



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2009, Volume: 4, Number: 3, Article Number: 1A0041

ENGINEERING SCIENCES

Received: December 2008
Accepted: June 2009
Series : 1A
ISSN : 1308-7231
© 2009 www.newwsa.com

Savaş Karabulut

Oğuz Özel

Ferhat Özçep

Istanbul University
savask@istanbul.edu.tr
Istanbul-Turkey

DEPREM TEHDİDİ ALTINDAKİ MÜHENDİSLİK YAPILARININ HAKİM TİTREŞİM PERİYOTLARININ BELİRLENMESİNDE YENİ BİR SEÇENEK: MİKROTREMOR YÖNTEMİ VE ÖRNEK UYGULAMASI

ÖZET

Özellikle kentsel yerleşim alanları içinde zeminlerin hakim titreşim frekanslarını belirleyebilmek için mikrotremor, yatay/düşey spektral oran tekniği sıklıkla kullanılmaktadır. İstanbul ili Avcılar ilçesi sınırlarında yer alan Avcılar Kampüsü Mühendislik Fakültesi Binası içinde yapının titreşim frekansını belirleyebilmek ve zemin-yapı etkileşiminin ortaya konulması amacıyla bir dizi mikrotremor ölçümü alınmıştır. Eğer böyle bir etkileşim olursa depremle birlikte artan yapısal tepkiden dolayı hasar büyüyecektir. 17 Ağustos 1999 İzmit depreminden (Mw:7.4) sonra, mühendislik fakültesi binası güçlendirme ve tamirat sürecine girmiş ve böylelikle binanın hakim titreşim periyodu değişmiştir. Bina içinde katlarda ve bina dışında uygun bir referans noktasında alınan kayıtlarla fakülte binasının salınım periyodu yatay/düşey spektral oran tekniği ile belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin-Yapı Etkileşimi, Mikrotremor, Nakamura Tekniği, Titreşim Frekansı, İstanbul Üniversitesi

NEW METHOD TO DETERMINATION OF FUNDAMENTAL FREQUENCY OF ENGINEERING STRUCTURES AGAINST EARTHQUAKE HAZARD: MICROTREMOR METHODS AND CASE STUDY

ABSTRACT

The microtremor horizontal-to-vertical spectral ratio (H/V) technique is widely used in urban environment to assess the fundamental frequency response of the ground. Damages may increase in case of an earthquake due to an increased structural response of the building. After the August 17, 1999 Izmit earthquake (Mw:7.4), building of the faculty of engineering was strengthening and repairmen, its frequency of vibration change. Analysis of the ratio between the horizontal and vertical components of the spectra recorded at station located inside the buildings as well as the ratio between the corresponding components of the spectra recorded non-simultaneously inside the building and at a reference station place in the basements of the faculty of engineering.

Keywords: Soil-Structure Interaction, Microtremor, Nakamura's Technique, Frequency of Vibration, İstanbul University



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Özellikle kentsel yerleşim alanları içinde zeminlerin hakim titreşim frekanslarını belirleyebilmek için mikrotremor, yatay/düşey spektral oran tekniği sıklıkla kullanılmaktadır. Mikrobölgeleme çalışmaları içinde mikrotremor ölçümlerinin kullanımına ait yapılmış oldukça çok sayıda yayın mevcut olmasına karşın, bu ölçümler kullanarak zemin-yapı etkileşiminin boyutlarını ortaya koymada oldukça az sayıda çalışma yapılmış ve depremlerden sonra hasar gören mühendislik yapılarının davranışları ortaya koymada oldukça eksik kalmıştır. Tüm bu sözü edilenler ışığında, İstanbul ili Avcılar ilçesi sınırlarında yer alan Avcılar Kampüsü Mühendislik Fakültesi Binası içinde yapının titreşim frekansını belirleyebilmek ve zemin-yapı etkileşiminin ortaya konulması amacıyla bir dizi mikrotremor ölçümü alınmıştır. Eğer böyle bir etkileşim olursa depremle birlikte artan yapısal tepkiden dolayı hasar büyüyecektir. 17 Ağustos 1999 İzmit depreminden (Mw: 7.4) sonra, mühendislik fakültesi binası güçlendirme ve tamirat sürecine girmiş ve böylelikle binanın hakim titreşim periyodu değişmiştir. Bina içinde katlarda ve bina dışında uygun bir referans noktasında alınan kayıtlarla fakülte binasının hakim periyodu yatay/düşey spektral oran tekniği ile belirlenmiştir.

İstanbul ili Avcılar ilçesi sınırları içerisinde yer alan İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü içindeki Mühendislik Fakültesi binası, Kuzey'de Küçükçekmece Gölü ve Güneyinde ise Marmara Denizi ile komşudur (Şekil 1). 17 Ağustos 1999 (Mw: 7.4) depremi sırasında, bu deprem dış merkez uzaklığı (episantral) olarak yaklaşık 100 km uzaklıkta oluşmasına rağmen, Avcılar'da yerel zemin problemlerinden dolayı yapıların çökmesi, çeşitli düzeylerde hasara uğraması ve yüzlerce insanın hayatını kaybetmesine neden olmuştur. Bu depremin dış merkezine daha yakın alanlarda ise zarar ve hasar çok daha az olmasına karşın, en büyük hasar depreme görece olarak uzak alan kabul edebileceğimiz Avcılar ilçesinde görülmüştür. Avcılar ilçesindeki zararın ve hasarın nedenleri üzerine birçok çalışma yapılmış ve araştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda zararın/hasarın en önemli nedenleri olarak; bölgesel heyelanların aktivitesi, zemin yapı etkileşimden kaynaklı rezonans olayı ve deprem dalgalarının değişik nedenlerden (örneğin odaklanma etkisi, yayılım yolu 'path' etkisi gibi) kaynaklı genliklerinde meydana gelen büyümeler düşünülmektedir (Karabulut, 2007).

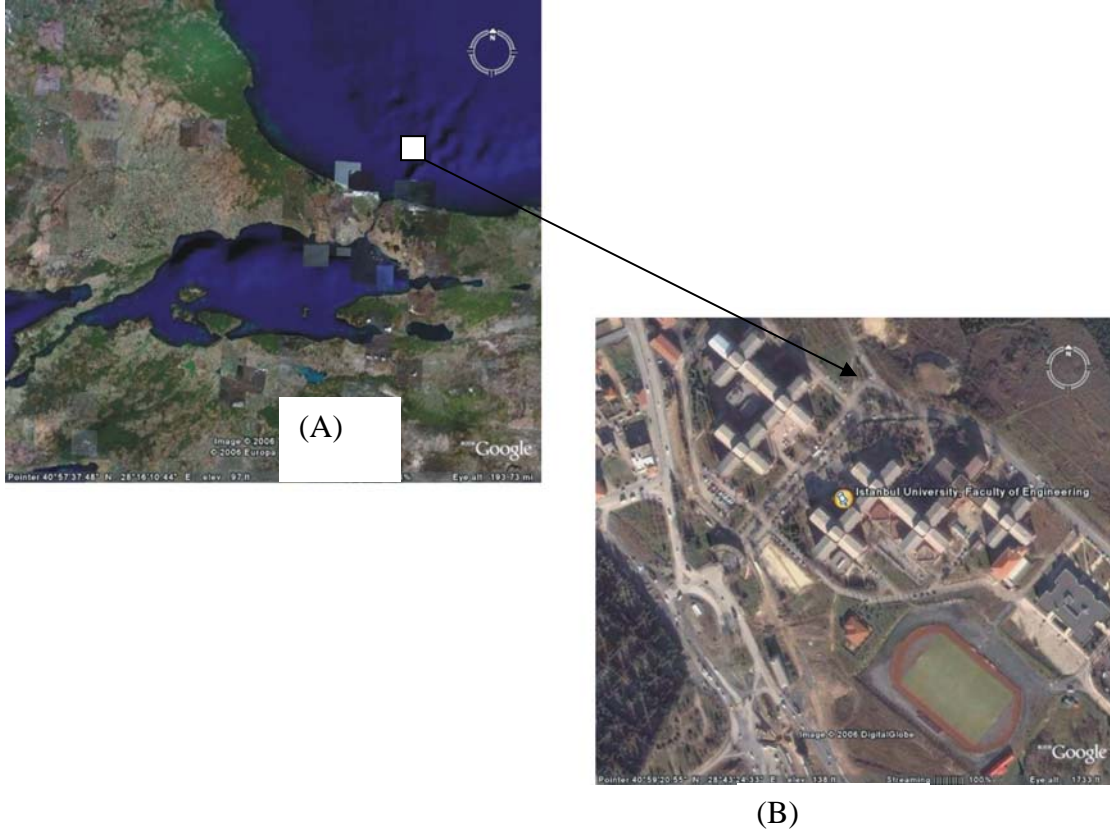
Büyük depremlerden sonra hasar/zarar gören alanlara ait bölgenin topoğrafik durumu, zeminin geoteknik özellikleri ve yerel zemin durumu ile mühendislik yapıları arasındaki ilişkinin durumu ortaya çıkarılmaya çalışılır. Bu çalışmalara paralel olarak, depremlerden sonra hasar gören mühendislik yapılarının davranışları ortaya koyma yönünde çalışmalar yapılır [1, 2, 3 ve 4]. Bu çalışmalar başlangıçta, yerel zemin durumu (site effect) ile yer hareketinin karakteri (ground-motion characteristics) arasındaki ilişkinin kestirilmesi sürecidir. Özellikle yapı kalitesi ve inşaa süreçlerindeki eksiklikler düşünüldüğünde gözlenen yapısal hasarların bölgesel dağılımı ile yerel zemin etkisi arasında ilişkinin boyutunu incelemek bazen güç bir hal alır. Mikrobölgeleme çalışmalarında veya yerleşime açılacak alanlarda yerel "zemin tepkisi" konusu oldukça önemli olmakla birlikte, tekil yapı/bina bazında da bina-zemin-deprem ilişkisinin kurulması açısından gereklidir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, amaç Avcılar ilçesi içinde Kampüs alanını içinde zemine yönelik çalışma ile başlayarak deprem-zemin-yapı etkisini "Mühendislik Fakültesi Bina"sı örneğinde aydınlatılmaya çalışmaktır. Bu amaçla, mikrotremor ölçümleri ile hem zeminin ve hem de mühendislik



yapısının titreşim periyodunu belirlemek amacıyla bir dizi ölçüm alınmıştır. Ölçümler fakülte'de final döneminden sonra ve akşam saatlerinde alınmış ve insan kaynaklı gürültüler elimine edilmeye çalışılmıştır. Ortalama 30 dakika süreli bina içinde Bodrum, 1. ve 3. kat ve referans istasyonu olarak ve zemin-yapı ilişkisinde zemine ait titreşim periyodunu belirlemek amacıyla 4 noktada ölçüm alınmıştır. Bu çalışma kapsamında daha önceden yapılan bu çalışmalar da göz önüne alınarak zeminin tepkisi yorumlanmış ve zemin-yapı etkileşimi aydınlatılmaya çalışılmıştır.



Şekil 1. (A) İstanbul Üniversitesi Avcılar kampusu ve (B) Fakülte binasını gösterir haritalar
Figure 1. (A) Istanbul university, avcilar campus map and (B) Faculty building

3. MÜHENDİSLİK YAPILARIN TİTREŞİM PERİYOTLARINI BELİRLEMEDE MİKROTREMORLARIN KULLANIMI (DETERMINATION OF FUNDAMENTAL FREQUENCY OF ENGINEERING STRUCTURES BY USING MICROTREMOR)

Herhangi bir yer hareketi anında depremin neden olduğu etki nedeniyle oluşan zeminin hakim titreşim periyodu ile mühendislik yapılarının (Konut türü yapılar, köprü-viyadükler, Baraj, Hastaneler tarihsel yapılar: Surlar, Camiler vb.) doğal/öz titreşim periyodu çakıştığında (rezonans durumu) en büyük hasarın meydana geldiği çeşitli örnekleriyle çarpıcı biçimde görülmektedir (Mexico-City depremi (1985), İzmit Depremi (1999) Avcılar vb). Bundan dolayı ülkemiz gibi deprem etkisi altında bulunan bütün bölgelerdeki mühendislik yapıların titreşim periyotlarının kestirilmesi-belirlenmesi ve zeminle dinamik ilişkisinin kurulması hayati öneme sahip konulardan biri belki de en önemlisidir.

Deprem dalgalarının hangi frekans aralığında mühendislik yapısının oturduğu zemine girerek bina-zemin etkileşimine neden olduğu



(büyütme, rezonans) kestirmek amacıyla eş zamanlı mikrotremor ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Teorik hesaplamalar her ne kadar kaba bir kestirim vermiş olsalar da özellikle yüksek katlı veya önemli yapıların mikrotremor ölçümleriyle titreşim periyotlarının bulunması son yıllarda oldukça kullanılan bir yöntem olmaktadır. Bu ölçümler alındığında olası bir deprem sırasında (Özellikle Marmara Denizinde muhtemel kırılacak faylar düşünüldüğünde) bu etkiden kaynaklı zararlar minimum seviyeye çekilmiş olacak ve mühendislik yapılarının deprem-zemin etkilerine tepkilerinden kaynaklı büyütme ortadan kaldırılmış olacaktır. Mühendislik Yapılarının hakim periyotlarının değerlendirme de birçok sayısal teknik olmasına karşın oldukça karmaşıktır. Bununla birlikte, mikrotremor ölçümleri ile düşük deformasyon düzeyinde mühendislik yapılarının titreşim periyotları iki farklı yöntem ile kolaylıkla belirlenebilir. Bu teknikler, bina içinde iki farklı katta alınan ölçümlerin yatay ve dikey bileşen spektrum oranları bir diğeri ise; bina dışında bina etkilerini içermeyecek bir istasyon ile içeride yer alan bir istasyonunun uygun bileşenleri arasındaki referans istasyonu oranlarıdır. Kullanıcı bu iki yöntemden birini seçerek daha az alet donanımı ile de bu işi yapıp mühendislik yapısının titreşim frekansında gürültü rolü oynayan zeminin titreşim periyodu etkisini çıkarıp yapıya ait spektrumun karakterini inceleyebilir. Ya da bu teknik sonlu eleman analizleri ile de yapılabilir.

Bu konuya baz teşkil etmesi açısından Almanya'nın Köln şehrinde böyle bir çalışma yapılmıştır. Kısaca bu çalışma'ya değinilecek olursa; Köln şehri 'de İstanbul kadar olmasa da önemli bir deprem tehlikesi ile sürekli karşı karşıyadır. Avrupa şiddet ölçeğine göre bu bölge 50 yıl içinde 6 veya 7 büyüklüğünde bir deprem için aşılma olasılığı %10 dolaylarındadır [5]. Almanya'nın doğal zararları azaltmak için kurmuş olduğu araştırma merkezince üç önemli ve karmaşık yapıların (Köprüler, Katedraller, Hastaneler vb) titreşim periyotları değişik projelerle mikrotremor ölçümleri ile değerlendirilmiştir [3, 4 ve 6]. Holwiede Hastanesinde yapılan çalışma incelendiğinde, Hastanenin olduğu şehir Köln şehir merkezinin Kuzey-Doğusunda yer almaktadır. Hastane bölge açısından oldukça önemli bir yapı olup 491 yatak kapasitesine, oldukça modern alet donanımı ve ekipmana sahiptir. 11 katlı olup 1972 yılında DIN 4149 (1957 yılı standartlarına) göre inşa edilmiştir. Binanın taban planı 100.8 x15.3 m² olup iki bağlantı noktasına göre inşa edilmiştir. Bölge zemin olarak çok genç birimler sahip; kum, çakıl ve killerden oluşmakta ve deprem sırasında zemine giren deprem dalgalarını oldukça büyütmektedir. Bu özelliğiyle İstanbul'un Marmara denizinden kuzey yönüne doğru gidildiğinde yaklaşık 10 km kuzeye kadar tüm alanda özellikleri bu bölgeye benzemektedir. Zemin kalınlığı doğu'da anakaya'dan itibaren batı-güneybatı'ya doğru 300 m doğru artmaktadır. Bu çalışmadan önce bölgede 400 noktada tek istasyon mikrotremor ölçümü alınmış ve bölgenin zemine ait titreşim periyot haritası çıkartılmıştır. Yapılan bu çalışmada yukarıda sözü edilen her iki teknik kullanılmıştır.

Ölçümler için Mark L-4C-3D sensör (0,025 sn-1 sn) ile RefTek_72A kayıtçısıyla alınmış ve veri işleme tabi tutulmuştur. Sonuç olarak Uygun bileşenlere karşılık gelen, ortalama Referans İstasyonu ve ortalama Yatay\Düsey Spektral oranları elde edilmiştir.

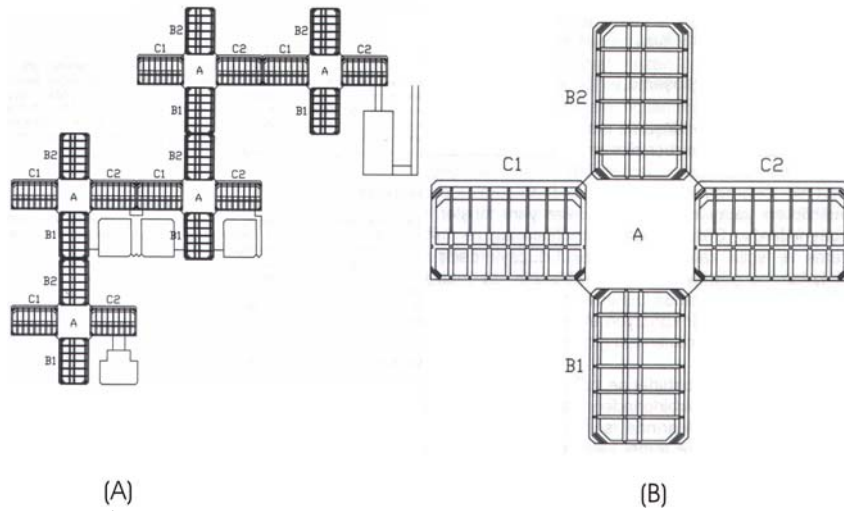
Yapılan son çalışmalarda Yatay/Düsey Spektral oranlarına göre mühendislik yapılarının hakim titreşim frekanslarının ve alçak katlı küçük yapıların orta katlarında meydana gelen kaymanın (inter-storey drift) bu teknik ile belirlenip belirlenemeyeceği test edilmeye çalışılmıştır [1 ve 2]. Aynı zamanda bu teknik çok katlı ve oldukça karmaşık bir projesi olan yapılarda da test edilmiştir. İlk aşamada hastanenin farklı modlardaki titreşim frekansını değerlendirme de iki yatay bileşen için ayrı ayrı yatay\düsey oranlarını hesaplanmıştır. Bu



teknik bir zorluğu da gözlemsel verilerle veya yapay simülasyonlar ile de desteklenmesinin oldukça zor olmasıdır [7]. Bundan dolayı ikincil bir teknik olan referans istasyon tekniği [8] ek olarak değerlendirme de kullanılmıştır. Bu teknik genel olarak zayıf ve kuvvetli hareket kayıtlarından yapı yeri tepkisini (site effect) kestirmede ve sıklıkla binaların çevresel gürültü testlerini hesaplamada kullanılmaktadır. Bu mühendislik yapısı için bu teknik şu şekilde kullanılmıştır. Bir tane hastane içinde bir diğeri de yaklaşık olarak hastanenin 200 m güney batısında yer alan bir referans istasyonunda (zemin de kurulu) alınan eş zamanlı mikrotremor ölçümünün Kuzey-Güney (KG) ve Doğu-Batı (DB) bileşenleri arasındaki oran alınarak yapının titreşim periyodu belirlenmeye çalışılmıştır. Tüm bu değerlendirmeler incelendiğinde genel olarak; mühendislik yapıları içinde daha yüksek katlarda alınan ölçümlerde, titreşim frekansları daha belirgin olmakta ve büyütme değerleri artan frekans ile azalmaktadır. Yatay\Düşey oran tekniği genel olarak zemin ve yapının titreşim periyodundan kaynaklı etkileşimi belirleme de oldukça güvenlidir. Fakat bu teknik ile birkaç farklı pik elde edildiği düşünüldüğünde, spektral oran tekniği ile bu piklerden hangisinin yapıya ait olduğu kolaylıkla ayırt edilebilir. Yapılan bu çalışmadan elde edilen pikler incelendiğinde yapının titreşim periyodu 5.4 Hz olarak belirlenmiş ve olası deprem sırasında zemin-yapı etkileşim durumu incelenmiş ve rezonans olayının muhtemel olmadığı belirtilmiştir.

4. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASININ YAPISAL ÖZELLİKLERİ (STRUCTURAL PROPERTIES OF ENGINEERING FACULTY BUILDING)




İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Binası 1970'li yıllarda inşa edilmiştir. Mühendislik Fakültesi 5 ana bloktan oluşmaktadır. Binalar 3 farklı tip geometriye sahiptir. Her ana blok kendi içerisinde projede A, B ve C olarak isimlendirilen bloklardan oluşmaktadır. Ana bloklar bir adet A iki adet B ve iki adet C bloğunu içermektedir. İkişer adet olan B blokları kendi içlerinde B1 ve B2, C blokları da kendi içlerinde C1 ve C2 olarak isimlendirilmektedir. Fakülte genelinde beş (5) ana blok olmak üzere toplam yirmi (20) adet blok mevcuttur. Şekil 2a'da Fakülte ve Meslek Yüksek Okulu blokları görülmektedir. Şekil 2b'de ise Mühendislik Fakültesi Ana Bloğu görülmektedir. B blokları kısa kenar boyunca üç (3) uzun kenar boyunca 6 açıklıktan oluşmaktadır. C bloklarında ise kısa kenar boyunca iki (2) uzun kenar boyunca sekiz (8) açıklık vardır. Bloklar depremden önce inşaat halinde iken uzun süre bekletilmesi yani kaba inşaatın uzun sürmesi ile dış etkenlere karşı savunmasız kalmış olması nedeniyle korozyon etkisine maruz kalmışlardır. 17 Ağustos depremi sonrasında mevcut kolonlar kabuk betonlarının kısmen attığı bölme duvarlarının kısmen çatladığı ve de özellikle dış kolonlarda deprem öncesinde var olan çatlakların deprem sonrasında da artarak devam ettiği gözlenmiştir. Söz konusu deprem ile birlikte mevcut korozyon hasarının ne derece ilerlemiş olduğu ve bu hasarın olumsuz etkileri bir kez daha açığa çıkmıştır [9].



Şekil 2. (A) İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Bloklarının Genel Görünümü,
(B) Mühendislik Fakültesi Ana Bloğu
Figure 2. (A) General view of buildings of engineering faculty of I.U.
(B) Main block of engineering faculty

5. ZEMİN ÖZELLİKLERİ (SOIL PROPERTIES)

Bölgenin genel jeolojisine bakıldığında, İstanbul fragmanı olarak isimlendirilen zonun anakaya birimi Paleozoyik yaşlı birimlerdir. Üstte Eosen-Oligosen ve Oligosen-Miyosen geçişleri görülür. En üstte ise Kuvaterner yaşlı Alüvyonlar mevcuttur. Avcılar İlçesinde üstte Miyosen Yaşlı Bakırköy kireçtaşları daha alt birim Oligosen yaşlı Gürpınar Formasyonuna ait Killer mevcuttur. Şekil 3'de bölgenin zemin durumu verilmiştir.

Üst Sistem	Sütun Kesit	Formasyon	Litoloji
KUVATERNER Holosen		Dolgu, Yamaç molozu (D_y, D₁, Q_m)	Kiremit parçalı blok, çakıl, kum, kil karışımı (D _y) Sıkıştırılmış dolgu malzemesi (D _s)
		Alüvyon (Q_a)	Çakıl, kum, silt, kil karışımından oluşan akarsu çökelleri
SENEZOKİT Üst Miyosen		Bakırköy Fm. (M₂)	Beyaz-krem renkli, Mam ve karbonatça zengin yeşilimsi renklere kil ara seviyeleri içeren yer yer bol fosilli, yer yer kıl ve tobeyimsi, dayanımsız KİREÇTAŞI
		Güngören Fm. (M₁)	Koyu yeşilimsi gri renklere, yer yer mam ve kum ara seviye veya mercerleri içeren KİL. Bazı kesimlerde karbonat konkresyonları ve kavrı kırmızın içeren; yer yer siyah renkli organik seviyeler. Bakırköy Formasyonuna geçiş zonlarında bej renkli yağlı kil-silt-silttaş ve mam araseviyeli
		Çukurçeşme Fm. (M₃)	Sarımsı gri renkli, yer yer çakılı ve çapraz tabakalı, bol mikali, siltli ince KUM; yer yer kumlu silt ve silt seviyeleri ile kil ara seviye veya mercerleri
Oligosen		Gürpınar Fm. (O₁)	Koyu nefli-gri yer yer bej- kahverengi renkli, laminali kat-sert kil-silttaş, yer yer organik seviyeler,

Şekil 3. Avcılar'da zemin durumunu gösterir düşey kesit [10]
Figure 3. Vertical cross-section of soil stratigraphy in Avcılar [10]



5. MİKROTREMOR ÖLÇÜMLERİYLE HAKİM PERİYOT BELİRLENMESİ (DETERMINATION OF SOIL FUNDAMENTAL PERIOD WITH MICROTREMOR MEASUREMENTS)

Nakamura (1989), [11] tarafından önerilen yöntemine göre, bir zeminin (yada mühendislik yapısının) hakim titreşim periyodu; inceleme noktasında zaman ortamında üç bileşenli (KG, DB ve Düşey) olarak kaydedilen bir mikrotremor kaydının spektral ortama (frekans yada periyot) aktarılarak, bu ortamdaki yatay ve düşey bileşenlerin birbirine oranından yararlanılarak belirlenebilmektedir. Bu yöntem literatürde tek istasyon yöntemi olarak da bilinmektedir. Bu yaklaşım doğrusal olmayan (non-linear) etkilerin görülmediği bölgelerde (düşük deformasyon düzeyinde) oldukça etkin ve hızlı bir yöntem olmaktadır. Özellikle kısa süreli ölçüm alabilme, ucuzluğu ve istasyon kurulmasının kolaylığından dolayı oldukça hızlı veri toplayabilmek gibi kolaylıklarda günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem kullanılarak zeminlerin titreşim periyotlarını belirlemeye yönelik birçok çalışma mevcuttur [12]. Ancak tek istasyon yönteminin zemin büyütmesinin değerlendirilmesinde doğru sonuçlar vermediği ise birçok yayında ifade edilmektedir [8]. Genel olarak zeminlerde hakim titreşim periyotlarını belirlemede iyi sonuçlar vermesine karşı kayalarda (Kayma dalga hızı V_s : 740 m/sn) uygun pik görülememektedir. Çünkü f_0 : zemin hakim titreşim frekansı; zeminin kalınlığına kayma dalgası hızına bağlı olarak $f_0 = V_s/4h$ şeklinde verilmektedir.

5.1. Nakamura Yönteminin Uygulamaları (Application of Nakamura's Method)

14 Haziran 2007 tarihinde İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası içinde Güralp CMG 40T sismometresi ile (düz tepkisi 0,033-50 Hz) yapının ağırlık merkezinin olduğu alanda 3 ölçüm yapı içinde 1 ölçüm ise referans istasyonunda alınmıştır. Ölçümler final dönemlerinden sonra akşam saatlerinde ve ortalama 30 dakika süreyle alınmıştır. Bina içinde alınan ölçümler bodrum, 1. kat ve 3. katta alınmıştır. Binaya ait diğer özellikler yukarıda verilmiştir. Ölçümler C1 ve C2 veya B1 ve B2 arasında kalan alanda ve C bloğunun önünde alınmıştır (Şekil 2). Referans istasyonu olarak seçilen alan binanın 50 m güneyindedir. Sinyaller 100 Hz lik örnekleme aralığı ile örneklendirilmiştir. Her bir gürültü kaydı önce 0.1-15 Hz arasında Butterworth Band-geçişli filtre (1. dereceden) ile filtrelenmiş sonra 20 saniyelik pencere ile pencerelenmiş ve Fourier spektrumları alınmıştır. 40 sn'lik Konno-Ohmachi penceresi kullanılarak %10 cosinus tapering ile düzleştirilmiştir.

Kayıtlarda güç kaynağı olarak 12V pil kullanılmıştır. Arazide kayıtlar doğrudan dizüstü bilgisayar bağlantısı ile sayısal olarak alınmıştır. Ölçümler Scream! 4.3 programıyla sayısal olarak kaydedilmiş ve SAC formatına dönüştürülmüştür. Verileri değerlendirmek için Avrupa Birliği Komisyonu fonu ile üretilmiş Geopsy (Geopsy Program) adlı program kullanılmıştır.

Daha önce değinildiği gibi, tek istasyon kayıtları ile büyütmenin pek güvenilir sonuçlar vermediği literatürde tartışılmakla beraber, hakim titreşim periyotları oldukça güvenilirdir. Kayıtların alınması sürecinde veri kalitesi bilgisayar üzerinde sürekli gözlenerek ve böylece gürültü içeriği göz önüne alınarak yeterli sürede kayıt alınması sağlanmıştır. Doğal olarak gürültünün fazla olduğu alanlarda alınan ölçülerin süresi sakin alanlara göre daha fazladır.

Mikrotremorların kaynakları çeşitli yapay ve doğal gürültüler olmasına rağmen, ölçüm alınan bölgenin bu gürültülerden (kaynağın büyüklüğüne ve özelliklerine bağlı olarak) yeterince uzak olmaması durumunda bu etkenler kaynak oluşturmak yerine ölçümlerde bozucu



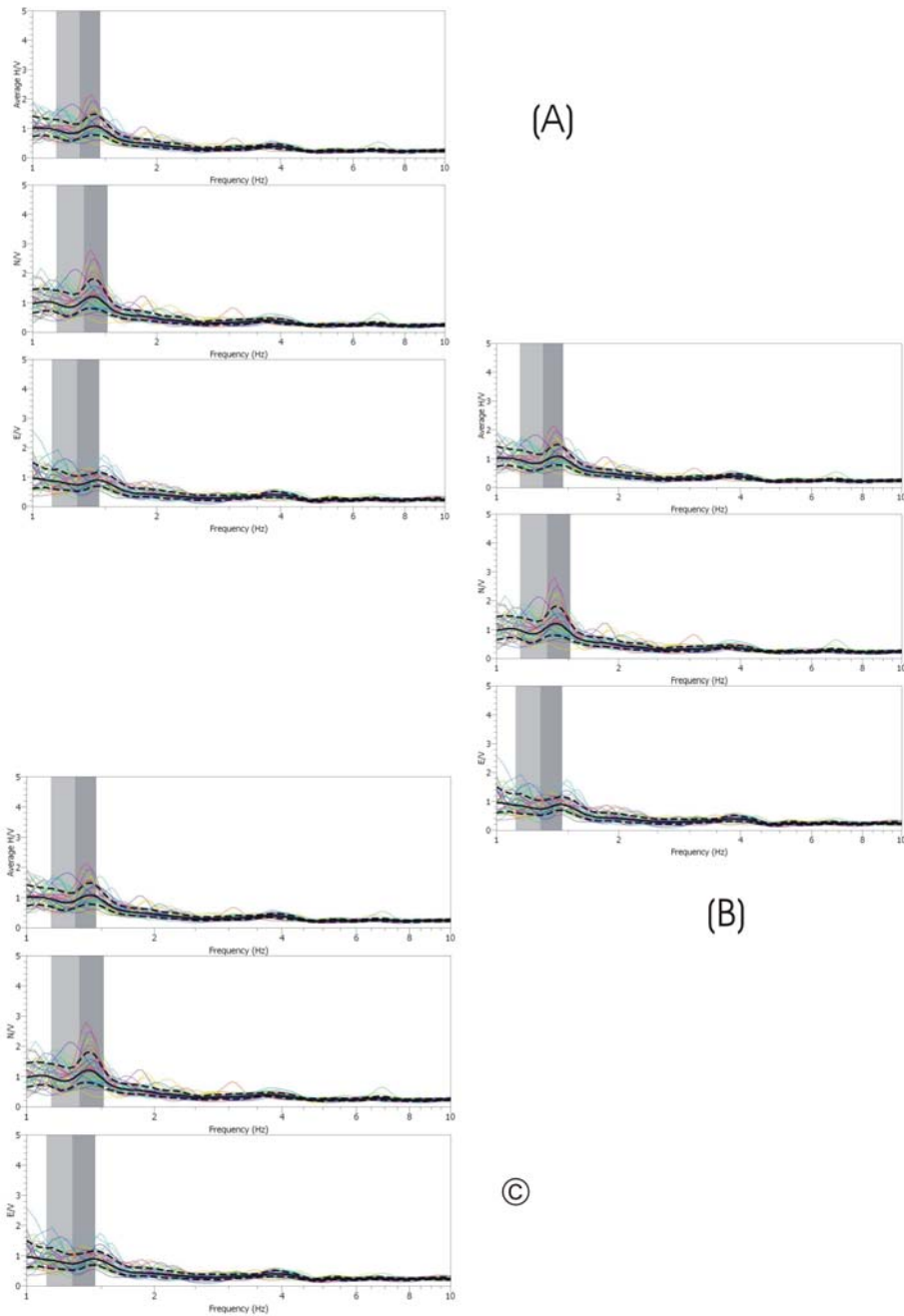
etkilere neden olmaktadır. Böylesi bir durumda alınacak kayıtlar zeminin veya mühendislik yapısının özelliklerini yansıtmak yerine, kaynağın özelliklerini yansıtacaktır.

Mikrotremor ölçümlerinden zaman ortamında elde edilen üç bileşen kayıtları spektral analiz ile frekans ortamına aktarılıp spektral oranları alındığında, sismometrenin üzerinde bulunduğu zeminin fiziksel özelliklerini yansıtan parametreler (hakim periyot ve büyüme) belirlenmektedir.

5.2. Veri İşlem (Data Processing)

Şekil 2'de de görülebileceği gibi Mühendislik Fakültesi Binası 3 ayrı yapının birleşmesiyle: 1 Bodrum, 1 Zemin ve 3 Kattan oluşmuş 5 katlı bir yapıdır. Toplam 5 blok birbirine bağlanmıştır. Mikrotremor ölçümleri bina içinde; Bodrum, 1 kat ve en üst katta olmak üzere ortalama 30 dakika süreyle alınmıştır. Ayrıca bir ölçüm ise binanın dışında referans istasyonu olarak seçilmiş ve yine aynı süreli ölçüm alınmış ve değerlendirilmiştir. Katlara ve Referans istasyonuna ait Yatay\Düşey (Horizontal\Vertical) spektral oranı (H\V), Kuzey\Düşey; North\Vertical (N\V) ve East-Vertical; Doğu\Düşey (E\V) bileşenleri sırasıyla Şekil 4a Bodrum. Şekil 4b. 1. kat ve Şekil 4c en üst katta olmak üzere verilmiştir. Bina içinde alınan mikrotremor ölçümleri incelendiğinde; 1. kat ve 3.kat Yatay\Düşey (Y\D) spektral oranlarında 1.4 Hz ve 4 Hz'de iki ayrı pik elde edilmiştir. Ayrıca 0.25 Hz' de başka bir pik görülmektedir. Bu pik yapının titreşim periyodu dışında kaldığından değerlendirme dışında bırakılmıştır. Kuzey\Düşey (K\D: N\V) ve Doğu\Düşey (D\D:E\V) pikleri her kat için ayrı ayrı incelendiğinde; 1. kat içinde alınan ölçümlerden elde edilen K\D spektrumdan iki pik görülmektedir. Fakat 4 Hz lik pikin genliği hem 1.7 Hz lik pikten hem de Y\D spektral oranlarından daha büyüktür. 3. kat için ise ayrıca 7 Hz'de üçüncü bir pik görülmektedir. 4 Hz için bulunan pikin genliği ise 6 birimdir. Doğu\Düşey (E\V) bileşenlerine bakıldığında 1. kat için; 1.5 Hz ve 4.2 Hz ve 3.kat için 4.2 Hz de bir pik bulunmuştur. Genlik seviyeleri ise K\D spektral oranlarından düşüktür.

Bina içinde bodrum katta (şekil 4a) alınan ölçümler incelendiğinde sadece 1.4 Hz de bir pik görülmektedir. Bu pik Fakülte binasının dışından alınan ölçüm ile karşılaştırıldığında aynı frekansta fakat farklı genlik seviyesinde bir pik olduğu görülmüştür. Bu da bize mühendislik fakültesi binasının oturduğu zeminin 1.4 Hz (yani 0.71 sn)'de olduğu. 4 Hz'de bulunan pikin ise mühendislik fakültesi binasının titreşim periyodunu yansıtan pik olduğunu şeklinde yorumlanmıştır.

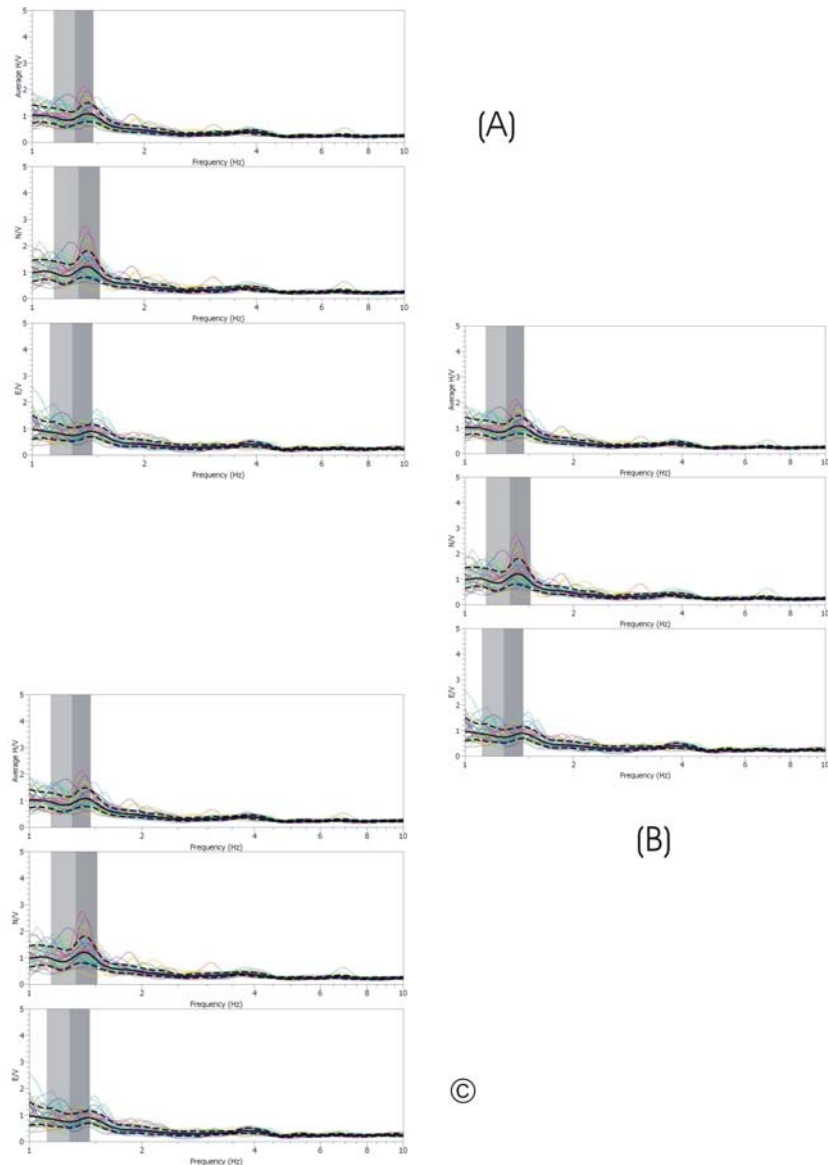


Şekil 4. A) Bodrum kata ait Yatay\Düşey oranı (H\V), Kuzey\Düşey (N\V) ve Doğu\Düşey (E\V) bileşenleri sırasıyla verilmiştir(X:1-10 Hz Y:0-5). B) 1 kata ait Yatay\Düşey oranı (H\V), Kuzey\Düşey (N\V) ve Doğu\Düşey (E\V) bileşenleri sırasıyla verilmiştir (X:1-10 Hz Y:0-5). C) En üst kata ait Yatay\Düşey oranı (H\V), Kuzey\Düşey (N\V) ve Doğu\Düşey (E\V) bileşenleri sırasıyla verilmiştir (X:1-10 Hz Y:0-5).

(Figure 4. A) Horizontal\Vertical Spectral Ratio on Basement Floor (H\V), North\Vertical (N\V)and East\Vertical (E\V), from top to bottom respectively (X:1-10 Hz Y:0-5). B) Horizontal\Vertical Spectral Ratio on First Floor (H\V), North\Vertical (N\V) and East\Vertical (E\V), from top to bottom respectively (X:1-10 Hz Y:0-5). C) Horizontal\Vertical Spectral Ratio on Top Floor (H\V), North\Vertical (N\V)and East\Vertical (E\V), from top to bottom respectively (X:1-10 Hz Y:0-5)).



Ayrıca bu bileşenlere ait 3 bileşen spektrumları da Şekil 5'de aynı sıra ile verilmiştir. Çalışmalarda Yatay/Düsey Spektral oran tekniği ile birden çok pik belirlendiği durumlar da bileşenlerinin incelenmesi gerektiği yapılan çalışmalarda vurgulanmaktadır. Bodrum katında alınan mikrotremor ölçümüne ait piklere bakıldığında 1,75 Hz'de bir pik olduğu görülmektedir. Yatay bileşenler de ise baskın pikin 1,4 Hz'de olduğu ve birden fazla pikin olduğu görülmektedir. 1. katta alınan mikrotremor ölçümlerine ait bileşenlerin pikler incelendiğinde düşey bileşende 3 Hz bir büyütme görülmektedir. Yatay bileşenler de ise 1.4 Hz ve Kuzey bileşende (N) 3.9 ve Doğu bileşenin 4.1 Hz pikler görülmektedir. Bileşenlerin oranlarına bakıldığında aynı pikler baskın özelliğini yitirmemekte ayrıca artan frekans ile birlikte genliklerde büyümeler görülmektedir.



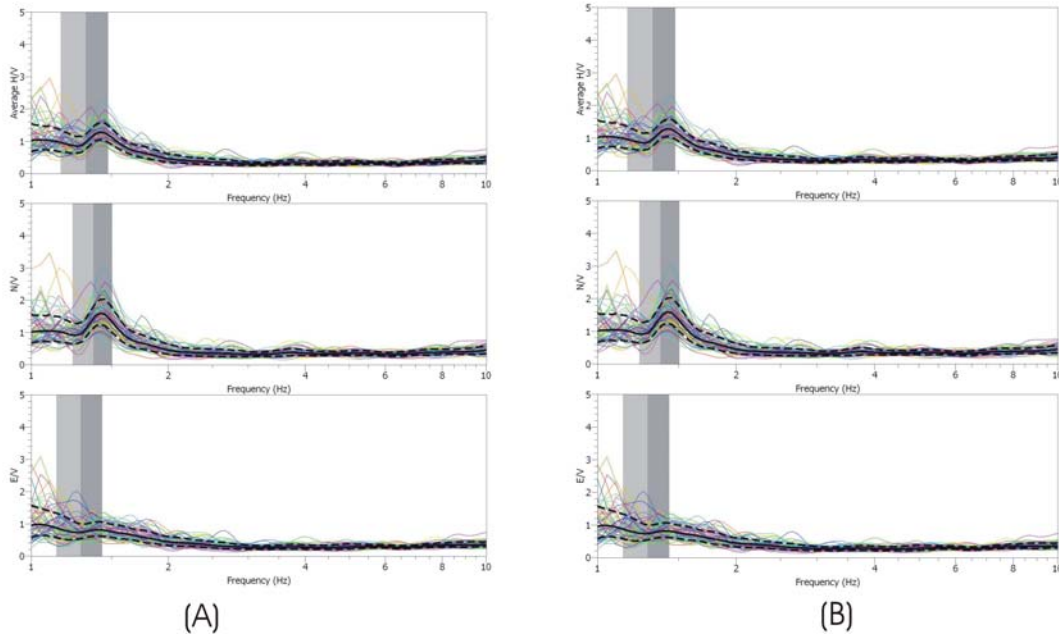
Şekil 5. Tüm katlara ait bileşenleri spektrumları A) Bodrum (X:1-10 Hz Y:0-500), B) 1. kat (X:1-10 Hz Y:0-500) ve C) En üst kat (X:1-10 Hz Y:0-1000), olmak üzere sırasıyla verilmiştir.

(Figure 5. Spectrum of Components for all of floors A)Basement (X:1-10 Hz Y:0-500), B) First Floor (X:1-10 Hz Y:0-500) and C) Top Floor (X:1-10 Hz Y:0-1000) from top to bottom, respectively)



3. kat ait mikrotremor ölçümlerine ait bileşenlerin pikler incelendiğinde ise düşey bileşende 1.4 Hz ve 4 Hz de olma üzere iki pik görülmektedir. Diğer katlarda alınan ölçümlerden elde edilen bileşenler ile karşılaştırıldıklarında genlik seviyeleri daha küçüktür. Fakat ikincil pike ait genlik daha büyük büyütme göstermektedir. Yatay bileşenler de ise 1.4 Hz ve 4.0 Hz iki ayrı pik görülmektedir. Doğu-Batı bileşende 1.4 Hz'lik pik etkisini diğer istasyonlara göre daha çok kaybetmiştir. Ayrıca Kuzey- Güney bileşenin de 7.0 Hz de bir pik daha görülmektedir.

Referans istasyonunda alınan ölçüme ait Yatay\Düşey spektral oranları ve her bir bileşene ait spektrumları da Şekil 6'de verilmiştir. Referans istasyonu olarak seçilen mikrotremor ölçümü zeminin titreşim periyodu belirlemek amacıyla fakülte binasında 50 m uzaklıktaki bir istasyonda alınan kaydı içermektedir. Oranlar incelendiğinde 1.4 Hz bir pikin varlığı dikkati çekmektedir. Ayrıca bileşenlerde ise aynı pik görülmekle beraber 3 Hz'de diğer bir pikin varlığı da söz konusudur.



Şekil 6. Referans istasyonunda alınan ölçüme ait Yatay\Düşey spektral oranları ve her bir bileşene ait spektrumları sırasıyla verilmiştir (X:1-10 Hz Y:0-500)

(Figure 6. Horizontal\Vertical Spectral Ratios for Reference Station and Spectrums for each of components from left to right)

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

İstanbul ili Avcılar ilçesi sınırları içerisinde yer alan İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası Kuzey sınırlarında Küçükçekmece Gölü Güneyinde ise Marmara Denizi ile komşudur. Mühendislik Fakültesi binasının hakim titreşim periyodunu belirlemek amacıyla bir dizi mikrotremor ölçümlü alınmıştır. Ölçümler fakülte'de final döneminden sonra ve akşam saatlerinde alınmış ve insan kaynaklı gürültüler elimine edilmeye çalışılmıştır. Ortalama 30 dakika süreli ölçüm alınmıştır. Bina içinde Bodrum, 1. ve 3. katta çalışılmıştır. Ayrıca referans istasyonu olarak (yapının 50 m uzağında) zemin-yapı ilişkisini belirlemek amacıyla ölçüm alınmıştır. Bina içinde alınan ölçümler binanın ağırlık merkezinin olduğu alana karşılık gelmektedir.



Ölçümlerde Yatay\Düsey spektral oran tekniği olarak bilenen Nakamura Yöntemi kullanılmıştır. Genel olarak her bir yatay bileşene ait spektrumlar incelenmiş ve 1.4 ve 4 Hz'de olmak üzere iki pik bulunmuştur. Bu piklerin hangisinin zemine ait olduğunu tespit etmek amacıyla referans istasyonuna ait pike bakılmış ve 1.4 Hz'lik pikin zemine ait baskın piki yansıttığını 4 Hz'lik pikin ise yapının titreşim periyodu olduğu belirlenmiştir. Kampüs alanı içinde yapılan daha önceki çalışmalarda da [13] kampus alanında titreşim periyodu yüksek frekanslarda 1.4 Hz ve düşük frekansta (Muhtemel Anakaya sınırına ait) 0.5 Hz olarak bulunmuştur. Mevcut durumda yapı için deprem durumunda anakaya'dan giren dalgaların büyütmesinden kaynaklı rezonans olayının muhtemel olmayacağı düşünülmüştür.

7. ÖNERİLERİLER (SUGGESTION)

- Yeni yerleşime açılacak veya daha önceden yerleşime açılmış olan bölgenin depremler sırasındaki davranış formu günümüzde Mikrobölgeleme veya Yerleşime uygunluk çalışmalarıyla belirlenebilmektedir. Mikrobölgeleme çalışmaları üç problem için düşünülmektedir. Bunlar; rezonans etkisine bağlı zemin büyütmesi, yamaç stabilitesi (heyelan) ve zemin sıvılaşmasıdır. Tüm bu konular, İstanbul Büyükşehir belediyesi tarafından önce 2003 yılında JICA (Uluslar arası Japon Meteoroloji Ajansı) sonra 2006 yılında başlayan OYO firmalarıyla (öncelikli olarak İstanbul Avrupa Yakası) ortak yürütülen projelerle zemin yapısı modellenmeye çalışılmıştır. Her iki çalışmada sondajlar, sismik kırılma ölçümleri ve dizin mikrotremor ölçümleri alınmıştır. Fakat genel olarak bu çalışmalar çok geniş aralıklarla yapılmaktadırlar ve bizlere çalışılan "tehlike" düzeyi hakkında bilgiler sunmaktadır. Tehlike'nin riske dönüşümünde yada riskin arttırmasında/azaltılmasında en önemli unsur mühendislik yapılarının niteliği, başka deyiş ile yapıların bu tehlike karşı göstereceği tepkidir. Bu tepki riski arttıracak yada azaltacak yönde olabilir. Riskin azalmasında yada artmasında en önemli unsur ise yapıların hasargörebilirliği (vulnerability)dir. Bu anlamda mühendislik yapıların hakim titreşim periyotları hasargörebilirlik ile doğrudan ilişkilidir. Deprem tehlikesine karşı kentsel ya da bölgesel bazda riskler belirlenmesi gerektiği gibi, yerel bazda (ya da parsel bazında) da gereklidir.
- Bu bağlamda, çalışmanın başlangıç aşamasında ilgilenilen alanın büyüklüğüne bağlı olarak çok kısa aralıklarla bölgenin zemin hakim titreşim periyot haritası çıkarılması gerekmektedir. İkinci aşamada mevcut mühendislik yapılarının kat envanteri çıkarılır. Üçüncü aşamada kabaca her kat için titreşim periyodu 0.1 sn olacak şekilde düşünülerek zemin yapı etkileşimi (site-structure interaction) durumu ortaya konmaya çalışılır. Normal şartlarda yapıların titreşim periyotlarını kestirim yollarından biri de sallama masası (shaking table) yöntemidir. Fakat bu oldukça karmaşık ve pahalı bir işlemdir. Ya da değişik matematiksel analizlerle sayısal modellemelere gidilmesidir. Burada dikkat edilmesi gereken bir özellikte mevcut mühendislik yapıların kat sayısı, kullanılan malzemenin rijitliği (elastik özellikleri) ve en önemli mühendislik yapısının donatı özelliklerinin durumudur.
- Mühendislik yapılarının hakim periyodu basit bir amprik bağıntı ile ($T_{yapı} = \text{Bina Kat Adedi} \times 0.1 = \text{sn}$) belirlenebilir. Fakat bu bağıntı kullanılarak belirlenen mühendislik yapılarının titreşim periyotları birçok durumda yanlış bulunabilmektedir.



- Bir sonraki aşamada mevcut zemin-yapı etkileşimi neticesinde ilişki 5 aşamaya ayrılır ve bu şekilde incelenir (Tablo 1). Bunlar; çok riskli, riskli, orta riskli az riskli ve risksiz durumlara karşılık gelir. Çok riskli durumda zemin-yapı ilişkisinin olduğu veya titreşim periyotlarının çakıştığı durum olan rezonans durumu, risksiz durum ise titreşim periyotlarının birbirinden çok uzak olduğu durumu yansıtmaktadır.

Tablo 1. Zemin-Yapı etkileşiminde risk seviyeleri
(Table 1. Risk levels to soil-structural interaction)

Risk Düzeyi	Zemin Periyodu-Yapı Periyodu (sn.)
Çok Riskli	$T_z=T_y*1$
Riskli	$T_z=T_y*2$
Orta Riskli	$T_z=T_y*3$
Az Riskli	$T_z=T_y*4$
Risksiz	$T_z=T_y*5$

- Deprem konusunda çalışmalar yerel ve bölgesel bazda oluşturulurlar. Bölgesel bazda kentsel planlamaya ve kentsel dönüşüm çalışmalarına altlık olacak sismik mikrobölgeleme haritaları. Yerel bazda (parsel bazında) bina (ve her türlü yapı) ile zemin/deprem ilişkisini ortaya koyan mühendislik çalışmalarıdır. Deprem öncesine oranla gerek nicelik ve gerek nitelik olarak her iki grup çalışmada düzey artmasına rağmen halen çağdaş ülkeler düzeyinde olmadığımız açıktır. Zemin ve deprem konusunda çalışmalar yerel ve bölgesel bazda iki kapsamda incelenebilir: "tanı koyma" ve "tedavi". Zemin ve binalarımızın deprem etkilerine göre tanımlandırılması başka deyişle teşhisi bilimsel esaslara göre yapılmamaktadır. Zeminlerimizi ve binalarımızı tanımıyoruz. Tanı koyma/teşhis önemli bir problem olurken bir diğer problem tedavi/iyileştirme'dir. Zemin ve binalarınız niteliksiz (kötü) ise tedavi ile iyileştirilebilir/güçlendirilebilir. Bu teknikler tüm dünyada uygulanırken bizim ülkemiz bu teknolojiler konusunda da çok geridir.
- Maliyet, etkinlik, hızlılık ve güvenilirlik açısından mikrotremor ölçümleri zemin-yapı etkileşimini belirlemeye baz teşkil eden zemin ve yapıların hakim periyotlarının belirlenmesin de tüm dünya ülkelerinde oldukça sıklıkla kullanılan alternatif bir yöntemdir.

KAYNAKLAR (REFERENCESS)

1. Mucciarelli, M. and Monachesi, G., (1999). The Bovec (Slovenia) earthquake, April 1998: a preliminary correlation among damage, ground motion amplification and building frequencies, Journ. Earthq. Eng., 3, 317-327.
2. Mucciarelli M., Contri, P., Monachesi, G., Calvano, G., and Gallipoli, M.R., (2001), An empirical method to assess the seismic vulnerability of existing buildings using the HVSR technique, PAGEOPH, 158, 2635-2647.
3. Richwalski, S.M., Facke, A., Parolai, S., and Stempniewski, L., (2005). Influence of site and source dependent ground motion scenarios on the safety of long-span bridges in Cologne, Germany, Natural Hazards.
4. Facke, A., Parolai, S., Richwalski, S.M., and Stempniewski, L., (2005). Assessing the vibrational frequencies of the cathedral of Cologne (Germany) by means of ambient seismic noise analysis, Natural Hazard.



5. Grüntal, G., Mayer-Rosa, D., and Lehnardt, W. A., (1998). Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH Staaten Deutschland, Österreich, Schweiz, Bautechnik 10, 19-33.
6. Parolai, S., Fäcke, A., Richwalski, S. M., and Stempniewski, L., (2005). Assessing the vibrational frequencies of the Holweide Hospital in the city of Cologne (Germany) by means of ambient seismic noise analysis and fe-modelling Natural Hazards , 34, 217-230,
7. Lachet, C. and Bard, P.Y., (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of the Nakamura's technique, J. Phys. Earth. 42, 377-397.
8. Borchardt, R.D. and Gibbs, J.F., (1976). Effects of Local geological conditions in San Francisco Bay Region on Ground motions and the intensities of the 1906 Earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., vol. 66, pp. 467-500.
9. Yıldızlar, B., Gürsoy G M., Öztörün, N.K. ve Çelik T., (2003). İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Bloklarının Güçlendirme Sebepleri ve uygulanmış olan temel ve üst yapı onarım ve güçlendirme teknikleri, Küçükçekmece ve yakın Çevresi Teknik Kongresi 2003, "Deprem ve Planlama" 8-10 Ekim İstanbul. Bildiriler Kitabı II. Cilt sayfa, 460-471.
10. BELİRTİ FİRMASI, (2001). Avcılar İlçesi 1000 Hektarlık Alanın İmara Esas Jeolojik, Jeofizik, Jeoteknik Etüt Raporu., İstanbul.
11. Nakamura, Y., (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, Quarterly Reports of the Railway Technical Research Institute Tokyo, 30. pp. 25-33.
12. Karabulut, S., (2005a). Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremor Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
13. Karabulut, S., (2007). Mikrotremor ve Analiz Yöntemleri, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Meslek İçi Eğitim ve Belgelendirme Kurs Notları 4 ISBN: 978-9944-300-8.
14. Zarif, İ.H., Özçep F., Karabulut, S. ve Alp, H., (2007). İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü Alanı Öğrenci Sosyal Tesisi Zemin İnceleme Raporu.
15. GEOPSY PROGRAM, http://www.geopsy.org/array_course_program.html.