

## MÜHENDİSLİK YAPILARININ HAKİM TİTREŞİM PERİYOTLARININ MİKROTREMOR ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ: İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASINDA UYGULAMALAR

KARABULUT S. <sup>-1</sup>, ÖZEL O. <sup>-1</sup> ve ÖZÇEP F. <sup>-1</sup>

**Adress:** <sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü 34850  
Avcılar/ İstanbul.

**E-mail:** savask@istanbul.edu.tr

---

**Key Words:** soil-structure interaction, microtremor, Nakamura's technique, frequency of vibration, İstanbul University.

**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. Extensive literature exists about case histories using H/V for microzonation in several cities but no systematic studies have been devoted to check the presence of soil-structure interaction effects, and even less attention to study building behaviour after earthquake damage. To evaluate the above-mentioned effects, ambient seismic noise measurements were conducted inside the building of Faculty of Engineering, in Avcılar Campus in İstanbul, Turkey, for assessment of its frequencies of vibration and for checking whether these occur in a range where soil amplification's is expected. If this is the case, damages may increase the fundamental frequency 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 strengthened and repaired, and therefore its fundamental frequency is expected to change. Two different techniques are used: the ratio between the horizontal and vertical components of the spectra recorded at stations located inside the building and the ratio between the corresponding components of the spectra recorded simultaneously inside the building and at a reference station placed outside. We used first one and non-simultaneously recorded.*

### GİRİŞ

17 Ağustos 1999 (Mw: 7.4) depremi sırasında dış merkez uzaklığı (episantr) yaklaşık şehrin doğusuna 100 km uzaklıkta bulunan alanda binaların çökmesi ve yerel zemin problemlerinden dolayı yüzlerce insan hayatını kaybetmiştir. En büyük zarar ise Avcılar ilçesinde görülmüştür. Depremin dış merkezine daha yakın alanda zarar çok daha azdır. İstanbul ili Avcılar ilçesi sınırları içerisinde yer alan İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası, Kuzey'de Küçükçekmece Gölü ve Güneyinde ise Marmara Denizi ile komşudur. Yapılan çalışmalarda hasarın nedeni sonucunda zararın en büyük nedenleri arasında bölgesel heyelanların aktif olduğu ve zemin-yapı etkileşiminden kaynaklanan rezonans olayı ve deprem dalgalarının değişik nedenlerden dolayı genliklerinde meydana gelen büyütme olarak ortaya konmuştur. Bu amaçla, mikrotremor ölçümleri ile mühendislik yapısının titreşim periyodunu belirlemek üzere bir dizi mikrotremor ölçümü yapılmıştır. Ölçümler fakülte'de final döneminden sonra ve akşam saatlerinde alınmış ve insan kaynaklı gürültülerden kaçınılmaya 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.

## MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASININ YAPISAL ÖZELLİKLERİ

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 (Yıldızlar ve diğ., 2003).

## NAKAMURA YÖNTEMİ

Nakamura tarafından önerilen yöntemle göre bir zeminin yatay bileşenlerinin spektrumlarını dikey bileşen spektrumlarına bölerek zemin hakim titreşim periyodu belirlenebilmektedir. (Nakamura, 1989, Bard, 1999). Bu yaklaşım özellikle deprem olmayan asismik bölgelerde oldukça tercih edilen bir yöntem olmaktadır. Özellikle hızlı ölçüm alabilme ve ucuzluğu ve hızlı veri toplayabilmek gibi kolaylıklarda günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem kullanılarak zeminlerin titreşim periyotlarını belirlemeye yönelik birçok çalışma mevcuttur (Field ve diğ., 1990; Field and Jacob, 1993; Lermo ve Chaves-Garcia, 1994; Karabulut ve diğ., 2003; Karabulut, 2005a). Ancak yöntemin zemin büyütmesinin değerlendirilmesinde doğru sonuçlar vermediği ise birçok yayında ifade edilmektedir (Lachet ve diğ., 1996). Genel olarak zeminlerde hakim titreşim periyotlarını belirlemede iyi sonuçlar vermesine karşı kaya (Kayma dalga hızı  $V_s$ : 740 m/sn) zeminlerde belirgin pikler görülememektedir. Çünkü  $f_0$ : zemin hakim titreşim periyodu zeminin kalınlığına ve kayma dalgası hızına bağlı olduğundan ve empedans farkı altından bulunan zeminle çok farklı olmadığından  $f_0 = V_s/4h$ .

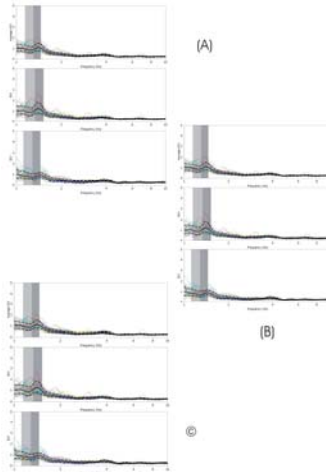
### 4.1. Nakamura Yönteminin Uygulamaları

İnceleme alanında 14 Haziran 2007 tarihinde İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası içinde Güralp CMG 40T (Guralp System CMG-40T, 1997) 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 örneklenmiştir. Her bir gürültü kaydı önce 0.1-15 Hz arasında Butterworth Band-geçişli fitler (1. dereceden) ile filtrelenmiş sonra 20 saniyelik pencere ile pencerelenmiş ve Fourier spektrumları alınmıştır. 40 sn'lik Konno-Ohmachi penceresi kullanılarak %10 cosinüs tapering ile düzgünlenmiştir.

## 4.2. Veri İşlem

Şekil 2'de görülebileceği gibi Mühendislik Fakültesi Binası 3 ayrı yapının birleşmesiyle oluşmuş, toplam 5 blok, 1 Bodrum, 1 Zemin ve 3 Kattan oluşmuş 5 katlı bir yapıdır. 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. 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 fakültesinin titreşim periyodunu yansıtan pik olduğunu şeklinde düşünülmüştür.



**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:0-10).

## 5. SONUÇLAR

Mikrotremor ölçümleri ile mühendislik yapısının titreşim periyodunu belirlemek amacıyla mikrotremor ölçümleri 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. Bina içinde alınan ölçümler binanın ağırlık merkezinin olduğu alanda alınmıştır. Ölçümlerde Yatay\Düşey 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. Mevcut durumda yapı için deprem durumunda anakaya'dan giren dalgaların büyütmesinden kaynaklı rezonans olayının muhtemel olmayacağı düşünülmüştür.