gibi deprem çalışmaları açısından istenmeyen gürültüler, zemin hakim periyodunun ve büyütme belirlenmesi açısından önemli bir kaynak olurlar. Biz de bu çalışmada hem bu alet ile yapılabilecek çalışmalara örnek olabilmesi açısından hem de zemin özelliklerinin kayıtlar üzerindeki etkisini vurgulamak açısından örnek bazı noktalarda gürültü kayıtlarını kullanarak zemin transfer fonksiyonlarını belirledik. Yöntemin temeli Nakamura'nın (1989) çalışmasına dayanır. Nakamura yöntemine göre gürültü titreşimlerinin düşey bileşenleri zemin tabakalarından etkilenmezler. Buna karşılık yatay bileşenler, zemin tabakalarının sahip olduğu düşük hız ve yoğunluğa bağlı olarak önemli büyütme uğrarlar. Böylece yatay bileşen kayıtların spektrumlarının düşey bileşen kayıt spektrumlarına oranlanması zemin transfer fonksiyonunun elde edilmesini sağlar. Yöntemin teorik kısmı henüz tam olarak kanıtlanmamasına rağmen yapılan bir çok çalışmada zemin hakim periyodunun kabaca belirlenmesinde güvenilir olduğu fakat büyütme değerlerini genellikle küçük bulduğu belirtilmiştir (Bonilla ve diğ., 1997; Field ve Jacob, 1995; Yalçinkaya ve Alptekin, 2000a). Yöntem, diğer zemin etkilerini belirlemeye dönük çalışmalara göre zaman, para ve iş gücü açısından önemli üstünlüklere sahiptir.

Zemin etkisi çalışmalarının geçmişte çok eskilere dayanmasına rağmen (Tezcan ve diğ., 1974), ülkemizde gereken önemin verilmesi son 10 yılda oluşan depremlerde açığa çıkan zemin-hasar ilişkisiyle birlikte olmuştur (örneğin 1 Ekim 1995 Dinar depremi (Yalçinkaya ve Alptekin, 2000a), 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depremi (Yalçinkaya ve Alptekin,

2000b), 17 Ağustos 1999 İzmit-Gölcük depremi (Yalçinkaya ve Alptekin, 1999)). Zemin koşullarının deprem dalgaları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi deprem zararlarının azaltılması açısından büyük önem taşır (Alptekin ve Yalçinkaya, 2001).

Bu çalışmada, İ.Ü. Avcılar kampüsü içinde 3 ayrı noktada (Avcılar Öğrenci Yurdu-AOY, Mercedes Kız Öğrenci Yurdu-MKOY, İşletme Fakültesi-İF), Gürpınar (Telekom-GT) ve Çatalca'da (Çatalca Belediye Binası-CBB) birer noktada aynı alet kullanılarak 3 bileşen gürültü sinyalleri kaydedilmiştir. Kayıtların alındığı saatler ve örnekleme aralıkları farklıdır. Her noktadaki kayıt incelenmiş ve kısa süreli büyük genlikli yakın etkilerin olmadığı 5 ayrı pencere grubu seçilmiştir. Pencere uzunlukları 20.48 sn ile 102.4 sn arasında değişmektedir. Sıfırdan sapma (baseline) düzeltmesi yapılan kayıtlar, %10 kosinüs pencere ile uçları kesildikten sonra Hızlı Fourier Dönüşümü ile spektrumları hesaplanmıştır. Nakamura yöntemine göre spektral oranlar alınmadan önce, tüm veriler örnekleme frekansının 10 katı genişliğine sahip bir Parzen pencere ile yuvarlatılmıştır. Bu işlem bölme sırasında oluşabilecek ani sıçramaları engeller. Her bir pencere için spektral oranlar alındıktan sonra, o nokta için ortalama bir zemin büyütme fonksiyonu elde edilmiştir. Büyütme fonksiyonları, mühendislik çalışmaları için önemli olan 10 Hz frekansına kadar hesaplanmıştır. CMG40T geniş band deprem kayıtçısı 0.033 ile 50 Hz arasında düz tepki spektrumuna sahiptir.

Sonuçlar her nokta için ayrı bir grafik olarak Şekil 2'de gösterilmektedir. Zemin transfer fonksiyonları bazı noktalarda her iki yatay bileşen için ayrı ayrı, bazı noktalarda ise yatay bileşenlerin ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi kampüs içindeki AOY, İF ve MKOY noktalarında 0.5 ve 1.5 Hz civarında belirgin pikler göze çarpmaktadır. Gürpınar ve Çatalca noktalarında ise belirgin pik tespit etmek daha güçtür. Gürpınar noktasında 1-1.5 Hz civarında ve 3-6 Hz arasında bazı pikler görülse de bunların büyütme oranları genelde 1.5 civarındadır. Çatalca istasyonunda ise büyütme oranları daha yüksek frekanslara doğru kaymıştır. Kampüs içindeki noktalar arasında mesafenin küçük olması nedeni ile (yaklaşık 500 m) zemin özelliklerinin çok fazla değiştiği düşünülmemektedir. Nakamura yöntemi sonuçları da bunu doğrulamaktadır. 0.5 ve 1.5 Hz civarında görülen maksimum büyütme oranları ana kayaya göre yaklaşık 2-3 katıdır. Bu frekanslar kampüs içindeki zeminin hakim frekansları olarak düşünülebilir. Buna karşılık Gürpınar ve Çatalca noktaları daha sağlam zeminler üzerinde, özellikle Çatalca noktası ana kaya mostrası üzerinde yer almaktadır. Nakamura Yöntemi sonuçlarından da görülebileceği gibi bu noktalardaki büyütme oranları çok küçük ve daha yüksek frekanslardadır. Büyütme fonksiyonlarında belirgin bir hakim frekansın



Şekil 2. İ.Ü. Avcılar kampüsünde üç noktada (AOY, İF, MKOY), Gürpınar (GT) ve Çatalca'da (CBB) birer noktada kaydedilen gürültü verilerinden Nakamura yöntemi ile elde edilen zemin transfer fonksiyonları; KG: Kuzey-Güney bileşen, DB: Doğu-Batı bileşen, H: Ortalama yatay bileşen, +1 stdv: ortalama artı 1 standart sapma.

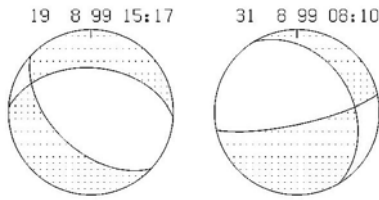
Figure 2. Soil transfer function estimations using the method of Nakamura applied to data recorded at three different sites in Avcılar campus (AOY, İF, MKOY), Gürpınar (GT) and Çatalca (CBB). KG: North-South component, DB: East-West component, H: average horizontal component, +1 stdv: average plus 1 standard deviation.

görülememesi veya büyütmelemin yüksek frekanslara doğru kayması, sert bir zeminin özelliklerini yansıtmaktadır.

CENTROIT MOMENT TENSÖR (CMT)

CMG40T geniş band deprem kayıtcısı tarafından kaydedilen deprem kayıtları kullanılarak yapılması planlanan çalışmalardan biri lokal uzaklıklarda meydana gelen depremlerin moment tensörlerinin belirlenmesidir. Üç bileşenli tek bir istasyonda kaydedilen geniş bantlı deprem kayıtlarından faydalanarak depremlerin moment tensörlerinin belirlenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Fan ve Wallace, 1991; Kikuchi ve Ishida, 1993; Kuge, 1999; Legrand ve Delous, 1999; Shomali ve Slunga, 2000; Legrand ve diğ., 2000).

Yöntemi test etmek amacıyla, moment tensörü Harvard sismoloji grubu tarafından belirlenmiş iki depremi ele aldık. Harvard CMT çözümleri, güvenilirliği yüksek olan ve doğruluğu hemen hemen herkes tarafından kabul edilen çözümlerdir. Depremlerden ilki, Yalova-Çınarcık depremi ($M_w=5.0$, 19.8.1999, saat 15:17), ikincisi de İzmit depremidir ($M_w=5.2$, 31.8.1999, saat 08:10). Şekil 3'te bu depremlere ait Harvard CMT çözümleri gösterilmektedir. Test amaçlı kullandığımız veri, Kandilli Rasathanesi tarafından çalıştırılan geniş bant CMG3T aletinden elde edilmiştir. Bu istasyonun (ISK) episantır uzaklıkları, Yalova-Çınarcık depremi için yaklaşık 50 km, İzmit depremi için ise yaklaşık 100 km civarındadır. ISK kayıtlarının ters çözümünden depremlerin moment tensörlerini belirlemek için, Kuge (1999)'nin geliştirdiği ters çözüm tekniği kullanılmıştır. Bu yöntemde, Green fonksiyonlarının hesaplanma şekli Kohketsu (1985), Takeo (1987), Kennet (1974, 1980) ve Bouchon (1981)'un çalışmalarında verilmektedir. Yer kabuğu modeli olarak, Kandilli Rasathanesinin deprem lokasyonu için kullandığı kabuk yapısı kullanılmıştır.



Şekil 3. Harvard Sismoloji grubu tarafından elde edilen 19.8.1999 Yalova-Çınarcık ve 31.8.1999 İzmit artçı depremlerinin faylanma mekanizmaları. Mekanizmaların üzerinde verilen rakamlar depremin oluş tarihi ve zamanını göstermektedir.

Figure 3. Focal mechanisms of the August 19, 1999 Yalova-Çınarcık and August 31, 1999 İzmit

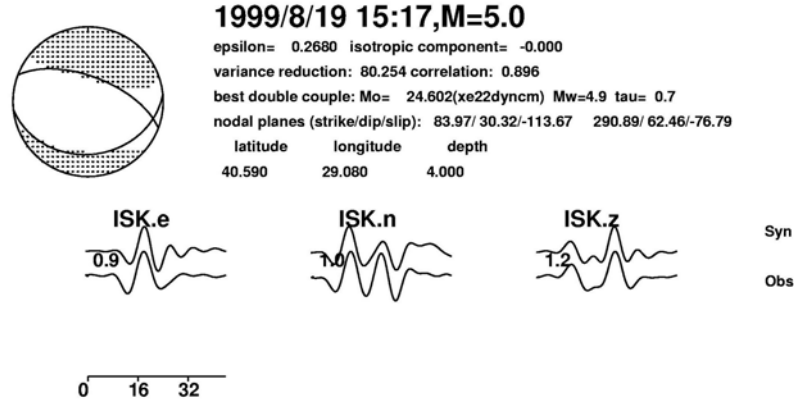
aftershocks determined by Harvard seismology group. The numbers given above the focal spheres are the origin times and dates of the events.

Şekil 4 ve 5'te aynı depremler için bizim elde ettiğimiz CMT sonuçları gösterilmektedir. Geniş bantlı lokal deprem kayıtlarından moment tensör belirlenmesi çalışmalarında en büyük engellerden biri ayrıntılı kabuk yapısının çok iyi bilinmemesidir. Ancak, Fan ve Wallace (1991)'in çalışması uzun periyodlardaki dalgaları kullanarak bu sorunun üstesinden gelinebileceğini ayrıntılı bir şekilde göstermiştir. Bu yüzden, bu çalışmada kullandığımız dalgaların periyodları 10 ile 25 saniye arasında değişmektedir. Bu tür çalışmalarda sinyal/gürültü oranı yüksek olan kayıtlar tercih edilir. Bu da yaklaşık $M > 4$ depremlerine karşılık gelir. Etki eden diğer hususlardan biride depremin hiposantır, yani depremin enlemi, boylamı ve derinliğidir. Marmara bölgesinde yer alan istasyon sayısı oldukça fazla olduğundan episantır hatalarının küçük olduğu düşünülmektedir. Lokasyonda olabilecek muhtemel hatalardan kurtulmak için yinede 3-boyutlu grid şeması kullanılabilir. Bu çerçevede, grid şemasında tarama yaparak gözlemsel ve teorik sismogramlar arasındaki en iyi uyumu veren noktayı belirlemek mümkündür. Bu çalışmada episantır sabit tutulup sadece derinlik parametresi serbest bırakılmıştır. Yani, farklı derinlikler için hesaplamalar yapılarak RMS hatasının minimum olduğu derinlik elde edilmiştir (Şekil 6).

23.03.2002 tarihinde Marmara denizinde meydana gelen ve aletimizin İ.Ü. Silivri kampüsünde elde edilen kayıtları kullanılarak hesaplanan CMT çözümü Şekil 7'de verilmektedir. Şekil 8'de bu depremin Silivri kampüsündeki kaydı görülmektedir.

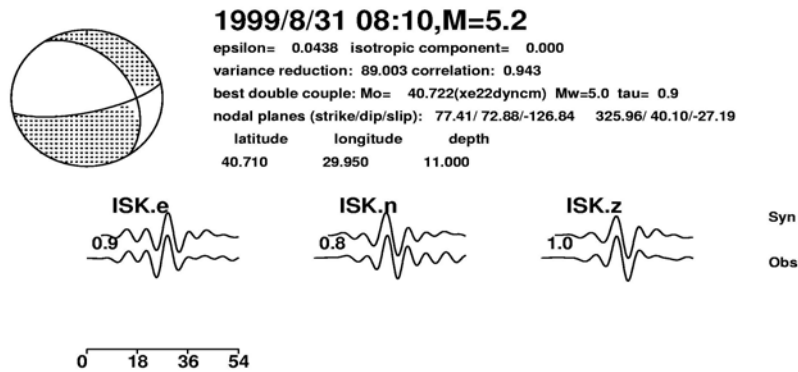
TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalıştırılması planlanan CMG40T Broadband deprem kayıtcısı için uygun bir yer tespiti amacı ile İ.Ü. Avcılar kampüsünde, İ.Ü. Beyazıt kampüsün'de, İ.Ü. Silivri kampüsün'de, Bahçeşehir Üniversitesi kampüsü'nde, Gürpınar ve Çatalca'da gürültü analizleri yapılmıştır. Bu amaçla bu noktalarda yaklaşık aynı zaman dilimlerinde gürültü kayıtları alınarak her nokta için genel bir gürültü seviyesi belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçlarımıza göre İ.Ü. Avcılar ve İ.Ü. Beyazıt kampüsünde yer alan noktalar en yüksek gürültü seviyelerine sahiptirler (8000-9000 birim). Bu noktaların yoğun çalışma bölgelerine ve trafik akışına yakın yerlerde yer almaları gürültü seviyesinin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Gürültü seviyesi düşük olan yerlerden birisi Çatalca noktasıdır. Bu noktanın sağlam kaya üzerinde yer alması gürültü seviyesinin düşük kalmasına neden olmuştur. Fakat ölçüm noktasının yakınında bulunan yol üzerinde yer alan hız kesme tümseği kayıtlarda kısa süreli piklerin oluşmasına neden



Şekil 4. 19.8.1999, 15:17 (GMT) tarihinde meydana gelen Yalova-Çınarcık artçı sarsıntısının moment tensör analizine ait sonuçlar. ISK.e, ISK.n ve ISK.z kayıtları Kandilli Rasathanesinde çalıştırılan geniş bantlı sismografin sırasıyla Doğu-Batı, Kuzey-Güney ve Düşey bileşenlerine tekabül etmektedir. Üstte yer alan sismogramlar sentetikleri, alttakiler ise gözlemselleri göstermektedir. Gözlemsel ve teorik sismogramlar arasında yer alan rakam ise sentetik ile gözlemsel sismogramların genlik oranını vermektedir. Sismogramların üzerinde sol tarafta faylanma mekanizması diyagramı ve sağ tarafta da bu diyagrama ait moment tensör parametreleri verilmektedir.

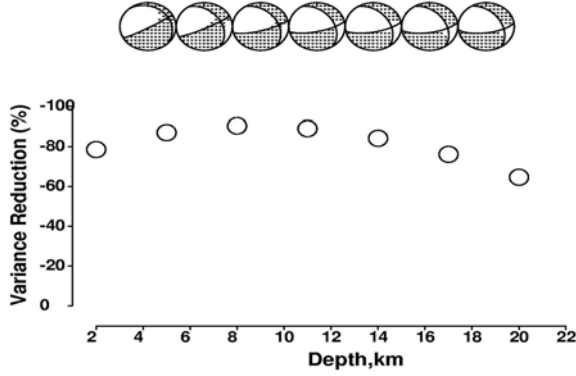
Figure 4. Moment tensor analysis results for the 19.8.1999, 15:17 (GMT) Yalova-Çınarcık aftershock. ISK.e, ISK.n, and ISK.z records are the E-W, N-S, and Z components, respectively, of the broadband station operated in Kandilli Observatory. The upper seismograms are synthetics, and the lower ones are the observed records. The number given between the seismograms is the ratio of the maximum amplitudes of synthetics to observed seismograms. The focal sphere in the upper left corner is the mechanism of the event and the numbers to the right are the parameters of the mechanism.



Şekil 5. 31.8.1999, 08:10 (GMT) tarihinde meydana gelen İzmit artçı sarsıntısının moment tensör analizine ait sonuçlar. Açıklama için Şekil 4'e bakınız.

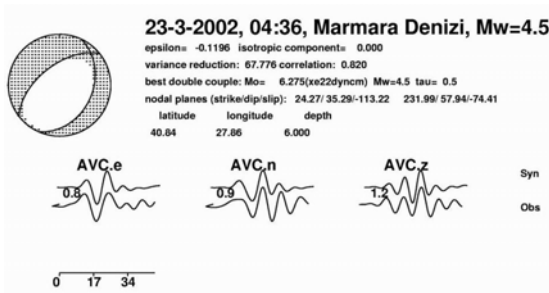
Figure 5. Moment tensor analysis results of the 31.8.1999, 08:10 (GMT) İzmit aftershock. For explanations see Fig 4.

31.08.1999, 08:10, 40.71-29.95, Mw=5.1



Şekil 6. Farklı derinlikler için gözlemsel ve teorik sismogramlar karşılaştırılarak elde edilen moment tensörler. Yatay eksen derinliği, düşey eksen ise teorik ve gözlemsel sismogramlar arasındaki uyumun ölçüsü olan varyans değerlerini göstermektedir. Varyansın 100 olması tam bir uyum ve sıfır olması hiçbir uyumun olmadığını göstermektedir. Faylanma mekanizmalarının her biri farklı bir derinliğe tekabül etmektedir.

Figure 6. Moment tensors obtained for different depths by comparison of synthetics and observed seismograms. The horizontal and vertical axes are depth and variance reductions, respectively, which is a measure of misfit between synthetics and observed seismograms. The variance reduction value is 100 for a perfect fit and 0 for no fit at all. Each focal mechanism is estimated at different depth.



İ.Ü. Mühendislik Fakültesi
Jeofizik Mühendisliği Bölümü
Silivri Deprem İstasyonu

Şekil 7. 23.3.2002 tarihinde Marmara denizinde meydana gelen depremin faylanma mekanizması.

Figure 7. A focal mechanism derived for the 23.3.2002 Marmara Sea event.

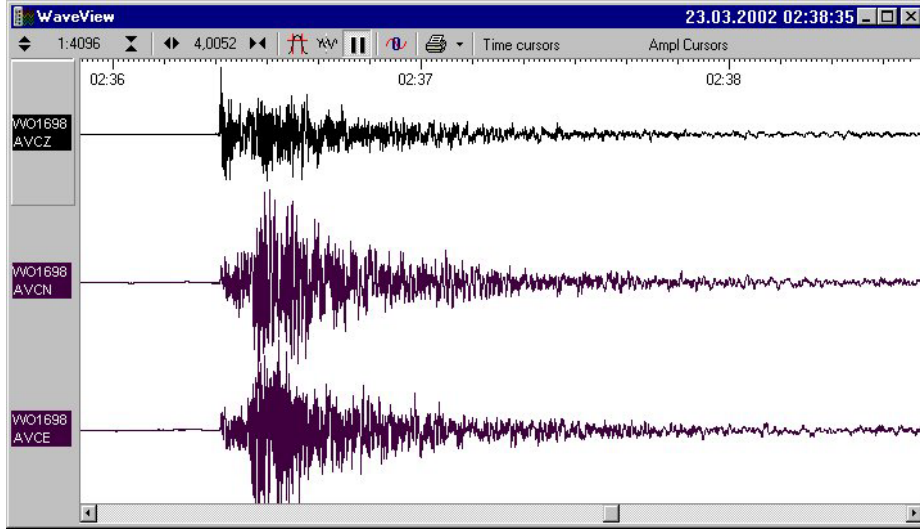
olmaktadır. İ.Ü. Silivri kampüsü en uygun istasyon yeri olarak seçilmiş ve alet bu noktada sürekli çalıştırılmaya başlanmıştır. Bu nokta, sert kumtaşı mostrası üzerinde yer almakta ve gürültü seviyesi 1000-1500 birim civarındadır.

Gürültü kayıtları alınan bazı noktalarda Nakamura Yöntemi (Nakamura, 1989) kullanılarak zemin transfer fonksiyonları hesaplanmıştır. İ.Ü. Avcılar Kampüsü içindeki noktalarda 0.5 ve 1.5 Hz civarında zemin hakim frekansları belirlenmiştir. Bu frekanslarda büyütme değerleri ana kayaya göre 2-3 katıdır. Kampüs içindeki noktalar arasında mesafelerin yakın olması nedeni ile zemin şartlarının çok farklı olmadığı düşüncesi, zemin transfer fonksiyonlarının benzer çıkması ile doğrulanmaktadır. Nakamura yöntemiyle elde edilen büyütme değerleri gerçek büyütme değerlerinin altında olmasına rağmen, Avcılar kampüsünde elde edilen 2-3 katı büyütme değerleri bu bölgenin 17.8.1999 İzmit depreminden neden çok etkilendiği sorusuna bir kaynak olabilir. Sert zeminler üzerinde yer alan Çatalca noktasında zemin büyütmeleri genelde yüksek frekanslarda, Gürpınar noktasında ise ihmal edilebilecek küçüklüktedir. Yerel zemin koşullarının kayıtlar üzerindeki etkisinin bilinmesi mühendislik çalışmalarının yanı sıra dalga şekli analizleri ile yapılacak kaynak ve soğurulma çalışmaları açısından önemlidir. Gürültü kayıtları ve Nakamura yöntemi bu konuda zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlar.

Bu istasyon kayıtları kullanılarak moment tensörleri yardımı ile Marmara ve çevresinde meydana gelen depremlerin faylanma mekanizmalarını belirlemek mümkündür. Bundan sonra, veriler sürekli aynı noktadan toplanacağı için oluşacak depremlerin CMT çözümleri yapılacak ve yeterli veri birikimi olduktan sonra sonuçları yayınlarla duyurulacaktır. İstasyon şu anda eş zamanlı çalışmamasına karşın, veriler zaman aralıkları ile internet kullanıcılarına sunulmaktadır. Ayrıca eş zamanlı çalışması için gerekli alt yapı hazırlıkları devam etmektedir.

SUMMARY

We investigated the seismic noise level in I.U. Avcılar campus, I.U. Beyazıt campus, I.U. Silivri campus, Bahçeşehir University campus, Gürpınar and Çatalca so as to find a site for a broadband seismic station that will be operated in the Department of Geophysics, Istanbul University. The lowest noise level was measured at Silivri campus which is in the range of 1000-1500 counts where we deployed the broadband equipment and commenced data collection. The maximum noise level was measured at Avcılar campus



Şekil 8. İ.Ü. Silivri kampüsünde kaydedilen 23.03.2002, 04:36, $M_w=4.5$, Marmara Denizi Depreminin üç bileşenli kaydı.

Figure 8. The 3-component seismograms of the 23.3.2002, 04:36, $M_w=4.5$ Marmara Sea earthquake recorded in I.U. Silivri campus.

in the range of 8000-9000 count. We give some results of scientific studies that can be realized using a single station 3-component waveform data, e.g., estimation of soil transfer function using the Nakamura's method, Centroid Moment Tensor (CMT) retrieval of local earthquakes. We found that maximum amplifications are shown between 0.5-2 Hz at Avcılar campus located on a stiff soil, while maximum amplifications are shown at high frequencies (4-8 Hz) in Çatalca located on hard rock.

TEŞEKKÜR

Yazarlar makale hakkında değerli görüşlerinden dolayı Prof. Dr. Haluk Eyidoğan ve Prof. Dr. Demir Kolçak'a teşekkür ederler. Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmektedir. Proje no: 1497/28082000.

KAYNAKLAR

- Alptekin, Ö. ve Yalçinkaya, E., 2001,** Deprem yer hareketine lokal jeolojinin etkisi, İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu Raporu, Proje No: 1176/070998.
- Ambraseys, N.N. and Finkel, C.F., 1991,** Long-term seismicity of Istanbul and of the Marmara Sea Region, Terra Nova, Vol. 3, 527-539.
- Ammon, C. J., 1991,** The isolation of receiver effects from teleseismic P waveforms, Bull. Seism. Soc. Am., 81, 2504-2510.

- Bonilla, F.L., Steidl, J.H., Lindley, G.T., Tumarkin, A.G., and Archuleta, R.J., 1997,** Site amplification in the San Fernando Valley, California: variability of site-effect estimation using the S-wave, coda and H/V methods, Bull. Seism. Soc. Am. 87, 710-730.
- Bouchon, M., 1981,** A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 959-971.
- Cong, L., and Mitchell, B.J., 1998,** Lg Coda Q and its relation to the Geology and Tectonics of the Middle East, PAGEOPH, 153, 563-585.
- Fan, G., and Wallace, T., 1991,** The determination of source parameters for small earthquakes from a single, very broadband seismic station, Geophys. Res. Lett., 18, 1385-1388.
- 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, Bull. Seism. Soc. Am. 85, 1127-1143.
- Jimenez, E., Cara, M., and Rouland, D., 1989,** Focal mechanisms of moderate-size earthquakes from the analysis of single-station three-component surface-wave records, Bull. Seism. Soc. Am., 79, 955-972.
- Kennet, B.L.N., 1974,** Reflections, rays and reverberations, Bull. Seism. Soc. Am., 64, 1685-1969.
- Kennet, B.L.N., 1980,** Seismic waves in a stratified half space-II. Theoretical seismograms, Geophys. J. Royal Astr. Soc., 61, 1-10.

- Kikuchi, M., and Ishida, M., 1993**, Source retrieval for deep local earthquakes with broadband records, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, 1855-1870.
- Kohketsu, K., 1985**, The extended reflectivity method for synthetic near-field seismograms, *J. Phys. Earth*, 33, 121-131.
- Kuge, K., 1999**, Automated determination of earthquake source parameters using broadband strong motion waveform data, *EOS Trans.*, 80, F661.
- Legrand, D., and Delous, B., 1999**, Determination of the fault plane using a single near-field seismic station with a finite dimension source model, *Geophys. J. Int.*, 138, 801-808.
- Legrand, D., Kaneshima, S., and Kawakatsu, H., 2000**, Moment tensor analysis of near-field broadband waveforms observed at Aso Volcano, Japan, *J. Volcanology and Geoth. Res.*, 101, 155-169.
- McClusky, S., Balassanian, A. Barka, C. Demir, S. Ergintav, I. Georgiev, O. Gurkan, M. Hamburger, K. Hurst, H. Kahle, K. Kastens, G. Kekelidze, R. King, V. Kotzev, O. Lenk, S. Mahmoud, A. Mishin, M. Nadarya, A. Ouzounis, D. Paradissis, Y. Peter, M. Prilepin, R. Reilinger, I. Sanli, H. Seeger, A. Tealeb, M. N. Toksöz, and G. Veis, 2000**, Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophys. Res.*, Vol. 105, pp. 5695- 5719.
- Nakamura, Y., 1989**, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, February, vol 30, no.1, 25-33.
- Pnar, A., Honkura, Y., and Kuge, K., 2001**, Seismic activity triggered by the 1999 Izmit earthquake and its implications for the assessment of future seismic risk, *Geophys. J. Int.* 146, F1-F7.
- Rikitake, T., 1981**, Current research in earthquake prediction, D. Reidel publishing company, Dordrecht-Boston-London,
- Seht, M.I., and Wohlenberg, J., 1999**, Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seism. Soc. Am.* 89, 250-259.
- Shomali, Z. H., and Slunga, R., 2000**, Body wave moment tensor inversion of local earthquakes: an application to the South Iceland Seismic Zone, *Geophys. J. Int.*, 140, 63-70.
- Takeo, M., 1987**, An inversion method to analyze the rupture processes of earthquakes using near-field seismograms, *Bull. Selsm. Soc. Am.*, 77, 490-513.
- Tezcan, S.S., Durgunoğlu, H.T., and Whitman, R.V., 1974**, A field survey to determine seismic parameters at Tofaş Auto Factory site, Bursa, Turkey, Internal Report No. 74-1E, Department of Civil Engineering, Boğaziçi University, Istanbul.
- Yalçinkaya, E. ve Alptekin, Ö., 1999**, A preliminary study of site effects in Gölcük-İzmit earthquake of 17 August 1999 (Mw=7.4) in Turkey, The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: preliminary results, ISBN 975-561-182-7, p.277-281.
- Yalçinkaya, E. ve Alptekin Ö., 2000a**, Zemin etkisinin Klasik Spektral Oran ve H/V Yöntemleri ile belirlenmesi, Ulusal Jeofizik Toplantısı 2000 Genişletilmiş Özetler, 23-25 Kasım 2000, MTA, Ankara, s.163-166.
- Yalçinkaya, E. ve Alptekin, Ö., 2000b**, 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depreminde zemin şartlarının yer hareketine ve hasar dağılımına etkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, 26-27 Ekim 2000, İTÜ, İstanbul, Bildiriler Kitabı.

Yayına Geliş – Recieved : 16.04.02

Yayına Kabul – Accepted : 10.03.03