

MEVCUT YAPILARIN DEPREM RİSKİ ANALİZİNDE, DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖRNEK BİR MİKROTREMOR ÇALIŞMASI

A MICROTREMOR STUDY FOR THE DETERMINATION OF THE DYNAMIC PROPERTIES OF THE EXISTING ENGINEERING STRUCTURES IN EARTHQUAKE RISK ANALYSIS.

ÇOŞGUN T.¹, PINAR A², YÜKSEL F., A.³, ÇOŞGUN A.⁴

Posta Adresi: ¹İstanbul Üniv., Müh. Fak., İnşaat Müh. Böl., İstanbul, ^{2,3}İstanbul Üniv., Müh. Fak., Jeofizik Müh. Böl., İstanbul

⁴Akdeniz Üniv., T.B.M.Y.O, Makine Bilimleri., Antalya

E-posta: costur@istanbul.edu.tr,

Anahtar Kelimeler: Yapılar, Titreşim Özellikleri, Dinamik Etkiler, Mikrotremor

ÖZ: Mevcut yapıların kendilerine özgü dinamik davranışlarının belirlenmesi deprem zararlarının azaltılması çalışmalarında yapılması gerek öncelikli işlerden birisidir. Yapının dinamik davranışına etki eden faktörleri üç ana başlıkta toplayabiliriz. Bunlar zemin özellikleri, yapısal etkiler (proje ve uygulaması) ve varsa bina içinde yapının davranışını etkileyen ağır iş makinelerinin yarattığı titreşimler. Bu çalışmanın amacı bu üç faktörün birlikte yarattığı etkinin örnek bir binada araştırmaktır, yani incelenen yapının dinamik davranışını ortaya koymaktır. Özellikle, iş makinelerinin yapı içerisindeki çalışmaları ve çalışmamaları durumlarında yapının dinamik davranışı ayrı ayrı incelenmiştir. Bu amaç için yapının zemin katında ve Normal katlarında 3-bileşenli sismik gürültü kayıtları elde edilmiş ve bunlar mikrotremor yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Yapıların dinamik etkiler altında davranışını belirlemek için birçok yöntem bulunmaktadır. Ancak bunların arasında mikrotremor yöntemi en hızlı ve en ucuzu olması yanında yapıya zarar vermeyen yöntemlerden biridir. Bu yöntemle çok kısa bir sürede binanın hakim frekansını, büyütmesini ve binanın farklı frekanslarda nasıl bir davranış gösterdiği belirlenmektedir.

ABSTRACT: One of the most important issue in earthquake risk mitigation studies is the estimation of the characteristic dynamic performance of the existing engineering structures. The factors affecting the dynamic behavior of these structures can be classified mainly in three groups. These are (1) soil characteristics, (2) structural effects (the project and its application), and (3) the vibrations generated by industrial machines operating within the buildings, if any exists. The scope of the present study is to investigate the total effect of these three factors in a given structure, i.e., determine the dynamic behavior of the structure considering the mentioned factors. For this purpose, we have investigated the dynamic response of a structure when no artificial vibrations were present and for the case when heavy industrial textile machines were operating within the building under investigation. Within this scope, 3-component seismic measurements were acquired in the basement and upper floors of the structure and data processing routine used for microtremor analysis was applied. Actually, several methods exist to determine the dynamic response of a structure. However, the microseism exploration technique is one of the most efficient one not only because of the ease of its application and the low cost, but also it is harmless giving no damage to the structure. Using this technique it is possible to derive the natural frequency of the building, the amplifications at any

frequency if exists, the frequency response of the whole structure in a very short time.

GİRİŞ

Mevcut yapıların deprem esnasındaki davranışının bilinmesi olası hasarlar için gerekli önlemlerin alınması açısından son derece önemlidir. Dolayısıyla yapılara etkiyecek yüklerin gerçeğe yakın olarak saptanması gerekmektedir. Yapılar düşey yüklerin yanında yatay etkileri de emniyetli olarak taşıyacak şekilde tasarlanmalı ve uygulamaların bu esasa göre yapılmalıdır. Deprem esnasında yapılara etkileyen yükler yapının oturduğu zemin titreşimleri sonucu yapılarda meydana gelen atalet kuvvetleridir. Bu yükler yapının kütlelerine, titreşimin periyoduna, deprem yükünün sönümlenmesine ait dinamik özelliklerine, zeminin dinamik parametrelerine, süreye ve sıklığa bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla her yapının kendisine özgü dinamik davranışlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu sayede gerek deprem ve gerekse başkaca nedenlerden oluşan titreşim etkileri altındaki yapı zararlarının önlenmesi veya azaltılması sağlanabilecektir.

YAPILARIN TİTREŞİM ÖZELLİKLERİ

Yapıların dinamik davranışında doğal titreşim periyotları ile bunlara karşılık gelen modları önemlidir. Ölçüm cihazları ile yapıların bu değerleri saptanabilir. Bunun için deprem kayıtları yanında dinamik zorlamalar da kullanılabilir (Mertol, 2002). Bunlar;

- ✓ Patlatmalar nedeniyle meydana gelen titreşimlerde, yapıya yakın zeminde yapılan kayıtlardan elde edilen veriler yardımı ile bu zorlamaların karakteristikleri belirlenebilir.
- ✓ Yapıya titreşim hareketi veren eksantrik kütleli dinamik aletler farklı frekanslarda çalıştırılarak yapı davranışı ölçülerek, rezonans eğrisi çizilerek yapının doğal titreşim frekansları, farklı noktadaki deplasmanlarla mod şekilleri elde edilebilir.
- ✓ Titreşim cihazını yüksek frekansta çalıştırıp, frekansı yavaş olarak düşürülmesi ile zorlama frekansı, yapının doğal frekansını geçerken deplasmanların artması nedeniyle bu değer belirlenebilir.
- ✓ Yapının toplam rijitliği az ise serbest titreşime zorlanarak titreşim özellikleri bulunur.

HAKİM FREKANSLARIN BELİRLENMESİ İÇİN YATAY/DÜŞEY (Y/D) SPEKTRAL ORAN YÖNTEMİ

Mikrotremor verisi kullanılarak temel kaya üzerinde yer alan bir zeminin hakim frekansını belirlemek için kullanılan Yatay/Düşey (Y/D) spektral oran yöntemi Nakamura (1989) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem binalarda uygulandığı zaman binanın ve zeminin toplam dinamik etkisi belirlenmektedir. Yöntemin açıklanmasında, zemin dinamik parametrelerin nasıl belirlendiği gösterilecektir. Bu yöntem çok hızlı ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle 1) Sismik mikrobölgeleme çalışmalarında (Bour ve diğ., 1998), 2) Hasar dağılımı ve zemin hakim periyodu arasındaki ilişkileri inceleme çalışmalarında (Ansal ve diğ., 2001), 3) Sedimanter havza derinliklerinin belirlenmesi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ibs-von ve diğ., 1999; Delgado ve diğ., 2000a,b; Parolai ve diğ., 2002). Spektral oran (Y/D) tekniğinin hala hazırda teorik bir açıklaması olmasa da kısaca şu şekilde açıklanabilir (Bour ve diğ., 1998; Delgado ve diğ., 2000a,b). Temel kaya üzerinde yer alan bir sedimanter tabakanın transfer fonksiyonu, sediman üzerinde elde edilen yatay bileşenin spektrumu, H_s , ile yakın civarda bulunan temel kaya üzerinde kaydedilen yatay bileşenin spektrumu, H_b , oranlarından hesaplanabilmektedir.

$$S_1(f) = H_s(f) / H_b(f)$$

$S_1(f)$ transfer fonksiyonu mikrotremor veya deprem kayıtlarından belirlenebilmektedir. Mikrotremor verisi kullanıldığında aşağıdaki varsayımlar kabul edilmektedir.

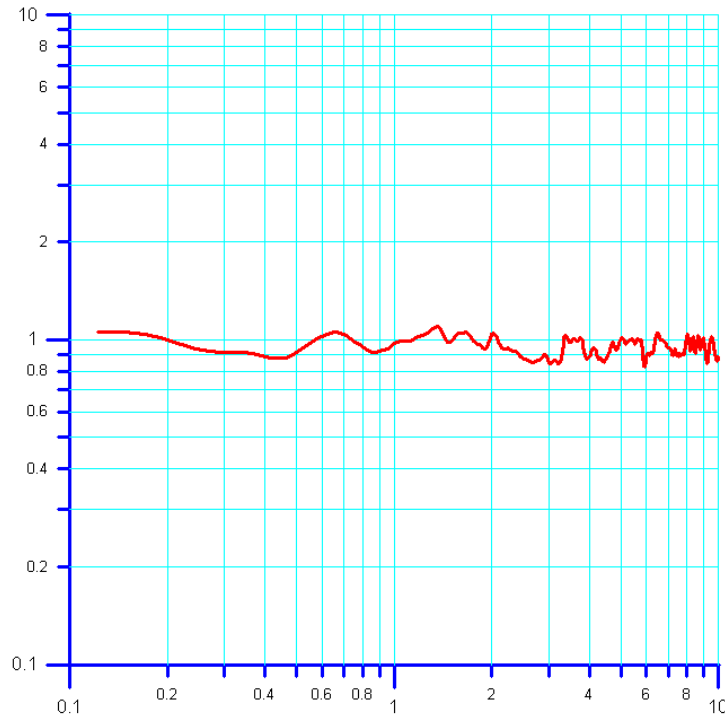
Mikrotremor verileri şehir trafiği ve endüstri kaynaklı yüksek frekanslı gürültülerin yanında rüzgar, okyanus ve deniz dalgaları tarafından yaratılan uzun periyotlu gürültüleri de içermektedir (bu çalışmada da görülen Akdeniz'in yarattığı çok uzun periyotlu dalgalar gibi). Gürültü kökenli Rayleigh dalgaları temel kaya üzerinde yer alan sediman tabakası içinde oluşmakta ve yayılmaktadır. Rayleigh dalgaları sadece sediman üzerinde kaydedilen düşey bileşen, V_S , tarafından gözlenmekte, temel kaya üzerindeki düşey bileşende, V_B , ise gözlenmemektedir.

$$S_{RW}(f) = V_S(f) / V_B(f)$$

Mikrotremor verisinde düşey bileşen zemin tarafından büyütülmemektedir. Temel kayada geniş bir frekans aralığında (0.1-10 Hz) yatay ve düşey bileşenlerin spektral oranı 1'e çok yakındır (Şekil 1). Yatay eksen frekansı (Hz), düşey eksen spektral oranı göstermektedir.

$$H_B(f) / V_B(f) = 1$$

TEMEL KAYA



Şekil-1. Temel kaya üzerinde alınan mikrotremor verisinden belirlenen Yatay/Düşey spektral oranlar.

$S_1(f) / S_{RW}(f)$ oranı Rayleigh dalgalarının etkisini elemine etmekte ve bu şekilde zeminin transfer fonksiyonu belirlenmektedir;

$$S_1(f) / S_{RW}(f) = H_S(f) / V_S(f).$$

Verilen bu eşitlik, 3-bileşenli tek bir sismograf kullanılarak yatay ve düşey bileşenlerin spektral oranlarından zemin transfer fonksiyonunun, yani zemin hakim periyodunun kolayca belirlenebileceğini göstermektedir.

ÖRNEK BİNADA YAPILAN MİKROTREMOR ÖLÇÜMLERİ

Örnek olarak incelenen (YP) binasında; Zemin kat, 3. Normal kat, 5. Normal kat ve 7. Normal kat olmak üzere dört ayrı noktada mikrotremor kaydedilmiştir. Ölçüler bu noktalarda iki kez tekrarlanmıştır. Birincisinde bina içerisinde faaliyet amacına yönelik olarak bulunan makinelerin çalışması esnasında, sözü edilen dört noktada ölçüler yapılmıştır. İkincisinde de aynı noktalarda makinelerin çalışmadığı bir zaman aralığında ölçümler tekrarlanmıştır. Ölçümler 3-bileşenli geniş-bantlı CMG-40T sismografiyle yapılmıştır. Bu geniş bantlı sismografin hız tepki fonksiyonu 0.033-50 Hz aralığında düzdür. Örnekleme aralığı olarak saniyede 100 örnek alınmıştır. Her ölçüm noktasında yaklaşık 10-15 dakika kayıt yapılmıştır. Yapılan ölçü noktalarındaki hakim frekansın ve bu frekanstaki büyütme değerlerinin belirlenmesi için aşağıdaki veri işlem prosedürü uygulanmıştır (Bour ve diğ., 1998; Delgado ve diğ., 2000a,b).

1. Ani alçalma ve yükselme (spike) şeklindeki gürültüleri içermeyen pencere aralıkları seçilmiştir,
2. DC-offset ve trend düzeltmeleri yapılmıştır,
3. 10% simetrik kosinüs penceresi kullanılarak veri pencereleri her iki uçtan törpülenmiştir,
4. Hızlı Fourier Dönüşüm tekniği kullanılarak 5 pencerede yer alan düşey ve yatay bileşenlerin genlik spektrumları hesaplanmıştır,
5. Hakim frekansların yerlerini değiştirmeyen spektrum düzleme tekniği uygulanmıştır,
6. Bütün zaman pencereleri için aşağıdaki bağıntı kullanılarak spektral oranlar (Y/D) belirlenmiştir,

$$Y/D = \sqrt{\frac{EW^2 + NS^2}{2 * UD^2}}$$

burada, EW Doğu-Batı bileşeni, NS Kuzey-Güney bileşeni, UD düşey bileşenidir.

7. 5 zaman penceresi için elde edilen spektral oranlar toplanarak her ölçüm noktası için ortalama spektral oran elde edilmiştir.
8. Zemin kattaki ve üst katlardaki UD, NS ve EW bileşenlerinin Fourier genlik spektrumları hesaplanarak binanın salınım modları belirlenmiştir. Daha sonra her üç bileşen için üst katların spektrumları zemin kat spektrumlarına bölünerek spektral oranlar elde edilmiştir. Bu spektral oranlar zeminin ve binanın ortak etkisi sonucunda oluşan hakim frekans ve büyütme değerlerini vermektedir.

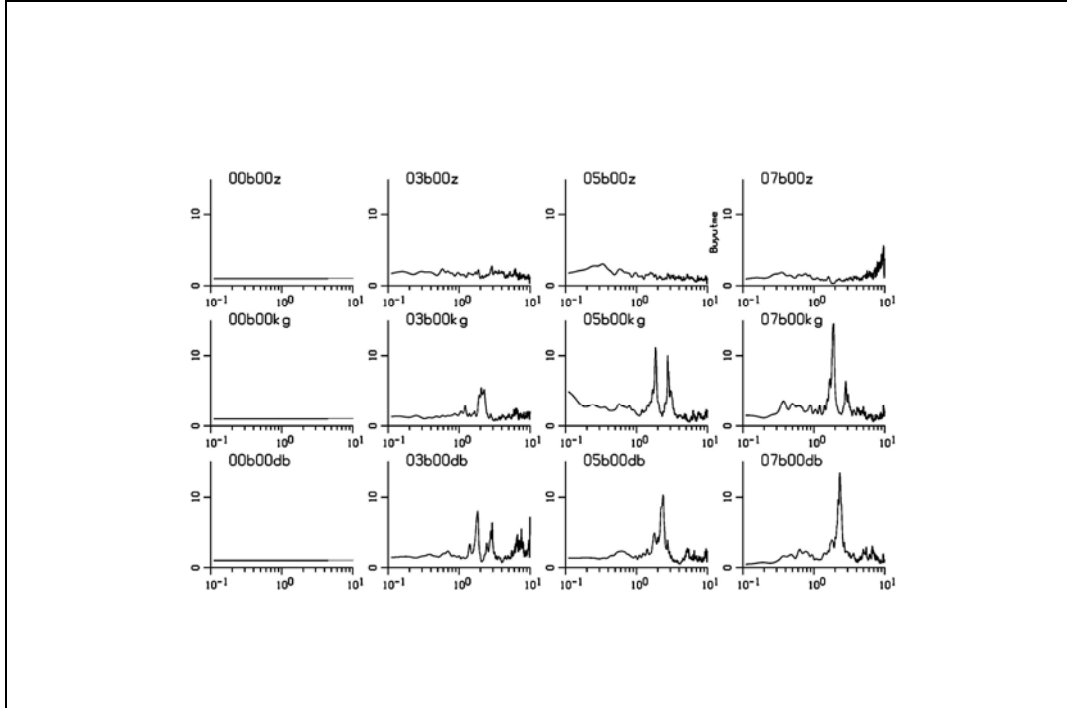
Bu veri işlem tekniği bütün ölçü noktaları için uygulanarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümde verilmiştir.

DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇLARI

İlk olarak örnek (YP) binada bulunan makinelerin çalışmadığı durumu ele alınarak zemin ile yapının ortak etkisinin ne olduğu incelenecektir. Bunun için üst katlarda alınan ölçülerin Fourier genlik spektrumları, zemin katta alınan ölçülerin Fourier genlik spektrumlarına bölünmüştür. Elde edilen sonuçlar Şekil 2'de 0.1-10. Hz aralığında ve Şekil 3'de ise 0.1-40.0 Hz aralığında gösterilmektedir.

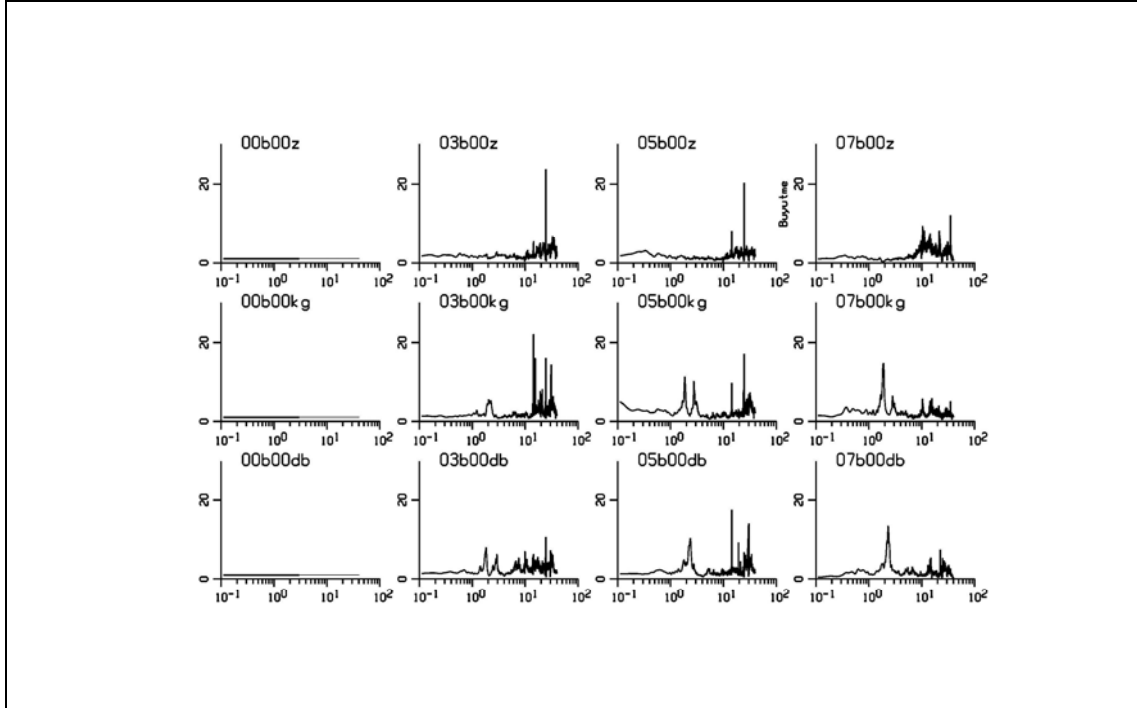
Bu şekilde bir gösterim tarzının benimsenmesinin nedeni, 0.1-10 Hz aralığında zemin hakim periyodu ve binanın salınım modları ile ilişkili piklerin yer almasıdır. Ancak insanların ve makinelerin yarattığı gürültülerin 10 Hz'ten daha yüksek frekanslara sahip olduğu kabul edilmektedir. Şekil 2 de z = düşey yöndeki titreşimi, kg = Kuzey-Güney yöndeki titreşimi ve db =Doğu-Batı yönündeki titreşimi göstermektedir. Spektral

oranların tanımlanmasında ise şu şekilde bir notasyon benimsenmiştir, örn. 03b00kg; üçüncü katta alınan ölçünün kuzey-güney yöndeki bileşeninin spektrumu zemin katta (0. kat) elde edilen ölçünün kuzey-güney yöndeki Fourier genlik spektrumuna oranı anlamına gelmektedir.



Şekil-2. Makineler çalışmadığı zaman elde edilen spektral oranlar.

Spektral oranlarda görülen pikler binanın Kuzey-Güney (KG) ve Doğu-Batı (DB) yönündeki farklı salınım modlarını göstermektedir. Birinci modun frekansı yaklaşık 2Hz civarında ikinci modun frekansı ise yaklaşık 3 Hz civarındadır. Düşey bileşende herhangi bir pik'in bulunmaması 0.1-10 Hz frekans bandında düşey yönde önemli bir salınımın olmadığını göstermektedir. Piklerin KG ve DB yönünde farklı frekanslarda olmasının nedeninin, yapının Doğu ve Batı cephelerinde farklı kat sayısına sahip olmasından kaynaklanabileceği kanaatine ulaşılmıştır.

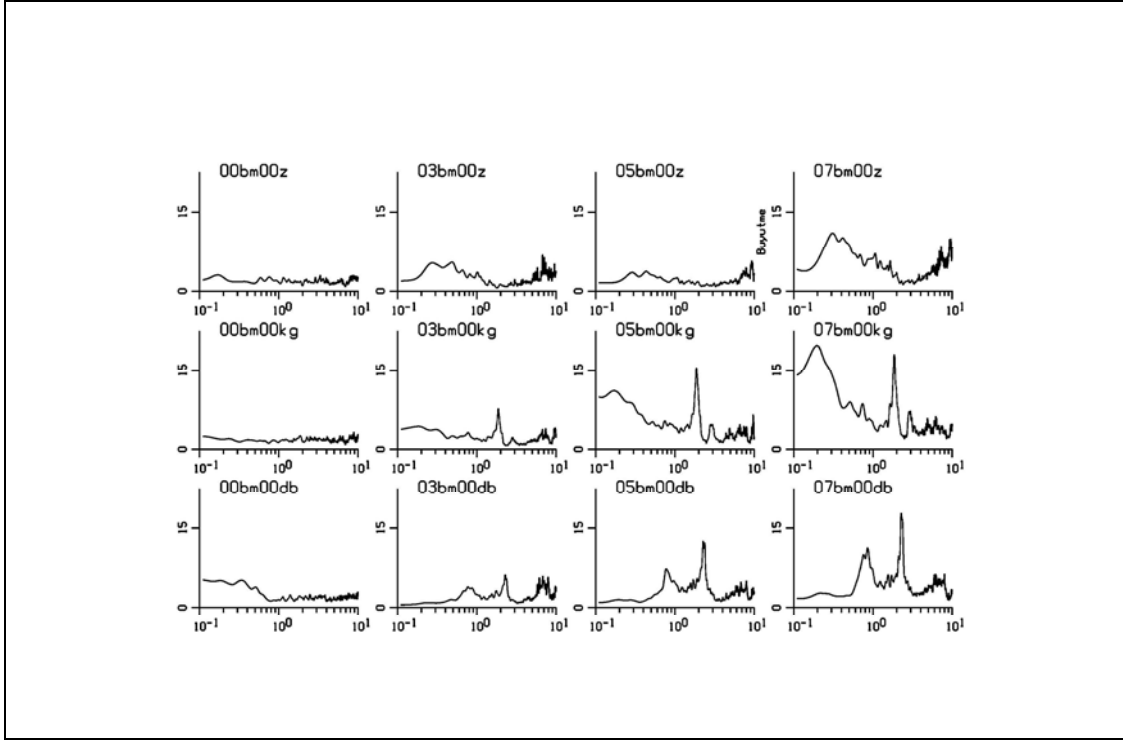


Şekil-3. Makinelerin çalışmadığı durumu için 0.1-40.0 Hz aralığında elde edilen spektral oranlar

Şekil 3'de görüldüğü gibi 10 Hz'ten sonra bütün bileşenlerde çok farklı frekanslarda olan ve büyütme değerleri 10 Hz'in altındaki modlardan çok daha yüksek olan gürültü kaynakları mevcuttur. Bunları daha iyi irdelemek için makinelerin çalışıyor olması durumunda elde edilen spektral oranlarla karşılaştırmak gerekir. Şekil 4'te makinelerin çalışıyor olması durumunda elde edilen spektral oranlar gösterilmektedir. Şekil 4'ü ve Şekil 2'yi karşılaştıracak olursak makinelerin binanın salınım moduna nasıl bir etkisinin olduğunu görülebilmektedir. Şekil 4 incelendiğinde 1.0 Hz'in hemen altında görülen çok karakteristik bir pikin mevcut olduğu görülmektedir. Halbuki bu pik Şekil 2'de görülmemektedir, yani yaklaşık 0.8-0.9 Hz civarında olan bu pik'in makinelerin etkisinden kaynaklandığı söylenebilir.

Şekil 4'te görülen diğer önemli bir özellik ise Şekil 2'de dikey bileşenlerde herhangi bir pik mevcut değilken burada düşük frekanslarda büyütme değeri oldukça fazla olan geniş bir salınım modu dikkat çekmektedir. Yani mevcut makineler, binanın sadece yatay yöndeki salınım modlarını değil aynı zamanda dikey yöndeki salınım moduna da etki etmektedir. Makinelerin 10 Hz'ten daha yüksek frekanslardaki bina salınım moduna nasıl etki ettiğini görmek için Şekil 5'i incelememiz gerekmektedir. Yerinde yapılan çalışmanın başlıca amacı, yapı içerisinde kullanılan makinelerin binaya olan etkisinin belirlenmesi olması nedeniyle Şekil 3 ve Şekil 5'in karşılaştırılmasının yapılması gerekmektedir. Her ne kadar Şekil 3'de yüksek frekanslar da belirgin bir frekansa ait mod dikkat çekici olmasa da, Şekil 5'te yaklaşık 15 Hz civarında olan ve bütün bileşenlerde görülen, büyütme değeri çok yüksek olan bir pik dikkat çekmektedir.

Bu pikin hem yatay bileşenlerde hem de dikey bileşenlerde aynı frekans değerine sahip olması makinelerin binaya bu frekansta sadece yatay yönde değil dikey yönde de etkisinin bulunduğunu göstermektedir.

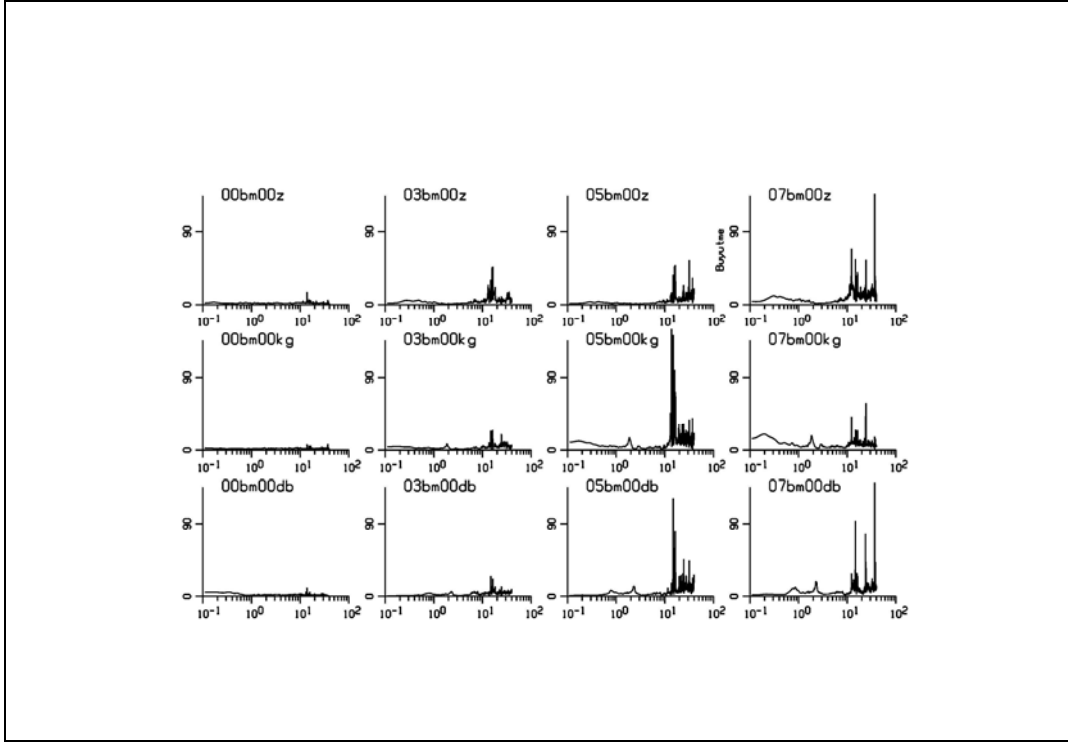


Şekil-4. Makinelerin çalışıyor olması durumu için 0.1-10.0 Hz aralığında elde edilen spektral oranlar.

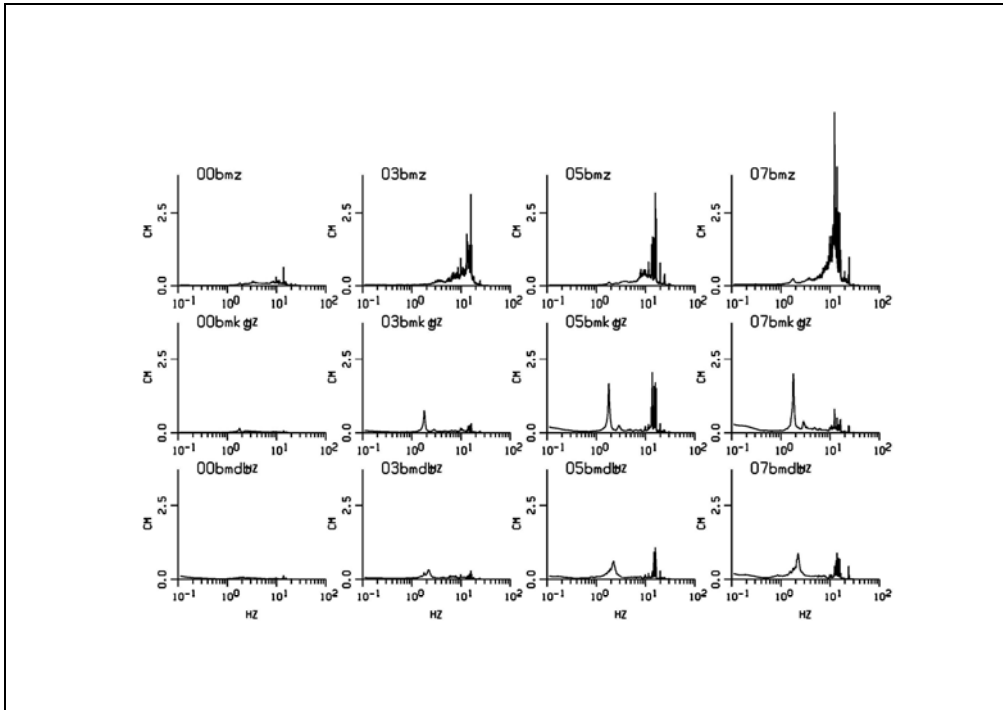
Spektral oran, yapı ve zeminin ortak salınım modunu ve büyütme değerlerini vermektedir. Söz konusu 15 Hz'teki mutlak salınım değerini uzunluk birimi cinsinden yani örnek yapıda ne kadar bir yer değiştirmeye sebep olduğu konusunda fikir sahibi olmak için her bileşenin genlik spektrumuna bakılması gerekmektedir. Şekil 6'da zemin katta ve üst katlarda makinelerin çalışıyor olması durumunda elde edilen genlik spektrumları gösterilmektedir. Örnek bir hesaplama için, 7. Normal katta kaydedilen düşey bileşenin genlik spektrumunu inceleyelim (Şekil 6). Yerinde elde edilen kayıtların hız kaydı olması nedeniyle genlik spektrumunun birimi, yani düşey eksenin birimi cm olarak belirlenmektedir. Bu değer yaklaşık 5 cm olduğu saptanmıştır. Fourier dönüşümünün teorisine göre enerjinin yarısı Nyquist frekansından sonra yer almaktadır. Yani 15 Hz'te elde edilen pik, genlik değeri 10 cm/sn olan bir hız kaydına karşılık gelmektedir. Bunu yer değiştirme cinsinden ifade edecek olursak binanın 7. Normal katı saniyede 15 kere 0.1 cm düşey doğrultuda yer değiştirmesi yaptığı söylenebilir. Bu genlik ve frekanstaki bir dalganın yapıya olan etkileri (yapının güçlendirilmesi çalışmaları sonrası yapılacak ölçümlerle birlikte, performans belirlemesi yapılacaktır) ayrı bir çalışma olarak sunulacaktır.

Sonuç olarak, mevcut yapılarda dış zorlamaların etkisi altında meydana gelebilecek hasarların önlenmesi ve gerekli tedbirlerin alınması için, bu binaların kendisine özgü dinamik davranışlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Bunun için en hızlı ve en ucuzu olması yanında yapıya zarar vermeyen mikrotremör yönteminin kullanılabileceği, bu yöntemle yapının periyodu, sönüm oranları ve binanın farklı frekanslarda nasıl bir davranış göstereceğinin önceden saptanacağı hususları örnek bir yapıda yapılan çalışmalardan elde edilen verilerle birlikte gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil-5. Makinelerin çalışıyor olması durumu için 0.1-40.0 Hz aralığında elde edilen spektral oranlar.



Şekil-6. Makinelerin çalışıyor olması durumunda elde edilen ölçülerin Fourier genlik spektrumları.

KAYNAKLAR

Ansal, A. M., R. Iyisan, and H. Gullu (2001), Microtremor measurements for the microzonation of Dinar, Pure appl. geophys. 158, 2525-2541.

Bodin, P., K. Smith, S. Horton, H. Hwang (2001), Microtremor observations of deep sediment resonance in metropolitan Memphis, Tennessee, Engineering Geology, 62, 159-168.

Bour, M., D. Fouissac, P. Dominique, and C. Martin (1998), On the use of microtremor recordings in seismic microzonation, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 17, 465-474.

Delgado, J., C.L. Casado, J. Giner, A. Estevez, A. Cuenca, and S. Molina (2000a), Microtremors as a geophysical exploration tool: applications and limitations, Pure appl. geophys., 157, 1445-1462.

Delgado, J., C.L. Casado, A. Estevez, J. Giner, A. Cuenca, S. Molina (2000b), Mapping soft soils in the Segura river valley (SE Spain): a case study of microtremors as an exploration tool, Journal of Applied Geophysics, 45, 19-32.

Firtana, K. (2005), Mikrotremor ölçülerine etki eden parametrelerin belirlenmesi, Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü.

Hays, W. W., (1996), Site amplification of earthquake ground motion, in Proceeding of the third U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Vol. 1, pp. 357-368.

Ibs-von, M., and J. Wohlenberg, (1999), Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, Bull. seism. Soc. Am., 89, 250-259.

Mertol, A. ve Mertol, HC. (2002), Deprem Mühendisliği Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Koza Ofset, Ankara, Türkiye.

Nakamura, Y., (1989), A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on ground surface, Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute, 30, 25-33.

Parolai, S., P. Bormann, and C. Milkereit, (2002), New relationship between Vs, thickness of sediments, and resonance frequency calculated by the H/V ratio of seismic noise for the Cologne area (Germany), Bull. seism. Soc. Am., 92, 2521-2527.