

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPILARIN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN MİKROTREMOR
ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS
Gökhan ÖZCAN**


Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği


Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet İNEL

AĞUSTOS 2013

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU


Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 101131014noluöğrecisi Gökhan ÖZCAN tarafından hazırlanan “YAPILARIN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN MİKROTREMOR ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet İNEL (PAÜ) 
(Jüri Başkanı)

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hayri Baytan ÖZMEN (USAK) 

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Erdal AKYOL (PAÜ) 

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 18/09/2013 tarih ve 30/32.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza:

Öğrenci Adı Soyadı:Gökhan ÖZCAN

ÖNSÖZ

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Yapıların Dinamik Özelliklerinin Mikrotremor Ölçümleri ile Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı bana önererek, Yüksek Lisans öğrenimim boyunca, değerli katkılarını ve emeğini esirgemeyen, çalışma süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım tez danışmanım Prof. Dr. Mehmet İNEL'e, sonsuz teşekkür ederim.

Bir ekip olarak çalışmaktan zevk duyduğum, çalışma boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım İnş. Yük. Müh. Bayram Tanık ÇAYCI'ya, İnş. Yük. Müh. Ali Kalkan'a, İnş. Müh. Ceren GÜLLE'ye, İnş. Müh. Muhammet KAMAL'a ve İnş. Müh. Osman ALTINEL'e çok teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca her türlü fedakârlığı gösteren, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam, annem ve ablam'a sonsuz teşekkür ederim.

Ağustos 2013

Gökhan ÖZCAN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Tezin Önemi.....	1
1.2 Tezin Amaç ve Kapsamı.....	2
1.3 Literatür özeti.....	3
1.3.1 Mikrotremor ölçümleri ile ilgili yapılan çalışmalar.....	3
1.3.2 Modal analiz ile ilgili yapılan çalışmalar.....	4
2 MİKROTREMOR ÖLÇÜMÜ	6
2.1 Titreşimciklerin Tanımı.....	6
2.2 Mikrotremor Ölçümlerinde Kullanılan Sismometre Cihazı ve Ekipmanları.....	6
2.3 Mikrotremor Ölçümlerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler... ..	8
2.3.1 Fourier genliklerinin veya güç spektrumlarının yorumlanması.....	8
2.3.2 Nakamura yöntemi.....	9
2.4 Kullanılan Programlar ve Özellikleri.....	10
2.4.1 Scream! programı.....	10
2.4.2 Geopsy programı.....	12
2.4.3 Sta4cad programı.....	13
2.5 Kayıt Alınan Mikrotremor Verilerinin Değerlendirilmesi ve Analizi.....	14
2.5.1 Ölçüm parametreleri.....	14
2.5.2 Verilerin değerlendirilmesi.....	15
2.5.3 Bina doğal titreşim periyodu ve spektrumlarının belirlenmesi.....	15
2.5.4 Seçilen örnek binada doğal titreşim periyodu ve spektrum uygulaması.....	16
2.5.5 Alınan ölçümlerin Geopsy programında değerlendirilmesi.....	17
3 BİNA ÖZELLİKLERİ	30
3.1 Modelleme Aşaması.....	30
3.1.1 Modal analiz.....	31
3.1.2 Modal parametrelerin elde edilmesi.....	31
3.2 Mikrotremor Kayıtlarından Birinci Mod Şeklinin Elde Edilmesi.....	32
3.3 Modal Analiz Sonuçlarıyla Birinci Mod Şeklinin Elde Edilmesi.....	39
4 MİKROTREMOR KAYITLARI VE MODAL ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	45
4.1 Sistem Güçlendirmesinin Bina Davranışı Üzerindeki Etkileri.....	47
4.2 Dolgu Duvar Etkisinin Bina Davranışı Üzerindeki Etkileri.....	55
4.3 Kamu Binalarında Mikrotremor Kaydı ve Modal Analiz Sonuçlarının Verilmesi.....	61
4.4 Konut yapılarında Mikrotremor Kaydı ve Modal Analiz Sonuçlarının Verilmesi.....	65
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	73
EKLER	76

KISALTMALAR

TDY	: Türk Deprem Yönetmeliği
Hz	: Hertz
GCF	: Güralp Compressed Format
H/V	: Yatay Bileşenin Düşey Bileşene Oranı
s	: Saniye
V_s	: Yüzey Tabakasının Düşey Bileşeni
EW²	: Doğu-Batı Bileşeninin Karesi
NS²	: Kuzey-Güney Bileşeninin Karesi
UD²	: Düşey Bileşenin Karesi
STA	: Kısa Zaman Aralıklarında Ölçüm Değerlerinin Mutlak Değerinin Ortalaması
LTA	: Uzun Zaman Aralıklarında Ölçüm Değerlerinin Mutlak Değerinin Ortalaması
N	: Kuzey
S	: Güney
E	: Doğu
W	: Batı

TABLO LİSTESİ

Tablolar

2.1: Çatı katta her iki yön için frekans-genlik oran verileri.....	25
2.2: Çatı kata ait N-S, E-W spektrum oran genlikleri.....	28
3.1: Çatı kat ve 1. Normal kata ait N-S (kısa doğrultu) spektrum genlikleri.....	33
3.2: Zemin kat ve bodrum kata ait N-S (kısa doğrultu) spektrum genlikleri.....	34
3.3: Bina N-S (kısa) doğrultusunda normalize edilen genlik verileri.....	35
3.4: Çatı kat 1. Normal kata ait E-W (uzun doğrultu) spektrum genlikleri.....	37
3.5: Zemin kat ve bodrum kata ait E-W (uzun doğrultu) spektrum genlikleri.....	38
3.6: E-W (uzun) doğrultusunda normalize edilen genlik verileri.....	39
3.7: Bina X (uzun) yönüne ait normalize edilmiş deplasman verileri.....	42
3.8: Bina Y (kısa) yönüne ait normalize edilmiş deplasman verileri.....	43
4.1: Çalışma kapsamında ölçüm yapılan binaların özellikleri.....	46
4.2: Güçlendirme öncesi periyot verileri.....	47
4.3: Güçlendirme sonrası periyot verileri.....	47
4.4: 32 nolu binaya ait güçlendirme öncesi N-S (kısa) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler.....	50
4.5: 32 nolu binaya ait güçlendirme öncesi E-W (uzun) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler.....	51
4.6: 32 nolu binaya ait güçlendirme öncesi kısa yön analitik yöntem normalize deplasmanlar.....	51
4.7: 32 nolu binaya ait güçlendirme öncesi uzun yön analitik yöntem normalize deplasmanlar.....	51
4.8: 32 nolu binaya ait güçlendirme sonrası N-S (kısa) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler.....	52
4.9: 32 nolu binaya ait güçlendirme sonrası E-W (uzun) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler.....	52
4.10: 32 nolu binaya ait güçlendirme sonrası kısa yön analitik yöntem normalize deplasmanlar.....	52
4.11: 32 nolu binaya ait güçlendirme sonrası uzun yön analitik yöntem normalize deplasmanlar.....	52
4.12: Dolgu duvar öncesi periyot verileri.....	55
4.13: Dolgu duvar sonrası periyot verileri.....	55
4.14: 25 nolu binaya ait dolgu duvar öncesi N-S (kısa) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler.....	57
4.15: 25 nolu binaya ait dolgu duvar öncesi E-W (uzun) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler.....	57
4.16: 25 nolu binaya ait dolgu duvar öncesi uzun yön analitik yöntem normalize deplasmanlar.....	57
4.17: 25 nolu binaya ait dolgu duvar öncesi kısa yön analitik yöntem normalize deplasmanlar.....	57

4.18: 25 nolu binaya ait dolgu duvar sonrası N-S (kısa) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler.....	58
4.19: 25 nolu binaya ait dolgu duvar sonrası E-W (uzun) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler	58
4.20: 25 nolu binaya ait dolgu duvar sonrası uzun yön analitik yöntem normalize deplasmanlar	58
4.21: 25 nolu binaya ait dolgu duvar sonrası kısa yön analitik yöntem normalize deplasmanlar	58
4.22: Kamu binalarına ait deneysel yöntem ve analitik yöntem periyot verileri	62
4.23: 23 nolu binaya ait N-S (kısa) doğrultusu deneysel yöntem normalize	62
4.24: 23 nolu binaya ait E-W (uzun) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler	63
4.25: 23 nolu binaya ait uzun yön analitik yöntem normalize deplasmanlar.....	63
4.26: 23 nolu binaya ait kısa yön analitik yöntem normalize deplasmanlar	63
4.27: Konut yapılarına ait deneysel yöntem ve analitik yöntem periyot verileri	66
4.28: 8 nolu binaya ait N-S (kısa) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler	66
4.29: 8 nolu binaya ait E-W (uzun) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler	67
4.30: 8 nolu binaya ait uzun yön analitik yöntem normalize deplasmanlar.....	67
4.31: 8 nolu binaya ait kısa yön analitik yöntem normalize deplasmanlar	67

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1: Sismometre cihazı ve ekipmanları.....	7
2.2: Scream! başlatıldığında ekranda görüntülenen ana pencere	11
2.3: Dizüstü bilgisayarda tanımlanan seri port.....	12
2.4: Geopsy programı ana ekranı.....	13
2.5: Mikrotremor ölçümü yapılan bina	16
2.6: Mikrotremor ölçümü yapılan binanın bilgisayar modeli	17
2.7: Mikrotremor ölçümü yapılan binanın zemin kat planı	17
2.8: Seçilen sinyallerden grafik alınması	18
2.9: yatay/düşey spektral oranlar yönteminin seçilmesi	18
2.10: Sinyallerin 20s'lik pencereler ile pencerelenmesi	19
2.11: Sinyallerin (0.8-10) Hz aralığında butterworth bant geçişli filtre (1. Dereceden) ile filtrelenmesi.....	19
2.12: Seçilen sinyallerin filtreleme aralıkları	20
2.13: "Directional energy" seçeneğinden 0 (sıfır) derece seçilmesi.....	21
2.14: 0 (sıfır) derece kısa yön için doğal titreşim periyoduna ait baskın frekans.....	21
2.15: "Directional energy" seçeneğinden 90 derece seçilmesi	22
2.16: 90 derece, uzun yön için doğal titreşim periyoduna ait baskın frekans	22
2.17: Uzun yön için frekans-genlik verileri	23
2.18: Kısa yön için frekans-genlik verileri.....	23
2.19: Wordpad'de kaydedilen frekans-genlik verileri	24
2.20: Bina uzun yön için frekans-genlik grafiği.....	26
2.21: Bina kısa yön için frekans-genlik grafiği	26
2.22: Çatı kata ait genlik spektrumları.....	27
2.23: N-S doğrultusunda spektrum grafiği.....	29
2.24: E-W doğrultusunda spektrum grafiği.....	29
3.1: Çatı kata ait N-S (kısa doğrultu) spektrum grafiği	32
3.2: Binanın N-S (kısa) doğrultusunda 1.mod şekli	35
3.3: Çatı kata ait E-W (uzun) doğrultusu spektrum grafiği.....	36
3.4: Binanın E-W (uzun) doğrultusunda 1.mod şekli	39
3.5: Bilgisayar ortamında modellenen yapı üç boyutlu modeli.....	40
3.6: Bilgisayar ortamında modellenen yapının analiz edilmesi	40
3.7: Bilgisayar ortamında yapı deprem raporu.....	41
3.8: Bilgisayar ortamında $\pm X$ duvarlı deprem analizi	41
3.9: Bilgisayar ortamında $\pm Y$ duvarlı deprem analizi.....	41
3.10: Bilgisayar ortamında duvarlı deprem analizi sonucu periyotlar.....	42
3.11: Uzun yön binaya ait 1.mod şekli	42
3.12: Kısa yön binaya ait 1.mod şekli.....	43
3.13: Kısa yön için 1.mod şekilleri.....	43
3.14: Uzun yön için 1.mod şekilleri.....	44

4.1: Mikrotremor ölçümlerinden hesaplanan baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının kat sayısına göre değişimi.....	47
4.2: Güçlendirme öncesi ve sonrası periyot değişimi.....	49
4.3: Mikrotremor ölçümleri ve modal analiz sonuçları elde edilen baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının uzun yöne göre karşılaştırılması	49
4.4: Mikrotremor ölçümleri ve modal analiz sonuçları elde edilen baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının kısa yöne göre karşılaştırılması	50
4.5: Güçlendirme uygulaması yapıldıktan sonra ve yapılmadan önce deneysel yöntem ile bulunan periyotların oranlanması	50
4.6: 32 nolu binanın kısa yönüne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekillerinin karşılaştırılması.....	53
4.7: 32 nolu binanın uzun yönüne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekillerinin karşılaştırılması.....	53
4.8: 32 nolu bina için güçlendirme öncesi yatay/düşey spektral oran grafikleri.....	54
4.9: 32 nolu bina için güçlendirme öncesi genlik spektrumları	54
4.10: 32 nolu bina için güçlendirme sonrası yatay/düşey spektral oran grafikleri..	54
4.11: 32 nolu bina için güçlendirme sonrası genlik spektrumları	55
4.12: Dolgu duvar öncesi ve sonrası periyot değişimi.....	56
4.13: Dolgu duvar sonrası ve öncesi deneysel yöntem ile bulunan periyotların oranlanması.....	56
4.14: 25 nolu bina için kısa yöne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekillerinin karşılaştırılması.....	59
4.15: 25 nolu bina için uzun yöne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekillerinin karşılaştırılması.....	59
4.16: 25 nolu bina dolgu duvar öncesi yatay/düşey spektral oran grafikleri	60
4.17: 25 nolu bina dolgu duvar öncesi genlik spektrumları.....	60
4.18: 25 nolu bina dolgu duvar sonrası yatay/düşey spektral oran grafikleri	61
4.19: 25 nolu bina dolgu duvar sonrası genlik spektrumları.....	61
4.20: Mikrotremor ölçümleri ve modal analiz sonucu elde edilen baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının karşılaştırılması.....	62
4.21: Kısa yöne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekilleri	64
4.22: Uzun yöne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekilleri.....	64
4.23: 23 nolu bina için yatay/düşey spektral oran grafikleri.....	65
4.24: 23 nolu bina için genlik spektrumları	65
4.25: Mikrotremor ölçümleri ve modal analiz sonucu elde edilen baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının kısa ve uzun yöne göre karşılaştırılması	66
4.26: 8 nolu binanın kısa yönüne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekilleri.	68
4.27: 8 nolu binanın uzun yönüne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekilleri	68
4.28: Her iki yön için yatay/düşey spektral oran grafikleri.....	69
4.29: Her iki doğrultu için genlik spektrumları.....	69

SEMBOL LİSTESİ

f_0	: Frekans
h	: Yükseklik
k	: Rijitlik
σ	: Gerilme

ÖZET

YAPILARIN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN MİKROTREMOR ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ

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 son derece önemlidir. Mikrotremor ölçümleri, yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneysel bir yöntemdir. Çalışmanın amacı mevcut yapı stoğunun hakim titreşim periyodu, mod şekli gibi dinamik özelliklerinin hızlı ve kolay uygulanabilir bir yöntem olan titreşimcik (mikrotremor) ölçümleri vasıtasıyla belirlenmesidir. Tez çalışması kapsamında kat sayıları ve taşıyıcı sistem özellikleri farklı toplam 33 adet mevcut betonarme yapıdan mikrotremor kayıtları alınarak titreşim özellikleri incelenmiştir. Elde edilen kayıtların spektrum grafikleri elde edilip, 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. Binalar bilgisayar ortamında modellenerek modal özellikleri hesaplanmış ve deneysel verilerle kıyaslanmıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde mikrotremor kayıtları ile elde edilen hakim titreşim periyotları ve analiz sonuçları arasında dikkat çekici farklar olduğu görülmüştür. Çoğu durumda deneysel yöntemle hesaplanan doğal titreşim periyotları analiz yöntemlerine göre dikkat çekici seviyelerde düşük değerlerdedir. Bu sonuca neden olan en önemli faktörün mikrotremor ölçümlerinde dikkate alınan küçük titreşimlerde dolgu duvar ve sisteme eklenen güçlendirme perdelerinin taşıyıcı sisteme olan etkisi ve mevcut analiz yöntemlerinde bu etkinin aynı seviyede yansıtılmaması olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikrotremor, Nakamura Tekniği, Titreşim Frekansı, Yapıların Mod şekli, Dinamik Özellikler

SUMMARY

DETERMINATION OF DYNAMIC PROPERTIES OF STRUCTURES WITH MICROTREMOR MEASUREMENT

Determination of dynamic properties of structures under seismic effects is of great importance for understanding the behavior of the building. However, due to assumptions made during the computer modeling, analysis may not be able to reflect fully the actual behavior of the building. Revealing the differences after comparing experimental data and analysis of the results is extremely important. Microtremor measurements is an experimental method used to determine the dynamic properties of structures. In the scope of this thesis, vibration characteristics were assessed based on microtremor records of a total of 33 existing reinforced concrete structure with different number of stories and structural properties. Measurements were made in two principal direction. Spectrum graphics were obtained from the records, in this way the dominant vibration periods of the building has been found in two principal directions. The mode shape of the dominant mode of the building were calculated based on amplitude ratios of spectral peak values obtained from the floor-level. Also, buildings were modeled on computer and modal properties were calculated. As a result, characteristic periods of existing reinforced concrete buildings used in the scope of work were compared, putting forward experimental and theoretical analysis. According to data obtained, remarkable differences between dominant vibration intervals and analysis of results obtained by microtremor records, were seen. In most cases, the natural vibration periods calculated by experimental method are remarkably low according to analysis methods. The most important factor causing this result is thought to be the effect of infill walls on structural system under small vibration taken into account in microtremor measurement results and the fact that this effect is not reflected in existing analysis methods at the same level.

Keywords: Microtremor, Nakamura technique, vibration frequency, mode shape of the structures, Dynamic properties

1 GİRİŞ

1.1 Tezin Önemi

Mevcut yapı stoğundaki binaların olası deprem etkileri altında oluşabilecek hasarlar açısından gerekli önlemlerin alınması son derece önem arz etmektedir. Bununla birlikte yapılar, tasarım aşamasında yapı tasarım ilkeleri göz önüne alınarak düşey yüklerin yanında yatay etkileri de göz önüne alınarak emniyetli olarak taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Deprem esnasında yapıya etkiyen yükler yapının oturduğu zemin titreşimleri sonucu yapılarda meydana gelen atalet kuvvetleridir. Bu yükler mevcut yapının kütesine, hakim titreşim periyoduna, mod şekline zeminin dinamik parametrelerine, süreye ve sıklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu yüzden her bir yapının kendine özgü dinamik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Böylelikle olası deprem etkileri ya da herhangi bir nedenden dolayı oluşan titreşim etkileri altında mevcut yapıda oluşabilecek hasarların önlenmesi ve bu hasarların minimuma indirgenmesi sağlanmış olacaktır (Çoşgun vd., 2007).

Yapıların dinamik özelliklerinin deneysel yöntemlerle tayin edilmesi gün geçtikçe yaygınlaşan bir tekniktir (Karabulut vd., 2009, Sungkono vd., 2011). Kentsel yerleşim bölgelerinde özellikle zemin hakim titreşim periyotlarını belirleyebilmek için titreşimcik (mikrotremor), yatay/düşey spektral oran tekniği sıklıkla kullanılmaktadır. Mikrotremor ölçümleri genellikle mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılmış olup bu konuda oldukça fazla yayın olmasına karşın, mikrotremor ölçümleri ile ilgili bina hakim periyodunu belirleme, zemin-yapı etkileşiminin boyutların ortaya koyma konularındaki yayın sayısı oldukça azdır.

Betonarme çerçeveli yapılarda dolgu duvarların ve taşıyıcı olmayan elemanların sistem davranışına etkilerinin araştırılması için yapıların değişik konumlarda periyotları ölçülmelidir. Ankara'da 1980'li yıllarda birkaç betonarme çerçeveli yapıda sadece çerçeveli ve tümü ile bitmiş konumda periyotları ölçülerek dolgu duvarsız ve duvarlı yapıların düşük genlikli titreşimler altında periyotları karşılaştırılmıştır. Sadece çerçeveli durumda ve dolgu duvarı örüldükten sonra titreşim monitörü ile periyotları ölçülmüş binalarda titreşim periyotlarında büyük

değişimler gözlenmiştir. Periyot değişimleri çok düşük yatay yük veya çok düşük genlikli titreşimlerde gözlenmiştir. Bu yapıların bitmiş durumdaki, dolgu duvar ve sıvaları yapılmış durumda titreşim periyotları yalnız betonarme çerçeve durumundaki periyotlarının %50-%70'ikadardır. Dolgu duvarlar yapıların çıplak çerçeve konumundaki rijitliğini 2 ile4 kat arasında artırabilmektedir. Dolgu duvarların sistem rijitliğine olan katkısı aslında daha da büyüktür. Çünkü dolgu duvarlar yapının ağırlığını arttırarak bu ağırlık artışı sayesinde yapı periyodunu da arttırmaktadırlar. Ancak rijitlik artışıyla periyot azalmasının küçük bir bölümü ağırlık artırımının getireceği daha sınırlı periyot artışıyla fazlasıyla karşılamaktadır (Bayülke,1989).

Türkiye sismik hareketlerin oldukça yoğun yaşandığı bir coğrafyada yer almaktadır. Yapıların sismik hareketlerin etkisi altında davranışının belirlenmesi oldukça karmaşık bir konudur. Bilgisayar modelleri ile yapılan analizler birçok basitleştirme ve varsayımlar içermektedir. Bu durum yapıların gerçek dinamik davranışlarının ortaya konmasının ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışma kapsamında birçok konut ve kamu binasından, sismometre yardımıyla titreşimcik (mikrotremor) ölçümlerinin alınması ve elde edilen veriler ışığında yapıların baskın titreşim periyodu ile baskın mod şeklinin bulunması hedeflenmektedir.

1.2 Tezin Amaç ve Kapsamı

Çalışmanın amacı mevcut yapı stoğunun hakim titreşim periyodu, mod şekli gibi dinamik özelliklerinin hızlı ve kolay uygulanabilir bir yöntem olan titreşimcik (mikrotremor) ölçümleri vasıtasıyla belirlenmesidir.

Tez kapsamında mevcut yapı stoğundan seçilen binalarda dolgu duvarsız yalnızca betonarme çerçevesi ve kısmen örülen dolgu duvarlar ile dolgu duvar ve sıvaları tümüyle bitmiş durumdaki yapılarda titreşimcik (mikrotremor) ölçümleri vasıtasıyla periyot değişimlerinin gözlenmesi ve dolgu duvarların sistem rijitliğine olan katkıları araştırılmıştır. Ayrıca Pamukkale Üniversitesi tarafından güçlendirilmiş kamu binalarının güçlendirme öncesinde ve sonrasında dinamik özelliklerinin değişimi, sistem güçlendirmesinde yaygın bir yöntem olan betonarme perde elemanlarının sistem rijitliğine olan katkılarının ne ölçüde olduğunu irdelenmesi hedeflenmiş, ancak güçlendirme işlemi gerçekleştirmediği için sadece mevcut durumları değerlendirilebilmiştir.

1.3 Literatür özeti

1.3.1 Mikrotremor ölçümleri ile ilgili yapılan çalışmalar

Utku vd. (2011) Nakamura tekniğiyle mikrotremor verisini değerlendirme yaklaşımını farklı iki zemini ele alarak mühendislik sismolojisinde yaygın olarak kullanılan bu yöntemin kısıtlarını irdelemişlerdir. Tek istasyonda yatay bileşenin düşey bileşene oranı (H/V) olan Nakamura yaklaşımını, hem doğal zemine hem de aynı zeminin sağlamlaştırılmış haline uygulamışlardır. Doğal zemindeki 1 istasyon ile sağlamlaştırılmış zemindeki 3 istasyonda alınan toplam 7 saatlik mikrotremor ölçümlerine göre Nakamura tekniğiyle zeminlerin ayırt edilmesinin mümkün olmadığını saptamışlardır. Buradan hareketle, Nakamura tekniğinin dayandığı oranlama işlemi, ölçüm alanının ortalama dinamik davranışına karşılık geldiğini göstermişlerdir.

Bayülke (1989) betonarme çerçeveli yapılarda, sadece çerçeveli ve dolgu duvar ve sıvaları tümü ile bitmiş konumdaki yapılarda mikrotremor ölçümleri yaparak dolgu duvarsız ve duvarlı yapıların düşük genlikli titreşimler altında, yapının her iki durumdaki periyotlarını karşılaştırarak dolgu duvarların titreşim periyoduna etkisini araştırmıştır.

Çoşgun vd. (2007) yapının dinamik davranışına etki eden 3 ana faktör olan zemin özellikleri, yapısal etkiler (proje ve uygulaması) ve varsa yapının içinde yapının davranışını etkileyen ağır iş makinelerinin yarattığı titreşimlerin birlikte yarattığı etkiyi mikrotremor yöntemini kullanarak örnek bir binada araştırmışlardır.

17 Ağustos 1999 İzmit depreminden sonra İstanbul ili Avcılar ilçesi sınırlarında yer alan Avcılar Kampüsü Mühendislik Fakültesi binası güçlendirme ve tamirat sürecine girmiş olup, binanın hakim titreşim periyodu değişimi Karabulut vd. (2009) tarafından ölçülmüştür. Yapının titreşim frekansını belirleyebilmek ve zemin yapı etkileşiminin ortaya konulması amacıyla bir dizi mikrotremor ölçümü yapılarak fakülte binasının salınım periyodunu yatay/düşey spektral oran tekniği ile belirlemişlerdir.

Tekebaş vd. (2011) Sesame projesi kapsamında elde edilen sonuçlara göre mikrotremor verileri değerlendirilirken güvenilir bir değerlendirme için 3 temel koşulu incelemişlerdir. Birincisi tahmin edilen T_0 'a göre seçilmesi gereken pencere sayısını belirlemektir. İkinci koşul tüm kayıt içerisindeki belirgin devirlerin sayısının

200'den büyük olması gerektiğini belirtmektedir. Son koşul ise f_0 değerinin 0.5Hz'den büyük veya küçük olmasına göre H/V eğrisinin standart sapma değerlerinin (σ) belli değerlerden küçük olmasıdır ($f_0 < 0.5\text{Hz}$ ise $\sigma < 3$ ve $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ise $\sigma < 2$). Bu kuralların kolaylıkla incelenebilmesi için kullanıcı dostu bir arayüz hazırlanmış ve bu arayüzün nasıl çalıştığı anlatılmıştır.

Zemin sıvılaşması yaşamsal yapılar ve bina temelleri için hasarın başlıca nedenlerinden biri olmuştur (Ascı vd.,2005). Zeminin titreşimi sonucu ortaya çıkan sıvılaşma ile zeminin baskın titreşim frekansları arasında bir ilişki olmalıdır. Bu amaçla İzmit Saraybahçe Belediyesi sınırları içinde kalan alanın zemin kısmını oluşturan kıyı kesimi özdirenç, sondaj ve sismik açıdan incelemeye alınmıştır. Çalışma sonucunda mikrotremor çalışmasından elde edilen baskın periyot haritalarının yüksek salınım gösteren bölgeleri ile yüksek sıvılaşma riski taşıyan bölgeler çakışmışlardır

Siyahi vd. (2005) Adapazarı bölgesinde zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme çalışmasını 220 adet mikrotremor kaydı kullanılarak yapmıştır. Analizler Nakamura yöntemine göre yapılarak nihai sonuçlar Fourier genlik spektrumları hesaplanarak Nakamura yöntemi ile zemin büyütme ve zemin hakim periyotları bulunarak elde edilmiştir. Mikrotremor çalışmaları yapılan bölgelerde mevcut jeoloji, geoteknik veriler ve 1999 Kocaeli depreminde oluşan hasar değerleri karşılaştırılmıştır. Zemin hakim periyotlarının dağılımı yerel zemin koşullarının değişim gösterdiği bölgelerde büyük ölçüde değiştiği ayrıca deprem esnasında gözlenen yapısal hasar dağılımı ile de paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir.

1.3.2 Modal analiz ile ilgili yapılan çalışmalar

Bayraktar vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada tek açıklıklı ve üç katlı bir düzlem çerçevenin deneysel ve teorik modal analizi yapılmıştır. Ölçüm için içi boş dikdörtgen kesitli elemanlar kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan model üzerinde gerekli ölçümler yapılarak dinamik özellikler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar teorik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılarak yöntemin uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Bayraktar vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada bina türü yapılar dikkate alındığında binaların yapım aşamalarına bağlı olarak dinamik parametrelerin değişim gösterdiği bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında farklı yapım aşamalarındaki üç betonarme binanın dinamik parametreleri deneysel ölçüm yöntemiyle elde edilmiştir. Gerçekleştirilen ölçümlerden binaların mevcut durumları için doğal frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları belirlenmiştir. Binaların birinci doğal frekansları standartlarda kullanılan yaklaşık yöntemlerle hesaplanmış, ölçülen ve hesaplanan frekans değerleri karşılaştırılmıştır. İncelenen binaların doğal titreşim frekansları ve mod şekilleri mevcut durum için elde edilmiş ve beklenen modal davranışın elde edildiği görülmüştür. Ayrıca binaların ölçülen birinci frekanslarının hesaplanan değerlerden daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Dönmez vd. (2009) İzmir Yüksek teknoloji Enstitüsü (İYTE), inşaat mühendisliği bölümü'nde Tübitak projesi kapsamında deneysel modal analiz tekniğinin kullanılması yönünde yapılan çalışma kapsamında, laboratuarda imal edilmiş basitleştirilmiş bir köprü maketi üzerinde modal analiz teknikleri kullanılarak, sistemde oluşacak herhangi bir hasarın sistemin sıklığını ve aynı zamanda dinamik özelliklerini değiştireceği gerçeğinden yola çıkarak, hasar öncesi ve sonrası dinamik özelliklerin izlenmesi sayesinde yapıda oluşan hasarlar tahribatsız bir şekilde tesbit edilmesini sağlamışlardır. Ayrıca maket köprünün sonlu elemanlar modeli kurularak analiz ve deney sonuçlarını karşılaştırıp irdelemişlerdir.

2 MİKROTREMOR ÖLÇÜMÜ

2.1 Titreşimciklerin Tanımı

Yeryüzünde meydana gelen sismik patlamalar ve depremler dışında, doğal veya doğal olmayan nedenlerden dolayı ortaya çıkan, periyotları birkaç dakikayı aşmayan, yeryüzünün oluşturduğu bu titreşim hareketlerine genel olarak mikrosismik (çok küçük yer sarsıntıları) denir. Titreşimcik (mikrotremor) ifadesi 0.05 ile 2s aralığındaki periyotlar için kullanılmaktadır. Genlikleri genellikle 0.1 mikron seviyesindedir ve daha çok yapay nedenlerle oluşurlar.

Japonya'da yapılan birçok noktadan alınan mikrotremor kayıtları neticesinde depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerinin, sismik faktörlerin saptanabilmesi amacıyla kullanılabilceği ortaya çıkarılmıştır. (Kanai vd. ,1961).

Kanai vd.'nin geliştirdiği yöntem sayesinde deprem olma olasılığı yüksek olan bölgelerde, depreme dayanıklı yapının tasarım aşamasında, yapının periyodu ve kaç katlı tasarlanması konusunda bilgi verecektir.

2.2 Mikrotremor Ölçümlerinde Kullanılan Sismometre Cihazı ve Ekipmanları

Binalarda kaydedilen mikrotremor ölçümleri Güralp marka 3 kanallı CMG-6TD (Güralp systems) sayısal çıkışlı portatif geniş bantlı model sismograf ile alınmıştır. Binalarda ölçüm alınırken sismometre sistemi, güç birimi ve bunlara bağlı yan birimler ile sismometre sistemi yapısına bağlı olarak bir dizüstü bilgisayar kullanılmıştır.

Mikrotremor ölçümleri ivme, hız ya da yer değiştirme türünden kaydedilmektedirler. Binalarda mikrotremor ölçümlerinde kullanılan sismometre cihazı Doğu-Batı, Kuzey-Güney ve Düşey olmak üzere üç bileşenli kayıt almaktadır. Kullanılan sismometre ile yapılan ölçümlerden hız kaydı alınmaktadır. Alınan kayıtlar dizüstü bilgisayara sayısal veri olarak aktarılmaktadır. Alınan kayıtların örnekleme aralıkları

0.8-10Hz aralığındadır. Mikrotremor ölçümleri Scream! Programı vasıtası ile sayısal veri olarak GCF (Güralp Compressed Format) formatında kaydedilmiştir. Sismometre cihazı ve ekipmanları Şekil 2.1’de görülmektedir. Cihaz ile ilgili teknik özellikler aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 2.1: Sismometre cihazı ve ekipmanları

- Frekans aralığı: 0.033Hz-100Hz
- Çıkış hassasiyeti: $2 \times 1000 \text{V/m/s}$
- Bileşenli Feedback Sismometre (X-Y-Z)
- 24-Bit 3 Kanallı Sismik Kayıtcı
- Dahili bellek: 2Gb (16Gb’a kadar)
- Ağırlık: 3kg’dan az
- Kullanım alanları: Deprem kaydı, Mikrotremor ölçümleri
- Yapılabilecek testler: zemin nitelik ölçümleri, depremlerin kayıtları, v.b.

2.3 Mikrotremor Ölçümlerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler

Deprem mühendisliğinde mikrotremor ölçümleri birçok parametrenin belirlenmesine yönelik olarak kullanılmaktadır. Mikrotremor ölçümlerinin değerlendirilmesi, aranan parametreler ve kullanılan yöntemlere göre farklılıklar göstermektedir. Kullanılan değerlendirme metodlarının hemen hemen hepsi farklı kabuller ve yaklaşımlar üzerine kurulmuştur. Fakat bu kullanılan metodların tümünde genel olarak ilk yapılan işlem spektral analiz uygulamasıdır.

Yapılan tez çalışması kapsamında binanın doğal titreşim periyodunun belirlenmesinde, katlar arasında yapılan mikrotremor ölçümlerinde, sinyaller 100Hz'lik örnekleme aralığı ile örneklenecek her bir gürültü kaydı çeşitli filtrelemelerden geçirildikten sonra ortalama 20s'lik pencerelerle Fourier Spektrumları alınmıştır. Daha sonra zemin ölçümlerinde de sıklıkla kullanılan Nakamura yöntemi kullanılmıştır.

Mikrotremor verilerinin değerlendirilmesi aşamasında kullanılan yöntemler.

- Fourier genliklerinin veya güç spektrumlarının yorumlanması
- Yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranı (Nakamura yöntemi)

2.3.1 Fourier genliklerinin veya güç spektrumlarının yorumlanması

Fourier genlik spektrumu herhangi bir büyüklüğün gücünün frekans ile birlikte nasıl değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Kuvvetli bir yer hareketinin Fourier genlik spektrumu, meydana gelen yer hareketinin genliğinin frekansa (ya da periyoda) göre dağılımını gösterir. Fourier serisi sonucunda elde edilen Fourier genlik spektrumları, değerlendirilmesi yapılan dalganın hangi bileşeninin genliğinin daha büyük olduğunu açıklar. Genliği en büyük olan frekans, incelenmekte olan dalganın baskın frekansı olarak kabul edilir. Fourier genlik spektrumu yer hareketinin şekline göre dar ya da geniş olarak değişkenlik gösterir. Dar spektrumun anlamı yer hareketinin düz ve yaklaşık olarak sinüsoidal; geniş spektrum ise, çok farklı frekanslar içeren daha gürültülü çıkıntılı, zamana göre değişimi düzensiz olan yer hareketine karşılık gelir (Kramer, 2003).

Meydana gelen yer hareketinin frekans içeriği güç spektrumu ya da yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanabilir. Güç spektrumu yoğunluk fonksiyonu ile oluşan yer hareketinin istatistiksel özellikleri ve rastgele titreşim teknikleri kullanılarak

stokastik tepki hesaplanabilir (Clough ve Penzien, 1975; Vanmarcke, 1976; Yang, 1986).

Güç spektrumu genlik spektrumunun karesi olduğu için 1'den büyük genlikler sayısal olarak büyürken, 1'den küçük genlikler küçülecektir. Böylelikle büyüyen genlikler daha baskın bir hal alarak belirginleşip, en büyük genlik yine baskın frekansı temsil edecektir.

2.3.2 Nakamura yöntemi

Yer etkisinin kestirilmesi amacıyla Nakamura (1989) tarafından ortaya atılan bu yöntemde göre, yerküre üzerinde veya herhangi bir mühendislik yapısının hakim titreşim periyodu, incelenen noktada zamana göre üç bileşenli (Kuzey-güney, Doğu-batı, ve düşey) gürültü kaydı yapılarak, alınan mikrotremor kaydının spektral ortamda yatay bileşenlerinin düşey bileşenlerine oranından yararlanılarak belirlenebilmektedir. Bu yöntem binalarda uygulandığı zaman binanın ve zeminin toplam dinamik etkisi belirlenebilmektedir. Bu tür hesaplanmış spektral oran H/V spektrumu olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntem literatürde tek istasyon yöntemi olarak da bilinmektedir.

Nakamura (1989), yeryüzünde mikrotremorların derinden değil, yüzeyden ve yüzeye yakın noktalardan gelen titreşimlerden (trafik, şehir gürültüleri v.b.) oluştuğunu varsaymakta ve derinde oluşan gürültüleri yok sayarak ihmal etmektedir. Aynı zamanda önceki çalışmalarda düşeydeki hareketlerin yataydaki tabaka tarafından büyütülmediği ve tabanda oluşan harekete yüzeyde oluşan bölgesel titreşimlerin etkisinin olmadığı kabulü yapılmıştır (Lermo ve Garcia, 1994). Literatürde tek istasyon yöntemi olarak da bilinen Nakamura yönteminin geçerliliği Lermo ve Garcia (1994) tarafından sayısal modellemeler üzerinde irdelenmiştir. Nakamura yöntemi kısa süreli ölçüm alabilme, ucuzluğu ve kolaylıkla hemen hemen her bölgede istasyon kurulmasının yapılabilmesi, veri kaydının hızlı bir şekilde alınabilmesi gibi özelliklerinden dolayı günümüzde yaygın bir şekilde kullanılabilir.

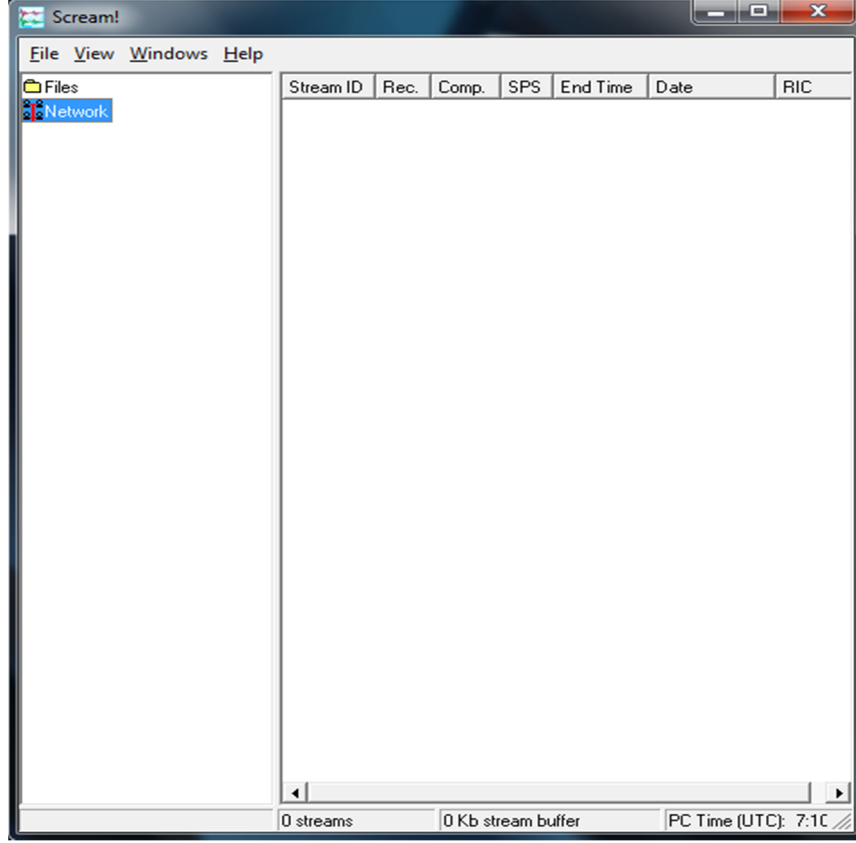
2.4 Kullanılan Programlar ve Özellikleri

Mevcut binalarda yapılan ölçümler Güralp marka üç kanallı CMG-6TD sayısal çıkışlı portatif geniş bantlı model sismograf ile yapının ağırlık merkezine yakın noktalardan bodrum, zemin kat, ara katlar ve son kat olmak üzere ortalama yarım saat ölçüm süresince mikrotremor kaydı alınarak yapılmıştır. Sinyaller 100Hz'lik örnekleme aralığı ile örneklenmiştir. Her bir gürültü kaydı (0.8-10) Hz arasında Butterworth bant geçişli filtre (1. Dereceden) ile filtrelenmiş daha sonra ortalama 20s'lik pencerelerle Fourier Genlik Spektrumları alınmıştır.

Binalardan alınan mikrotremor kayıtları dizüstü bilgisayara sayısal veri olarak doğrudan kaydedilmiştir. Alınan ölçümler Scream! 4.5 programı vasıtasıyla sayısal veri olarak kaydedilip, kaydedilen verilerin değerlendirilmesi aşamasında ise Avrupa Birliği komisyonu fonu ile üretilmiş olan Geopsy programı kullanılmıştır.

2.4.1 Scream! programı

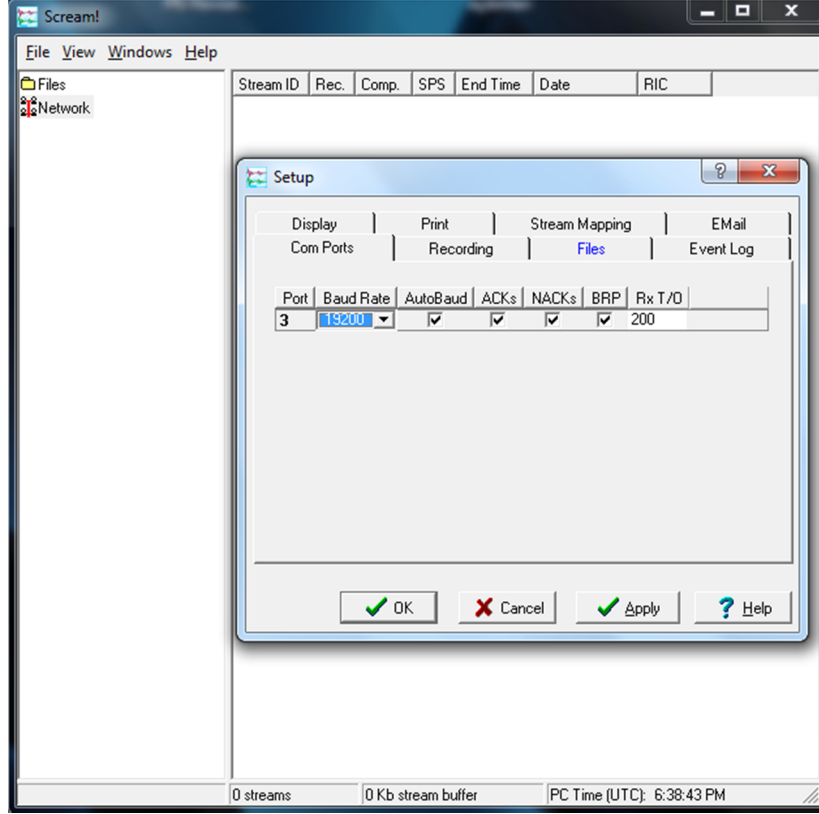
Scream! Sismometre yapılandırılması, gerçek zamanlı sayısal veri alımı ve izlenmesi için yazılmış bir yazılımdır. Scream! herhangi bir Güralp sistem sayısal sismograf cihazından kaydedilen GCF sayısal verilerini sıkıştırma, yazdırma, görüntüleme, kaydetme ve yeniden görüntüleme işlemlerini gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Scream! bilgisayara yüklendikten sonra, ekranda tüm veri akışlarının görüldüğü bir ana pencere açar. Bu açılan ana pencere tüm programın ve veri akışlarının ana kontrol merkezi olup, programın tüm fonksiyonları buradan yönetilir. Açılan bu ana pencere kapatıldığında Scream! programının çalışması sona erer. Ekranda açılan ana pencere içindeyken waveview penceresi açılarak herhangi bir veri akışı görüntülenebilir ve üzerinde işlem yapılabilir. Gerek duyulduğunda üzerinde işlem yapılan veri akışı birkaç waveview penceresinde de görüntülenebilir. Açılan her bir waveview penceresi kendine has bir genliğe, zaman ölçeklendirmesine, veri görüntüleme parametrelerine ve renk skalasına sahiptir. Örneğin birbirinden farklı veri akışları farklı pencerelerde farklı büyütme oranlarıyla eşzamanlı olarak görüntülenebilir. Birbirinden farklı gruplar halinde olan veri akışları ise her bir grup için aynı büyütme faktörüne sahip olacak şekilde görüntülenebilir veya bir grubun bütünü aynı pencere içinde görüntülenirken, farklı bir pencerede de diğer gruptaki veriler ayrıntılı bir şekilde incelenebilir. Scream! ana ekranı Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2: ScreaM! başlatıldığında ekranda görüntülenen ana pencere

ScreaM! programında verileri yerel bir diske kaydetmek için gerekli olan komutu bir ikon üzerine tıklayarak gerçekleştirmek mümkündür. ScreaM! GCF, SAC, miniSEED, SEGy, PEPP, SUDs ve GSE formatlarını desteklemektedir. Böylelikle daha sonraki veri analizi ve işlemlerin, rahat ve kolay bir şekilde yapılmasına imkan verir.

ScreaM! programı Güralp sistem SAM birimlerindeki verileri içeren GCF dosyalarını birkaç işlemle okuyup, farklı zaman ölçeklerinde okuyabilir ve farklı formata dönüştürebilir. ScreaM! programı bilgisayarda ilk kez çalıştırıldığında seri portlarının tanımlanması gerekir. ScreaM! için kullanılacak seri portlar kullanılan işletim sistemine göre tanımlanmaktadır ve her bir port o porta bağlanan aletlerin ayarlarına göre yapılandırılır. Dizüstü bilgisayarda tanımlanan seri port Şekil 2.3'de görülmektedir.



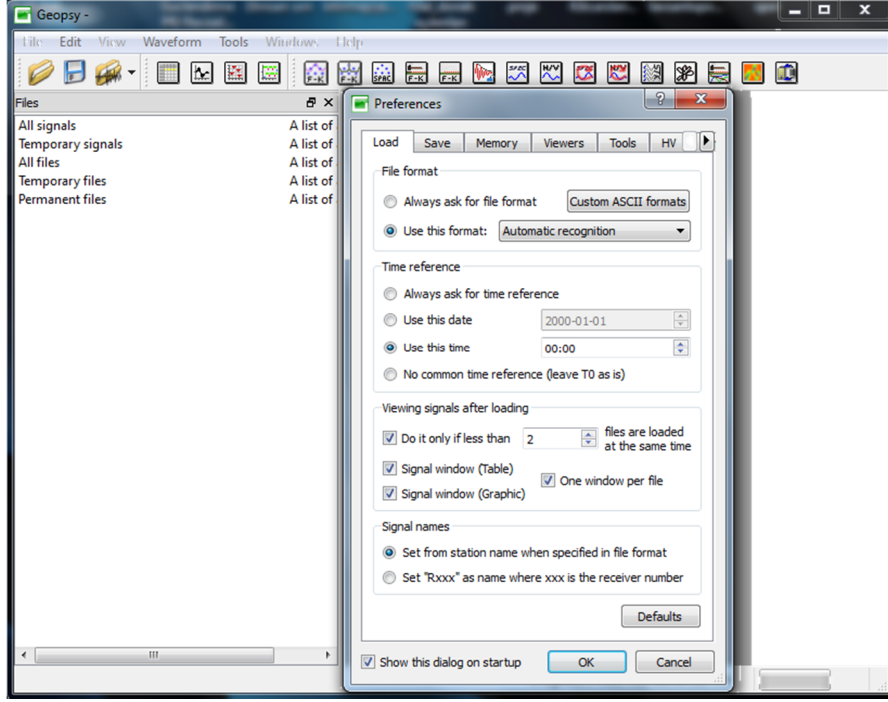
Şekil 2.3: Dizüstü bilgisayarda tanımlanan seri port

2.4.2 Geopsy programı

Sesame projesinin amacı Ortadoğu’da UNESCO teşvikiyle ilk sinkrotron ışınımı laboratuvarını kurmaktır. Ürdün’de kurulması planlanan SESAME, Almanya’dan hibe edilen BESSY I sinkrotronunun parçalarından yararlanılarak, uluslararası kullanıcıların temel bilim araştırmalarından teknolojik uygulamalara kadar farklı alanlardaki gereksinimleri karşılayacak bir kaynak yaratmaktır (Sayers, 2001).

Sesame Projesi kapsamında Avrupa Birliği komisyonu fonu ile üretilmiş olan Geopsy programı sismometreler yardımıyla alınan verilerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan bir programdır. Geopsy programında veri kayıplarını engellemek için sismometre yardımıyla kayıt alınan sinyaller, otomatik olarak erişimi kolaylaştırmak amacıyla ortak sinyal dosya formatı şeklinde kayıt altına alınıp, aynı anda birden fazla sinyal yüklenip “.Sdb” formatında saklanılabilmektedir.

Geopsy yazılımı genel anlamda kullanıcı arayüzü basit görüntülemeler sunan, deprem mühendisliğinde ve daha birçok mühendislik dallarında başta jeofizik ve sismoloji alanında kullanılmak üzere tasarlanmış olup tüm ortak yazılım platformları altında (Linux, Mac OS X ve Windows) çalıştırılabilmektedir.



Şekil 2.4: Geopsy programı ana ekranı

Geopsy programı ilk açıldığında Şekil 2.4'deki ana ekran karşımıza çıkmaktadır. Açılan ana ekranda ilk yapılması gereken sismometre yardımıyla alınıp kayıt edilen verileri çağırmak olacaktır. Bu işlem için ekranın sol üst köşesinde bulunan "File" menüsünden "Import signals" seçeneği işaretlenerek ekrana gelen pencereden istenilen veri seçilebilmektedir. Seçilen veriler ana ekranda "Files" bölümünde ekranda görüntülenecektir.

"Files" bölümünde görüntülenen üç bileşenli veri kayıtlarının (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve düşey) hepsi birlikte seçilerek, ana ekranda bulunan araç çubuklarından herhangi biri seçilerek, amaca uygun istenilen değerlendirmeler yapılabilecektir.

2.4.3 Sta4cad programı

Sta4cad programı (Sta4Cad v13.1, 2013) çok katlı betonarme yapıların statik, deprem, rüzgar ve betonarme analizini entegre olarak yapabilen inşaat mühendisliğine yönelik endüstriyel bir yazılım programıdır. Bütünüyle Türkiye deprem yönetmelikleri ve inşaat ile ilgili standart ve yönetmelikleri esas alacak biçimde hesaplamaları gerçekleştirebilmektedir.

Yazılım, statik analizde rijit kat diyaframını dikkate almakta her tür çelik ve beton için; yapı taşıyıcı sistemi elemanları olan kolon elemanlarını, kiriş elemanlarını,

döşeme elemanlarını, temel elemanlarını ve bununla birlikte her türlü istinat yapılarının hesaplamalarını yapabilmektedir. Temel inşaat mühendisliği alanında yapısal modelleme, onarım ve güçlendirme projeleri, statik ve dinamik sonlu eleman analizi, çizimi tasarımı ve metraji ile yük hesapları yapabilen mühendislik uygulamaları alanında kullanıcıya sunduğu arayüz kolaylığı ile tam katkı sağlayan bir yazılım programıdır.

2.5 Kayıt Alınan Mikrotremor Verilerinin Değerlendirilmesi ve Analizi

Bu çalışma kapsamında mevcut yapı stoğundan seçilen birçok konut ve kamu binalarında yapılan ölçümler Güralp marka üç kanallı CMG-6TD sayısal çıkışlı portatif geniş bantlı model sismograf ile kayıt edilmiştir. Yapılan ölçümlerde 12V'luk bir güç kaynağı, dizüstü bilgisayar ve sisteme uygun kablo ekipmanları kullanılmıştır. Alınan mikrotremor kayıtları Geopsy versiyon 2.7.2 programı kullanılarak 100Hz örnekleme aralığında örneklenecek, gürültü kayıtları 0.8Hz ile 10Hz arasında Butterworth bant geçişle filtre ile filtrelenerek ortalama 20 s'lik pencerelerle fourier genlikleri alınmıştır. Bu aşamadan sonra yatay/düşey spektral oran yöntemi olarak da bilinen Nakamura yöntemi kullanılarak binaların doğal titreşim periyodları ve spektrumları her iki yön için belirlenip mod şekilleri bulunacaktır. Ölçüm yapılan binalar STA4CAD programı vasıtasıyla modellenip, modal analizleri yapılarak binaların baskın mod şekilleri programdan alınacaktır.

2.5.1 Ölçüm parametreleri

- Ölçümler yapının dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla bodrum, zemin, ara katlar, son kat ve çatı kattan alınmıştır.
- Ölçümler ortalama yarım saat süre ile kaydedilmiştir.
- Ölçüm yapılırken alınan kayıtları olumsuz etkileyecek gürültünün (kültürel gürültüler, insanların yaşam sürecinde neden oldukları hareketlilik, trafik gürültüleri vb.) olmamasına dikkat edilmiştir.
- Ölçümlerin binaların ağırlık merkezine yakın olan noktalarda alınmasına özen gösterilmiştir.
- Binalarda ölçümler genellikle katlar arasında aynı noktalardan ve kat kirişleri üzerinden alınmaya çalışılmıştır.

- Ölçümlerde kullanılan sismograf cihazının kuzey yönü ölçüm yapılan binanın zayıf yönü olarak seçilmiş ve ölçümler bu varsayıma uygun olacak şekilde yapılmıştır.

2.5.2 Verilerin değerlendirilmesi

- Binalardan alınan mikrotremor kayıtları dizüstü bilgisayara doğrudan Scream! programı vasıtasıyla sayısal veri olarak kaydedilmiştir.
- Verilerin değerlendirilme aşamasında Geopsy (Geopsy Project) programı kullanılmıştır.
- Programda yapılan ilk işlem sinyal kayıtlarını seçip grafiğini almaktır.
- Daha sonra seçilen sinyal kayıtlarında gürültüleri ayıklamak için bir dizi filtreleme işlemi uygulanır.
- Sinyaller 100 Hz'lik örnekleme aralığı ile örneklenmiştir. Her bir gürültü kaydı (0.8-10) Hz arasında Butterworth bant geçişli filtre (1. Dereceden) ile filtrelenmiş daha sonra ortalama 20s'lik pencere ile pencerelenmiş ve fourier genlik spektrumları alınmıştır.

2.5.3 Bina doğal titreşim periyodu ve spektrumlarının belirlenmesi

Mikrotremor ölçümleri yapılan binanın doğal titreşim periyodunun belirlenmesinde, mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında da yapılan zemin hakim titreşim periyodunun belirlenmesinde Denklem 2.1'de gösterilen Nakamura yöntemi kullanılmıştır. Nakamura yöntemi yatay/düşey spektral oran yöntemi olarak da bilinmektedir.

$$H / V = \sqrt{\frac{EW^2 + NS^2}{2*UD^2}} \quad (2.1)$$

Geopsy programı genellikle zemin titreşim ölçümlerinde kullanıldığından yatay bileşenin her iki doğrultusu için (Nakamura yönteminde bu iki bileşenin karelerinin toplamı kullanıldığından) doğrudan doğal titreşim periyotlarını vermemektedir. Mikrotremor ölçümleri yapılan binalarda kısa ve uzun yöne ait doğal titreşim periyotlarının belirlenmesi için yatay bileşen doğrusal enerji seçeneğiyle hesaplanmıştır. Aynı şekilde, alınan mikrotremor kayıtları Geopsy programı

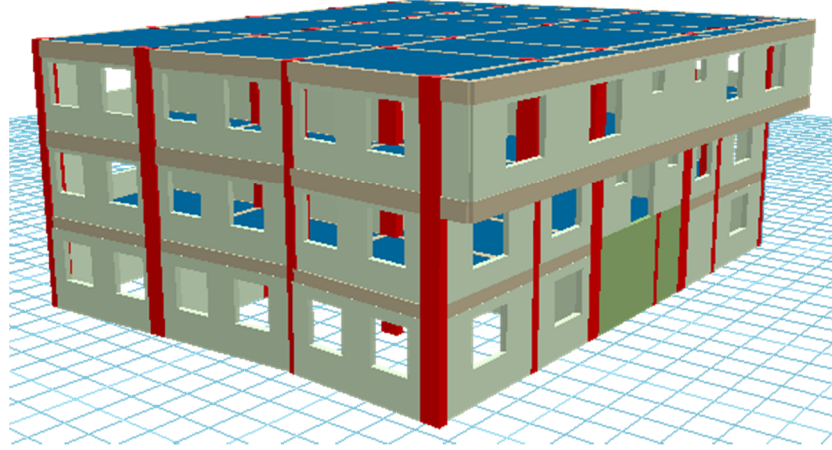
kullanılarak binanın her iki yönüne ait (Kuzey-Güney, Doğu-Batı) spektrumları grafik olarak elde edilmiştir.

2.5.4 Seçilen örnek binada doğal titreşim periyodu ve spektrum uygulaması

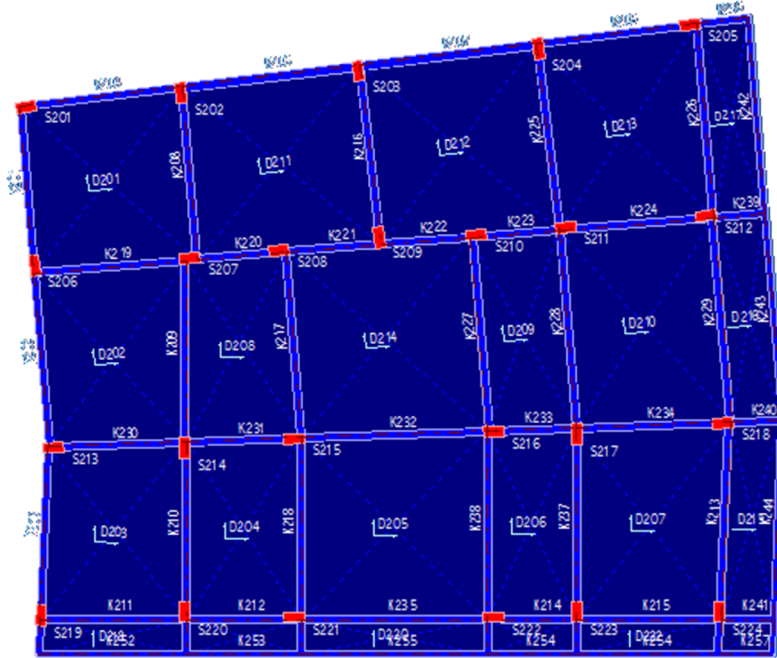
Denizli İli Merkez İlçesi İstiklal Mahallesi 4550 ada 5 parsel üzerinde inşa edilen konut yapısı bodrum, zemin ve 1 normal kat olmak üzere toplam 3 kattan oluşmaktadır. Binanın betonarme sistemi tamamlanmış olup dolgu duvarları mevcut durumdadır ve iç işçiliği devam etmektedir. Bu binada kayıt alınan mikrotremor ölçümleri bodrum, zemin, 1. Normal kat ve çatı katı olmak üzere binanın ağırlık merkezine yakın bir noktada, katlar arasında hep aynı nokta gözetilerek kat kirişi üzerinden ortalama yarım saat süre ile alınmıştır. Konut yapısında alınan mikrotremor ölçümleri, trafik gürültüsünün minimum ve bina içinde herhangi bir çalışma olmadığı bir zaman diliminde yapılmıştır. Ölçüm yapılan bina Şekil 2.5'te görülmektedir. Bilgisayar ortamında modellenen bina Şekil 2.6'da ölçüm yapılan binanın zemin kat planı Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.5: Mikrotremor ölçümü yapılan bina



Şekil 2.6: Mikrotremor ölçümü yapılan binanın bilgisayar modeli

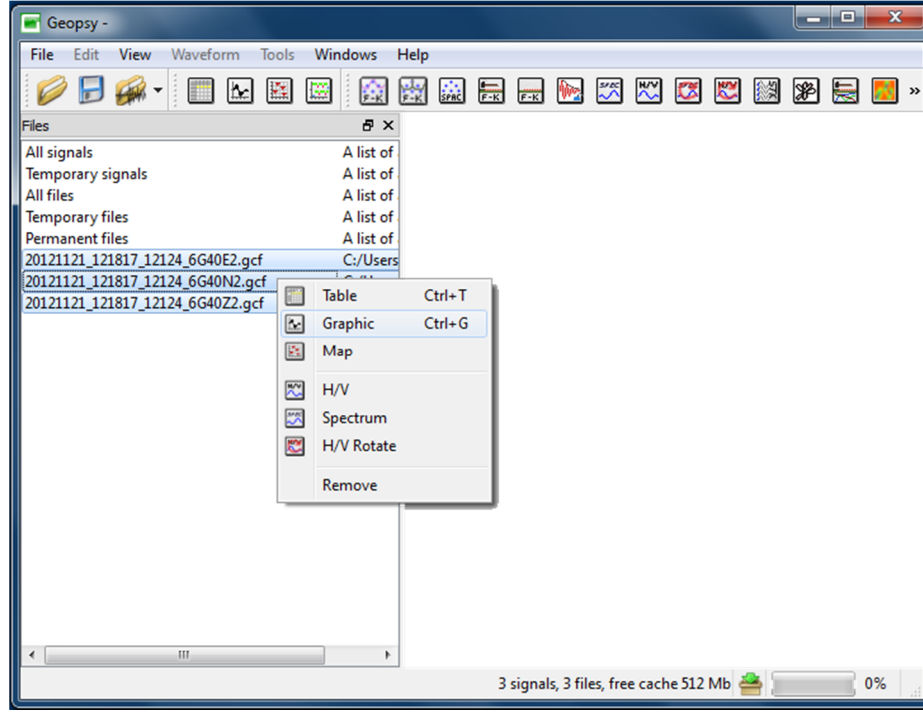


Şekil 2.7: Mikrotremor ölçümü yapılan binanın zemin kat planı

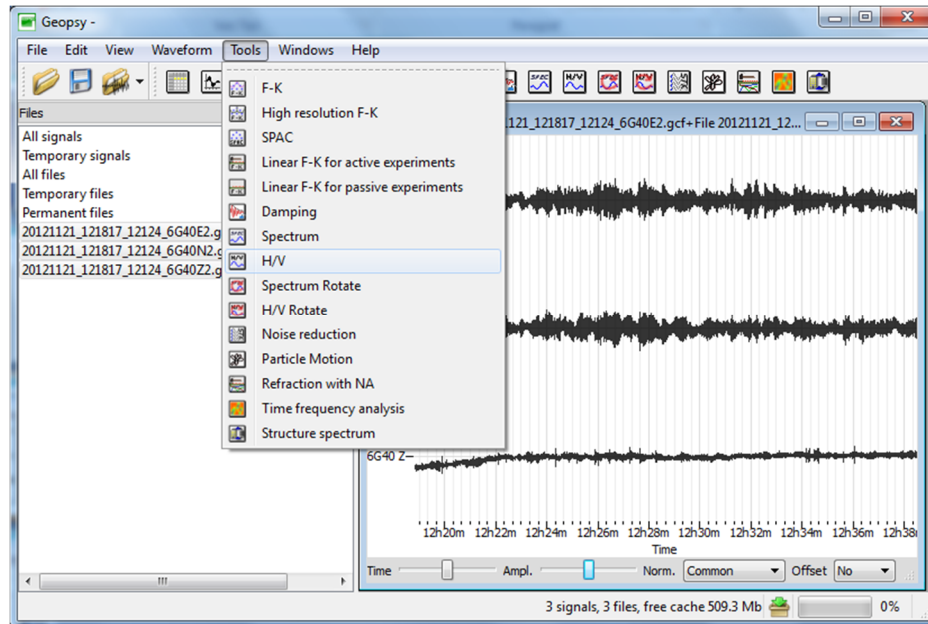
2.5.5 Alınan ölçümlerin Geopsy programında değerlendirilmesi

Konut yapılarından alınan ölçümler sismotre cihazıyla Scream! Programı vasıtasıyla sayısal veri olarak dizüstü bilgisayara kayıt edilmiştir. Geopsy Programında yapılan ilk işlem sinyal kayıtlarını seçip grafik almak olacaktır. Daha sonra Geopsy programının üst kısmında yer alan imleçlerden Tools kutucuğundan H/V (yatay/düşey spektral oranlar yöntemi) seçilerek pencereleme işlemine geçilecektir. Gerekli filtreleme işlemleri uygulanarak alınan ölçümler pencereledikten sonra, ölçümler alınırken sismograf cihazının kuzey yönü binanın kısa yönü olarak seçildiğinden hem kısa yön hem de uzun yön için titreşim periyotları bulunacaktır.

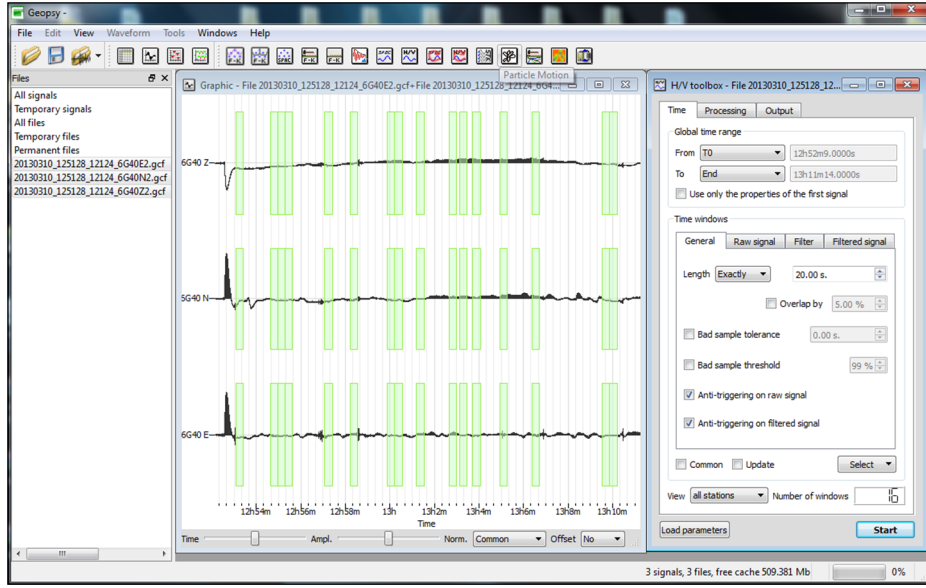
Burada “0” derece binanın kuzey-güney bileşenini, “90” derece ise binanın bu bileşene dik olan doğu-batı bileşenini göstermektedir. Seçilen sinyallerden grafik alma işlemi Şekil 2.8’de görülmektedir. H/V’nin seçilmesi Şekil 2.9, sinyallerin 20s’lik pencereler ile pencerelenmesi Şekil 2.10 ve sinyallerin (0.8-10) Hz aralığında butterworth bant geçişli filtre (1. Dereceden) ile filtrelenmesi Şekil 2.11’de görülmektedir.



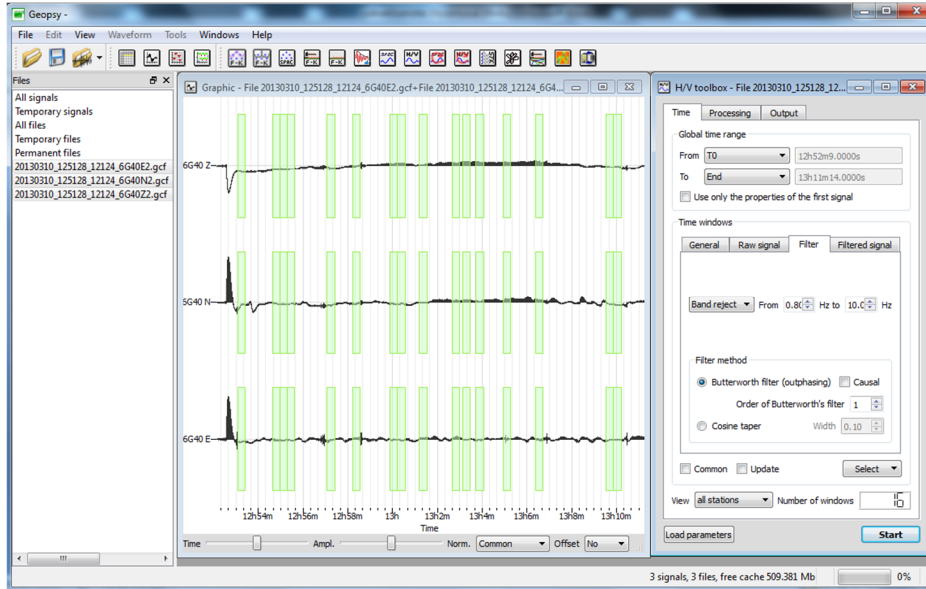
Şekil 2.8: Seçilen sinyallerden grafik alınması



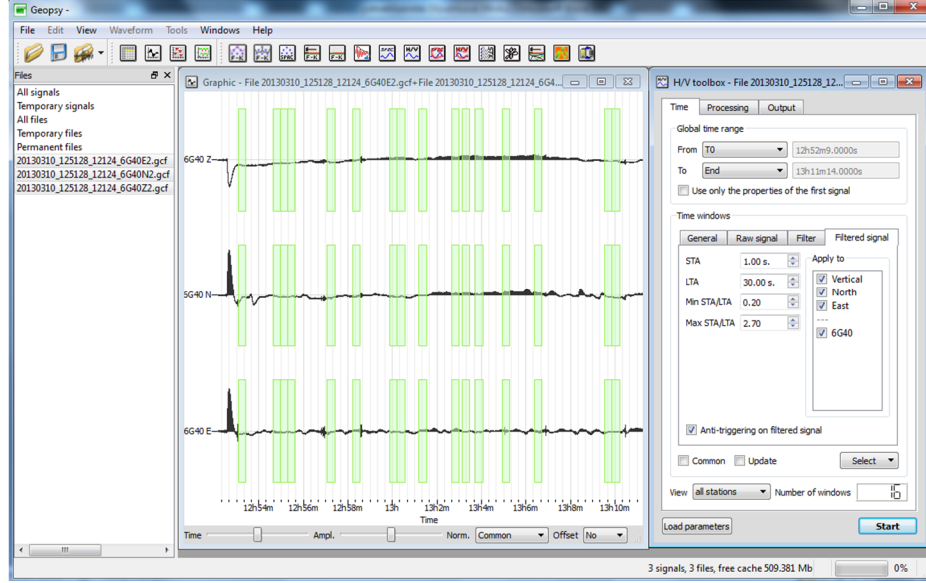
Şekil 2.9: yatay/düşey spektral oranlar yönteminin seçilmesi



Şekil 2.10: Sinyallerin 20s'lik pencereler ile pencerelenmesi



Şekil 2.11: Sinyallerin (0.8-10) Hz aralığında butterworth bant geçişli filtre (1. Dereceden) ile filtrelenmesi

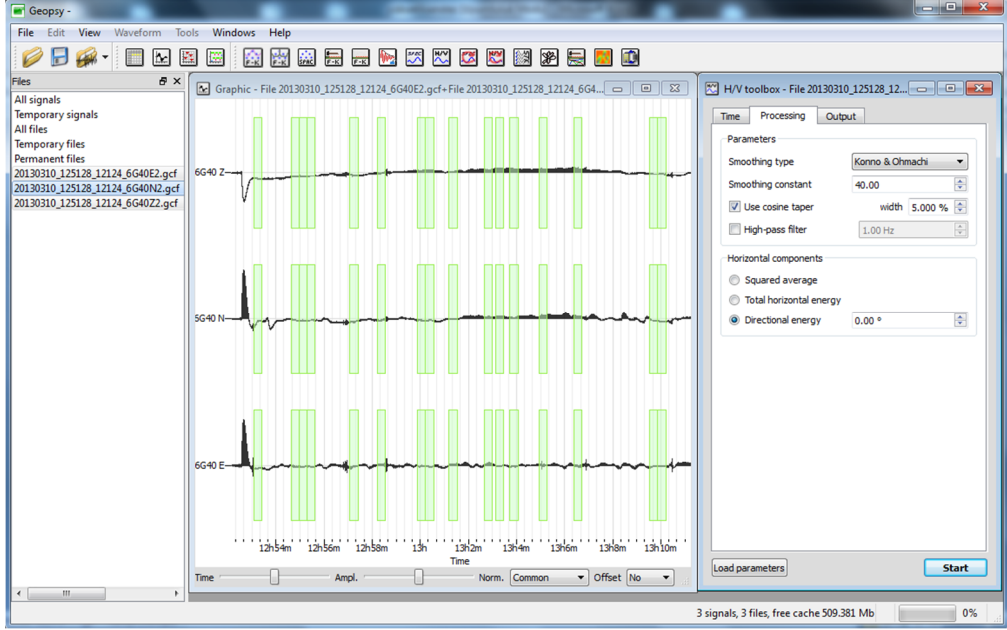


Şekil 2.12: Seçilen sinyallerin filtreleme aralıkları

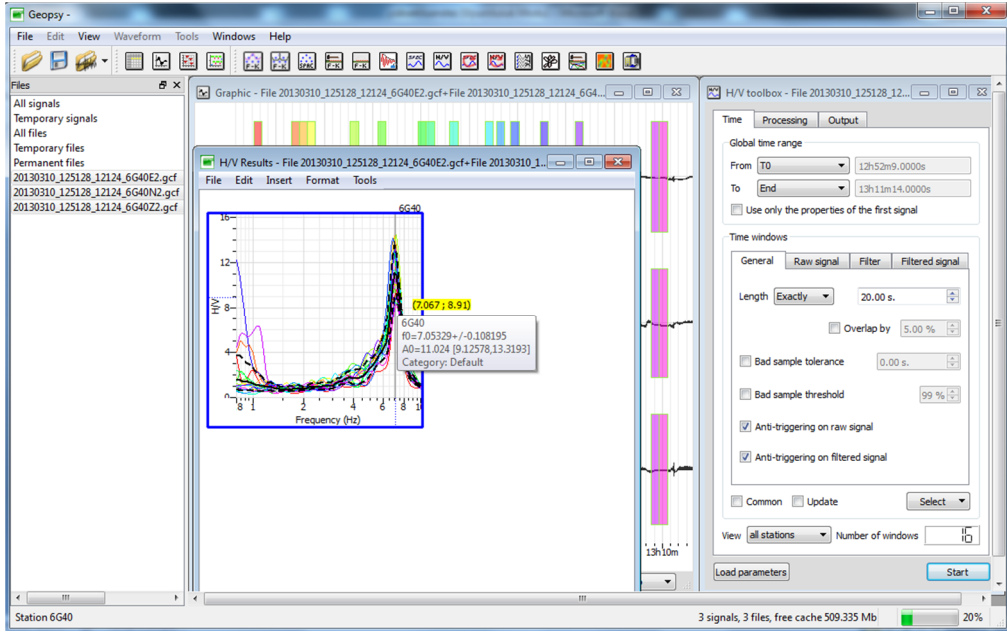
Şekil 2.12’de görülen sinyallerin filtreleme işleminde

- STA: Kısa zaman aralıklarında ölçüm değerlerinin mutlak değerinin ortalaması
- LTA: Uzun zaman aralıklarında ölçüm değerlerinin mutlak değerinin ortalaması
- STA/LTA: STA ve LTA değerleri birbirlerine oranlanarak hata oranı tayini yapılabilmektedir.

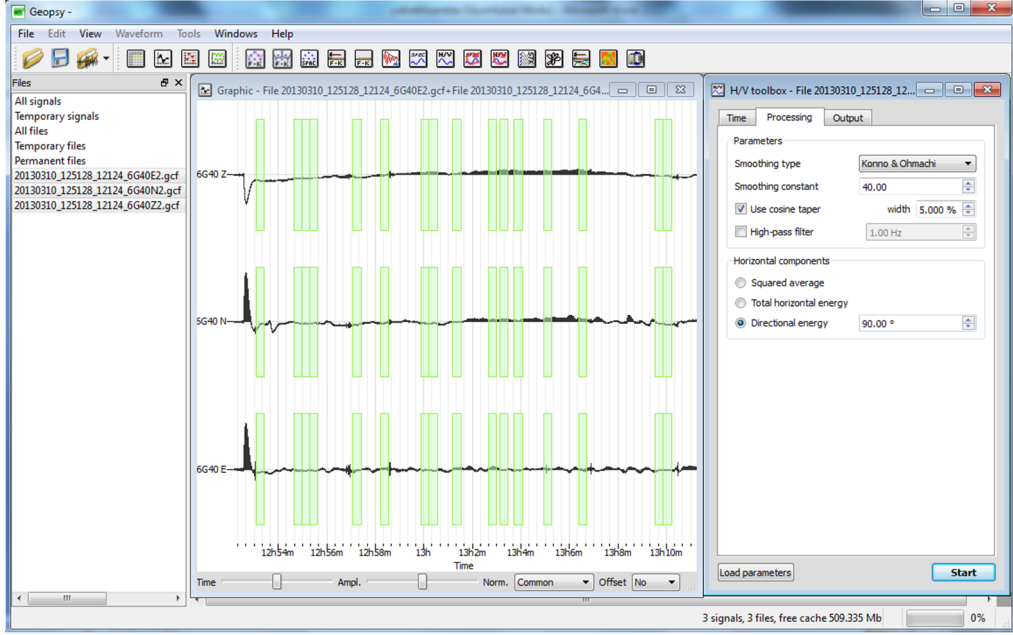
Seçilen sinyallerin Geopsy programında grafikleri alınıp çeşitli filtreleme işlemlerinden geçirildikten sonra ekranda görülen “H/V toolbox” menüsünden “processing” ikonu seçilerek “directional energy” seçeneğinden binanın her iki yönü (uzun yön, kısa yön) için doğal titreşim periyotları belirlenecektir. 90 derece ve 0 derece binanın her iki doğrultusunu belirtmektedir. Burada alınan sinyaller çatı kata ait olup binanın uzun yönü için doğal titreşim periyodu 0.12 s, kısa yön için ise doğal titreşim periyodu 0.14 s olarak bulunmuştur. Şekil 2.13’te “directional energy” seçeneğinden sıfır derece seçilmesi, Şekil 2.14’te ise kısa yön için doğal titreşim periyoduna ait baskın frekans değeri görülmektedir. Şekil 2.15’te “directional energy” seçeneğinden doksan derece seçilmesi, Şekil 2.16’da ise uzun yön için doğal titreşim periyoduna ait baskın frekans değeri görülmektedir.



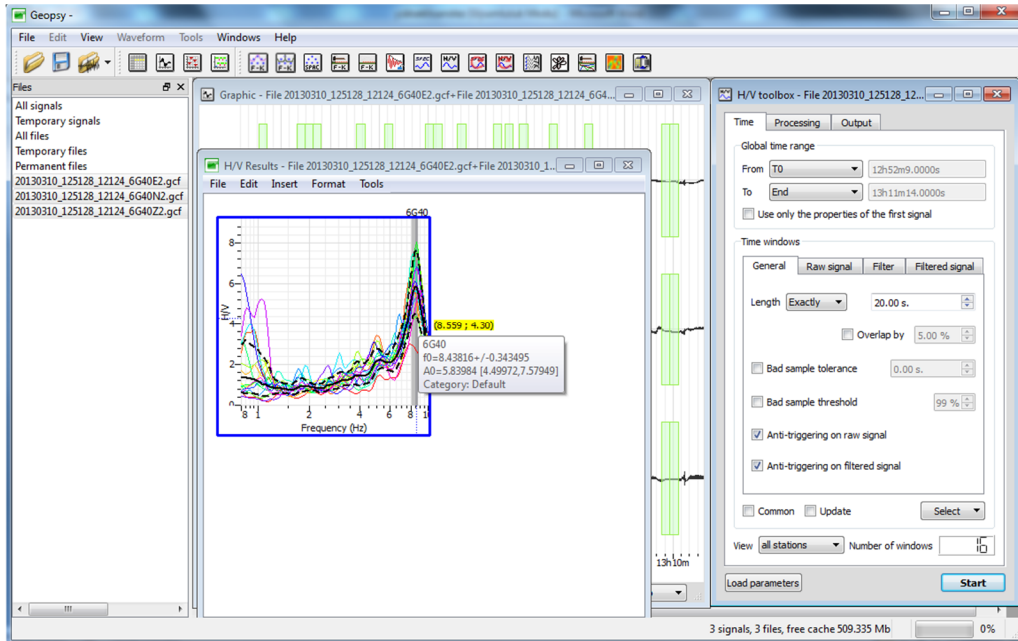
Şekil 2.13: “Directional energy” seçeneğinden 0 (sıfır) derece seçilmesi



Şekil 2.14: 0 (sıfır) derece kısa yön için doğal titreşim periyoduna ait baskın frekans

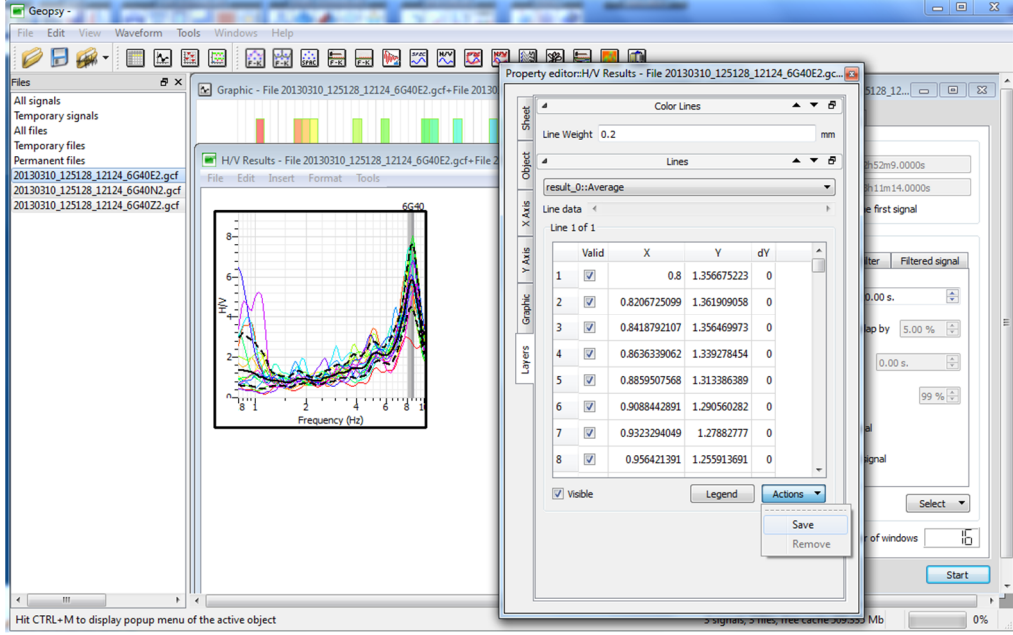


Şekil 2.15: “Directional energy” seçeneğinden 90 derece seçilmesi



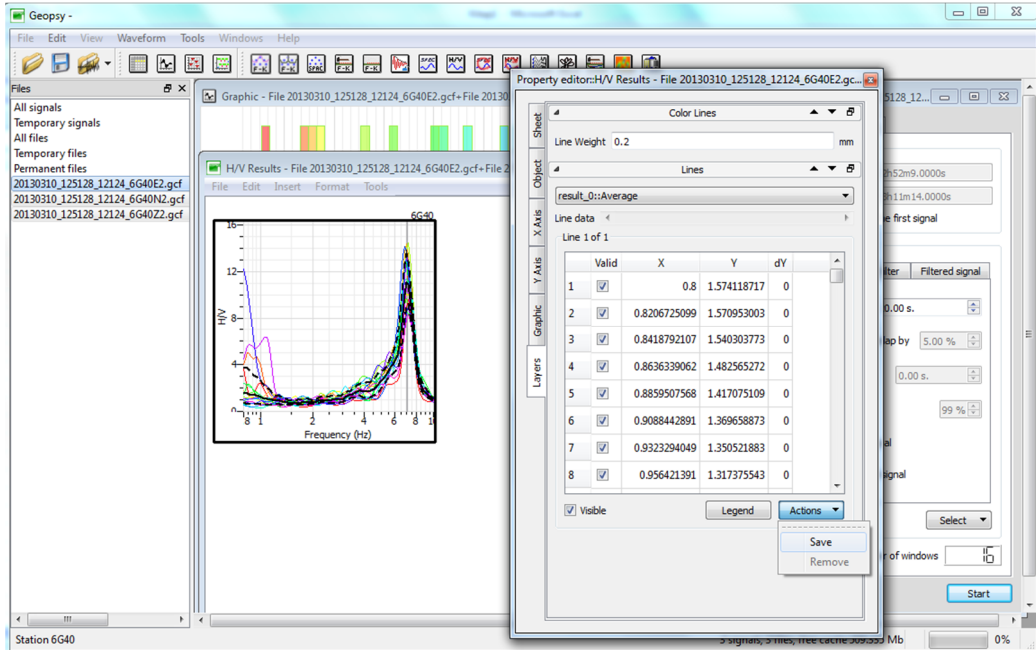
Şekil 2.16: 90 derece, uzun yön için doğal titreşim periyoduna ait baskın frekans

Binada diğer katlarda da yapılan ölçümler aynı şekilde çözümlenerek Nakamura yöntemine göre binanın her iki yönü için periyot grafikleri oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle ele alınan kat çatı katı olmak üzere hem kısa yön için hem de uzun yön için analiz edilip, sinyaller kayıt edilerek bilgisayar ortamında bina doğal titreşim periyot grafikleri oluşturulacaktır. İlk olarak uzun yön olan 90 derece için H/V-frekans grafiği seçilerek ekrana gelen o kata ait frekans-genlik değerleri kayıt altına alınarak bilgisayar ortamında periyot grafiği oluşturulacaktır. Şekil 2.17’de uzun yön için frekans-genlik verileri görülmektedir.

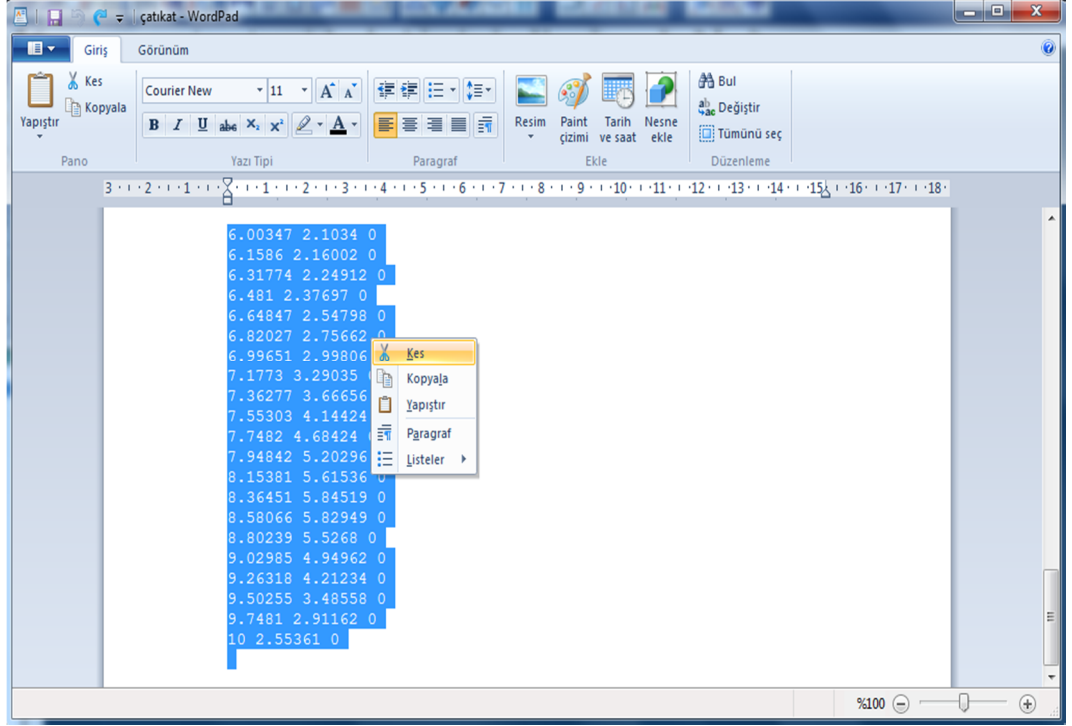


Şekil 2.17: Uzun yön için frekans-genlik verileri

Daha sonra kayıt altına alınan genlik-frekans değerleri, Wordpad programında açılarak Excel dosyasına kaydedilecektir. Bu yapılan işlemler her kat için hem uzun yön hem de kısa yön olmak üzere aynı şekilde yapılacaktır. Kısa yön için frekans-genlik verileri Şekil 2.18’de bilgisayar ortamında kaydedilen frekans-genlik verileri ise Şekil 2.19’da görülmektedir.



Şekil 2.18: Kısa yön için frekans-genlik verileri



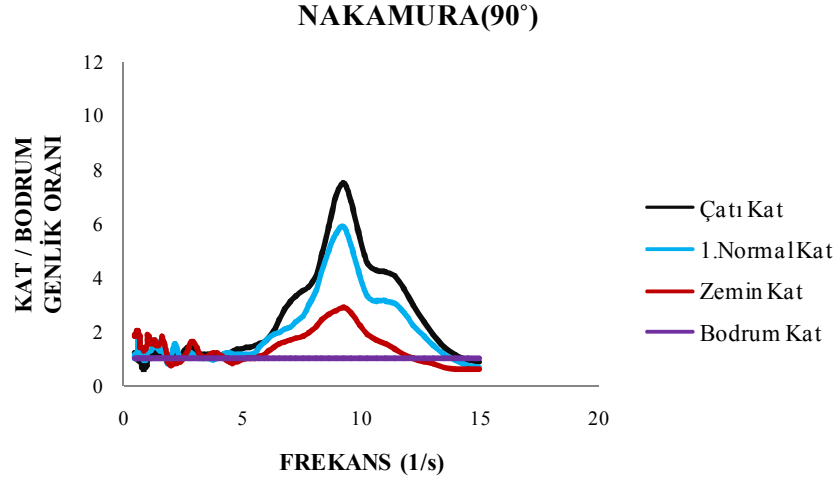
Şekil 2.19: Wordpad’de kaydedilen frekans-genlik verileri

Bu yapılan işlem, binada mikrotremor ölçümleri alınan her kat için aynı şekilde tekrarlanmış olup, ölçüm yapılan bina bodrum, zemin ve 1 normal kat olmak üzere 3 katlıdır. Binada, mikrotremor ölçümleri her katta olacak şekilde 4 ölçüm kaydı alınmıştır. Tablo 2.1’de olduğu gibi ölçüm yapılan katlardaki genlikler bodrum kata oranlanarak yapılan bu ölçümlerin analizinden sonra, frekans-genlik oran değerlerinin, kısa ve uzun yön için grafikleri Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de verilmiştir.

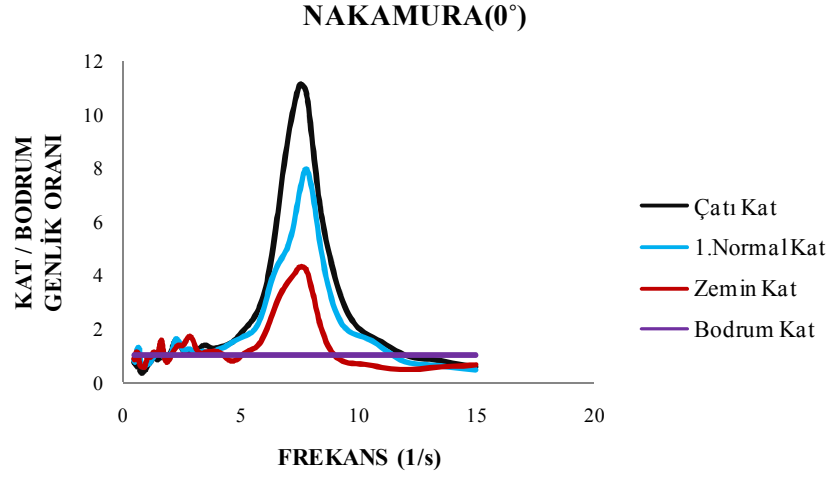
Mikrotremor ölçümü yapılan binada, her kattan alınan ölçümlerde farklı periyotlarda oluşan titreşimlerden elde edilen maksimum salınım hızları kullanılarak Geopsy programında binanın her iki doğrultusunda (N-S, E-W) spektrum grafikleri elde edilmiştir. Geopsy programında spektrum grafikleri elde edilirken izlenen yol, binaya ait doğal titreşim periyodu hesaplanırken izlenen yol ile hemen hemen aynıdır. İzlenecek yol yine Geopsy programında ilk olarak sinyal kayıtlarını seçip grafik almak olacaktır. Daha sonra Geopsy programının üst kısmında yer alan imleçlerden Tools kutucuğundan spektrum imleci seçilir.

Tablo 2.1: Çatı katta her iki yön için frekans-genlik oran verileri

H/V (PERİYOT) ÇATI KAT/BODRUM KAT				H/V (PERİYOT) ÇATI KAT/BODRUM KAT			
90 DERECE		90 DERECE		0 DERECE		0 DERECE	
FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK
0.500	1.207	2.786	1.452	0.500	0.747	2.786	1.163
0.517	1.202	2.883	1.462	0.517	0.774	2.883	1.184
0.536	1.154	2.984	1.409	0.536	0.786	2.984	1.188
0.554	1.066	3.089	1.305	0.554	0.686	3.089	1.189
0.574	1.033	3.196	1.220	0.574	0.671	3.196	1.227
0.594	1.020	3.308	1.181	0.594	0.702	3.308	1.313
0.614	0.971	3.424	1.163	0.614	0.633	3.424	1.383
0.636	1.057	3.544	1.152	0.636	0.600	3.544	1.393
0.658	1.124	3.667	1.134	0.658	0.584	3.667	1.341
0.681	1.132	3.796	1.109	0.681	0.578	3.796	1.287
0.705	1.102	3.928	1.094	0.705	0.559	3.928	1.287
0.730	1.079	4.066	1.086	0.730	0.535	4.066	1.315
0.755	0.915	4.208	1.111	0.755	0.458	4.208	1.343
0.782	0.786	4.355	1.164	0.782	0.400	4.355	1.375
0.809	0.713	4.507	1.218	0.809	0.370	4.507	1.431
0.837	0.634	4.664	1.273	0.837	0.356	4.664	1.521
0.866	0.648	4.827	1.334	0.866	0.387	4.827	1.640
0.897	0.647	4.996	1.388	0.897	0.408	4.996	1.798
0.928	0.680	5.171	1.421	0.928	0.435	5.171	1.974
0.960	0.715	5.352	1.441	0.960	0.462	5.352	2.151
0.994	0.764	5.539	1.481	0.994	0.493	5.539	2.356
1.029	0.867	5.732	1.549	1.029	0.549	5.732	2.652
1.065	1.016	5.933	1.642	1.065	0.631	5.933	3.102
1.102	1.039	6.140	1.787	1.102	0.677	6.140	3.778
1.140	1.052	6.354	2.036	1.140	0.725	6.354	4.762
1.180	1.036	6.577	2.413	1.180	0.752	6.577	6.142
1.222	1.080	6.806	2.828	1.222	0.820	6.806	7.741
1.264	1.227	7.044	3.146	1.264	0.928	7.044	9.176
1.308	1.321	7.291	3.346	1.308	0.981	7.291	10.300
1.354	1.344	7.545	3.492	1.354	0.978	7.545	11.135
1.401	1.301	7.809	3.675	1.401	0.931	7.809	10.852
1.450	1.225	8.082	4.066	1.450	0.878	8.082	8.884
1.501	1.184	8.365	4.817	1.501	0.859	8.365	6.777
1.554	1.182	8.657	5.903	1.554	0.892	8.657	5.316
1.608	1.212	8.960	7.006	1.608	0.985	8.960	4.181
1.664	1.255	9.273	7.496	1.664	1.097	9.273	3.232
1.722	1.270	9.597	6.804	1.722	1.120	9.597	2.554
1.782	1.214	9.932	5.464	1.782	1.059	9.932	2.131
1.845	1.127	10.279	4.553	1.845	1.001	10.279	1.875
1.909	1.049	10.639	4.264	1.909	0.986	10.639	1.696
1.976	1.015	11.011	4.226	1.976	1.015	11.011	1.521
2.045	1.040	11.395	4.058	2.045	1.104	11.395	1.315
2.117	1.106	11.794	3.598	2.117	1.287	11.794	1.111
2.191	1.128	12.206	2.987	2.191	1.495	12.206	0.975
2.267	1.065	12.633	2.400	2.267	1.574	12.633	0.915
2.346	1.001	13.074	1.876	2.346	1.518	13.074	0.875
2.428	1.028	13.531	1.442	2.428	1.421	13.531	0.814
2.513	1.139	14.004	1.142	2.513	1.298	14.004	0.737
2.601	1.284	14.493	0.966	2.601	1.190	14.493	0.662
2.692	1.392	15.000	0.865	2.692	1.150	15.000	0.595

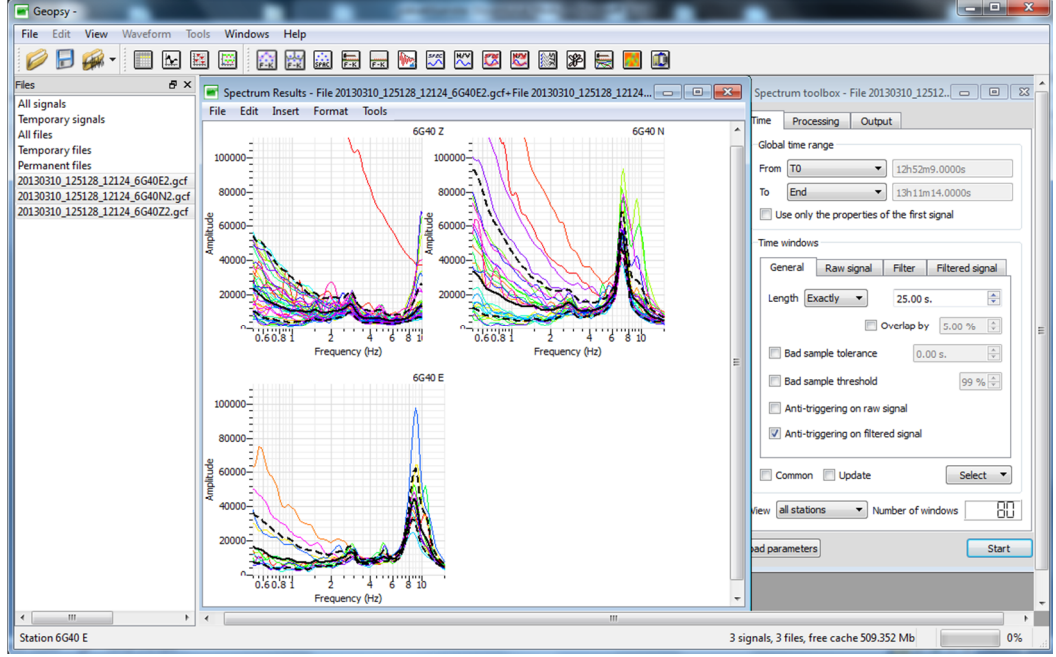


Şekil 2.20: Bina uzun yön için frekans-genlik grafiği



Şekil 2.21: Bina kısa yön için frekans-genlik grafiği

Şekil 2.22’de görülen genlik spektrumları binanın çatı kat ölçümüne ait olup Z(düşey), N(kuzey) ve E(Doğu) yönündeki genliklerini göstermektedir. Binanın doğal titreşim periyodunda olduğu gibi yine benzer şekilde kuzey ve doğu genlik spektrumları kaydedildikten sonra, bilgisayar ortamında binanın her iki doğrultusu için (kuzey-güney), (doğu-batı) olmak üzere spektrum grafikleri belirlenmiştir. Yapılan bu işlem bina doğal titreşim periyodunda olduğu gibi binada ölçüm alınan her kat için aynı şekilde değerlendirilerek farklı periyotlardaki spektrum genlik grafikleri alınacaktır.

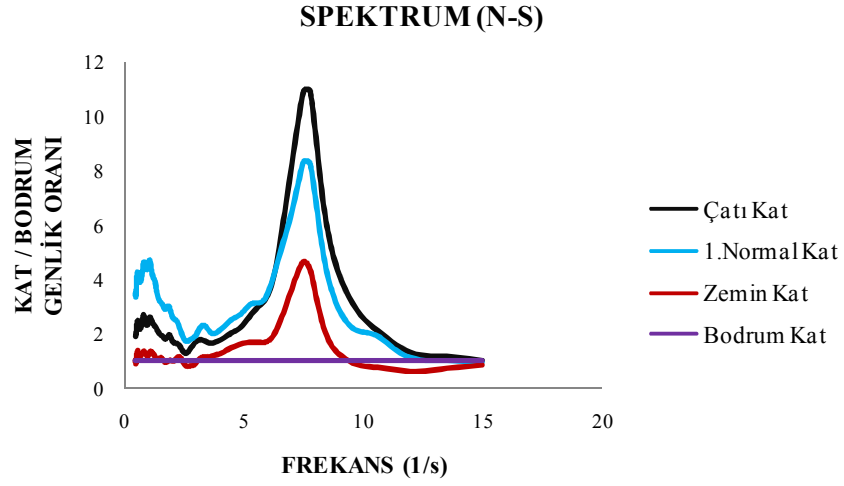


Şekil 2.22: Çatı kata ait genlik spektrumları

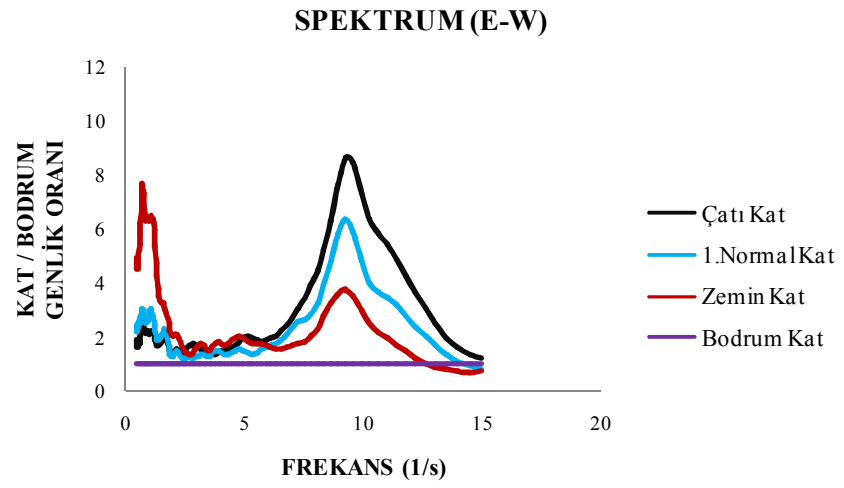
Ölçüm yapılan binada her kattan alınan, farklı periyotlardaki salınım hızlarının frekans ve genlik değerleri Tablo 2.2’de görüldüğü gibi oluşturulduktan sonra, binanın her iki yönüne ait (N-S, E-W) spektrum grafikleri Şekil 2.23 ve Şekil 2.24’te görülmektedir. Şekil 2.23’te 8Hz civarında, Şekil 2.24’te 10Hz civarında görülen pik o yön için binanın baskın moduna ait titreşim frekansını ve genliğini tanımlamaktadır.

Tablo 2.2: Çatı kata ait N-S, E-W spektrum oran genlikleri

SPEKTRUM ÇATI KAT/BODRUM KAT				SPEKTRUM ÇATI KAT/BODRUM KAT			
N-S (KUZEY-GÜNEY)		N-S (KUZEY-GÜNEY)		E-W (DOĞU-BATI)		E-W (DOĞU-BATI)	
FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK
0.500	1.935	2.786	1.450	0.500	1.901	2.786	1.722
0.517	1.924	2.883	1.574	0.517	1.639	2.883	1.735
0.536	2.080	2.984	1.680	0.536	1.614	2.984	1.723
0.554	2.330	3.089	1.764	0.554	1.623	3.089	1.673
0.574	2.450	3.196	1.802	0.574	1.631	3.196	1.573
0.594	2.501	3.308	1.786	0.594	1.668	3.308	1.448
0.614	2.455	3.424	1.740	0.614	1.755	3.424	1.353
0.636	2.369	3.544	1.692	0.636	1.858	3.544	1.324
0.658	2.278	3.667	1.672	0.658	2.043	3.667	1.349
0.681	2.191	3.796	1.690	0.681	2.296	3.796	1.390
0.705	2.199	3.928	1.740	0.705	2.398	3.928	1.426
0.730	2.246	4.066	1.802	0.730	2.468	4.066	1.460
0.755	2.361	4.208	1.873	0.755	2.477	4.208	1.500
0.782	2.489	4.355	1.956	0.782	2.362	4.355	1.542
0.809	2.624	4.507	2.044	0.809	2.239	4.507	1.596
0.837	2.711	4.664	2.118	0.837	2.140	4.664	1.699
0.866	2.669	4.827	2.200	0.866	2.149	4.827	1.857
0.897	2.569	4.996	2.337	0.897	2.188	4.996	1.987
0.928	2.449	5.171	2.530	0.928	2.240	5.171	2.010
0.960	2.345	5.352	2.737	0.960	2.217	5.352	1.945
0.994	2.328	5.539	2.921	0.994	2.122	5.539	1.872
1.029	2.413	5.732	3.084	1.029	2.085	5.732	1.852
1.065	2.550	5.933	3.282	1.065	2.109	5.933	1.893
1.102	2.632	6.140	3.654	1.102	2.160	6.140	1.962
1.140	2.595	6.354	4.370	1.140	2.201	6.354	2.063
1.180	2.504	6.577	5.493	1.180	2.180	6.577	2.227
1.222	2.419	6.806	6.849	1.222	2.046	6.806	2.452
1.264	2.356	7.044	8.251	1.264	1.868	7.044	2.728
1.308	2.309	7.291	9.683	1.308	1.744	7.291	3.065
1.354	2.251	7.545	10.933	1.354	1.683	7.545	3.466
1.401	2.174	7.809	10.914	1.401	1.668	7.809	3.919
1.450	2.095	8.082	8.976	1.450	1.693	8.082	4.467
1.501	2.022	8.365	6.784	1.501	1.753	8.365	5.235
1.554	1.974	8.657	5.310	1.554	1.853	8.657	6.321
1.608	1.953	8.960	4.357	1.608	1.948	8.960	7.631
1.664	1.907	9.273	3.662	1.664	1.956	9.273	8.616
1.722	1.836	9.597	3.119	1.722	1.873	9.597	8.449
1.782	1.830	9.932	2.698	1.782	1.739	9.932	7.322
1.845	1.911	10.279	2.381	1.845	1.595	10.279	6.327
1.909	1.979	10.639	2.121	1.909	1.474	10.639	5.800
1.976	1.904	11.011	1.867	1.976	1.409	11.011	5.398
2.045	1.760	11.395	1.619	2.045	1.422	11.395	4.867
2.117	1.683	11.794	1.415	2.117	1.511	11.794	4.254
2.191	1.677	12.206	1.280	2.191	1.550	12.206	3.662
2.267	1.655	12.633	1.212	2.267	1.470	12.633	3.073
2.346	1.581	13.074	1.194	2.346	1.360	13.074	2.480
2.428	1.465	13.531	1.184	2.428	1.327	13.531	1.968
2.513	1.352	14.004	1.154	2.513	1.405	14.004	1.599
2.601	1.301	14.493	1.103	2.601	1.551	14.493	1.365
2.692	1.341	15.000	1.039	2.692	1.670	15.000	1.218



Şekil 2.23: N-S doğrultusunda spektrum grafiği



Şekil 2.24: E-W doğrultusunda spektrum grafiği

3 BİNA ÖZELLİKLERİ

Tez çalışması kapsamında ölçüm alınan binalar kat sayılarına, dolgu duvarlarının örülüp örülmemiş olması, taşıyıcı sisteminin perdeli olup olmaması gibi kriterler ve Pamukkale Üniversitesinin Kütahya ili ve çevre ilçelerindeki beldelerinde deprem inceleme ve güçlendirme çalışmalarını yürüttüğü kamu binaları arasından seçilmiştir. Bina özellikleri göz önüne alınarak mevcut yapı stoğundan yapılan seçimde, genel olarak, bina hakim titreşim periyodu ve mod şekilleri üzerinde durulmuştur. Denizli ilinde yapılan ölçümlerde, betonarme sistemi tamamıyla bitmiş dolgu duvarları ve iç işçiliğine başlanmamış olan binalardan yapılan ölçümler, daha sonra dolgu duvarları örüldükten sonra bir ölçüm daha yapılarak, dolgu duvarların sistem rijitliğine olan katkısı araştırılmıştır. Aynı şekilde, Pamukkale Üniversitesi tarafından Kütahya ili ve çevre ilçelerindeki beldelerde deprem inceleme ve güçlendirme çalışmalarında incelenen binaların bir kısmında mikrotremor ölçümleri yapılmış olup, yine ölçümleri yapılan bu kamu binalarında güçlendirme çalışmaları bittikten sonra mikrotremor ölçümleri yapıp mevcut sisteme yapılan ilave betonarme perde elemanlarının, sistem rijitliğine olan katkısının araştırılması hedeflenmiştir. Ancak bu binalarla ilgili güçlendirme çalışmaları uygulamalarına henüz başlanmamıştır.

3.1 Modelleme Aşaması

Binalarda yapılan mikrotremor ölçümleri değerlendirildikten sonra, binanın dinamik özellikleri olan periyot, spektrum ve 1.mod şekli bulunmuştur. Binaya ait bu dinamik özellikler binanın tasarım aşamasında kullanılan paket programlardan biri olan STA4cad programı kullanılarak ölçüm yapılan binalar modellenmiştir. Ölçüm yapılacak binalar belirlenirken projelerinin var olmasına dikkat edilmiş olup, projeleri olmayan veya bulunamayan binalarda amaca uygunluğu doğrultusunda mikrotremor ölçümleri yapılmış olup binanın modelleme aşamasında yerinde rölevesi alınarak modellenmesi STA4cad ortamında gerçekleştirilmiştir. Programda oluşturulan bina modellerinin binaya ait olan özellikleri (kat sayıları, kat

yükseklikleri, dolgu duvarları, mimari yapısı) birebir gözetilerek bina modelleri oluşturulmuştur. Modeller oluşturulduktan sonra yapım yılları göz önünde bulundurularak, ilgili TDY (1975 veya 1998) standartlarında analizleri yapılarak binaya ait dinamik özellikler bilgisayar ortamında sonuçlandırılmıştır.

3.1.1 Modal analiz

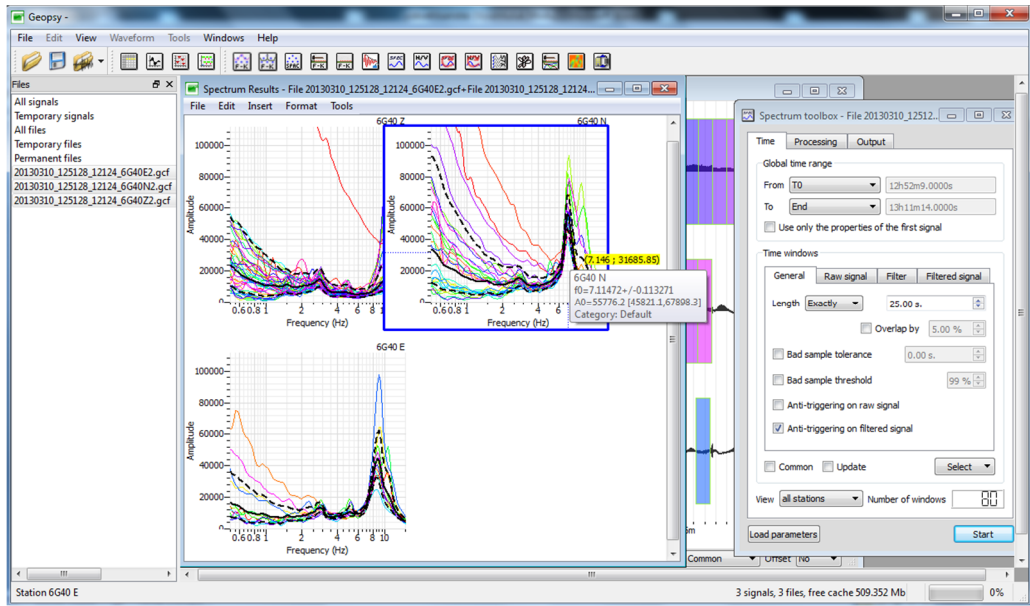
Modal analiz, bir yapıya ait titreşim karakteristiklerinin tespit edilebilmesi için yapılan deneysel ve teorik çalışmaların irdelenmesidir. Herhangi bir yapının doğal frekansı, sönüm değerleri ve yapısal deformasyonuna bağlı bir değer olan mod biçimini içeren dinamik karakterlerini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Yapıların dinamik yükler etkisindeki davranışları, her bir yapı için karakteristik özelliğe sahip dinamik parametreler kullanılarak belirlenmektedir. Rijitlik (k), kütle (m) gibi parametrelerde oluşacak değişimler sonucu doğal frekans, mod şekli gibi modal parametrelerin irdelenmesi işlemidir. Modal analiz sayesinde incelenen modelin rezonans değerlerinde nasıl davrandığını, sönümleme miktarının ne kadar olduğunun anlaşılması tasarım açısından oldukça önemli bir konudur. Günümüzde titreşimin sorun yaratabileceği her tasarımda modal analiz çalışmaları oldukça önem taşımakta olup ve dikkatle uygulanmaktadır.

3.1.2 Modal parametrelerin elde edilmesi

Yapıların dinamik karakteristik özellikleri, oluşturulan analitik modellerin doğruluğunun kontrolü ve yapıya etkiyecek deprem kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılabilir. Yapılan mikrotremor ölçümleri sonucunda yapıya ait frekans-genlik verileri elde edildikten sonra, modal parametreler olarak adlandırılan doğal frekanslar ve mod şekillerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla mikrotremor ölçümlerinden elde edilen frekans-genlik verilerinden, binaya ait 1.mod şeklinin çıkarılması ve mikrotremor ölçümü yapılan binanın STA4cad programında modellenerek programdan alınan mod şekliyle karşılaştırılması yapılacaktır. Ayrıca STA4cad programında oluşturulan bina modellerinin analizleri sonucunda yapının modal davranışına bakılarak binadaki rijitlik dağılımı ve burulma düzensizliği olup olmadığı hakkında fikir sahibi olunabilecektir. Bu nedenlerden dolayı binanın dinamik karakteristik özelliklerinin yapılar üzerinde titreşim testleri yapılmak suretiyle gerçekçi olarak belirlenmesi açısından son derece önem arz etmektedir.

3.2 Mikrotremor Kayıtlarından Birinci Mod Şeklinin Elde Edilmesi

Binalarda yapılan mikrotremor ölçümlerinden elde edilen frekans-genlik verileri değerlendirilerek yapıların 1.mod şeklinin bulunması hedeflenmiştir. İkinci bölümde, bina doğal titreşim periyodu ve spektrum uygulamasına verilen örnek bina için 1.mod şekli çıkartılmıştır. Ölçüm yapılan bina Bodrum, zemin ve 1 normal kat olmak üzere toplam 3 katlıdır. Öncelikli olarak yapılacak olan ilk işlem her katta yapılan mikrotremor ölçümlerine ait frekans-genlik değerlerinin grafiğini alarak, spektrum grafiklerinin belirlenmesidir. Daha sonra o kata ait yapı periyodu bulunarak, incelenen kattaki periyoda ait genlik değeri bulunur. Bu yapılan işlem her katta binanın hem uzun yönü hem de kısa yönü için yapılır. İlk olarak kısa yön için bina 1.mod şeklinin çıkarılışını ele alalım. Geopsy programında çatı kata ait ölçüm verilerinin grafiği alınarak spektrum grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 3.1: Çatı kata ait N-S (kısa doğrultu) spektrum grafiği

Geopsy programında, çatı kata ait spektrumlar elde edildikten sonra Şekil 3.1'de görüldüğü gibi N (kuzey), E(doğu) ve Z (düşey) yönler için grafikler görülmektedir. Görüldüğü üzere kuzey-güney doğrultusu binanın kısa yönü, doğu-batı doğrultusu ise binanın uzun yönünü temsil etmektedir. Binanın kısa yönüne ait grafikte görülen frekans değeri olan $f_0 = 7.11472 \pm 0.113271$ ölçüm yapılan her katta, kuzey-güney doğrultusunda bu frekansa ait genlik değerleri bulunacaktır.

Tablo 3.1: Çatı kat ve 1. Normal kata ait N-S (kısa doğrultu) spektrum genlikleri

SPEKTRUM ÇATI KAT				SPEKTRUM 1.NORMAL KAT			
N-S (KUZEY-GÜNEY)		N-S (KUZEY-GÜNEY)		N-S (KUZEY-GÜNEY)		N-S (KUZEY-GÜNEY)	
FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK
0.500	33379.500	2.786	15615.400	0.500	60027.000	2.786	19046.000
0.517	32959.400	2.883	15107.800	0.517	57209.200	2.883	17448.000
0.536	32357.100	2.984	14016.500	0.536	55409.800	2.984	15746.900
0.554	31443.000	3.089	12716.500	0.554	53777.400	3.089	14605.700
0.574	30263.400	3.196	11643.100	0.574	51654.500	3.196	14198.500
0.594	28902.500	3.308	10972.400	0.594	49262.300	3.308	14125.700
0.614	27807.200	3.424	10625.000	0.614	48078.900	3.424	13870.600
0.636	26800.700	3.544	10540.500	0.636	47018.500	3.544	13363.000
0.658	25733.100	3.667	10667.200	0.658	45424.300	3.667	12932.600
0.681	24532.600	3.796	10860.000	0.681	43692.800	3.796	12811.600
0.705	23563.200	3.928	10967.300	0.705	41747.300	3.928	12935.400
0.730	22694.500	4.066	11012.900	0.730	39827.900	4.066	13134.800
0.755	22152.300	4.208	11123.000	0.755	38054.400	4.208	13401.300
0.782	21805.500	4.355	11380.900	0.782	36810.400	4.355	13833.300
0.809	21380.700	4.507	11817.500	0.809	35821.900	4.507	14437.300
0.837	20684.400	4.664	12330.300	0.837	35006.600	4.664	15056.900
0.866	19764.900	4.827	12788.500	0.866	34346.800	4.827	15477.200
0.897	18925.000	4.996	13159.900	0.897	33799.900	4.996	15704.700
0.928	18177.500	5.171	13592.200	0.928	33253.300	5.171	15927.500
0.960	17418.300	5.352	14353.300	0.960	32429.300	5.352	16225.800
0.994	16579.900	5.539	15504.600	0.994	31058.600	5.539	16580.700
1.029	15935.500	5.732	16816.900	1.029	29624.300	5.732	17127.300
1.065	15532.200	5.933	18299.900	1.065	28377.800	5.933	18421.900
1.102	15268.300	6.140	20853.700	1.102	27263.200	6.140	21226.000
1.140	15037.000	6.354	26289.400	1.140	26165.500	6.354	26123.000
1.180	14723.800	6.577	36011.400	1.180	25128.800	6.577	33013.200
1.222	14271.000	6.806	48065.100	1.222	24259.600	6.806	40166.500
1.264	13790.300	7.044	56277.800	1.264	23593.100	7.044	44265.800
1.308	13510.700	7.291	55168.000	1.308	23053.300	7.291	42345.100
1.354	13517.200	7.545	45808.600	1.354	22528.500	7.545	34908.200
1.401	13715.500	7.809	34328.700	1.401	22108.400	7.809	25919.500
1.450	13897.100	8.082	25703.400	1.450	22038.000	8.082	19041.500
1.501	13830.400	8.365	20848.900	1.501	22027.100	8.365	15067.400
1.554	13465.500	8.657	18358.600	1.554	21552.100	8.657	12942.200
1.608	12886.600	8.960	16937.800	1.608	20457.200	8.960	11678.400
1.664	12262.300	9.273	16007.700	1.664	19270.400	9.273	10931.800
1.722	11726.100	9.597	15174.100	1.722	18500.200	9.597	10692.100
1.782	11446.300	9.932	14064.400	1.782	18221.500	9.932	10793.100
1.845	11413.300	10.279	12638.800	1.845	17911.100	10.279	10719.700
1.909	11509.200	10.639	11177.900	1.909	17433.900	10.639	10042.500
1.976	11546.800	11.011	9902.780	1.976	17061.300	11.011	8850.360
2.045	11563.700	11.395	8806.300	2.045	17145.700	11.395	7577.070
2.117	11774.700	11.794	7873.800	2.117	17695.400	11.794	6585.710
2.191	12225.500	12.206	7172.680	2.191	18220.800	12.206	5958.440
2.267	12692.500	12.633	6714.100	2.267	18414.600	12.633	5595.920
2.346	13102.300	13.074	6386.690	2.346	18417.800	13.074	5372.340
2.428	13574.900	13.531	6041.260	2.428	18586.000	13.531	5156.130
2.513	14196.100	14.004	5600.890	2.513	19120.500	14.004	4841.230
2.601	14910.400	14.493	5089.110	2.601	19757.100	14.493	4459.230
2.692	15485.400	15.000	4605.690	2.692	19862.600	15.000	4170.960

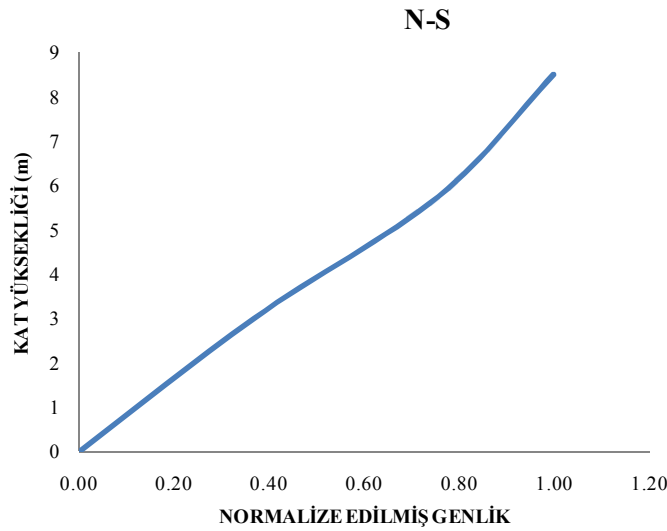
Tablo 3.2: Zemin kat ve bodrum kata ait N-S (kısa doğrultu) spektrum genlikleri

SPEKTRUM ZEMİN KAT				SPEKTRUM BODRUM KAT			
N-S (KUZEY-GÜNEY)		N-S (KUZEY-GÜNEY)		N-S (KUZEY-GÜNEY)		N-S (KUZEY-GÜNEY)	
FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK
0.500	17744.500	2.786	8689.560	0.500	17249.100	2.786	10771.000
0.517	15207.500	2.883	7934.270	0.517	17129.500	2.883	9598.710
0.536	15406.100	2.984	7271.320	0.536	15554.200	2.984	8344.900
0.554	16081.700	3.089	7008.100	0.554	13496.300	3.089	7207.240
0.574	16157.200	3.196	6994.030	0.574	12354.200	3.196	6460.740
0.594	15907.800	3.308	6994.720	0.594	11558.300	3.308	6142.430
0.614	15197.800	3.424	6981.960	0.614	11324.800	3.424	6104.780
0.636	14227.800	3.544	7107.490	0.636	11314.400	3.544	6228.470
0.658	13593.500	3.667	7434.430	0.658	11298.400	3.667	6381.570
0.681	13034.400	3.796	7724.890	0.681	11196.400	3.796	6424.420
0.705	12521.300	3.928	7784.600	0.705	10713.500	3.928	6304.370
0.730	12009.600	4.066	7766.310	0.730	10105.600	4.066	6110.290
0.755	11508.600	4.208	7915.270	0.755	9381.580	4.208	5939.280
0.782	10997.900	4.355	8228.280	0.782	8762.110	4.355	5819.790
0.809	10544.200	4.507	8584.090	0.809	8149.660	4.507	5780.500
0.837	10252.400	4.664	8973.530	0.837	7628.840	4.664	5822.130
0.866	10011.200	4.827	9270.330	0.866	7405.730	4.827	5812.460
0.897	9704.620	4.996	9278.970	0.897	7365.750	4.996	5631.620
0.928	9357.100	5.171	9035.870	0.928	7422.060	5.171	5372.170
0.960	8967.140	5.352	8857.710	0.960	7428.890	5.352	5243.560
0.994	8363.190	5.539	8959.640	0.994	7121.630	5.539	5307.130
1.029	7789.020	5.732	9168.820	1.029	6603.760	5.732	5452.360
1.065	7541.540	5.933	9428.790	1.065	6091.520	5.933	5575.270
1.102	7648.190	6.140	10246.500	1.102	5801.650	6.140	5706.450
1.140	7827.190	6.354	12428.300	1.140	5795.160	6.354	6016.270
1.180	7839.060	6.577	16451.300	1.180	5880.590	6.577	6556.110
1.222	7633.200	6.806	21517.700	1.222	5899.050	6.806	7017.950
1.264	7224.890	7.044	25030.000	1.264	5853.410	7.044	6820.520
1.308	6746.440	7.291	24330.200	1.308	5850.310	7.291	5697.310
1.354	6485.570	7.545	19632.500	1.354	6004.770	7.545	4189.920
1.401	6645.310	7.809	13826.400	1.401	6308.860	7.809	3145.390
1.450	7103.790	8.082	9441.380	1.450	6634.320	8.082	2863.620
1.501	7520.470	8.365	6940.780	1.501	6841.120	8.365	3073.380
1.554	7627.270	8.657	5675.630	1.554	6822.340	8.657	3457.280
1.608	7237.900	8.960	5066.260	1.608	6597.780	8.960	3887.720
1.664	6586.980	9.273	4725.180	1.664	6431.330	9.273	4371.190
1.722	6060.100	9.597	4460.100	1.722	6387.800	9.597	4865.340
1.782	5845.600	9.932	4265.400	1.782	6256.230	9.932	5213.490
1.845	5799.520	10.279	4130.940	1.845	5972.830	10.279	5307.560
1.909	5901.980	10.639	3979.440	1.909	5816.380	10.639	5269.530
1.976	6163.110	11.011	3792.760	1.976	6064.060	11.011	5303.990
2.045	6520.150	11.395	3605.990	2.045	6569.970	11.395	5437.730
2.117	6980.440	11.794	3455.400	2.117	6996.340	11.794	5562.730
2.191	7727.300	12.206	3380.300	2.191	7288.590	12.206	5605.430
2.267	8714.880	12.633	3408.250	2.267	7671.310	12.633	5537.860
2.346	9539.450	13.074	3536.110	2.346	8289.880	13.074	5349.060
2.428	9842.870	13.531	3672.590	2.428	9262.990	13.531	5101.560
2.513	9644.910	14.004	3705.790	2.513	10498.400	14.004	4853.860
2.601	9345.010	14.493	3682.220	2.601	11457.100	14.493	4613.440
2.692	9129.610	15.000	3741.240	2.692	11545.000	15.000	4430.820

Çatı kata ait kuzey-güney doğrultusundaki spektrum frekans genlik verilerinden, $f_0 = 7.11472 + / - 0.113271$ değerinin mikrotremor ölçümleri yapılan katlarda, karşılık geldiği genlik değerleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de görülmektedir. Tablo 3.3’te çatı kata ait genlik değeri 1 kabul edilerek, diğer katlarda ölçülen genlik verileri çatı kata göre normalize edilmiştir. Temel üzerinden alınan ölçümlerin genliği sıfır kabul edilerek, temel üzerinden ölçülen genlik verisi ölçüm yapılan bütün katlardan çıkarılmıştır. Ölçüm yapılan kat yükseklikleri ve 1’e göre normalize edilen genlik verilerinden, binaya ait Kuzey-Güney doğrultusunda 1.mod şekli Şekil 3.2’de görülmektedir.

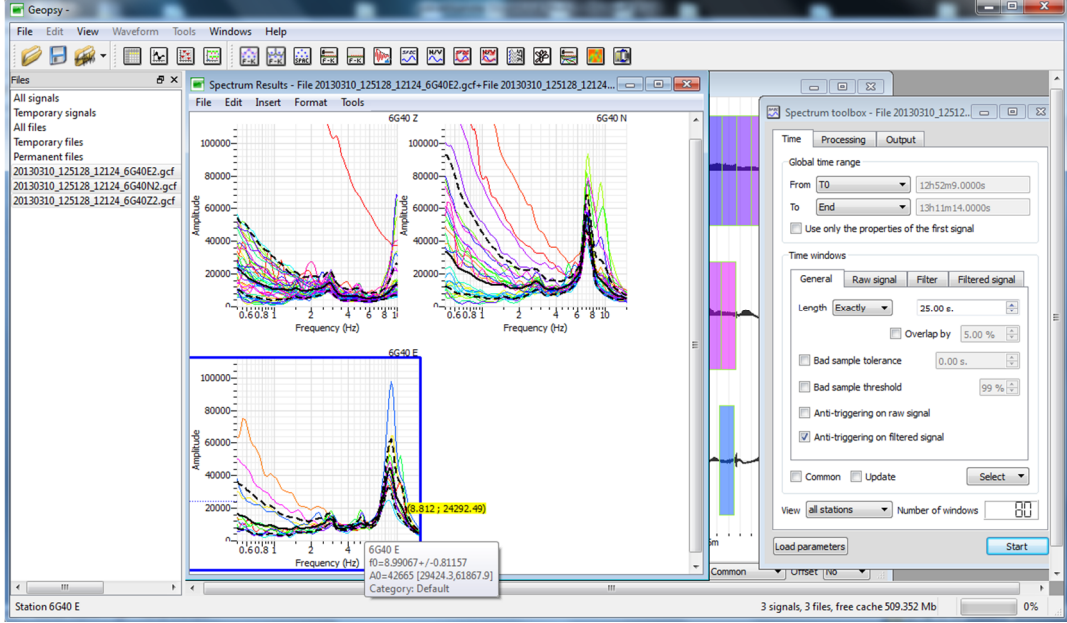
Tablo 3.3: Bina N-S (kısa) doğrultusunda normalize edilen genlik verileri

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (KUZEY-GÜNEY)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	8.50	56278.00	49457.00	1.00
1.NORMAL	5.75	44266.00	37445.00	0.76
ZEMİN	3.00	25030.00	18209.00	0.37
BODRUM	0.00	6821.00	0.00	0.00



Şekil 3.2: Binanın N-S (kısa) doğrultusunda 1.mod şekli

Aynı şekilde binanın doğu-batı doğrultusu olan uzun yön için 1.mod şekli, mikrotremor ölçümleri yapılan katlarda frekans genlik verileri değerlendirilerek bulunmuştur. Geopsy programında çatı kata ait doğu-batı doğrultusunda Şekil 3.3’te görülen frekans değeri $f_0 = 8.99067 + / - 0.81157$ mikrotremor ölçümü yapılan her katta doğu-batı doğrultusunda, bu frekansa ait genlik değerleri bulunmuştur.



Şekil 3.3: Çatı kata ait E-W (uzun) doğrultusu spektrum grafiği

Çatı kata ait doğu-batı (uzun) doğrultusundaki spektrum frekans genlik verilerinden, $f_0 = 8.99067 \pm 0.81157$ değerinin mikrotremor ölçümleri yapılan katlarda karşılık geldiği genlik değerleri Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'te görülmektedir. Binanın kısa yönü olan, Kuzey-Güney doğrultusunda olduğu gibi, Tablo 3.6'da çatı kata ait genlik değeri 1 kabul edilerek, diğer katlarda ölçülen genlik verileri çatı kata göre normalize edilmiştir. Temel üzerinden alınan ölçümlerin genliği sıfır kabul edilerek, temel üzerinden ölçülen genlik verisi ölçüm yapılan bütün katlardan çıkarılmıştır. Ölçüm yapılan kat yükseklikleri ve 1'e göre normalize edilen genlik verilerinden, binaya ait Doğu-Batı doğrultusunda 1.mod şekli Şekil 3.4'te görülmektedir.

Tablo 3.4: Çatı kat 1. Normal kata ait E-W (uzun doğrultu) spektrum genlikleri

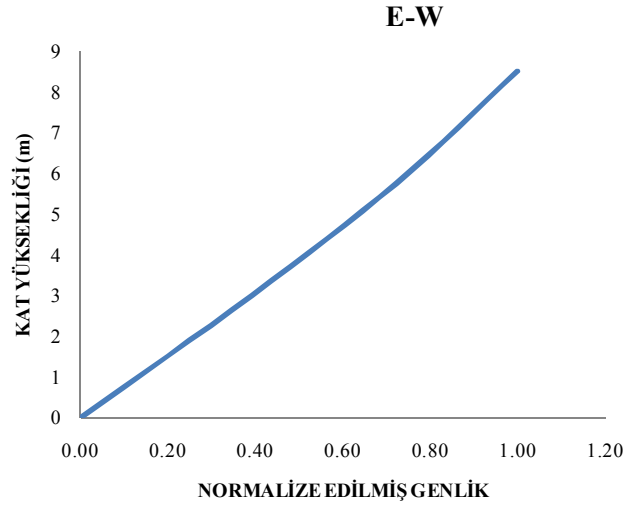
SPEKTRUM ÇATI KAT				SPEKTRUM 1.NORMAL KAT			
E-W (DOĞU-BATI)		E-W (DOĞU-BATI)		E-W (DOĞU-BATI)		E-W (DOĞU-BATI)	
FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK
0.500	16803.100	2.786	14159.300	0.500	21692.000	2.786	10233.800
0.517	15682.900	2.883	13628.800	0.517	21180.500	2.883	9760.520
0.536	14945.400	2.984	12149.600	0.536	21704.500	2.984	8935.900
0.554	13980.400	3.089	10449.800	0.554	22192.600	3.089	8217.960
0.574	13282.600	3.196	9095.690	0.574	20952.900	3.196	7825.810
0.594	12717.400	3.308	8293.920	0.594	18894.500	3.308	7597.200
0.614	12306.800	3.424	7891.190	0.614	17507.100	3.424	7450.070
0.636	11804.800	3.544	7725.170	0.636	16380.700	3.544	7574.730
0.658	11731.200	3.667	7714.610	0.658	15577.900	3.667	7971.960
0.681	11656.000	3.796	7763.590	0.681	14661.800	3.796	8240.790
0.705	11177.400	3.928	7782.370	0.705	13537.700	3.928	8066.830
0.730	10661.300	4.066	7821.730	0.730	12744.100	4.066	7661.550
0.755	10259.200	4.208	8050.440	0.755	12548.600	4.208	7454.760
0.782	9989.110	4.355	8440.880	0.782	12545.300	4.355	7590.540
0.809	9727.890	4.507	8821.280	0.809	12372.400	4.507	7921.360
0.837	9460.690	4.664	9300.610	0.837	11741.000	4.664	8232.360
0.866	9303.490	4.827	10027.200	0.866	11059.500	4.827	8302.080
0.897	9123.970	4.996	10642.400	0.897	10568.700	4.996	8019.760
0.928	8851.280	5.171	10659.100	0.928	10247.300	5.171	7535.670
0.960	8388.760	5.352	10111.200	0.960	9943.800	5.352	7223.860
0.994	7848.500	5.539	9413.900	0.994	9870.880	5.539	7256.800
1.029	7475.490	5.732	8948.160	1.029	10040.600	5.732	7479.090
1.065	7278.610	5.933	8936.840	1.065	10168.900	5.933	7787.050
1.102	7180.230	6.140	9419.780	1.102	10015.500	6.140	8197.940
1.140	7078.950	6.354	10299.500	1.140	9511.570	6.354	8757.590
1.180	6895.270	6.577	11489.600	1.180	8837.420	6.577	9659.340
1.222	6677.790	6.806	13057.200	1.222	8268.480	6.806	11156.600
1.264	6578.590	7.044	15300.400	1.264	7911.700	7.044	13222.400
1.308	6713.390	7.291	18777.300	1.308	7800.380	7.291	15588.600
1.354	7122.940	7.545	23991.800	1.354	8054.650	7.545	18383.300
1.401	7746.600	7.809	30819.100	1.401	8728.260	7.809	22338.600
1.450	8337.680	8.082	38211.500	1.450	9494.950	8.082	27743.900
1.501	8620.620	8.365	44405.100	1.501	9816.230	8.365	33151.100
1.554	8550.400	8.657	47551.900	1.554	9605.700	8.657	36184.500
1.608	8250.580	8.960	46517.800	1.608	9362.430	8.960	35306.800
1.664	7978.080	9.273	41602.400	1.664	9328.050	9.273	30716.600
1.722	7852.380	9.597	35057.000	1.722	9172.820	9.597	24555.200
1.782	7869.830	9.932	29699.700	1.782	8638.420	9.932	19535.600
1.845	7969.630	10.279	26651.100	1.845	7962.890	10.279	16820.100
1.909	8171.690	10.639	24943.900	1.909	7569.490	10.639	15615.200
1.976	8358.420	11.011	22770.200	1.976	7534.860	11.011	14512.400
2.045	8446.620	11.395	19563.300	2.045	7710.370	11.395	12772.900
2.117	8558.300	11.794	16152.500	2.117	8033.220	11.794	10649.500
2.191	8818.280	12.206	13336.000	2.191	8453.190	12.206	8748.060
2.267	9167.760	12.633	11207.400	2.267	8886.280	12.633	7366.160
2.346	9566.170	13.074	9510.780	2.346	9221.760	13.074	6375.470
2.428	10089.600	13.531	8054.140	2.428	9394.220	13.531	5508.600
2.513	10948.100	14.004	6797.010	2.513	9533.880	14.004	4653.970
2.601	12228.600	14.493	5778.480	2.601	9842.180	14.493	3891.600
2.692	13537.100	15.000	5025.450	2.692	10190.800	15.000	3343.290

Tablo 3.5: Zemin kat ve bodrum kata ait E-W (uzun doğrultu) spektrum genlikleri

SPEKTRUM ÇATI KAT				SPEKTRUM 1.NORMAL KAT			
E-W (DOĞU-BATI)		E-W (DOĞU-BATI)		E-W (DOĞU-BATI)		E-W (DOĞU-BATI)	
FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK	FREKANS (1/s)	GENLİK
0.500	43822.300	2.786	11254.200	0.500	8839.440	2.786	8220.820
0.517	43644.600	2.883	11348.200	0.517	9566.950	2.883	7853.350
0.536	42297.800	2.984	11118.300	0.536	9262.360	2.984	7051.370
0.554	40688.000	3.089	10685.400	0.554	8615.240	3.089	6247.880
0.574	39619.500	3.196	10155.100	0.574	8145.040	3.196	5783.090
0.594	38751.300	3.308	9525.660	0.594	7623.240	3.308	5727.870
0.614	37796.700	3.424	8974.430	0.614	7011.560	3.424	5833.460
0.636	36786.200	3.544	8897.090	0.636	6353.310	3.544	5832.730
0.658	35576.800	3.667	9392.500	0.658	5741.880	3.667	5718.400
0.681	34313.000	3.796	9953.200	0.681	5077.480	3.796	5586.930
0.705	33539.400	3.928	9971.280	0.705	4660.930	3.928	5458.310
0.730	32691.800	4.066	9498.850	0.730	4320.160	4.066	5357.000
0.755	31773.400	4.208	9206.670	0.755	4142.300	4.208	5367.310
0.782	30795.700	4.355	9563.350	0.782	4228.610	4.355	5474.610
0.809	29770.700	4.507	10320.500	0.809	4344.480	4.507	5526.690
0.837	28661.900	4.664	10862.800	0.837	4421.150	4.664	5473.760
0.866	27360.500	4.827	10863.300	0.866	4329.320	4.827	5400.020
0.897	26155.200	4.996	10442.700	0.897	4169.320	4.996	5354.750
0.928	25111.800	5.171	9848.230	0.928	3950.660	5.171	5302.440
0.960	24194.700	5.352	9299.500	0.960	3783.620	5.352	5197.260
0.994	23264.800	5.539	8856.800	0.994	3697.870	5.539	5028.810
1.029	22466.700	5.732	8401.240	1.029	3585.230	5.732	4832.000
1.065	21840.200	5.933	7982.170	1.065	3450.510	5.933	4721.840
1.102	21313.100	6.140	7777.180	1.102	3323.620	6.140	4800.960
1.140	20767.100	6.354	7818.440	1.140	3216.320	6.354	4992.310
1.180	20148.900	6.577	8090.120	1.180	3162.910	6.577	5159.130
1.222	19508.600	6.806	8648.920	1.222	3263.680	6.806	5325.250
1.264	18913.200	7.044	9560.820	1.264	3521.710	7.044	5609.440
1.308	18361.700	7.291	10852.700	1.308	3849.340	7.291	6126.700
1.354	17911.900	7.545	12758.100	1.354	4231.890	7.545	6922.850
1.401	17637.900	7.809	15807.200	1.401	4645.120	7.809	7864.900
1.450	17242.000	8.082	19973.100	1.450	4924.250	8.082	8554.930
1.501	16332.200	8.365	23552.700	1.501	4916.690	8.365	8482.560
1.554	14960.800	8.657	24304.600	1.554	4614.100	8.657	7523.040
1.608	13641.600	8.960	21932.200	1.608	4235.410	8.960	6095.720
1.664	12770.700	9.273	18116.800	1.664	4078.700	9.273	4828.360
1.722	12310.100	9.597	14536.500	1.722	4191.410	9.597	4149.120
1.782	12262.500	9.932	12006.500	1.782	4525.750	9.932	4055.970
1.845	12435.400	10.279	10546.500	1.845	4997.470	10.279	4212.560
1.909	12534.900	10.639	9455.120	1.909	5544.770	10.639	4301.020
1.976	12370.400	11.011	8231.350	1.976	5932.160	11.011	4218.470
2.045	12070.700	11.395	6866.550	2.045	5938.080	11.395	4019.600
2.117	11863.700	11.794	5555.310	2.117	5665.300	11.794	3796.840
2.191	11960.900	12.206	4500.150	2.191	5688.540	12.206	3641.880
2.267	12395.000	12.633	3818.170	2.267	6238.370	12.633	3646.760
2.346	12698.300	13.074	3449.500	2.346	7034.970	13.074	3835.030
2.428	12303.300	13.531	3221.350	2.428	7601.960	13.531	4092.150
2.513	11487.000	14.004	3057.250	2.513	7790.600	14.004	4250.530
2.601	10975.800	14.493	2996.220	2.601	7885.660	14.493	4233.080
2.692	11006.900	15.000	3063.040	2.692	8108.260	15.000	4127.020

Tablo 3.6: E-W (uzun) doğrultusunda normalize edilen genlik verileri

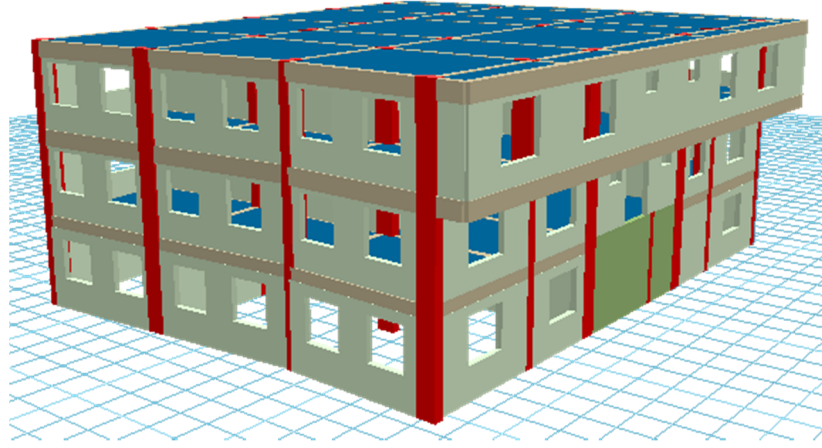
ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (DOĞU-BATI)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	8.50	46518.00	40422.00	1.00
1.NORMAL	5.75	35307.00	29211.00	0.72
ZEMİN	3.00	21932.00	15836.00	0.39
BODRUM	0.00	6096.00	0.00	0.00



Şekil 3.4: Binanın E-W (uzun) doğrultusunda 1.mod şekli

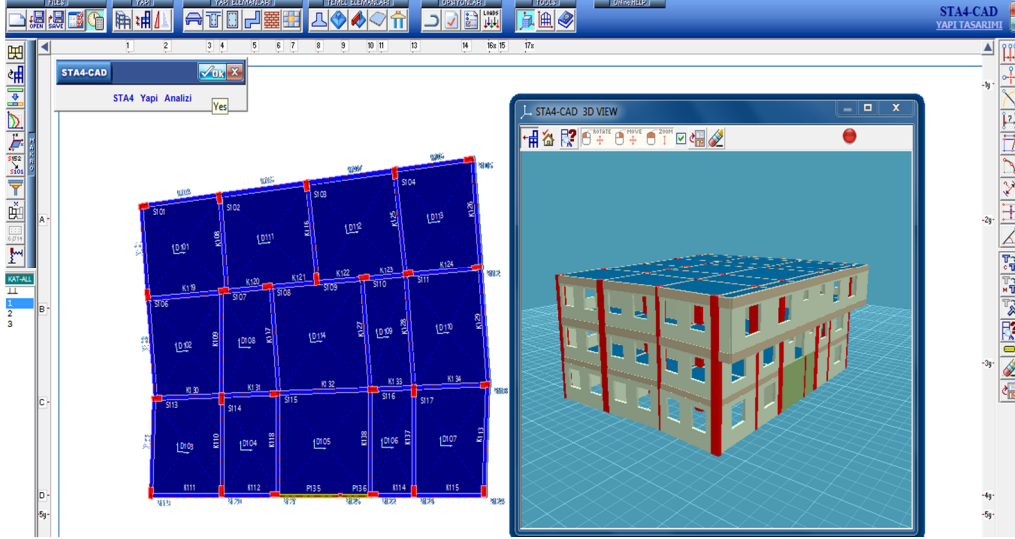
3.3 Modal Analiz Sonuçlarıyla Birinci Mod Şeklinin Elde Edilmesi

Bina hakim titreşim periyodu ve spektrum grafiklerinin elde edildiği bodrum, zemin ve 1 normal kattan oluşan bina bilgisayar ortamında modellenip imal edildiği deprem yönetmeliği hükümlerince analizi yapılarak, uzun ve kısa yönler için periyot ve 1.mod şekli elde edilmiştir. Şekil 3.5'te bilgisayar ortamında modellenen yapının üç boyutlu modeli görülmektedir.



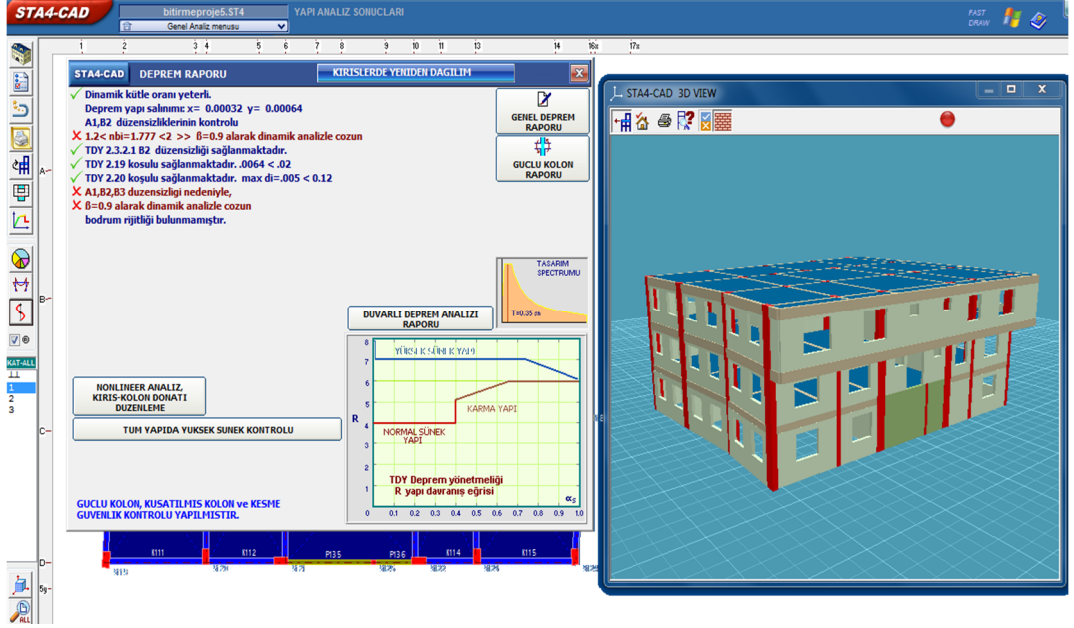
Şekil 3.5: Bilgisayar ortamında modellenen yapı üç boyutlu modeli

Örnek olarak anlatılan bina 2012 yılında yapılmıştır. Yapının betonarme tasarımı 2007 deprem yönetmeliği hükümlerince inşa edilmiştir. İnşaa edilen bina konut amaçlı bir yapı olup, deprem bölge katsayısı; 1.derece deprem bölgesi, zemin grubu C ve zemin sınıfı ise Z3 tür. Yapıda beton sınıfı 30 MPa, çelik sınıfı ise S420 dir. Yapının toplam inşaat alanı 1052 m² dir. Oluşturulan yapı modeli deprem yönetmeliği hükümlerince analiz edilerek binanın davranışı incelenmiştir. Bilgisayar ortamında modellenen yapının analiz edilmesi Şekil 3.6’da, yapı deprem raporu ise Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.6: Bilgisayar ortamında modellenen yapının analiz edilmesi

Programda modellenen bina analiz edildikten sonra, ana ekrana duvarlı deprem analizi raporu gelmektedir.



Şekil 3.7: Bilgisayar ortamında yapı deprem raporu

Ekranda görülen duvarlı deprem analizi raporu menüsü seçilerek ekrana gelen duvar etkili deprem raporunda, binanın her iki yönüne ait x (uzun) ve y (kısa) yönlerindeki deplasmanlar Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da görülmektedir.

-X DUVARLI DEPREM ANALIZI

Kat no	X_r m	Y_r m	V_e	V_{wx}	V_{wy}	ΣV_w	δ_x m	δ_y m	θ_z (rad)
3	14.74	13.68	54.27	0.00	189.94	0.00	-0.00909989	-0.00058648	-0.00015775
2	14.76	13.60	43.68	0.00	152.87	0.00	-0.00600479	-0.00038256	-0.00003615
1	14.69	21.26	10.58	67.59	37.02	16.31	-0.00124148	-0.00006559	0.00009912

+X DUVARLI DEPREM ANALIZI

Kat no	X_r m	Y_r m	V_e	V_{wx}	V_{wy}	ΣV_w	δ_x m	δ_y m	θ_z (rad)
3	14.74	13.70	54.27	0.00	189.94	0.00	0.00911033	0.00058998	0.00015534
2	14.77	13.62	43.68	0.00	152.87	0.00	0.00601213	0.00038408	0.00003373
1	14.69	21.28	10.58	67.08	37.02	15.96	0.00124240	0.00006571	-0.00010101

Şekil 3.8: Bilgisayar ortamında $\pm X$ duvarlı deprem analizi

-Y DUVARLI DEPREM ANALIZI

Kat no	X_r m	Y_r m	V_e	V_{wx}	V_{wy}	ΣV_w	δ_x m	δ_y m	θ_z (rad)
3	14.71	13.84	53.38	0.00	186.83	0.00	0.00042167	0.01818220	0.00034920
2	14.70	13.83	47.11	0.00	164.87	0.00	0.00036191	0.01350052	0.00022637
1	14.70	21.56	19.89	47.95	69.60	45.88	0.00005815	0.00617705	0.00007851

+Y DUVARLI DEPREM ANALIZI

Kat no	X_r m	Y_r m	V_e	V_{wx}	V_{wy}	ΣV_w	δ_x m	δ_y m	θ_z (rad)
3	14.70	13.84	53.38	0.00	186.83	0.00	-0.00041257	-0.01816155	-0.00035188
2	14.68	13.83	47.11	0.00	164.87	0.00	-0.00035658	-0.01348161	-0.00022886
1	14.67	21.56	19.89	49.50	69.60	46.87	-0.00005894	-0.00616347	-0.00008032

Şekil 3.9: Bilgisayar ortamında $\pm Y$ duvarlı deprem analizi

DUVARLI DEPREM ANALIZI PERİYODLARI (sn)

T	+X	-X	+Y	-Y
1	0.2346	0.2348	0.3387	0.3384
2	0.0757	0.0757	0.1013	0.1012
3	0.0470	0.0470	0.0561	0.0561

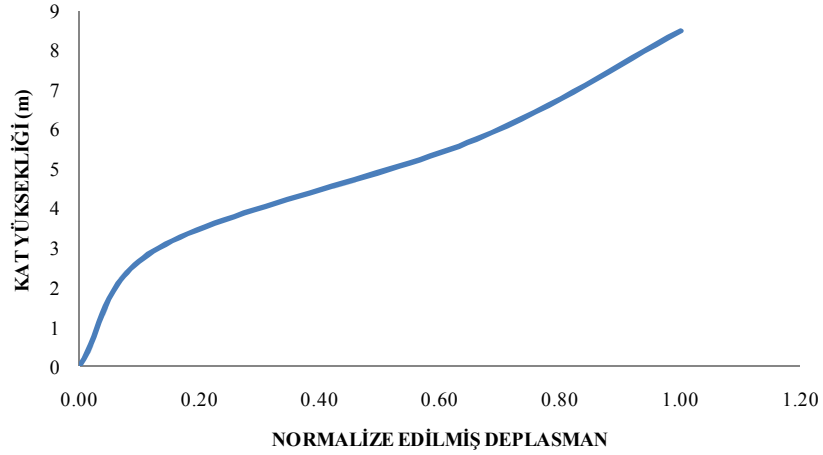
Şekil 3.10: Bilgisayar ortamında duvarlı deprem analizi sonucu periyotlar

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi X yönü binaya ait uzun yön, Y yönünün ise binaya ait kısa yön olduğu görülmektedir. Binaya ait, X ve Y yönlerinde Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de görülen deplasmanlar ile kat yüksekliklerinden her iki yön için 1.mod şekli çıkarılmıştır.

Tablo 3.7: Bina X (uzun) yönüne ait normalize edilmiş deplasman verileri

KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	X YÖNÜ DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
3	8.50	0.0091	1.00
2	5.75	0.0060	0.66
1	3.00	0.0012	0.13
0	0.00	0.0000	0.00

UZUN YÖN



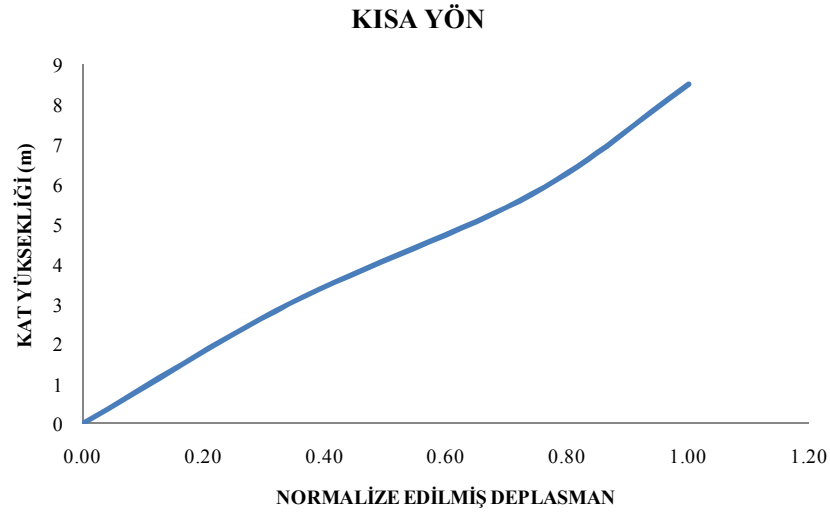
Şekil 3.11: Uzun yön binaya ait 1.mod şekli

Şekil 3.11'de binaya ait uzun yön için 1.mod şekli görülmektedir. Aynı şekilde kısa yön için de 1.mod şekli Şekil 3.12'de görülmektedir.

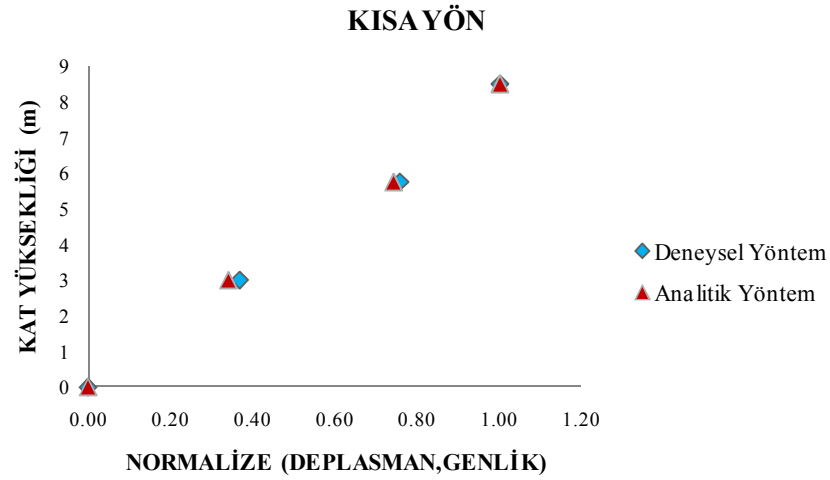
Tablo 3.8: Bina Y (kısa) yönüne ait normalize edilmiş deplasman verileri

KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	Y YÖNÜ DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
3	8.50	0.0182	1.00
2	5.75	0.0135	0.74
1	3.00	0.0062	0.34
0	0.00	0.0000	0.00

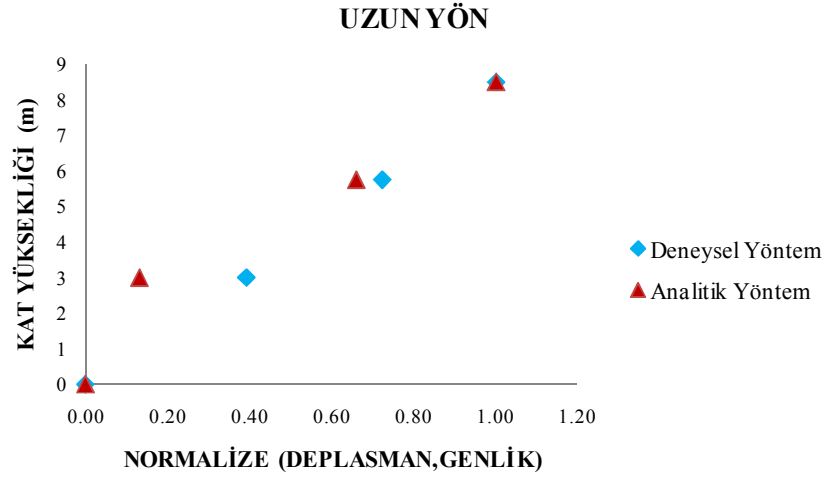
Ölçüm yapılan binaya ait mod şekilleri, deneysel ve analitik yöntem Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.12: Kısa yön binaya ait 1.mod şekli



Şekil 3.13: Kısa yön için 1.mod şekilleri



Şekil 3.14: Uzun yön için 1.mod şekilleri

4 MİKROTREMOR KAYITLARI VE MODAL ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

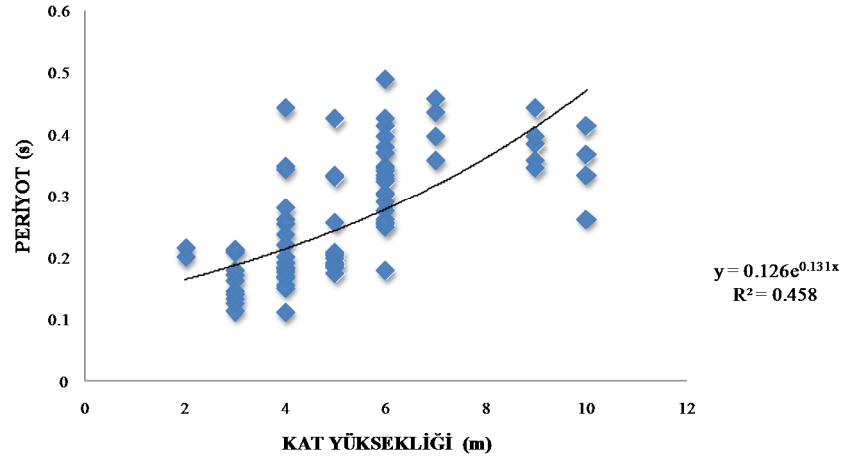
Yapılan tez çalışması kapsamında 33 farklı özellikteki binalardan alınan mikrotremor kayıtlarından yola çıkarak, ölçüm yapılan binalarda baskın moda ait doğal titreşim periyotları ve 1.mod şekilleri hesaplanmıştır. Ölçüm yapılan binalar ağırlıklı olarak orta katlı konut yapılarından oluşmaktadır. Ölçüm yapılan 33 binadan 8 tanesi Pamukkale Üniversitesi ve Kütahya İl Milli Eğitim Müdürlüğü ile birlikte yürütülen “Okul Yapılarının Sismik Performansının Belirlenmesi” (Pamukkale Üniversitesi, 2011) çalışmalarında incelenen okul yapısıdır. Ayrıca 5 adet konut yapısından farklı duvar yapım aşamaları gözetilerek alınan kayıtlar sonucunda dolgu duvarların sistem rijitliğine olan katkısının ortaya konulması hedeflenmiştir. 19 Mayıs 2011 Simav Depremi sonrasında betonarme perde elemanlar ile sistem güçlendirmesi yapılan 5 adet binadan güçlendirme öncesi ve sonrası farklı kayıtlar alınarak yapılan sistem güçlendirmesinin yapı dinamik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Mikrotremor ölçümleri alınan 33 farklı bina bilgisayar ortamında modellenerek, deneysel yöntem olan mikrotremor ölçümleri ile analitik yöntem sonuçlarının karşılaştırılması hedeflenmiştir. Mikrotremor ölçümü alınan tüm binalara ait yapısal özellikler Tablo 4.1’de verilmiştir. Tablo 4.1’de görülen a ve b harfleri dolgu duvar öncesi ve sonrası, c ve d harfleri ise sistem güçlendirme öncesi ve sonrasını temsil etmektedir.

Yapılan tez çalışması kapsamında mevcut betonarme binaların her iki yön için hakim titreşim periyotları deneysel ve teorik analiz ile ortaya konularak karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde mikrotremor kayıtları ile elde edilen hakim titreşim periyotları ile analiz sonuçları arasında dikkat çekici farklar olduğu gözlemlenmiştir. Genellikle deneysel yöntem ile hesaplanan doğal titreşim periyotları analitik yöntemle hesaplanan periyot değerlerine göre oldukça düşüktür. Bu sonuca sebep olan en önemli kriterin, mikrotremor ölçümlerinde dikkate alınan küçük titreşimlerde dolgu duvarların taşıyıcı sisteme olan etkisi ve mevcut analiz yöntemlerinde bu etkinin aynı seviyede yansıtılmaması olduğu düşünülmektedir.

Ölçüm yapılan binalarda mikrotremor kayıtlarından elde edilen doğal titreşim periyotlarının uzun ve kısa yön için kat sayılarına bağlı değişimi Şekil 4.1’de görülmektedir. Periyot değerlerinin bina kat sayılarına bağlı olarak artan bir eğilimde olduğu görülmektedir. Hesaplanan korelasyon katsayısının karesi değeri 0.458’dir. Fakat bir yapının doğal titreşim periyodunu etkileyen çok sayıda parametre bulunmaktadır. Bu sebeple kat sayısı ve doğal titreşim periyodu arasında doğrudan bir ilişkinin bulunmaması beklenen bir durumdur.

Tablo 4.1: Çalışma 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	23	4	var	var	yok	var
2	4	yok	var	yok	yok	24a	9	var	yok	yok	yok
3	4	var	var	yok	var	24b	9	var	var	yok	yok
4	4	yok	var	yok	yok	25a	3	var	yok	yok	yok
5	5	var	var	yok	yok	25b	3	var	var	yok	yok
6	5	var	var	yok	yok	26a	7	var	yok	yok	yok
7	5	var	var	yok	yok	26b	7	var	var	yok	yok
8	5	var	var	yok	yok	27a	9	var	yok	yok	yok
9	5	var	var	yok	yok	27b	9	var	var	yok	yok
10	6	var	var	yok	yok	28a	6	var	yok	yok	yok
11	6	var	var	yok	yok	28b	6	var	var	yok	yok
12	6	var	var	yok	yok	29c	5	var	var	yok	yok
13	6	var	var	yok	yok	29d	5	var	var	var	yok
14	10	var	var	yok	var	30c	6	var	var	yok	yok
15	10	var	var	yok	var	30d	6	var	var	var	yok
16	3	yok	var	yok	yok	31c	6	var	var	yok	yok
17	4	var	var	yok	var	31d	6	var	var	var	yok
18	4	yok	var	yok	var	32c	6	var	var	yok	yok
19	3	yok	var	yok	yok	32d	6	var	var	var	yok
20	4	var	var	yok	var	33c	4	var	var	yok	yok
21	3	var	var	yok	var	33d	4	var	var	var	yok
22	4	yok	var	yok	var						



Şekil 4.1: Mikrotremor ölçümlerinden hesaplanan baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının kat sayısına göre değişimi

4.1 Sistem Güçlendirmesinin Bina Davranışı Üzerindeki Etkileri

19 Mayıs Simav Depremi sonrasında betonarme perde elemanlar ile sistem güçlendirmesi yapılan 5 adet binadan güçlendirme öncesi ve sonrası farklı kayıtlar alınarak yapılan sistem güçlendirmesinin yapı dinamik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Mikrotremor ölçümleri yapılan binalara ait mikrotremor verileri ve modal analiz sonuçları Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.2: Güçlendirme öncesi periyot verileri

GÜÇLENDİRME ÖNCESİ						
BİNA NO	MİKROTREMOR				MODAL ANALİZ	
	FREKANS UZUN YÖN	FREKANS KISA YÖN	PERİYOT UZUN YÖN	PERİYOT KISA YÖN	PERİYOT UZUN YÖN	PERİYOT KISA YÖN
29c	3.01	2.35	0.33	0.43	0.33	0.43
30c	2.88	2.04	0.35	0.49	0.41	0.66
31c	2.98	2.34	0.34	0.43	0.51	0.51
32c	2.69	2.42	0.37	0.41	0.41	0.41
33c	4.20	2.26	0.24	0.44	0.32	0.49

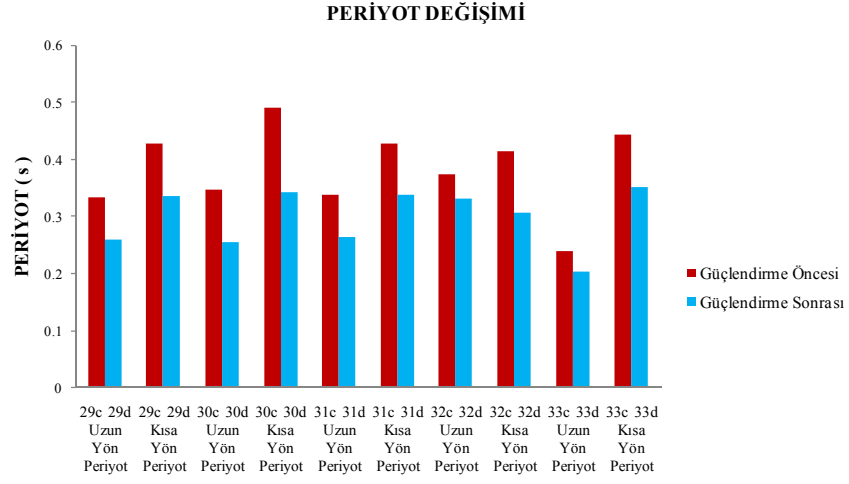
Güçlendirme öncesinde, binalarda mikrotremor ölçümleri ile elde edilen doğal titreşim periyotlarının, her iki yön içinde bilgisayar modellemesi ile elde edilen doğal titreşim periyotlarından, daha düşük olduğu Tablo 4.2'de görülmektedir. Dolgu duvarların yapı rijitliğine olan katkısı göz önüne alındığında ve analitik yöntemlerde yapılan kabuller nedeniyle, doğal titreşim periyotlarında böyle bir farkın oluşması beklenebilmektedir (Bayülke, 1989). Bununla birlikte güçlendirme sonrasında,

mikrotremor ölçüleriyle hesaplanan doğal titreşim periyotları güçlendirme öncesinde mevcut durumdaki yapıların aksine, bilgisayar modellemesi ile elde edilen doğal titreşim periyotlarından daha yüksek sonuçlar verdiği Tablo 4.3'te görülmektedir.

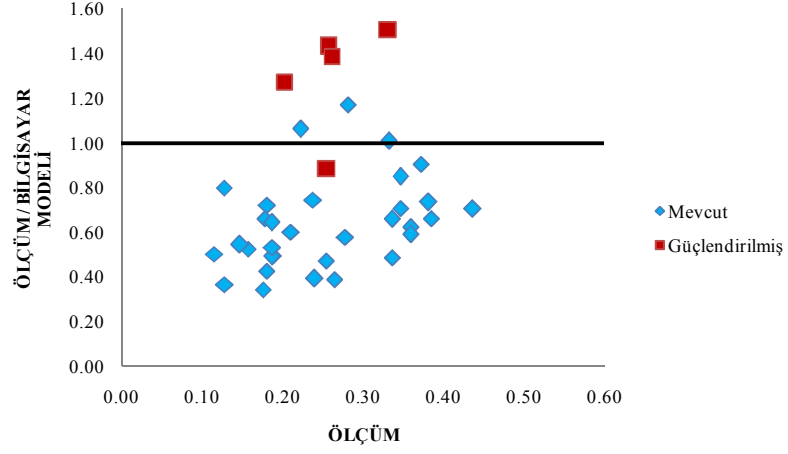
Tablo 4.3: Güçlendirme sonrası periyot verileri

GÜÇLENDİRME SONRASI						
BİNA NO	MİKROTREMOR				MODAL ANALİZ	
	FREKANS UZUN YÖN	FREKANS KISA YÖN	PERİYOT UZUN YÖN	PERİYOT KISA YÖN	PERİYOT UZUN YÖN	PERİYOT KISA YÖN
29d	3.88	2.99	0.26	0.33	0.18	0.21
30d	3.92	2.92	0.26	0.34	0.29	0.34
31d	3.81	2.98	0.26	0.34	0.19	0.33
32d	3.02	3.28	0.33	0.31	0.22	0.25
33d	4.93	2.86	0.20	0.35	0.16	0.29

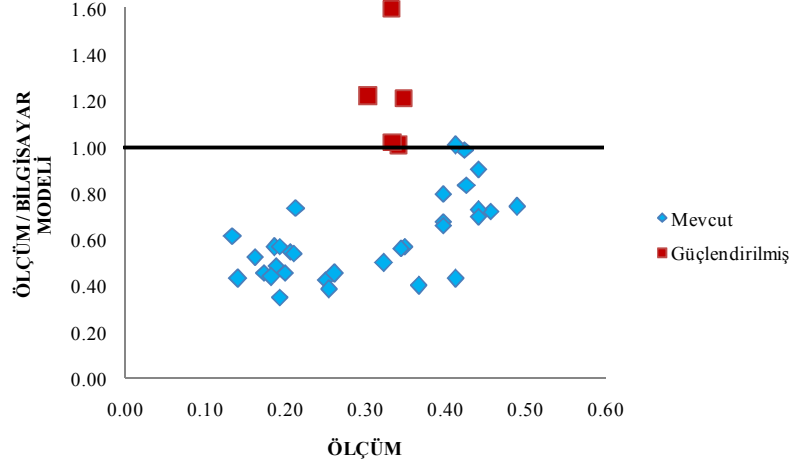
Sistem güçlendirmesinde sıklıkla kullanılan betonarme perde elemanlarının mevcut yapıya sonradan ilave edilmesiyle düşük titreşimlerde tam bir bütünlük gösterememesi, özellikle düşük genlikli doğal titreşim modlarında beklenenin altında bir rijitlik katkısı vermesine neden olmaktadır. Bilgisayar ortamında, bu davranış modellenemediği için rijitlik katkısı daha yüksek; bununla birlikte, hesaplanan doğal titreşim periyotları daha düşük bulunmaktadır. Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 incelendiğinde güçlendirme sonrasında doğal titreşim periyotlarında %12 ile %45 arasında bir azalma olduğu görülmektedir. Güçlendirme öncesi ve sonrası periyot değişimi Şekil 4.2, mikrotremor ölçümleri ve modal analiz sonuçları elde edilen baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının uzun ve kısa yöne göre karşılaştırılması Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görülmektedir. Ayrıca güçlendirme uygulaması yapıldıktan sonra ve yapılmadan önce deneysel yöntem ile bulunan periyotların oranlanması Şekil 4.5'te verilmiştir.



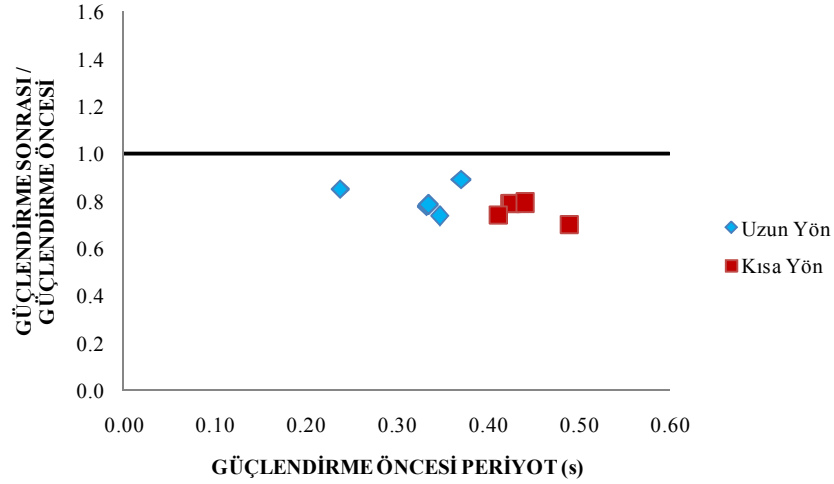
Şekil 4.2: Güçlendirme öncesi ve sonrası periyot değişimi



Şekil 4.3: Mikrotremor ölçümleri ve modal analiz sonuçları elde edilen baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının uzun yöne göre karşılaştırılması



Şekil 4.4: Mikrotremor ölçümleri ve modal analiz sonuçları elde edilen baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının kısa yöne göre karşılaştırılması



Şekil 4.5: Güçlendirme uygulaması yapıldıktan sonra ve yapılmadan önce deneysel yöntem ile bulunan periyotların oranlanması

Güçlendirme uygulaması yapılan 5 binada, deneysel yöntem ve analitik yöntem ile binaya ait her iki yön için 1.mod şekilleri elde edilmiştir. 32 no'lu bina bodrum, zemin ve 4 normal kattan oluşmaktadır. 1.mod şekilleri güçlendirme öncesi ve sonrası olacak şekilde verilmiştir.

Tablo 4.4: 32 nolu binaya ait güçlendirme öncesi N-S (kısa) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (KUZEY-GÜNEY)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	16.50	346362.00	326811.00	1.00
4.NORMAL	13.70	220053.00	200502.00	0.61
2.NORMAL	8.10	180651.00	161100.00	0.49
ZEMİN	2.50	58960.00	39409.00	0.12
BODRUM	0.00	19551.00	0.00	0.00

Tablo 4.5: 32 nolu binaya ait güçlendirme öncesi E-W (uzun) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (DOĞU-BATI)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	16.50	635730.00	612125.00	1.00
4.NORMAL	13.70	419294.00	395689.00	0.65
2.NORMAL	8.10	359865.00	336260.00	0.55
ZEMİN	2.50	78694.00	55089.00	0.09
BODRUM	0.00	23605.00	0.00	0.00

Tablo 4.6: 32 nolu binaya ait güçlendirme öncesi kısa yön analitik yöntem normalize deplasmanlar

KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	KISA YÖN DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
6	16.50	0.0274	1.00
5	13.70	0.0248	0.91
4	10.90	0.0208	0.76
3	8.10	0.0154	0.56
2	5.30	0.0091	0.33
1	2.50	0.0031	0.11
0	0	0.0000	0.00

Tablo 4.7: 32 nolu binaya ait güçlendirme öncesi uzun yön analitik yöntem normalize deplasmanlar

KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	UZUN YÖN DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
6	16.50	0.0279	1.00
5	13.70	0.0253	0.91
4	10.90	0.0211	0.76
3	8.10	0.0155	0.56
2	5.30	0.0091	0.33
1	2.50	0.0030	0.11
0	0	0.0000	0.00

Güçlendirme öncesi 32 nolu binaya ait deneysel yöntem ile elde edilen Kuzey-Güney, Doğu-Batı doğrultusunda incelenen binanın baskın moduna ait titreşim frekasındaki genlikler Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te verilmiştir. Burada Kuzey-Güney doğrultusu binanın kısa yönü, Doğu-Batı doğrultusu ise binanın uzun yönüdür. Bununla birlikte analitik yöntem ile değerlendirilen binada, binanın her iki yönü için bulunan kat deplasmanları Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.8: 32 nolu binaya ait güçlendirme sonrası N-S (kısa) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (KUZEY-GÜNEY)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	16.50	120323.00	99932.00	1.00
4.NORMAL	13.70	86424.00	66033.00	0.66
2.NORMAL	8.10	70449.00	50058.00	0.50
ZEMİN	2.50	33775.00	13384.00	0.13
BODRUM	0.00	20391.00	0.00	0.00

Tablo 4.9: 32 nolu binaya ait güçlendirme sonrası E-W (uzun) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (DOĞU-BATI)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	16.50	217767.00	193311.00	1.00
4.NORMAL	13.70	202381.00	177925.00	0.92
2.NORMAL	8.10	128770.00	104314.00	0.54
ZEMİN	2.50	50107.00	25651.00	0.13
BODRUM	0.00	24456.00	0.00	0.00

Tablo 4.10: 32 nolu binaya ait güçlendirme sonrası kısa yön analitik yöntem normalize deplasmanlar

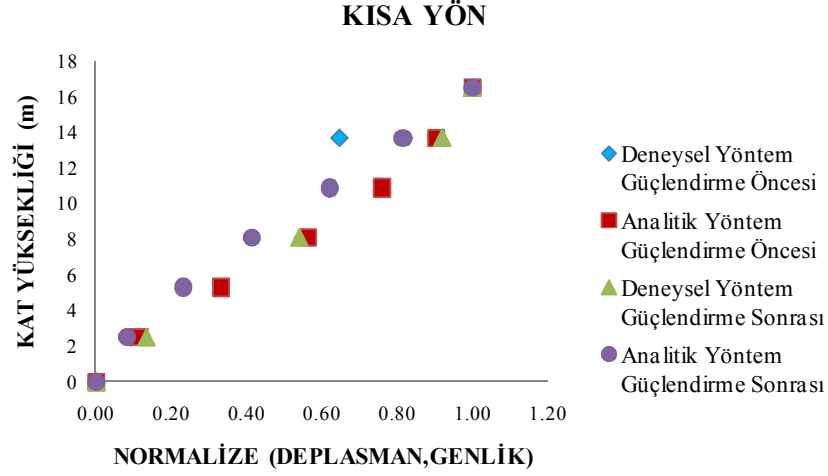
KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	KISA YÖN DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
6	16.50	0.0087	1.00
5	13.70	0.0071	0.82
4	10.90	0.0054	0.62
3	8.10	0.0036	0.41
2	5.30	0.0020	0.23
1	2.50	0.0007	0.08
0	0	0.0000	0.00

Tablo 4.11: 32 nolu binaya ait güçlendirme sonrası uzun yön analitik yöntem normalize deplasmanlar

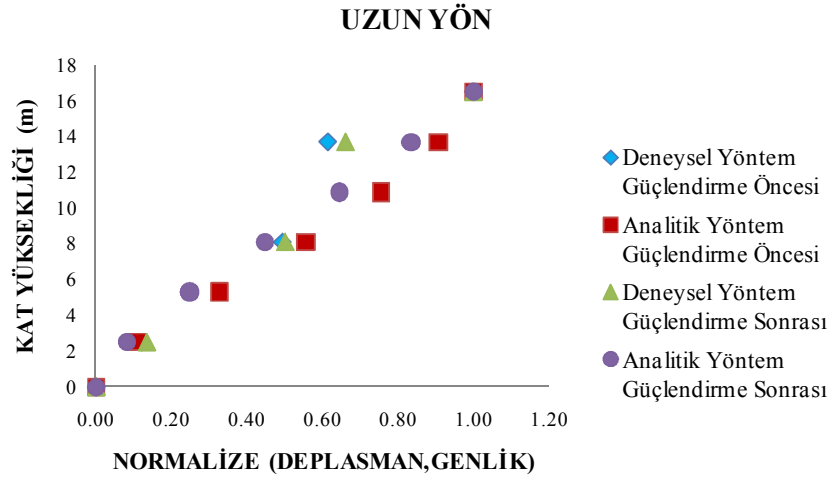
KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	UZUN YÖN DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
6	16.50	0.0121	1.00
5	13.70	0.0101	0.83
4	10.90	0.0078	0.64
3	8.10	0.0054	0.45
2	5.30	0.0030	0.25
1	2.50	0.0010	0.08
0	0	0.0000	0.00

Deneysel yöntem ve analitik yöntem sonuçları karşılaştırıldığında mikrotremor ölçümleri ile elde edilen periyotların, incelenen binada baskın moda ait titreşim frekansındaki genliklerin, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9'da güçlendirme sonrasında öncesine göre azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde, Tablo 4.10 ve Tablo 4.11'de güçlendirme sonrası analitik yöntem ile elde edilen kat deplasmanlarının da

güçlendirme öncesine göre azaldığı görülmüştür. Güçlendirme öncesi ve sonrasında, kısa ve uzun yöne ait elde edilen 1.mod şekilleri karşılaştırılması Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir.



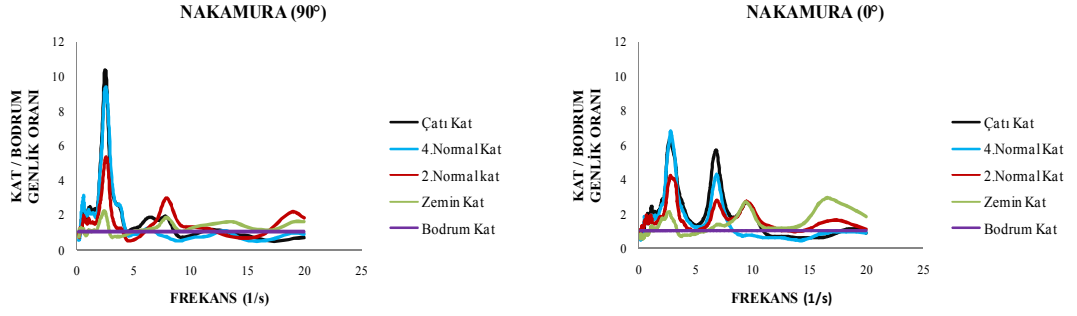
Şekil 4.6: 32 nolu binanın kısa yönüne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekillerinin karşılaştırılması



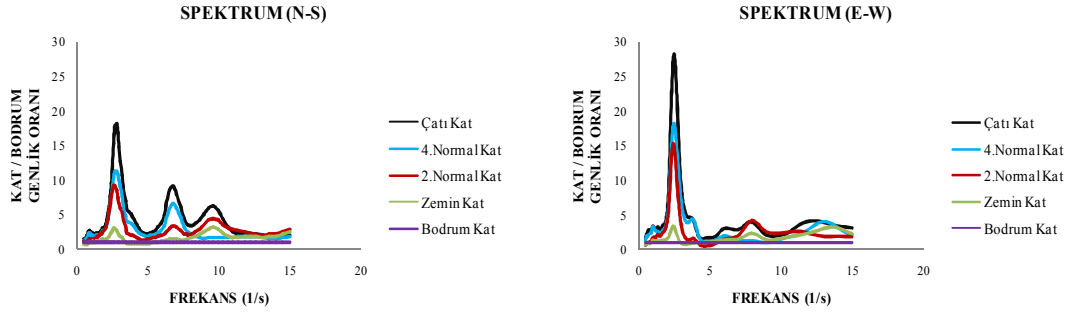
Şekil 4.7: 32 nolu binanın uzun yönüne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekillerinin karşılaştırılması

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de görülen mod şekilleri, ölçüm yapılan binaya ait güçlendirme öncesi ve sonrası olmak üzere ölçüm yapılan bina kendi içinde normalize edilmiştir. Güçlendirme öncesi ve sonrası okunan genlik değerleri birbirinden bağımsızdır. Mod şekilleri çıkarılırken kat deplasmanları şekilsel grafik olup, katlar arası deplasman profilini yansıtmaktadır. Güçlendirme öncesinde 32 nolu binaya ait her iki yön için H/V (spektral ortamda yatay bileşenlerinin düşey bileşenlerine oranı) ve her iki

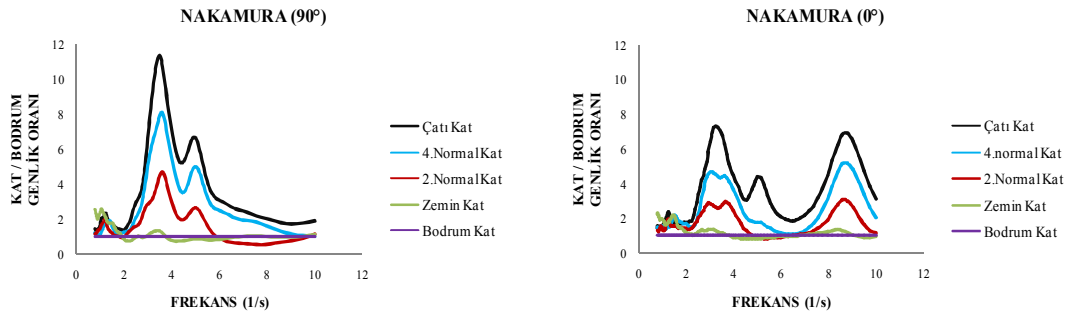
doğrultu için de kat genlik spektrum grafikleri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da, güçlendirme sonrası grafikler ise Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir. Grafiklerde görülen pikler o yön için binanın baskın moduna ait titreşim frekansını ve genliğini tanımlamaktadır. Ayrıca her katta hesaplanan kat genlik spektrumları bodrum kat genlik spektrumuna oranlanmıştır. Diğer binalar için güçlendirme öncesi ve sonrası her iki yön içinde, H/V ve kat genlik spektrum grafikleri EK-A1’de verilmiştir.



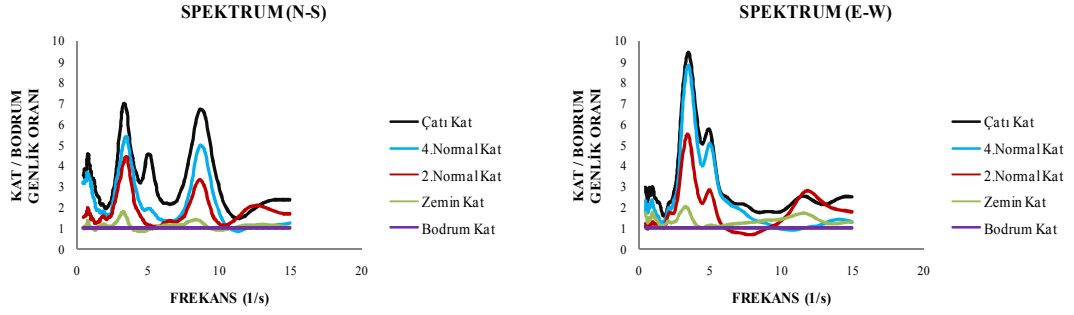
Şekil 4.8: 32 nolu bina için güçlendirme öncesi yatay/düşey spektral oran grafikleri



Şekil 4.9: 32 nolu bina için güçlendirme öncesi genlik spektrumları



Şekil 4.10: 32 nolu bina için güçlendirme sonrası yatay/düşey spektral oran grafikleri



Şekil 4.11: 32 nolu bina için güçlendirme sonrası genlik spektrumları

4.2 Dolgu Duvar Etkisinin Bina Davranışı Üzerindeki Etkileri

Tez çalışması kapsamında binalardan farklı duvar yapım aşamalarında mikrotremor kayıtları alınarak, dolgu duvarların doğal titreşim periyodu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Mikrotremor ölçümleri yapılan binalara ait, mikrotremor verileri ve modal analiz sonuçları Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'te verilmiştir.

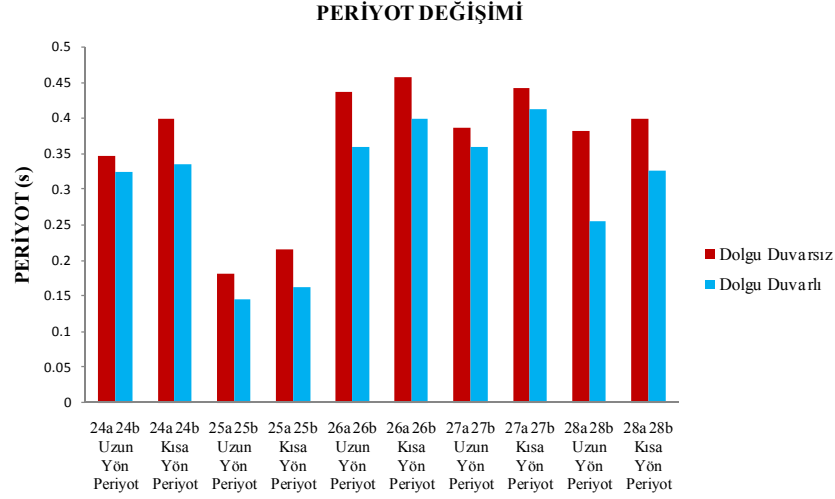
Tablo 4.12: Dolgu duvar öncesi periyot verileri

DOLGU DUVAR SIZ						
BİNA NO	MİKROTREMOR				MODAL ANALİZ	
	FREKANS UZUN YÖN	FREKANS KISA YÖN	PERİYOT UZUN YÖN	PERİYOT KISA YÖN	PERİYOT UZUN YÖN	PERİYOT KISA YÖN
24a	2.88	2.51	0.35	0.40	0.49	0.50
25a	5.53	4.66	0.18	0.22	0.25	0.29
26a	2.29	2.19	0.44	0.46	0.62	0.63
27a	2.60	2.26	0.39	0.44	0.58	0.61
28a	2.62	2.51	0.38	0.40	0.52	0.60

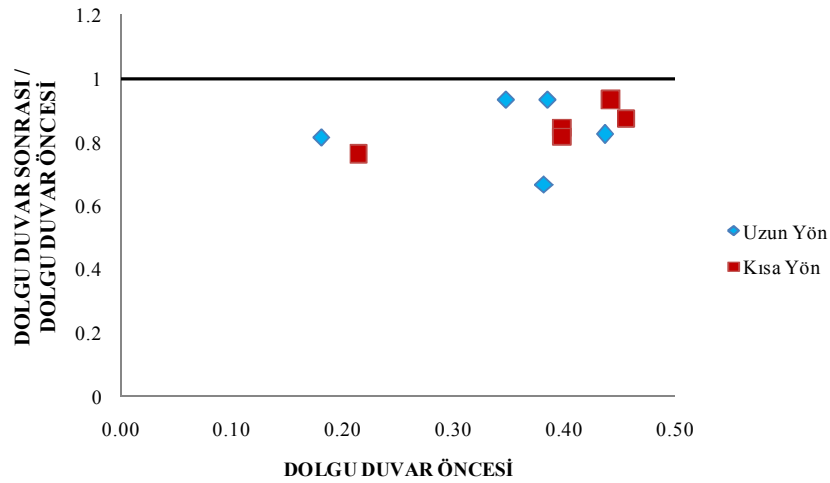
Tablo 4.13: Dolgu duvar sonrası periyot verileri

DOLGU DUVAR LI						
BİNA NO	MİKROTREMOR				MODAL ANALİZ	
	FREKANS UZUN YÖN	FREKANS KISA YÖN	PERİYOT UZUN YÖN	PERİYOT KISA YÖN	PERİYOT UZUN YÖN	PERİYOT KISA YÖN
24b	3.09	2.98	0.32	0.34	0.48	0.49
25b	6.80	6.13	0.15	0.16	0.27	0.31
26b	2.78	2.51	0.36	0.40	0.58	0.59
27b	2.78	2.26	0.36	0.41	0.61	0.63
28b	3.93	3.08	0.25	0.33	0.54	0.65

Tablo 4.12 ve Tablo 4.13 Tablo 4.13 incelendiğinde dolgu duvar katkısı nedeniyle doğal titreşim periyotlarında %10 ile %52 arasında bir azalma olduğu görülmektedir. Dolgu duvar öncesi ve sonrası periyot değişimi Şekil 4.12’de, dolgu duvar öncesi ve sonrası deneysel yöntem ile bulunan periyotların oranlanması ise Şekil 4.13’te görülmektedir.



Şekil 4.12: Dolgu duvar öncesi ve sonrası periyot değişimi



Şekil 4.13: Dolgu duvar sonrası ve öncesi deneysel yöntem ile bulunan periyotların oranlanması

Tablo 4.14: 25 nolu binaya ait dolgu duvar öncesi N-S (kısa) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (KUZEY-GÜNEY)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	8.40	99130.00	96539.00	1.00
1.NORMAL	5.60	60769.00	58178.00	0.60
ZEMİN	2.80	20382.00	17791.00	0.18
BODRUM	0.00	2591.00	0.00	0.00

Tablo 4.15: 25 nolu binaya ait dolgu duvar öncesi E-W (uzun) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (DOĞU-BATI)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	8.40	70345.00	67510.00	1.00
1.NORMAL	5.60	60639.00	57804.00	0.86
ZEMİN	2.80	16920.00	14085.00	0.21
BODRUM	0.00	2835.00	0.00	0.00

Tablo 4.16: 25 nolu binaya ait dolgu duvar öncesi uzun yön analitik yöntem normalize deplasmanlar

KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	UZUN YÖN DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
3	8.40	0.2491	1.00
2	5.60	0.1844	0.74
1	2.80	0.0833	0.33
0	0.00	0.0000	0.00

Tablo 4.17: 25 nolu binaya ait dolgu duvar öncesi kısa yön analitik yöntem normalize deplasmanlar

KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	KISA YÖN DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
3	8.40	0.2026	1.00
2	5.60	0.1464	0.72
1	2.80	0.0634	0.31
0	0.00	0.0000	0.00

Dolgu duvar öncesi 25 nolu binaya ait deneysel yöntem ile elde edilen Kuzey-Güney, Doğu-Batı doğrultusunda incelenen binanın baskın moduna ait titreşim frekansındaki genlikler Tablo 4.14 ve Tablo 4.15’de verilmiştir. Burada Kuzey-Güney doğrultusu binaya ait kısa yön, Doğu-Batı doğrultusu ise uzun yönü temsil etmektedir. Ayrıca analitik yöntem ile değerlendirilen binada her iki yön içinde bulunan kat deplasmanları Tablo 4.16 ve Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.18: 25 nolu binaya ait dolgu duvar sonrası N-S (kısa) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (KUZEY-GÜNEY)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	8.40	197098.00	190339.00	1.00
1.NORMAL	5.60	203731.00	196972.00	1.03
ZEMİN	2.80	127113.00	120354.00	0.63
BODRUM	0.00	6759.00	0.00	0.00

Tablo 4.19: 25 nolu binaya ait dolgu duvar sonrası E-W (uzun) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (DOĞU-BATI)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	8.40	274407.00	266563.00	1.00
1.NORMAL	5.60	167274.00	159430.00	0.60
ZEMİN	2.80	139004.00	131160.00	0.49
BODRUM	0.00	7844.00	0.00	0.00

Tablo 4.20: 25 nolu binaya ait dolgu duvar sonrası uzun yön analitik yöntem normalize deplasmanlar

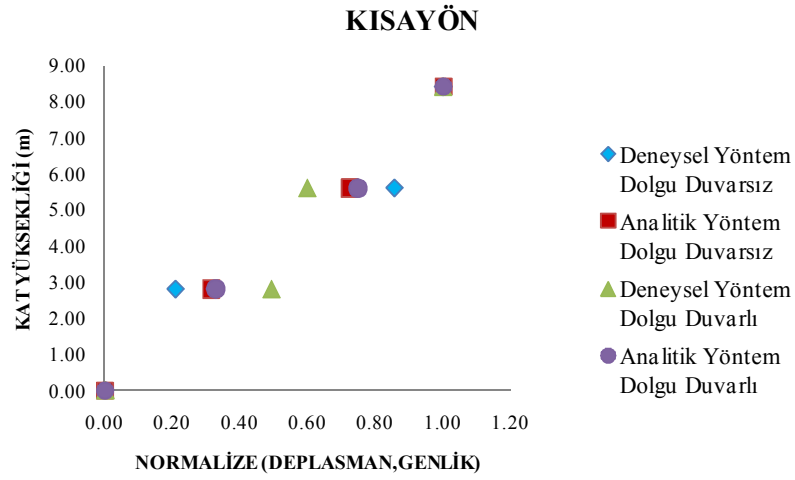
KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	UZUN YÖN DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
3	8.40	0.0154	1.00
2	5.60	0.0118	0.77
1	2.80	0.0053	0.34
0	0.00	0.0000	0.00

Tablo 4.21: 25 nolu binaya ait dolgu duvar sonrası kısa yön analitik yöntem normalize deplasmanlar

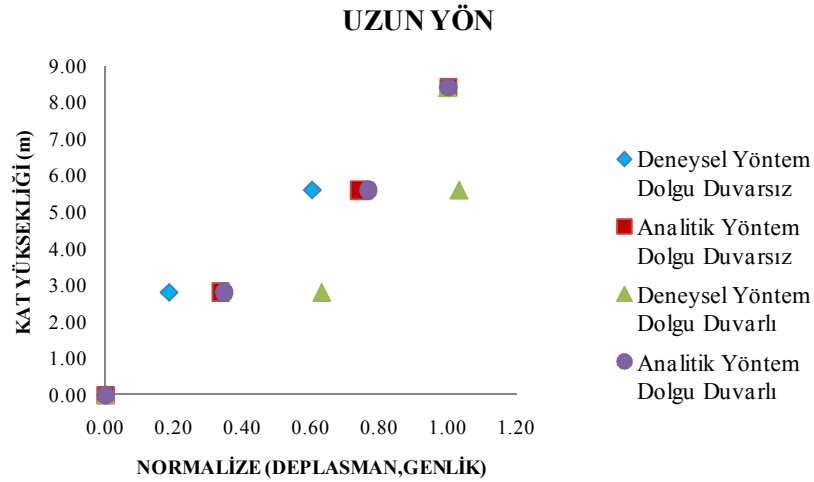
KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	KISA YÖN DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
3	8.40	0.0107	1.00
2	5.60	0.0080	0.75
1	2.80	0.0035	0.33
0	0.00	0.0000	0.00

Deneysel yöntem ve analitik yöntem sonuçları karşılaştırıldığında mikrotremor ölçümleri ile elde edilen periyotların, dolgu duvar sonrasında öncesine göre azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca dolgu duvar sonrası analitik yöntem ile elde edilen kat deplasmanlarının da dolgu duvar öncesine göre Tablo 4.20 ve Tablo 4.21’de azaldığı görülmüştür. Fakat analitik yöntem ile elde edilen periyotların bazı binalarda dolgu duvar sonrasında öncesine göre arttığı görülmektedir. Dolgu duvar öncesi ve

sonrasında, kısa ve uzun yöne ait elde edilen 1.mod şekilleri karşılaştırılması Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilmiştir.



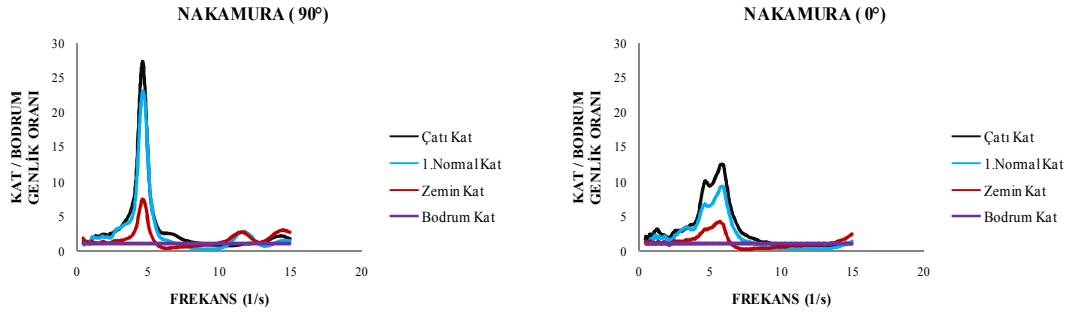
Şekil 4.14: 25 nolu bina için kısa yöne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekillerinin karşılaştırılması



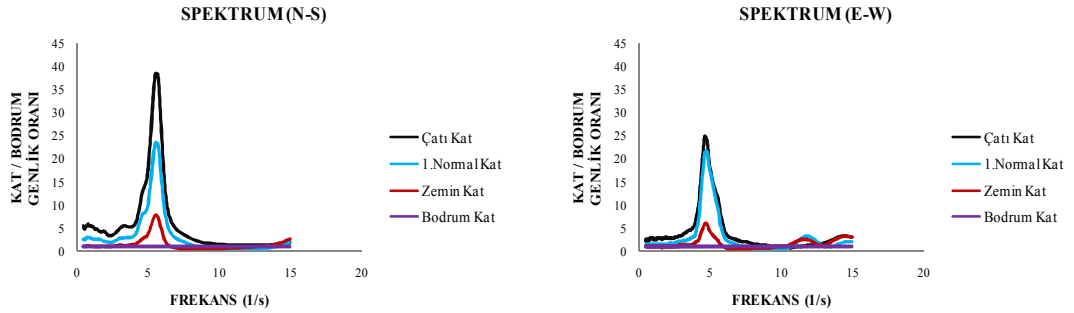
Şekil 4.15: 25 nolu bina için uzun yöne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekillerinin karşılaştırılması

Sistem güçlendirmesinde olduğu gibi ölçüm yapılan binaya ait dolgu duvar öncesi ve sonrası olmak üzere ölçüm yapılan bina kendi içinde normalize edilmiştir. Dolgu duvar öncesi ve sonrası okunan genlik değerleri birbirinden bağımsızdır. Hesaplanan mod şekilleri şekilsel değer olup katlar arası deplasman profilini yansıtmaktadır. Ayrıca dolgu duvar etkisinin bina davranışı üzerindeki etkileri araştırılırken seçilen 5 adet bina genellikle şehir merkezlerinde olup, bina zemin katları alışveriş merkezi veya dükkan olarak tasarlanmış olduğundan, zemin katta her iki doğrultu için dolgu duvar eksikliği gözlenmiştir. Bu nedenle dolgu duvar etkisinin sistem rijitliğine olan

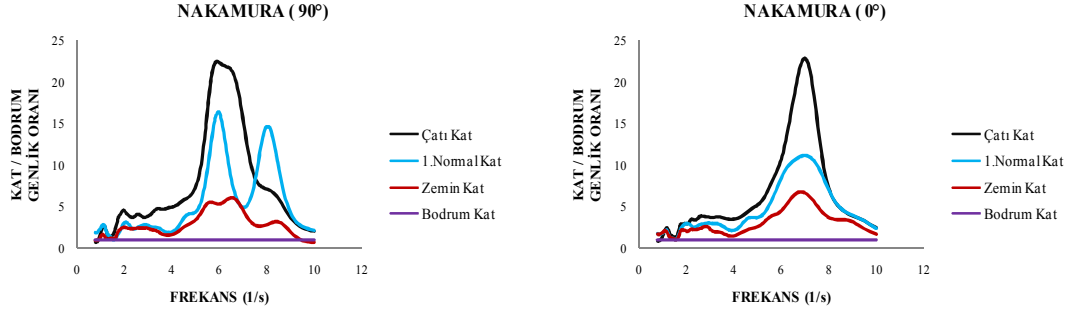
katkısının tam olarak yansıtılmadığı düşünülmektedir. Dolgu duvar öncesi 25 no'lu binaya ait her iki yön için H/V (spektral ortamda yatay bileşenlerinin düşey bileşenlerine oranı) ve her iki doğrultu için kat genlik spektrum grafikleri Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de, dolgu duvar sonrası grafikleri ise Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da verilmiştir. Ayrıca her katta hesaplanan kat genlik spektrumları bodrum kat genlik spektrumuna oranlanmıştır. Diğer binalar için dolgu duvar öncesi ve sonrası her iki yön için, H/V ve kat genlik spektrum grafikleri EK-B1'de verilmiştir.



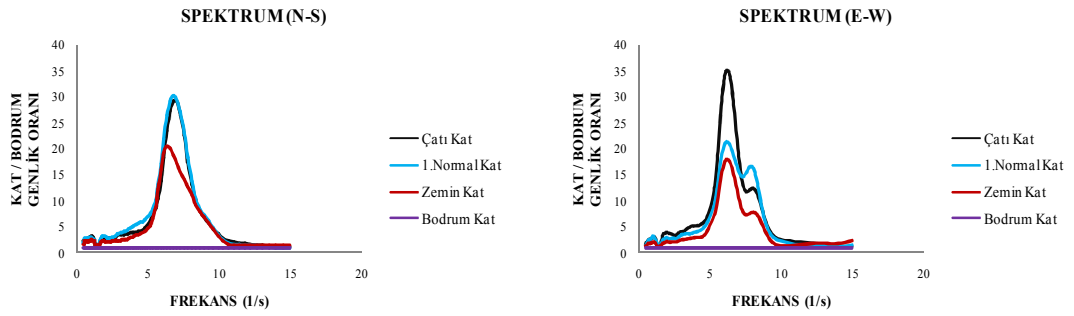
Şekil 4.16: 25 nolu bina dolgu duvar öncesi yatay/düşey spektral oran grafikleri



Şekil 4.17: 25 nolu bina dolgu duvar öncesi genlik spektrumları



Şekil 4.18: 25 nolu bina dolgu duvar sonrası yatay/düşey spektral oran grafikleri



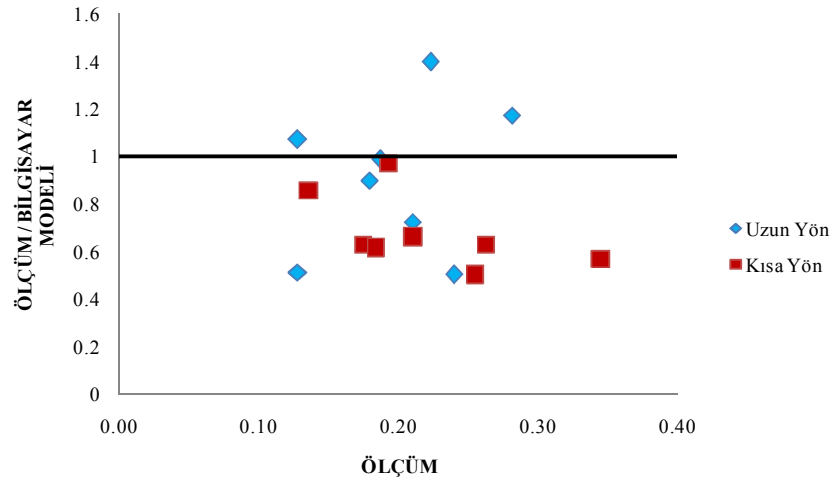
Şekil 4.19: 25 nolu bina dolgu duvar sonrası genlik spektrumları

4.3 Kamu Binalarında Mikrotremor Kaydı ve Modal Analiz Sonuçlarının Verilmesi

Pamukkale Üniversitesi ve Kütahya İl Milli Eğitim Müdürlüğü ile birlikte yürütülen “Okul Yapılarının Sismik Performansının Belirlenmesi” (Pamukkale Üniversitesi, 2011) çalışmalarında incelenen okul yapılarından mikrotremor kayıtları alınarak yapı dinamik özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında 8 adet kamu binasında mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Kamu binalarına ait deneysel yöntem ve analitik yöntem periyot verileri Tablo 4.22’de, mikrotremor ölçümleri ve modal analiz sonucu elde edilen baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının kısa ve uzun yöne göre karşılaştırılması’de görülmektedir.

Tablo 4.22: Kamu binalarına ait deneysel yöntem ve analitik yöntem periyot verileri

KAMU BİNALARI						
BİNA NO	MİKROTREMOR				MODAL ANALİZ	
	FREKANS UZUN YÖN	FREKANS KISA YÖN	PERİYOT UZUN YÖN	PERİYOT KISA YÖN	PERİYOT UZUN YÖN	PERİYOT KISA YÖN
16	7.81	5.73	0.13	0.18	0.25	0.28
17	4.17	3.92	0.24	0.26	0.48	0.51
18	3.56	2.90	0.28	0.35	0.24	0.61
19	4.75	4.73	0.21	0.21	0.29	0.32
20	5.60	5.43	0.18	0.18	0.2	0.3
21	7.83	7.38	0.13	0.14	0.12	0.16
22	4.49	3.80	0.22	0.26	0.16	0.42
23	5.36	5.17	0.19	0.19	0.19	0.2



Şekil 4.20: Mikrotremor ölçümleri ve modal analiz sonucu elde edilen baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının karşılaştırılması

Tablo 4.23: 23 nolu binaya ait N-S (kısa) doğrultusu deneysel yöntem normalize

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (KUZEY-GÜNEY)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	12.20	22312.00	20880.00	1.00
2.NORMAL	9.20	16180.00	14748.00	0.71
ZEMİN	3.20	5189.00	3757.00	0.18
BODRUM	0.00	1432.00	0.00	0.00

Tablo 4.24: 23 nolu binaya ait E-W (uzun) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (DOĞU-BATI)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	12.20	20284.00	19091.00	1.00
2.NORMAL	9.20	13711.00	12518.00	0.66
ZEMİN	3.20	6098.00	4905.00	0.26
BODRUM	0.00	1193.00	0.00	0.00

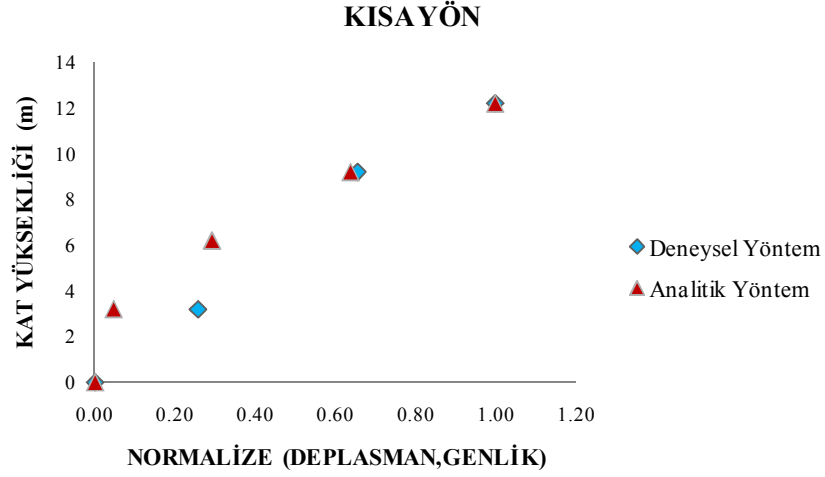
Tablo 4.25: 23 nolu binaya ait uzun yön analitik yöntem normalize deplasmanlar

KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	UZUN YÖN DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
4	12.20	0.0130	1.00
3	9.20	0.0083	0.64
2	6.20	0.0038	0.29
1	3.20	0.0006	0.05
0	0	0.0000	0.00

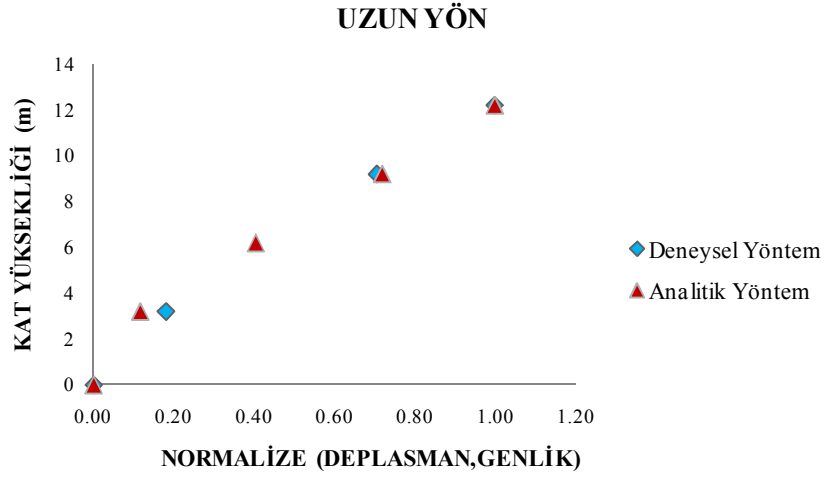
Tablo 4.26: 23 nolu binaya ait kısa yön analitik yöntem normalize deplasmanlar

KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	KISA YÖN DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
4	12.20	0.0146	1.00
3	9.20	0.0105	0.72
2	6.20	0.0059	0.40
1	3.20	0.0017	0.12
0	0	0.0000	0.00

23 nolu binaya ait deneysel yöntem ile elde edilen Kuzey-Güney, Doğu-Batı doğrultusunda incelenen binanın baskın moduna ait titreşim frekansındaki genlikler Tablo 4.23 ve Tablo 4.24'te verilmiştir. Burada Kuzey-Güney doğrultusu binaya ait kısa yön, Doğu-Batı doğrultusu ise uzun yönü temsil etmektedir. Ayrıca analitik yöntem ile değerlendirilen binada her iki yön içinde bulunan kat deplasmanları Tablo 4.25 ve Tablo 4.26'da verilmiştir. Deneysel yöntem ve analitik yöntem sonuçları karşılaştırıldığında kısa ve uzun yöne ait elde edilen 1.mod şekilleri karşılaştırılması Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de verilmiştir.



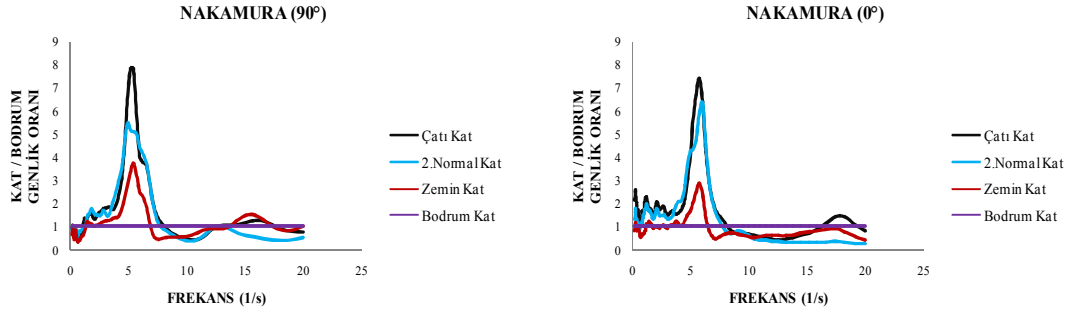
Şekil 4.21: Kısa yöne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekilleri



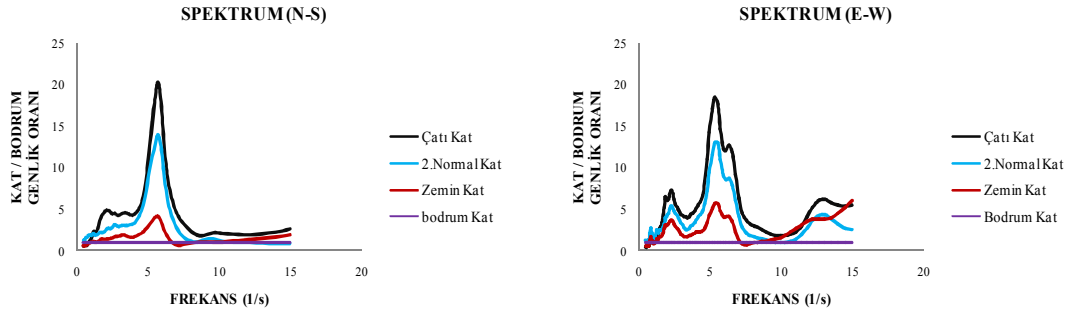
Şekil 4.22: Uzun yöne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekilleri

23 nolu binaya ait her iki yön için H/V (spektral ortamda yatay bileşenlerinin düşey bileşenlerine oranı) ve her iki doğrultu için kat genlik spektrum grafikleri Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te verilmiştir. Ayrıca her katta hesaplanan kat genlik spektrumları bodrum kat genlik spektrumuna oranlanmıştır. Diğer binalar için her iki yön içinde, H/V ve kat genlik spektrum grafikleri EK-C1'de verilmiştir. 18 nolu binadan bodrum kattan alınan mikrotremor kaydı hatalı olduğu için H/V ve kat genlik spektrum grafiklerine ulaşamamıştır. Ayrıca ölçüm yapılan kamu binalarının bir kısmında çatı kat ölçümleri çatı arasına ulaşamaması, ölçüm araçlarının konumlandırılmaması gibi sorunlar nedeniyle yapılamamıştır. Çatı seviyesinde deplasmanlar aynı olacak şekilde normalize edildiğinde analitik yöntem ile elde

edilen mod şeklinde alt katların daha rijit olduğu görülmektedir. Mikrotremor ölçümlerinde ters üçgene benzer daha doğrusal deplasman profili gözlenmektedir.



Şekil 4.23: 23 nolu bina için yatay/düşey spektral oran grafikleri



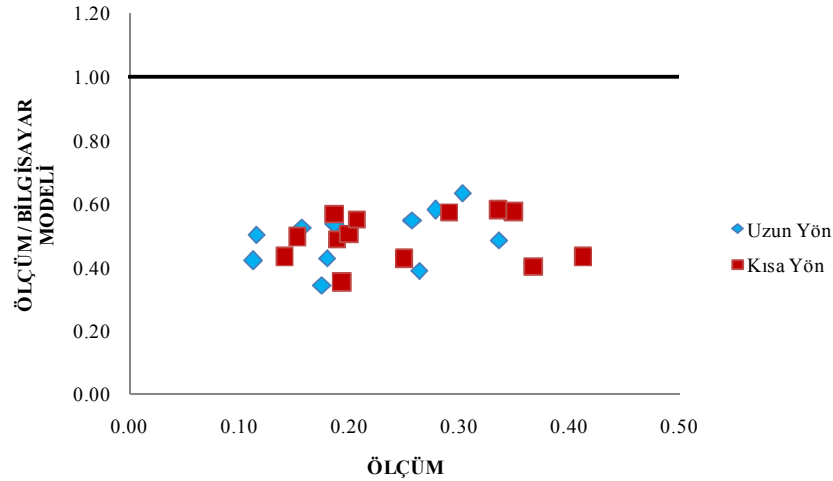
Şekil 4.24: 23 nolu bina için genlik spektrumları

4.4 Konut yapılarında Mikrotremor Kaydı ve Modal Analiz Sonuçlarının Verilmesi

Tez çalışması kapsamında farklı kat yüksekliklerindeki 15 adet konut yapısından mikrotremor ölçümleri alınarak, yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca ölçüm yapılan 13 adet konut yapısı bilgisayar ortamında da modellenerek dinamik özellikleri belirlenmiştir. 4 ve 5 nolu binalarda mal sahipleriyle yaşanan sorunlar nedeniyle ölçüm alınan binaların projelerine ulaşamamış ve konutların rölevesi alınamamıştır. Konut yapılarına ait deneysel yöntem ve analitik yöntem periyot verileri Tablo 4.27’de, örnek bir binada mikrotremor ölçümleri ve modal analiz sonucu elde edilen baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının kısa ve uzun yöne göre karşılaştırılması Şekil 4.25’te görülmektedir.

Tablo 4.27: Konut yapılarına ait deneysel yöntem ve analitik yöntem periyot verileri

KONUT YAPILARI						
BİNA NO	MİKROTREMOR				MODAL ANALİZ	
	FREKANS UZUN YÖN	FREKANS KISA YÖN	PERİYOT UZUN YÖN	PERİYOT KISA YÖN	PERİYOT UZUN YÖN	PERİYOT KISA YÖN
1	8.65	7.04	0.116	0.142	0.23	0.33
2	8.83	6.54	0.113	0.153	0.27	0.31
3	6.35	5.35	0.157	0.187	0.3	0.33
6	5.29	5.28	0.189	0.189	0.38	0.39
7	5.70	5.17	0.175	0.193	0.51	0.55
8	5.35	4.99	0.187	0.200	0.35	0.4
9	5.34	4.82	0.187	0.207	0.35	0.38
10	3.88	3.43	0.258	0.292	0.47	0.51
11	5.56	3.99	0.180	0.251	0.42	0.59
12	3.60	2.86	0.278	0.350	0.48	0.61
13	3.30	2.98	0.303	0.336	0.48	0.58
14	3.79	2.72	0.264	0.368	0.68	0.92
15	2.98	2.42	0.336	0.413	0.69	0.96



Şekil 4.25: Mikrotremor ölçümleri ve modal analiz sonucu elde edilen baskın moda ait doğal titreşim periyotlarının kısa ve uzun yöne göre karşılaştırılması

Tablo 4.28: 8 nolu binaya ait N-S (kısa) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (KUZEY-GÜNEY)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	14.00	124006.00	113440.00	1.00
3.NORMAL	11.20	114128.00	103562.00	0.91
2.NORMAL	8.40	75186.00	64620.00	0.57
ZEMİN	2.80	20140.00	9574.00	0.08
BODRUM	0.00	10566.00	0.00	0.00

Tablo 4.29: 8 nolu binaya ait E-W (uzun) doğrultusu deneysel yöntem normalize genlikler

ÖLÇÜM YAPILAN KAT	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	GENLİK (DOĞU-BATI)	NET GENLİK	NORMALİZE DEĞER
ÇATI	14.00	93187.00	85031.00	1.00
3.NORMAL	11.20	89280.00	81124.00	0.95
2.NORMAL	8.40	64921.00	56765.00	0.67
ZEMİN	2.80	24763.00	16607.00	0.20
BODRUM	0.00	8156.00	0.00	0.00

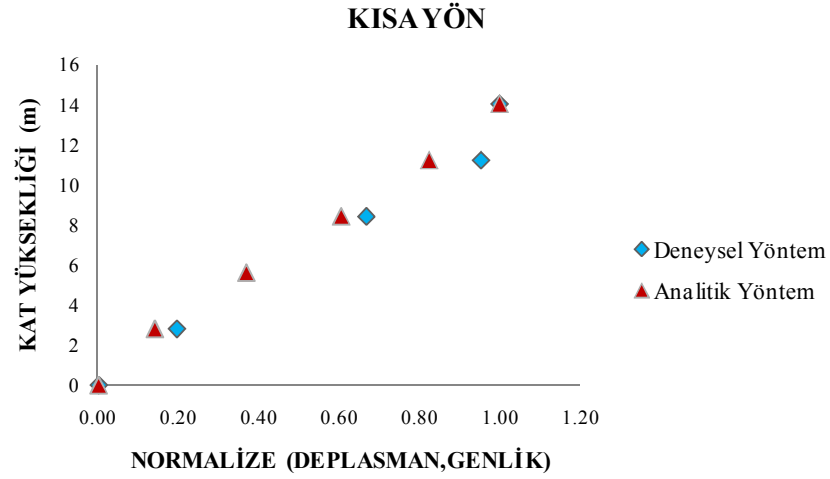
Tablo 4.30: 8 nolu binaya ait uzun yön analitik yöntem normalize deplasmanlar

KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	UZUN YÖN DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
5	14.00	0.0061	1.00
4	11.20	0.0048	0.79
3	8.40	0.0035	0.57
2	5.60	0.0021	0.34
1	2.80	0.0008	0.13
0	0.00	0.0000	0.00

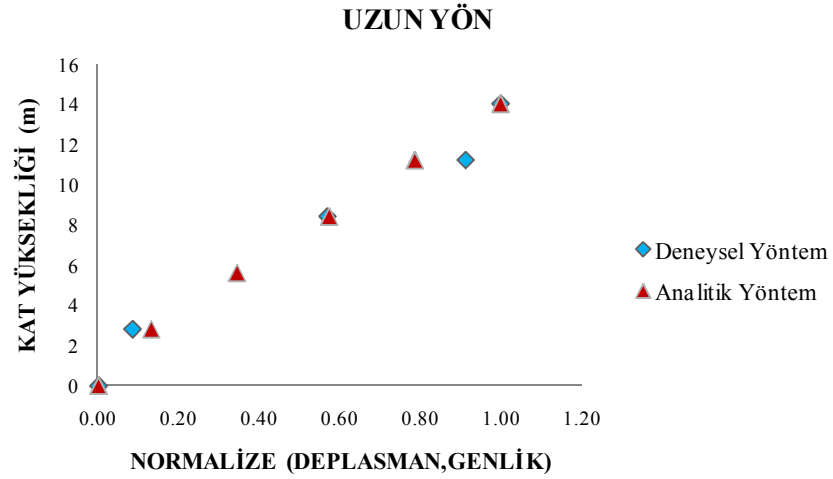
Tablo 4.31: 8 nolu binaya ait kısa yön analitik yöntem normalize deplasmanlar

KAT NO	KAT YÜKSEKLİKLERİ (m)	KISA YÖN DEPLASMAN (m)	NORMALİZE DEPLASMAN
5	14.00	0.0114	1.00
4	11.20	0.0094	0.82
3	8.40	0.0069	0.61
2	5.60	0.0042	0.37
1	2.80	0.0016	0.14
0	0.00	0.0000	0.00

8 nolu binaya ait Tablo 4.28 ve Tablo 4.29’da deneysel yöntem ile elde edilen Kuzey-Güney, Doğu-Batı doğrultusunda incelenen binanın baskın moduna ait titreşim frekansındaki genlikler verilmiştir. Burada Kuzey-Güney doğrultusu binaya ait kısa yön, Doğu-Batı doğrultusu ise uzun yönü temsil etmektedir. Ayrıca analitik yöntem ile değerlendirilen binada her iki yön içinde bulunan kat deplasmanları Tablo 4.30 ve Tablo 4.31’de verilmiştir. Deneysel yöntem ve analitik yöntem sonuçları karşılaştırıldığında kısa ve uzun yöne ait elde edilen 1.mod şekilleri karşılaştırılması Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de verilmiştir. Deneysel ve analitik yöntem ile elde edilen mod şekillerinin birbirine oldukça yakın olduğu ve hemen hemen birbiriyle örtüştüğü şekillerden açıkça görülmektedir.

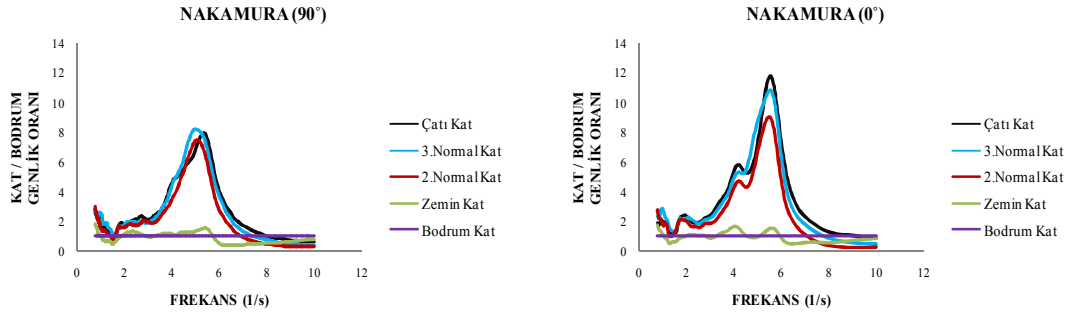


Şekil 4.26: 8 nolu binanın kısa yönüne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekilleri

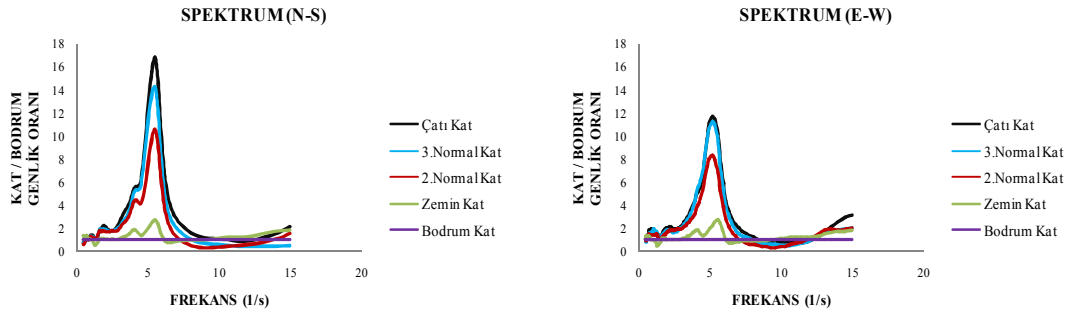


Şekil 4.27: 8 nolu binanın uzun yönüne ait deneysel ve analitik yöntem 1.mod şekilleri

8 nolu binaya ait her iki yön için H/V (spektral ortamda yatay bileşenlerinin düşey bileşenlerine oranı) ve her iki doğrultu için de kat genlik spektrum grafikleri Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.28: Her iki yön için yatay/düşey spektral oran grafikleri



Şekil 4.29: Her iki doğrultu için genlik spektrumları

Ayrıca her katta hesaplanan kat genlik spektrumları bodrum kat genlik spektrumuna oranlanmıştır. Diğer binalar için her iki yön için, H/V ve kat genlik spektrum grafikleri EK-D1’de verilmiştir. 10 nolu binada 2. normal kattan alınan mikrotremor kaydı hatalı olduğu için H/V ve kat genlik spektrum grafiklerine ulaşamamıştır.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında 33 adet binadan mikrotremor kayıtları alınarak, spektral genlikleri hesaplanmıştır. Mevcut yapı stoğundan seçilip, ölçüm yapılan binalar ağırlıklı olarak orta katlı konut yapılarından oluşmaktadır. 33 binadan 8 tanesi Pamukkale Üniversitesi ve Kütahya İl Milli Eğitim Müdürlüğü ile birlikte yürütülen “Okul Yapılarının Sismik Performansının Belirlenmesi” (Pamukkale Üniversitesi, 2011) çalışmalarında incelenen okul yapılarından oluşmaktadır. Ayrıca 5 adet konut yapısından farklı duvar yapım aşamaları gözetilerek alınan kayıtlar sonucunda dolgu duvarların sistem rijitliğine olan katkısının ortaya konulması hedeflenmiştir. 19 Mayıs 2011 Simav Depremi sonrasında betonarme perde elemanlar ile sistem güçlendirmesi yapılan 5 adet binadan güçlendirme öncesi ve sonrası farklı kayıtlar alınarak yapılan sistem güçlendirmesinin yapı dinamik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Mikrotremor ölçümleri alınan 33 farklı bina bilgisayar ortamında modellenerek, deneysel yöntem olan mikrotremor ölçümleri ile analitik yöntem sonuçlarının karşılaştırılması hedeflenmiştir. Elde edilen verilerden yararlanılarak binaların kısa ve uzun yönlerine ait baskın mod, doğal titreşim periyotları ve mod şekilleri tahmin edilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde mikrotremor kayıtları ile elde edilen hakim titreşim periyotları ile analiz sonuçları arasında dikkat çekici farklar olduğu gözlemlenmiştir.

- Elde edilen veriler irdelendiğinde yapı 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 0.458'dir. Doğal titreşim periyodunun değişiminde, bina yüksekliği ile birlikte birçok parametrenin de etkili olduğu düşünülürse, elde edilen korelasyonun beklenen sınırlar çerçevesinde olduğu söylenebilir.
- Yapıya betonarme perde elemanların ilavesi ile yapılan güçlendirme uygulamasından sonra incelenen periyotlarda %12 ile %45 arasında azalma

olduğu görülmektedir. Analitik yolla elde edilen doğal titreşim periyotları, güçlendirme öncesinde binalarda mikrotremor ölçümlerinden daha yüksek tahmin edilmektedir. Ancak betonarme perde elemanlarla güçlendirilen binaların büyük çoğunluğunda mikrotremor kayıtları ile elde edilen doğal titreşim periyotları daha yüksek bulunmuştur. Betonarme perde elemanlarının yapıya sonradan eklenmesi nedeniyle tam bir bütünlük gösterememesi, özellikle düşük genlikli doğal titreşim modlarında beklenenin altında bir rijitlik katkısı vermesine neden olmaktadır. Bilgisayar modellemesinde bu davranış dikkate alınmadığından rijitlik katkısı daha yüksek, dolayısıyla hesaplanan doğal titreşim periyodu daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca ölçüm yapılan binaların konut yapısı olması, bununla birlikte dolgu duvar oranının oldukça yüksek olması nedeniyle, ve yapıya ilave edilen betonarme perde elemanların yerinde daha önceden dolgu duvar bulunması nedeniyle etkinin sınırlı olduğundan bahsetmek mümkündür. Yapıya sonradan ilave edilen betonarme perde elemanlarının yatay rijitlik katkısının sismik talepler altında çok daha etkin olacağı göz ardı edilmemelidir.

- Yapılan mikrotremor ölçümleri sonucunda, yapıya dolgu duvar eklenmesinin doğal titreşim periyotlarında %10 ile %52 arasında azalmasına sebep olduğu görülmektedir. Dolgu duvar sebebiyle oluşacak periyot değişiminin bina yapısal özelliklerinin, dolgu duvar miktarı ve imalat şekline bağlı olacağı aşıkardır. Modal analiz sonuçlarında yapının dolgu duvarlı periyotlarında dolgu duvarsız periyotlarına göre artış olduğu görülmüştür. Bilgisayar modellemesi ile yapılan analizlerin yapılan kabuller, düzensizlikler, birçok basitleştirme ve varsayımlar içermesi ve dolgu duvarların bina kütlelerini artırarak rijitlik katkısının aynı oranda yansıtılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Mikrotremor ölçümleri yapılan binalarda çoğunlukla doğal titreşim periyotlarının analitik yöntemlerle elde edilen periyotlara göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu azalmanın nedeninde bilgisayar modellemesi ile yapılan analizlerin yapılan kabuller, düzensizlikler, birçok basitleştirme ve varsayımlar içermesi, ayrıca mikrotremor ölçümlerinde dikkate alınan küçük titreşimlerde dolgu duvarların taşıyıcı sisteme olan etkisi ve mevcut analiz

yöntemlerinde bu etkinin aynı seviyede yansıtılmaması olduğu düşünülmektedir.

- Özellikle dolgu etkinliğinin çok yüksek olması nedeniyle spektral oranlar ile elde edilen mod şekilleri daha lineer bir davranış göstermektedir. Basitleştirmeler, düzensizlikler ve yapılan kabuller nedeniyle deneysel yöntem ile analitik yöntem arasında farklılıkların olduğu görülmekle birlikte genel eğilimin örtüştüğü görülmektedir.

Tezin devamı için öngörülen çalışmalar ise aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Mikrotremor ölçümleri yapılan binaların bulunduğu zeminlerde, zemin ölçümleri yapılarak yapı-zemin etkileşimleri ve rezonans etkileri araştırılabilir.
- Ölçüm yapılan binalarda bina içinde yada dışında yapının davranışını etkileyen ağır iş makinalarının yarattığı titreşimlerin birlikte yarattığı etki araştırılabilir.
- Sistem güçlendirmesi yapılan binalar ile aynı yapısal özellikleri gösteren yapı inşaat aşamasında betonarme perde elemanları bulunan binalarda mikrotremor ölçümleri alınarak sistem güçlendirmesinin etkileri daha detaylı incelenebilir.
- Ölçüm yapılan bina sayıları artırılarak periyot-kat sayısı ilişkisi daha detaylı incelenebilir.
- Farklı inşaat aşamaları gözetilerek dolgu duvar etkilerinin sistem rijitliğine olan katkıları daha detaylı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Asci, M., Özçep, F., Çetinoğlu, T., Alpaslan, N., Irmak, S., Ulutaş, E., Güven, İ.T., Tunç, B., Tunç, S., Çaka, D., Yas, T., Efeoğlu, E., Barış, Ş. Ve Özer, M.F.,** 2005.Zemin Sıvılaşması İle Mikrotremor Çözümleme Sonuçlarının Karşılaştırılması, Kocaeli 2005 Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, 1140
- Bayraktar, A., Türker, T.,** 2005. Deneysel Modal Analiz Yöntemi ile Düzlem çerçevelerin Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Kocaeli 2005 Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, 1035-1041
- Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A.C., Sevim, B., Şahin, A., Özcan, D.M.,** 2010. Binaların Dinamik Parametrelerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi, İMO teknik Dergi, 2010, 5185-5205
- Bayülke, N.,** 2011. Zemin Ve Betonarme Yapı Deprem Davranışı, Ankara
- Clough, R.W. and Penzien, J.** 1975. Dynamics of structures, Mcgraw-Hill, New York, 634 pp.
- 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
- Dönmez, C., Karakan, E.,** 2009. Köprülerde Deneysel Modal Analiz Uygulamaları, İMO Teknik Dergi, 2009, 4851-4863
- Geopsy Projeckt,** [http:// www.geopsy.org/](http://www.geopsy.org/)
- Guralp Systems Ltd,** [http:// www.guralp.com//](http://www.guralp.com//)
- Kanai K., Tanaka, T.,** 1961. On Microtremors, VII, Bull. Earthquake Res. Inst., Vol. 39, pp, 97-114

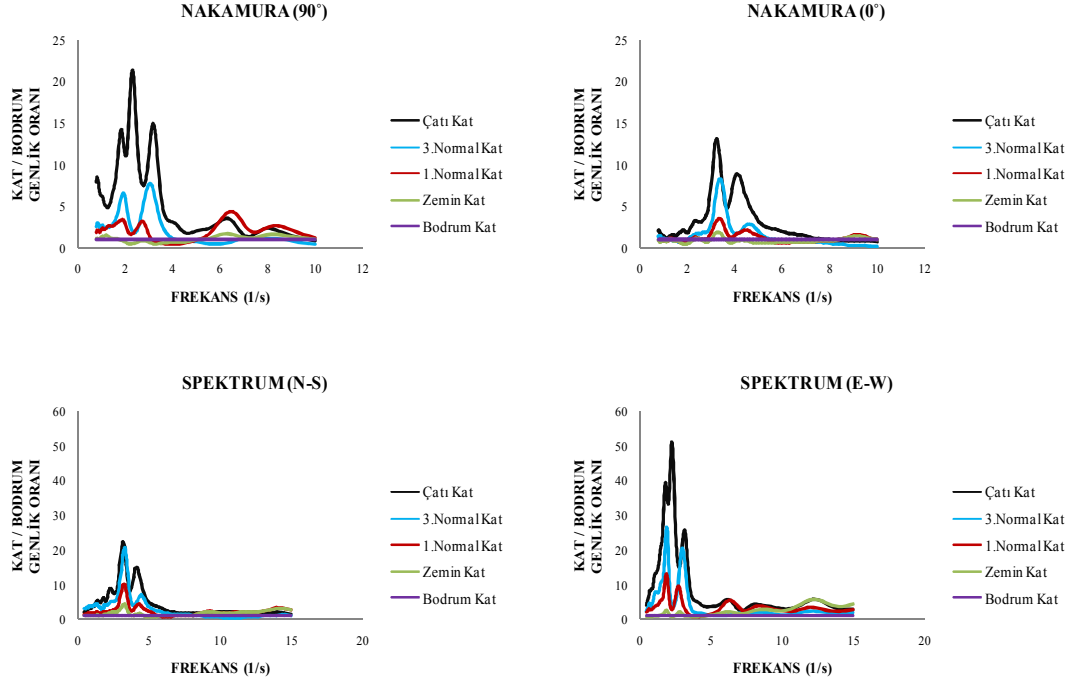
- Karabulut, S., Özel, O., Özçep, F.,** 2009. Deprem Tehtidi Altındaki Mühendislik Yapılarının Hakim Titreşim Periyotlarının Belirlenmesinde Yeni Bir Seçenek: Mikrotremor Yöntemi Ve Örnek Uygulaması, New World Sciences Academy, 4:3, 428-441
- Kramer, S.L.,** 2003. Geoteknik Deprem Mühendisliği, Ankara
- Kütahya Bölgesindeki Okul Binalarının Sismik Performanslarının Belirlenmesi Çalışması** 2011. Pamukkale Üniversitesi, Denizli
- Lermo, J., Chavez-Garcia, F. J.,** 1994, Are microtremors useful in site response evaluation? Bull. Seismol. Soc. Am., 84, 1350-1364
- Nakamura Y.,**1989. A Method For Dynamic Characteristics Estimation Of Subsurface Using Microtremor On Ground Surface. Quarter Report of the Railway Technical Research Institute, 30, 25-33
- Sayers, Z.,** 2001. Ortadoğu Sinkrotron Işınımı Laboratuvarı Projesi, Sesame projesi, 1. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve uygulamaları Kongresi, 22-26 Ekim 2001, 1-5
- Siyahi, B., Selçuk, M.E.,** 2005. Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesinde Mikrotremor Ölçümlerinin Kullanılması: Adapazarı örneği, Kocaeli 2005 Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, 1167-1177
- STA4Cad v13.1,** STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd.Şti., 2013.
- Sungkono S, Warnana D.D., Triwulan M. and Utama W.,** (2011) Evaluation of buildings strength from Microtremor Analyses. International Journal of Civil & Environmental Engineering, 11:05, 108-114
- Tekebaş, S., Yalçınkaya, E.,** 2011. Mikrotremor Verilerinde Güvenilir H/V Eğrisi ve Belirgin T_0 Niteleme Koşulları, Ankara 2011 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, 1-8
- Utku, M., Akgün, M., Özden, G., Gürler, M. ve Özdağ, Ö.C.,** 2011. Mikrotremor Verisini Değerlendirmede Özel Durumlar, Ankara 2011 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, 1-10

Vanmarcke, E.H. 1976. "Structural response to earthquakes," chapter 8 in C. Lomnitz and E. Rosenblueth, eds., *Seismic Risk and Engineering Decisions*, Elsevier, Amsterdam, pp. 287-338

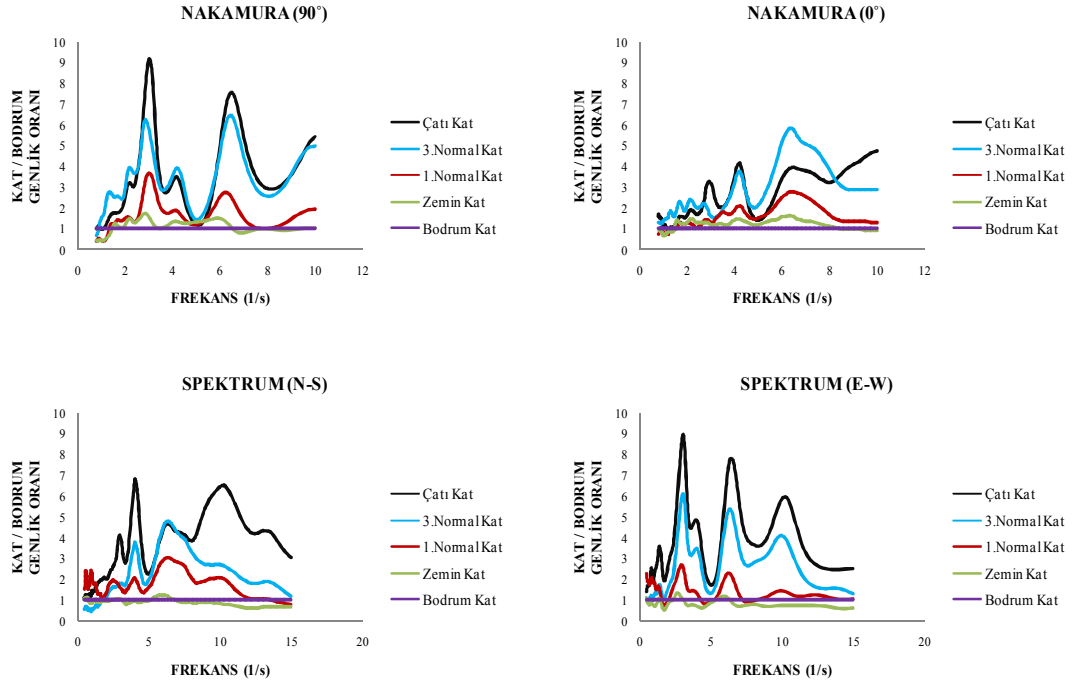
Yang, C.Y. 1986. *Random Vibration of Structures*, John Wiley and Sons, New York, 295 pp.

EKLER

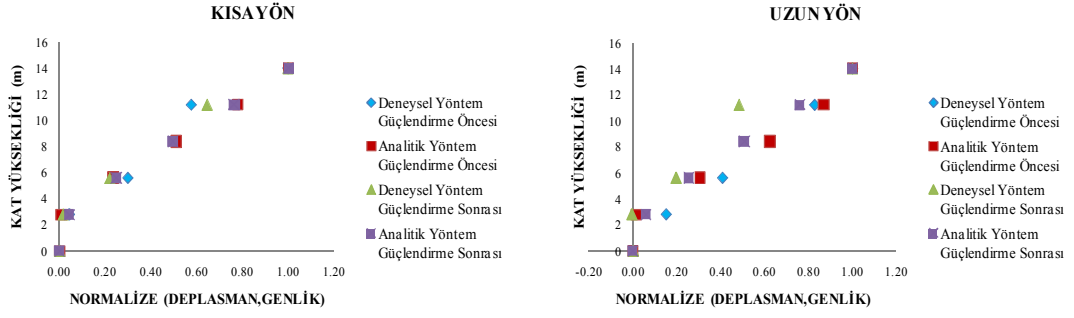
EK-A1: Güçlendirme öncesi ve sonrası H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



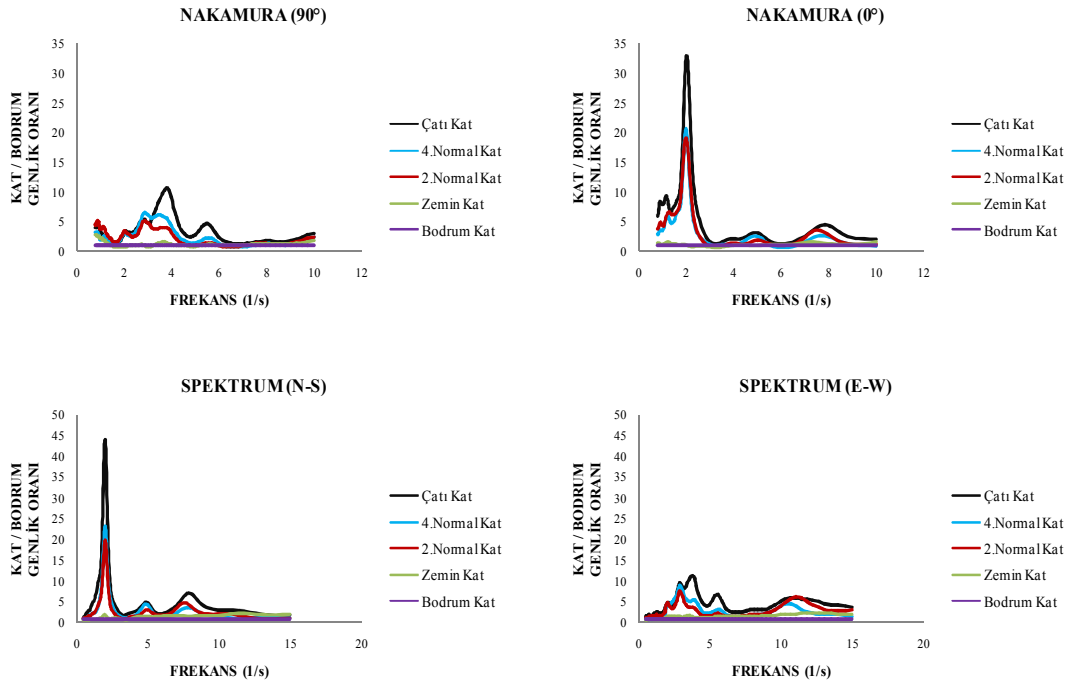
Şekil A.1: 29 nolu bina güçlendirme öncesi H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



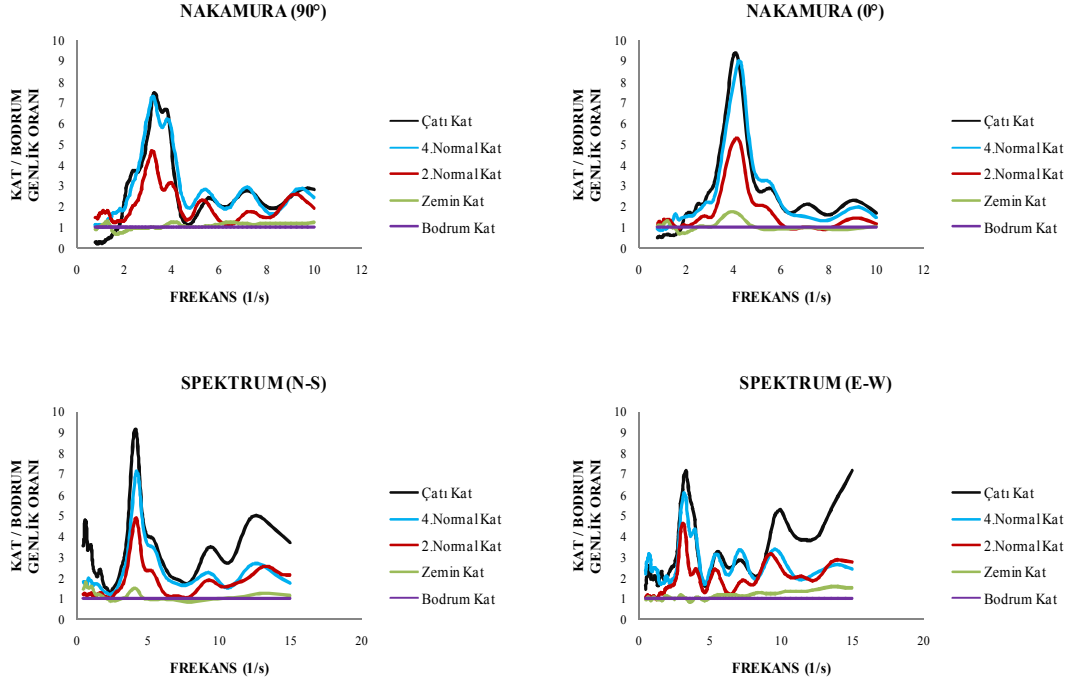
Şekil A.2: 29 nolu bina güçlendirme sonrası H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



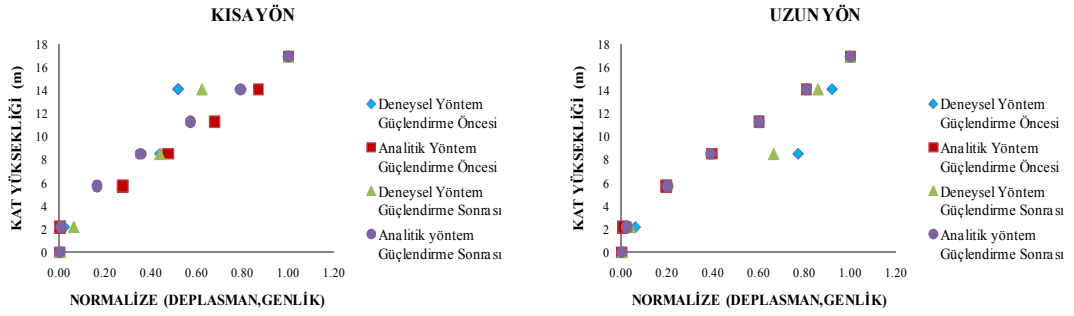
Şekil A.3: 29 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



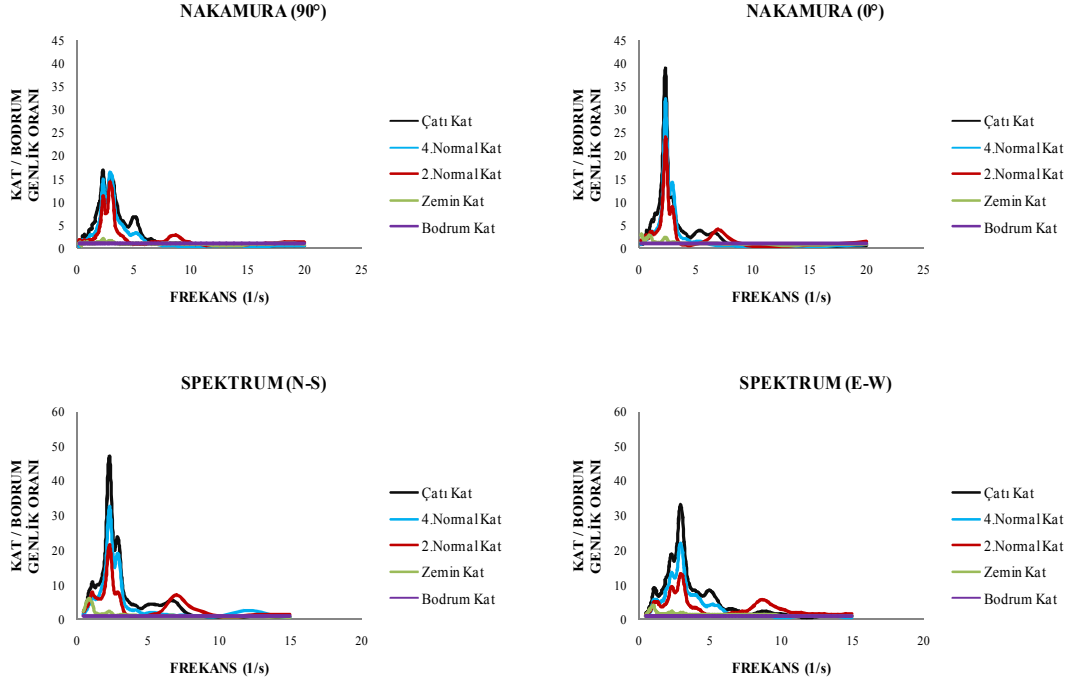
Şekil A.4: 30 nolu bina güçlendirme öncesi H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



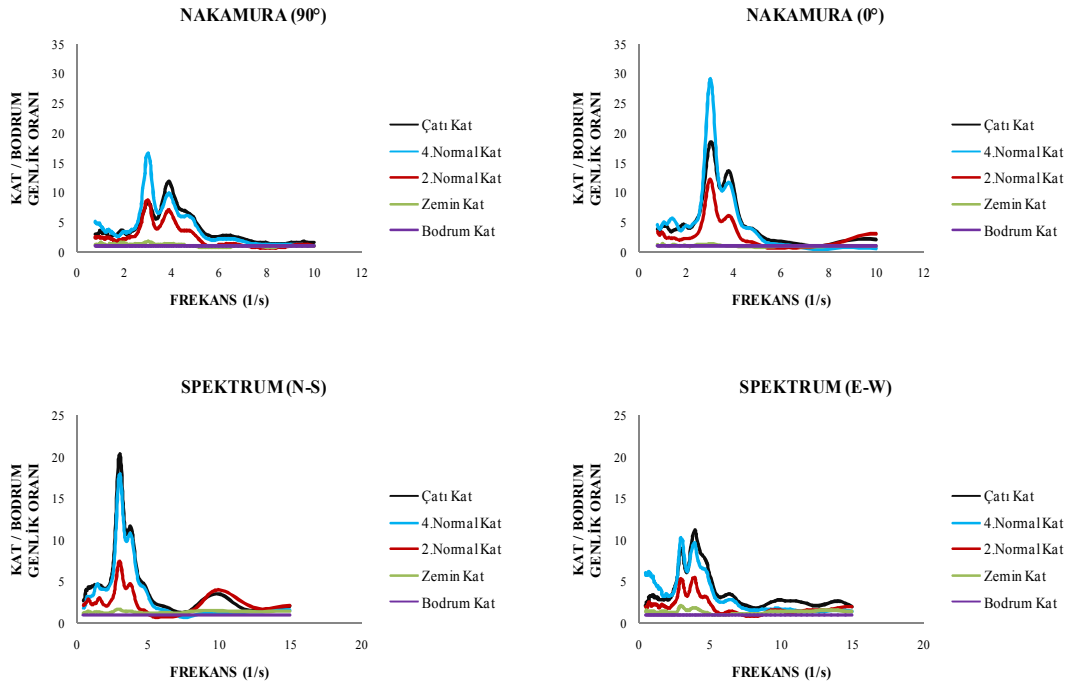
Şekil A.5: 30 nolu bina güçlendirme sonrası H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



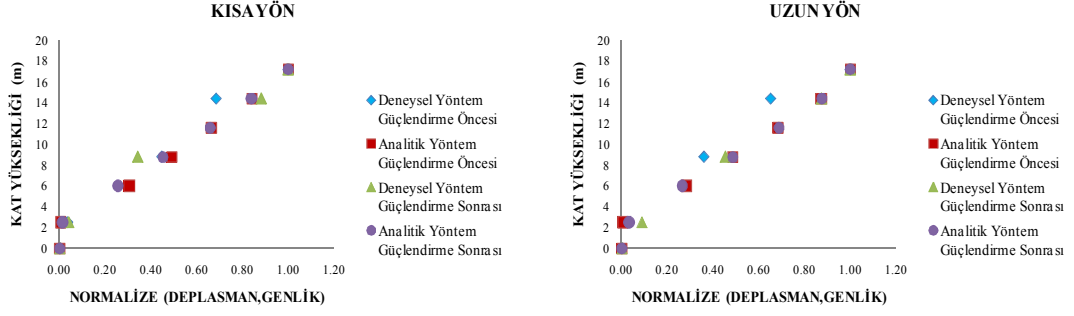
Şekil A.6: 30 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



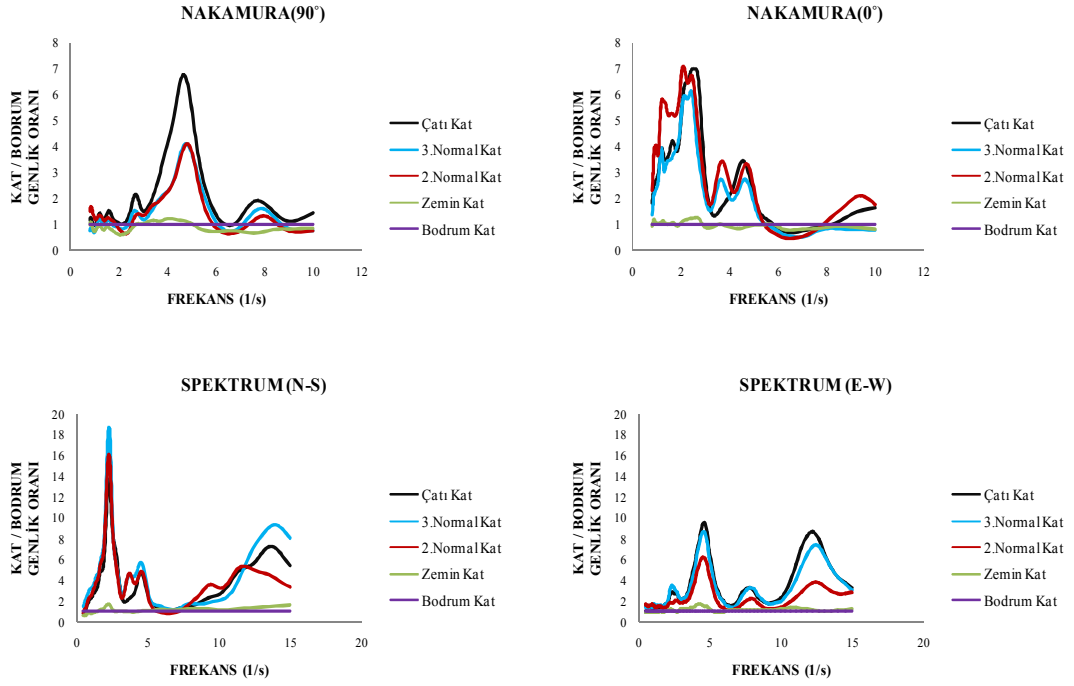
Şekil A.7: 31 nolu bina güçlendirme öncesi H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



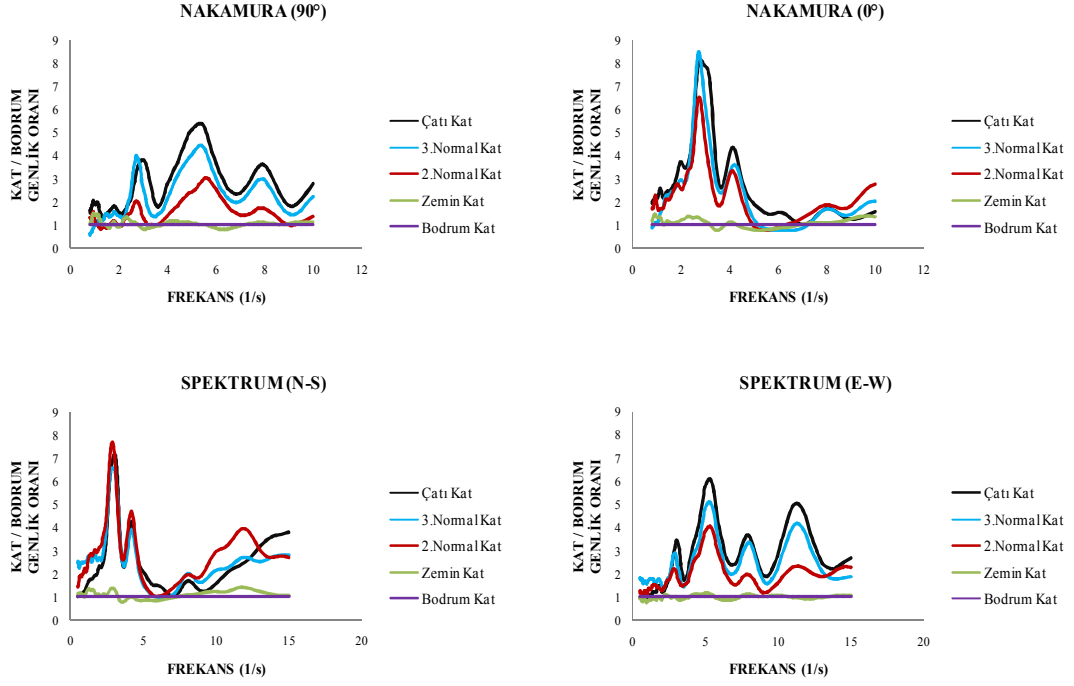
Şekil A.8: 31 nolu bina güçlendirme sonrası H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



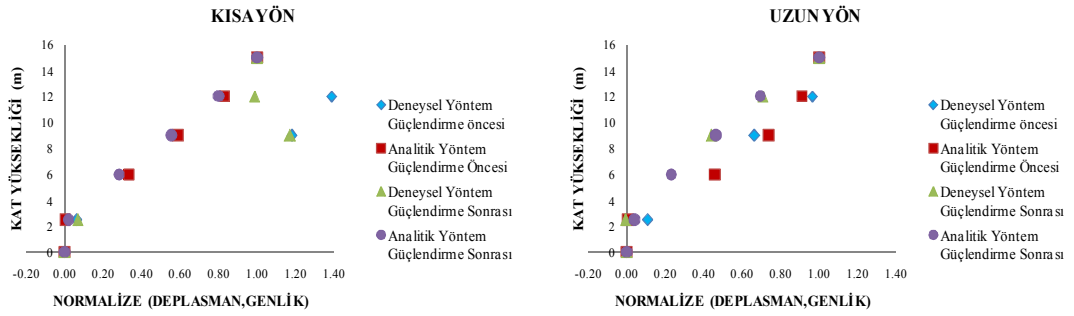
Şekil A.9: 31 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



Şekil A.10: 33 nolu bina güçlendirme öncesi H/V ve kat genlik spektrum grafikleri

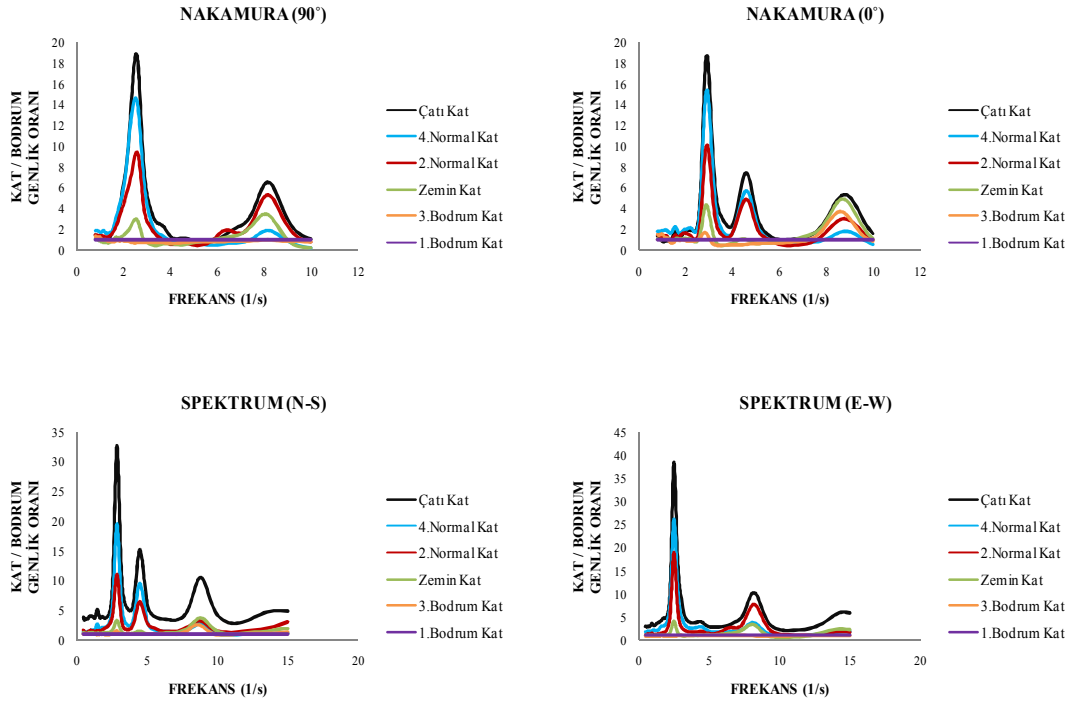


Şekil A.11: 33 nolu bina güçlendirme sonrası H/V ve kat genlik spektrum grafikleri

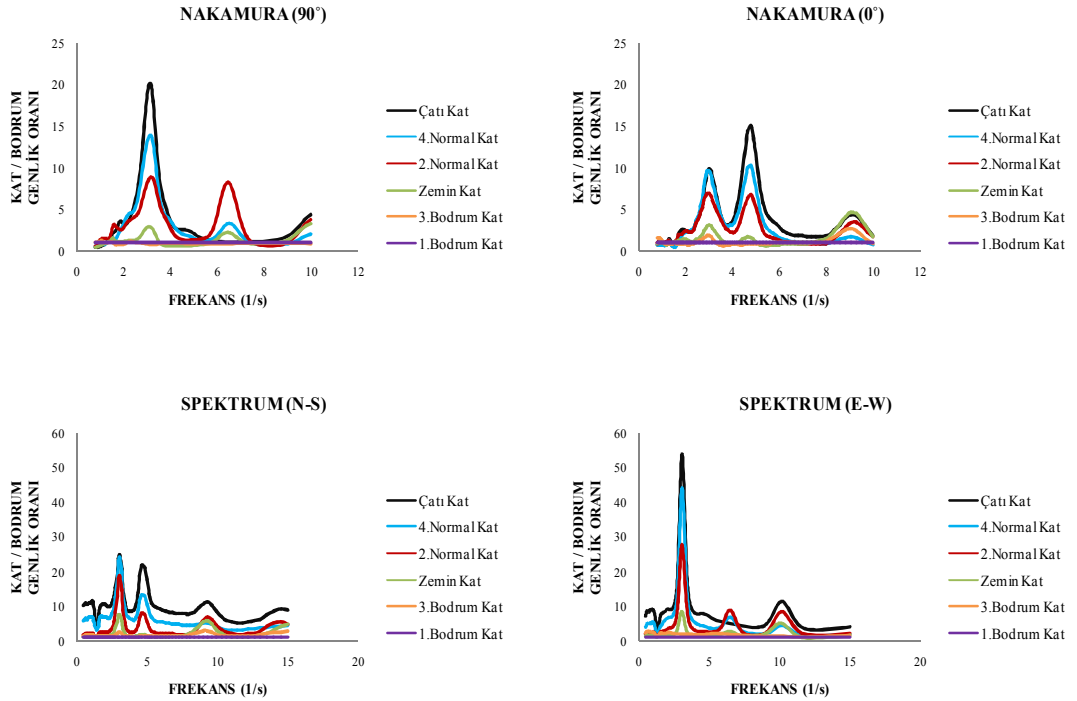


Şekil A.12: 33 nolu bina kısa ve uzun yön için 1. mod şekli karşılaştırması

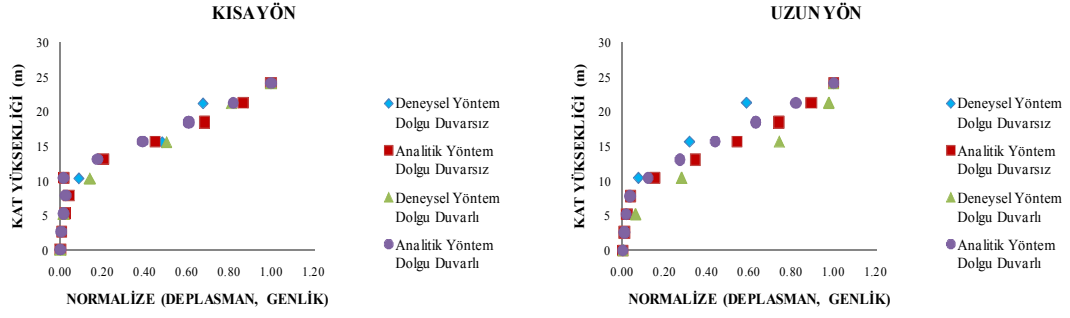
EK-B1: Dolgu duvar öncesi ve sonrası H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



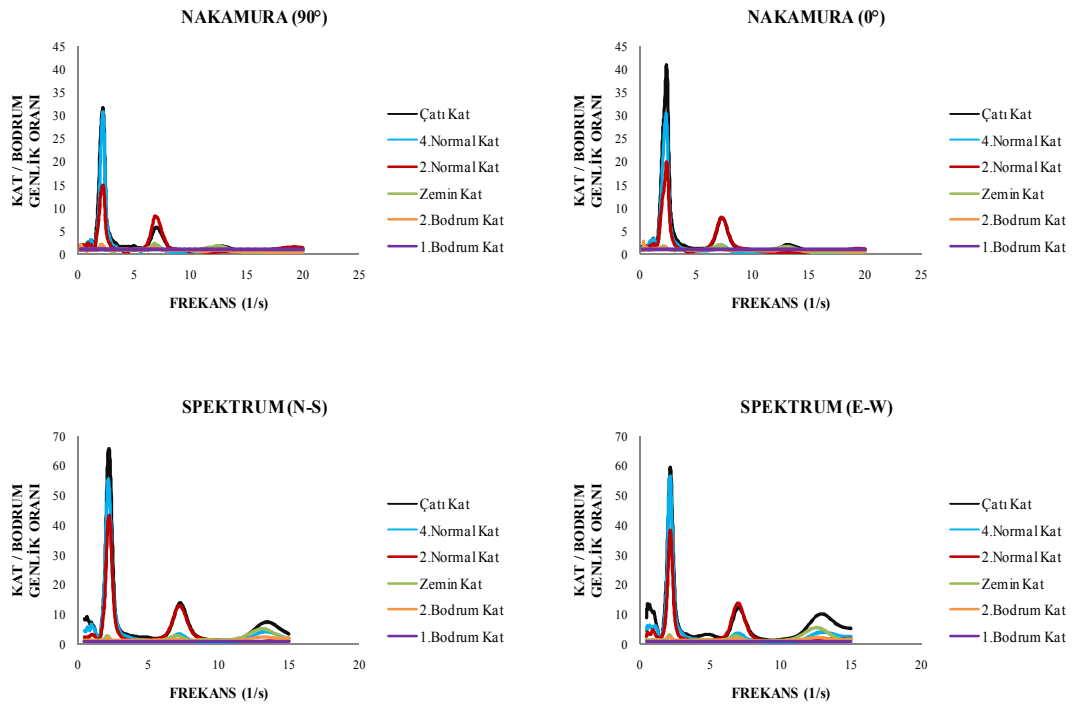
Şekil B.1: 24 nolu bina dolgu duvar öncesi H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



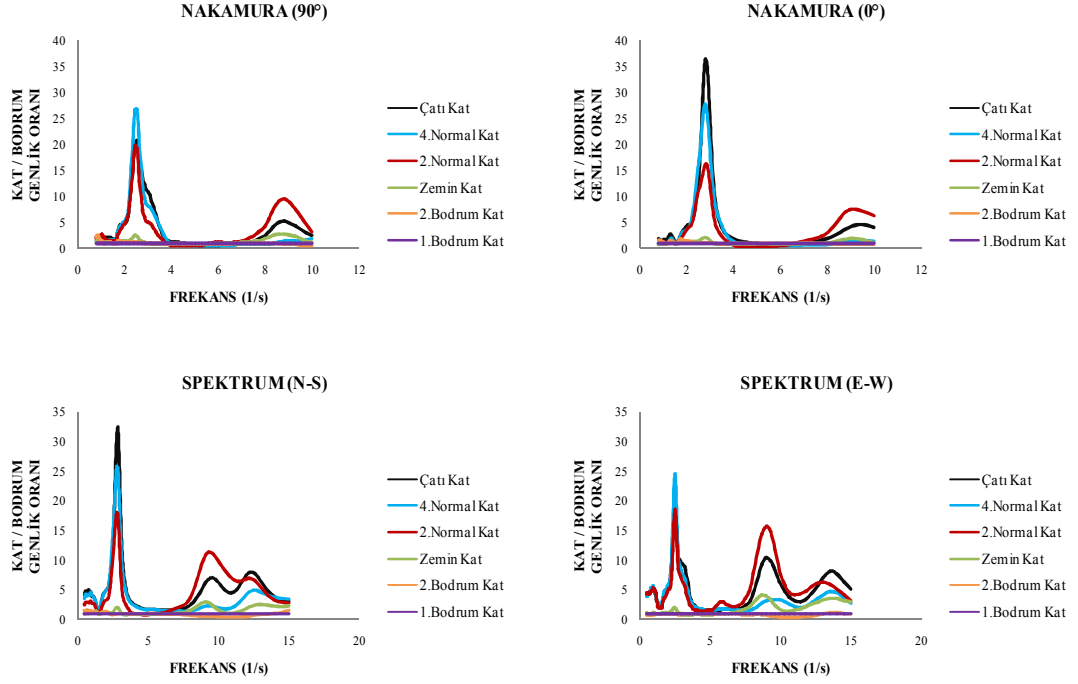
Şekil B.2: 24 nolu bina dolgu duvar sonrası H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



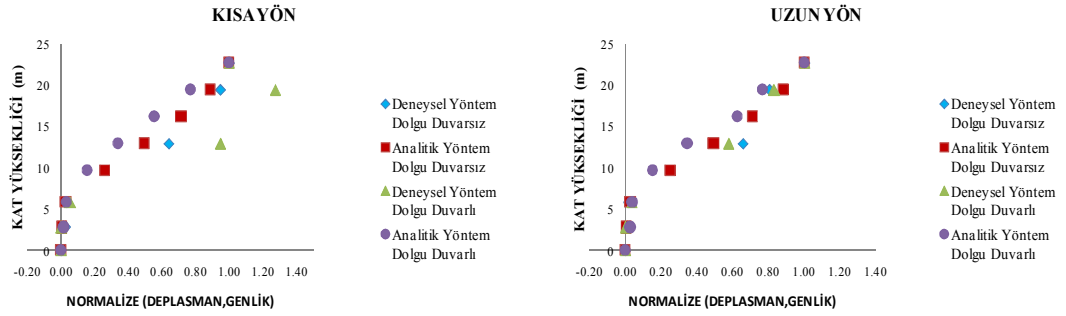
Şekil B.3: 24 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



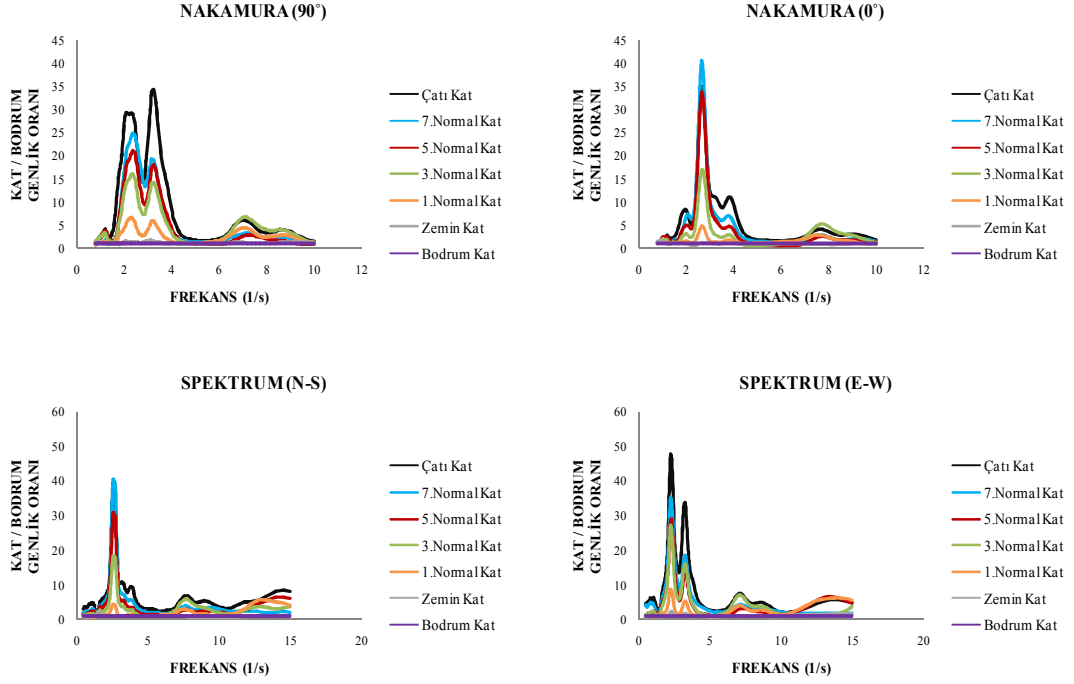
Şekil B.4: 26 nolu bina dolgu duvar öncesi H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



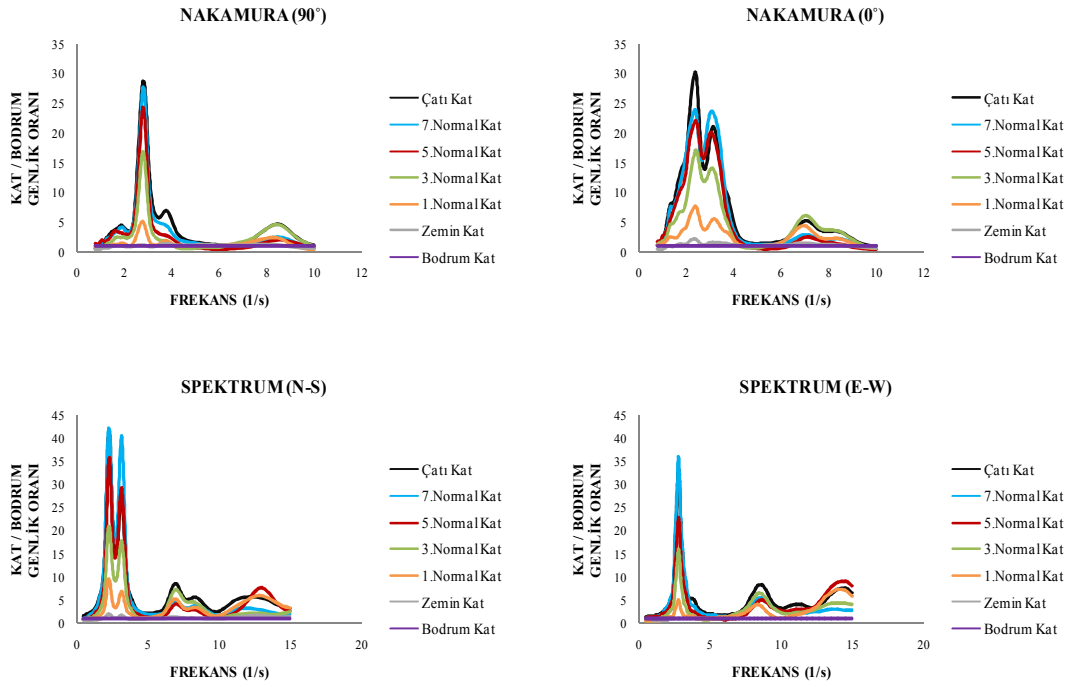
Şekil B.5: 26 nolu bina dolgu duvar sonrası H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



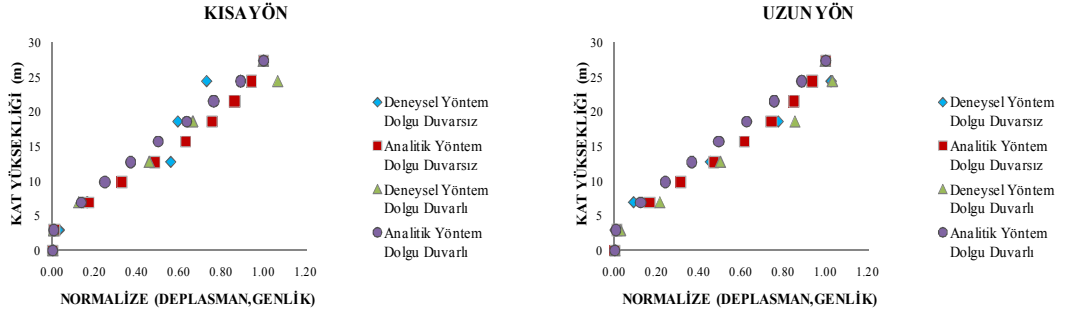
Şekil B.6: 26 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



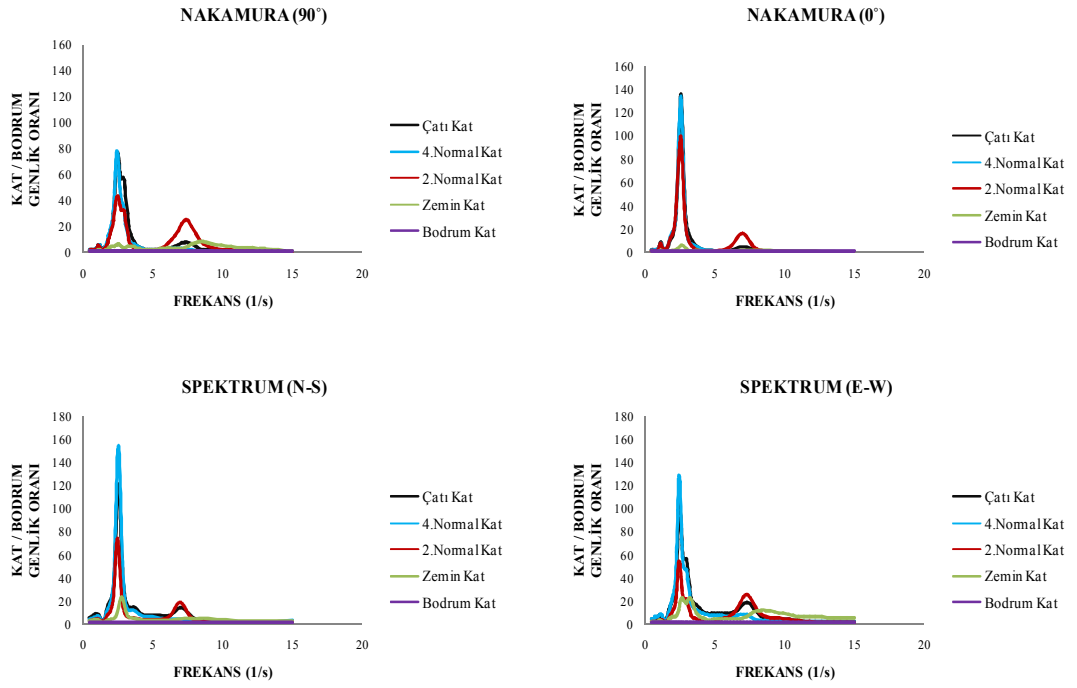
Şekil B.7: 27 nolu bina dolgu duvar öncesi H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



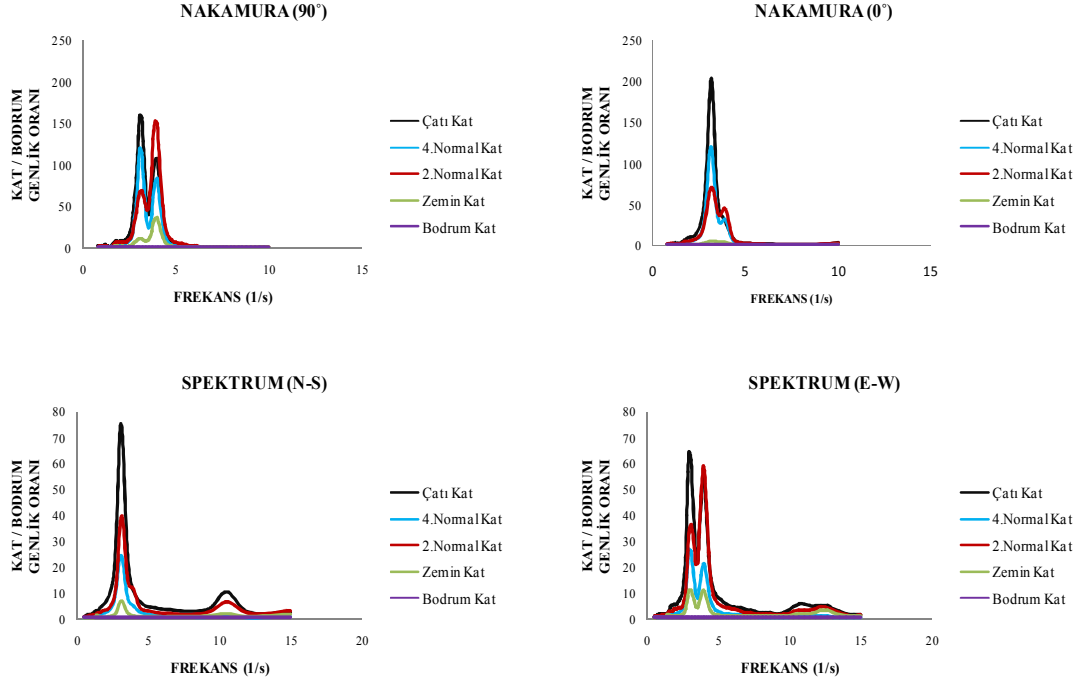
Şekil B.8: 27 nolu bina dolgu duvar sonrası H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



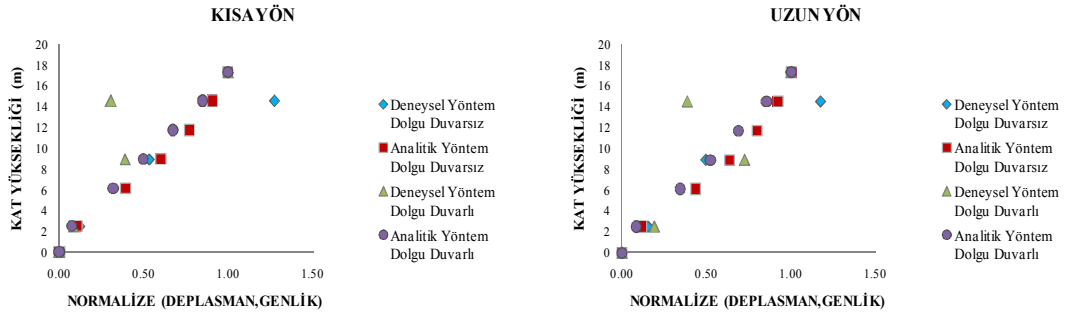
Şekil B.9: 27 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



Şekil B.10: 28 nolu bina dolgu duvar öncesi H/V ve kat genlik spektrum grafikleri

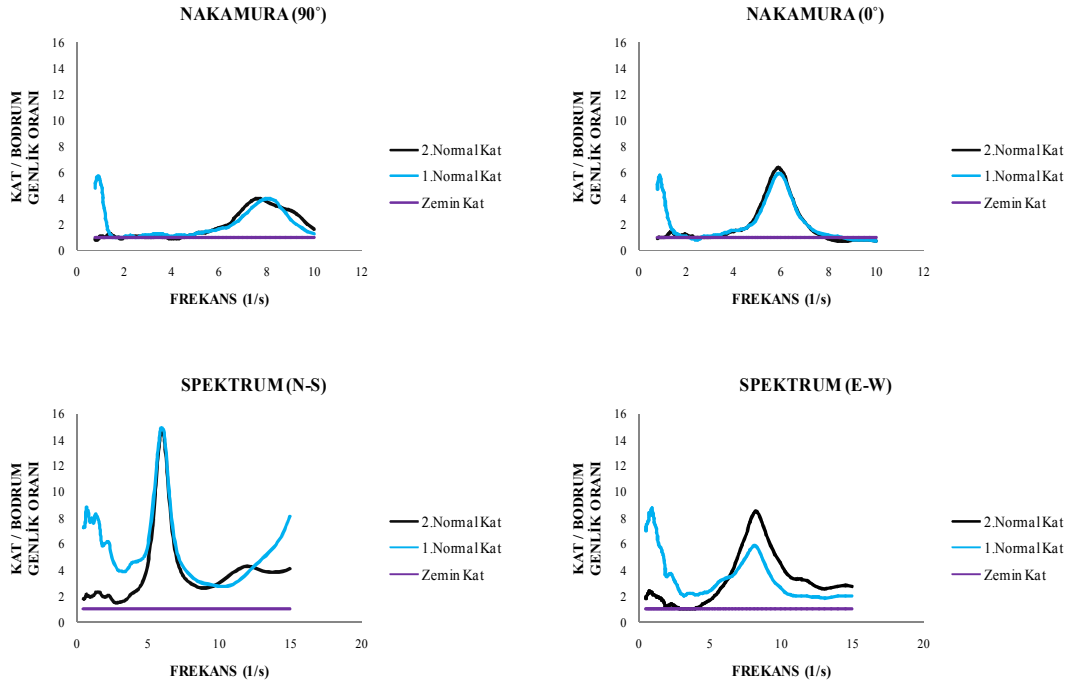


Şekil B.11: 28 nolu bina dolgu duvar sonrası H/V ve kat genlik spektrum grafikleri

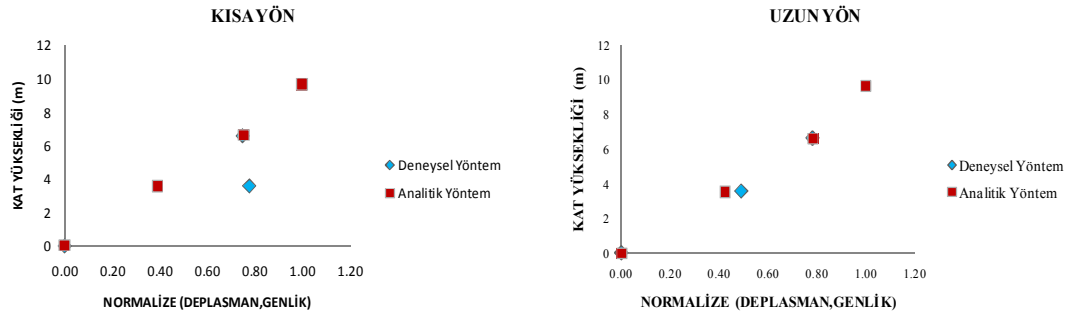


Şekil B.12: 28 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması

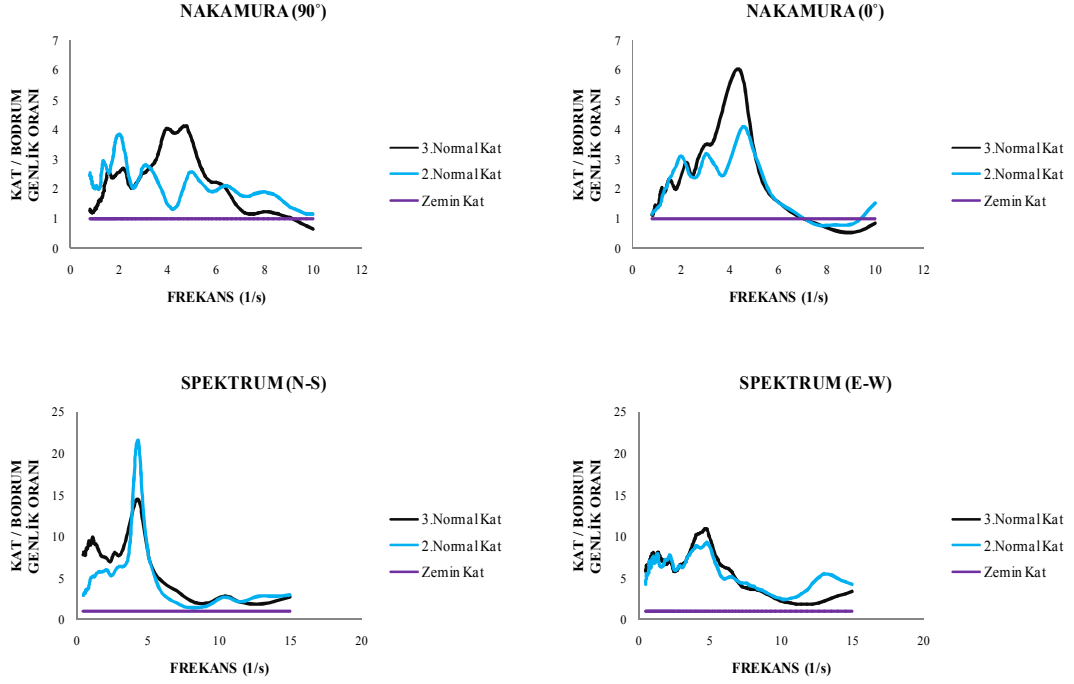
EK-C1: Kamu binalarına ait H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



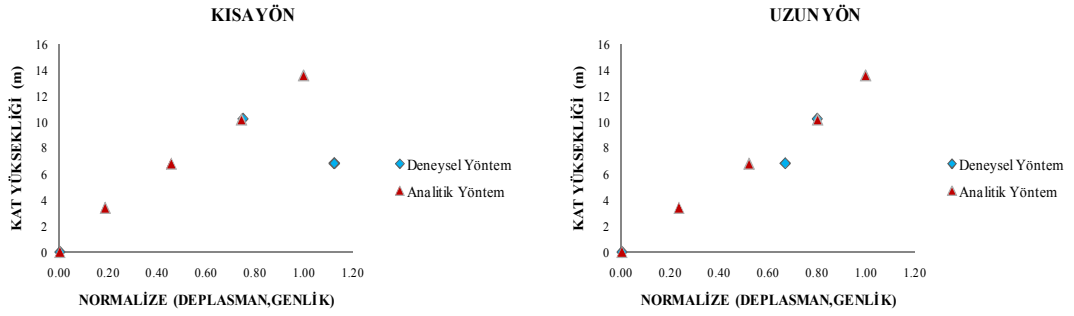
Şekil C.1: 16 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



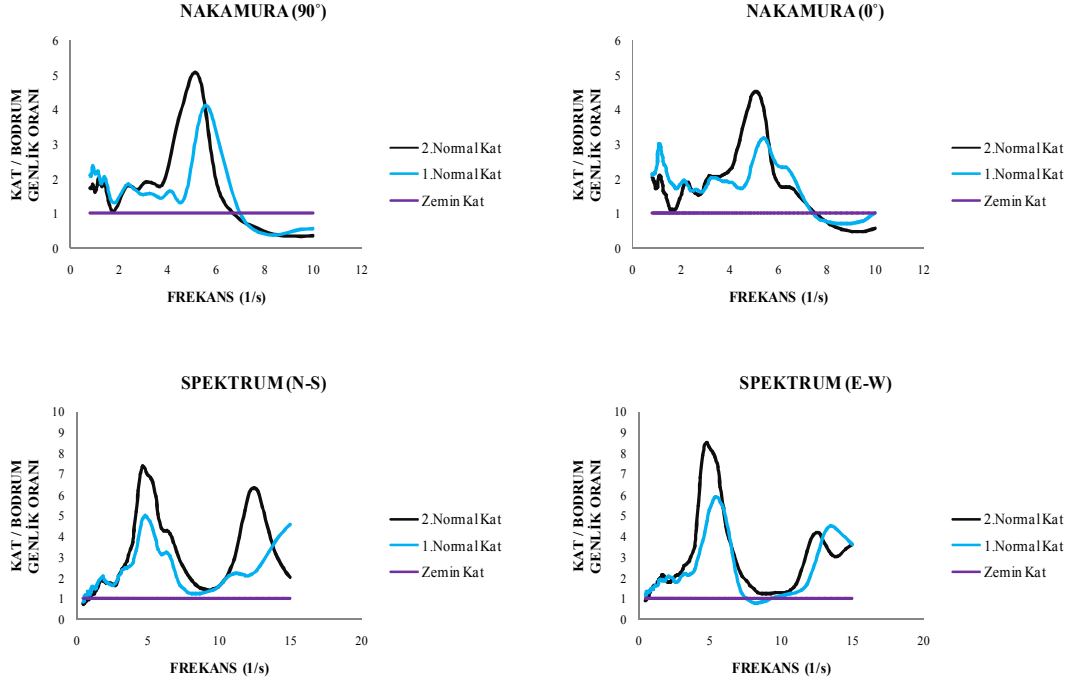
Şekil C.2: 16 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



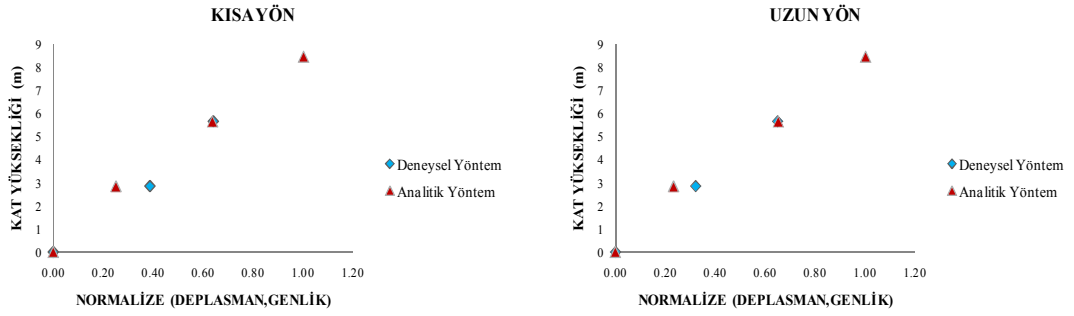
Şekil C.3: 17 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



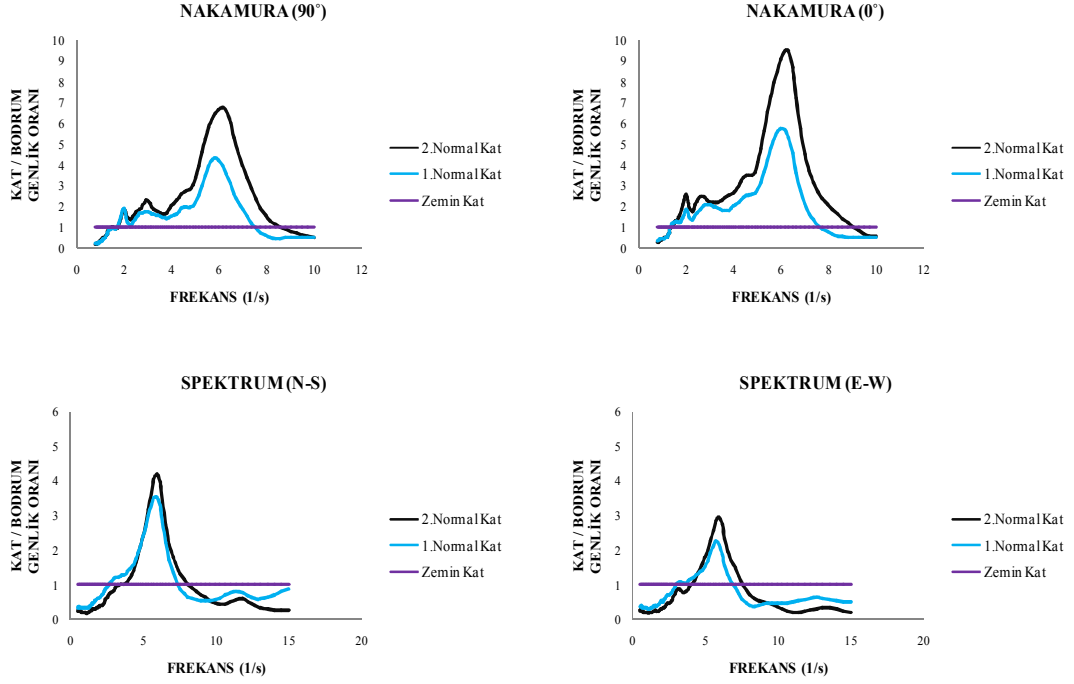
Şekil C.4: 17 nolu bina kısa ve uzun yön için 1. mod şekli karşılaştırması



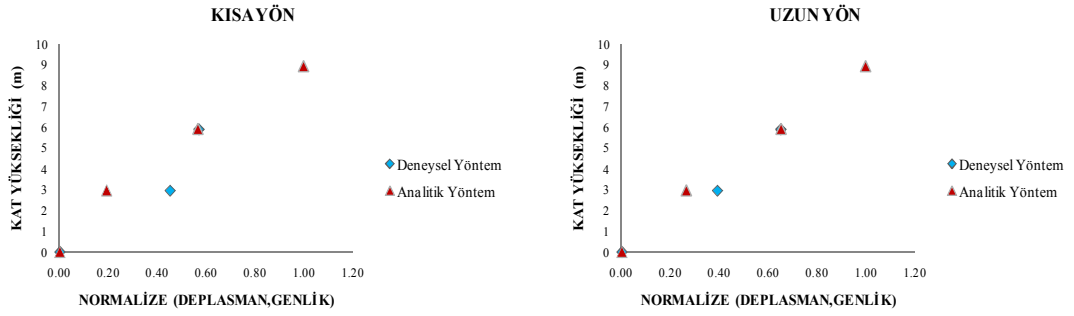
Şekil C.5: 19 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



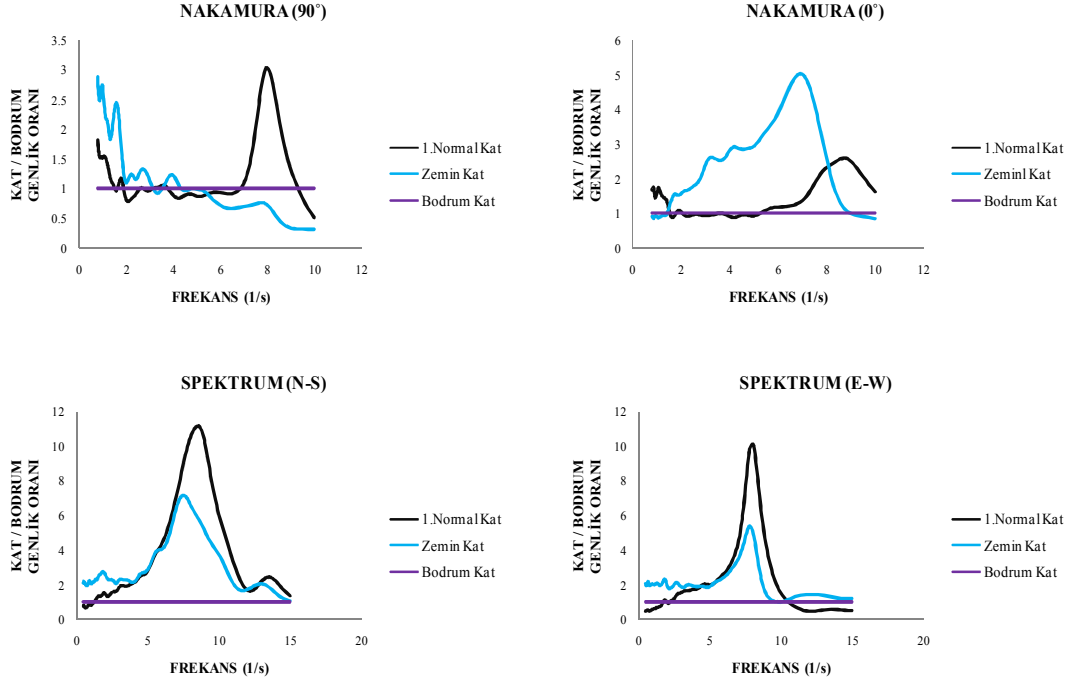
Şekil C.6: 19 nolu bina kısa ve uzun yön için 1. mod şekli karşılaştırması



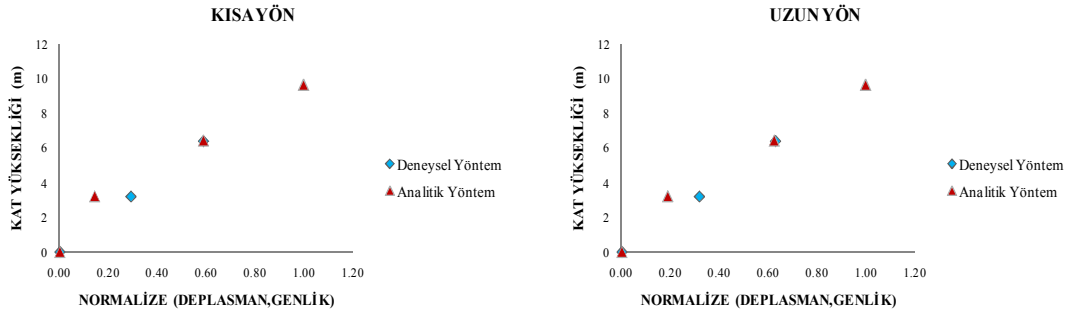
Şekil C.7: 20 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



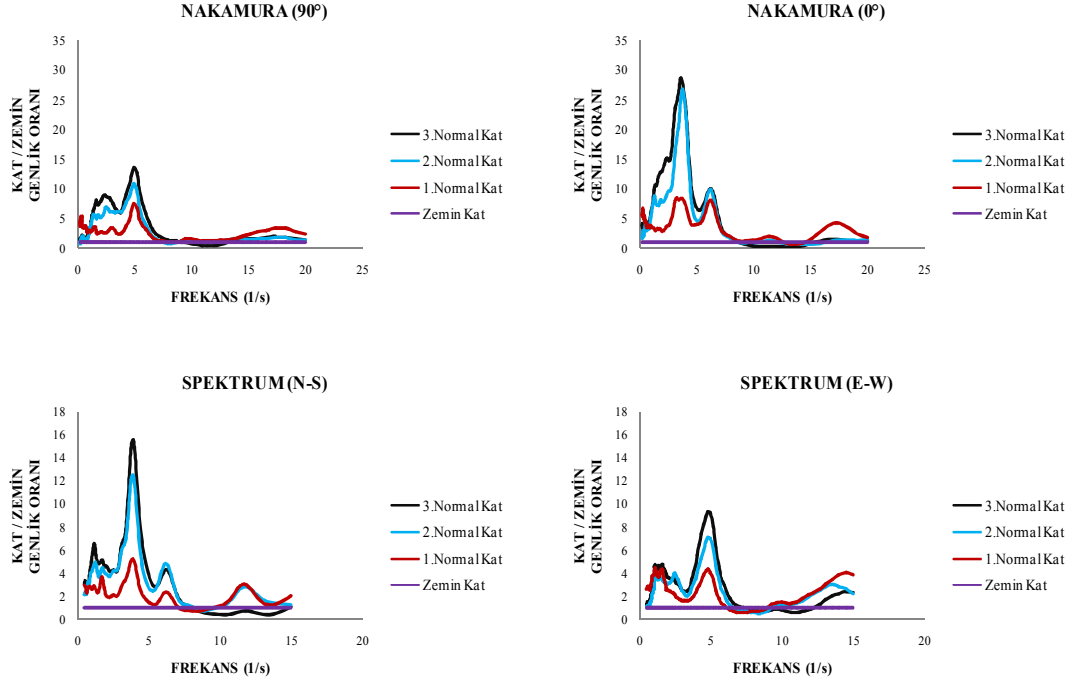
Şekil C.8: 20 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



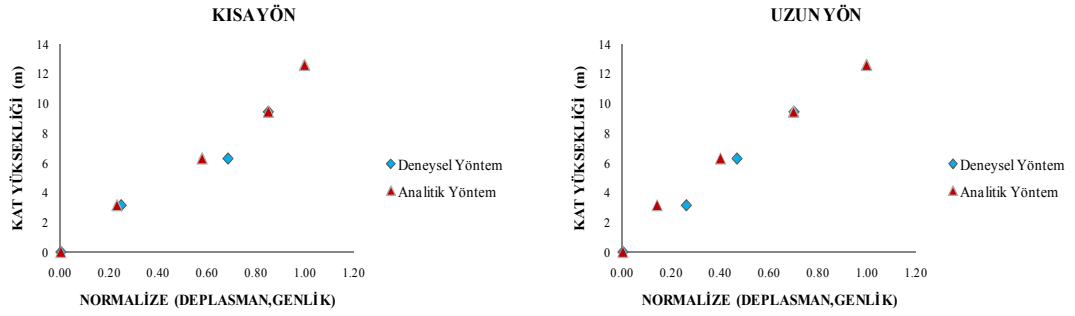
Şekil C.9: 21 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



Şekil C.10: 21 nolu bina kısa ve uzun yön için 1. mod şekli karşılaştırması

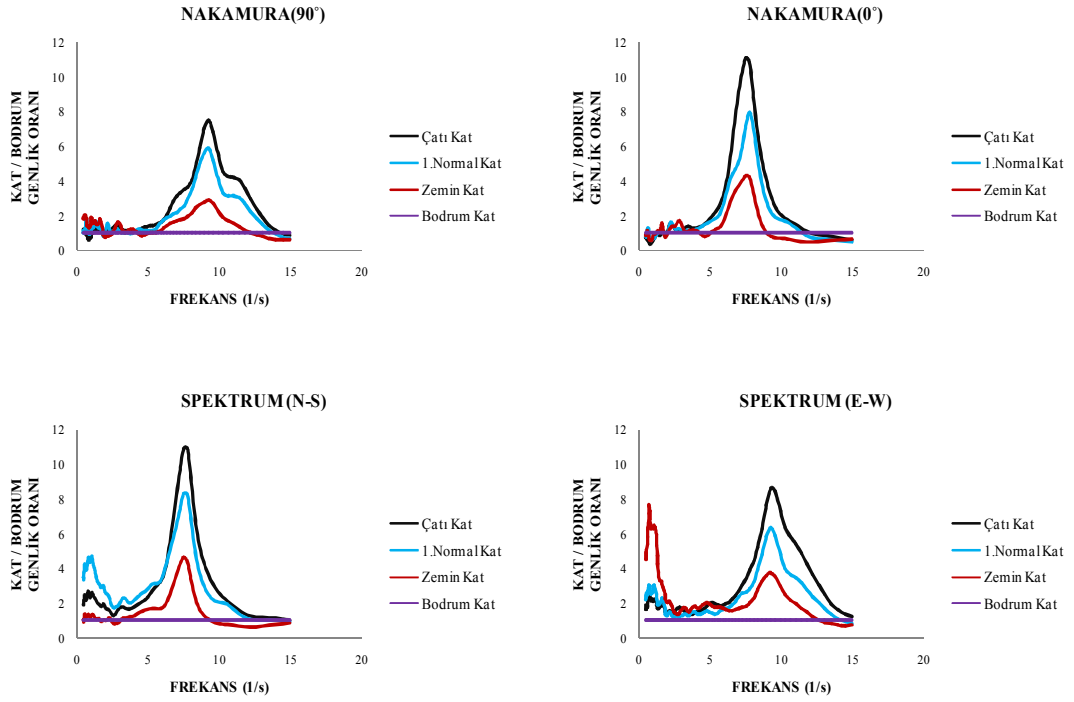


Şekil C.11: 22 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri

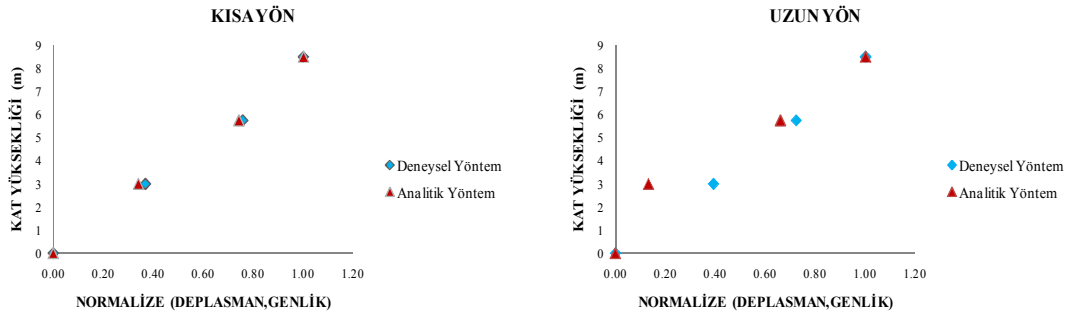


Şekil C.12: 22 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması

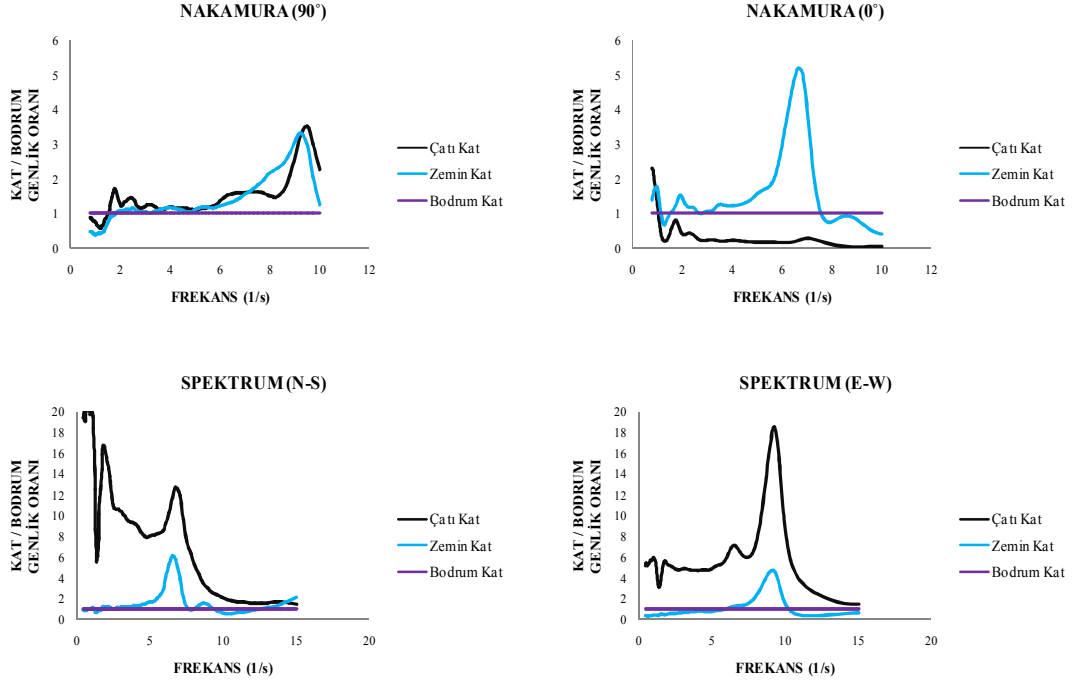
EK-D1: Konut yapılarına ait H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



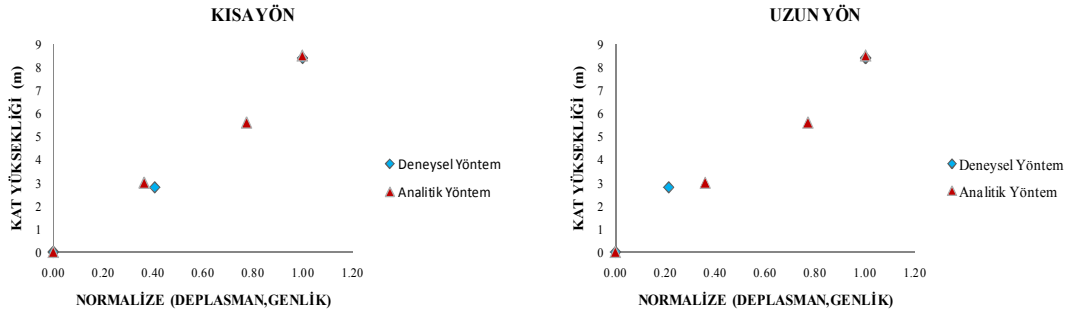
Şekil D.1: 1 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



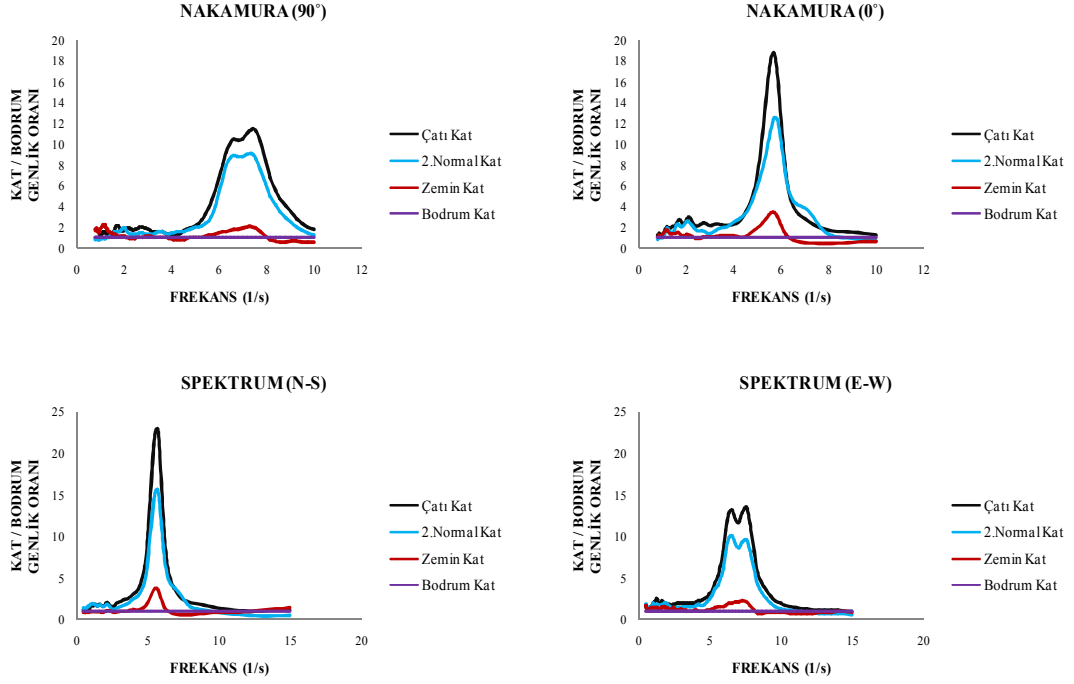
Şekil D.2: 1 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



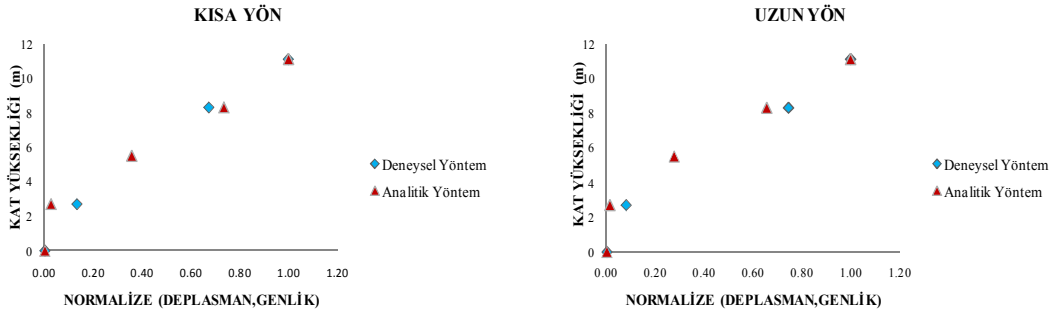
Şekil D.3: 2 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



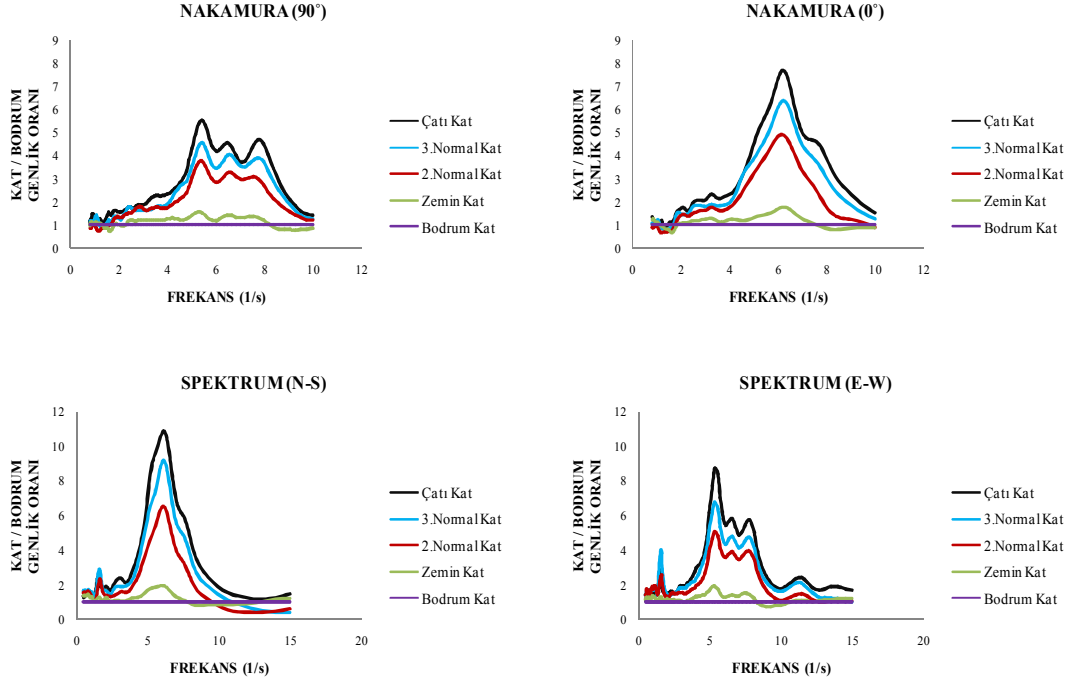
Şekil D.4: 2 nolu bina kısa ve uzun yön için 1. mod şekli karşılaştırması



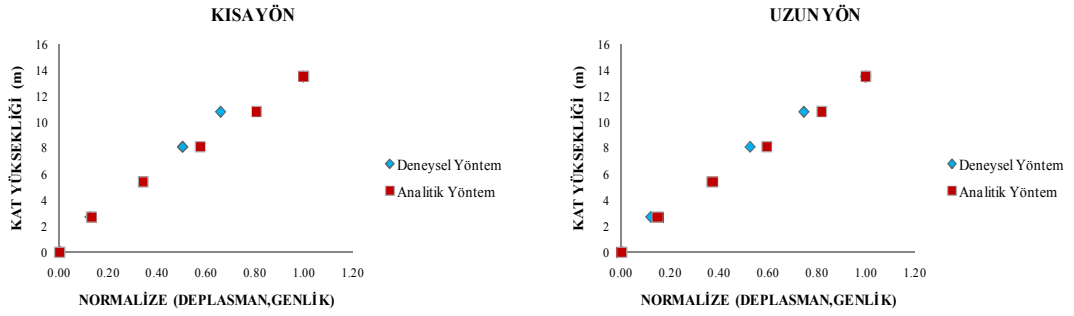
Şekil D.5: 3 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



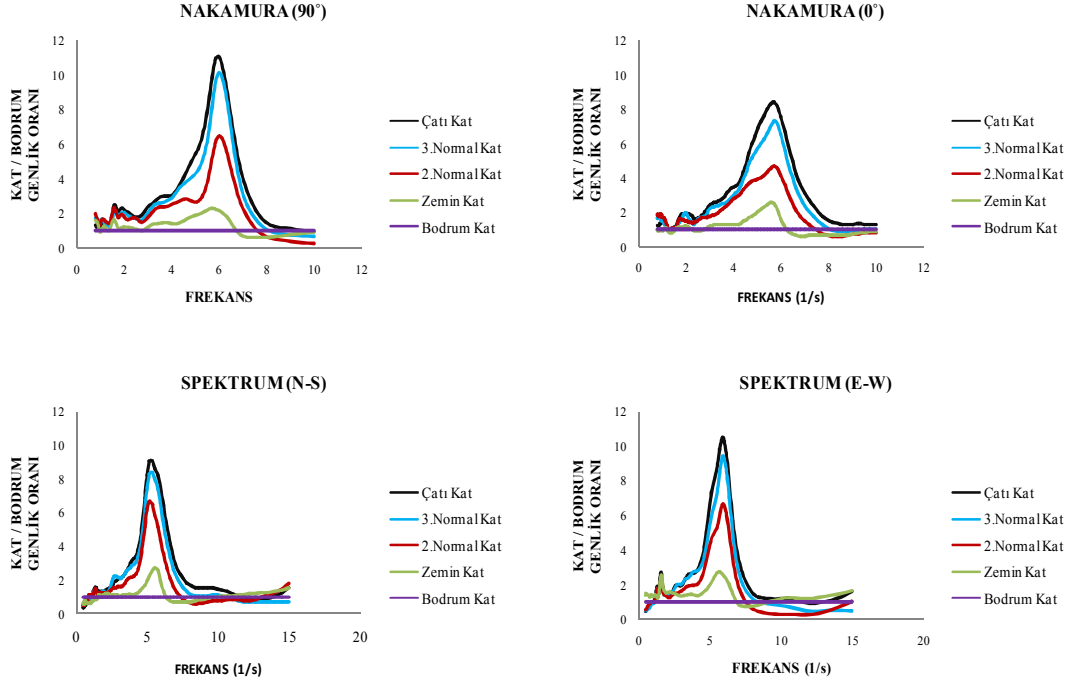
Şekil D.6: 3 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



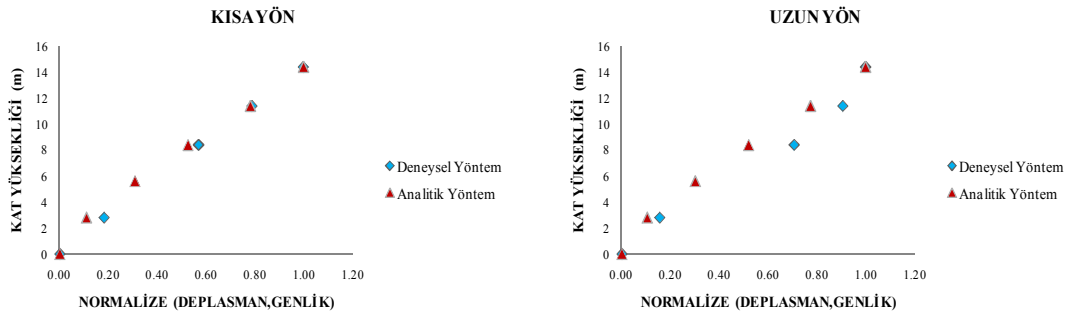
Şekil D.7: 6 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



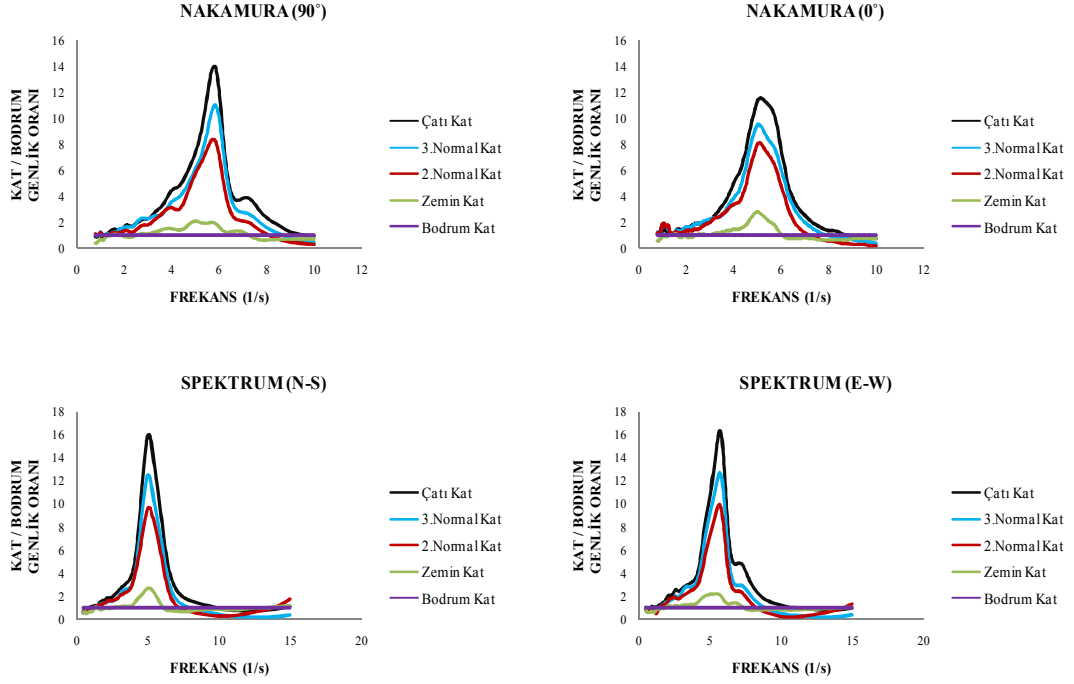
Şekil D.8: 6 nolu bina kısa ve uzun yön için 1. mod şekli karşılaştırması



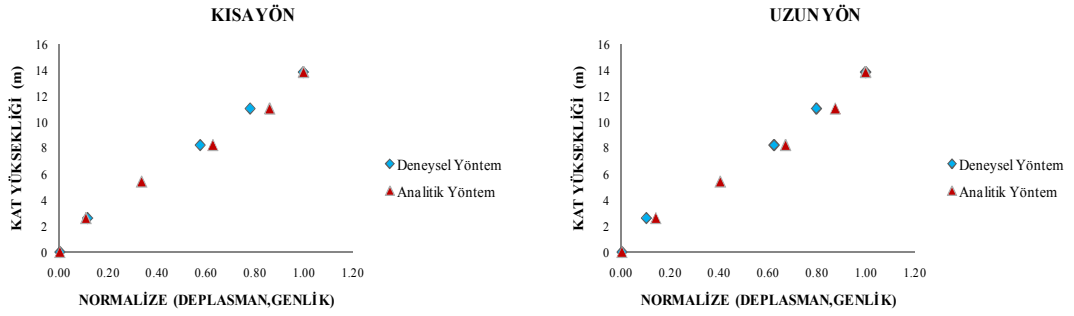
Şekil D.9: 7 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



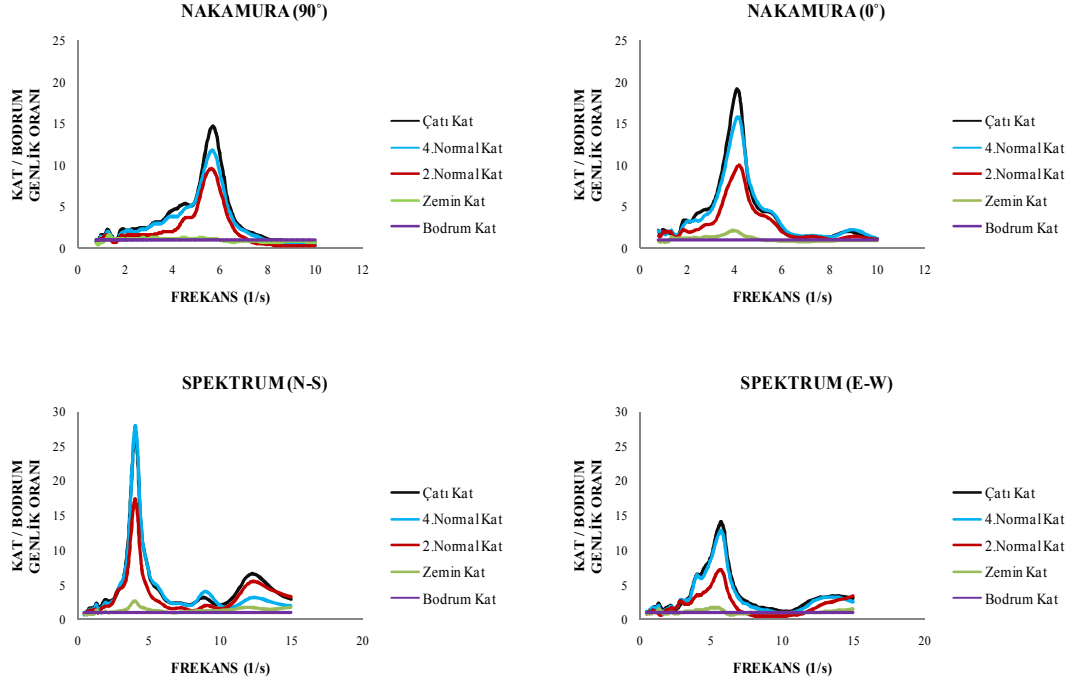
Şekil D.10: 7 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



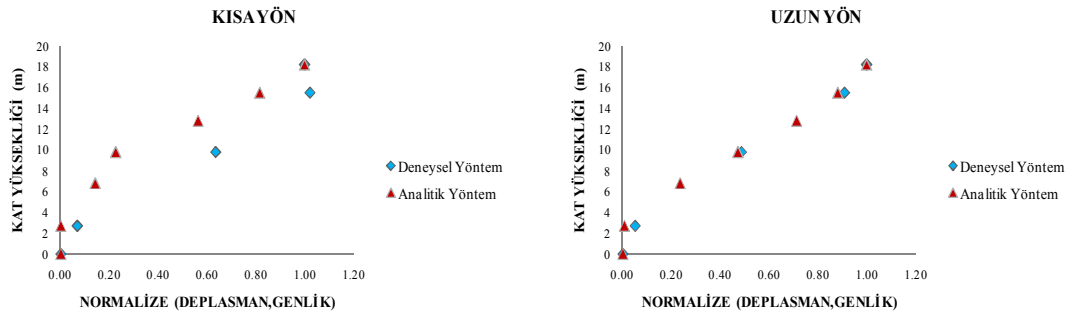
Şekil D.11: 9 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



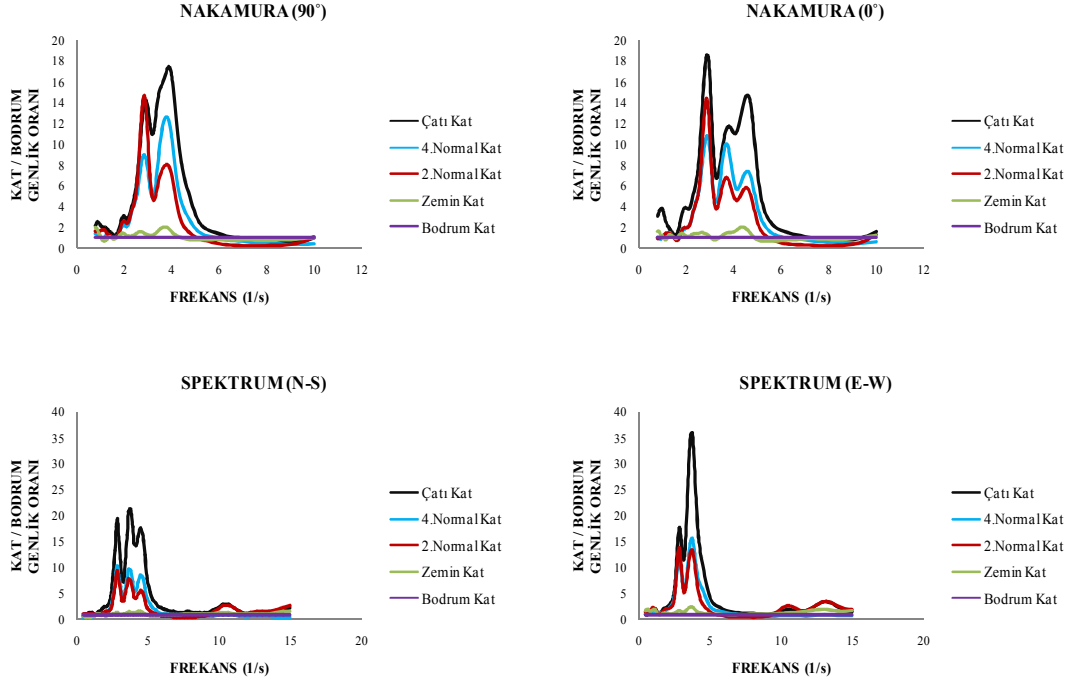
Şekil D.12: 9 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



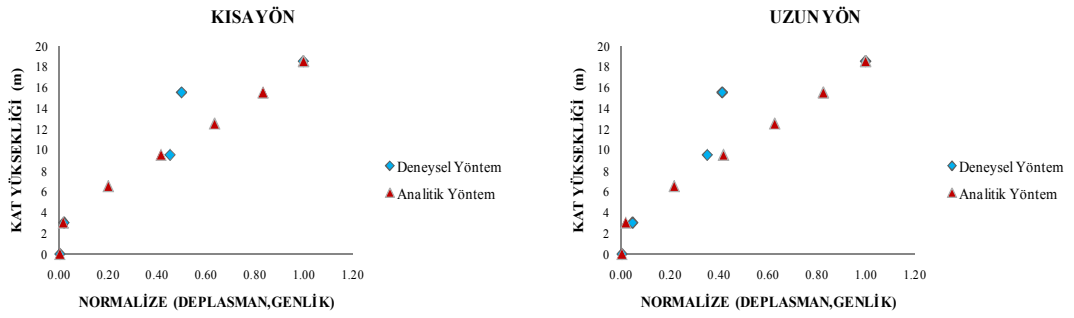
Şekil D.13: 11 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



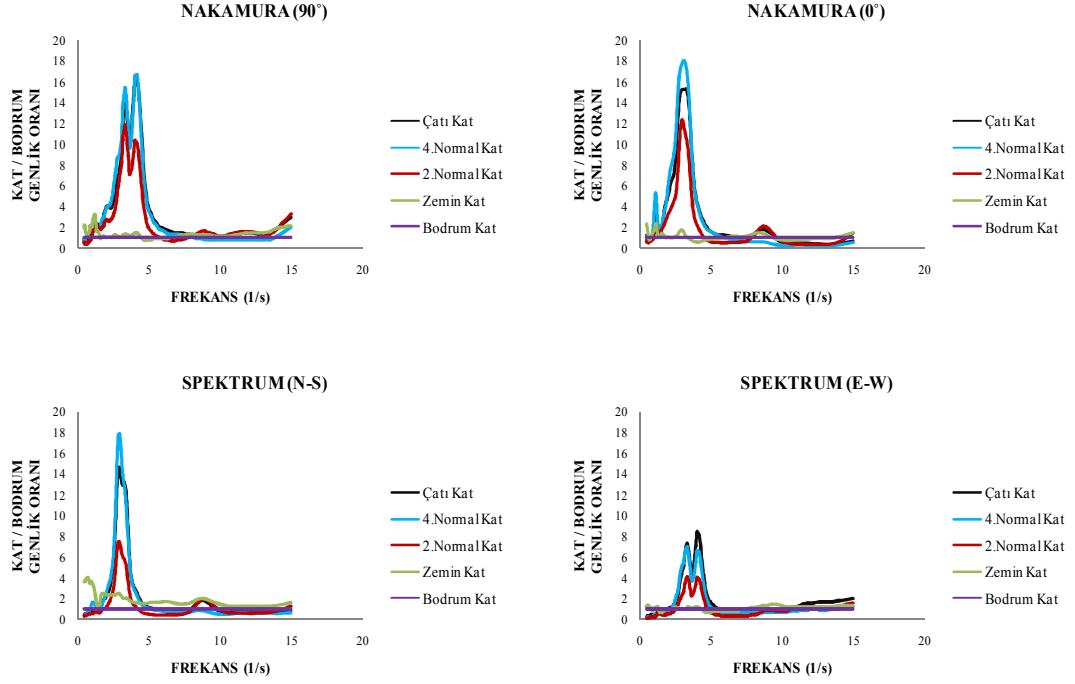
Şekil D.14: 11 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



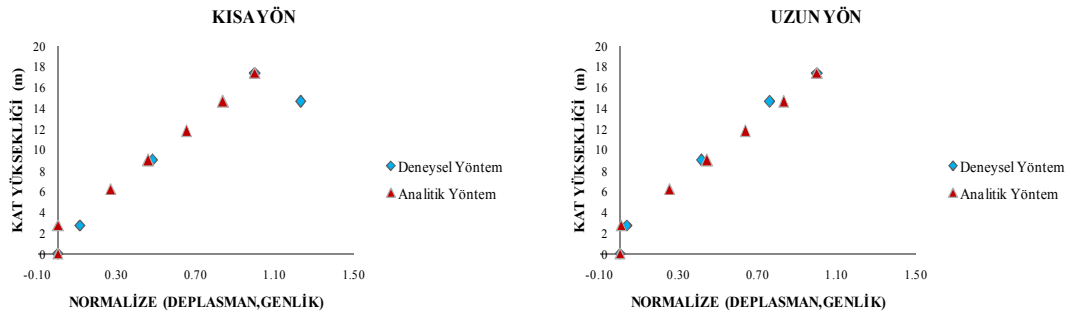
Şekil D.15: 12 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



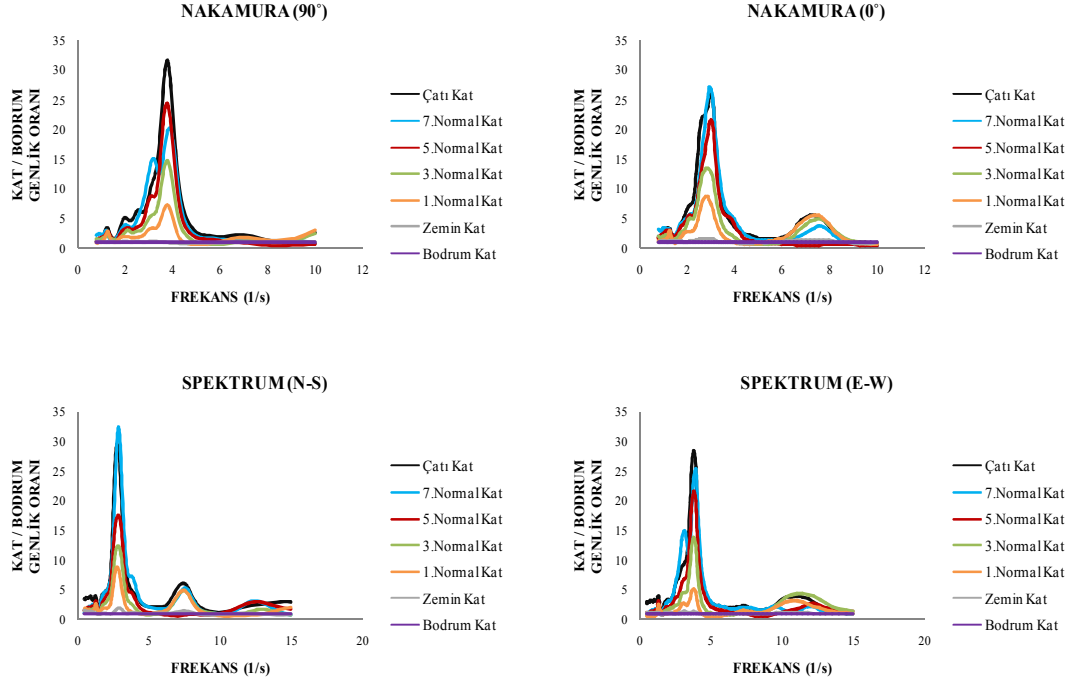
Şekil D.16: 12 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



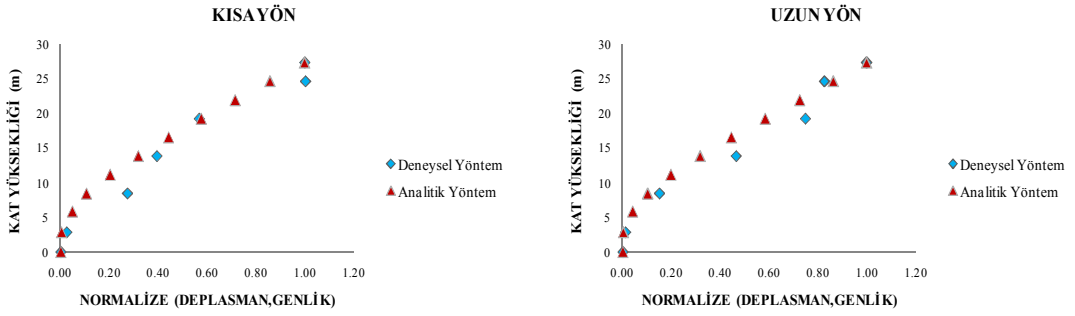
Şekil D.17: 13 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



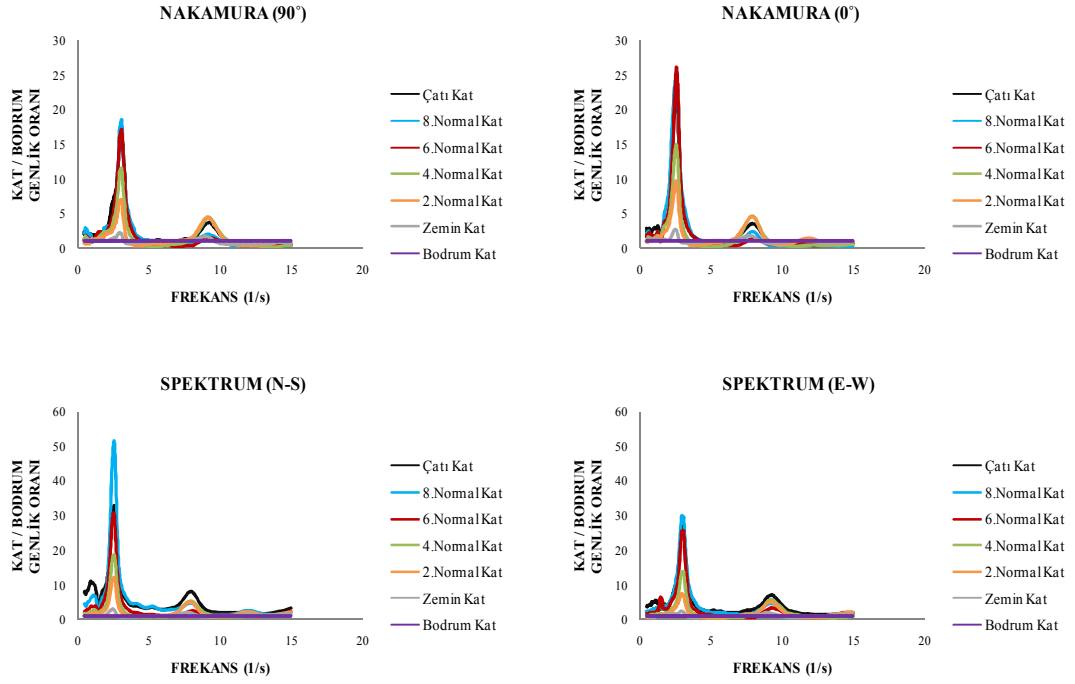
Şekil D.18: 13 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



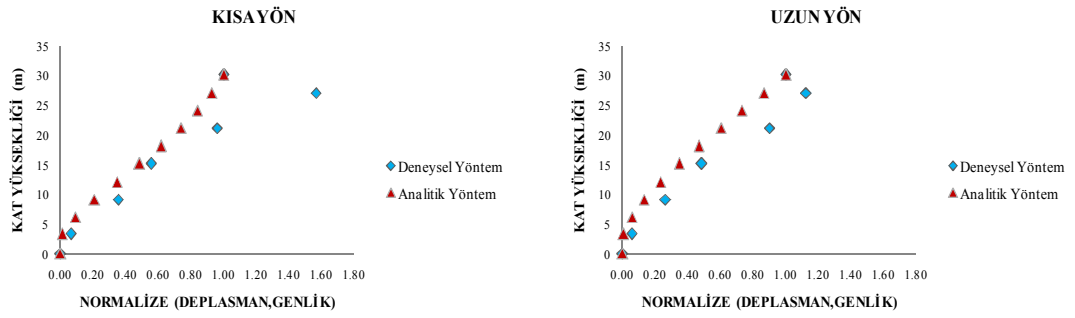
Şekil D.19: 14 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



Şekil D.20: 14 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması



Şekil D.21: 15 nolu bina H/V ve kat genlik spektrum grafikleri



Şekil D.22: 15 nolu bina kısa ve uzun yön için 1.mod şekli karşılaştırması

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan ÖZCAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Balıkesir 01.01.1984

Adres : Pamukkale Üniversitesi

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi



Yayımlar:

İnel, M., H.B.Özmen, B.T. Çaycı ve **G. Özcan**. Mevcut Yapıların Dinamik Özelliklerinin Mikrotremor Ölçümleri ile Belirlenmesi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Bildiri No: 150, 25-27 Eylül 2013, Hatay.

Projelerde Yaptığı Görevler:

- Simav İlçesi Ve Çevresinde Bulunan Orta Hasarlı Binaların Teknik Açından Güçlendirme Yapmaya Uygun Olup Olmadığının Tespiti Çalışması, Afet ve Acil Durum Yönetim Daire Başkanlığı (AFAD), Araştırmacı, 2011.
- Pamukkale Üniversitesi ve Kütahya İl Milli Eğitim Müdürlüğü ile birlikte yürütülen “Okul Yapılarının Sismik Performansının Belirlenmesi” (Pamukkale Üniversitesi, 2011), Araştırmacı, 2011.