

MİKROTREMOR VERİSİNİ DEĞERLENDİRMEDE ÖZEL DURUMLAR

Mehmet UTKU^{1,2}, Mustafa AKGÜN^{1,2}, Gürkan ÖZDEN^{1,3}, Mesut GÜRLER¹, Ö. Cevdet ÖZDAĞ¹

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, 35160 Buca-İzmir

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 35160 Buca-İzmir

³ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35160 Buca-İzmir

Email: mehmet.utku@deu.edu.tr

ÖZET

Nakamura tekniğiyle mikrotremor verisini değerlendirme yaklaşımı, farklı iki zeminde ele alınarak Mühendislik Sismolojisi'nde yaygın olarak kullanılan bu yöntemin kısıtları irdelendi. Tek istasyonda yatay bileşenin düşey bileşene oranına (H/V) dayanan Nakamura yaklaşımı, hem doğal zemine hem aynı zeminin sağlamlaştırılmış hâline uygulandı. Doğal zemindeki 1 istasyon ile sağlamlaştırılmış zemindeki 3 istasyonda alınan toplam 7 saatlik mikrotremor ölçümlerine göre Nakamura tekniğiyle zeminlerin ayırt edilmesi mümkün olmadı. Bu değerlendirmede, zeminler, Z4 sınıfı bulundu. 3 istasyondaki veri, ölçüm bileşenlerinin ortalama spektrumuna göre değerlendirildiğinde, Z3 sınıfından daha iyi bir zemin olduğu görüldü. Buradan hareketle, Nakamura tekniğinin dayandığı oranlama işlemi, ölçüm alanının ortalama dinamik davranışına karşılık gelmektedir. Sağlamlaştırılan bölüm ise alan içinde ortalamaya pik değer olarak etkileyen bir zemin elemanı özelliği taşıyor gibi görünmektedir. Buna göre sağlamlaştırılmış zemindeki oran, yatay ve düşey bileşenlerin yaklaşık bir c_s çarpanı ile ölçeklenmesinden ibaret olmaktadır. Modern yapılaşmanın temelini oluşturan mühendislik çalışmalarında, yöntemler kullanılırken; uygun yöntemin seçimi, kullanım koşulları, duyarlılıkları, başlangıç ve sınır koşullarının iyi bilinmesi, yapılan çalışmanın doğruluğu ve güvenilirliği yönünden çok önemli olup uygulama süreci azami dikkat gerektirmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER : Nakamura, yatay/düşey bileşen, zemin, sağlamlaştırma

1. GİRİŞ

Hasara yol açan pek çok depremde, oluşan hasarın yeryüzündeki dağılımı, düzensiz ve uzaklıkla değişen karmaşık fiziksel olayların sonucunda gerçekleşir. Yer'in heterojen yapısı ve depremin karmaşık mekanizması, bu düzensiz deprem hasarları dağılımını oluşturur. Depremler sırasında hasarı, birincil olarak oluşan depremin büyüklüğü, mekanizması, yeri ve süresi gibi faktörler etkilerken ikincil olarak depremin olduğu yerin fiziksel ve bölgesel davranış özellikleri etkiler. Yer'in oluşan deprem dalgalarını iletme karakteri, dinamik elastik özellikleri, deprem dalgalarını soğurma ve genleştirme gibi etkileri yerin bölgesel özelliklerini oluşturur ve mühendislik yapıları üzerindeki etkiyi büyük ölçüde bu özellikler yansıtır.

Zemin şartları, oluşan deprem hasarında büyük ölçüde belirleyici rol oynamaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için yapının üzerinde bulunduğu zeminin statik ve dinamik özelliklerini tanımak şarttır. Bu gerçeklerden hareketle, kurulum aşamasında olan yeni yapılaşma alanlarında zeminin dinamik özelliklerinin kestirilmesi gerekir. Bunun için en etkili yöntemler, Mühendislik Jeofiziği yöntemleridir. Mühendislik jeofiziği, hem ilgili yapının oturacağı Yer Araştırmaları'nı hem de bu yer üzerine dikilecek olan yapının Yapı Jeofiziği'ni içerir. Bu çalışmalar sırasında yapılan aletsel gözlemlerden biri mikrotremor dalgalarının kaydedilmesidir. Kuvvetli yer hareketi verilerinin olmaması veya kısıtlı sayıda olması durumunda, sismik olarak az aktif bölgeler için mikrotremor verileri, yer etkisinin belirlenmesinde büyük ölçüde çözüm getirmektedir.

Mikrotremor ölçümlerinin yapı jeofiziğinde kullanılmasındaki temel amaç, kentsel planlamada yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını yeraltında sürekli bulunan mikrotremorları inceleyerek öngörebilmektir. Bunu

gerçekleştirebilmek için mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucunda deprem sırasındaki yer davranışını tanımlamaya yönelik dinamik yer parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Bu parametrelerden başlıcaları Yer hâkim titreşimi, yer büyütmesi, bölgedeki ana kaya derinliği, yapılaşma alanındaki yer altı katmanlarının kesme dalgası hızları (v_s) ile sönüm katsayısı sayılabilir (Ergin vd., 2006). Bu çalışmada, İzmir’de yapılması planlanan yüksek katlı bir yapıya ait temel alanında yapılan proje kapsamındaki mikrotremor ölçümleri irdelenmektedir.

2. YÖNTEM

Yer etkisinin kestirilmesi amacıyla Nakamura (1989) tarafından ortaya atılan mikrotremorların tek istasyonda ölçümü yaklaşımı, Lermo ve Garcia (1994) tarafından yöntemin geçerliliği yönüyle sayısal modellemeler üzerinde irdelenmiştir. Yöntem, mikrotremorları, yarı-sonsuz uzayda uzanan tek tabakalı bir ortamda yayılan Rayleigh dalgaları yaklaşımı ile açıklamaya çalışmaktadır. Nakamura (1989), mikrotremorların derinden değil, yüzeyden ve yüzeye yakın noktalardan gelen titreşimlerden (trafik, şehir gürültüleri vb.) oluştuğunu varsaymakta ve derinden kaynaklanan katkıları ihmal etmektedir. Aynı zamanda, düşey yöndeki hareketlerin yatay tabaka tarafından büyütülmediği ve tabandaki harekete yüzeydeki bölgesel titreşimlerin etkisinin olmadığı kabulünü yapmaktadır (Lermo ve Garcia, 1994). Nakamura (1989)’a göre tek bir mikrotremor gözlem noktasındaki Yer hâkim titreşim periyodu (T_0),

$$T_0 = 2\pi/\omega_0 \quad ; \quad \omega_0 = f(\max \frac{H}{V}) \quad , \quad \mathbf{H} = H(\omega) \quad , \quad \mathbf{V} = V(\omega) \quad (1)$$

şeklinde kestirilir. (1) bağıntısında, ω , açısal frekans, H , mikrotremorların yatay bileşeni, V , mikrotremorların düşey bileşeni, ω_0 ise maksimum orana karşılık gelen açısal frekanstır. Maksimum oran, zeminin, gözlem noktasındaki yatay bileşeni, düşey bileşen cinsinden büyütme miktarıdır.

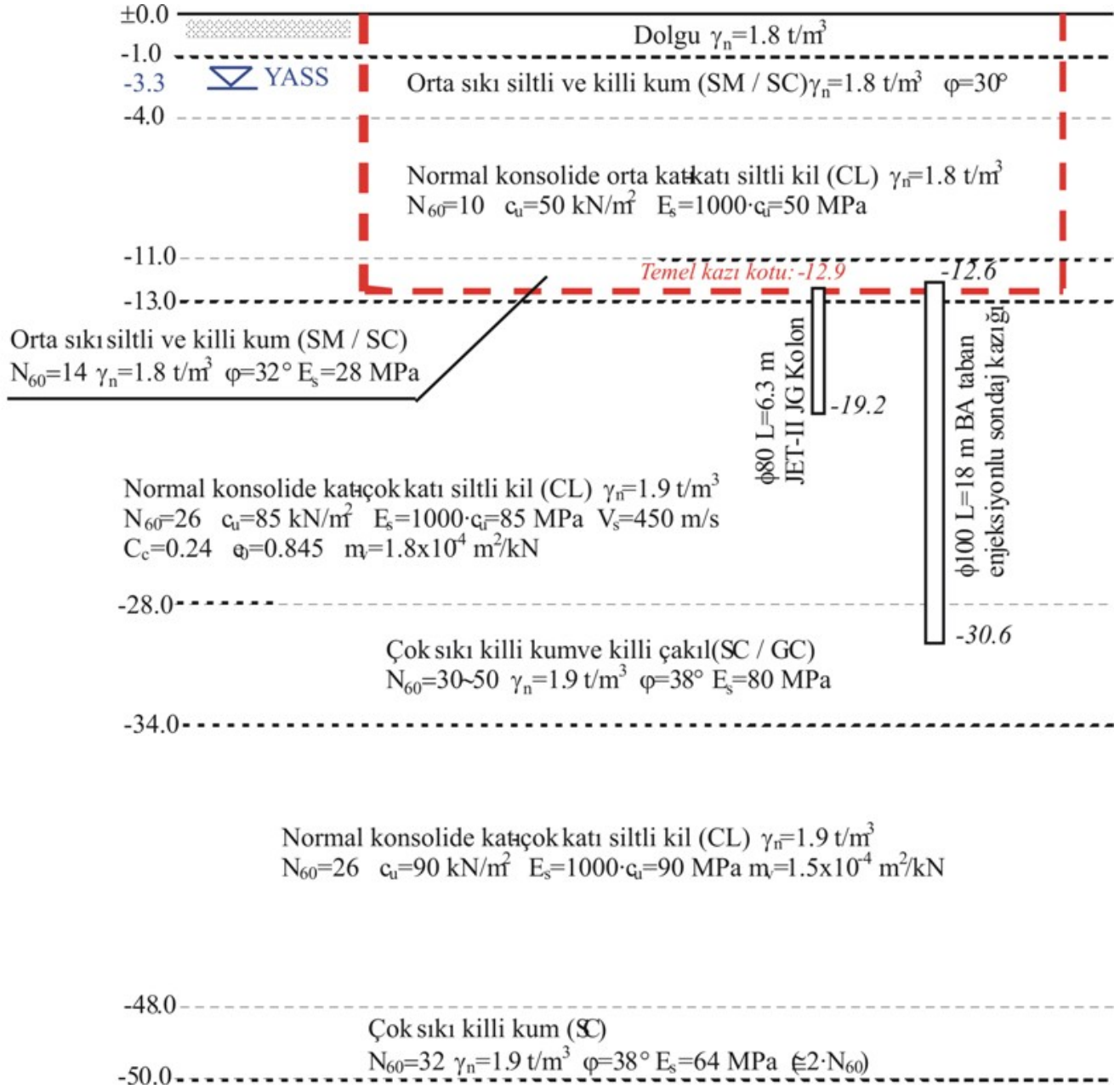
Ölçümler, tek istasyon yöntemiyle 3 bileşenli yapılmış olup alınan mikrotremor hız kayıtları, SESAME kriterleri (en az 10 pencere, pencere boyu 25-100 sn, vb.) esas alınarak, yatay ve düşey bileşenlerin oranlanmasına dayanan spektral oran yöntemiyle değerlendirilmiştir (Nakamura, 1989).

3. DOĞAL ve SAĞLAMLAŞTIRILMIŞ ZEMİNDEKİ MİKROTREMOR ÖLÇÜMLERİ

Dinamik yer parametrelerinin ve değişimlerinin kestirilmesinde mikrotremor yöntemi, arazi çalışmalarının kolaylığı ve sonuçlarının güvenilirliği ile yaygın bir kullanım alanına sahiptir. İzmir’de yapıyı projelendirilen yüksek katlı bir yapının oturacağı yer, baskın olarak suya doygun alüvyon zemin tabakalarından oluşan bir zemin profiline sahiptir. Yeraltı su seviyesi zemin yüzeyinden ortalama 3.3 m aşağıdadır. Sahada zemin yüzeyinden 1 m derinliğe kadar niteliksiz dolgu tabakası bulunmaktadır. Bu tabakanın altında yüzeye yakın seviyelerde siltli killi kum (SC/SM), daha derinlerde ise baskın olarak siltli kil ve killi çakıl tabakaları yer alır. Şekil 1, temel kazığı ve jet-grout kolonların da yer aldığı idealize zemin profilini göstermektedir. Şekil 1’deki temel taban seviyesi altında kalan zemin tabakalarının, Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007)’ne göre B-C Grubu zemin ve Z3 sınıfına girdiği görülmektedir.

3.1. Jet-Grout Kolon ile Zemin İyileştirmesi ve Temel Kazıkları

Temel projesine göre büyük kısmı ana kitle altında, kalanı ana kitleden otopark bloğuna geçiş bölümünde yer almak üzere yapı oturma alanında toplam 425 adet jet-grout kolon ve 120 adet betonarme sondaj kazığı bulunmaktadır. Jet-grout kolon çapı ve boyu sırasıyla 80 cm ve 6.30 m’dir. BA sondaj kazığı ise 100 cm çapında ve 18 m boyundadır. Kazık başlığı 70 cm olup 150 cm kalınlığındaki ana bina radyesi ile arasında herhangi bir yapısal bağlantı mevcut değildir. Dolayısıyla üst yapıdan temel kazıklarına devirici moment aktarılmayacak, kazıklar başlık seviyesinde deprem kesme kuvveti alacaktır. Zemin profilinde temel taban altında yer alması muhtemel siltli-killi kumun sıvılaşma potansiyelini düşürmek ve temel kazısı sonrasında yumuşaması muhtemel



Şekil 1. Yüksek katlı yapının oturacağı zemine ait temel kazığı ve jet-grout kolonların da yer aldığı idealize zemin profili.

zemin tabakalarını iyileştirmek amacıyla, projede, jet-grout kolonlar kullanılmıştır. Betonarme sondaj kazıklarının temel oturmasını sınırlandırmak ve taşıma kapasitesi güvenliğini sağlamayı hedeflemektedir.

3.2. Mikrotremör Ölçümleri

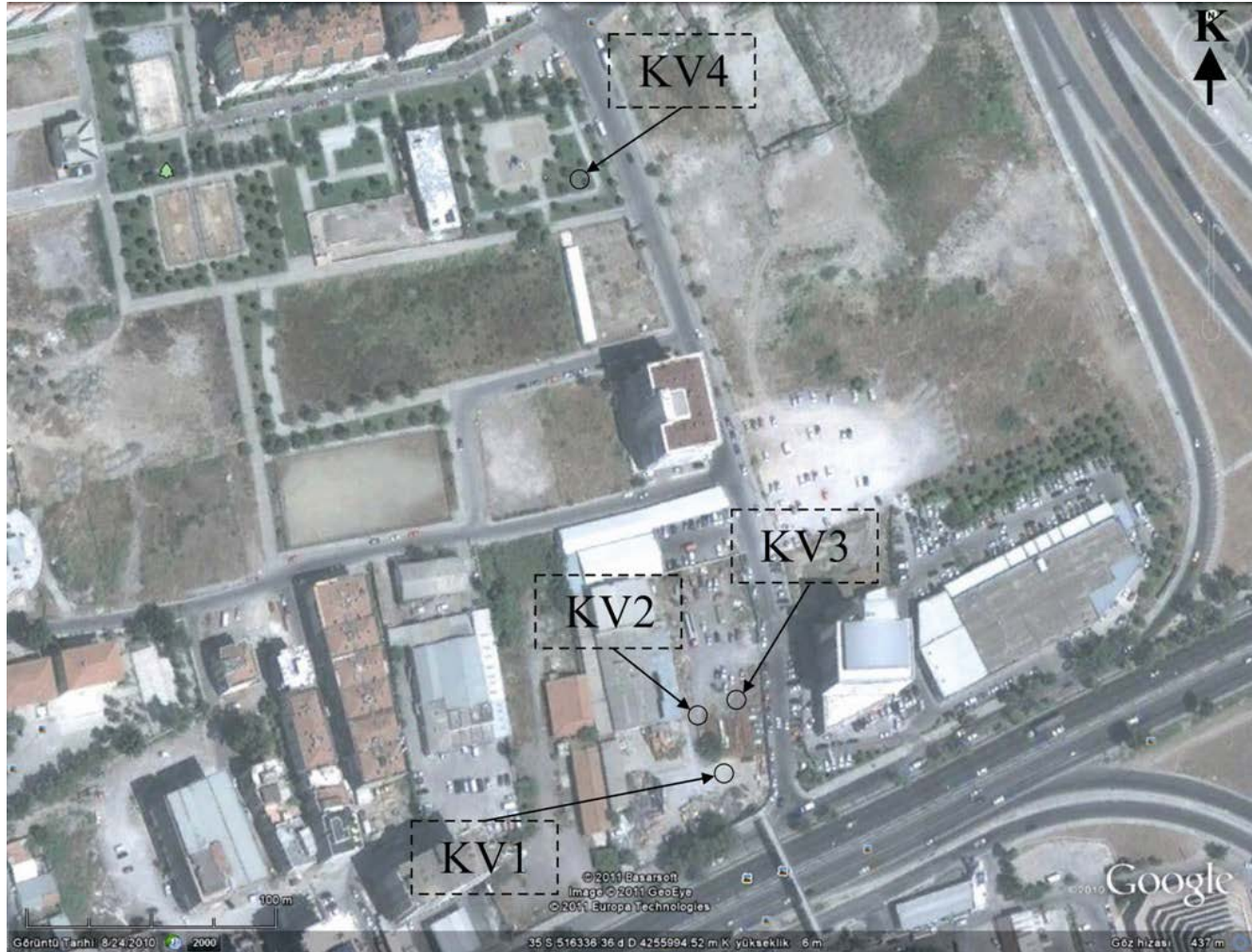
Nakamura Yöntemi'nde zemin tabakalarının yatay ve taban kayasının zemin yüzeyine nispeten yakın bir derinlikte olması mikrotremör ölçümlerinin sağlıklı yorumlanması açısından aranan koşullardır. Bunların yanı

sıra sismik sinyalin düşey bileşen genliğinin değişmediği ve taban kayasından zemin yüzeyine kadar düşey bileşende büyütme olmadığı kabul edilir. Çalışma alanında taban kayası, 200-300 m olup oldukça derindir. Bu nedenle verilerin Nakamura tekniği ile yorumlanması için gerekli olan makaslama dalgaları arasında kontrast bulunan tabaka koşulu sağlanamamaktadır.

Mikrotremör ölçümleri, 21.04.2011 tarihinde saat 03:00 ile 05:00 arasında 4 noktada alınmıştır. Şekil 2, proje alanındaki mikrotremör ölçüm noktalarını göstermektedir. KV1, KV2, KV3 noktaları yapı oturma alanında temel çukuru içinde, KV4 ise serbest zemin yüzeyini temsil etmek üzere yakındaki bir yeşil alanda yer almaktadır, dolayısıyla doğal zemini temsil etmektedir.

Ölçümler, Güralp yapımı 3 bileşenli CMG 6TD mikrotremör hızölçerler kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm saati, trafik gürültüsü etkisini gidermek için seçilmiş olup rüzgâr ve benzeri etkiler için ise gereken önlemler alınmıştır. Şekil-3, ölçümler sırasındaki çalışma alanından görüntüleri göstermektedir.

Ölçü parametreleri olarak kayıt uzunluğu ortalama 45-60 dakika, örnekleme aralığı 100 Hertz seçilmiştir. SESAMA kriterlerinin kullanıldığı değerlendirme sırasında veriye pencereleme, süzgeçleme, yönseme giderme,

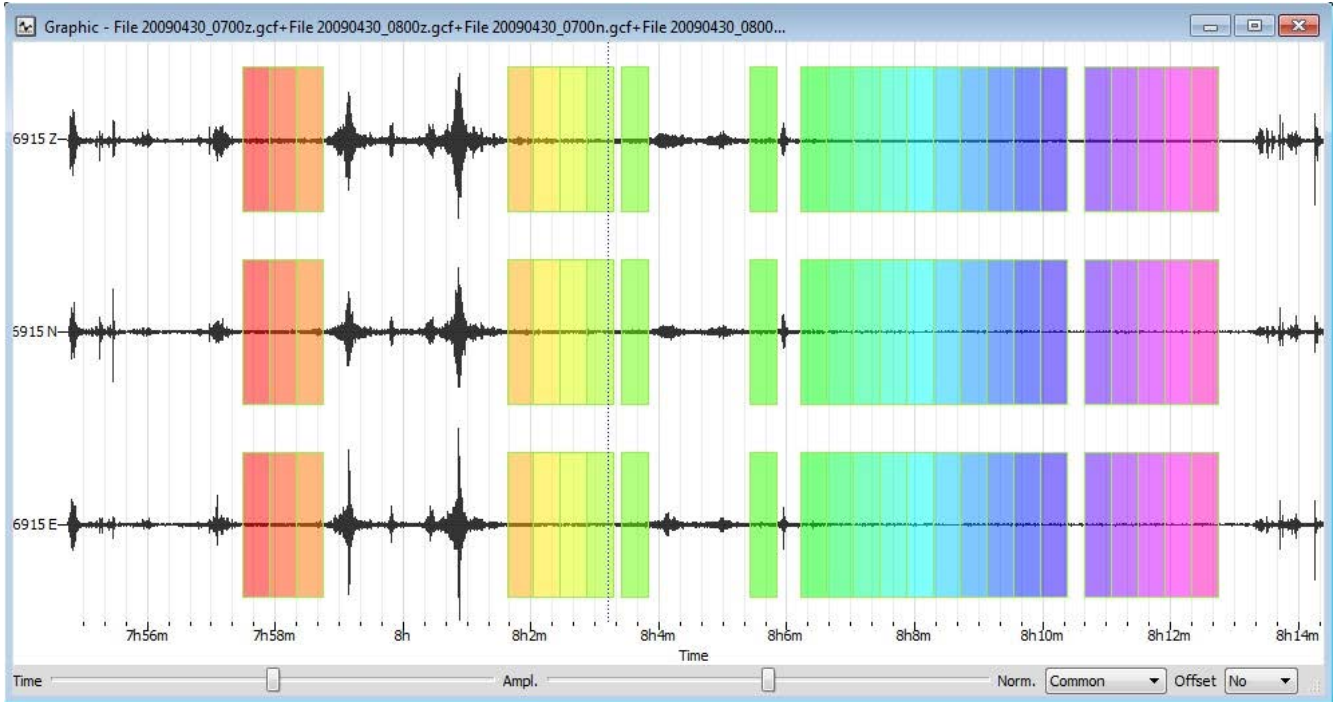


Şekil 2. Proje alanı ve mikrotremör ölçüm noktaları. KV1, KV2, KV3 yapı oturma alanındaki, KV4 ise doğal zemindeki noktalar.



Şekil 3. Mikrotremor ölçümleri sırasındaki çalışma alanından görüntüler.

spektrum hesaplama gibi temel işlemler uygulanarak, mikrotremorların kuzey-güney (K-G), doğu-batı (D-B) ve düşey (V) bileşenlerinin spektrumları ile bu bileşenlere ait H/V oranları hesaplanmıştır. Spektrumlar, Hızlı Fourier Dönüşümü ile alınmıştır. Gözlem noktalarında kaydedilen verilerden karakteristik bir örnek, Şekil 4’de verilmektedir. Şekil 4, doğal zemindeki ölçü noktasına (KV4) ait mikrotremor verisini ve seçilen pencereleri



Şekil 4. KV4 mikrotremor ölçü noktasında kaydedilen veri ve seçilen pencereler.

göstermektedir.

KV4 ölçü noktasına ait ortalama spektrumlar incelendiğinde, bunların biçimsel olarak genelde saçılmış bir spektrum karakteri arz ettiği görülmektedir. Şekil 5, KV4 ölçü noktasına ait mikrotremor bileşenlerinin (K-G, D-B, V) ortalama spektrumları ile H/V spektrumunu gösterir. Yatay ve düşey bileşenlere ait spektrumlarda ölçülen hâkim titreşim periyodu 0.9-1.0 sn mertebesindedir. Düşey bileşende ise saçılma belirgindir. H/V spektrumuna göre zeminin hâkim periyodu, 1.64 sn'dir. Gülerce (2002) tarafından bölgede doğal zeminde yapılan mikrotremor ölçümlerinde hâkim zemin periyodu 1.0 sn mertebesinde kestirilmiştir. Zemin iyileştirme amaçlı jet-grout kolon imalatı ile temel kazıklarının yapıldığı yapı oturma alanında alınan KV1, KV2 ve KV3 noktalarındaki ölçümlerden elde edilen ortalama spektrumlar ise her 3 nokta için birbirine benzer bulunmaktadır. Bunlardan karakteristik bir örnek olarak seçilen KV2 ölçü noktasına ait mikrotremor bileşenlerinin (K-G, D-B, V) ortalama spektrumları ile H/V spektrumu, Şekil 6'da verilmektedir. Şekil 6'dan görüldüğü gibi yatay (D-B, K-G) ve düşey bileşenlerin hâkim periyotları 0.3-0.35 sn aralığındadır. H/V spektrumlarında ise zemin hâkim periyodu 1.59 sn olarak kestirilirken, yatay ve düşey bileşenlere ait spektrumlar incelendiğinde, bunlardaki pik spektral değerlerin dar bir aralığa toplandığı, spektrum şeklinin ve genliğinin doğal zemine nazaran belirgin olarak farklılık gösterdiği izlenmektedir. Buradan hareketle KV1, KV2 ve KV3 noktalarındaki sismik bileşenlerin hâkim periyotlarının jet-grout kolon ve kazıklı temel imalatına ait hâkim periyodu yansıttığı kanaati oluşmaktadır. Özellikle spektrum genlikleri arasındaki 15-20 kat fark, bu görüşü güçlendirmektedir

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

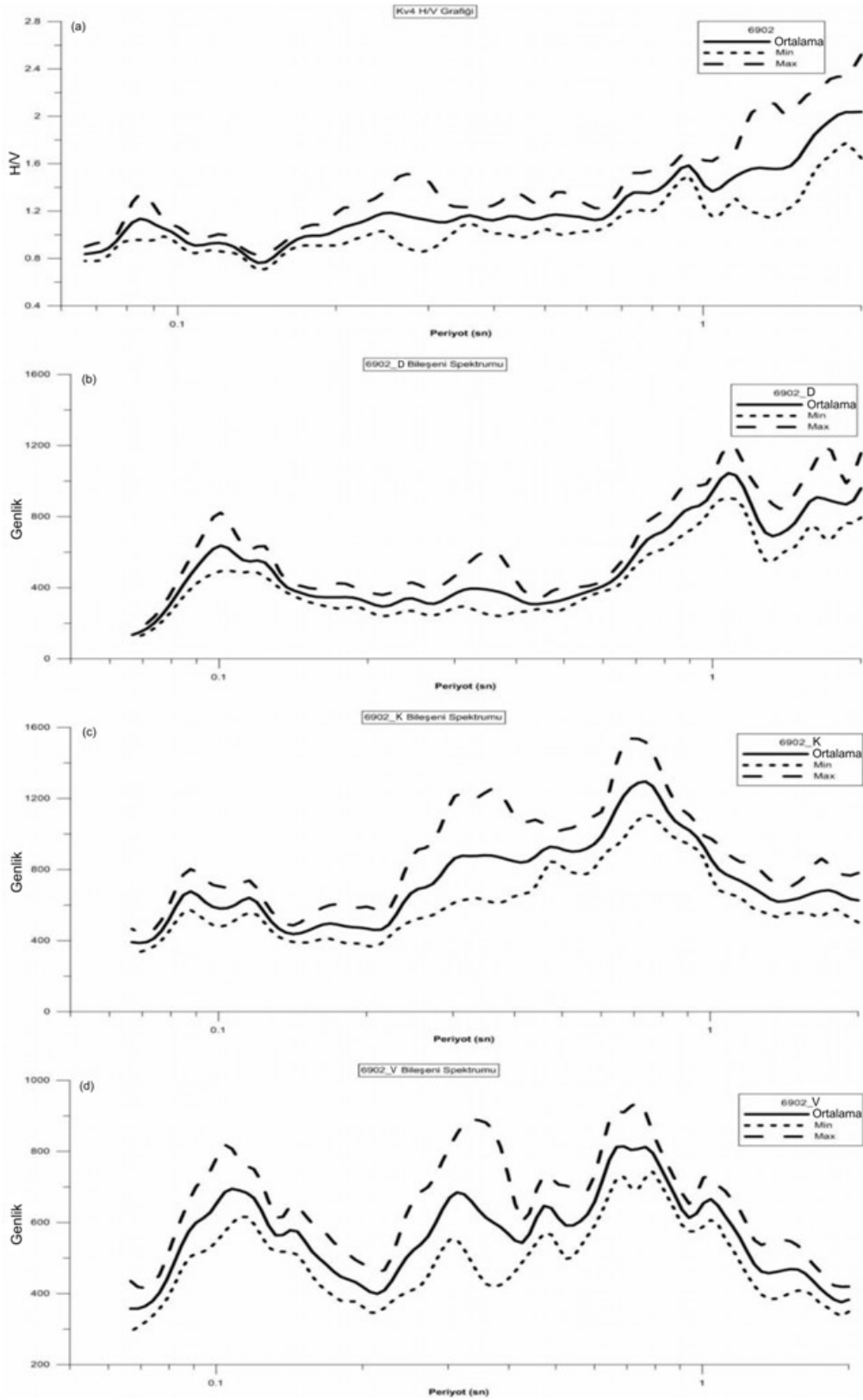
Bu çalışmada, İzmir'de inşaatı söz konusu iş merkezi oturma alanındaki dinamik doğal zemin davranışı ile jet-grout kolon ile iyileştirilmiş zemin davranışı, mikrotremör ölçümleriyle incelenmiştir. Doğal ve sağlamlaştırılmış zeminlere ait olan Şekil 5a ile Şekil 6a karşılaştırdıklarında, zemindeki iyileşme ile ilgili belirgin bir değişimin olmadığı görülmektedir. Şekil 5b,c,d ile Şekil 6b,c,d karşılaştırdıklarında ise K-G, D-B ve V bileşeni davranışlarında hâkim frekansın yükseldiği belirgin şekilde görülmektedir. Gerek doğal gerekse sağlamlaştırılmış zeminde yapılan tekrarlanan ölçümlerde de bu durumun değişmediği elde edilen veri ile sabittir.

O halde, H/V tekniği, gözlem noktasındaki lokal-ortalama bir davranışı temsil etmektedir. Bir başka deyişle, yerel (local) ortamın ortalama dinamik özelliklerini sergilemektedir. Bu ortam, gözlem noktası civarındaki karakteristik zemin dinamik özelliklerinin ilk değiştiği ya da yeni özellik kazandığı yatay ve düşey doğrultudaki sınırlarla çevrili Yerkabuğu yüzeyine en yakın hacimdir (V_z). Düşey sınır, hâkim frekansın (f_0) karakterize edildiği derinliktir. O da kayma dalgası hızının (v_s), $1/(4f_0)$ ile ölçeklendiği derinliktir. Şekil 6a ile Şekil 5a'ya benzemesi, bu sonucun bir göstergesidir.

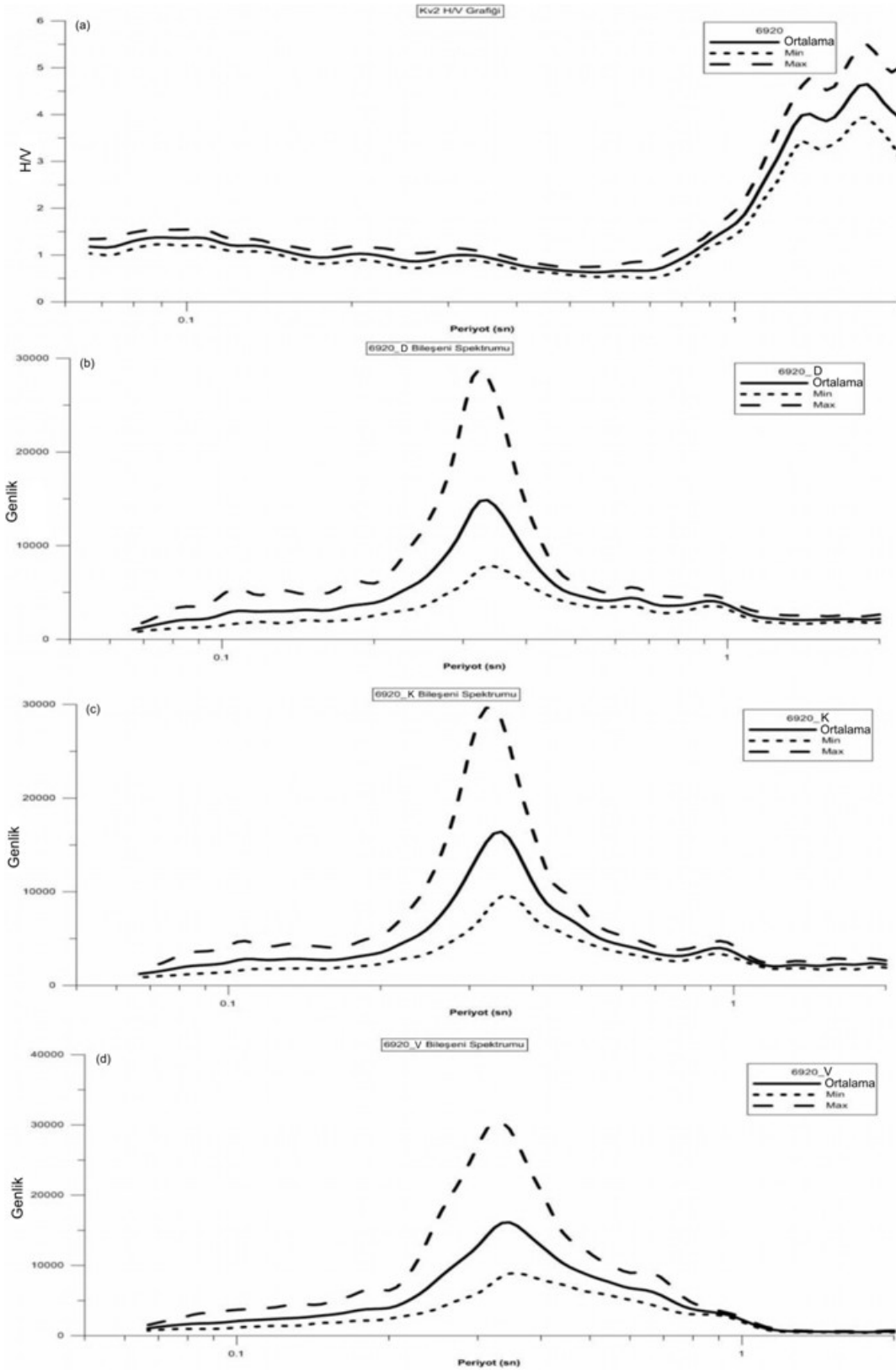
V_z hacmi içinde yer alan ve jet-grout uygulama ile oluşturulan ve birer yapay zemin olan sağlamlaştırılmış hacimler (V_{sub}) ise –ki bunlar 80 cm çaplı 6.3 m boyunda silindirik biçimli düşey sütunlardır- V_z hacmi içindeki elementer zemin hacimleridir. Bunlar üzerindeki ölçü noktaları (KV1, KV2, KV3) da spesifik noktalardır. Bir diğer deyişle, V_{sub} , V_z içinde hacim olarak H/V bakımından ihmal edilebilir nokta gibi kalmaktadır. Dolayısıyla, H/V değerleri, duyarlı kalamamaktadır. Çünkü, oranlama işlemi ile yatay bileşen (H), düşey bileşen (V) cinsinden ifade edilmektedir. Sağlamlaştırılan alan ise dinamik parametrelerde bir çarpan (c_s) etkisi göstermektedir. Böylece, doğal ve sağlamlaştırılmış zemindeki H/V oranları,

$$\frac{H_0}{V_0} \cong \frac{H_s}{V_s} \cong \frac{c_s^H H_0}{c_s^V V_0} \quad ; \quad c_s^H \cong c_s^V = c_s \quad , \quad 0 < c_s < 1 \quad (2)$$

şeklinde olup sağlamlaştırılmış zemindeki oran ise yatay ve düşey bileşenlerin yaklaşık bir c_s çarpanı ile ölçeklenmesinden ibaret olmaktadır. (2) eşitliğindeki 0 ve s alt indisleri, sırasıyla doğal ve sağlamlaştırılmış zeminlere ait bileşenleri gösterir. c_s^H ve c_s^V ise sırasıyla yatay ve düşey bileşenlere ait sağlamlaştırma



Şekil 5. KV4 mikrotremor ölçü noktasına ait bileşenlerin (K-G, D-B, V) ortalama spektrumları ve H/V spektrumu. Kesik çizgiler, standart sapmanın alt ve üst sınırlarını gösterir.



Şekil 6. KV2 mikrotremor ölçü noktasına ait bileşenlerin (K-G, D-B, V) ortalama spektrumları ve H/V spektrumu. Kesik çizgiler, standart sapmanın alt ve üst sınırlarını gösterir.

çarpanlarıdır. H/V tekniğinde oranlama yapıldığı için sağlamlaştırılmış zeminde oranlama işlemi ile bu ölçekleme ~ 1 olmaktadır. Çünkü, c_s ölçeği, doğal olarak yatay ve düşey bileşenler için birbirine yaklaşık eşittir. Bu küçük farktan dolayıdır ki muhtemelen Şekil 5a ile Şekil 6a eşit olamamakta, ancak birbirine yakın olmaktadır. (2) eşitliği, sağlamlaştırılmış zeminde Nakamura (1989) tekniğinin teorisinden uzaklaşıldığını göstermektedir. En azından düşey bileşenin de etkilendiği ve bunun bastırılma şeklinde gerçekleştiği görülmektedir.

Dolayısıyla, sağlamlaştırılmış yapay ortamlarda H/V oranlarına değil, doğrudan, bileşen (K-G, D-B) değerlerindeki değişime bakmak gerekir. Farklı ortamlarda yapılacak yeni ölçümlerle, konu, incelenmeye ve sınanmaya devam edilmelidir.

Buradan hareketle, sözkonusu yapıyla ilgili şu bulgular sıralanabilir:

- 1) Ana kitle (yüksek yapı) temel sistemi, 1.5 m kalınlığında radye temel ile bunun altında 70 cm kalınlığında kazık başlığı ve 100 cm çapında betonarme sondaj kazıklarından oluşmaktadır. BA kazıkların boyu 18.0 m olup kazık aralarında yapılan 80 cm çapında jet-grout kolonlar ile sistemin tamamı kazıklı radye temel olarak çalışacaktır. Kazıklı radye temel ile üst yapı arasında yapısal bağlantı mevcut değildir. Üst yapı temeli kaymaya ve dönmeye karşı serbest bırakılmıştır.
- 2) Sahadaki taban kayasının olası derinliği 200-300 m arasında değişmektedir.
- 3) Nakamura tekniğine göre taban kayası ile zemin yüzeyi arasındaki zemin profilinin hâkim periyodu 1.0-1.6 sn aralığında kestirilebilmiştir. Ortalama değer olarak, 1.3 sn'dir.
- 4) Mikrotremör ölçüm sonuçları mevcut deprem yönetmeliğine göre doğrudan zemin sınıfının belirlenmesinde kullanılamaz.
- 5) Jet-grout kolon yapılarak iyileştirilmiş ve aynı zamanda betonarme kazık uygulanmış zemin bölgesinin hâkim periyodu 0.3-0.35 sn aralığında kestirilmektedir. Henüz kazık başlığı yapılmadan elde edilen bu değere göre, iyileştirilmiş kısım ve imal edilmiş olan yapısal elemanlar, zemin profilinin global hâkim periyodundan farklı bir periyoda sahiptir. Olası bir tasarım depremi sırasında kazıklı radye temel üst yapıya etki edecek deprem hareketini değiştirecektir. Bu anlamda, temel sistemi ile doğal zeminin hâkim periyotları birbirinden ayrılmış olup yüksek periyotlu harmoniklerin üst yapıya olan etkisi azaltılmaktadır.

Yukarıda değinilen hususlar dikkate alındığında, üst yapı tasarımına esas tasarım tepki spektrumu periyot sınır değerleri ile genliğinin Z4 sınıfına göre alınması ve yüksek yapılar yönetmeliğine göre yüksek yapı sınıfına giren ana kitlenin Z3 zemin sınıfı yerine Z4 sınıfına göre projelendirilmesi yerinde ve güvenlidir.

KAYNAKLAR

- DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Resmî Gazete: 06/03/2007, sayı 26454, Değişiklik: 03/05/2007, sayı 26511.
- Ercan, A. (2001). Afet Bölgelerinde Yer Araştırma Yöntemleri, *JFMO Yayınları*, İstanbul, 1. baskı, 339 sayfa.
- Ergin, B., Ercan, Ö.A., Utku, M. (2006). Antik Galata'nın (İstanbul) Dirik Davranışı, *Türkiye 17. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi*, Genişletilmiş Özetler, CD-ROM (E:\Data\htms\1B-1.pdf, 4 sayfa), Mühendislik-Çevre ve İnşaat-Yapı Jeofiziği Oturumları, sayfa 75-78, 14-17 Kasım 2006, MTA Kültür Sitesi, Ankara.
- Gülerce, Ü. (2002). İzmir İlindeki Zemin Hâkim Periyodu ve Zemin Büyütmesi Değişiminin Mikrotremör Ölçümleri ile Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



Lermo, J., Garcia, F.J. (1994). Are Microtremors useful In Site Response Evaluation? Bulletin of The Sesimological Society of America **84:5**, 1350-1364.

Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimations of subsurface using microtremors on the ground subsurface. *Quarterly Report of RTRI, Jpn.* **30:1**, 25-33.

SESAME (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation. http://sesame-fp5.obs.ujf%1Egrenoble.fr/Delivrables/Del%1ED23%1EHV_User_Guidelines.pdf, 62 p.