MEVCUT YAPILARIN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN MİKROTREMOR ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ

M. İnel[1], H.B. Özmen[2], B.T. Çaycı[3] ve G. Özcan[4]

[1] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli*
[2] *Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Uşak Üniversitesi, Uşak*
[3] *Doktora Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli*
[4] *Yüksek Lisans Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli*
Email: minel@pau.edu.tr

ÖZET:

Yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesi sismik etkiler altında bina davranışının anlaşılması konusunda büyük önem arz etmektedir. Ancak bilgisayar modellemesi sırasında yapılan kabuller nedeniyle gerçek bina davranışının analizler yoluyla tam olarak yansıtılması mümkün olmayabilir. Deneysel sonuçların analiz verileri ile karşılaştırılması ve farkların ortaya konması bu açıdan önemlidir. Miktrotremor ölçümleri, yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneysel bir yöntemdir. Bu çalışma kapsamında kat sayıları ve taşıyıcı sistem özellikleri farklı toplam 33 adet mevcut betonarme yapıdan mikrotremor kayıtları alınarak titreşim özellikleri incelenmiştir. Ölçümler iki asal yönde yapılmıştır. Elde edilen kayıtların spektrum grafikleri elde edilmiştir. Bu yolla binanın iki asal doğrultuda baskın titreşim periyotları bulunmuştur. Kat seviyelerinde elde edilen spektral pik değerlerinin genlik oranlarından yola çıkarak binanın baskın moduna ait mod şekli hesaplanmıştır. Bu binalar ayrıca bilgisayar ortamında da modellenerek modal özellikleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak çalışma kapsamında kullanılan mevcut betonarme binaların hakim titreşim periyotları deneysel ve teorik analiz ile ortaya konarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğine miktrotremor kayıtları ile elde edilen hakim titreşim periyotları ile analiz sonuçları arasında dikkat çekici farklar olduğu görülmüştür. Çoğu durumda deneysel yöntemle hesaplanan doğal titreşim periyotları, analiz yöntemleri ile hesaplanan doğal titreşim periyotlarının yaklaşık yarısı civarındadır. Bu sonuca neden olan en önemli faktörün mikrotremor ölçümlerinde dikkate alınan küçük titreşimlerde dolgu duvarların taşıyıcı sisteme olan etkisi ve mevcut analiz yöntemlerinde bu etkinin aynı seviyede yansıtılmaması olduğu düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Mevcut binalar, Mikrotremor, mod şekli, modal analiz, periyot.

1. GİRİŞ

Yapıların dinamik özelliklerinin deneysel yöntemlerle tayin edilmesi gün geçtikçe yaygınlaşan bir tekniktir (Karabulut v.d., 2009, Sungkono v.d., 2011). Analitik yöntemlerde yer alan kabuller ve mevcut bir yapının özelliklerinin tam anlamıyla bilgisayar ortamında modellenmesinin getirdiği zorluklar nedeniyle gerçek bina davranışının yansıtılması mümkün olmamaktadır.

Bu nedenle deneysel yöntemlerle elde edilen verilerin analitik yöntemlerle karşılaştırılması, farkların ortaya konması önem arz etmektedir. Yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneysel yöntemlerden birisi de mikrotremor ölçümleridir. Gerçek zamanlı kayıt alınabilmesi, tahribatsız ve hızlı çözüm vermesi mikrotremor ölçümlerinin avantajları arasında yer almaktadır.

Çalışma kapsamında toplam 33 farklı binadan alınan mikrotremor kayıtlarından yola çıkarak, baskın moda ait doğal titreşim periyotları ve mod şekilleri hesaplanmıştır. Bunlardan 3 adedinden farklı duvar yapım

aşamalarında kayıtlar alınarak dolgu duvar etkisinin ortaya konması hedeflenmiştir. Ayrıca 19 Mayıs Simav depremi sonrası betonarme perdelerle güçlendirilen 4 adet binadan güçlendirme öncesi ve sonrası farklı kayıtlar alınarak, güçlendirme sisteminin yapı dinamik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Mikrotremor kaydı alınan 33 farklı binanın 24 tanesi, bilgisayar ortamında modellenerek deneysel yöntem ve analitik yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır.

Ölçüm alınan binaların büyük çoğunluğu orta katlı konut yapılarından oluşmaktadır. Bununla birlikte Pamukkale Üniversitesi ve Kütahya İl Milli Eğitim Müdürlüğü ile ortaklaşa yürütülen "Okul Yapılarının Sismik Performansının Belirlenmesi" (Pamukkale Üniversitesi, 2011) çalışmalarında incelenen 7 adet okul binasından mikrotremor kayıtları alınarak dinamik özellikleri belirlenmiştir. Ölçüm alınan tüm binalara ait yapısal özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Calışma kapsamında ölçüm yapılan binaların özellikleri

Bina No:	*Katsayısı (Bodrum Dahil)*	*Bodrum*	*Duvar*	*Güçlendirme*	*Perde*	*Bina No:*	*Katsayısı (Bodrum Dahil)*	*Bodrum*	*Duvar*	*Güçlendirme*	*Perde*
1	3	Var	Var	Yok	Yok	17	3	Yok	Var	Yok	Yok
2	4	Yok	Var	Yok	Yok	18	4	Yok	Var	Yok	Yok
3	4	Var	Var	Yok	Var	19	5	Var	Var	Yok	Yok
4	5	Var	Var	Yok	Yok	20	5	Var	Var	Yok	Yok
5	5	Var	Var	Yok	Yok	21	9	Var	Yok	Yok	Yok
6	5	Var	Var	Yok	Yok	22a	3	Var	Var	Yok	Yok
7	6	Var	Var	Yok	Yok	22b	3	Var	Yok	Yok	Yok
8	6	Var	Var	Yok	Yok	23a	7	Yok	Yok	Yok	Yok
9	6	Var	Var	Yok	Yok	23b	7	Yok	Var	Yok	Yok
10	10	Var	Var	Yok	Var	24	9	Var	Yok	Yok	Yok
11	10	Var	Var	Yok	Var	25	6	Var	Yok	Yok	Yok
12a	5	Var	Var	Yok	Yok	25	6	Var	Var	Yok	Yok
12b	5	Var	Var	Var	Yok	26	5	Var	Var	Yok	Var
13a	6	Var	Var	Yok	Yok	27	4	Yok	Var	Yok	Var
13b	6	Var	Var	Var	Yok	28	3	Yok	Var	Yok	Yok
14a	6	Var	Var	Yok	Yok	29	4	Var	Var	Yok	Var
14b	6	Var	Var	Var	Yok	30	2	Yok	Var	Yok	Yok
15a	6	Var	Var	Yok	Yok	31	3	Var	Var	Yok	Var
15b	6	Var	Var	Var	Yok	32	4	Yok	Var	Yok	Var
16a	4	Var	Var	Yok	Yok	33	4	Var	Var	Yok	Var
16b	4	Var	Var	Var	Yok						

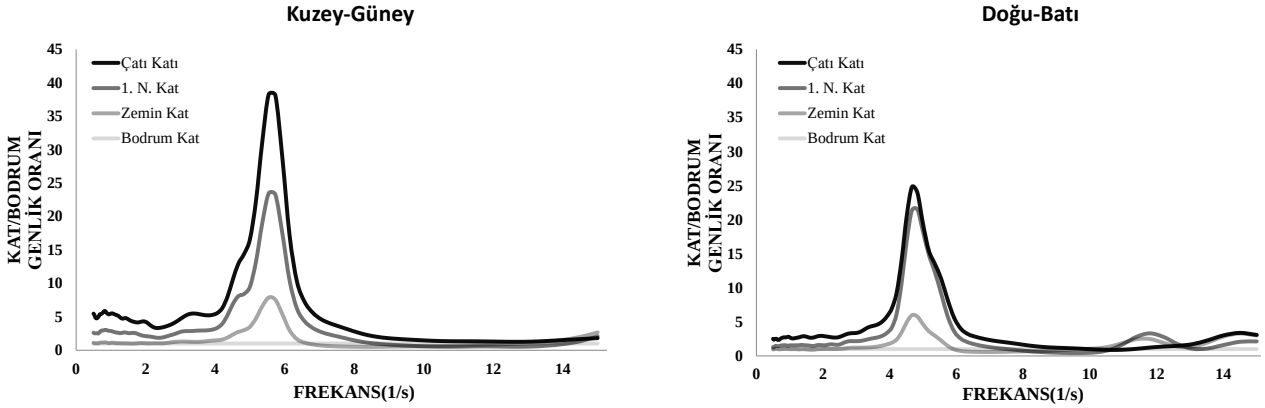
2. MİKROTREMOR KAYITLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ölçümler Guralp Systems firmasına ait üç bileşenli CMG-6TD (Guralp Systems) sismometre ile gerçekleştirilmiştir. Yapı zemininden ve her katta aynı noktadan olmak üzere en az 20'şer dakikalık kayıtlar alınarak veriler analiz edilmiştir. Ölçümler binaların kullanılmadığı ya da gürültünün en az olduğu gece saatlerinde yapılarak istenmeyen gürültü kaynaklarının ölçümleri minimum seviyede etkilemesi hedeflenmiştir.

Kayıtların değerlendirilmesinde Geopsy (Geopsy Project) programı kullanılmıştır. Her kata ait mikrotremor kayıtları Cosine Taper Window ile başlangıç ve bitiş noktaları sıfırlanarak 0.1-20 hz arası filtrelemeyle fourier

genlik spektrumları ve oranları hesaplanmıştır (Nakamura, 1989, Bour v.d.,1998). Yapılan hesaplamalarda kayıtlardan alınan ölçüm pencerelerinin istenmeyen pik ve gürültü içermemesine özen gösterilmiştir.

Şekil1'de tipik bir kayda ait hesaplanmış kat genlik spektrumlarının bodrum kat genlik spektrumuna oranları görülmektedir. Her iki yön için de 5 hz civarında görülen pikler, o yön için binanın baskın moduna ait titreşim frekansını ve genliğini tanımlamaktadır.



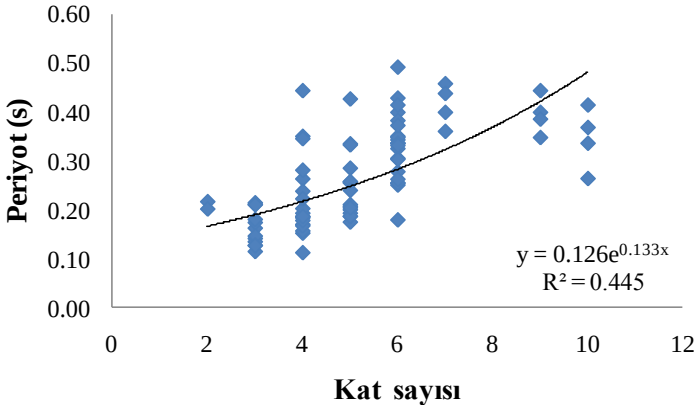
Şekil 1. Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen genlik spektrumlarının katlara göre değişimi

Mod şekline bağlı olarak zemin seviyesinden yukarı doğru çıkıldıkça genlik değerlerinin aynı frekans bandında büyüdüğü görülmektedir. Genlik değerlerinin oranı o yöne ait baskın mod şeklini vermektedir. Mikrotremor kayıtlarını değerlendirerek diğer modlara ait genlik değerlerinin bulunması mümkündür. Ancak genlik değerlerinin düşük olması, zemin ve diğer dış etkenlerden kaynaklanan dinamik etkilerle, katılım oranı düşük modların birbirinden ayrılmasını zorlaştırmaktadır.

Binanın baskın moda ait genlikleri belirlenirken zemin değeri tüm katlardan çıkarılarak zemin etkilerinin salınım genlikleri üzerindeki etkisi minimize edilmiştir. Sonrasında en üst kat genlik değeri 1 olacak şekilde kat genlikleri normalize edilmiş, binanın kayıt alınan yönüne ait baskın mod şekli elde edilmiştir.

3. ANALİZ SONUÇLARI

Ölçümlerden elde edilen doğal titreşim periyotlarının zayıf ve güçlü yön için kat sayısına bağlı değişimi Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 2 incelendiğinde periyot değerlerinin kat sayısına bağlı olarak artan bir eğilimde olduğu söylenebilir. Hesaplanan R^2 (korelasyon katsayısının karesi) değeri 0.445'dir. Ancak bir yapının doğal titreşim periyodunu etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu nedenle kat sayısı ve doğal titreşim periyodu arasında doğrudan bir ilişkinin bulunmaması beklenen bir durumdur.

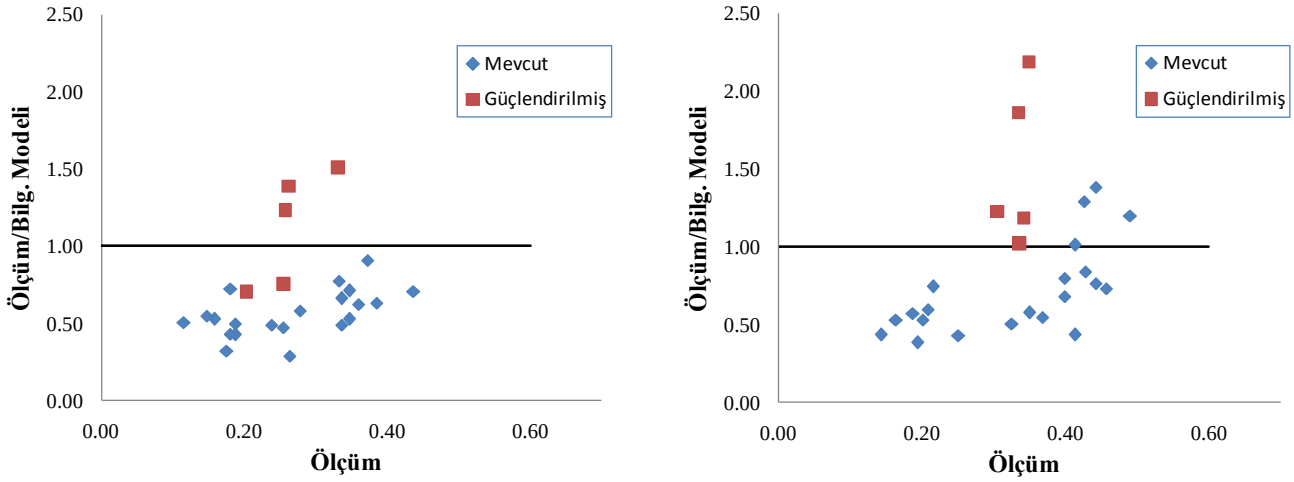


Şekil 2. Mikrotremor ölçümlerinden hesaplanan baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının kat sayısına göre değişimi

Şekil3'te zayıf ve güçlü yön için ölçümler yoluyla ve analitik yolla elde edilen doğal titreşim periyotları karşılaştırılmaktadır. Güçlendirme uygulaması yapılmayan binalarda, her iki yön için de mikrotremor ölçümleri ile elde edilen doğal titreşim periyotları bilgisayar modellemesi ile elde edilen periyotların altındadır. Özellikle dolgu duvarların yapı rijitliğine olan katkısı ve analitik yöntemlerde yapılan kabuller nedeniyle böyle bir farkın olması beklenebilir. (Bayülke, 2011). Ancak güçlendirilmiş binaların ölçüm yoluyla hesaplanan doğal titreşim periyotları mevcut yapıların aksine bilgisayar modelinden daha yüksek sonuçlar vermektedir.

Güçlendirme perdelerinin yapıya sonradan eklenmesi nedeniyle tam bir bütünlük gösterememesi, özellikle düşük genlikli doğal titreşim modlarında beklenin altında bir rijitlik katkısı vermesine neden olmaktadır. Bilgisayar modellerinde bu davranış modellenmediği için rijitlik katkısı daha yüksek, dolayısıyla hesaplanan doğal titreşim periyodu daha düşük bulunmuştur.

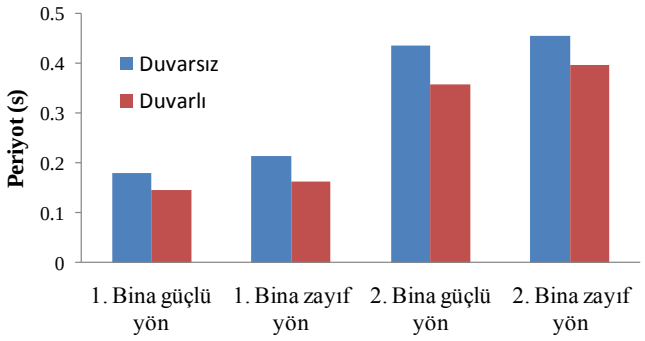
Değerlendirmelerin "Mikrotremor" adında da yer aldığı gibi düşük genlikler için yapıldığı unutulmamalıdır. Dolayısıyla sismik talepler altındaki yapı davranışını tam olarak yansıtmayabilir.



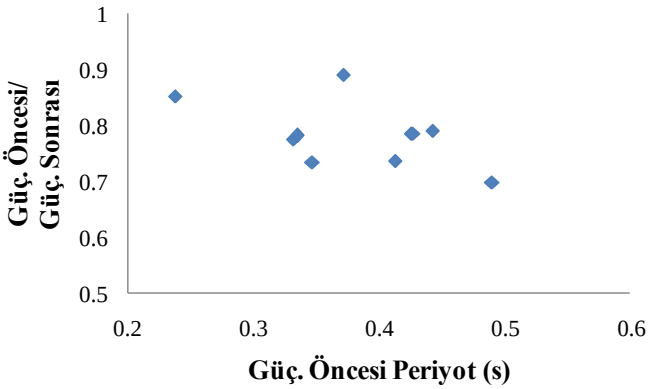
Şekil 3. Mikrotremor ölçümleri ve modal analiz sonucu elde edilen baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının (a) güçlü ve (b) zayıf yöne göre karşılaştırılması

Çalışma kapsamında, binalardan farklı duvar yapım aşamalarında mikrotremor kayıtları alınarak dolgu duvarların etkisinin doğal titreşim periyodu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Şekil 4'te binaların zayıf ve güçlü yönüne ait dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız doğal titreşim periyotları yer almaktadır. Grafik incelendiğinde dolgu duvar katkısı nedeniyle doğal titreşim periyotlarında %14.6 ile %31.5 arasında azalma olduğu görülmektedir.

Şekil 5'te ise Simav bölgesinde güçlendirme uygulaması yapılan binaların güçlendirme öncesi ve sonrasında elde edilen doğal titreşim periyotları oranları yer almaktadır. Ölçüm yapılan binaların tamamı betonarme perde ilavesi ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme uygulamasından sonra ölçülen periyotlarda %10.9 ile %30.1 arasında azalma olduğu gözlenmektedir. Ölçüm yapılan binaların konut yapısı olması, dolayısıyla dolgu duvar oranının yüksek olması ve ilave edilen betonarme perdenin yerinde daha önceden dolgu duvar bulunması nedeniyle, etkinin sınırlı olduğundan bahsedilebilir. Betonarme perdelerin yatay rijitlik katkısının sismik talepler altında çok daha etkin olacağı unutulmamalıdır.



Şekil 4. Binaların dolgu duvar örülmeden ve örüldükten sonra yapılan mikrotremor ölçümleri ile bulunan periyotların değişimi



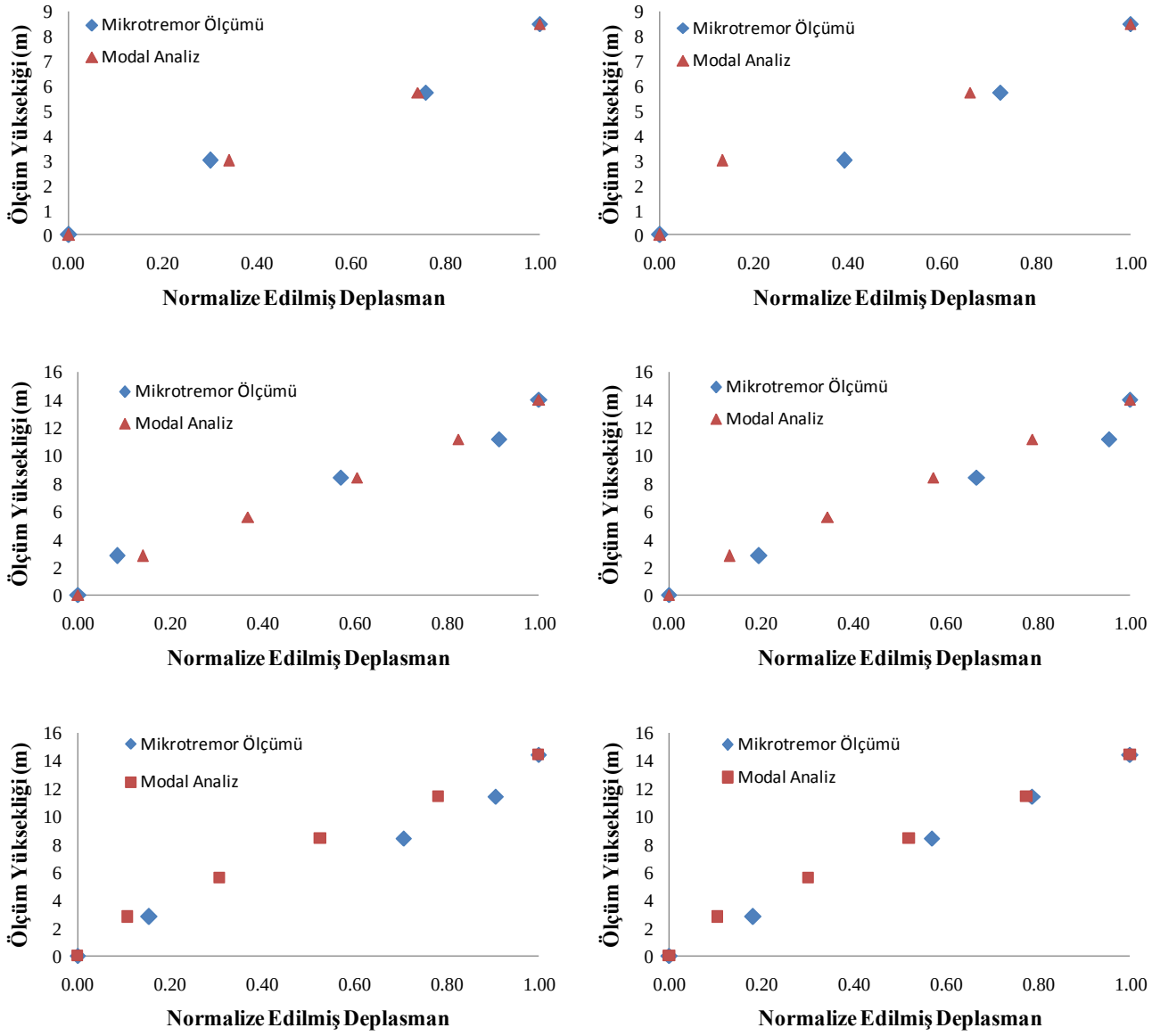
Şekil 5. Güçlendirme uygulaması yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra alınan mikrotremor kayıtları ile bulunan periyotlarının oranı

Çalışma kapsamında farklı katlardan okunan spektral genlik değerlerinden yola çıkarak mod şekilleri öngörülmeye çalışılmıştır. Mod etkilerinin mikrotremor ölçümleri ile ortaya konması, doğal titreşim periyotlarının belirlenmesine göre çok daha hassas ve dikkat isteyen bir konudur. Yapılan ölçümlerde binanın doğal titreşim periyodunun her katta aynı frekans bandında pik vermesi nedeniyle, periyot tahmini spektral genliğin büyüklüğünden bağımsız olarak hesaplanabilmektedir.

Ancak spektral genliklerin büyüklüğü zemin ya da harici birçok dinamik etkiyle değişebilmektedir (Çoşgun v.d., 2007). Aynı zamanda ölçümün her katta aynı noktadan alınması önem arz etmektedir. Tüm bu etkileri minimize

etmek için, zemin genlik değerleri tüm katlardan çıkarılarak son kata göre normalize edilmiştir. Ayrıca ölçümler gece saatlerinde her katta yapı merkezine yakın aynı noktada tekrarlanarak yapılmıştır.

Şekil 6'da üç adet örnek binanın iki asal yönüne ait spektral genliklerin oranları ve modal analizle binaların baskın moduna ait hesaplanan normalize edilmiş deplasman değerleri verilmektedir. Küçük titreşim özellikleri dikkate alındığından özellikle dolgu duvar etkisinin yüksek olması nedeniyle ölçüm yoluyla elde edilen mod şekilleri perdeli çerçeveli sistem benzeri daha doğrusal bir davranış göstermektedir. Düzensizlikler ve yapılan kabuller nedeniyle iki yöntem arasında farklılıkların olduğu örnekler bulunmakla birlikte, genel eğilimin örtüştüğü söylenebilir.



Şekil 6. 3 adet binanın 2 asal yönüne ait mikrotremor ölçümleri ve modal analiz yoluyla elde edilen normalize modal deplasmanlar

3. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- Çalışma kapsamında toplam 33 adet binadan mikrotremor kayıtları alınarak, spektral genlikleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak binaların güçlü ve zayıf yönlerine ait baskın mod doğal titreşim periyotları ve mod şekilleri tahmin edilmiştir.

- Sonuçlar incelendiğinde kat sayısına bağlı olarak doğal titreşim periyotlarının da artış gösterdiği ancak iki parametre arasındaki korelasyonun sınırlı olduğu söylenebilir. Kat sayısı ve doğal titreşim periyodu için hesaplanan korelasyon katsayısının karesi 0.445'dir. Doğal titreşim periyodunun değişiminde, bina yüksekliği ile birlikte bir çok parametrenin de etkili olduğu düşünüldüğünde, elde edilen korelasyonun beklenen sınırlar çerçevesinde olduğu söylenebilir (Şekil 2).

- Analitik yolla elde edilen doğal titreşim periyotları, güçlendirme yapılmayan binalarda mikrotremor ölçümlerinden daha yüksek tahmin edilmektedir. Ancak betonarme perdelerle güçlendirilen binaların büyük çoğunluğunda mikrotremor kayıtları ile elde edilen doğal titreşim periyotları daha yüksek bulunmuştur. Güçlendirme perdelerinin yapıya sonradan eklenmesi nedeniyle tam bir bütünlük gösterememesi, özellikle düşük genlikli doğal titreşim modlarında beklenin altında bir rijitlik katkısı vermesine neden olmaktadır. Bilgisayar modellerinde bu davranış dikkate alınmadığından rijitlik katkısı daha yüksek, dolayısıyla hesaplanan doğal titreşim periyodu daha düşük bulunmuştur (Şekil3).

- Yapılan ölçümler sonucunda, yapıya dolgu duvar eklenmesinin, doğal titreşim periyotlarında %14.6 ile %31.5 arasında azalmaya neden olduğu görülmektedir. Dolgu duvarlar sebebiyle oluşacak periyot değişiminin yapı özellikleri, duvar miktarı ve imalat şekline bağlı olacağı açıktır (Şekil 4).

- Yapıya betonarme perde ilavesi ile yapılan güçlendirme uygulamasından sonra ölçülen periyotlarda %10.9 ile %30.1 arasında azalma olduğu gözlenmektedir (Şekil 5). Ölçüm yapılan binaların konut yapısı olması, dolayısıyla dolgu duvar oranının yüksek olması ve ilave edilen betonarme perdenin yerinde daha önceden dolgu duvar bulunması nedeniyle, etkinin sınırlı olduğundan bahsedilebilir. Betonarme perdelerin yatay rijitlik katkısının sismik talepler altında çok daha etkin olacağı unutulmamalıdır.

- Özellikle dolgu etkinliğinin yüksek olması nedeniyle spektral oranlar ile elde edilen mod şekilleri daha lineer bir davranış göstermektedir. Düzensizlikler ve yapılan kabuller nedeniyle iki yöntem arasında farklılıkların olduğu örnekler bulunmakla birlikte, genel eğilimin örtüştüğü görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışma 2011FBE087'nolu Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından da desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Bayülke, N. (2011). Zemin Ve Betonarme Yapı Deprem Davranışı, Ankara

Bour M., Fouissac D., Dominique P. ve Martin C. (1998) On The Use Of Microtremor Recordings In Seismic Microzonation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 17, 465-474.

Çoşgun T., Pınar A., Yüksel F. A. ve Çoşgun A. (2007). Mevcut Yapıların Deprem Riski Analizinde, Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Örnek Bir Mikrotremor Çalışması. *Kocaeli 2007 International Earthquake Symposium, ,* 22-26 Ekim 2007,37-45

Geopsy Project , http:// www.geopsy.org/

Guralp Systems Ltd, http:// www.guralp.com//

Karabulut S., Ozel O. ve Özçep F. (2009). Deprem Tehtidi Altındaki Mühendislik Yapılarının Hakim Titreşim Periyotlarının Belirlenmesinde Yeni Bir Seçenek: Mikrotremor Yöntemi Ve Örnek Uygulaması. *New World Sicence Academy,* 4:**3,** 428-441

Kütahya Bölgesindeki Okul Binalarının Sismik Performanslarının Belirlenmesi Çalışması (2011), Pamukkale Üniversitesi, Denizli

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

Sungkono S, Warnana D.D., Triwulan M. ve Utama W. (2011) Evaluation of Buildings Strength from Microtremor Analyses. *International Journal of Civil & Environmental Engineering,* 11:**05,** 108-114