



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ORTA KATLI BETONARME BİNALARIN
ZORLANMIŞ TİTREŞİM TESTLERİ

HASAN ERHAN AÇIKYOL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya / HATAY

TEMMUZ-2009

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORTA KATLI BETONARME BİNALARIN
ZORLANMIŞ TİTREŞİM TESTLERİ

Hasan Erhan AÇIKYOL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. Murat BİKÇE danışmanlığında hazırlanan bu tez 10/07/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Murat BİKÇE
Başkan

Yrd. Doç. Dr. M. Cemal GENEŞ
Üye

Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ
Üye

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Bünyamin YILDIZ
Enstitü Müdür V.

Bu çalışma Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu ve TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

MKÜ Proje No : 09M0601
TÜBİTAK Proje No: 106M420

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Test Binalarının Belirlenmesi.....	8
3.2. Test Kapsamında Kullanılan Sarsma Cihazları.....	10
3.2.1. Sarsma Cihazlarının Tepki Mekanizmaları.....	10
3.2.2. Sarsma Cihazı-Tip1 İle İlgili Genel Bilgiler.....	12
3.2.3. Sarsma Cihazı-Tip1 İle İlgili Teknik Özellikler.....	13
3.2.4. Sarsma Cihazı-Tip1 İle Birlikte Kullanılan İvme Ölçerler.....	16
3.2.5. Sarsma Cihazı-Tip2 İle İlgili Genel Bilgiler.....	17
3.2.6. Sarsma Cihazı-Tip2 İle İlgili Teknik Özellikler.....	18
3.2.7. Sarsma Cihazı-Tip2 İle Birlikte Kullanılan Hız Ölçerler.....	19
3.3. Test İşlemleri.....	20
3.3.1. Verilerin Analizi.....	23
3.3.2. Verilerin Sıfır Eksenine Taşınması.....	23
3.3.3. Fourier Dönüşümü.....	24
3.3.4. Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT).....	24
3.3.5. Test Verilerinin Üzerinde FFT Uygulanması.....	25
3.3.6. Orta Düzeyli Dijital Filtre.....	26
3.3.7. Modal Frekanslar.....	27
3.3.8. Sönüm Kapasiteleri.....	28
3.3.9. Mod Şekilleri.....	29
3.4. Yapıların Bilgisayar Programı İle Modellenmesi.....	30

3.5. Beton Malzemesinin ve Betonarme Çeliğinin Yapısal Özellikleri.....	31
3.5.1. Beton Malzemesinin Yapısal Özellikleri.....	31
3.5.2. Betonarme Çeliği.....	31
3.6. Dolgu Duvarların Modellenmesi.....	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	35
4.1. Zorlanmış Titreşim Testi Uygulanan Binaların Test Sonuçları.....	35
4.1.1. Birinci Test Binası Ayhan Girişken Apartmanı Test Sonuçları.....	35
4.1.1.1. Kısa ve Uzun Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar.....	38
4.1.2. İkinci Test Binası Sedir Apartmanı Test Sonuçları.....	43
4.1.2.1. Sarsma Cihazı Konum-1’de İken Elde Edilen Sonuçlar.....	45
4.1.2.2. Konum-1 İçin Uzun Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar.....	45
4.1.2.3. Konum-1 İçin Kısa Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar.....	50
4.1.2.4. Sarsma Cihazı Konum-2’de İken Elde Edilen Sonuçlar.....	54
4.1.2.5. Konum-2 İçin Uzun Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar.....	54
4.1.2.6. Konum-2 İçin Kısa Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar.....	58
4.1.3. Üçüncü Test Binası Nizamettin Tohma Apartmanı Test Sonuçları ..	62
4.1.3.1. Uzun Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar.....	64
4.1.3.2. Kısa Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar.....	68
4.2. Test Binalarının Analitik Sonuçları.....	72
4.2.1. Birinci Test Binası Ayhan Girişken Apartmanı Analitik Sonuçları ..	72
4.2.2. İkinci Test Binası Sedir Apartmanı Analitik Sonuçları.....	75
4.2.3. Üçüncü Test Binası Nizamettin Tohma Apartmanı Analitik Sonuçları	78
4.3. Test Sonuçlarıyla Analitik Sonuçların Karşılaştırılması	82
4.3.1. Ayhan Girişken Apartmanı Karşılaştırma Sonuçları.....	82
4.3.2. Sedir Apartmanı Karşılaştırma Sonuçları.....	84
4.3.2.1. Sarsma Cihazının Konum-1’deki Durumu İçin Karşılaştırma Sonuçları.....	84
4.3.2.2. Sarsma Cihazının Konum-2’deki Durumu İçin Karşılaştırma Sonuçları	87
4.3.3. Nizamettin Tohma Apartmanı Sonuçların Karşılaştırılması.....	90

	<u>Sayfa</u>
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR.....	97
TEŞEKKÜR.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	102

ÖZET**ORTA KATLI BETONARME BİNALARIN
ZORLANMIŞ TİTREŞİM TESTLERİ**

Bu çalışmada 106M420 numaralı TÜBİTAK ve 107M445 numaralı TÜBİTAK-Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) projeleri kapsamında, Antakya'da orta katlı yapı stokunu temsil eden üç betonarme bina seçilerek zorlanmış titreşim testleri yapılmıştır. Testler iki farklı Sarsma Cihazı ile gerçekleştirilmiştir. İlk test birinci tip Sarsma Cihazıyla, ikinci ve üçüncü testler ise ikinci tip Sarsma Cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Testlerde sarsma cihazı aracılığıyla belirli frekans aralıklarında yapıya titreşim uygulanarak, yapıda oluşan tepkiler sensörler yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Her bina için testlerden elde edilen veriler değerlendirilerek yapının hakim titreşim periyotları, mod şekilleri ve sönüm oranları bulunmuş ve ETABS paket programından elde edilen dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda teste tabi tutulan üç orta katlı betonarme binanın, test ve analitik sonuçlarının karşılaştırılması neticesinde, incelenen binaların projelerine uygun şekilde inşa edildikleri tespit edilmiştir.

2009, 102 sayfa

Anahtar Kelimeler: Zorlanmış Titreşim Testi, Titreşim Üretici, Doğal Titreşim Frekansı, Mod Şekli, Sönüm Oranı

ABSTRACT**FORCED VIBRATION TESTS OF THE MIDDLE-RISE
REINFORCED CONCRETE BUILDINGS**

In this study, forced vibration tests were conducted on three reinforced concrete buildings which were chosen to represent the middle-rise building stock in Antakya within the scope of the projects, namely TUBITAK coded 106M420 and TUBITAK-Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) coded 107M445. The tests were conducted using two different shaking instruments. First test and following second and third tests were conducted using the first type and second type shaking instruments, respectively. In the tests, vibrations were applied to the building in some frequency ranges using the shaking instrument and then responses obtained from the building were recorded through the sensors. The test results obtained for each building were analyzed to find the natural vibration periods, mode shapes and damping ratios which were compared with the dynamic analysis results obtained from ETABS program. The values determined from the comparison of test and analytical results of the three reinforced concrete buildings showed that the buildings in Antakya were constructed in accordance with their projects.

2009, 102 Pages

Key words: Forced Vibration Test, Vibration Generator, Natural Vibration Frequency, Mode Shape, Damping Ratio.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SDF	Tek Serbestlik Dereceli (Single-degree-of-freedom)
CSI	Bilgisayar ve Yapı Şirketi (Computers and Structures Incorporated)
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DFT	Ayrıklaştırılmış Fourier Dönüşümü (The Discrete Fourier Transform)
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast-Fourier Transform)
Hz	Hertz
İnç	Uzunluk birimi
kW	Kilo Watt
Lb	Ağırlık birimi (Libre)
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
TS ISO 9194	Yapıların projelendirme esasları – Taşıyıcı olan ve olmayan elemanlar Depolanmış malzemeler – Yoğunluk Yönetmeliği
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
c	Viskoz sönüm katsayısı
D	Dikdörtgen ağırlıklar
e	Dışmerkezlik
E_{duvar}	Dolgu duvar elastisite modülü (N/mm^2)
$E_{çerçeve}$	Çerçeve malzemesi elastisite modülü (N/mm^2)
f	Frekans (Hz)
f_a	Pik noktasındaki frekans değerinden sonraki frekans değeri (Hz)

VII

f_b	Pik noktasındaki frekans değerinden önceki frekans değeri (Hz)
f_{res}	Pik noktasındaki frekans değeri (Hz)
$f(t)$	Zamana bağlı fonksiyon
$F(f)$	Fourier dönüşümü
$F(t)$	Ters dönüşüm fonksiyonu
f_c	Beton için maksimum deformasyon anındaki gerilme değeri
f_s	Çelik akma dayanımı
f_{su}	Çelik kopma dayanımı
f_{sy}	Çelik akma dayanımı
h	Duvar boyu (m)
H	Kolonun boyu (m)
I_{kolon}	Çerçeveyi oluşturan kolonlardan duvar doğrultusundaki kesiti küçük olanının atalet momenti
k	SDF sisteminin rijitlik katsayısı
l	Duvar genişliği (m)
L	Çerçevenin açıklığı (m)
m	Yapının kütlesi
m_e	Haznelerdeki toplam kütle
$p(t)$	Titreşim üreticinin ürettiği güç
R_a	İvme tepki faktörü
t	Zaman (s)
t_{duvar}	Duvar kalınlığı

VIII

T	Periyot
u	Yer değiştirme
\dot{u}	Hız
\ddot{u}	İvme
\ddot{U}	Üçgen Ağırlıklar
ω	Herhangi bir salınım anındaki frekans
WR	Ağırlık ve uzaklığa bağlı kuvvet çarpanı
ω_n	SDF sisteminin doğal frekansı
w_{duvar}	Eşdeğer sanal basınç çubuğunun genişliği
x_K	Bileşik dizin
ζ	Sönüm oranı
λ	Eşdeğer basınç çubuğu katsayısı
θ	Eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı
σ_c	Gerilme
ϵ_c	şekil değiştirme
ϵ_{cu}	Kırılma şekil değiştirmesi
ϵ_{c0}	Karakteristik dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme
ϵ_{sh}	Pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirme
ϵ_{su}	Kopma birim şekil değiştirme
ϵ_{sy}	Akma birim şekil değiştirme

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Her bir ağırlık kombinasyonu için maksimum frekans (Hz) değerleri.....	15
Çizelge 3.2.WR (lb-in) her bir ağırlık kombinasyonu için ağırlık-dış merkezlik değerleri.....	16
Çizelge 3.3. S220 ve S420 donatıları için sınır değerler	32
Çizelge 4.1. Ayhan Girişken Apartmanının ETABS sonucunda elde edilen periyot değerleri.....	73
Çizelge 4.2. Sedir Apartmanının ETABS programından elde edilen periyot değerleri..	78
Çizelge 4.3. Nizamettin Tohma Apartmanının ETABS programından elde edilen periyot değerleri	78
Çizelge 4.4. Ayhan Girişken Apartmanına ait test sonuçlarıyla analitik sonuçlar arasındaki farklar ve sönüm oranları.....	82
Çizelge 4.5. Sedir Apartmanının Konum-1'deki test sonuçlarıyla analitik sonuçlar arasındaki farklar ve sönüm oranları.....	84
Çizelge 4.6. Sedir Apartmanının Konum-2'deki test sonuçlarıyla analitik sonuçlar arasındaki farklar ve sönüm oranları.....	87
Çizelge 4.7. Sedir Apartmanı Konum-1 ve Konum-2 için karşılaştırmalı periyot değerleri.....	90
Çizelge 4.8. Nizamettin Tohma Apartmanının test sonuçlarıyla analitik sonuçlar arasındaki farklar ve sönüm oranları.....	90
Çizelge 5.1. Test edilen üç binaya ait karşılaştırmalı periyot değerleri ve sönüm oranları.....	94

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Antakya’da test edilmek üzere seçilen binaların konumu.....	9
Şekil 3.2. Titreşim üreticinin ürettiği harmonik kuvvetin şematiği.....	11
Şekil 3.3. Sarsma Cihazı-Tip1’in ön görüntüsü.....	13
Şekil 3.4. a) Sarsma Cihazı-Tip1 b) Kontrol ünitesi.....	14
Şekil 3.5. Haznelere ağırlıkların yüklenmesi.....	14
Şekil 3.6. Sarsma Cihazı-Tip1’in iç mekanizması.....	15
Şekil 3.7. Sarsma Cihazı-Tip1’in salınım frekansına karşı harmonik kuvvetin değişim grafiği.....	16
Şekil 3.8. Sarsma Cihazı-Tip1 ile birlikte kullanılan ivme ölçer.....	17
Şekil 3.9. Sarsma Cihazı-Tip2’nin çalışma esnasındaki görüntüsü.....	18
Şekil 3.10. a) Sarsma Cihazı-Tip2 b) Kontrol ünitesi.....	19
Şekil 3.11. Kollara ağırlıkların yüklenmesi.....	19
Şekil 3.12. Sarsma Cihazı-Tip2 ile birlikte kullanılan hızölçerler.....	20
Şekil 3.13. Test esnasında kayıt altına alınan ivme grafiğinden görüntü.....	21
Şekil 3.14. Test sırasında kayıtların bilgisayara aktarılması.....	23
Şekil 3.15. Verilerin sıfır eksenine taşınması.....	24
Şekil 3.16. Sedir apartmanı çatı katı 1 numaralı sensörün x yönündeki ivme kaydı.....	25
Şekil 3.17. Sedir apartmanı çatı katı 1 numaralı sensörün x yönündeki ivme kaydının FFT grafiği	26
Şekil 3.18. Sedir apartmanı çatı katı 1 numaralı sensörün x yönündeki ivme kaydının ham hali	27
Şekil 3.19. Sedir apartmanı çatı katı 1 numaralı sensörün x yönündeki ivme kaydının filtrelenmiş hali.....	27
Şekil 3.20. Ayhan Girişken Apartmanı çatı katındaki sensöre ait FFT Genlik- Frekans grafiği	28
Şekil 3.21. Nizamettin Tohma Apartmanına ait sönüm oranı grafiği.....	29
Şekil 3.22. Betonarme çubuk elemanlardaki genel Gerilme – Şekil değiştirme grafiği.....	31
Şekil 3.23. DBYBHY - 2007’ye göre donatı çeliklerinin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.....	32

Şekil 3.24. Tuğla dolgu duvarın eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesi.....	34
Şekil 4.1. Ayhan Girişken Apartmanı'nın ön görüntüsü	36
Şekil 4.2. Ayhan Girişken Apartmanı sensör yerleşim planı	36
Şekil 4.3. a) Kısa yönde katlar arası sensör dağılımı b) Uzun yönde katlar arası sensör dağılımı.....	37
Şekil 4.4. Frekans-FFT Genliği, kısa doğrultu, doğu yönü (7-12-9-5-8-4).....	39
Şekil 4.5. Frekans-FFT Genliği, kısa doğrultu, batı yönü (6-11-10-3-2-1).....	39
Şekil 4.6. Frekans-FFT Genliği, uzun doğrultu, kuzey yönü (12-6-9-3-4-5).....	40
Şekil 4.7. Frekans-FFT Genliği, uzun doğrultu, güney yönü (11-7-10-2-1-8).....	40
Şekil 4.8. Kısa ve uzun doğrultudaki mod şekilleri.....	41
Şekil 4.9. Çatı kat uzun doğrultu kuzey sensörü sönüm değeri %2.....	42
Şekil 4.10. Çatı kat kısa doğrultu doğu sensörü sönüm değeri %1.4.....	42
Şekil 4.11. Sedir Apartmanı'nın görüntüsü.....	43
Şekil 4.12. Sedir Apartmanı için hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme planı.....	44
Şekil 4.13. Sedir Apartmanı için hızölçerlerin ve sarsma cihazının yerleşim şekli.....	44
Şekil 4.14. Titreşim cihazının 1.konumda olduğu duruma ait plan ve kesit görüntüsü..	45
Şekil 4.15. Konum-1 için binanın uzun doğrultudaki FFT Genlik-Frekans grafikleri.....	47
Şekil 4.16. Konum-1 için binanın uzun doğrultudaki hız değişim grafikleri.....	47
Şekil 4.17. Konum-1 için uzun doğrultudaki mod şekilleri.....	48
Şekil 4.18. Konum-1 için binanın uzun doğrultudaki sönüm grafikleri.....	49
Şekil 4.19. Konum-1 için binanın kısa doğrultudaki FFT Genlik-Frekans grafikleri.....	51
Şekil 4.20. Konum-1 için binanın kısa doğrultudaki hız değişim grafikleri.....	51
Şekil 4.21. Konum-1 için kısa doğrultudaki mod şekilleri.....	52
Şekil 4.22. Konum-1 için binanın uzun doğrultudaki sönüm grafikleri.....	53
Şekil 4.23. Titreşim cihazının 2.konumda olduğu duruma ait plan ve kesit görüntüsü..	54
Şekil 4.24. Konum-2 için binanın uzun doğrultudaki FFT Genlik-Frekans grafikleri.....	55
Şekil 4.25. Konum-2 için binanın uzun doğrultudaki hız değişim grafikleri	55
Şekil 4.26. Konum-2 için uzun doğrultudaki mod şekilleri.....	56
Şekil 4.27. Konum-2 için binanın uzun doğrultudaki sönüm grafikleri.....	57
Şekil 4.28. Konum-2 için binanın kısa doğrultudaki FFT Genlik-Frekans grafikleri.....	59
Şekil 4.29. Konum-2 için kısa doğrultudaki hız değişim grafikleri.....	59

Şekil 4.30. Konum-2 için kısa doğrultudaki mod şekilleri.....	60
Şekil 4.31. Konum-2 için binanın kısa doğrultudaki sönüm grafikleri.....	61
Şekil 4.32. Nizamettin Tohma Apartmanı'nın görüntüsü.....	62
Şekil 4.33. Nizamettin Tohma Apartmanı için hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme planı.....	63
Şekil 4.34. Nizamettin Tohma Apartmanı için hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme kesit görüntüsü.....	64
Şekil 4.35. Nizamettin Tohma Apt. uzun doğrultudaki (x) FFT Genlik- Frekans grafikleri.....	65
Şekil 4.36. Nizamettin Tohma Apt. uzun doğrultudaki (x) hız değişim grafikleri.....	65
Şekil 4.37. Nizamettin Tohma Apt. uzun doğrultudaki mod şekilleri.....	66
Şekil 4.38. Nizamettin Tohma Apt. uzun doğrultudaki sönüm grafikleri.....	67
Şekil 4.39. Nizamettin Tohma Apt. kısa doğrultudaki FFT Genlik-Frekans grafikleri.....	69
Şekil 4.40. Nizamettin Tohma Apt. kısa doğrultudaki hız değişim grafikleri.....	69
Şekil 4.41. Nizamettin Tohma Apt. kısa doğrultudaki mod şekilleri	70
Şekil 4.42. Nizamettin Tohma Apt. kısa doğrultudaki sönüm oranı grafikleri	71
Şekil 4.43. Ayhan Girişken Apt.'nin ETABS'daki üç boyutlu görüntüsü.....	73
Şekil 4.44. Ayhan Girişken Apt. kısa ve uzun doğrultudaki mod şekilleri.....	74
Şekil 4.45. Sedir Apt.'nin ETABS'daki üç boyutlu görüntüsü.....	75
Şekil 4.46. Sedir Apt. kısa doğrultudaki mod şekilleri.....	76
Şekil 4.47. Sedir Apt. uzun doğrultudaki mod şekilleri.....	77
Şekil 4.48. Nizamettin Tohma Apt.'nin ETABS'daki üç boyutlu görüntüsü.....	79
Şekil 4.49. Nizamettin Tohma Apt. kısa doğrultudaki mod şekilleri	80
Şekil 4.50. Nizamettin Tohma Apt. uzun doğrultudaki mod şekilleri.....	81
Şekil 4.51. Ayhan Girişken Apt. kısa ve uzun doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri.....	83
Şekil 4.52. Sedir Apt. Konum-1 kısa doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri.....	85
Şekil 4.53. Sedir Apt. Konum-1 uzun doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri	86
Şekil 4.54. Sedir Apt. Konum-2 uzun doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri.....	88
Şekil 4.55. Sedir Apt. Konum-2 kısa doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri.....	89
Şekil 4.56. Nizamettin Tohma Apt. uzun doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri.....	92
Şekil 4.57. Nizamettin Tohma Apt. kısa doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri.....	93

1.GİRİŞ

Ülkemiz, coğrafi yapı itibariyle, dünyada deprem riski taşıyan bölgeler arasında üst sıralarda yer almaktadır. Topraklarımızın aktif bir sismik bölge içinde olması, yüzölçümünün büyük bir kısmının deprem riski taşıyan bölgelerde yer alması ülkenin deprem konusundaki önemini daha da artırmaktadır. Tarih boyunca, özellikle Kuzey Anadolu fay hattı, Doğu Anadolu fay hattı ve Ege bölgesindeki yerel faylarda ülkemiz tarihinde önemli hasarlar bırakan sayısız depremler meydana gelmiştir. Bunun en son örneği 17 Ağustos 1999'da gerçekleşen Marmara depremidir. Meydana gelen depremlerin sonuçlarına bakıldığında, mevcut yapıların büyük bir çoğunluğunun orta büyüklükteki depremlere dahi dayanamayacak durumda olduğunu göstermektedir.

Marmara depremi sonrasında, hatalı projelendirilmiş veya projesine uygun olarak inşa edilmemiş yapıların yanı sıra geçmiş yönetmeliklere uygun yapılmış binalarda da önemli derecede hasar görmüştür. Yapılan incelemelerde öne çıkan hasar görme nedenleri olarak; yapıların taşıyıcı sistemlerinin zayıf kolon - güçlü kiriş özelliği göstermesi, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ani ve büyük dayanım kayıpları, yumuşak kat düzensizliği, kısa kolonlar, işçilik ve malzeme yetersizliği gibi kusurlar sıralanmaktadır (Çelebi ve ark., 1991). Ayrıca, tasarım hataları, inşaat detaylarındaki işçilik hatalarından başka, taşıyıcı elemanlar ile dolgu duvarlar arasındaki etkileşimin modellere ve analizlere yansıtılamaması binaların hasarına sebep olabilmektedir. Deprem sonrasında hasar gören veya yıkılan yapıdaki kusurun öğrenilmesi, daha sonraki yapılar için de ışık tutacağından önemlidir. Bu nedenle yapılarda ileri düzeyde detaylı incelemeler yapılmaktadır. Bu incelemelerden biri de mevcut yapının dinamik özelliklerinin belirlenmesini sağlayan "Zorlanmış Titreşim Testi"dir. Zorlanmış titreşim testleri, yıkıcı özelliği olmayan küçük genlikli testlerdir. Bu test ile yapının dinamik özelliklerini karakterize eden sismik davranışı belirlenmiş olmaktadır. Bu da yapının deprem hareketi altında doğal periyodunu ve davranışını tahmin etmeyi mümkün kılmaktadır (Şafak, 1993). Test çalışmaları, sismik yüklerin binaya daha sistematik bir yol ile aktarılmasına dayanan ve yapının dinamik özelliklerinin belirlenmesine yönelik araştırma yöntemleridir.

Yapı ile ilgili önemli dinamik faktörlerden biri, yapıların doğal titreşim periyotlarıdır. Periyotların belirlenebilmesi için birçok formül önerilmektedir. Genel

dinamik davranışların ve doğal titreşim periyotlarının belirlenmesi, gerçek yapı davranışının anlaşılabilmesi için önemlidir.

Yapıların dinamik karakteristiklerini belirlemenin bir yolu da deneysel araştırmalardır. Hesaplarda dikkate alınan beton ve çeliğin gerçek özellikleri de deneysel olarak doğru bir şekilde tayin edilebilir. Aynı şekilde uygulamadan kaynaklanabilecek hatalardan dolayı analizlerden elde edilen dinamik karakteristik değerlerin yapıda hangi seviyede olduğu da yine deney sonrasında belirlenebilir. Ancak, bir zorlanmış titreşim testi sonrasında elde edilen değerlerin bilgisayar ortamındaki modellemeden elde edilecek sonuçlarla da karşılaştırılması, teorik hesapların uygulamaya ne ölçüde aktarıldığının anlaşılması açısından fikir vermektedir. Zorlanmış titreşim testleri bu tip çalışmalarda kullanılabilen bir yöntemdir. Zorlanmış titreşim testi ile yapının en genel haldeki dinamik hareketi, yapıya ait olan doğal titreşim frekansları ve mod şekilleri kabul edilebilir hata oranları içinde tespit edilebilir. Ayrıca, analitik modelleme ile belirlenemeyen modal sönüm oranları da bu yolla belirlenebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, Antakya kent merkezindeki orta katlı betonarme yapıları temsil edebilecek üç adet betonarme yapı ele alınmıştır. Zorlanmış titreşim testi uygulanan bu binalar ETABS Yapı Analizi programında modellenerek dinamik analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen dinamik büyüklükler, testlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Böylelikle bu yapılara ait doğal periyotlar, sönüm oranları ve mod şekillerinin uygulamaya ne oranda yansıtıldığı araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Zorlanmış titreşim testlerinin Stanford üniversitesinde Blume ve Jacobsen (1935) tarafından geliştirilen sarsma cihazı ile başladığı kabul edilir. Üretilen ilk cihazda harmonik tepki, birbirine ters yönde aynı frekansta dönen eşit ağırlıktaki iki kütle ile sağlanmaktaydı. Günümüzdeki sarsma cihazları benzer prensiplerle çalışmakla birlikte tek fark üretilen frekans aralıklarıdır.

California üniversitesi deprem araştırma merkezi Berkeley EERC (1967) Santa Clara bölgesindeki tek katlı ahşap bir yapı olan McKinley okuluna titreşim testi uygulamıştır. Bu yapı California'daki tek katlı okul binalarının tipik bir örneğini temsil etmektedir. Testler ayrı ayrı her katın duvarlı olduğu durum için gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde yapısal olmayan öğelerin genel dinamik yapıya olan etkisi kesin olarak gözlemlenmiş olmaktadır.

Berkeley EERC (1972) Transamerica binasında zorlanmış titreşim testini uygulamıştır. San Francisco'daki 60 katlı bu yapı, birçok katında çelik kafes bulunan piramit şeklindeki bir yapıdır. Yapının toplam yüksekliği 260 m olup plandaki boyutları 53-53 m dir. 2-5. katlar arasında üçgen şeklinde uzay kafes modelinde çelik bir yapı bulunmaktadır. Yapı doğal periyodu 2.9 s, sönüm oranı ise yaklaşık %1 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada deneyden elde edilen sonuçlarla analitik sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Berkeley EERC (1974; 75) Los Angeles – Theme tower binasında zorlanmış titreşim testini tekrarlamıştır. Test sonucunda binanın mod şekli ve doğal titreşim periyotları bulunmuştur. Sönüm oranı %1-2 olarak belirlenmiştir. 1977'de Washington'da zorlanmış titreşim testleri tekrarlanmıştır.

Berkeley EERC (1977) Nisan ve Mayıs aylarında Washington'daki yağmur kulesinde bu testi uygulamıştır. Bu yapı yaklaşık 157 m yüksekliğinde betonarme bir yapıdır. Yapının doğal titreşim periyodu 4.44 s. ve sönüm oranı %1-3 olarak bulunmuştur.

Türkiye'de titreşim testleri 70'lerin ortasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) tarafından başlatılmıştır. Testlerin sonucu 1975 deprem yönetmeliğini etkilemiştir. İlk test ODTÜ (1976) mühendislik binasında yapılmıştır ve yapının sadece ilk modal frekansı bulunmuştur.

İkinci test 1976'da, bir hükümet binası üzerinde, Maliye Bakanlığının Blok M ve Maliye Okulu Kompleksi üzerinde yapılmış olup toplam yüksekliği 20.40 m ve 15.26 x 48.30 m plan boyutlarından oluşmaktadır. Temel, birleşik temel sisteminden oluşmuştur. Birinci ve ikinci mod için doğal frekanslar 2.60 ve 3.04 Hz, bu modlar için sönüm oranları %2 ve %2.5 olarak hesaplanmıştır ve elde edilen sonuçlara göre mod şekilleri belirlenmiştir. Bazı durumlarda yapı-zemin etkileşimi de gözlenmiştir. Temelin dönme ve sallantı hareketlerini tespit edebilmek için temel seviyesinde tek eksenli bir ivmeölçer yerine üç eksenli bir ivmeölçer kullanılmıştır.

Üçüncü test 1977'de, TÜRKİŞ Apartman kompleksleri 14 katlı, yüksekliği 44.1 m ve plan boyutları 19.08 x 20.86 m olan tünel kalıplarında şekillendirilmiş betonarme yapılar üzerinde yapılmıştır. Taban sistemi rijit temeldir ve iki yönlü betonarme beton plakalardan oluşmuştur. Önceden monte edilmiş duvar panelleri olan ve olmayan iki apartman test edilmiştir. İlk modal frekans 1.643 ve 1.525 Hz olarak belirlenmiştir ve ilk sönüm oranları önceden monte edilmiş duvar panelleri olan ve olmayan iki apartman için her biri ayrı olarak %2.3-2.7 ve % 1.5 oranında belirlenmiştir. Bu sonuçların kapsamı içinde panellerin sönümü etkilediği fakat doğal frekansları ciddi olarak etkilemediği sonucu çıkarılmıştır.

Dördüncü test 1977'de, Ankara'da Türk Askeri Akademisinin Kirazlıdere'deki Yurt Kompleksinin A Bloğu üzerinde tuğla dolgu duvarlı sekiz katlı betonarme bir bina üzerinde yapılmıştır. Yüksekliği 25.74 m ve 39.35 x 16.50 m plan boyutları vardır. Taban sistemi betonarme beton plakalar ve zemin sistemi aralıksız ve müstakil ayaklardan oluşmuştur. A ile B blokları arasında bir genişleme derzi vardır. Bu çalışmada yapı-zemin etkileşiminin dinamik davranışı etkilediği belirlenmiştir. İlk iki yakın yanal frekanslar 2.07 ve 2.12 Hz olarak tespit edilmiştir. Burulma mod frekansı 3.86 Hz olarak bulunmuştur. Belirlenen modal sönüm oranları ilk moddan başlayarak: %1.2-1.7, %2.0-3.1 ve %1.3-1.4 olarak belirlenmiştir.

Beşinci test 1978'de, Sincan - Yenikent Sitesi apartman binaları üzerinde yapılmıştır. Bunlar altı katlı içi dolgu duvarlı betonarme binalardır. Yükseklikleri 16.10 m ve plan boyutları 20 x 11 m'dir. Testler, temel sisteminin yapıların tepkisine olan etkisini değerlendirmek için, farklı zemin şartları üzerinde imal edilmiş iki özdeş bina üzerinde yapılmıştır. Zemin emniyet gerilmeleri A sınıfı zemin için $2.3 \cdot 10^4 \text{ t/m}^2$ ve B sınıfı zemin için $4.2 \cdot 10^4 \text{ t/m}^2$ olarak belirlenmiştir. Yapılardaki ilk modal frekanslar A

sınıfı zemin için 3.39 Hz ve B sınıfı zemin için 3.25 Hz olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, zemin yapısını hesaba katan analiz sonuçları ile tutarlı çıkmıştır. (3.43 Hz ve 3.17 Hz).

Altıncı test 1980’de, yüksekliği 23.65 m ve plan boyutları 17 x 30.41 m olan yedi katlı ODTÜ kız Yurdu üzerinde yapılmıştır. Yapı tekil temel sisteminde oluşturulmuştur. Bir derz ile ayrılan iki blok ayrı ayrı test edilmiştir. İki aynı davranışı göstermiştir. Sınırlı derecede yapı-zemin etkileşimi gözlenmiştir. İlk iki modal frekanslar 2.36 Hz ve 2.58 Hz olarak belirlenmiştir. Bu modlar için tespit edilen modal sönüm oranları sırasıyla; %1.7 ve %3.0 olarak bulunmuştur. Genelde, burulma tipi hareketlerin yapı boyunca ara duvar yerlerinde asimetriye bağlı olarak ortaya çıktığı gözlenmiştir.

Yedinci test 1985’de BETONSAN İzmir Karşıyaka Apartman Kompleksi, panel prefabrik yapılar üzerinde yapılmıştır. Çok yumuşak alüvyon üzerinde duran dört katlı ve yedi katlı iki bina test edilmiştir. Belli bir mesafede dikey olarak yerleştirilen bir tek eksenli ivmeölçer ile birlikte, bir üç eksenli ivmeölçer temel seviyesinde temelin sallantı ve yanal çevrimsel hareketlerini almak için kurulmuştur. Binaların toplam yüksekliği sıraya göre 12 ve 21 m’dir ve her iki binanın plandaki boyutları 20 x 21 m’dir.

Sekizinci test 1985’de 2.Öğretmenevi, Atatürk Bloğu üzerinde yapılmıştır. Bu test yedinci testin bir devamıdır. Test edilen bina on katlı betonarme prefabrik panel bir yapıdır. Yüksekliği 30.0 m ve plan boyutları 17.0 x 13.8 m’dir. Zemin sistemi mütemadidir. Bu testte de benzer sonuçlar gözlemlenmiştir. Çalışmada, dinamik davranış, elastik bir temel üzerine kurulu esnek bir kiriş şeklinde modellenmiştir. İlk modal frekans 2.87 Hz ve ilk modal sönüm oranı %1.6-2.6 olarak elde edilmiştir. Yapı-zemin etkileşimini hesaba alan yapısal analizler ilk modal frekanstaki düşüşün, sert bir temel üzerine kurulu olan benzer bir yapıyla kıyaslandığında, yaklaşık %70 olduğunu göstermiştir.

Ivanovic ve ark. 1994’de California’da çelik bir bina üzerinde zorlanmış titreşim testini uygulamışlardır. Binaya ait doğal titreşim frekanslarının ve mod şekillerinin araştırıldığı bu çalışmada yapıya ait modal frekans, sönüm oranı vb. dinamik karakteristikler tespit edilmiştir.

Dünyanın birçok yerinde de zorlanmış titreşim testleri yapılmıştır. Littler (1996), laboratuvar ortamında gerçek boyutlarda inşa edilmiş, dört katlı betonarme bir iskelette

bu testi uygulamıştır. Testler dolgu duvar ile doldurulan paneller yerleştirilmeden önce ve yerleştirildikten sonra yapılmıştır. Bu testlerin bir sonucu olarak dolgu duvar ile doldurulan panellerin, iskelet yapıların toplam sismik davranışı üzerinde çok önemli bir etkisinin olduğunu ortaya çıkarmıştır. Zabel ve Bucher (1996) iki hasarlı yapıyı, tarihi bir kilise kulesinin ve modern bir ikamet binasının, yapısal güvenliğini değerlendirmek için test etmiştir. Ayrıca Augenti ve Clemente (1996) Napoli'deki Yeni Adliye Sarayı'nın sismik güvenilirliğini kontrol etmek için test etmiştir. Yapılan deneyin ve analitik sonuçlarının karşılaştırması, yapısal olmayan elemanların modlara katkısının olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Takip eden yıllardaki teknolojik gelişmelerle, yapılara ivmeölçerleri sürekli olarak kurmak mümkün olmuştur. Bu nedenle, yapıların sismik çalışmaları başlatılmıştır. Bu çalışmaların başlıca hedefi, yapıların deprem yükü altındaki dinamik davranışlarını ve hasar potansiyelleri hakkındaki bilgiyi arttırmaktır. Sismik çalışmalardan elde edilen veriler yapıların sismik tepkisi hakkında daha iyi bir fikir oluşturmuştur. Bazı önemli yapılar deprem durumunda yapısal tepkiyi kaydetmek için araç olarak yapılmıştır. Çelebi ve ark. 1989'da, Loma Prieta depremi boyunca California'da bulunan Pacific Park Plaza Binasının on üçüncü katından elde edilen bir dizi ivme tepki kayıtları analizlerini sunmuştur.

ODTÜ 2002'de iki yapı üzerinde zorlanmış titreşim testini tekrarlamıştır. Titreşimler bir titreşim üretici ile sağlanmıştır. İlk test ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün iki katlı prefabrik betonarme Yapı Mekaniği Laboratuvarı yeni binasında, ikinci test ise MESA Yonca Evler Sitesi'nin dokuz katlı tünel kalıp binasında yapılmıştır. Titreşim üreticinin frekansı yapının doğal titreşim frekanslarını içeren bir aralıkta taranarak kararlı durum tepkileri kaydedilmiş ve frekans-tepki eğrileri elde edilmiştir. Frekans-tepki eğrileri; ivme, normalize ivme ve deplasman genlikleri cinsinden bulunmuştur. Test edilen binaların birinci doğal frekansları ve mod şekilleri elde edilmiştir. Temel titreşim frekansı prefabrike bina için 5,993 Hz ve tünel kalıp bina için 3,162 Hz olarak bulunmuştur. Elde edilen bu deneysel değerler serbest titreşim analizi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, yapısal özellikler veya analiz sonuçlarından bulunamayan modal sönüm oranları bulunmuştur.

Sortis ve ark. 2004'de İtalya 'da 2 katlı bir okul binasını test etmişlerdir. 1.kat yüksekliği 5.4 m, 2.kat yüksekliği 4.1 m ve plan boyutları yaklaşık 6 x 10 m olan bu

yapıda ilk üç modal frekans değerleri; 6.1 – 6.23 – 7.76 Hz, bu modal frekanslara ait sönüm oranları sırasıyla; %2.1, %2.2, %1.6 olarak bulunmuştur. Ayrıca bu test sonucunda yapıya ait mod şekilleri de tespit edilmiştir.

Düşük genlik testlerinden tespit edilen yapıların doğal periyotları ve deprem kayıtlarından alınanlar arasındaki farklar literatürde bildirilmiştir. Anderson ve ark. Loma Prieta Depremi için bu farkları gösteren bir inceleme yapmıştır. Büyük titreşimlere maruz kalan, yapısal hasarı olmayan 10 bina üzerinde bir inceleme yapılmıştır. Doğal periyotların uzamasını ortalamanın 1.5 katı kadar üzerinde hesaplamışlardır. Benzer bir inceleme Japonya’da 6.1 büyüklüğündeki bir deprem için yapılmıştır. Uzamayı ortalamanın 1.2 kat kadar üzerinde hesaplamışlardır. Anderson ve ark. nispeten düşük olan bu oranlar hakkında, daha küçük ve uzak bir depremin daha küçük titreşimlere sebep olduğu, ne yapısal ne de yapısal olmayan hasarların bu depremden kaynaklanmadığı sonucuna varmışlardır.

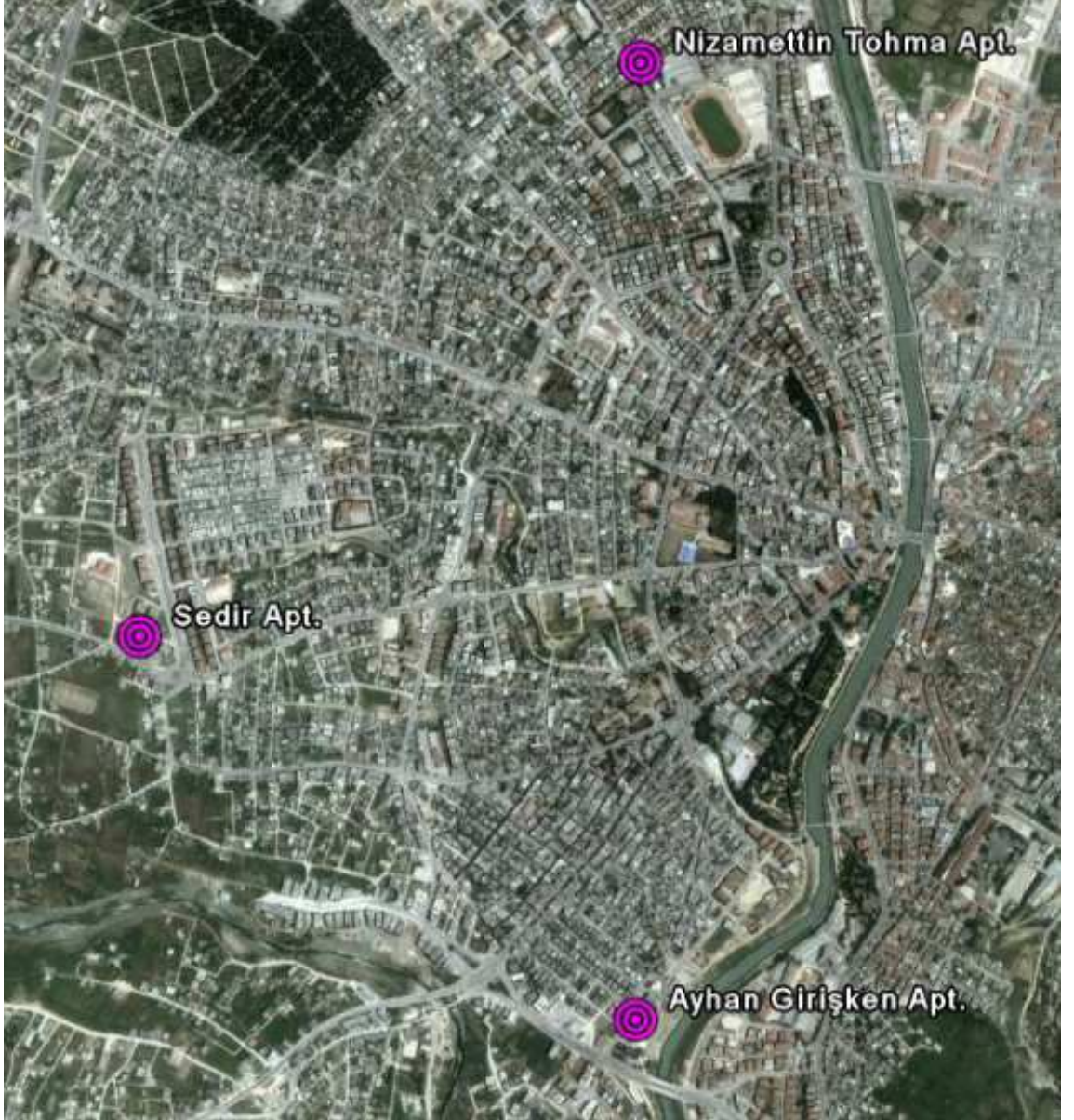
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Zorlanmış titreşim testi, sarsma cihazıyla üretilen titreşimlerin yapılardaki tepki mekanizmalarını kayıt altına alarak yapılarla ilgili bazı karakteristik bilgilere ulaşmak amacıyla yapılan çalışmadır. Salınım frekansından dolayı yapıda meydana gelen titreşimler sensörler aracılığıyla kayıt altına alınmaktadır. Testten elde edilen kayıtların bilgisayar ortamında analiz edilmesi sonucunda binaların doğal periyotları, mod şekilleri ve sönüm oranları bulunabilmektedir. Bu bölümde ilk olarak, tez çalışmasında teste tabi tutulan binaların seçiminde dikkat edilen temel kavramlar, testlerde kullanılan sarsma cihazları, test sonrasında elde edilen verilerin değerlendirilip binalara ait temel parametrelerin nasıl bulunduğu ve analitik ortamda bu binaların modelleme teknikleri hakkında bilgiler verilecektir.

3.1. Test Binalarının Belirlenmesi

Antakya (Hatay) ülkemizin 1.derece deprem riski taşıyan ve nüfus yoğunluğu açısından yapılaşmanın büyük önem arz ettiği bölgeler arasında yer almaktadır. Tarihi depremler sonrasında betonarme yapılardaki enkazlar sonucunda meydana gelen can kayıpları kentteki betonarme yapıların inşasında daha fazla özen gösterilmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Özellikle de eski tip yapıların belirli bir kural ya da denetim olmadan inşa edilmiş olmaları bu tehlikeyi daha da artırmaktadır. Dolayısıyla, mevcut betonarme yapıların güvenilirliğinin araştırılması ve bu yapıların temel karakteristiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. 106M420 ve 107M445 numaralı TÜBİTAK projeleri kapsamında Antakya kent merkezinde genel yapı stokunu temsil eden, iki tanesi yeni yönetmeliğe göre diğer 8 tanesi eski yönetmeliğe göre tasarlanmış ve inşa edilmiş olan 10 tane betonarme binada zolanmış titreşim testi uygulanmıştır. Binaların seçiminde kent merkezindeki orta katlı yapı stokunu temsil eden binaların seçilmesine dikkat edilmiş ve Antakya bölgesi içinden seçilen test binalarının çeşitli bölgelerde olmasına özen gösterilmiştir. Bu çalışmada, betonarme yapılara ait dinamik özelliklerin belirlenmesi ve yapılardaki dinamik parametrelerin uygulamada elde edilip edilmediği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu tez çalışmasında değerlendirilen üç betonarme yapıdan iki tanesi eski yönetmeliğe, bir tanesi de yeni yönetmeliğe göre inşa edilmiştir.

Test edilen üç binanın yerleri Şekil 3.1.'deki haritada işaretli olarak görülmektedir. Binalar seçilirken birbirlerine çok yakın olmamaları ve çeşitli bölgelerdeki farklı yapıları yansıtan bina olmaları tercih edilmiştir.



Şekil 3.1. Antakya'da test edilmek üzere seçilen binaların konumu

Birinci test binası olarak Armutlu Mahallesi'nde yer alan ve kaba inşaatı yeni bitirilen betonarme bir konut binası ele alınmıştır. 2007 Deprem yönetmeliğine göre projelendirilip inşa edilen bu yapı, tez içeriğinde Ayhan Girişken Apartmanı olarak adlandırılmıştır. Kent merkezindeki yeni inşa edilen yapı stokunun büyük bir kısmını

temsil eden bu yapı, 106M420 numaralı Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) projesi kapsamındaki binadır.

İkinci test binası Antakya Çekmece Beldesinde yer alan kent merkezindeki yapıların 556 adedini temsil eden eski bir betonarme yapı Sedir Apartmanı olarak adlandırılmıştır. Bu konut binasının depremler esnasındaki tepkileri, biri bina dışında, diğer üçü ise bina içinde konumlandırılan toplam dört adet ivmeölçer cihazları ile 2007 yılından itibaren inceleme altına alınmıştır. Binadaki ivmeölçer cihazlar TÜBİTAK 106M420 nolu proje kapsamında İsviçreli SYSCOM firmasından satın alınmıştır.

Üçüncü test binası olarak, Antakya Ayşe Fitnat Hanım Caddesinde yer alan ve kent merkezindeki betonarme binalardan yaklaşık olarak 74 adedini temsil edebilecek karakteristik özelliklere sahip bir konut binası olan Nizamettin Tohma Apartmanı seçilmiştir.

3.2. Test Kapsamında Kullanılan Sarsma Cihazları

Zorlanmış titreşim testleri, ilk test binasında ağır kütlelerle titreşim üreten, Kinematics firması tarafından üretilmiş olan bir sarsma cihazı ODTÜ'den temin edilmiş; diğer iki binada ise portatif özelliklere sahip ve Almanya'da özel olarak üretilmiş prototip bir sarsma cihazı ile testler gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, kullanılan sarsma cihazlarının teknik özelliklerinden, çalışma prensiplerinden, veri alma sistemlerinden, ivme ve hızölçerler ile ilgili ayrıntılı bilgi verilecektir. Farklı tipteki iki cihazın kullanıldığı bu çalışmada, ilk test binasında kullanılan titreşim üretici cihaz için 'Sarsma Cihazı-Tip1', diğer iki binada kullanılan cihaz için ise 'Sarsma Cihazı-Tip2' isimlendirmesi kullanılmıştır.

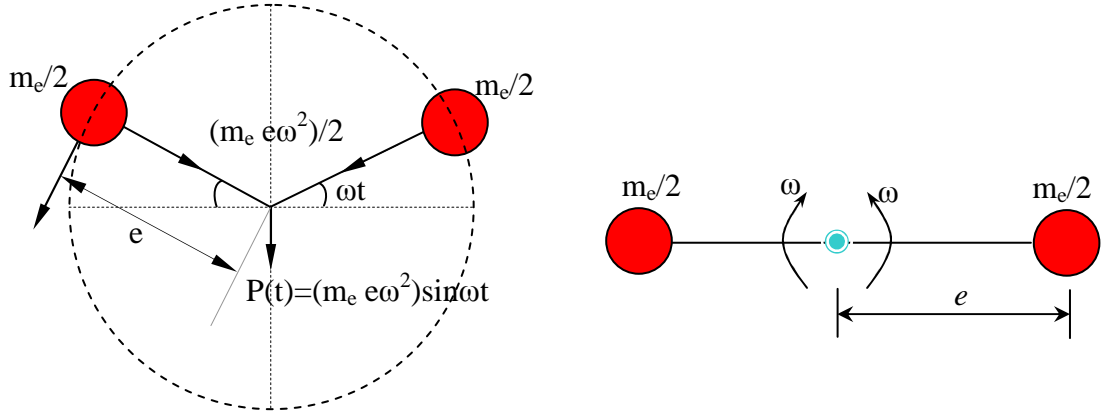
3.2.1. Sarsma Cihazlarının Tepki Mekanizmaları

Zorlanmış titreşim testi esnasında yapıya iletilen itme kuvvetinin arkasındaki teoriyi anlamak için tek serbestlik dereceli (SDF) sisteminin teorik sonuçlarının sunulması daha açıklayıcı olmaktadır. Titreşim üreticinin hazneleri-kolları değişken ağırlık yükleri ile yüklenerek, harmonik kuvvetten dolayı oluşacak maksimum genlik

elde edilmektedir. Her bir hazne-kol simetrik olarak aynı sayıda ağırlıklar ile yüklenmektedir. Bu nedenle dönen kütlelerin süre-durum kuvvetlerinin bileşenleri, salınım yönüne dikey olarak birbirlerinin kuvvetlerini dengelerler. Salınım yönündeki bileşenler denklem 3.1’de görülen sinüzoidal bir gücü üretirler.

$$p(t) = (m_e e \omega^2) \sin \omega t \quad (3.1)$$

Burada m_e haznelerdeki toplam kütle, e dışmerkezlik, ω salınım frekansı ve t zamanı göstermektedir. Maksimum genlik, iki yük haznesi aynı yönde aynı noktada birleştikleri anda elde edilir. Haznelere veya kollara yerleştirilen ağırlıkların miktarı arttıkça cihazın salınım frekansı azalmaktadır. Bu nedenle üretilebilecek maksimum frekans ağırlıksız durumda elde edilebilir. Titreşim üretici cihazlar tarafından üretilen harmonik kuvvetin şematik gösterimi Şekil 3.2.’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Titreşim üreticinin ürettiği harmonik kuvvetin şematiki

Dış merkezli kütle m_e 'nin, yapının kütlesine kıyasla küçük olduğu varsayılırsa, bir titreşim üretici tarafından harekete geçirilen bir SDF sistemini yöneten denklem, Denklem 3.2'dir.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = (m_e e \omega^2) \sin \omega t \quad (3.2)$$

Burada, \ddot{u} , \dot{u} , u , c , k sırasıyla ivme, hız, deplasman, viskoz sönüm katsayısı ve SDF sisteminin rijitlik matrisidir. Denklem 3.2'nin çözümünden, SDF sistemi için kararlı durumdaki ivmenin katsayısı;

$$\ddot{u}_0 = \frac{m_e e}{m} \omega^2 R_a = \frac{m_e e \omega_n^2}{m} \left[\frac{\omega}{\omega_n} \right]^2 R_a \quad (3.3)$$

olarak elde edilir. Burada ω_n SDF sisteminin doğal frekansı, ω herhangi bir salınım anındaki frekansı, ζ sönüm oranını ve R_a ivme tepki faktörünü gösterir. Denklem 3.3'den R_a çekilirse;

$$R_a = \frac{(\omega/\omega_n)^2}{\sqrt{(1 - (\omega/\omega_n)^2)^2 + (2\zeta(\omega/\omega_n))^2}} \quad (3.4)$$

elde edilir. Denklem 3.3'deki ivme genliği ifadesine göre, sistemin ω_n doğal frekanslarından daha büyük salınım frekansları için, ivme artan ω ile süratle artmakta olduğu görülmektedir. Çünkü, harekete geçiren kuvvetin genliği ω^2 ile orantılıdır. Ayrıca, salınım frekansı yapının doğal frekansına yakın olduğunda ivme genliklerinin çok yüksek değerler alacağı görülmektedir (Chopra, 1995).

3.2.2. Sarsma Cihazı-Tip1 İle İlgili Genel Bilgiler

VG-1 model titreşim üretici cihazlar, az ve çok katlı yapıların test edilmesine uygun, harmonik salınım kaynağı sağlamak için geliştirilmişlerdir. Bu tip cihazlar pasta dilimi biçimli iki hazneden oluşmuş, biri diğzerinin üzerine yerleştirilmiş ve her ikisi ortak dikey bir shafta bağlanmıştır (Şekil 3.3.). Harmonik kuvvet, değişen sayıda kurşun yükleri ile eşit olarak yüklenebilen ve birbirine göre ters yönde dönen ağırlıklı iki hazne tarafından üretilir. Bu kuvvet, titreşim üretcinin haznelerine yerleştirilen ağırlıkların aynı yönde birleşmeleri ile oluşan merkezkaç kuvveti vasıtasıyla yapıya iletilir. Titreşim üretcinin frekansı, yapının doğal frekanslarını içeren bir alanda seçilmesi ve sonra kayıt alınan her bir frekansta yapının kararlı durum tepkisinin kaydedilmesi, testte takip edilen temel usuldür. Zorlanmış titreşim testi olarak bilinen bu test, yapıların doğal frekanslarını, mod biçimlerini, modal sönüm kapasitelerini ve varsa yapı-zemin etkileşimi gibi dinamik niteliklerini belirlemek için uygulanır.



Şekil 3.3. Sarsma Cihazı-Tip1'in ön görüntüsü

3.2.3. Sarsma Cihazı-Tip1 İle İlgili Teknik Özellikler

Sarsma Cihazı-1'in, 0-9.7 Hz aralığında bir çalışma frekans alanı vardır ve maksimum 22 kN'lık genliği olan sinüzoidal kuvvet üretme kapasitesine sahiptir. Bu maksimum kuvvet yüklü ağırlığın ve çalışan frekansın farklı kombinasyonlarında elde edilebilir. Yani, maksimum frekans haznelere yerleştirilen ağırlıklara bağlıdır. Salınım frekansı kontrol ünitesinden cihaza verilen voltaj değeriyle ayarlanır. Kontrol ünitesinden verilen elektriksel kuvvet, titreşim üretici cihazın hareket etmesini ve belirli bir hızda dönmesini sağlamaktadır. Dönme hızı açısal frekans olarak karşımıza çıkmaktadır. Sarsma cihazı ve kontrol ünitesi Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.

Her bir ağırlık haznesi 180 kg kurşun ağırlığa kadar yüklenebilir. Her haznenin üç bölümü vardır. Yanlarda iki üçgen şeklinde ve merkezde bir dikdörtgen biçimindeki bölümlerden oluşur. Toplamda 16 büyük ağırlık ve 8 küçük ağırlık vardır. Büyük ağırlıklar üçgen biçimindedir ve yan bölümlere uyarlar. Küçük ağırlıklar ise dikdörtgen biçimindedir ve merkez bölümüne uyarlar. Her bir haznenin simetrik olarak yüklenmiş olması gerekmektedir. Her iki haznenin özdeş olarak, salınım yönüne dikey süre-durum kuvvetlerin bileşenlerinin birbirini dengeleyecek şekilde yüklenmesi gerekmektedir. Haznelere ağırlıkların yüklenmesi Şekil 3.5.'de gösterilmiştir



a)

b)

Şekil 3.4. a) Sarsma cihazı-Tip1, b) kontrol ünitesi



Şekil 3.5. Haznelere ağırlıkların yüklenmesi

Bu titreşim üretici maksimum 22 KN'lık genliği olan harmonik bir kuvvet üretmek için tasarlanmıştır. Makinenin işletilebileceği maksimum frekanslar her bir ağırlık kombinasyonu için Denklem 3.5 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Kuvvet = 4.537 \times 10^{-4} \times WR \times f^2 \quad (3.5)$$

Belirtilen yükleme durumları için cihazın üretebileceği maksimum frekansları Çizelge 3.1.'de gösterilmektedir. Her bir ağırlık kombinasyonu için Maksimum frekanslar Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Bu frekanslar bir alt durumdaki yükleme durumunun üretebileceği değere kadar inebilir. Örneğin; tam yüklenmiş haznelere

maksimum salınım frekansı 2.5 Hz ve boş haznelerle 9.7 Hz'dir. Titreşim üreticinin iç mekanizması Şekil 3.6.'da görülmektedir. Her bir ağırlık kombinasyonu için maksimum frekanslar Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Her bir ağırlık kombinasyonu için maksimum frekans (Hz) değerleri

Max Frekans (Hz)			Üçgen Ağırlıklar (Ü)				
			Ağırlık Adedi				
			Ü0	Ü1	Ü2	Ü3	Ü4
Dikdörtgen Ağırlıklar (D)	Ağırlık Adedi	D0	9.7	5.0	3.8	3.2	2.8
		D1	7.2	4.6	3.6	3.1	2.7
		D2	6.0	4.2	3.4	3.0	2.6
		D3	5.2	3.9	3.3	2.8	2.6
		D4	4.7	3.7	3.1	2.8	2.5



Şekil 3.6. Sarsma Cihazı-Tip1'in iç mekanizması

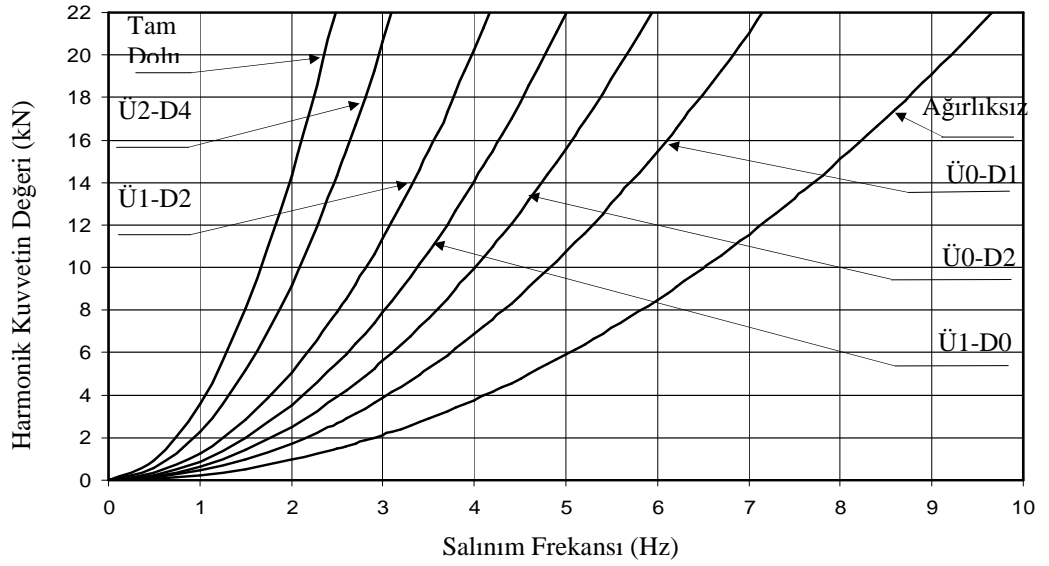
Titreşim üretici tarafından üretilen harmonik kuvvetin yönü, haznelerdeki ağırlıkların tek ekseninde aynı noktada birleştikleri yöndür. Bu yönün tayin edilmesi hazneleri bir merkez ekseninde döndürmeye çalışan zincirlerin, salınımın olması istenen yönde haznelerin üst üste durduğu anda bağlanması sonucu elde edilir.

Her bir ağırlık kombinasyonu için WR ağırlık-dışmerkezlilik değeri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. WR (lb-in) her bir ağırlık kombinasyonu için ağırlık-dış merkezlik değerleri

WR (lb-in)			Üçgen Ağırlıklar (Ü)				
			Ağırlık Adedi				
			Ü0	Ü1	Ü2	Ü3	Ü4
Dikdörtgen Ağırlıklar (D)	Ağırlık Adedi	D0	520	1935	3350	4765	6180
		D1	947	2362	3777	5192	6607
		D2	1374	2789	4204	5619	7034
		D3	1801	3216	4631	6046	7461
		D4	2228	3643	5058	6473	7888

Frekans Hz cinsinden salınım frekansını ifade etmekte olup, kuvvet ağırlık kombinasyonuna bağlı olarak maksimum 22 kN'luk değere ulaşabilmektedir. Salınım frekansına karşı harmonik kuvvetin değişim grafiği Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Sarsma Cihazı-Tip1'in salınım frekansına karşı harmonik kuvvetin değişim grafiği

3.2.4. Sarsma Cihazı-Tip1 İle Birlikte Kullanılan İvme Ölçerler

Testlerde, 12 adet ivmeölçer kullanılmıştır. Bu cihazlar, CMG-5 UNIAXIAL DC. -100 Hz +/-2g, Model No: CMG-U50-0001 tipindedir (Şekil 3.8.). Tek yönde kayıt alma özelliğine sahip olan sensörler kablo giriş doğrultusuna paralel şekilde titreşim kaydetmektedir.



Şekil 3.8. Sarsma Cihazı-Tip1 ile birlikte kullanılan ivme ölçer

3.2.5. Sarsma Cihazı-Tip2 İle İlgili Genel Bilgiler

Alman patentine sahip, prototip olarak üretilmiş titreşim üretici cihaz, az ve çok katlı yapıların test edilmesine uygun olarak harmonik salınım üretmek üzere geliştirilmiştir. Cihazlar titreşimi sağlayacak iki yük kolundan oluşmaktadır (Şekil 3.9.). Harmonik kuvvet, çeşitli çelik kütlelerin karşılıklı yüklenmesiyle birbirine karşı ters yönde hareket eden kollar tarafından üretilir. Bu kuvvet, titreşim üreticinin kollarının uçlarına yerleştirilen ağırlıkların aynı yönde birleşmeleri ile oluşan merkezkaç kuvveti vasıtasıyla yapıya iletilir. Titreşim üreticinin frekansı, yapının doğal frekanslarını içeren bir alanda seçilmesi ve sonra kayıt alınan her bir frekansta yapının kararlı durum tepkisinin kaydedilmesi, testte takip edilen temel usuldür. Zorlanmış titreşim testi olarak bilinen bu testin sonucunda elde edilen veriler yapıların dinamik niteliklerini temsil eden doğal frekansları, mod şekilleri, modal sönüm kapasiteleri ve varsa yapı-zemin etkileşimlerinin tespiti için kullanılır.



Şekil 3.9. Sarsma Cihazı-Tip2'nin çalışma esnasındaki görüntüsü

3.2.6. Sarsma Cihazı-Tip2 İle İlgili Teknik Özellikler

0.5-15 Hz frekans çalışma aralığına sahip olan bu cihaz sinüzoidal kuvvet üretme özelliğine sahiptir. Sarsma cihazının genişliği 500 mm, uzunluğu 800 mm ve yüksekliği ise 550 mm olup toplam ağırlığı 95 kg'dır. Dakikada dönüş sayısı, minimum salınım frekansında 30, maksimum salınım frekansında 900 devirdir (Şekil 3.10.).

Ağırlık konulmaksızın dönüş kollarından her birinin ağırlığı 1200 gr, kütlelerden birinin eklenmiş hali için bir dönüş kolunun ağırlığı 1860 gr, kütlelerin ikisinin eklenmiş hali için bir dönüş kolunun ağırlığı 2520 gr olmaktadır. Sarsma cihazı için 4 ayrı ağırlık parçası mevcuttur. Her parça, bir bölümü delikli diğer bölümü ise vidanın kavradığı kısım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Her bir sarsma kolu 3 delikten oluşmaktadır. Sarsma kolu üzerindeki deliklerin çapları, en dış delik için $r=205$ mm, ortasındaki için $r=175$ mm ve en içteki için $r=145$ mm'dir. Ağırlık olmaksızın sarsma cihazındaki maksimum dönüş sayısı; saniyede 10 devir veya dakikada 600 devir, ağırlıklardan biri karşılıklı eklendiğinde maksimum dönüş sayısı; saniyede 8 devir veya dakikada 480 devir, ağırlıkların tümü eklendiğinde maksimum dönüş sayısı; saniyede 6 devir veya dakikada 360 devir dönme hızına ulaşır. Kollara ağırlıkların yüklenmesi Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.



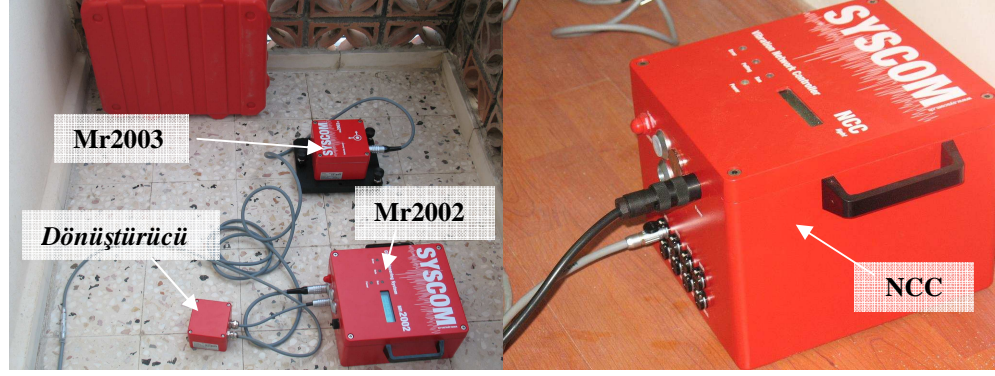
Şekil 3.10. a) Sarsma Cihazı-Tip2, b) Kontrol ünitesi



Şekil 3.11. Kollara ağırlıkların yüklenmesi

3.2.7. Sarsma Cihazı-Tip2 İle Birlikte Kullanılan Hız Ölçerler

Testlerde 6 adet hızölçer kullanılmıştır. SYSCOM marka bu cihazlar x, y, z olmak üzere üç eksenli kayıt alma özelliğine sahiptir. Hızölçerler toplamda dört ana parçadan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; NCC, MR2002, MR2003 ve Converter (dönüştürücü). Şekil 3.12.'den de görüldüğü gibi, MR2003; tabanında su terazili sehpa olan ve bulunduğu zemindeki titreşimleri kayıt altına alabilen bir cihazdır. MR2002 ise dönüştürücüden aldığı verileri NCC'ye aktarmaktadır. Tüm hızölçerler MR2002'de depoladıkları kayıtları nihai durumda NCC yardımıyla bilgisayar ortamına ulaştırırlar. MR2002 ve NCC arasına konan Converter, RS232 çıkışını NCC'nin sensör girişine dönüştürmektedir.



Şekil 3.12. Sarsma Cihazı-Tip2 ile birlikte kullanılan hızölçerler

3.3. Test İşlemleri

Zorlanmış titreşim testinde, bir titreşim üretici vasıtasıyla salınım sağlanır. Yapının harmonik salınıma tepkisinden doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranlarını bulmak mümkündür. Titreşim üretici, yapının kütle merkezinde yerleştirilir. Genellikle titreşim üretici en üst katlardan birine kurulmaktadır. Böylelikle yapının hakim moda ulaşabilmesi için gereken frekansa daha kolay erişilebilmektedir. Test düzeneklerinin kurulumu sırasında sırasıyla; binanın salınım yönü için titreşim üretici cihazın yönü ayarlanır, cihazın tabanının düzlüğü bir su terazisi ile kontrol edilir, sensörler montaj yüzeyine kurulur, seviyelenir ve istenilen doğrultuya yönlendirilir.

İlk test binasındaki zorlanmış titreşim testinde 12 adet tek kanallı sensör kullanılmıştır. Sensörlerin her biri ilgili kat döşemesinde uç noktalara gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Aynı yön üzerinde aynı aksta yer alacak şekilde ara katlarda karşılıklı yerleştirilen sensörler, ara kablolar vasıtasıyla verilerin toplandığı bilgisayara bağlanmıştır. Sensörler tek yönde voltaj olarak kayıt alabilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle sensörlerin kayıt alma yönü binanın salınım yönüne paralel olarak yerleştirilmiştir. Test başlangıcında binaya 0.5 Hz den başlayarak 0.5 Hz artımlarla 9 Hz e kadar kayıtlar alınıp, genliğin maksimum olduğu bölgede sıklaştırma yapılarak 0.1 Hz artımlarla, veriler 60 sn boyunca saniyede 200 veri alacak şekilde kaydedilmiştir. Binanın her iki yönü için bu işlemler tekrarlanmıştır. Genliğin maksimum olduğu bölge binanın hakim titreşim periyodunun olduğu bölgede, salınım frekansıyla binanın tepki frekansı çakışıp rezonans durumu meydana gelmektedir. Rezonans durumunda sensörler maksimum genlikte okuma yapmaktadır. Böylelikle binanın o yöndeki maksimum deplasmanı meydana gelmektedir. Bu test cihazıyla test edilen binalarda titreşimler

insanların hissedebileceği düzeyde oluşmaktadır. Rezonans bölgesindeki frekans değerinin üst ve altındaki değerlerde titreşimlerin hissedilebilmesi kuvvetleşmektedir. Test sırasında kayıt alınırken elde edilen tepki grafiği Şekil 3.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Test esnasında kayıt altına alınan ivme grafiğinden görüntü

İkinci ve üçüncü test binalarındaki zorlanmış titreşim testinde 6 adet üç kanallı sensör kullanılmıştır. Sensörlerin bir kısmı kat kenarlarında, diğer bir kısmı ise merkezde olacak şekilde yerleştirilmiştir. En üst katta köşelerde 2, ara katlarda merkezde ve köşelerde 3 ve zeminde merkezde 1 adet olarak yerleştirilen sensörler ara kablolarla verilerin bilgisayara aktarılmasını sağlayan NCC cihazına bağlanmıştır. Üst katta merkezde olacak şekilde yerleştirilen titreşim üretici cihazın montajı yapıldıktan sonra ara katlara yerleştirilen ve titreşimi kayıt altına alan sistemin kurulumu belli bir sıraya göre yapılmıştır.

- 1- Converter (dönüştürücü) MR2002 ' nin RS232 girişine bağlanır.



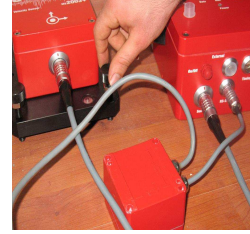
- 2- Converter ' in diğer kablosuna uzatma takılarak NCC kutusunda MR1 girişine bağlanır.



- 3- Hız ölçere (MR2003) bağlanan kablonun diğer ucu MR2002 kutusunun sensör girişine bağlanır.



- 4- MR2003 sensörü su terazisi yardımıyla dengelenerek yere monte edilir.



- 5- Tüm cihazlar Power girişinden ara kablolar ile topraklama yapılmış elektriğe bağlanır.



- 6- NCC kutusunun RS232 girişine ara kablo bağlanıp kablonun diğer ucu bilgisayara takılır.



Sarsma Cihazı Tip2 ile yapılan test esnasında, titreşim üreticinin frekansı önce 0.5 Hz'e ayarlanıp sonra da 0.5 Hz artırılarak maksimum salınım frekansı 15 Hz'e kadar kayıtlar alınmıştır. 0.5-15 Hz arasında kayıt altına alınan titreşim frekansının grafiğinden genliğin maksimum olduğu bölgede binanın hâkim titreşim frekansı elde edileceğinden sıklaştırma maksimum genlikli bölgede yapılmıştır. Genliğin en fazla olduğu bölgede alınan kayıtlar 0.1 Hz'lik artımlarla sıklaştırma yapılmıştır. Her salınım frekansı için 60 sn'lik kayıtlar alınmıştır. Her bir frekans kaydında titreşim üretici cihazın göstergesi ilgili frekansı gösterdikten birkaç saniye sonra veriler alınmaya başlanmıştır. Bundaki amaç, binanın salınım frekansına uygun hareket etmesini ve verilerin daha doğru alınmasını sağlamaktır. Sensörlerden bilgisayara aktarılan veriler saniyede 100 okuma alınacak şekilde ayarlanmıştır. Sensörlerden 0.02 sn artımlara karşılık gelen hız değerleri bu şekilde kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.14.).



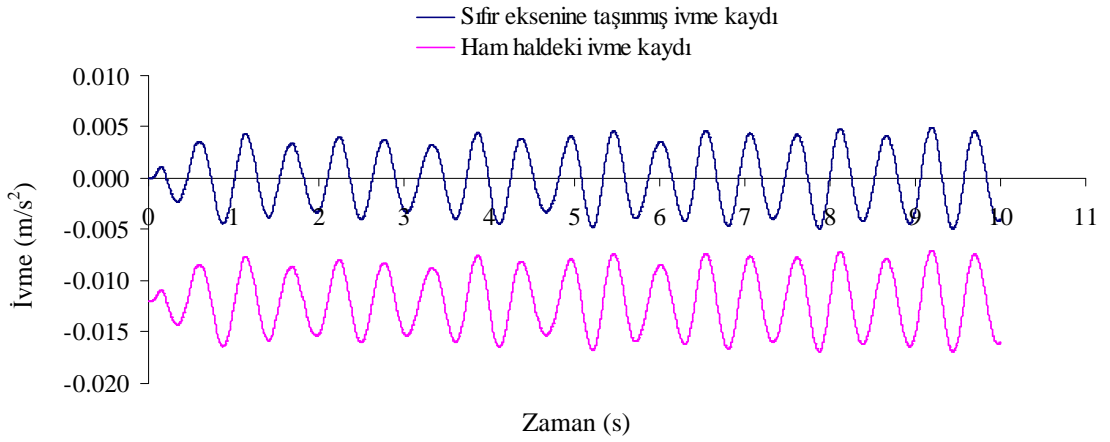
Şekil 3.14. Test sırasında kayıtların bilgisayara aktarılması

3.3.1. Verilerin Analizi

Kaydedilen işlenmemiş verilerin kullanılabilir olması için bazı düzeltmeler yapılmıştır. İlk olarak, verilerden elde edilen grafikler sıfır eksenine taşınmıştır. Ardından veriler uygun bilgisayar programlarında filtrelenerek verilerin FFT dönüşümleri yapılmış ve binaların modal frekansları, sönüm oranları ve mod şekilleri bulunmuştur.

3.3.2. Verilerin Sıfır Eksenine Taşınması

Kaydedilen verilerin ana eksenleri global eksene göre saparak sıfır ekseninin ($y=0$) altında veya üstünde olabilmektedir. Bu grafiğin sıfır eksenine taşınması için okunan değerlerin basit ortalaması alınarak elde edilen değer diğer tüm değerlerden mutlak değerce çıkarılır. Zaman sütunu yatay ekseninde, yeni değerler düşey ekseninde gösterilir. Amaç tüm okumalardaki grafik sapmalarını sıfır ekseninde göstererek sabit bir grafik formatı oluşturmaktır (Şekil 3.15.).



Şekil 3.15. Verilerin sıfır eksenine taşınması

3.3.3. Fourier Dönüşümü

Bir periyodik fonksiyon, belirli bazı koşulları sağladığı takdirde, harmonik fonksiyonlarla ifade edilebilir ve bunlara Fourier Serileri adı verilir. Fourier dönüşümü sinyallerin frekans içeriğini elde etmek için yapılır. Bu amaç için Hızlı Fourier Dönüşüm Algoritmasından yararlanır.

3.3.4. Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT)

Fourier Dönüşümü, bir fonksiyonu zaman uzayından frekans uzayına dönüştüren matematiksel bir uygulamadır. Hızlı Fourier dönüşümü örneklendirilmiş sinyallerden kullanılabilir bilgi çıkarmak için yaygın kullanılan bir methodur. Bu uygulamada aralıksız fonksiyonlar üzerinde çalışılır ve zamanın tüm değerleri "t" olarak tanımlanır. Yinede dijital sinyal işleme aralıksız sinyallerden ziyade zamanın düzenli aralıklarında örneklendirilmiş aralıklı sinyalleri içerir. Ayrıklaştırılmış Fourier Dönüşümü (DFT), fourier dönüşümünün üzerinde değişiklik yapılmış şekli, örneklendirilmiş sinyaller için kullanılır.

DFT tarafından belirlenen Sinüs ve Kosinüs çarpanları orijinal sinyalin her bir frekans bileşenlerinin genliklerini temsil eder. DFT uzun bir hesaplama süresi gerektirmektedir. Bu nedenle Cooley ve Tukey (1965) tarafından geliştirilen Hızlı

Fourier Dönüşümü (FFT) olarak adlandırılan, gerekli hesaplama süresini oldukça düşüren bir algoritma, DFT'nin örneklenmiş sinyalleri üzerinde çalışma yapmak için kullanılır.

Bir aralıksız değişkenin $f(t)$ fonksiyonu için Fourier dönüşümü $F(f)$;

$$F(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad (3.6)$$

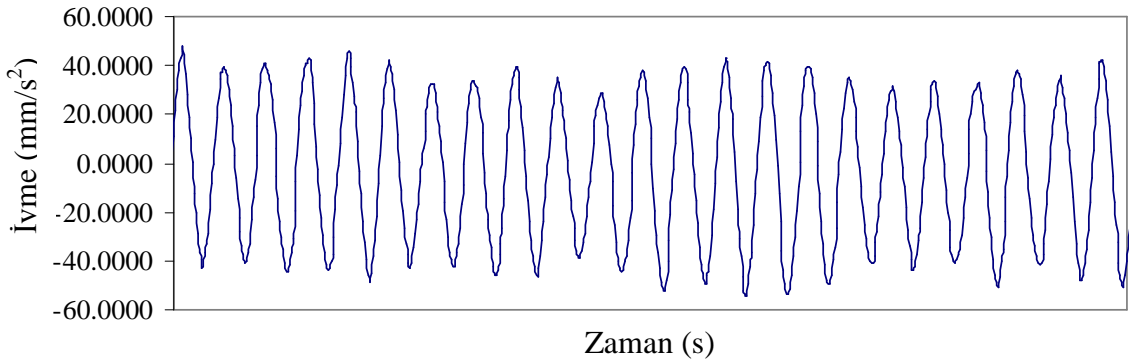
olarak tanımlanır. Denklem 3.6'ya ters dönüşüm uygulanırsa;

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(f) \cdot e^{j2\pi ft} df \quad (3.7)$$

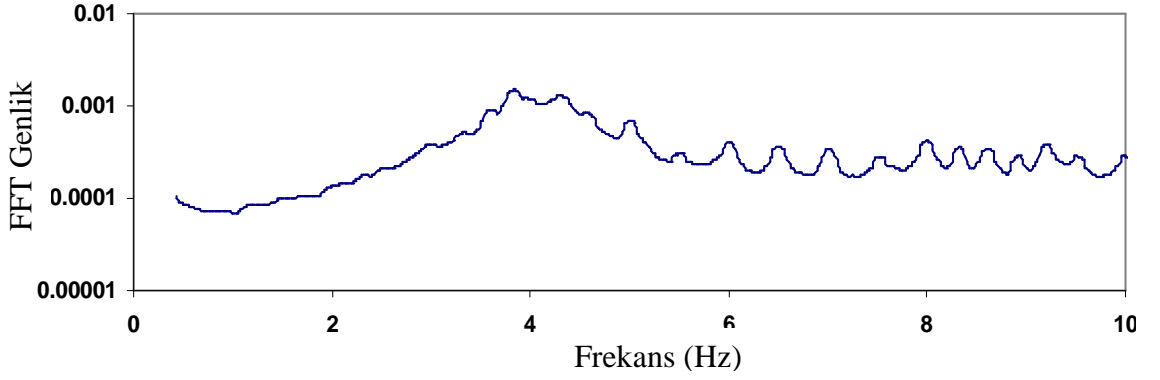
denklemini elde edilir.

3.3.5. Test Verilerinin Üzerinde FFT Uygulanması

FFT analizi kaydedilen verinin frekans içeriğini incelemek için yapılır. Sonuçlar kontrol ünitesinin sayacı üzerinde gösterilen salınım frekansının güvenilirliğini değerlendirmede kullanılacaktır. Sedir Apartmanında, salınım frekansı 3.8 Hz iken, çatı katındaki 1 numaralı sensörün x yönüne ait ivme kaydı Şekil 3.16'da, bu kaydın filtresiz FFT'si ise Şekil 3.17.'de görülmektedir.



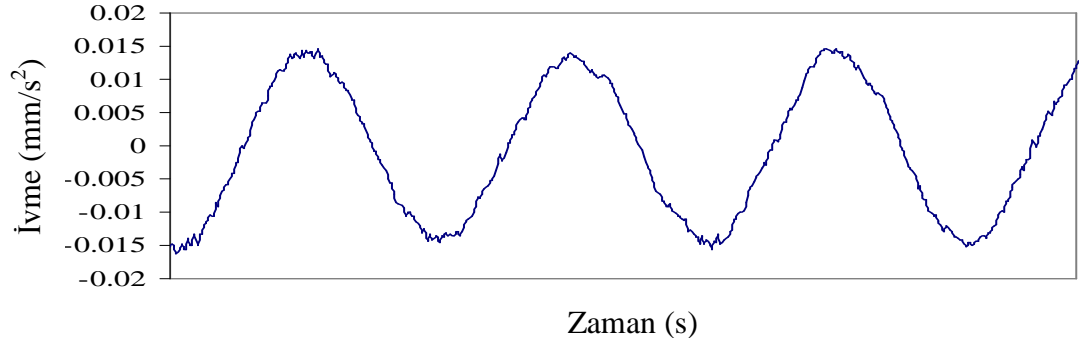
Şekil 3.16. Sedir apartmanı çatı katı 1 numaralı sensörün x yönündeki ivme kaydı



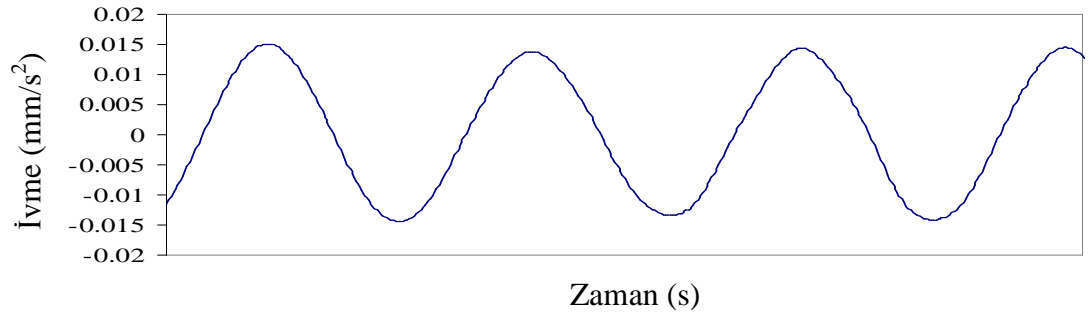
Şekil 3.17. Sedir apartmanı çatı katı 1 numaralı sensörün x yönündeki ivme kaydının FFT grafiği

3.3.6. Orta Düzeyli Dijital Filtre

Denklem 3.1’de de görüldüğü gibi titreşim üretici tarafından üretilen harmonik gücün genliği direk olarak salınım frekansının karesiyle doğru orantılıdır. Bu nedenle, ivme genlikleri yüksek frekanslarda büyüktür. Test esnasında çevreden gelen gürültünün kayıtları etkilemesi muhtemel olacağından sensörler tarafından alınan kayıtların belirli bir filtre aralığından geçmesi gerekmektedir. Veriler değerlendirilmeden önce, filtreleme işlemleri, birinci test binasında SeismoSignal, ikinci ve üçüncü test binasında ise View2002 programları kullanılarak filtreleme işlemleri yapılmıştır. Ayrıca yapılan filtreleme işlemleri MATLAB paket programı kullanılarak diğer iki programda elde edilen sonuçlar doğrulanmıştır. Filtreleme işlemleri, filtre işlemi uygulanacak olan kaydın frekansını kapsayacak şekilde en uygun aralıklarda yapılmıştır. Genel olarak, işleme alınan titreşim kaydının gürültü sinyallerinden ayıklanması amaçlanmıştır. Şekil 3.18, 19’da Sedir Apartmanı çatı katı sensörünün yapmış olduğu kayda ait tipik bir örnek verilmiştir. Bu veri salınım frekansı 3.8 Hz iken kaydedilmiştir. İlk şekilde verilerin ham şekli, ikincisinde ise 2-5 Hz aralığında orta düzeyli filtre ile filtrelenmiş grafikler görülmektedir.



Şekil 3.18. Sedir apartmanı çatı katı 1 numaralı sensörün x yönündeki ivme kaydının ham hali



Şekil 3.19. Sedir apartmanı çatı katı 1 numaralı sensörün x yönündeki ivme kaydının filtrelenmiş hali

3.3.7. Modal Frekanslar

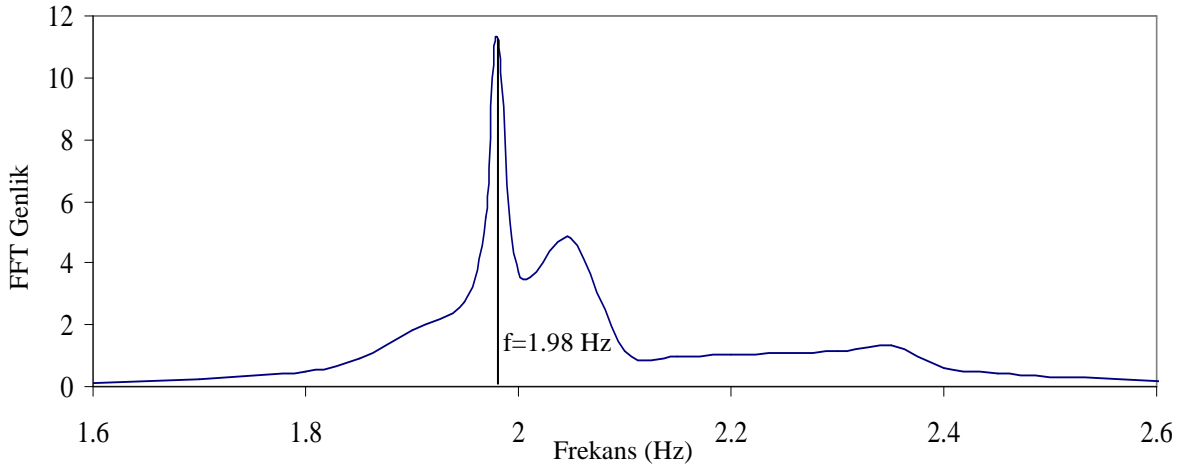
Titreşim üreticinin frekansı, yapının doğal frekanslarını kapsayan bir alanda uygulanmaktadır. Her uygulanan frekansta yapının kararlı durum tepkisi kullanılarak Frekans–Tepki eğrileri çizilmektedir. Yapının modal frekansını bulmak için test sonucundan elde edilen bu titreşim kayıtlarının, filtrelendikten sonra hızlı fourier transformu (FFT) alınır. Frekans-Fourier transformu verilerin sonlu sayıdaki sinüs eğrisinin genliklerini değiştirerek ve birbirine göre kaydırarak toplanması işlemidir.

Titreşim üreticinin uygulanan her bir frekansta yapının tepkisini kaydetmeden önce yapıya geçici kısmın sönümlenmesi için yeterli zaman verilmiştir. Daha sonra, yapının kararlı durum tepkisi 60 saniyelik bir süre için kaydedilmiştir. İlk test binasında sensörlerden alınan voltaj değerleri bilgisayar ortamında ‘txt’ formatına dönüştürülüp elde edilen değerler EXCEL paket programında öncelikle ivmeye, sonra da deplasman değerlerine dönüştürülmüştür. Bu işlemler sırasıyla; voltaj değerleri 2.800.000 değerine bölünerek ivme değerleri bulunmuştur. Bulunan değerler yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2)

ile çarpılarak gerçek ivme değerleri hesaplanmıştır. Son olarak, bulunan gerçek ivme değerleri frekans değerlerinin dördüncü kuvvetine bölünerek deplasman büyüklükleri hesaplanmıştır. İvmeler SeismoSignal programında filtrelendikten sonra Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanmıştır. Frekans, FFT genlik grafiklerinin pik noktaları, binanın o andaki salınımına ait modal frekansını göstermektedir (Chopra, 1995). Binanın salınım yönündeki hakim titreşim frekansı, her bir işletim frekansında FFT sonucunda bulunan pik noktaları belirlendikten sonra frekans değerlerini içeren Frekans-FFT genliği grafiğinden okunan pik noktaları elde edilerek bulunmuştur. Binanın salınım yönündeki hakim modu;

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.15)$$

Frekans değerinin matematiksel olarak çarpmaya göre tersine eşit olacaktır. Şekil 3.20’de Ayhan Girişken Binası üzerinde yapılan test sırasında kısa doğrultuda kayıt alınırken çatı katı sensöründen elde edilen Frekans-FFT eğrisi ve bu eğriden elde edilen modal frekans değeri gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi, kısa yöndeki etkin frekans 1.98 Hz’dir. Bu değer Denklem 3.15’e göre 0.5 s’lik periyoda denk gelmektedir.



Şekil 3.20. Ayhan Girişken Apt. çatı katındaki sensöre ait FFT Genlik-Frekans grafiği

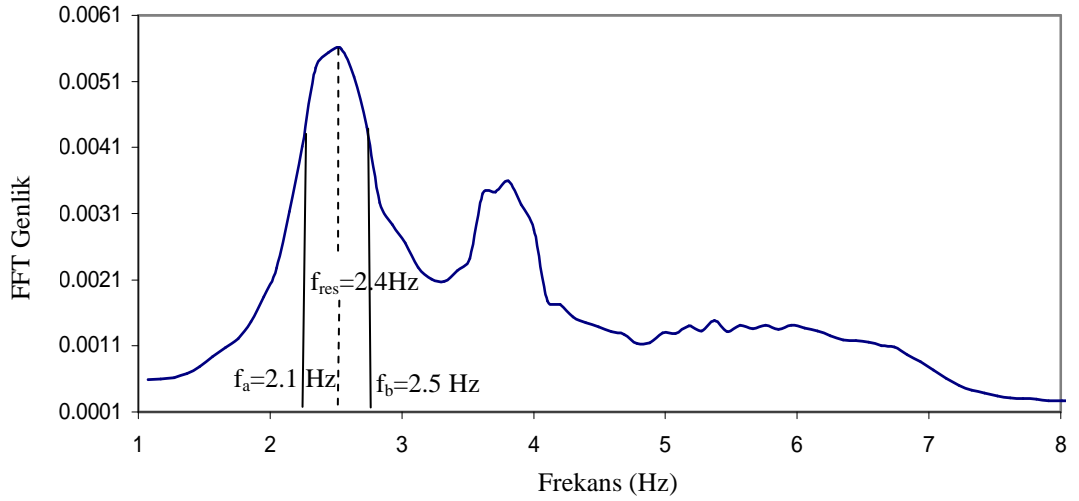
3.3.8. Sönüm Kapasiteleri

Zorlanmış titreşim testlerinin en önemli özelliklerinden biri sönüm kapasitelerinin belirlenebiliyor olmasıdır. Yapıların önemli bir özelliği olan, yapısal niteliklerinden

direkt olarak hesaplanamayan veya yapısal analiz sonucunda elde edilemeyen modal sönüm oranları her moda karşı gelen filtrelenmiş kayıtları kullanarak tayin edilebilmektedir. Sönüm non-lineer özellikli bir parametredir ve yapıya gelen deprem yükünün frekans karakteristikleri ve yapının deplasmanları ile değişmektedir. Sönüm oranı, ζ , denklem 3.16 kullanılarak elde edilmektedir (Rea ve ark, 1968).

$$\zeta = \frac{f_b - f_a}{2f_{res}} \quad (3.16)$$

Burada, f_a ve f_b maksimum noktanın olduğu değerin $\sqrt{2}$ değerine bölünerek pik noktanın iki tarafından elde edilen frekans değerleridir. Nizamettin Tohma Apartmanı üzerinde yapılan bir testten elde edilen tipik bir Frekans-FFT Genlik grafiğinden sönüm oranının değerlendirilmesi Şekil 3.21.'de görülmektedir. Örneğin bu grafikte denklem 3.16'nın uygulamasıyla sönüm oranı %8.33 elde edilmektedir.



Şekil 3.21. Nizamettin Tohma Apartmanına ait Sönüm Oranı grafiği

3.3.9. Mod Şekilleri

Mod şekilleri her bir titreşim frekansında ölçülen tepkilerden belirlenmektedir. Bir mod biçimini doğru olarak tanımlamak için gereken nokta sayısı, mod'a ve sistemdeki serbestlik derece sayılarına bağlıdır. Özellikle, çok katlı yapılar için daha yüksek modları doğru tanımlamak için gereken nokta sayısı genellikle mevcut ivmeölçer sayısını geçmektedir. Bu nedenle, normal prosedürde bir nokta sayısında kayıtlar alındıktan sonra, titreşimi durdurulur ve ivmeölçerleri yeni pozisyonlara çevirerek

yapıyı rezonansta titretmek gerekmektedir. Birinci test binasındaki sensörler tek yönde kayıt alabildiklerinden, cihazın salınım yaptığı yöne göre sensör yönleri de değiştirilmiştir. İkinci ve üçüncü test binalarında ise sensörler her iki yönde kayıt aldıklarından yerlerinin her defasında değiştirilmesine gerek kalmamıştır. Fakat her iki yönde sağlıklı sonuç alabilmek için, sensörler binaların her iki yönüne uygun şekilde yerleştirilmiştir. İlk test binasında cihazın yönünü ve sensörlerin yerlerini değiştirmek gerekirken, diğer binalarda cihazın salınım yönünü değiştirmek yeterli olmuştur. Salınım anında sensörlerde okunan değerlerden elde edilen deplasman değerleri, sensörlerin bulunduğu noktanın salınım frekansındaki deplasmanları vermektedir. Elde edilen bu deplasmanlar sonucunda, binanın her bir katının salınım frekansındaki konumları belirlenmiş olur. Bu çalışmada, dikkate alınan binaların kısa ve uzun yönde elde edilen mod şekilleri ETABS programında elde edilen mod şekilleri ile karşılaştırılmıştır.

3.4. Yapıların ETABS Yapı Analiz Programı ile Modellenmesi

Bu tez çalışmasında incelenen binalar, CSI firması tarafından geliştirilen ETABS (8. Versiyon, 2004) yaygın bir kullanıma sahip olan yapı analizi paket programı ile modellenmiştir.

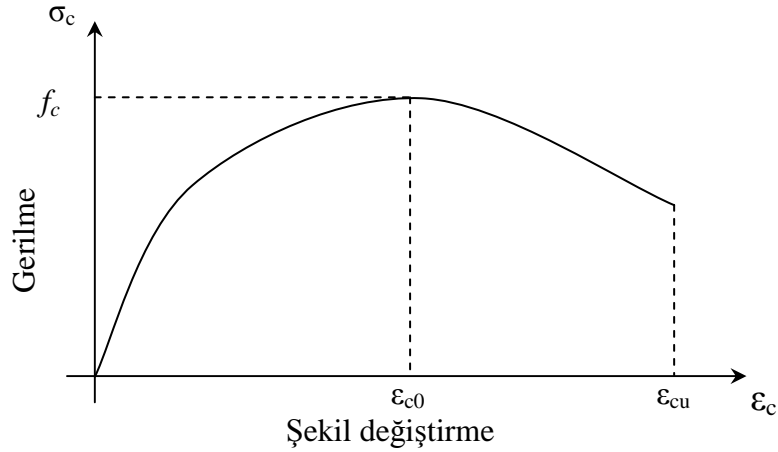
Yapıların ETABS paket programı ile modellenmesinde şu işlem sırası izlenmiştir. Önce binanın projesine uygun bir şekilde 3 boyutlu (3D) taslak oluşturulmuştur. Daha sonra yapıda kullanılan yapı malzemeleri tanımlanmıştır. Ardından binadaki kiriş, kolon, döşeme, perde, merdiven ve dolgu duvar gibi elemanların kesitleri çizilip projeye uygun olarak 3 boyutlu taslağa atanmıştır. Kolonlar frame, perdeler shell eleman olarak modellenmiştir. Dolgu duvarlar tam dolu ve boşlukların eşdeğer sanal çubuk davranışını engellemediği kabul edilerek çerçeve içinde modele yansıtılmıştır. Yakın zamanlara kadar deprem analizlerinde hesaplara dahil edilmeyen dolgu duvarların etkisi ve önemi literatürde görülmektedir. Bu nedenle güncel deprem yönetmeliğimiz DBYBHY-2007’de Bilgilendirme Eki 7F.’de “Dolgu Duvarların Güçlendirilmesi için Yöntemler” başlığı altında ele alınmıştır. Bu tez çalışması kapsamında da dolgu duvar etkisi, yapı hâkim titreşim periyotlarının belirlenmesi için DBYBHY-2007’de de önerilmiş olan “Eşdeğer Basınç Çubuğu” yöntemi kullanılarak dikkate alınmıştır. Modelleme bittikten

sonra yapı analiz edilerek taşıyıcı sistemin mod şekilleri ve yapının doğal periyotları bulunmuştur.

3.5. Beton Malzemesinin ve Betonarme Çeliğinin Yapısal Özellikleri

3.5.1. Beton Malzemesinin Yapısal Özellikleri

Beton, içerisinde su, çimento, agrega ve katkı maddelerinin bulunduğu yüksek mukavemetli bir yapı malzemesidir. Betonun basınç dayanımı yüksek olmasına karşın çekme dayanımı ihmal edilebilecek düzeydedir. Betonun çekme dayanımındaki zaafını gidermek amacıyla içine yüksek çekme dayanımına sahip çelik çubuklar yerleştirilerek betonarme dediğimiz kompozit bir yapı malzemesi oluşturulmuştur. Basınca maruz kalan yatay bir betonarme çubuğun gerilme-şekil değiştirme eğrisi genel olarak Şekil 3.22.'de gösterildiği gibi kabul edilir.



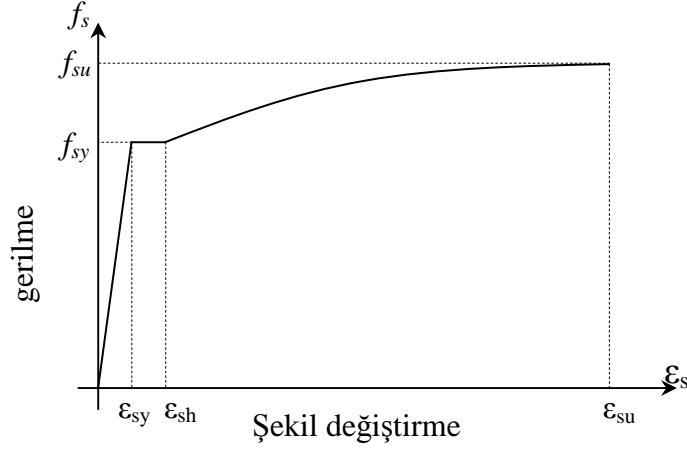
Şekil 3.22. Betonarme çubuk elemanlardaki genel Gerilme – Şekil değiştirme grafiği

3.5.2. Betonarme Çeliği

Yapıların bilgisayar modellemesinde, betonarme çeliğinin elastisite modülü $2 \cdot 10^5$ MPa olarak alınmıştır. DBYBHY-2007'deki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 3.23.'de verilmiş, temel bazı sınır değerleri Çizelge 3.3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. S220 ve S420 donatıları için sınır değerler

Kalite	f_{sy} (MPa)	f_{su} (MPa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}
S220	220	275	0.0011	0.011	0.16
S420	420	550	0.0021	0.008	0.10

**Şekil 3.23.** DBYBHY-2007'ye göre donatı çeliklerinin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği

Burada, f_{sy} donatının akma dayanımını, f_{su} kopma dayanımını, ϵ_{sy} akma birim şekil değiştirmesini, ϵ_{sh} pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmeyi ve ϵ_{su} kopma birim şekil değiştirmesini göstermektedir.

3.6. Dolgu Duvarların Modellenmesi

Yapıların depreme karşı dayanımlarının hesaplanmasında dolgu duvarların etkisi, geçen yüzyılın ortalarından itibaren incelenmeye başlanmış bir konudur. Günümüzde dahi birçok tasarım yönetmeliğinde ve yapı analizi programlarında tuğla dolgu duvarların yapıya sadece sabit bir yük olarak etki ettiği, yapısal davranışa katkıda bulunmadığı kabul edilmektedir. Buna rağmen dolgu duvarların kolonlar arasında teşkil edilerek çerçeve doğrultusundaki yatay deplasmanları kısmen de olsa kısıtladığı; taşıyıcı sistemin sismik davranışına, modal periyotlarına, mod şekillerine ve yatay yük taşıma kapasitesini etkilediği tespit edilmiştir (Polyakov, 1956; Negro ve Verzeletti, 1996).

Tuğla duvarların çok katlı yapılardaki etkisinin oldukça karmaşık olması nedeniyle tamamen güvenilir bir modelleme yönteminin geliştirilebildiği söylenemez.

Yine de, konu hakkında yapılan çalışmalarda dolgu duvarların buldukları çerçeveye diyagonal basınç çubuğu davranışı ile katkıda bulunduğu, çerçeve ve dolgu duvar arasında oluşan gerilmelerin homojen olarak dağılmış olmaktan ziyade uç noktalarındaki basınç bölgesinde yoğunluk göstermektedir (Alakoç, 1999). (Şekil 3.24.). Günümüzdeki pek çok çalışmada “Eşdeğer Sanal Basınç Çubukları Yöntemi” pratik bir metot olarak kullanılmaktadır.

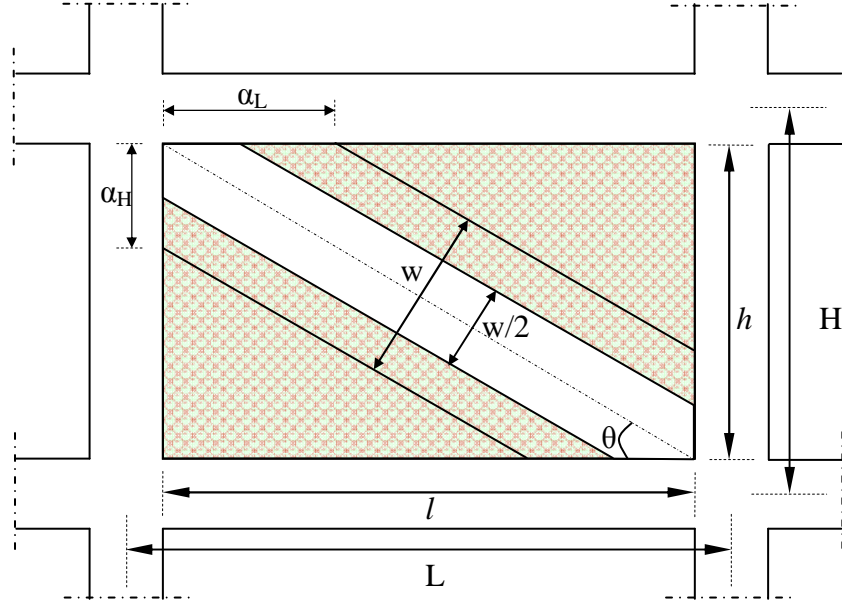
Bu yöntemde, eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı duvarın kalınlığına (t) eşit alınırken, çubuğun genişliği (w) tespit edilmeye çalışılmaktadır. Şekil 3.24.’deki α_H ve α_L , sırasıyla eşdeğer sanal basınç çubuğunun kolonlarla ve kirişlerle yaptığı temasın uzunluğunun fonksiyonlarıdır. Basınç gerilmelerinin bu temas yüzeyinin üzerinde olduğu kabul edilebilir. Konu üstünde yapılan çalışmalarda eşdeğer çubuğun kalınlığı ve elastisite modülü duvarın değerleri ile aynı alınmış, w duvar genişliği için aşağıdaki bağıntılar önerilmiştir (Mainstone 1970; 1971).

$$w_{duvar} = 0.175 \cdot (\lambda \cdot H)^{-0.4} \sqrt{h^2 + l^2} \quad (3.17)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_{duvar} \cdot t_{duvar} \cdot \sin 2\theta}{4 \cdot E_{çerçeve} \cdot I_{kolon} \cdot h}} \quad (3.18)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{l}\right) \quad (3.19)$$

Burada, w_{duvar} eşdeğer sanal basınç çubuğunun genişliği, λ eşdeğer basınç çubuğu katsayısı, H kolonun boyu, L çerçevenin açıklığı, h duvarın boyu, l duvarın genişliği, E_{duvar} dolgu duvarın Elastisite modülü, $E_{çerçeve}$ çerçeve malzemesinin Elastisite modülü, t_{duvar} duvarın kalınlığı, I_{kolon} çerçeveyi oluşturan kolonlardan duvar doğrultusundaki kesiti küçük olanının atalet momenti, θ ise eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açıdır. Eşdeğer sanal basınç çubukları teşkil edilecekleri çerçeveye, yapı modeline uygulanacak deprem yönünde basınç kuvveti alacak şekilde çapraz olarak yerleştirilir.



Şekil 3.24. Tuğla dolgu duvarın eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesi

DBYBHY-2007'nin yapılardaki dolgu duvarların modellenmesi hakkındaki yaklaşım ve önerileri yönetmeliğin Bilgilendirme Eki 7F. Dolgu Duvarların Güçlendirilmesi İçin Yöntemler başlıklı bölümünde açıklanmış olup genel olarak eşdeğer sanal basınç çubukları yöntemini esas aldığı söylenebilir. Ayrıca ilgili bölümde dolgu duvarın modelleneceği çerçevelerin iki koşulu sağlaması öngörülmüştür.

1. Yapı modelinde betonarme çerçeve içinde düzenlenmiş ve köşegen uzunluğunun kalınlığına oranı 30'dan küçük olan dolgu duvarlar göz önüne alınacaktır.
2. Duvar yüzey alanına oranı %10'u geçmeyen boşlukların bulunduğu duvarların yapı modeline katılmasına, boşlukların konumu köşegen basınç çubuğu oluşumunu engellememesi koşuluyla izin verilebilir.

Hesaplamlarda tuğla yoğunluğu için 1300 kg/m^3 (TS ISO 1994, 1997), tuğla Elastisite modülü için 1000 MPa (DBYBHY, 2007) değeri alınmıştır. Tuğla yoğunluğunun belirlenmesinde modellenen yapılarda genel olarak delikli tuğla kullanıldığı kabul edilmiş; ilgili yönetmelikte verilen $1150 - 1450 \text{ kg/m}^3$ aralığının ortalaması alınarak 1300 kg/m^3 değerine ulaşılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde zorlanmış titreşim testine tabi tutulan binalar ve elde edilen test sonuçlarından bahsedilmiştir. Yapılan test sonucunda yapıların temel dinamik karakteristiklerini ifade eden modal frekanslar, sönüm oranları ve mod şekilleri elde edilmiştir. Ayrıca, bu binalar ETABS yapı analiz programında analiz edilerek elde edilen sonuçlar testte elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

4.1. Zorlanmış Titreşim Testi Uygulanan Binaların Test Sonuçları

Birinci test binası 'Sarsma Cihazı-Tip1' ile test edilmiştir. Ağır kütlelerden oluşan bu cihaz, yapıda hissedilebilir derecede titreşim oluşturmaktadır. Bu cihazın yapıda oluşturduğu titreşimler ivmeölçerler yardımıyla kayıt altına alınmıştır. İkinci ve üçüncü test binaları 'Sarsma Cihazı-Tip2' ile test edilmiştir. Ağır olmayan kütlelerden oluşan bu cihaz, yapıda hissedilmesi güç titreşimler oluşturmaktadır. Bu cihazın yapıda oluşturduğu titreşimler hızölçerler yardımıyla kayıt altına alınmıştır.

4.1.1. Birinci Test Binası Ayhan Girişken Apartmanı Test Sonuçları

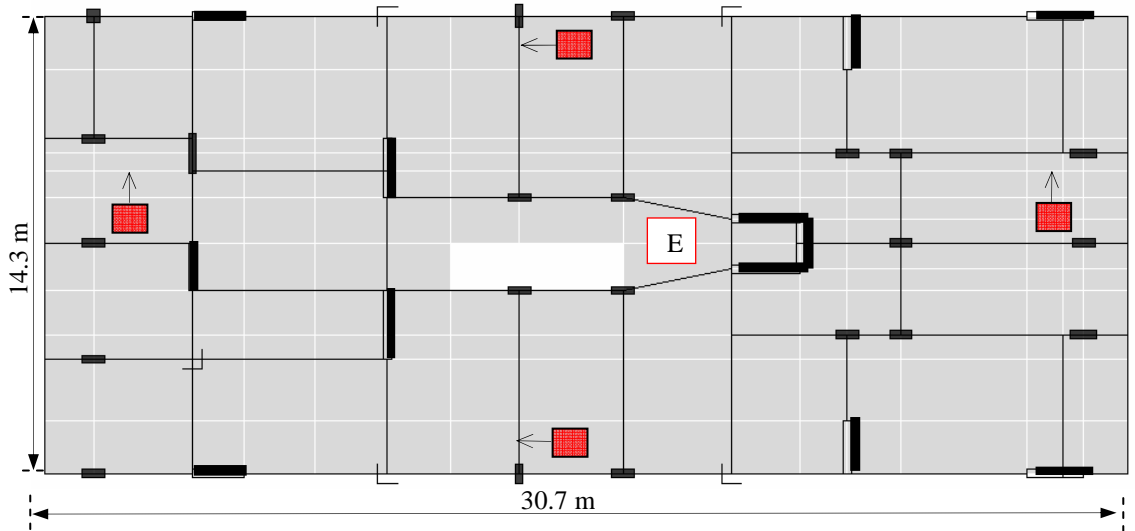
Antakya kent merkezindeki orta katlı betonarme yapı stokunun büyük bir kesimini temsil eden, 106M420 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamındaki ilk test binası olan Ayhan Girişken Apartmanı, Akdeniz Mahallesi'nde bulunan (Zemin + 6 Kat) betonarme bir yapıdır. Plandaki boyutları 30.70 m x 14.30 m olup binanın toplam yüksekliği 22.9 m, zemin kotundan olan yüksekliği ise 20.30 m'dir. Bodrum kat yüksekliği 2.6 m, zemin kat ve 6 kat yüksekliği 2.9 m, çatı katı ise 2.7 m'dir. Testte kullanılacak olan titreşim üretici cihaz, özel kiralanan vinç yardımıyla binaya taşınabilmiştir. Cihaz tavan döşemesi üzerinde yapının kütle merkezine denk gelen merdiven sahanlığına yerleştirilmiştir (Şekil 4.1.).

Seçilen bina 2007 TDY'ye göre tasarlanmış perde ve çerçeveden oluşmaktadır. Taşıyıcı tüm elemanları betonarme, duvarları tuğladan oluşan yapı planda uzun yönde simetriktir.

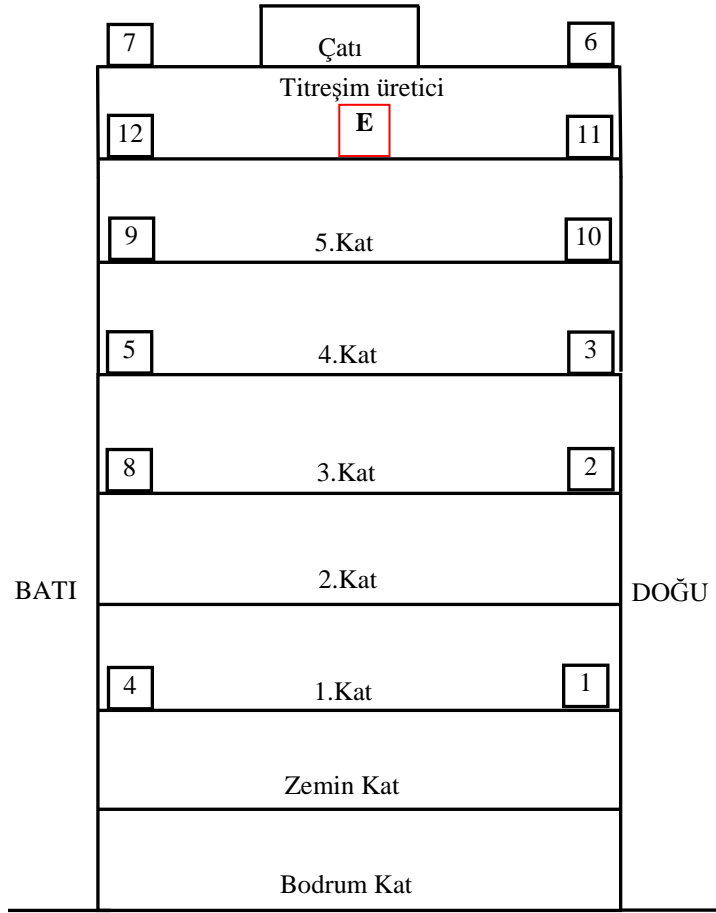


Şekil 4.1. Ayhan Girişken Apartmanı'nın ön görüntüsü

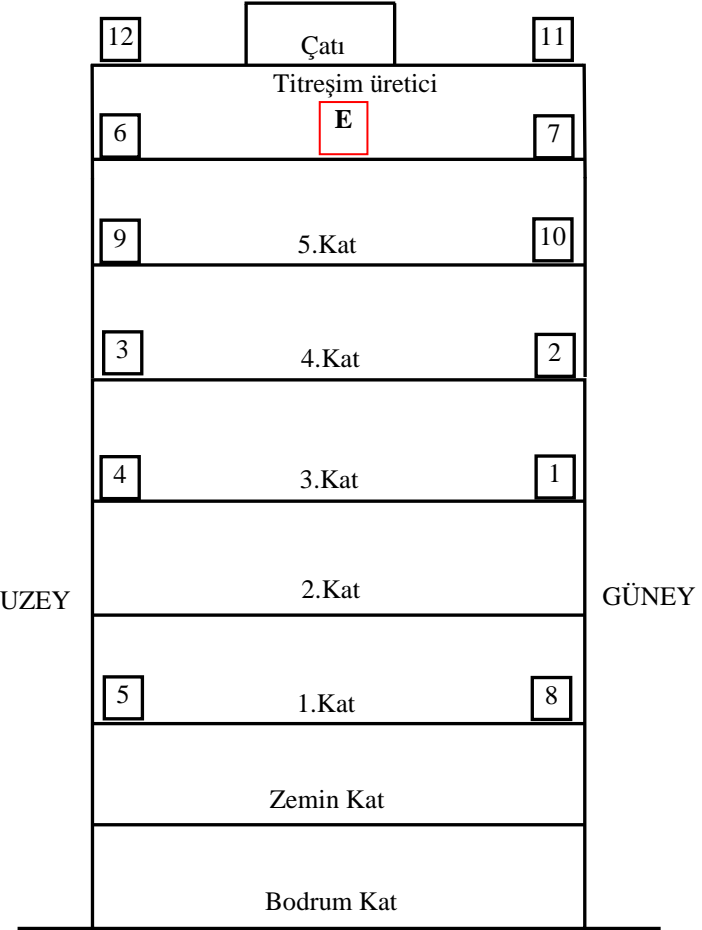
. Şekil 4.2.'de planı görülen yapıda sensörler merkezden olabildiğince uzağa yerleştirilmeye çalışılmıştır. Toplam 12 adet sensörün kullanıldığı teste kısa ve uzun yöndeki sensörlerin kesit olarak dağılımı Şekil 4.3.a,b'de gösterilmiştir. Uzun doğrultuda sensör bağlantı kablolarının sınırlı uzunlukta olmasından dolayı sensörleri en dış akstan bir miktar içeriye doğru çekmek gerekmiştir. Tüm sensörlerin düşey ve yatayda aynı aks üzerinde olmasına dikkat edilmiştir. Binanın kat adedi sensör adedinden daha fazla olduğundan tüm katlara sensör yerleştirmek mümkün olmamıştır. En üst katta en az iki adet olmak üzere geri kalan sensörler ara katlara yerleştirilmiştir (Şekil 4.3. a, b).



Şekil 4.2. Ayhan Girişken Apartmanı sensör yerleşim planı



a)



b)

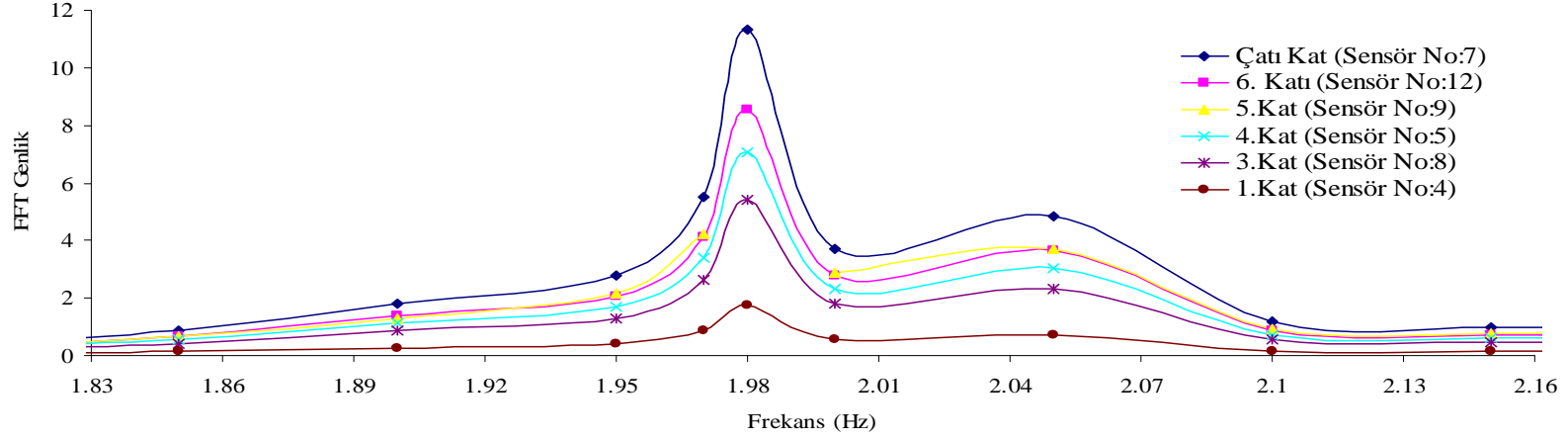
Şekil 4.3. a) Kısa yönde katlar arası sensör dağılımı, b) Uzun yönde katlar arası sensör dağılımı

4.1.1.1. Kısa ve Uzun Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar

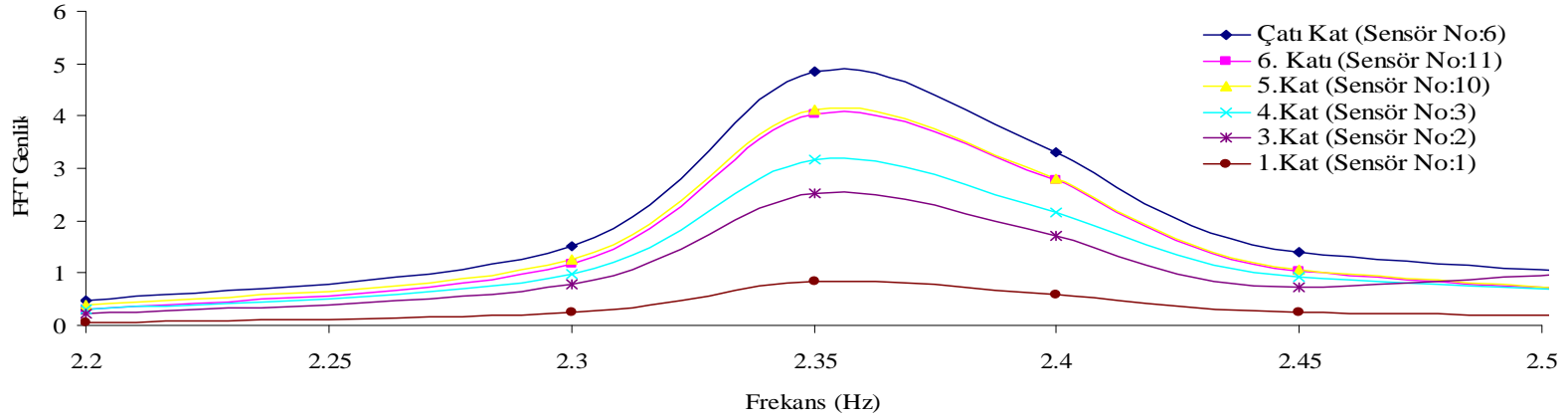
Kısa doğrultuda kayıt alınırken ilk olarak, 0-4 Hz arası 0.5 Hz artımlarla titreşim frekansı uygulanmıştır. Ardından genliğin maksimum olduğu bölge olan 1.5-2.5 Hz aralığında sıklaştırma yapılmıştır. Sensörlerden alınan voltaj değerleri Excel programında düzenlenerek ivme ve deplasman formatına dönüştürülmüştür. Elde edilen ivme grafikleri, SeismoSignal programında filtrelemeye tabi tutularak FFT-Frekans grafikleri elde edilmiştir. Bütün sensörlerin bütün frekansları için bu işlem tekrarlanmıştır. Her bir sensörün tüm frekanslardaki FFT genliği bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Sonuçta tüm sensörlerin frekansa karşılık FFT genlik grafikleri oluşturulmuştur. Kısa doğrultuda doğu sensörlerinin grafikleri Şekil 4.4.'de verilmiştir. Bu grafikler aynı çizelgede gösterildiğinde görülmektedir. 1.98 Hz ve 2.35 Hz noktalarında pik değerler elde edilmiştir. Buda genel olarak kısa doğrultuda hâkim titreşim frekansının 1.98 Hz olduğunu diğer pik frekans değeri ise kısa yöndeki ikinci hakim titreşim frekansının etkisi olduğunu göstermektedir. Şekil 4.5.'de kısa doğrultuda batı yönündeki sensörlerin grafikleri sunulmuştur.

Uzun doğrultuda 0'dan 4 Hz'e kadar 0.5 Hz artımlarla titreşim frekansı uygulanmıştır. Ardından genliğin maksimum olduğu 2.3-2.5 Hz aralığında sıklaştırma yapılmıştır. Uzun doğrultu için kısa doğrultuda verilerinin işlenmesinde kullanılan yöntem benzer şekilde işlem yapılmıştır. Şekil 4.6.'de uzun doğrultuda kuzey yönü sensörlerinin grafikleri verilmiştir. Bu grafikler aynı çizelgede gösterildiğinde, 2.4 Hz'de pik elde edilmiştir. Bu da genel olarak uzun doğrultuda hakim titreşim frekansının 2.4 Hz olduğunu görülür. Şekil 4.7.'de uzun doğrultuda güney yönündeki sensörlerin grafikleri verilmiştir.

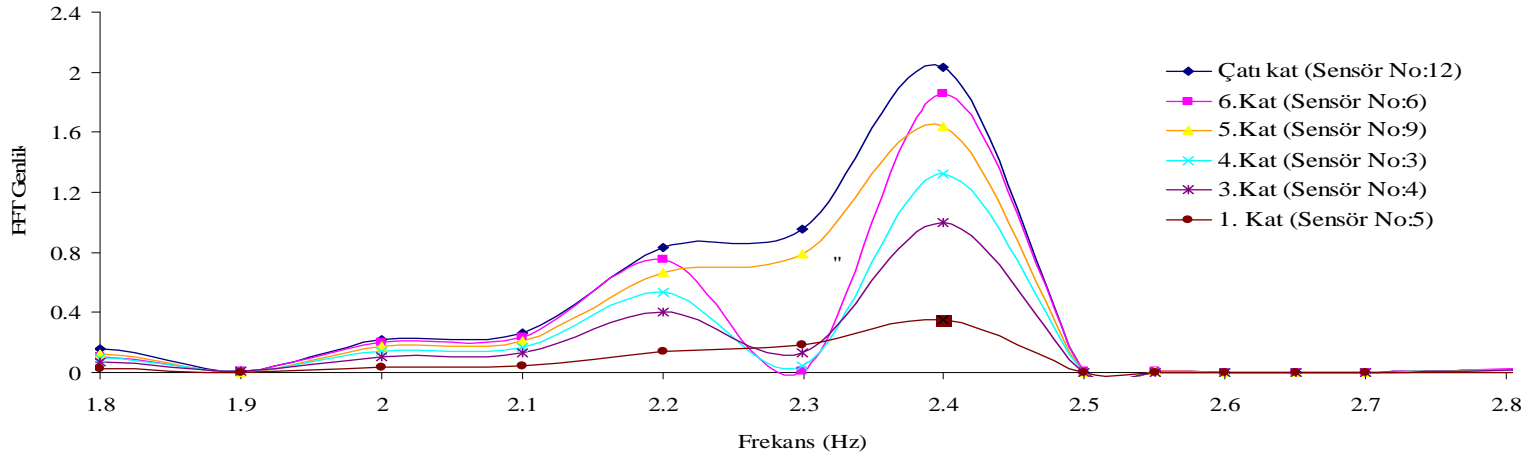
Binanın sönüm oranı genel olarak, kısa yönde kayıt alan sensörlerin FFT-Frekans eğrilerinden elde edilen sönümlerin ortalamasından bulunmaktadır. Şekil 4.9.'da kısa doğrultu ve Şekil 4.10.'da uzun doğrultudaki çatı kat sensörüne ait sönüm değerini veren grafikler gösterilmiştir. Bu grafikten Denklem 3.16'ya göre hesaplama yapıldığında sönüm oranı kısa doğrultuda % 1.4, uzun doğrultuda ise %2 olarak bulunmuştur.



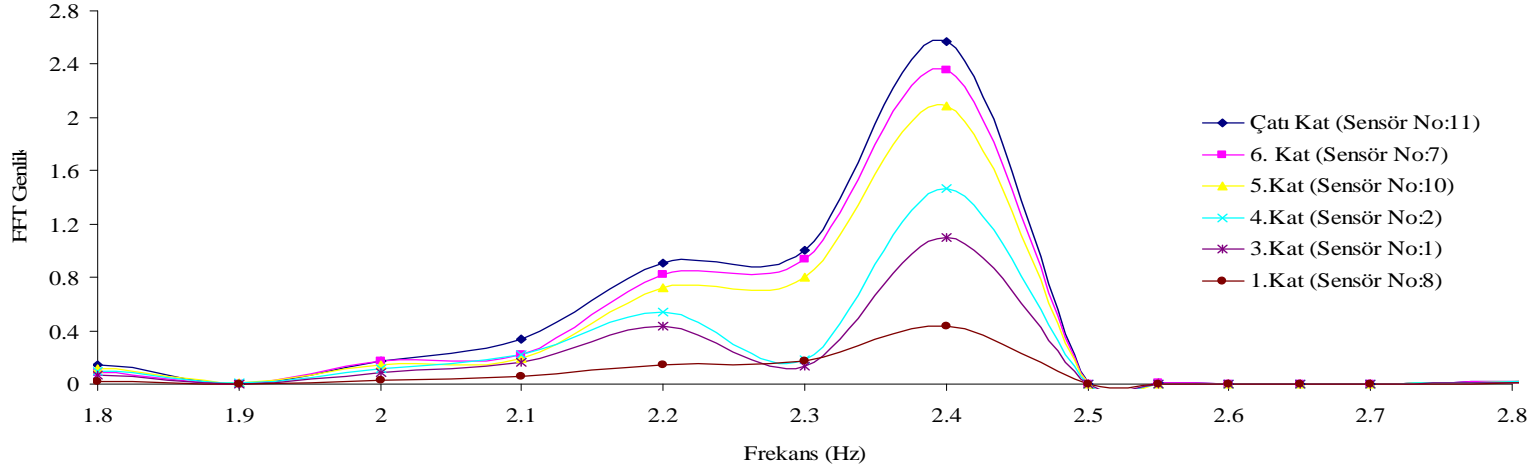
Şekil 4.4. Frekans-FFT Genliği, kısa doğrultu, doğu yönü (7-12-9-5-8-4)



Şekil 4.5. Frekans-FFT Genliği, kısa doğrultu, batı yönü (6-11-10-3-2-1)

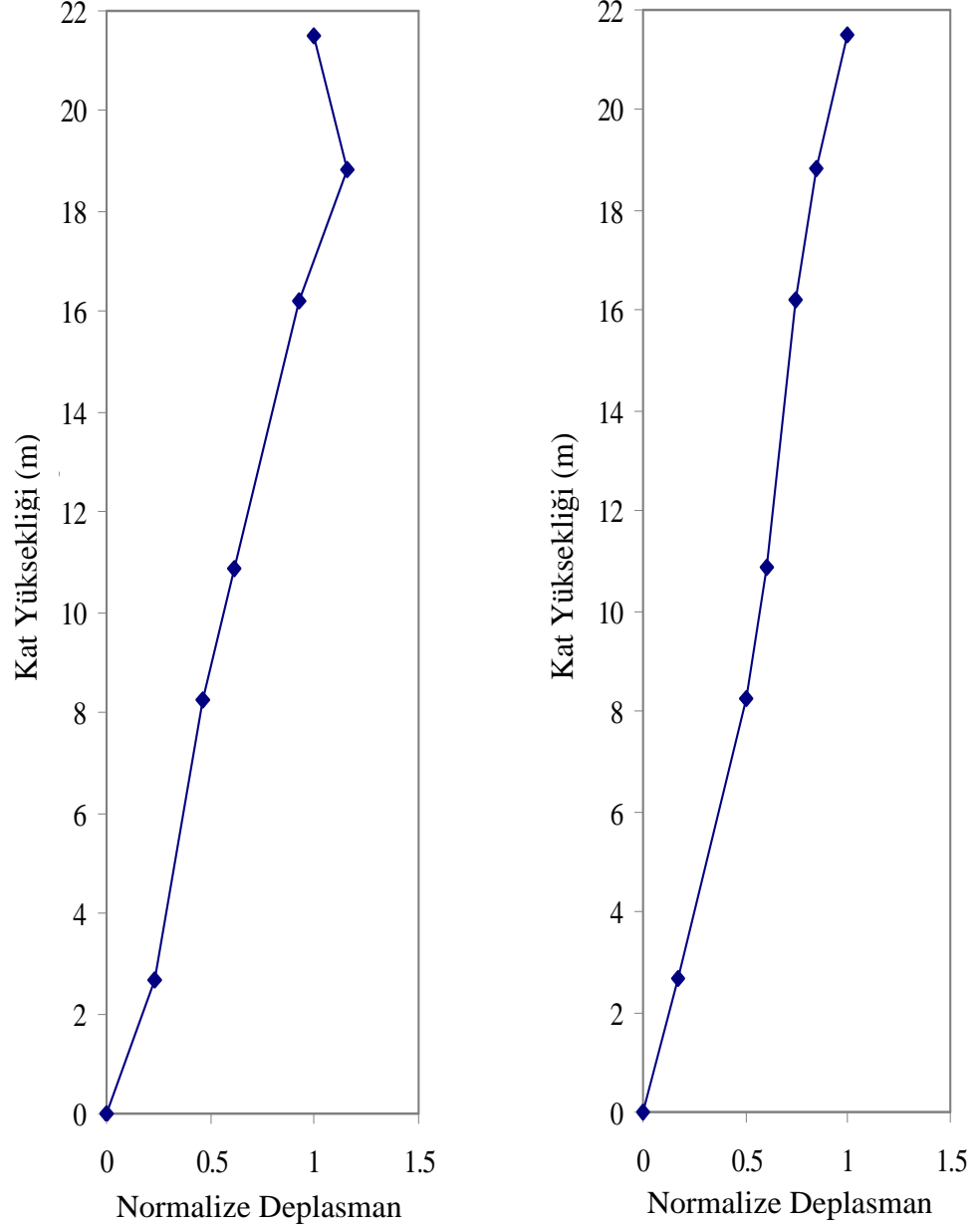


Şekil 4.6. Frekans-FFT Genliği, uzun doğrultu kuzey yönü (12-6-9-3-4-5)

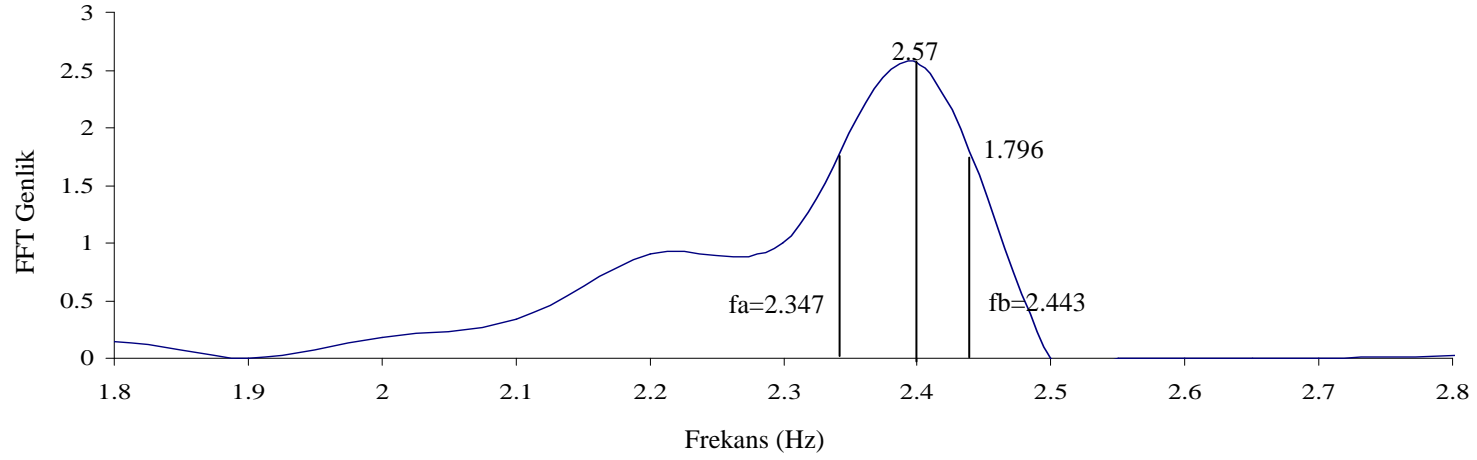


Şekil 4.7. Frekans-FFT Genliği, uzun doğrultu, güney yönü (11-7-10-2-1-8)

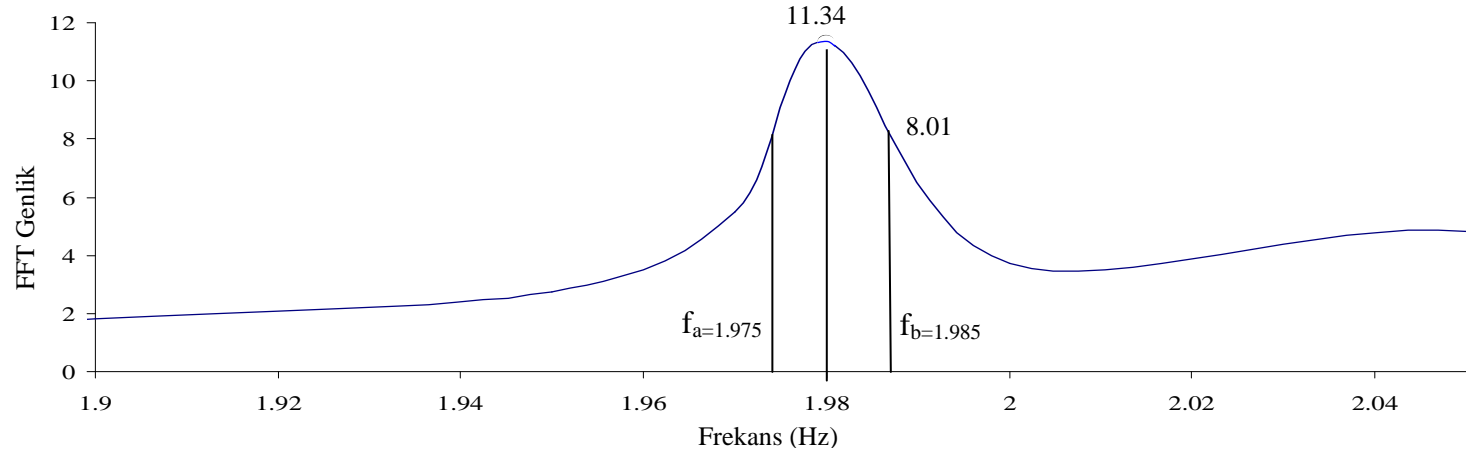
Kat seviyesine karşılık sensörlerin yapmış olduğu deplasman değerleri aynı grafik üzerinde gösterildiğinde binaya ait kısa yön mod şekli elde edilmiştir. Deplasman değerleri, maksimum genliğe sahip olan sensörün yapmış olduğu değer referans alınarak diğer tüm sensör deplasman değerlerinin bu değere bölünmesi ile normalize edilmiştir. Şekil 4.8.'de kısa ve uzun doğrultudaki mod şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Kısa ve uzun doğrultudaki mod şekilleri



Şekil 4.9. Çatı kat uzun doğrultu kuzey sensörü sönüm değeri %2



Şekil 4.10. Çatı kat kısa doğrultu doğu sensörü sönüm değeri %1.4

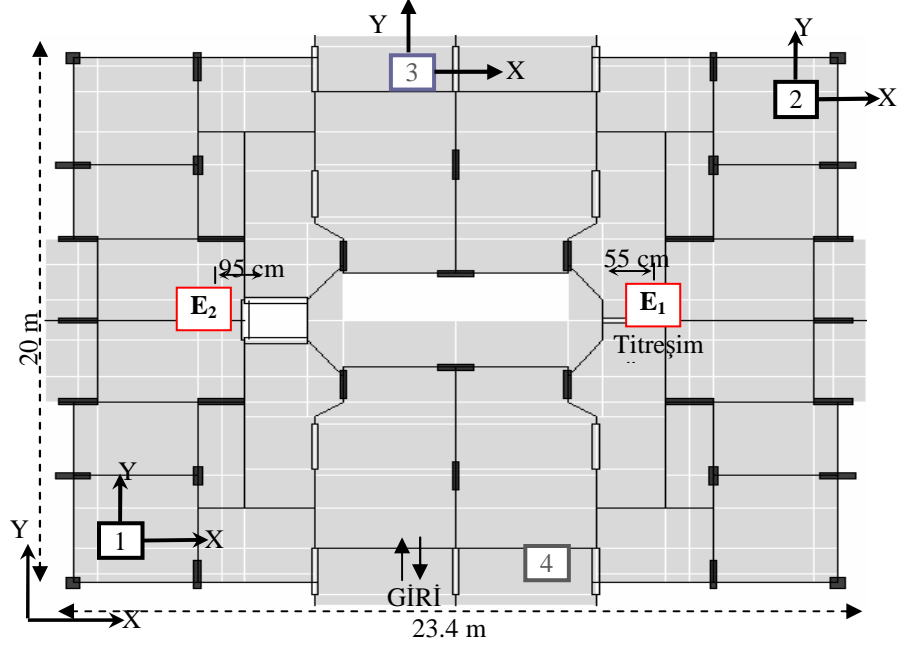
4.1.2. İkinci Test Binası Sedir Apartmanı Test Sonuçları

Antakya kent merkezindeki orta katlı betonarme yapı stokunun 550'ye yakın bir kısmını temsil eden, 106M420 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında bina izleme sistemi ile kayıt altında tutulan Sedir Apartmanı ikinci test binası olarak seçilmiştir. Çekmece Beldesinde bulunan 5 katlı betonarme yapıya ait genel görüntü Şekil 4.11.'de, görülmektedir, katlara yerleştirilen sensörlerin konumları Şekil 4.14.'de verilmiştir. Plandaki boyutları 23.4 x 20 m olup binanın toplam yüksekliği 18.5 m'dir.



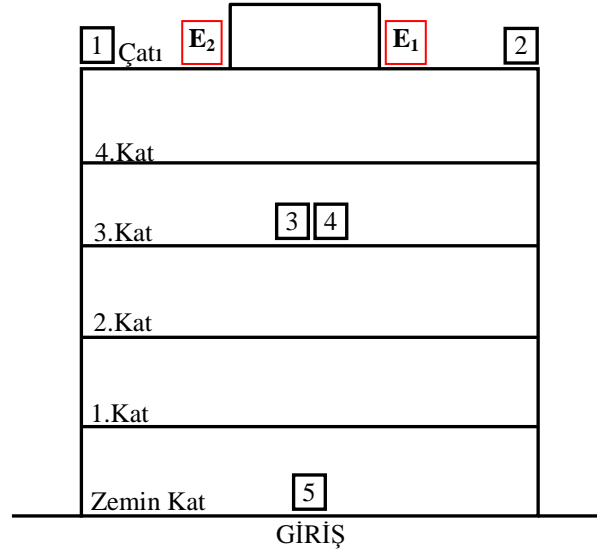
Şekil 4.11. Sedir Apartmanı'nın görüntüsü

Binanın yük taşıma sistemi perde ve çerçeveden oluşmaktadır. Taşıyıcı tüm elemanları betonarme, duvarları tuğladan oluşmaktadır. Hızölçerler belirli bir sıraya göre numaralandırılmıştır. 5 adet sensörün kullanıldığı testte kısa ve uzun yöndeki sensör dağılımı plan ve kesit üzerinde gösterilmiştir. Şekil 4.12.'de planı görülen yapıda sensörler merkezden olabildiğince uzağa yerleştirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.12. Sedir Apartmanı için hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme planı

Binanın kat adedi sensör adedinden daha fazla olduğundan tüm katlara sensör yerleştirmek mümkün olamamıştır. En üst katta en az iki adet olmak üzere geri kalan sensörler ara katlara uygun şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 4.13).



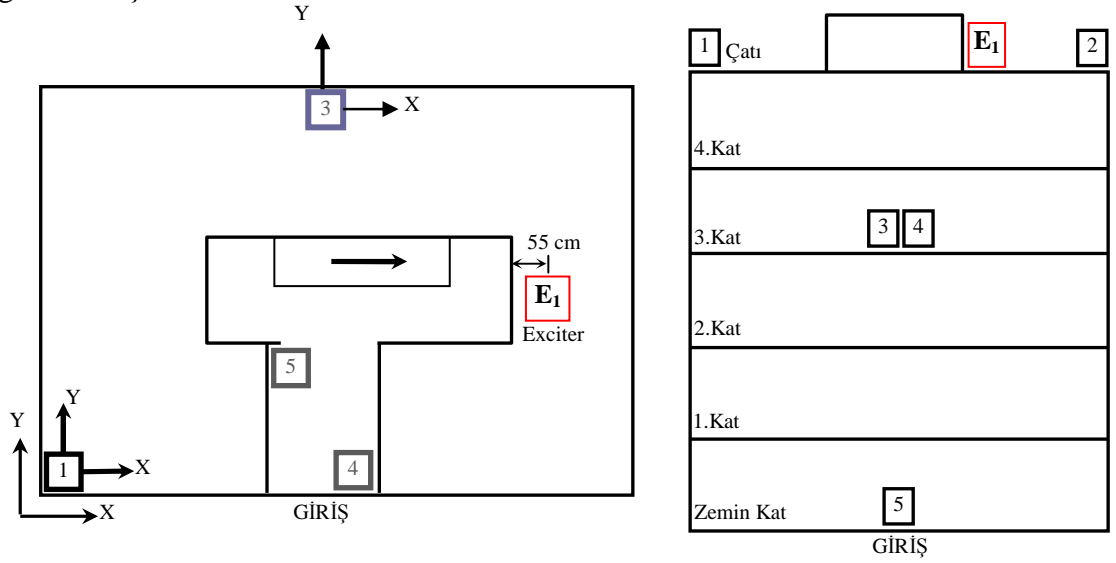
Şekil 4.13. Sedir Apartmanı için hızölçerlerin ve sarsma cihazının yerleşim şekli

Bu test binasında, titreşim üretici cihaz binanın çatı katındaki iki farklı noktaya yerleştirilmiştir. Merdiven bölümünün hemen iki yanına yerleştirilen cihazın, yine iki yönde titreşim üretmek üzere çatı döşemesine sağlam bir şekilde montajı yapılmıştır. Cihazın birinci konumu "Konum-1" ve ikinci konumu "Konum-2" olarak

değerlendirilmiştir. Test sırasında binaya ilk olarak kısa, ardından uzun doğrultuda titreşimler verilmiştir. Bu bağlamda test sonuçları kısa ve uzun doğrultu için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

4.1.2.1. Sarsma Cihazı Konum-1'de İken Elde Edilen Sonuçlar

Test esnasında titreşim üreticinin ve sensörlerin yerleri Şekil 4.14.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Titreşim cihazının 1.konumda olduğu duruma ait plan ve kesit görüntüsü

4.1.2.2. Konum-1 İçin Uzun Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar

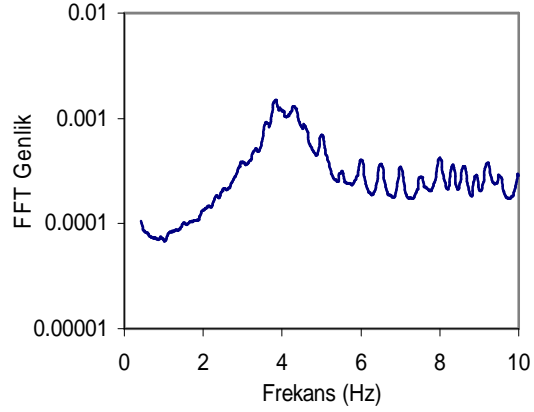
Test sırasında kayıt alınırken ilk olarak, 0-10 Hz arası 0.5 Hz artımlarla titreşim frekansı uygulanmıştır. Ardından genliğin maksimum olduğu 3.5-4.5 Hz arasında 0.2 Hz artımlarla sıklaştırma yapılmıştır. Sensörlerden alınan hız değerleri VIEW2002 paket programı yardımıyla filtrelenerek ivme ve deplasman formatına dönüştürülüp, FFT Genlik grafikleri, hız değişim grafikleri ve her bir sensöre ait maksimum deplasman değerleri elde edilmiştir.

Şekil 4.15.'de uzun doğrultudaki (x) en üst kattaki 1-2 numaralı ve ara kattaki 3 numaralı sensörlerin FFT Genlik-Frekans grafikleri sunulmuştur. Bu grafikler sonucunda, 3.8 Hz noktasında pik elde edildiği görülmüştür. Bu da genel olarak uzun doğrultuda hakim titreşim periyodunun 0.2631 s olduğunu göstermektedir.

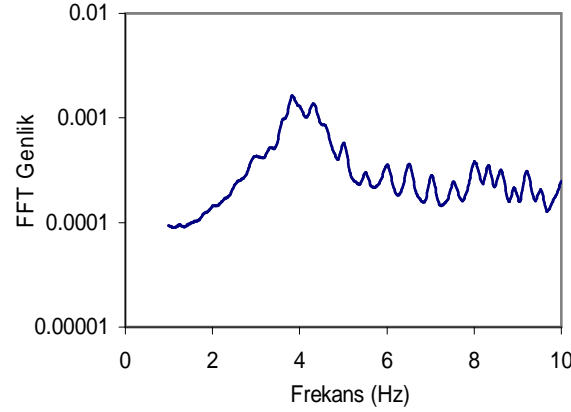
Binanın titreşimi esnasında zamana bağlı hız değişimini gösteren grafikler Şekil 4.16.'da görülmektedir. Grafiklerde, binanın uzun (x) yönde salınırken, y eksenine karşılık x eksenindeki hız değişimi gösterilmiştir. Hızlar mm/s cinsinden ifade edilmiştir. Binanın uzun yöndeki salınımından dolayı uzun yöndeki hız değişim genliğinin kısa yöndeki değere göre daha büyük olacağı aşikârdır. Grafiklerden de görüldüğü gibi, x yönündeki hız genliği yaklaşık 0.2 iken, y yönünde yaklaşık 0.1 civarındadır.

Kat seviyesine karşılık sensörlerin yapmış olduğu deplasman değerleri aynı grafik üzerinde gösterildiğinde binaya ait uzun yön mod şekli elde edilmiştir. Maksimum deplasman genliğine sahip olan sensörün değeri referans alınarak diğer tüm sensör deplasman değerlerinin bu değere bölünmesi ile deplasmanlar normalize edilmiştir. Şekil 4.17.'de uzun doğrultudaki mod şekli gösterilmiştir.

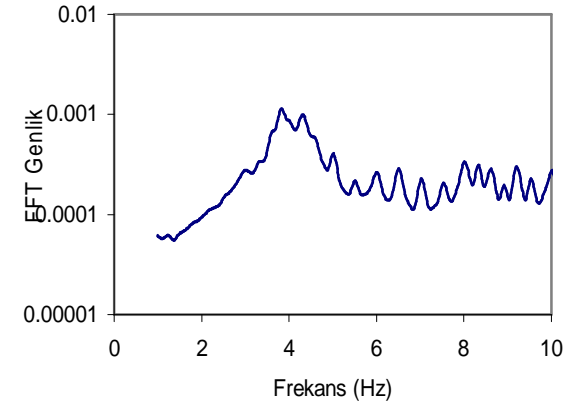
Binanın uzun yöne ait sönüm oranı genel olarak, uzun yönde kayıt alan sensörlerin FFT-Frekans eğrilerinden elde edilen sönümlerin ortalamasından bulunmuştur. Şekil 4.18.'de uzun yöne ait sönüm değerini veren grafikler gösterilmiştir. Bu grafiklerden Denklem 3.16'ya göre hesaplama yapıldığında sönüm oranı %4.3 olarak bulunmuştur.



(a) Sensör No. 1

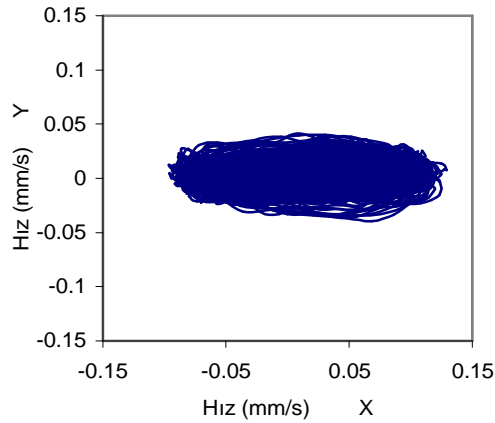


(b) Sensör No. 2

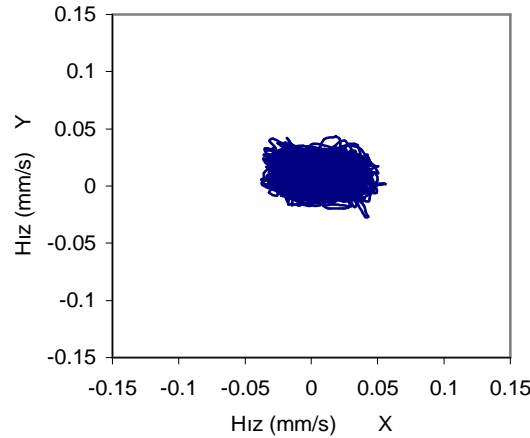


(c) Sensör No. 3

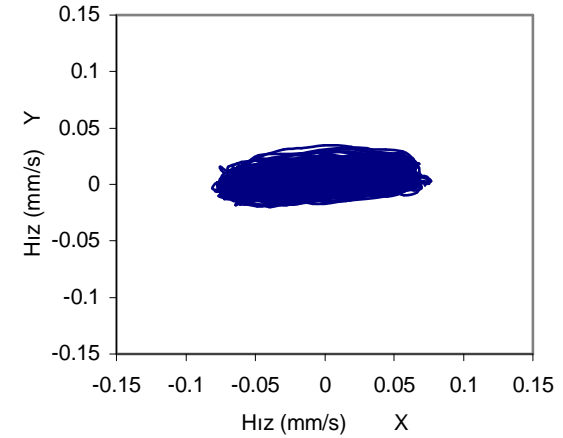
Şekil 4.15. Konum-1 için binanın uzun doğrultudaki FFT Genlik-Frekans grafikleri



(a) Sensör No. 1

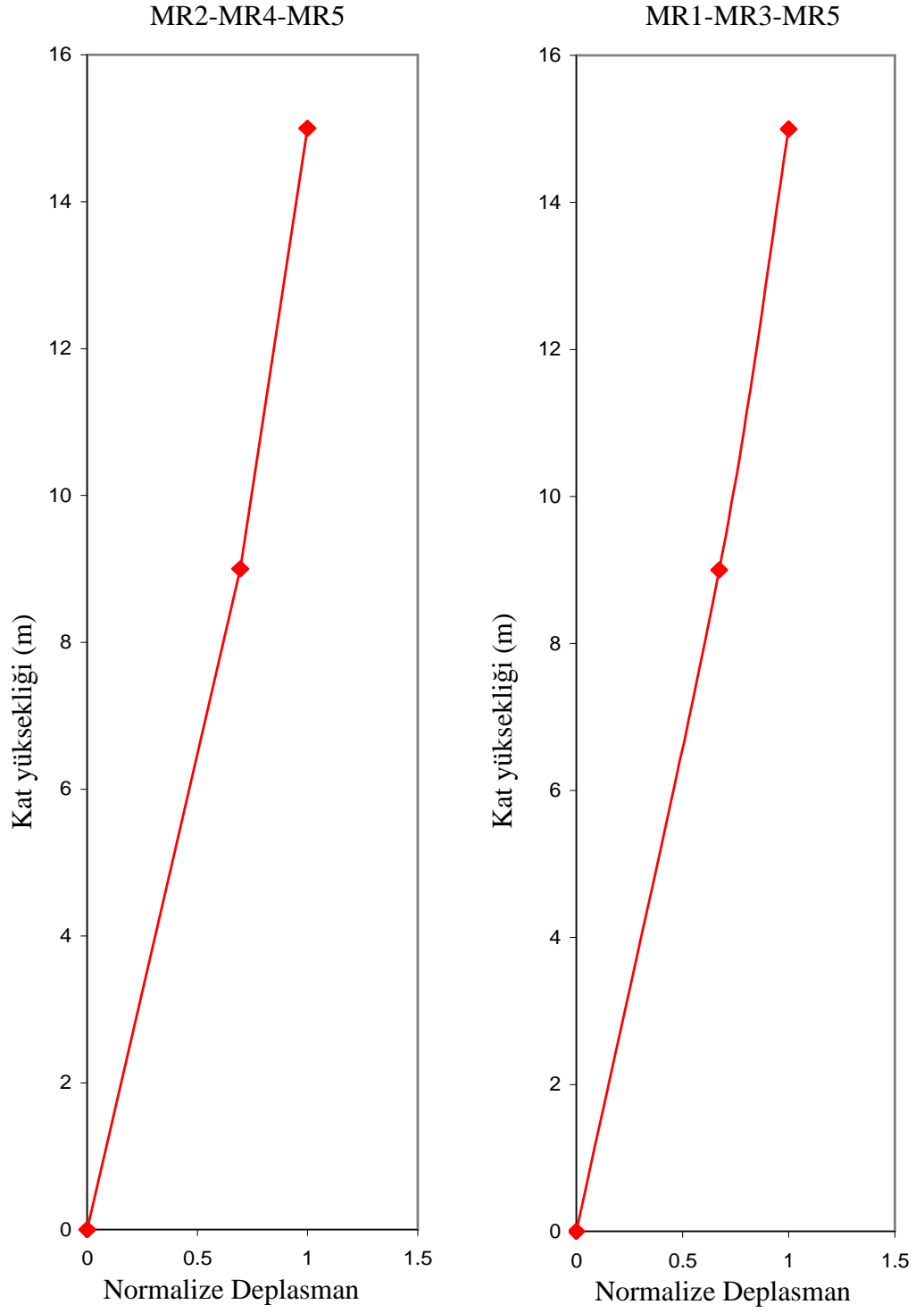


(b) Sensör No. 2

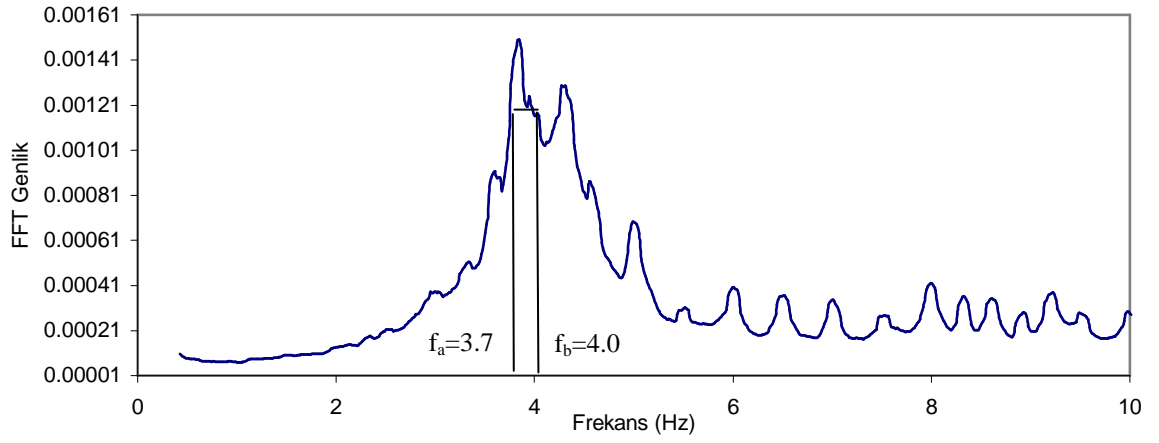


(c) Sensör No. 3

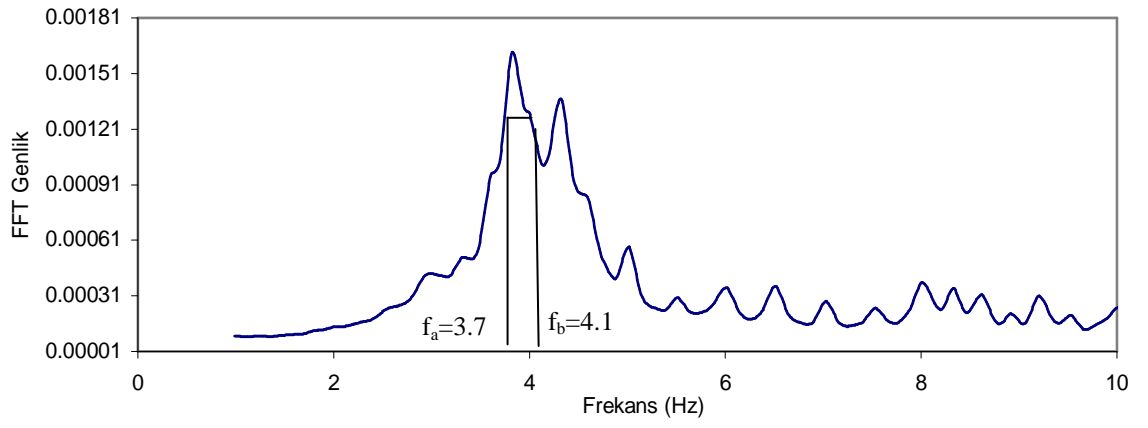
Şekil 4.16. Konum-1 için binanın uzun doğrultudaki hız değişim grafikleri



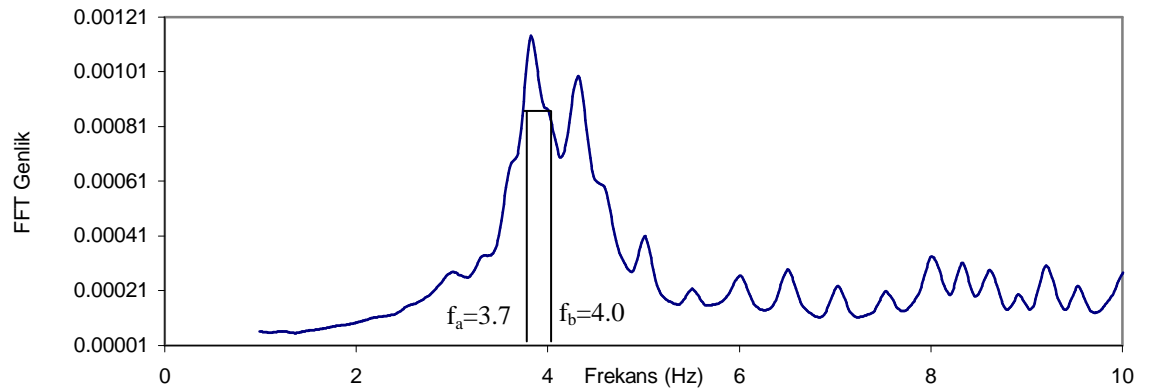
Şekil 4.17. Konum-1 için uzun doğrultudaki mod şekilleri



Sensör No:1



Sensör No:2



Sensör No:3

Şekil 4.18. Konum-1 için binanın uzun doğrultudaki sönüm grafikleri

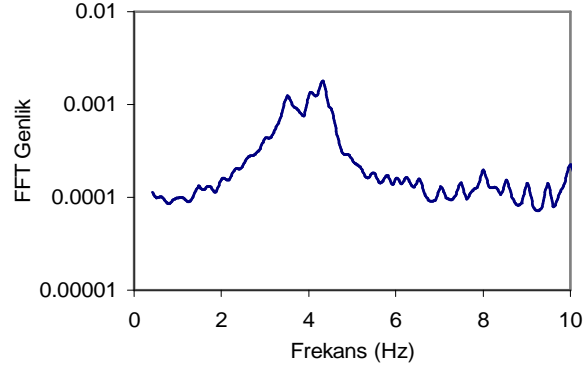
4.1.2.3. Konum-1 İçin Kısa Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar

Şekil 4.19.'da kısa doğrultuda en üst kattaki 1-2 numaralı ve ara kattaki 3 numaralı sensörlerin FFT Genlik-Frekans grafikleri verilmiştir. Bu grafikler sonucunda, 4.3 Hz noktasında pik elde edildiği görülmüştür. Bu da genel olarak uzun doğrultuda hâkim titreşim periyodunun 0.233 s olduğunu göstermektedir.

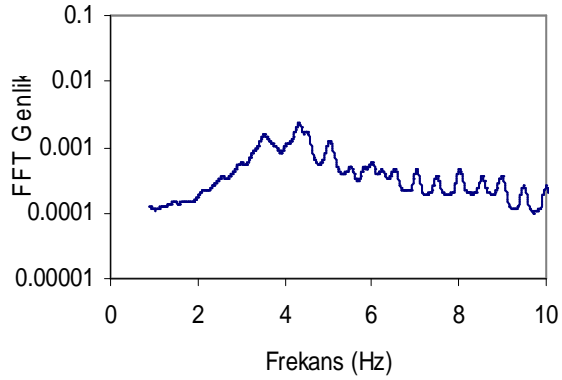
Binanın kısa (y) yönde titreşimi esnasında zamana bağılı hız değişimini gösteren grafikler Şekil 4.20.'de verilmiştir. Grafiklerde, y eksenine karşılık x eksenindeki hız değişimi gösterilmiştir. Kısa doğrultudaki salınım sonucunda kısa yöndeki hız değişim genliğinin uzun yöndeki değere göre daha büyük olduğu görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi, y yönündeki hız genliği yaklaşık 0.24 iken, x yönünde yaklaşık 0.12 civarındadır.

Sensörlerin bulunduğu katların yapmış olduğu normalize deplasman değerleri grafik Şekil 4.21.'de gösterilmiştir.

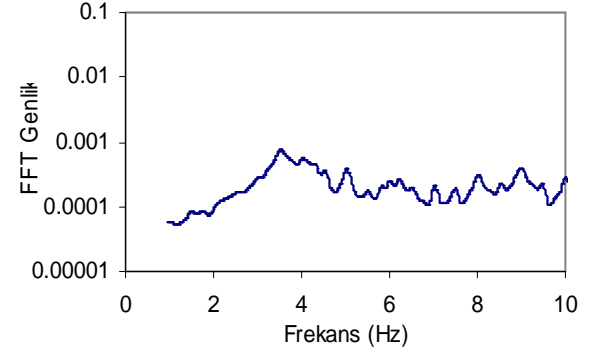
Şekil 4.22.'de kısa yöne ait sönüm değerini veren grafikler gösterilmiştir. Bu grafiklerden Denklem 3.16'ya göre hesaplama yapıldığında sönüm oranı %4.26 olarak bulunmuştur.



(a) Sensör No. 1

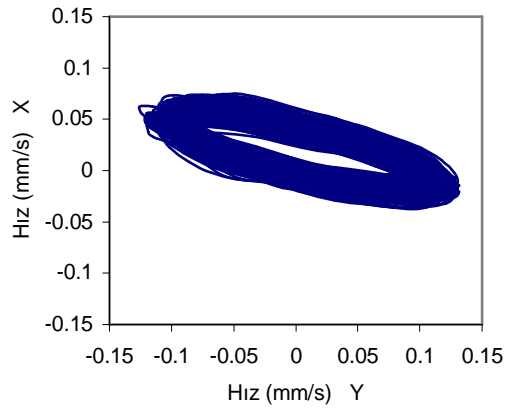


(b) Sensör No. 2

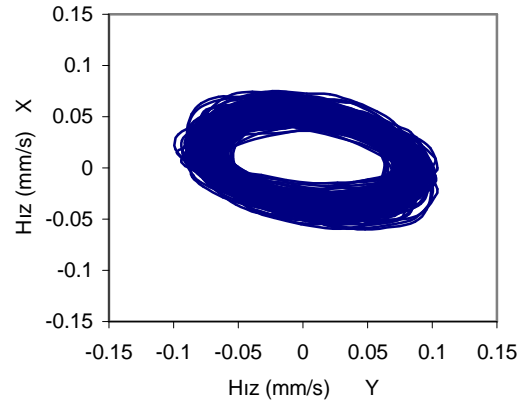


(c) Sensör No. 3

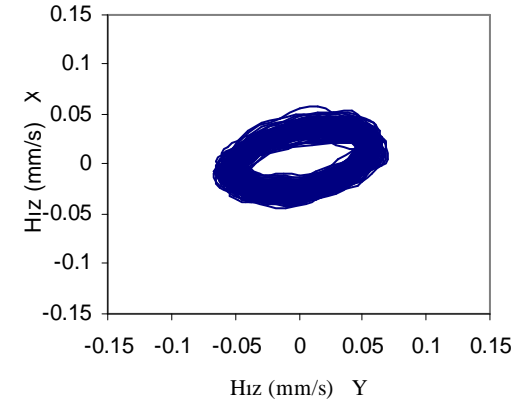
Şekil 4.19. Konum-1 için binanın kısa doğrultudaki FFT Genlik-Frekans grafikleri



(a) Sensör No. 1

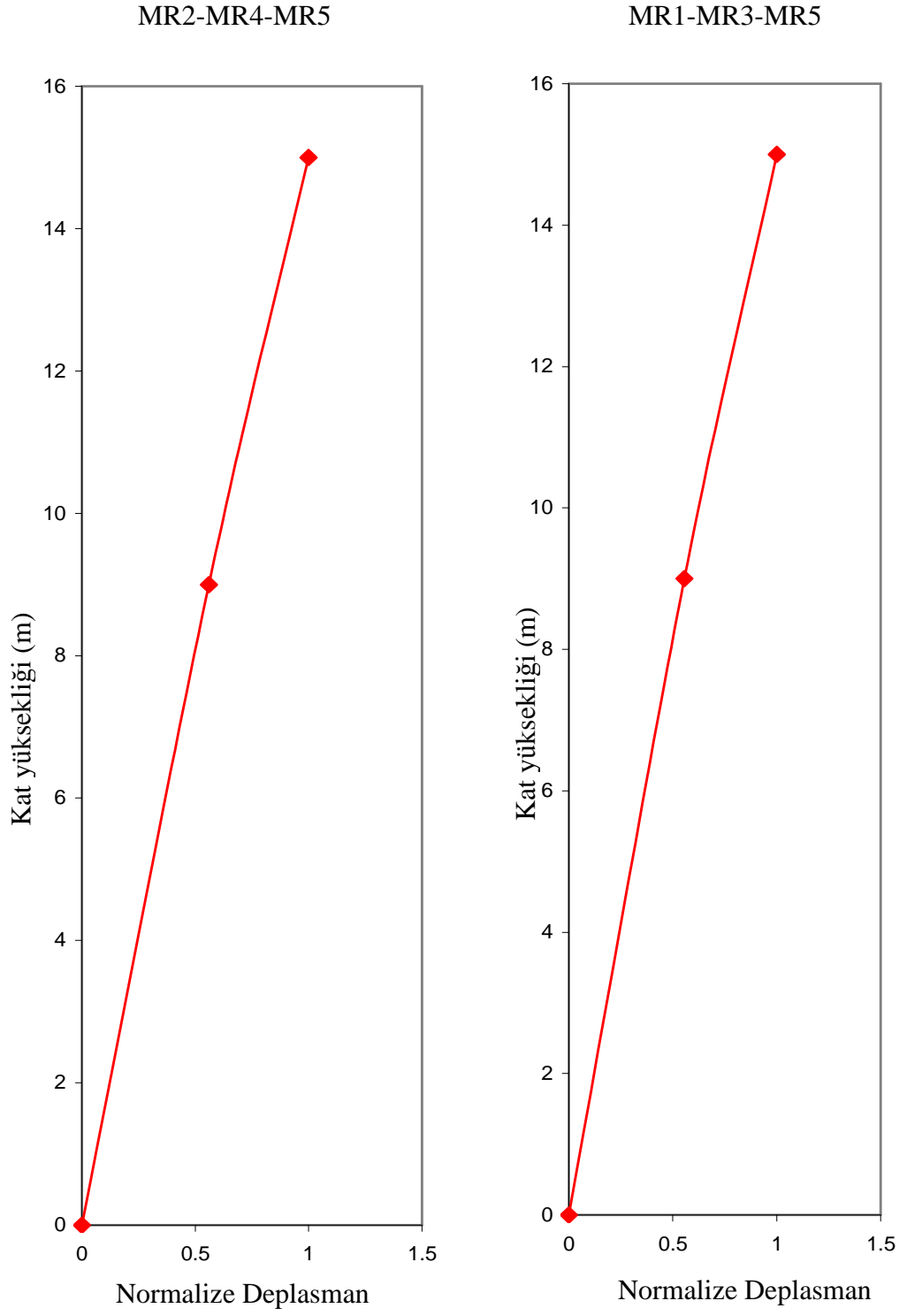


(b) Sensör No. 2

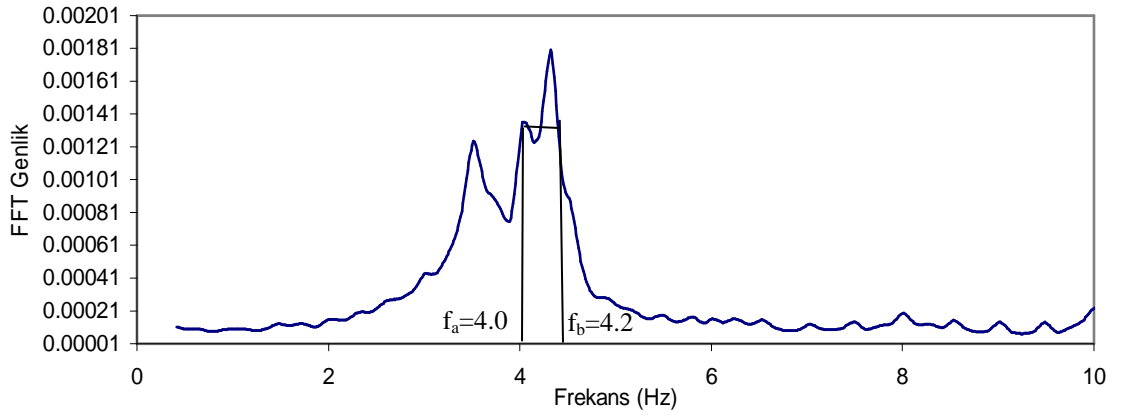


(c) Sensör No. 3

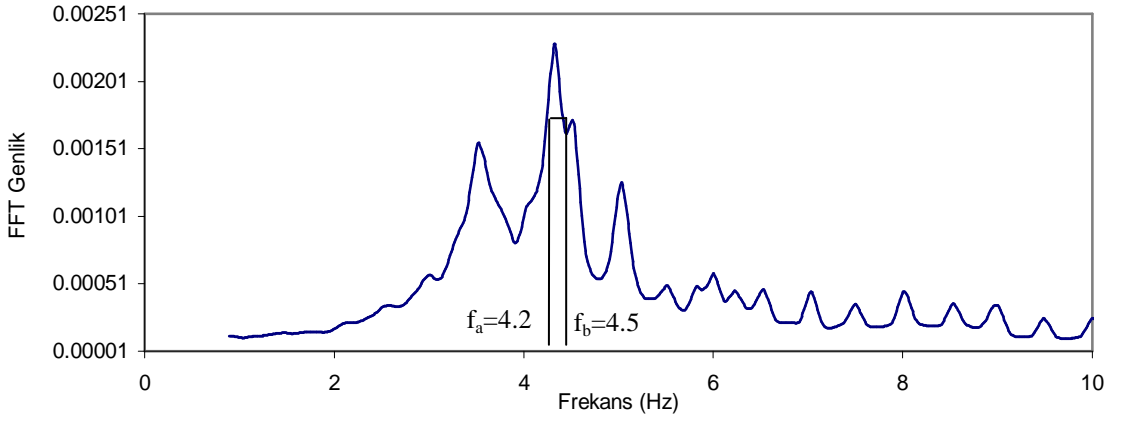
Şekil 4.20. Konum-1 için binanın kısa doğrultudaki hız değişim grafikleri



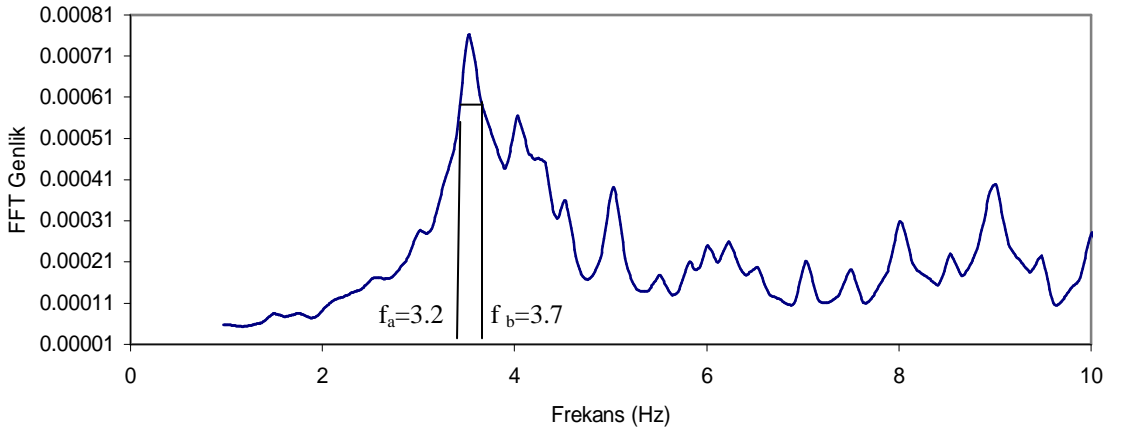
Şekil 4.21. Konum-1 için kısa doğrultudaki mod şekilleri



Sensör No:1



Sensör No:2

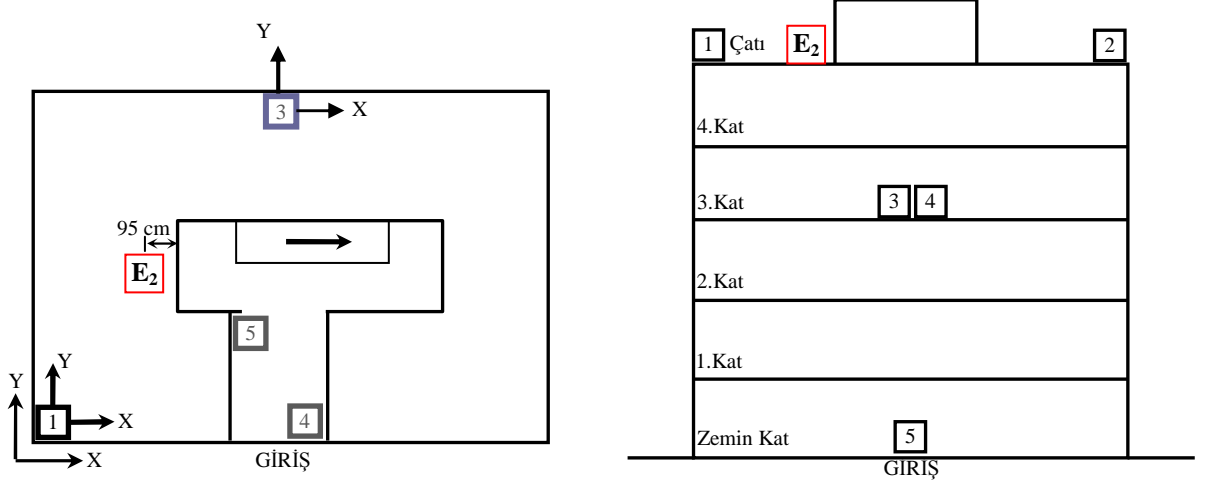


Sensör No:3

Şekil 4.22. Konum-1 için binanın uzun doğrultudaki sönüm grafikleri

4.1.2.4. Sarsma Cihazı Konum-2’de İken Elde Edilen Sonuçlar

Test esnasında titreşim üreticinin ve sensörlerin yerleri Şekil 4.23.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Titreşim cihazının 2.konumda olduğu duruma ait plan ve kesit görüntüsü

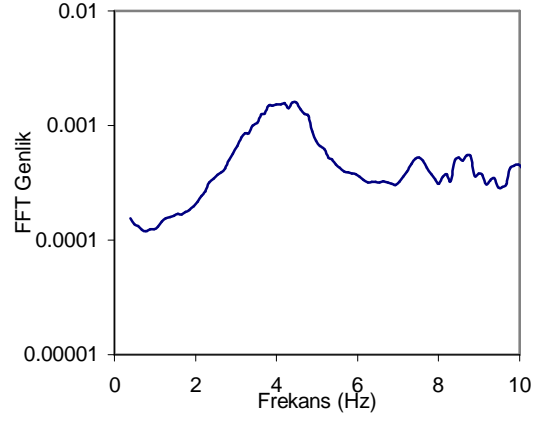
4.1.2.5. Konum-2 İçin Uzun Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar

Şekil 4.24.’de uzun doğrultudaki en üst kattaki 1-2 numaralı ve ara kattaki 3 numaralı sensörlerin FFT Genlik-Frekans grafikleri verilmiştir. Bu grafikler sonucunda, 4.6 Hz noktasında pik elde edildiği görülmüştür. Bu da genel olarak uzun doğrultuda hâkim titreşim frekansının 0.2173 s olduğunu göstermektedir.

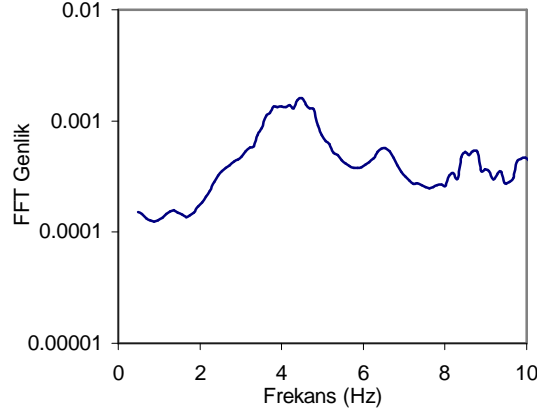
Binanın uzun (x) yönde titreşimi esnasında zamana bağlı hız değişimini gösteren grafikler Şekil 4.25.’de verilmiştir. Grafiklerde, x eksenine karşılık y eksenindeki hız değişimi gösterilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi, x yönündeki hız genliği yaklaşık 0.21 iken, y yönünde yaklaşık 0.1 civarındadır.

Maksimum deplasman genliğine sahip olan sensörün değeri referans alınarak diğer tüm sensör deplasman değerlerinin bu değere bölünmesi ile elde edilen normalize deplasman değerlerini gösteren grafik Şekil 4.26.’da gösterilmiştir.

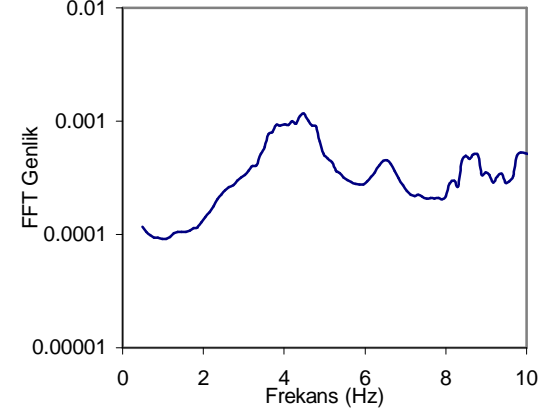
Şekil 4.27.’de uzun yöne ait sönüm değerini veren grafikler gösterilmiştir. Bu grafiklerden Denklem 3.16’ya göre hesaplama yapıldığında sönüm oranı %2.2 olarak bulunmuştur.



(a) Sensör No. 1

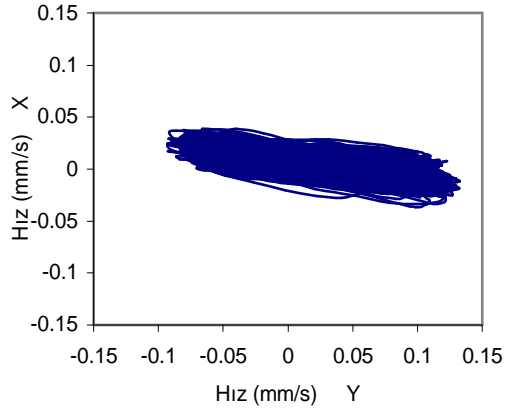


(b) Sensör No. 2

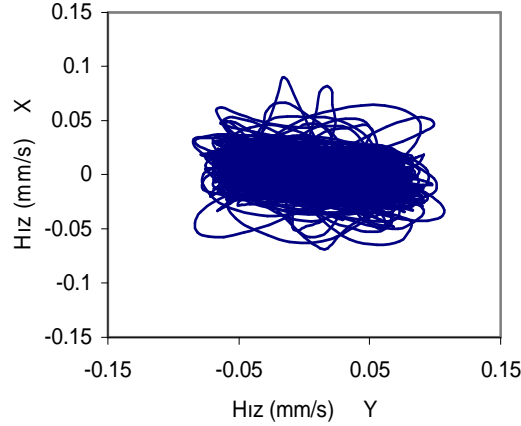


(c) Sensör No. 3

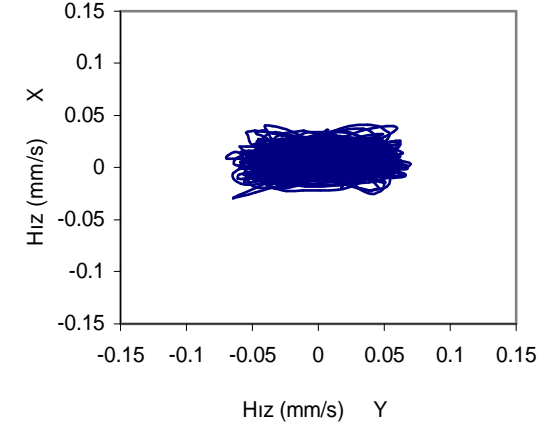
Şekil 4.24. Konum-2 için binanın uzun doğrultudaki FFT Genlik-Frekans grafikleri



(a) Sensör No. 1

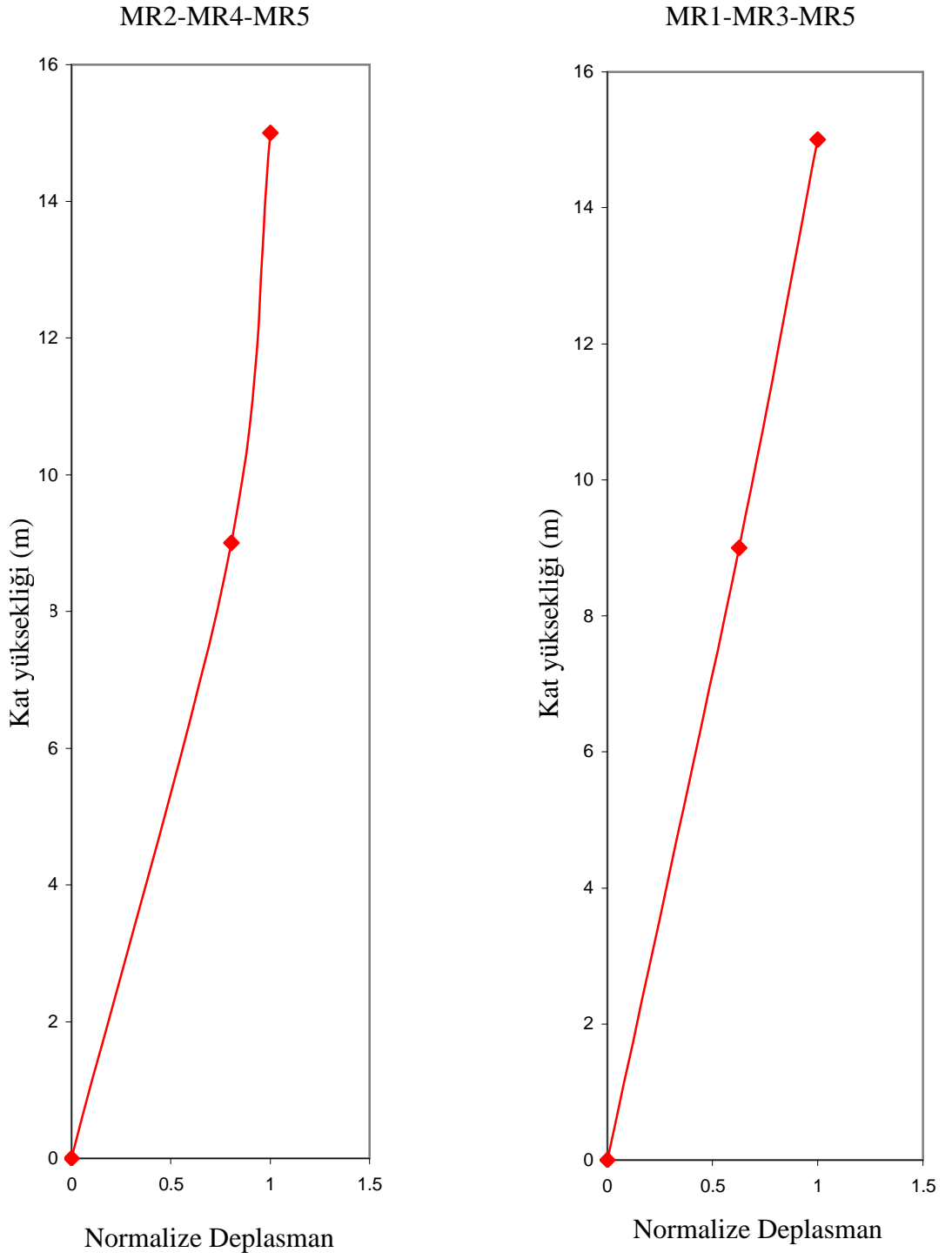


(b) Sensör No. 2

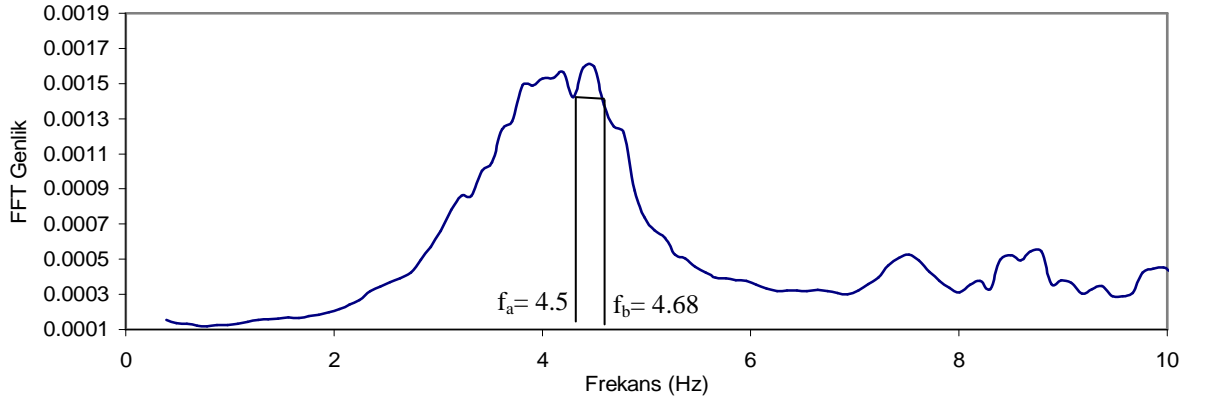


(c) Sensör No. 3

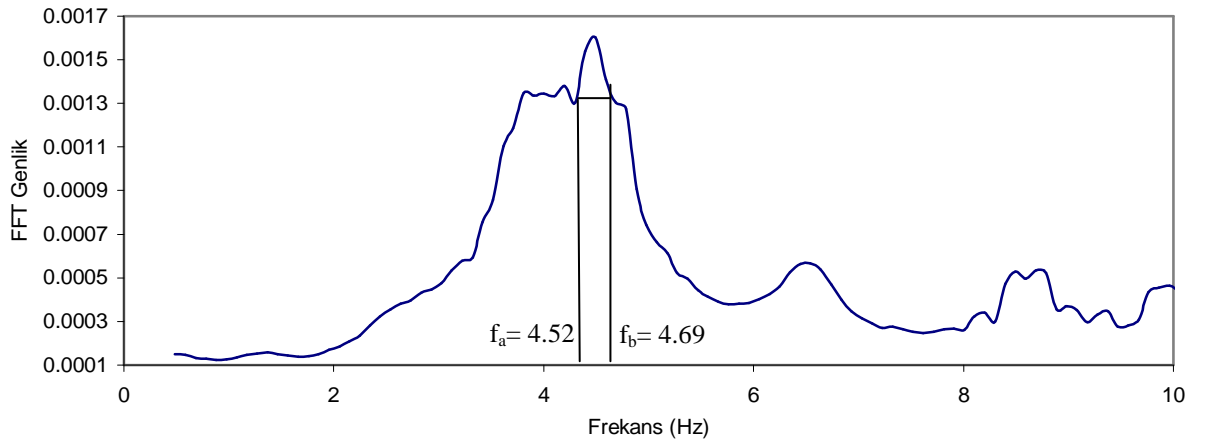
Şekil 4.25. Konum-2 için binanın uzun doğrultudaki hız değişim grafikleri



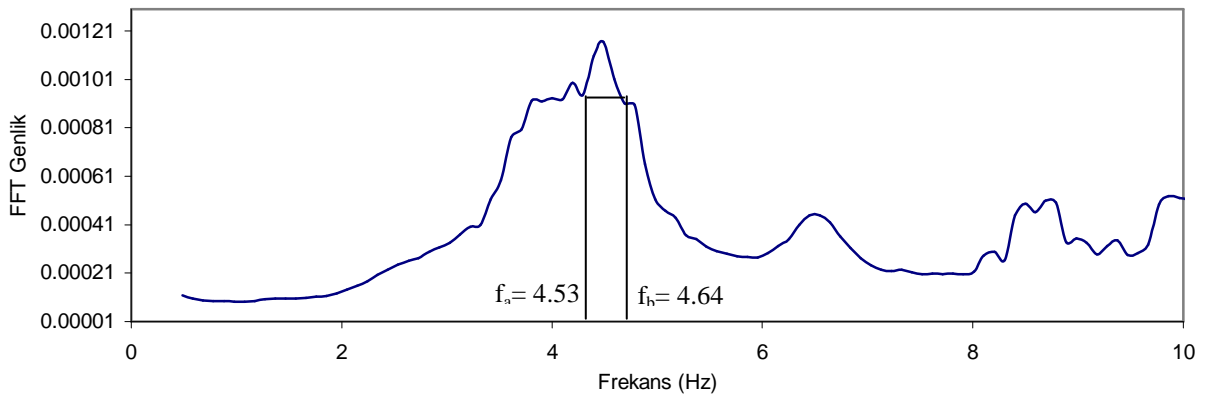
Şekil 4.26. Konum-2 için uzun doğrultudaki mod şekilleri



Sensör No:1



Sensör No:2



Sensör No:3

Şekil 4.27. Konum-2 için binanın uzun doğrultudaki sönüm grafikleri

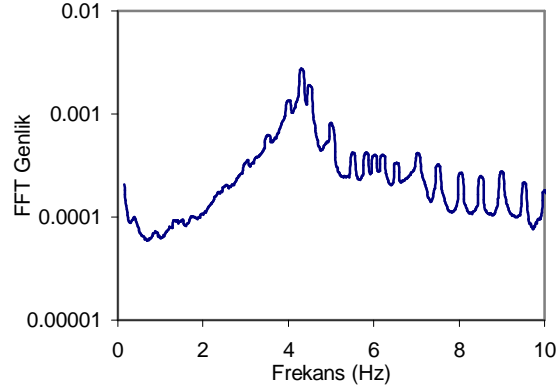
4.1.2.6. Konum-2 İçin Kısa Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar

Şekil 4.28.'de kısa doğrultudaki en üst kattaki 1-2 numaralı ve ara kattaki 3 numaralı sensörlerin FFT Genlik-Frekans grafikleri verilmiştir. Bu grafikler sonucunda, 4.3 Hz noktasında pik elde edildiği görülmüştür. Bu da genel olarak uzun doğrultuda hâkim titreşim periyodunun 0.233 s olduğunu göstermektedir.

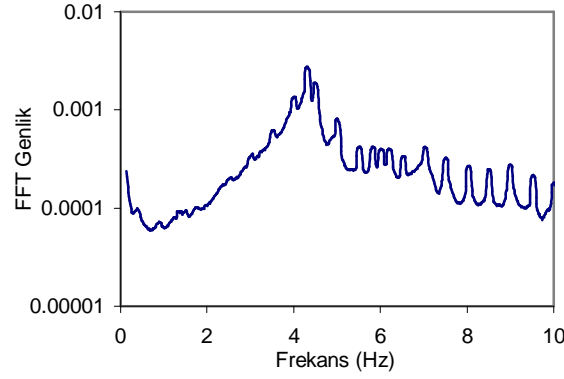
Binanın kısa (y) yönünde titreşimi esnasında zamana bağlı hız değişimini gösteren grafikler Şekil 4.29.'da verilmiştir. Grafiklerde, y eksenine karşılık x eksenindeki hız değişimi gösterilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi, y yönündeki hız genliği yaklaşık 0.6 iken, x yönünde yaklaşık 0.44 civarındadır.

Maksimum deplasman genliğine sahip olan sensörün değeri referans alınarak diğer tüm sensör deplasman değerlerinin bu değere bölünmesi ile normalize deplasmanlar elde edildi. Şekil 4.30.'da kısa doğrultu için mod şekli gösterilmiştir.

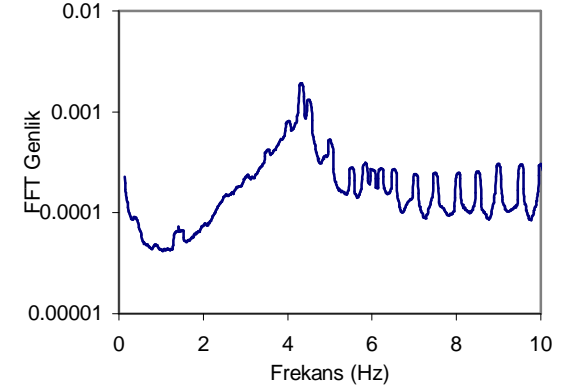
Şekil 4.31.'de kısa yöne ait sönüm değerini veren grafikler gösterilmiştir. Bu grafiklerden Denklem 3.16'ya göre hesaplama yapıldığında sönüm oranı %1.2 olarak bulunmuştur.



(a) Sensör No. 1

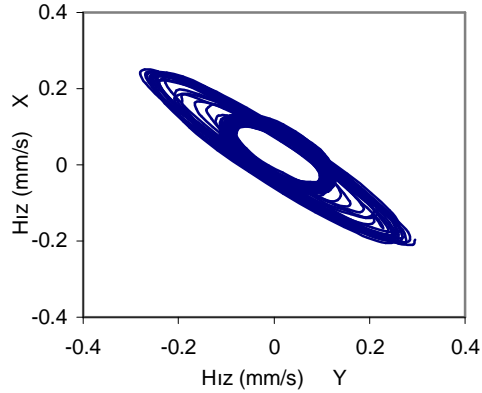


(b) Sensör No. 2

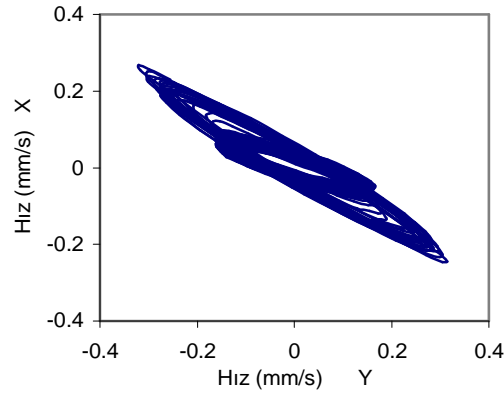


(c) Sensör No. 3

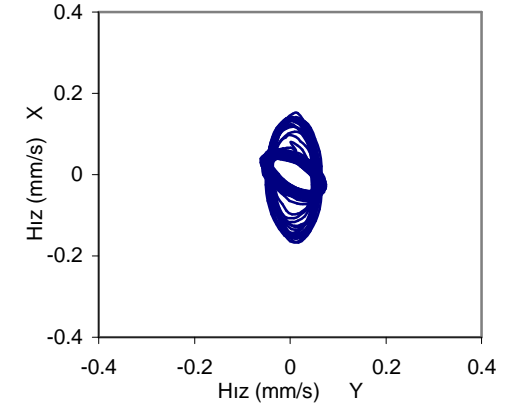
Şekil 4.28. Konum-2 için binanın kısa doğrultudaki FFT Genlik-Frekans grafikleri



(a) Sensör No. 1

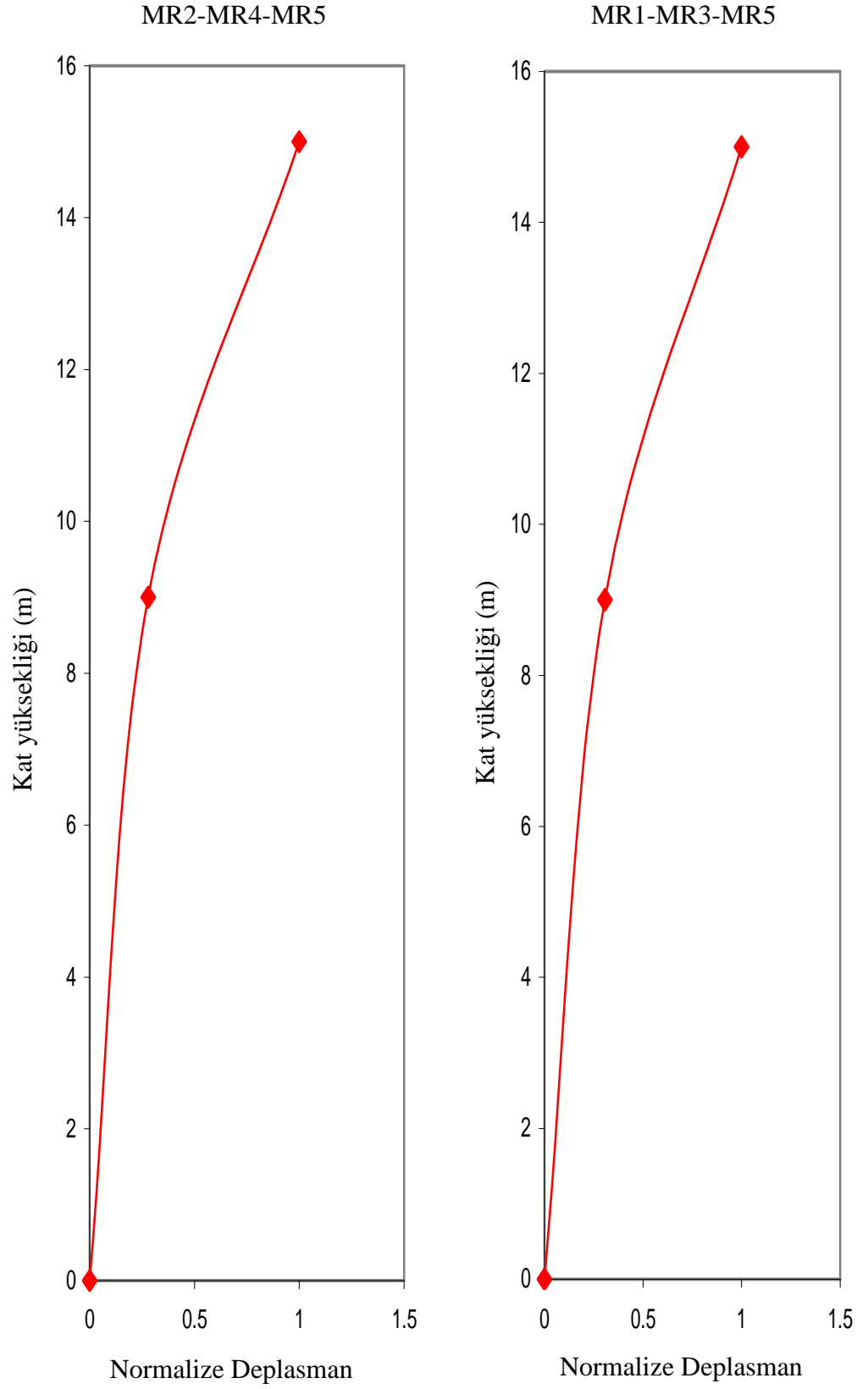


(b) Sensör No. 2

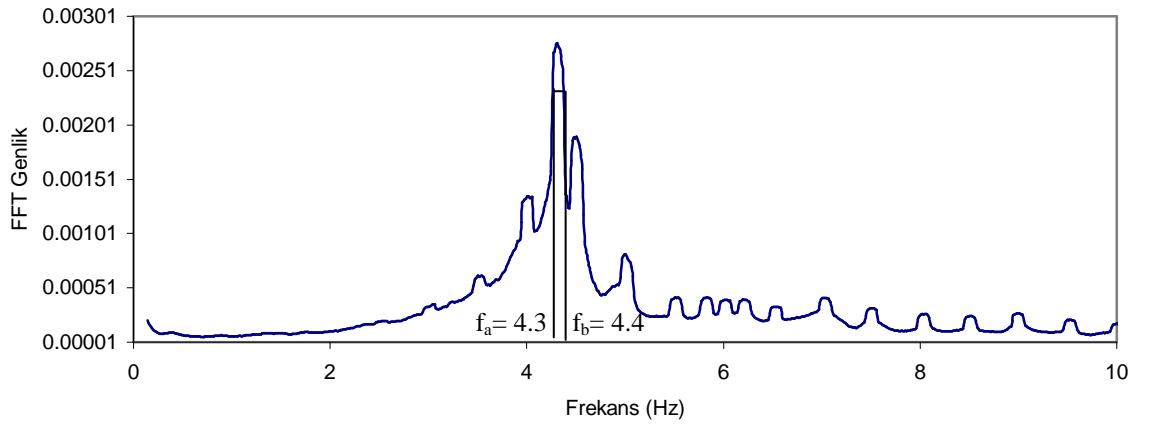


(c) Sensör No. 3

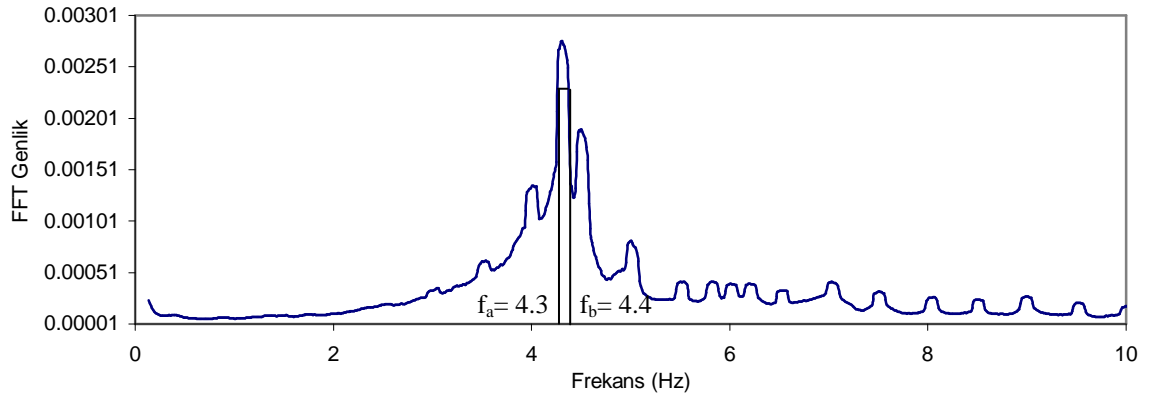
Şekil 4.29. Konum-2 için kısa doğrultudaki hız değişim grafikleri



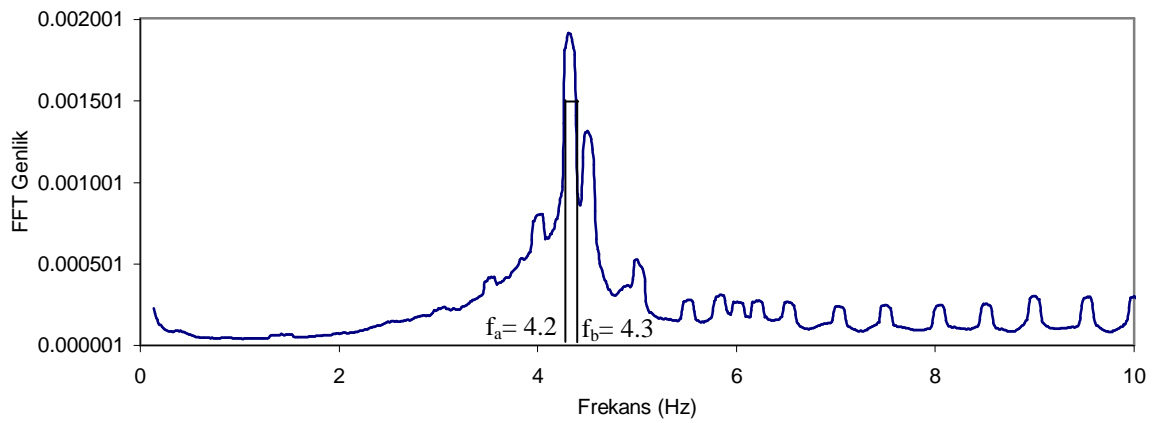
Şekil 4.30. Konum-2 için kısa doğrultudaki mod şekilleri



Sensör No:1



Sensör No:2



Sensör No:3

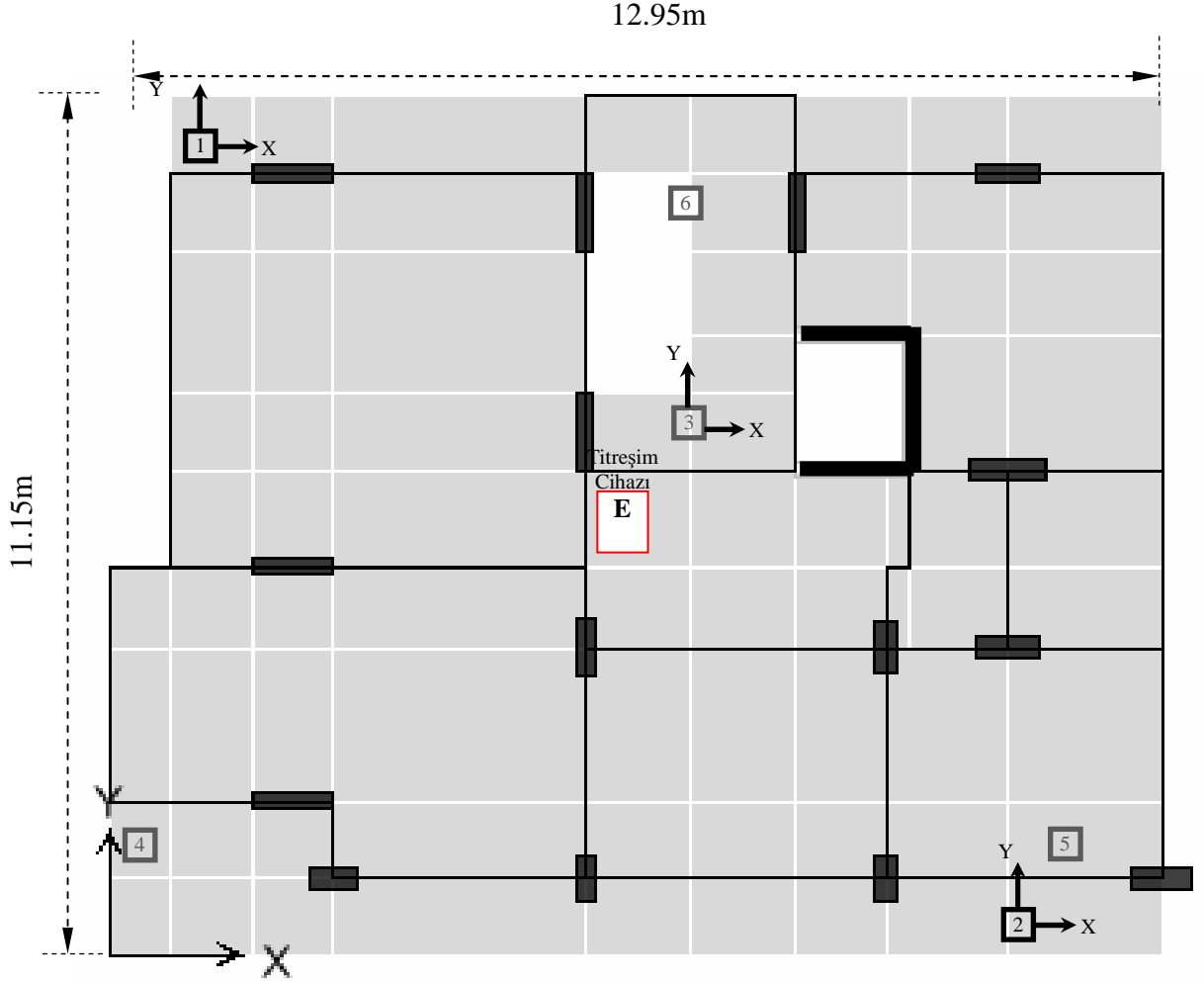
Şekil 4.31. Konum-2 için binanın kısa doğrultudaki sönüm grafikleri

4.1.3. Üçüncü Test Binası Nizamettin Tohma Apartmanı Test Sonuçları

Antakya'daki betonarme binalardan yaklaşık olarak 74 binayı temsil edebilecek karakteristik özelliklere sahip olup, 106M420 numaralı Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) projesi kapsamında incelenen üçüncü test binası Nizamettin Tohma Apartmanıdır. Ayşe Fitnat Hanım Caddesinde bulunan (Z+5) katlı betonarme yapının her katında bir daire bulunmaktadır. Şekil 4.32.'de yapıya ait bir görüntü verilmiştir. Yapının plandaki boyutları 12.95 x 11.15 m olup, binada sensörlerin yerleştirme planı Şekil 4.33.'de sunulmaktadır. Tüm elemanlar betonarme olup duvarlar tuğla malzemeden oluşmaktadır. 6 adet sensörün kullanıldığı testte kısa ve uzun yöndeki sensör dağılımı kesit üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.34.).

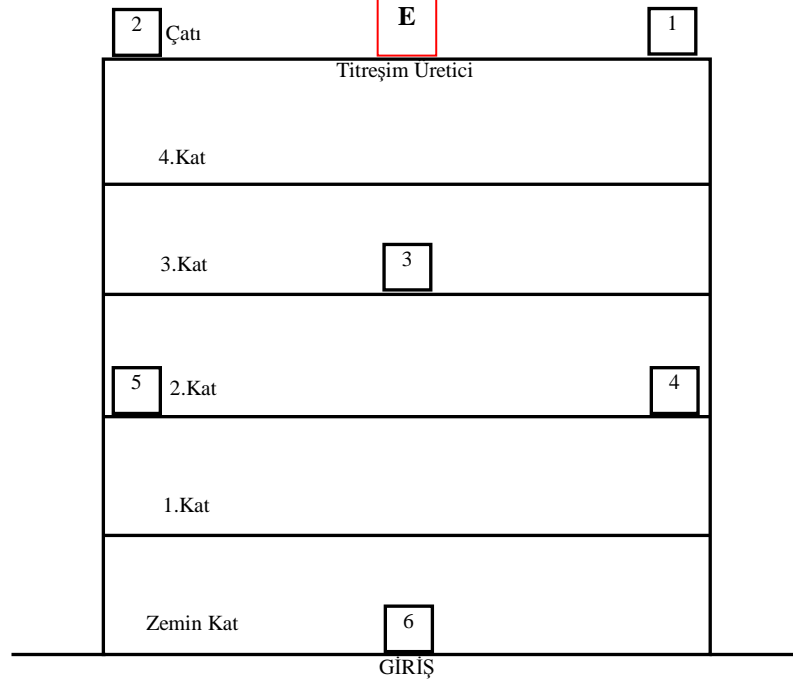


Şekil 4.32. Nizamettin Tohma Apartmanı'nın görüntüsü



Şekil 4.33. Nizamettin Tohma Apartmanı için hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme planı

Test sırasında sensörlerin yerleştirilmesi ve özellikle de titreşim cihazının döşeme betonuna ankastre olarak monte edilmesi işlemine olabildiğince dikkat edilmiştir. Cihazın yerleştirilmesi esnasında döşeme üzerindeki sıva atıklarının vb çıkıntılarının olmamasına, zeminin düzgün olmasına özen gösterilmiştir. Benzer şekilde döşeme üzerine yerleştirilen sensörlerin yatay düzlemde düzgün durması ve x - y eksenleri aynı yönde olacak şekilde döşeme köşe noktalarına su terazisinde dengede kalması sağlanmıştır. Titreşim üretici cihaz, çatı katında merdiven sahalığının hemen yanına yerleştirilmiştir. Çatı katında 1 ve 2 nolu sensörler köşe noktalarda, 3.katta 3 nolu sensör merkezde, 2.katta 4 ve 5 nolu sensörler köşelerde ve zemin katta 6 nolu sensör merkezde olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 4.34. Nizamettin Tohma Apartmanı için hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme kesit görüntüsü

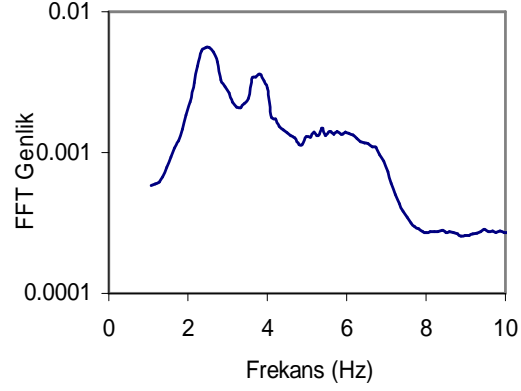
4.1.3.1. Uzun Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar

Şekil 4.35.'de uzun doğrultudaki en üst katta bulunan 1-2 numaralı sensörlere ve ara kattaki 3 numaralı sensöre ait FFT Genlik-Frekans grafikleri verilmiştir. Bu grafikler sonucunda, 2.5 Hz noktasında pik elde edildiği görülmüştür. Bu da genel olarak uzun doğrultuda hâkim titreşim periyodunun 0.4 s olduğunu göstermektedir.

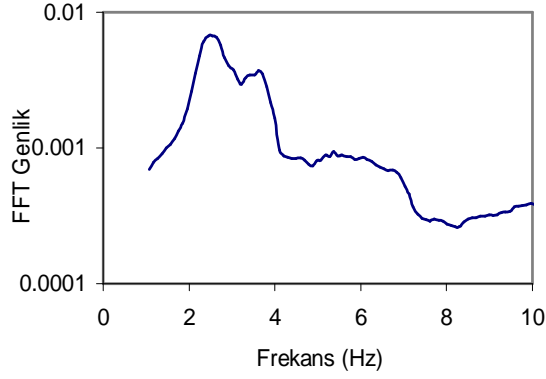
Binanın uzun (x) yönünde titreşimi esnasında zamana bağlı hız değişimini gösteren grafikler Şekil 4.36.'da verilmiştir. Grafiklerde, x eksenine karşılık y eksenindeki hız değişimi gösterilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi, x yönündeki hız genliği yaklaşık 0.4 iken, y yönünde yaklaşık 0.2 civarındadır.

Maksimum deplasman genliğine sahip olan sensörün değeri referans alınarak diğer tüm sensör deplasman değerlerinin bu değere bölünmesi ile elde edilen normalize deplasman değerlerini gösteren grafik Şekil 4.37.'de gösterilmiştir.

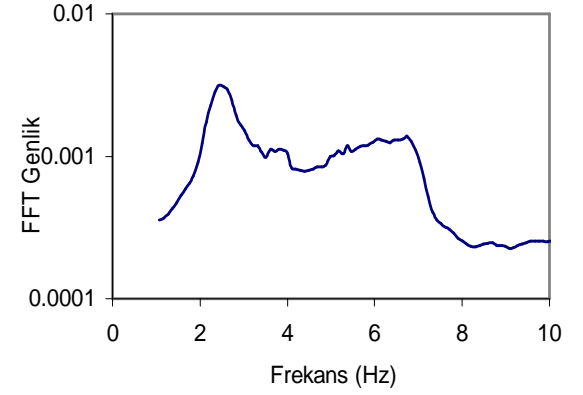
Şekil 4.38.'de uzun yöne ait sönüm değerini veren grafikler gösterilmiştir. Bu grafiklerden Denklem 3.16'ya göre hesaplama yapıldığında sönüm oranı %7.03 olarak bulunmuştur.



(a) Sensör No. 1

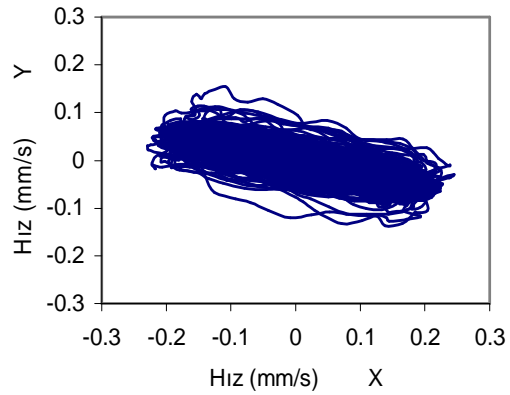


(b) Sensör No. 2

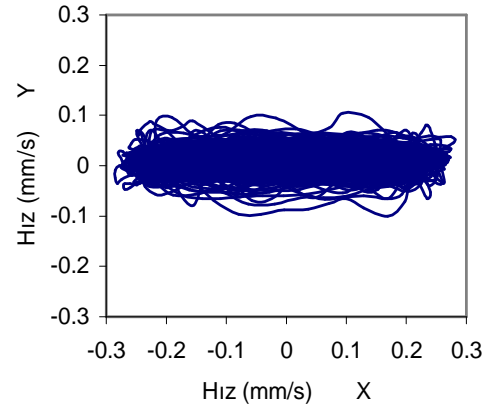


(c) Sensör No. 3

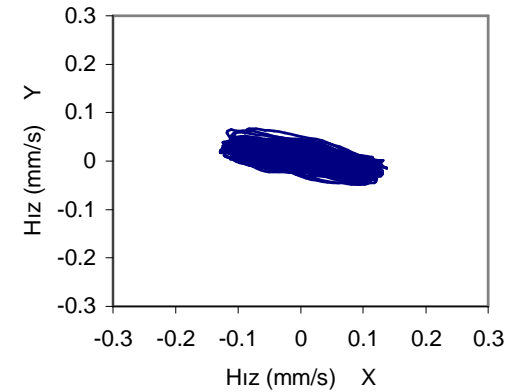
Şekil 4.35. Nizamettin Tohma Apt. uzun doğrultudaki (x) FFT Genlik-Frekans grafikleri



(a) Sensör No. 1

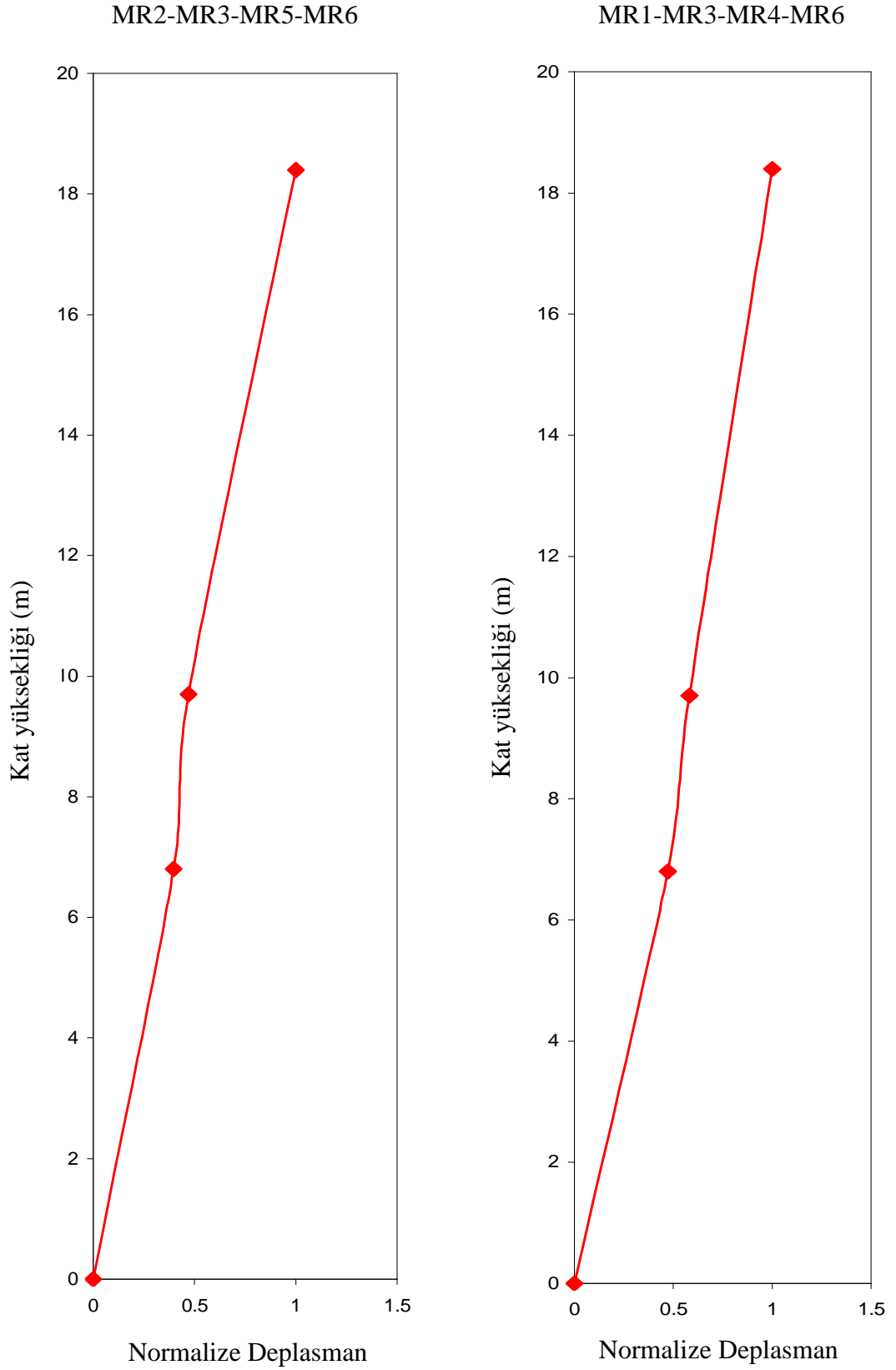


(b) Sensör No. 2

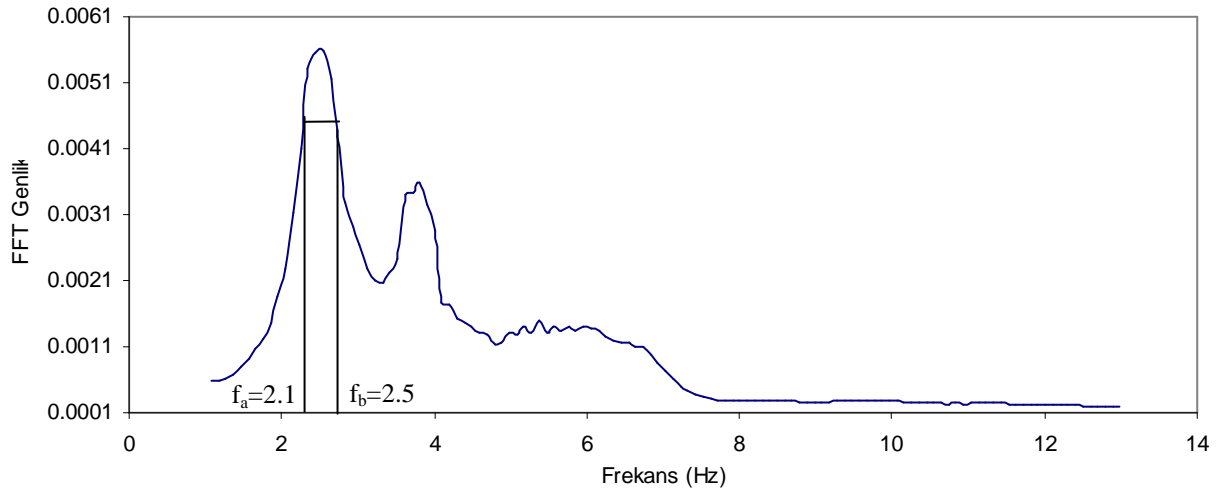


(c) Sensör No. 3

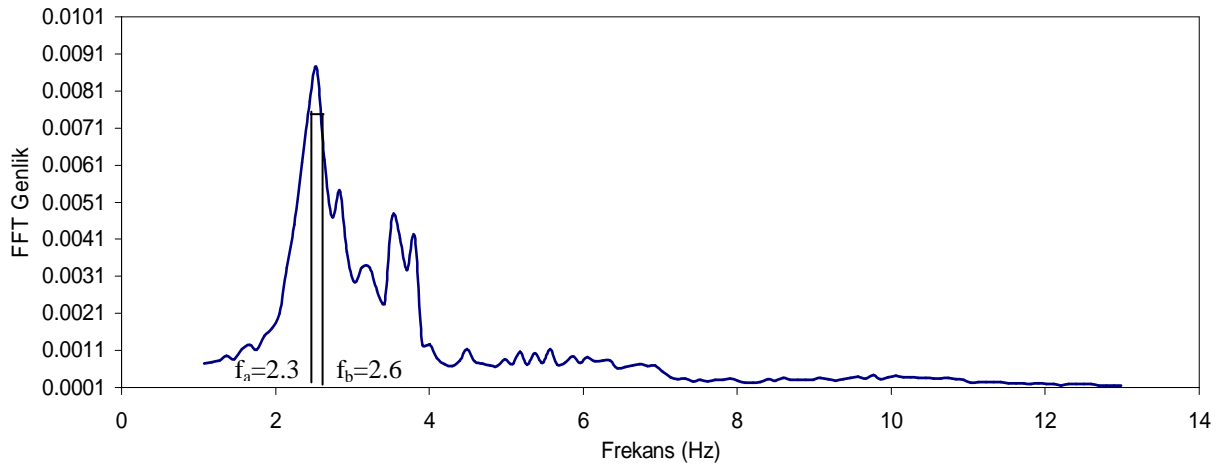
Şekil 4.36. Nizamettin Tohma Apt. uzun doğrultudaki (x) hız değişim grafikleri



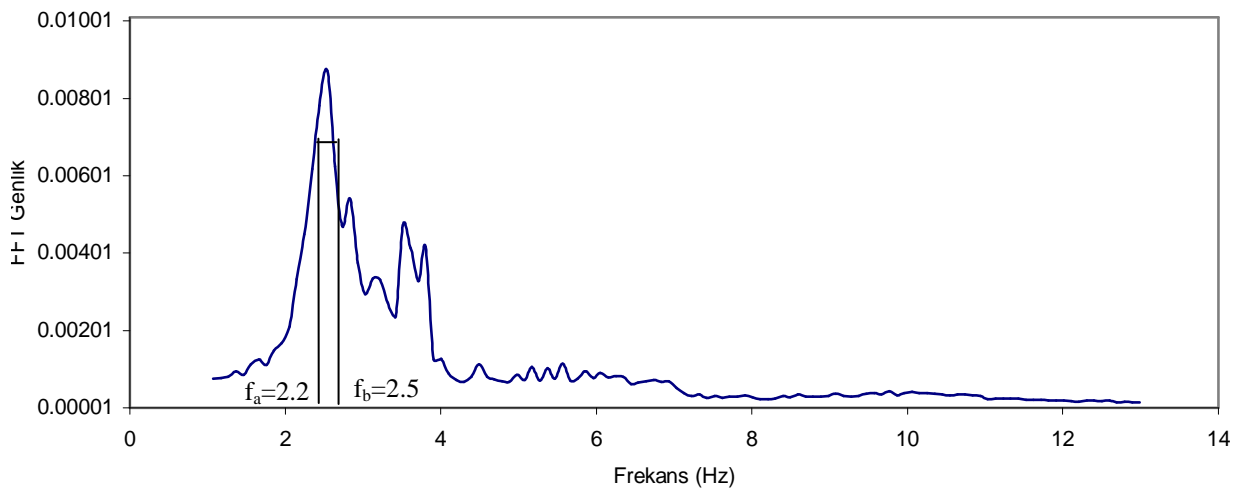
Şekil 4.37. Nizamettin Tohma Apt. uzun doğrultudaki mod şekilleri



Sensör No: 1



Sensör No: 2



Sensör No: 3

Şekil 4.38. Nizamettin Tohma Apt. uzun doğrultudaki sönüm grafikleri

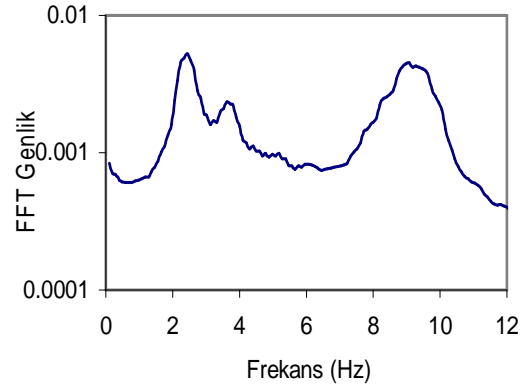
4.1.3.2. Kısa Doğrultuda Yapılan Hesaplamalar

Şekil 4.39.'da kısa doğrultudaki en üst kattaki 1-2 numaralı ve ara kattaki 3 numaralı sensörlerin FFT Genlik-Frekans grafikleri verilmiştir. Bu grafikler sonucunda, 2.4 Hz noktasında pik elde edildiği görülmüştür. Bu da genel olarak kısa doğrultuda hâkim titreşim periyodunun 0.417 s olduğunu göstermektedir.

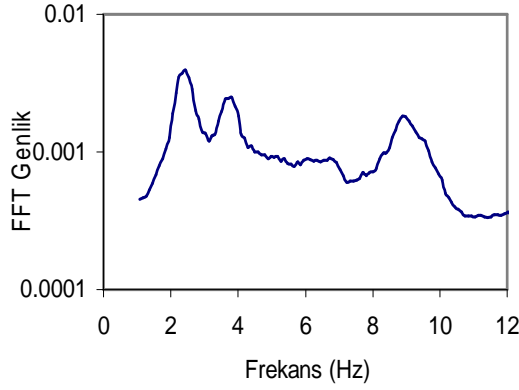
Binanın kısa (y) yönünde titreşimi esnasında zamana bağlı hız değişimini gösteren grafikler Şekil 4.40.'de verilmiştir. Grafiklerde, y eksenine karşılık x eksenindeki hız değişimi gösterilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi, y yönündeki hız genliği yaklaşık 0.55 iken, x yönünde yaklaşık 0.3 civarındadır.

Maksimum deplasman genliğine sahip olan sensörün değeri referans alınarak diğer tüm sensör deplasman değerlerinin bu değere bölünmesi ile normalize deplasmanlar elde edilmiştir. Şekil 4.41.'de uzun doğrultu için mod şekli gösterilmiştir.

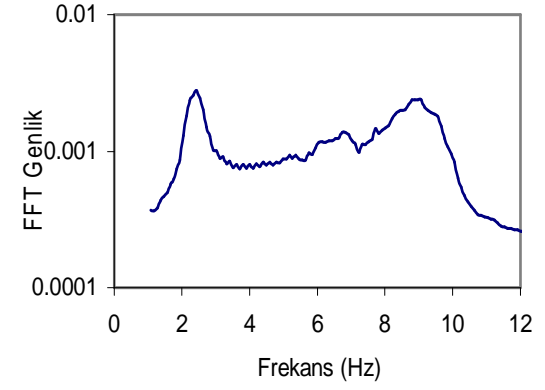
Şekil 4.42.'de uzun yöne ait sönüm değerini veren grafikler gösterilmiştir. Bu grafiklerden Denklem 3.1'e göre hesaplama yapıldığında sönüm oranı %7 olarak bulunmuştur.



(a) Sensör No. 1

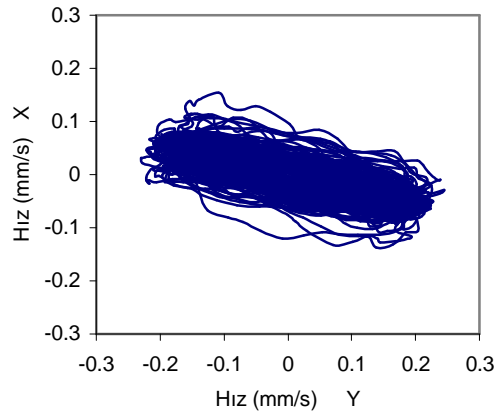


(b) Sensör No. 2

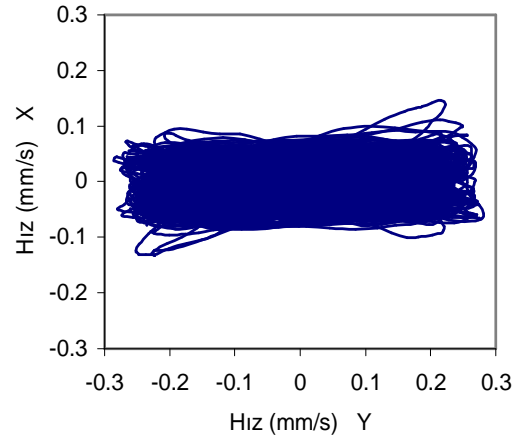


(c) Sensör No. 3

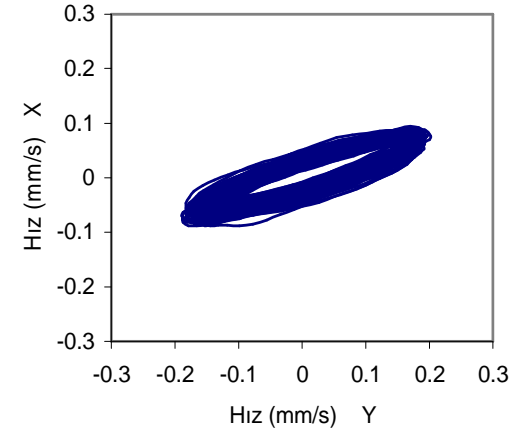
Şekil 4.39. Nizamettin Tohma Apt. kısa doğrultudaki FFT Genlik-Frekans grafikleri



(a) Sensör No. 1

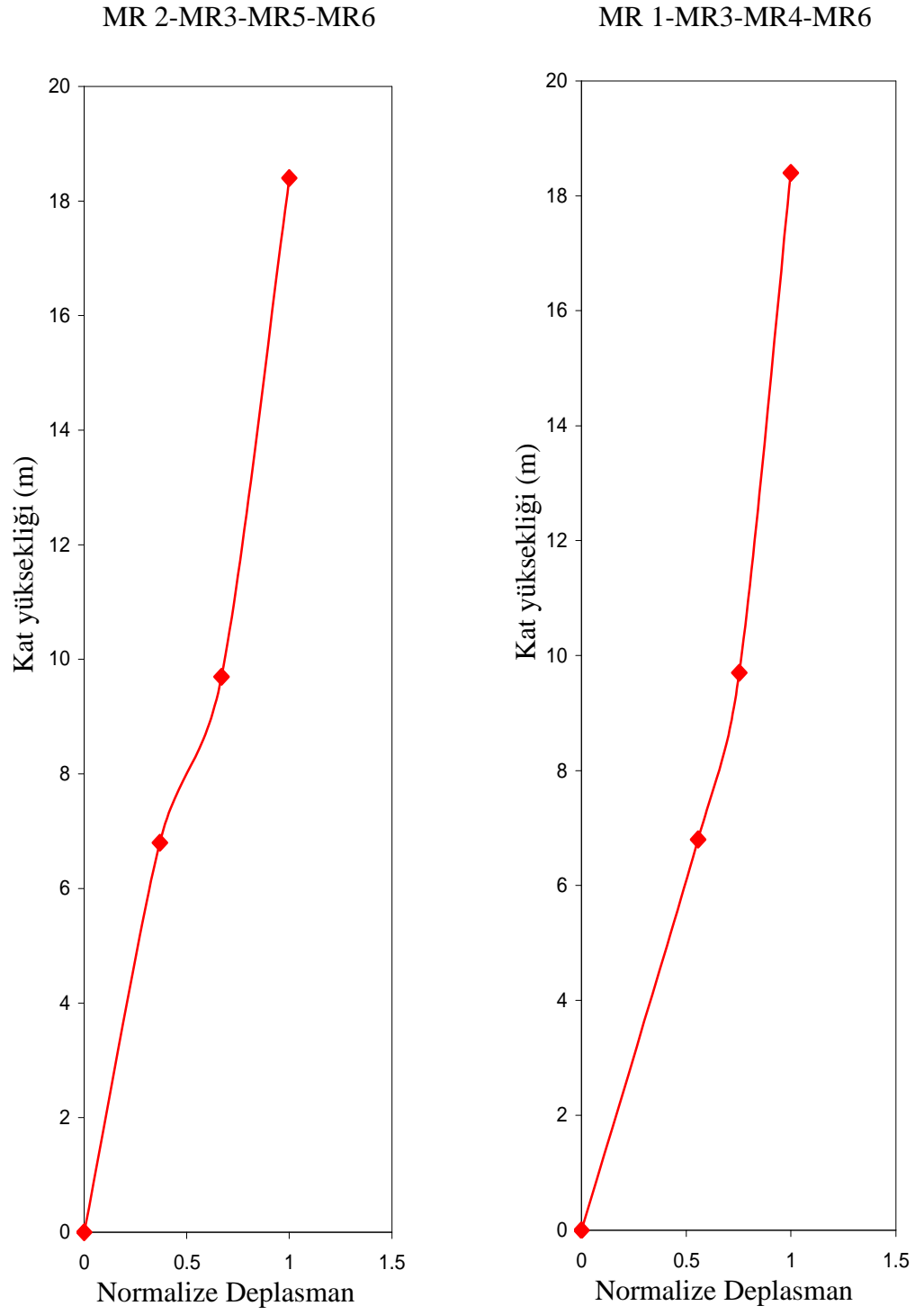


(b) Sensör No. 2

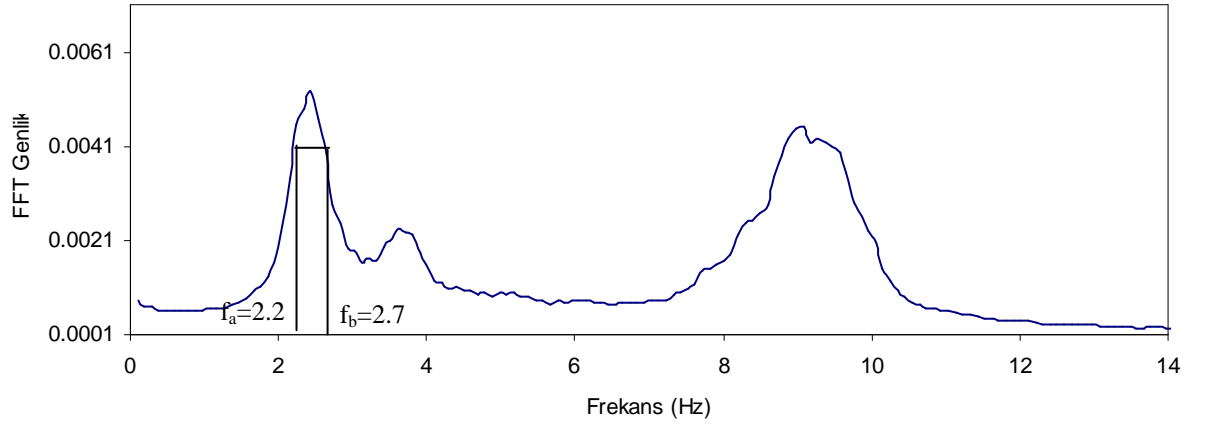


(c) Sensör No. 3

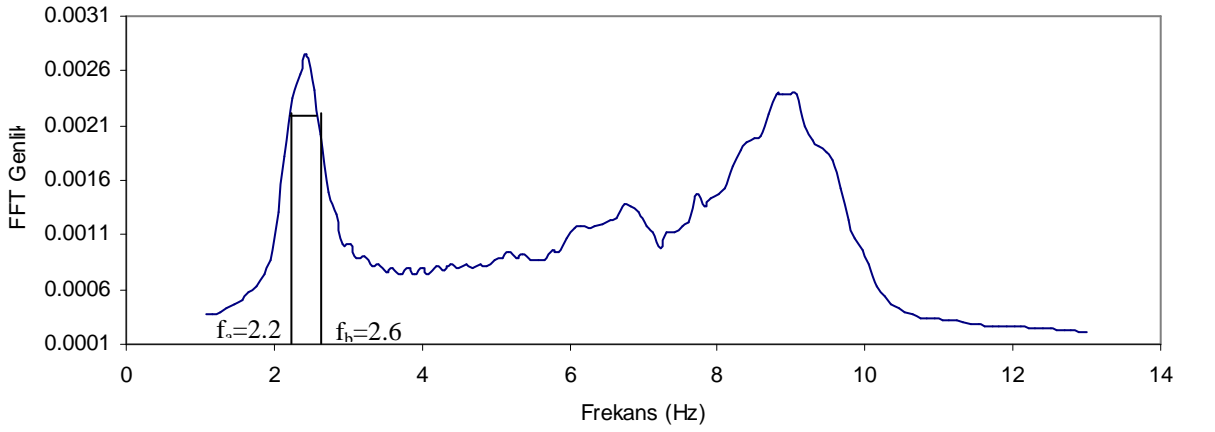
Şekil 4.40. Nizamettin Tohma Apt. kısa doğrultudaki hız değişim grafikleri



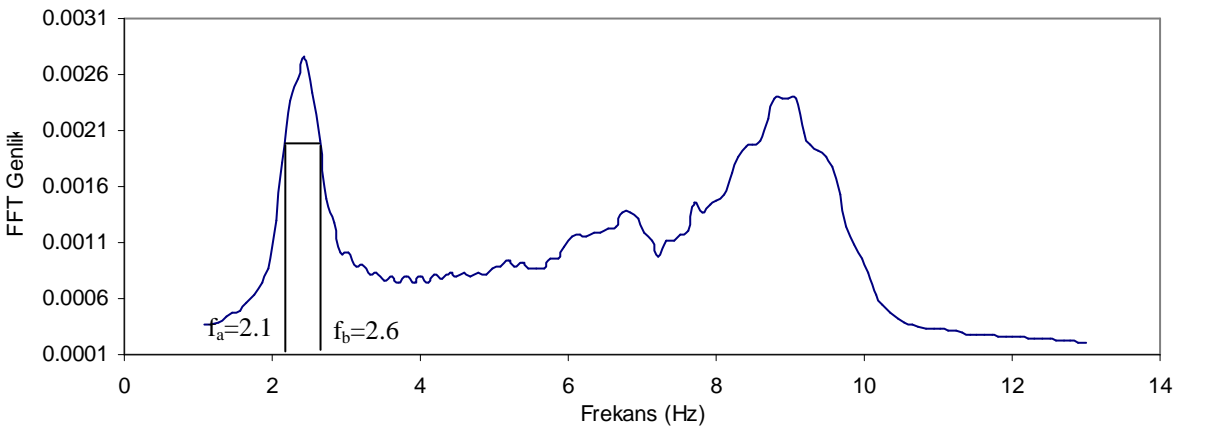
Şekil 4.41. Nizamettin Tohma Apt. kısa doğrultudaki mod şekilleri



Sensör No: 1



Sensör No: 2



Sensör No: 3

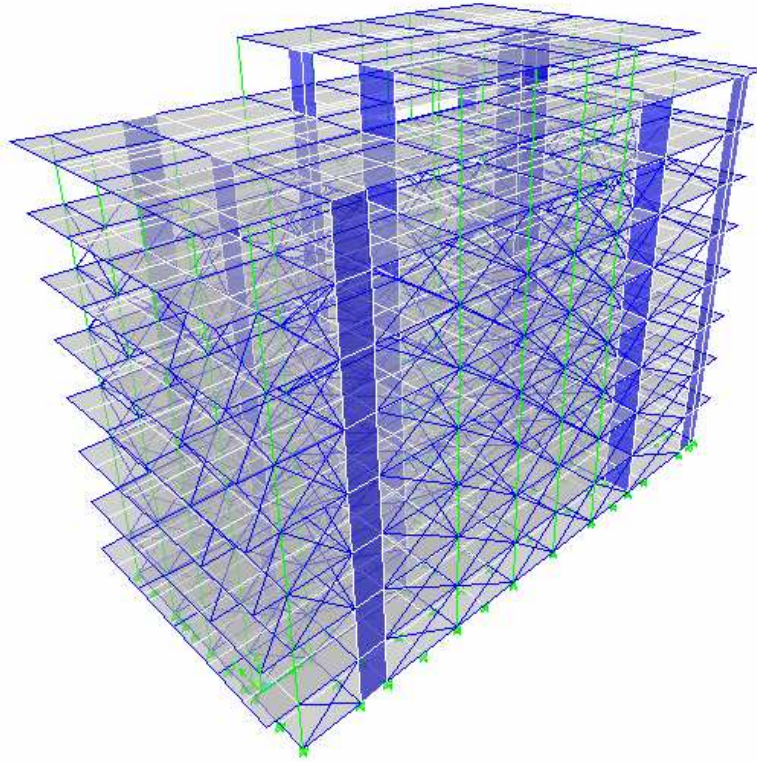
Şekil 4.42. Nizamettin Tohma Apt. kısa doğrultudaki sönüm oranı grafikleri

4.2. Test Binalarının Analitik Sonuçları

Bu tez çalışmasındaki binalar CSI firması tarafından geliştirilen ETABS (8. Versiyon, 2004) yapı analizi programı ile modellenmiş ve çözülmüştür. Bu program yardımıyla binalara ait kısa ve uzun yöndeki periyotlar ve mod şekilleri belirlenmiştir. Binaların karakteristik özellikleri modele aktarıldıktan sonra modal analiz sonucunda kısa ve uzun yönde olmak üzere hâkim titreşim periyotları tespit edilmiştir. ETABS programında model test esnasında binaya yerleştirilen sensörlerin yerlerindeki deplasman değerleri kullanılarak mod şekilleri elde edilmiştir. Bu bölümde test binalarına ait analitik model sonucu elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

4.2.1. Birinci Test Binası Ayhan Girişken Apartmanı Analitik Sonuçları

Ayhan Girişken Apartmanı ETABS analiz programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modellemede binaya ait beton sınıfı C25 (25 N/mm^2) ve çelik sınıfı S420 (420 N/mm^2) kullanılmıştır. Betonun elastisite modülü $E=30000 \text{ MPa}$ (25 N/mm^2), poisson oranı $\nu=0.2$, birim hacim ağırlığı 2.5 t/m^3 'tür. Dolgu duvarlarda delikli tuğla kullanılmıştır. Temelin uç noktaları ankastre mesnet, kiriş ve kolonlar frame, döşemeler plane, perdeler shell eleman olarak modellenmiştir. Her kat seviyesinde rijit diyafram kabulü yapılmıştır ve her katın toplam kütesinin kütle merkezinde toplandığı kabul edilmiştir. Modelde rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Şekil 4.43.'de yapının ETABS bilgisayar programına ait üç boyutlu model görüntüsü verilmiştir. Sistemde yapılan modal analiz sonucunda kısa ve uzun yöndeki hâkim titreşim modları elde edilmiştir. Analitik değerlendirmede binaya ait modal frekansların doğru bir şekilde tayin edilebilmesi için yapı modelinin doğru oluşturulması gerekmektedir. Malzeme tanımlanmasında projedeki mevcut bilgiler kullanılmıştır.



Şekil 4.43. Ayhan Girişken Apt.'nın ETABS'daki üç boyutlu görüntüsü

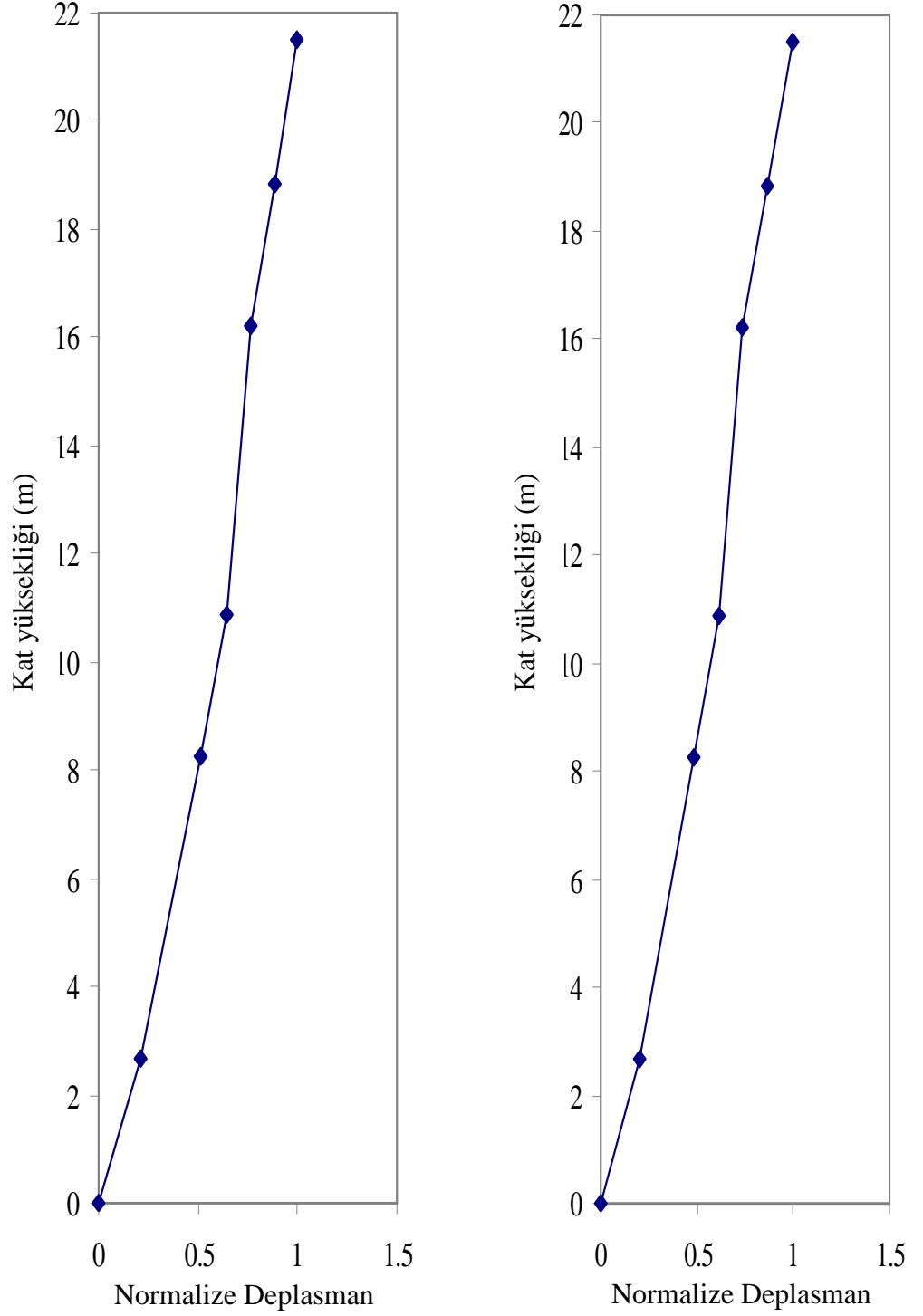
Duvar modellemesinde Elastisite modülü $E=1393$ MPa ve Poisson oranı $\nu=0.3$ olarak alınmıştır. Modellemelerde duvarların varlığı dikkate alınmış olup kapı, pencere vb boşlukların da göz önüne alındığı durumdaki eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılmıştır. Bunun sonucunda binanın kısa yöndeki periyodu 0.5467 s, uzun yöndeki ise 0.3617 s olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.1. Ayhan Girişken Apartmanının ETABS sonucunda elde edilen periyot değerleri

Mod	Mod Tipi	ETABS Periyot Sonuçları (s)
1.	Kısa yön	0,5467
2.	Burulma	0,4711
3.	Uzun yön	0,3617

Yapıya ait mod şekilleri kısa ve uzun yön için ayrı ayrı bulunmuştur. Test sırasında döşeme yüzeyine yerleştirilen sensörlerin buldukları yerlere modelleme üzerinde noktalar atanmıştır. Bu noktaların modal analiz sonucundaki kısa ve uzun yöndeki hâkim titreşim modlarındaki deplasman değerleri okunarak mod şekil grafikleri

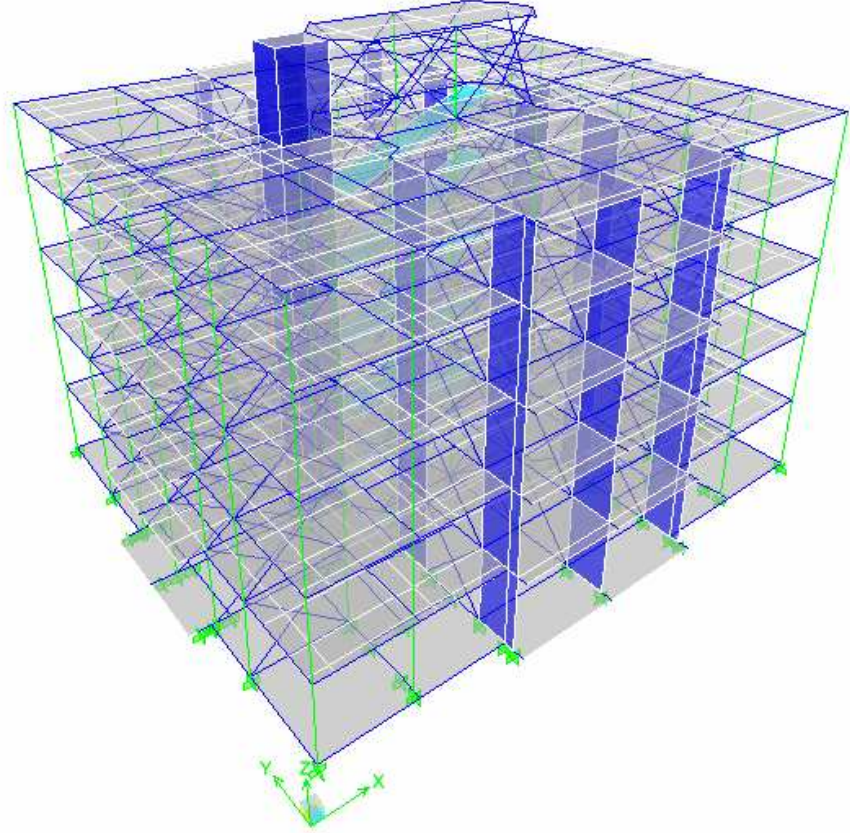
oluşturulmuştur. Yatay eksende normalize edilmiş deplasman değerleri, dikey ekseninde ise kat yüksekliğinin yer aldığı grafikler Şekil 4.44.'de verilmiştir.



Şekil 4.44. Ayhan Girişken Apt. kısa ve uzun doğrultudaki mod şekilleri

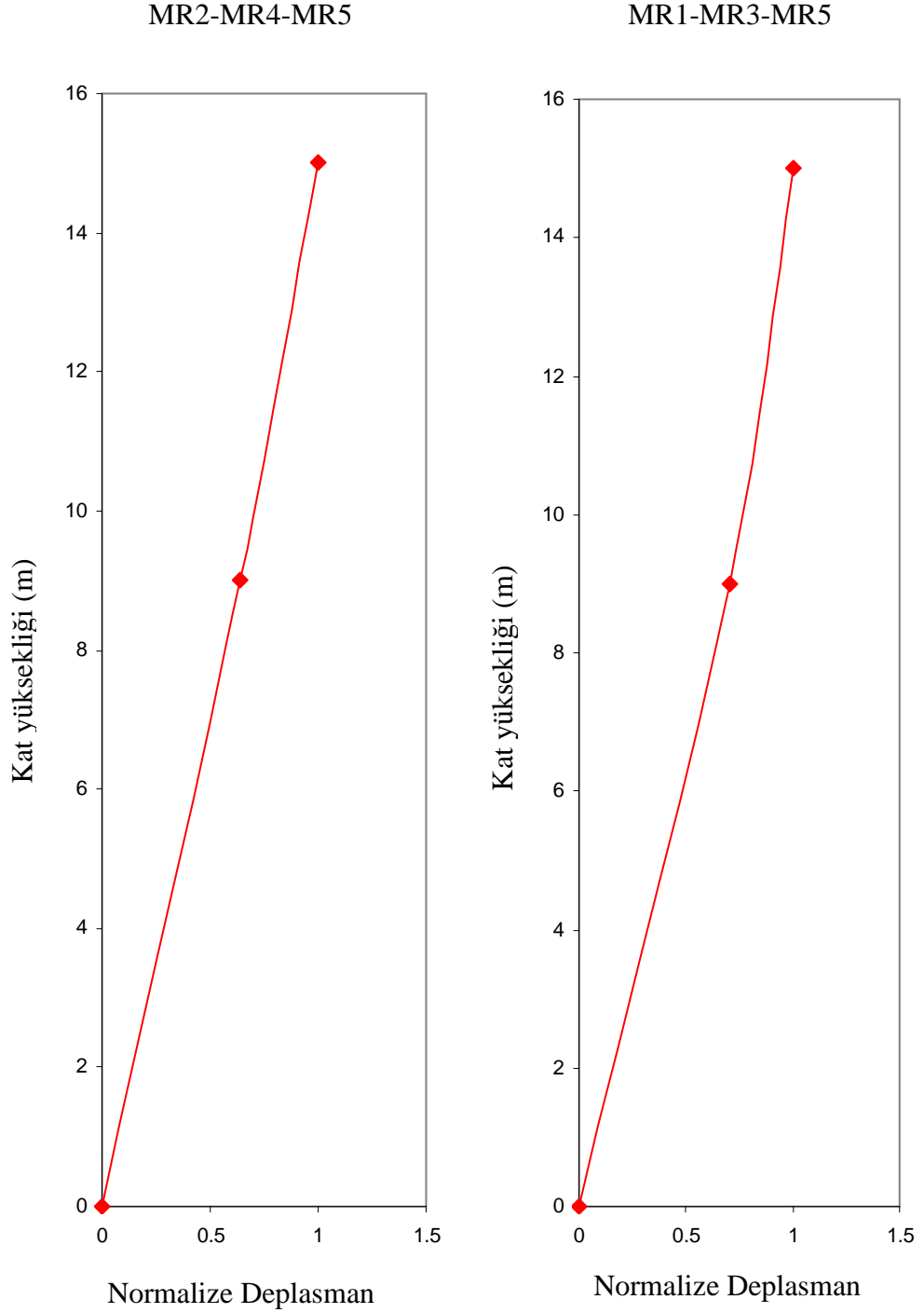
4.2.2. İkinci Test Binası Sedir Apartmanı Analitik Sonuçları

Sedir Apartmanı ETABS analiz programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modellemede projede yer aldığı gibi binaya ait beton sınıfı C16 (16 N/mm^2) ve çelik sınıfı S220 (220 N/mm^2) olarak kullanılmıştır. Betonun elastisite modülü $E=27000 \text{ MPa}$ (25 N/mm^2), poisson oranı $\nu=0.2$, birim hacim ağırlığı 2.5 t/m^3 'tür. Dolgu duvarlarda delikli tuğla kullanılmıştır. Dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmiştir. Temelin uç noktaları ankastre mesnet, kiriş ve kolonlar frame, döşemeler plane, perdeler shell eleman olarak modellenmiştir. Her kat seviyesinde rijit diyafram kabulü yapılmıştır ve her katın toplam kütesinin kütle merkezinde toplandığı kabul edilmiştir. Şekil 4.45.'de yapının ETABS bilgisayar programına ait üç boyutlu model görüntüsü verilmiştir. Sistemde yapılan modal analiz sonucunda kısa ve uzun yöndeki hâkim titreşim modları elde edilmiştir. Malzeme tanımlanmasında projedeki mevcut bilgiler kullanılmıştır.

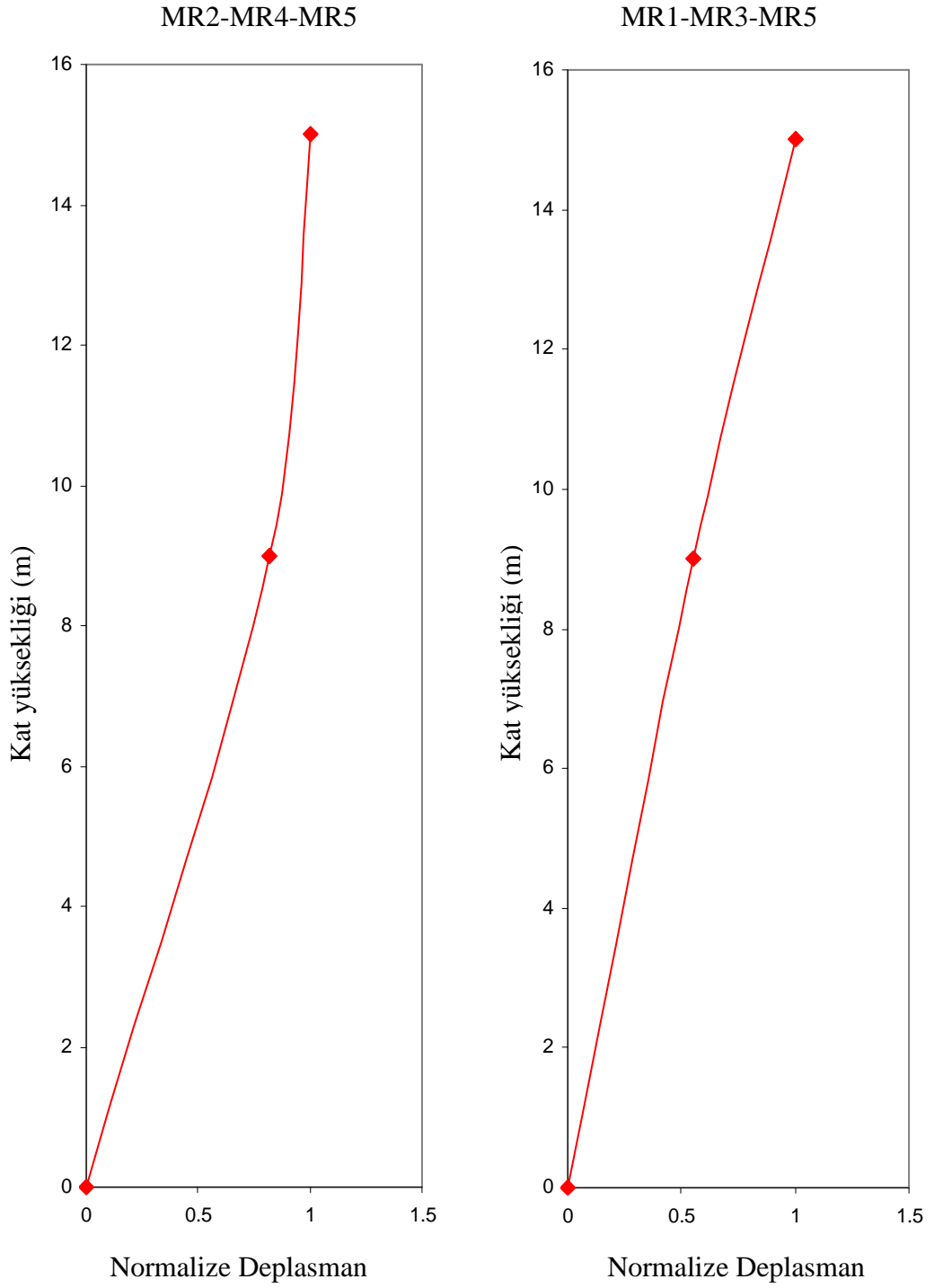


Şekil 4.45. Sedir Apt. ETABS'daki üç boyutlu görüntüsü

Yapıya ait mod şekilleri kısa ve uzun yön için ayrı ayrı bulunmuştur. Yatay ekseninde normalize edilmiş deplasman değerleri, düşey ekseninde ise kat yüksekliğinin yer aldığı mod şekilleri Şekil 4.46.'da ve Şekil 4.47.'de verilmiştir.



Şekil 4.46. Sedir Apt. kısa doğrultudaki mod şekilleri



Şekil 4.47. Sedir Apt. uzun doğrultudaki mod şekilleri

Duvarların modellenmesinde kapı, pencere vb boşlukların göz önüne alındığı durumdaki eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılmıştır. Tuğla malzemesinin Elastisite modülü $E=1393$ MPa ve Poisson oranı $\nu=0.3$ olarak alınmıştır. Bunun sonucunda

binanın kısa yöndeki periyodu 0.1802 s, uzun yöndeki ise 0.1902 s olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Sedir Apartmanının ETABS programından elde edilen periyot değerleri

Modlar	Mod Tipi	ETABS Periyot Sonuçları (s)
1	Burulma	0.269
2	Uzun yön	0.1902
3	Kısa yön	0.1802

4.2.3. Üçüncü Test Binası Nizamettin Tohma Apartmanı Analitik Sonuçları

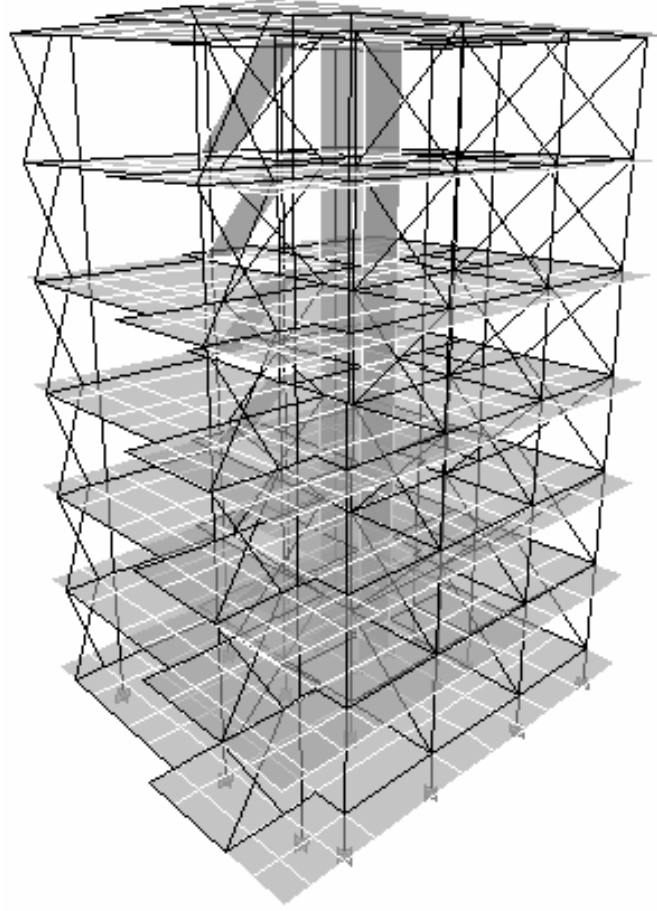
Nizamettin Tohma Apartmanı ETABS analiz programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modellemede projedeki gibi binaya ait beton sınıfı C16 (16 N/mm^2) ve çelik sınıfı S220 (220 N/mm^2) olarak kullanılmıştır. Betonun elastisite modülü $E=27000 \text{ MPa}$ (25 N/mm^2), poisson oranı $\nu=0.2$, birim hacim ağırlığı 2.5 t/m^3 'tür. Dolgu duvarlarda delikli tuğla kullanılmıştır. Dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmiştir. Modellemede önceki binalarda izlenen adımlar tekrarlanmıştır. Malzeme tanımlanmasında projedeki mevcut bilgiler kullanılmıştır.

Tuğla malzemesinin Elastisite modülü $E=1393 \text{ MPa}$ ve Poisson oranı $\nu=0.3$ olarak alınmıştır. Bunun sonucunda binanın uzun yöndeki periyodu 0.4719 s, kısa yöndeki periyodu ise 0.3420 s olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.3. Nizamettin Tohma Apartmanının ETABS programından elde edilen periyot değerleri

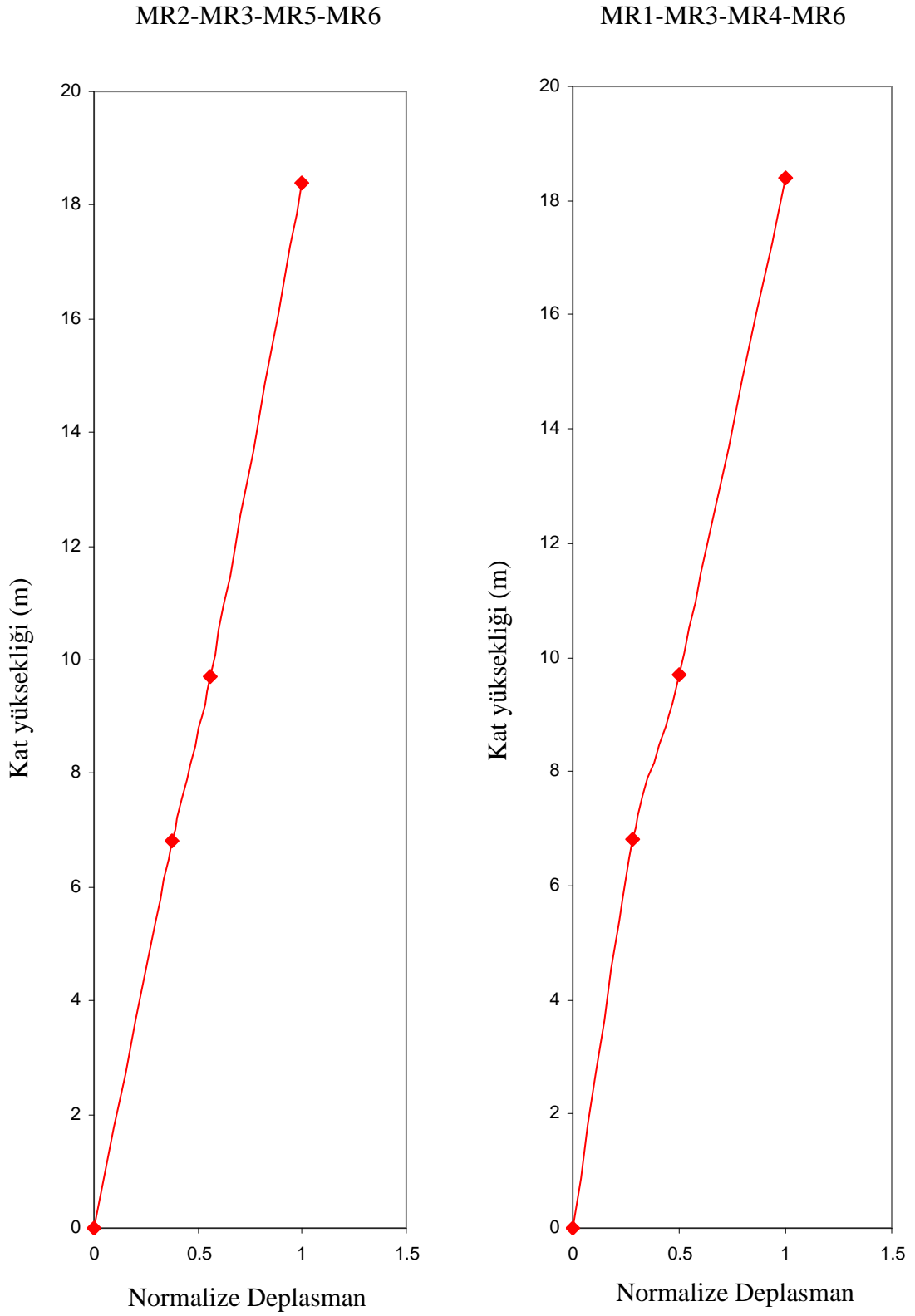
Modlar	Mod Tipi	ETABS Periyot Sonuçları (s)
1	Burulma	0.6219
2	Uzun yön	0.4719
3	Kısa yön	0.3420

Yapının ETABS programındaki üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.48.'de verilmiştir.

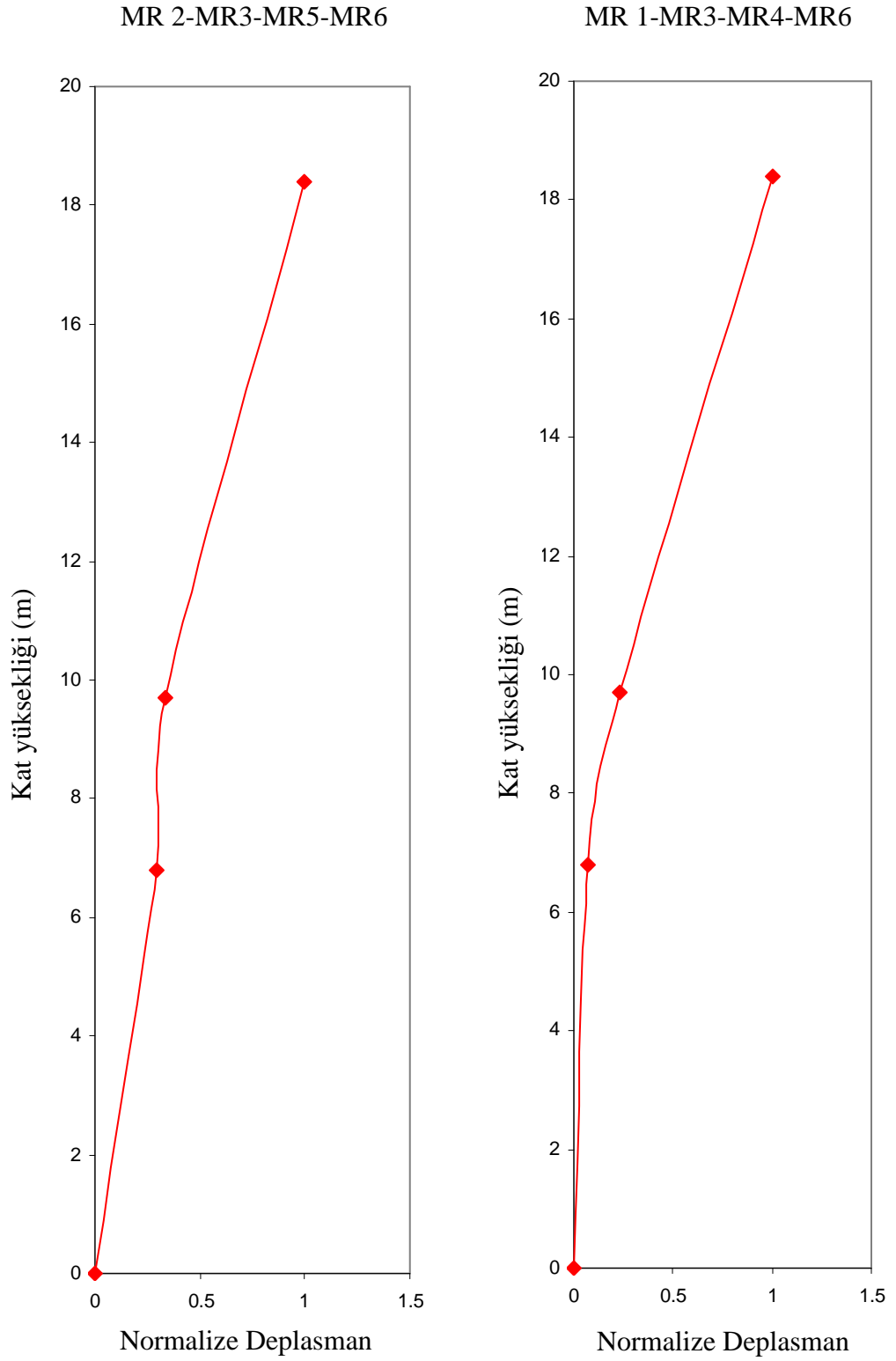


Şekil 4.48. Nizamettin Tohma Apt. ETABS'daki üç boyutlu görüntüsü

Yapıya ait mod şekilleri kısa ve uzun yön için ayrı ayrı bulunmuştur. Yatay ekseninde normalize edilmiş deplasman değerleri, düşey ekseninde ise kat yüksekliğinin yer aldığı mod şekilleri Şekil 4.49. ve Şekil 4.50.'de verilmiştir.



Şekil 4.49. Nizamettin Tohma Apt. kısa doğrultudaki mod şekilleri



Şekil 4.50. Nizamettin Tohma Apt. uzun doğrultudaki mod şekilleri

4.3. Test Sonuçlarıyla Analitik Sonuçların Karşılaştırılması

Betonarme yapılar üzerinde gerçekleştirilen zorlanmış titreşim testleri sonucunda, binanın dinamik özelliklerini yansıtan doğal frekanslar, mod şekilleri ve sönüm oranları tespit edilmiştir. Binalarda, uygulama hatalarından veya mimari-statik projelere aykırı hareket edilmesinden dolayı oluşabilecek davranış farklılıklarının tespit edilebilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu farklılıklar test sonuçlarıyla analitik sonuçların karşılaştırılması sonucu bulunabilmektedir. Bu bölümde, test sonuçlarıyla analitik sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.3.1. Ayhan Girişken Apartmanı Karşılaştırma Sonuçları

Kısa ve uzun yönde olmak üzere binaya ait test ve analitik sonuçlar Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

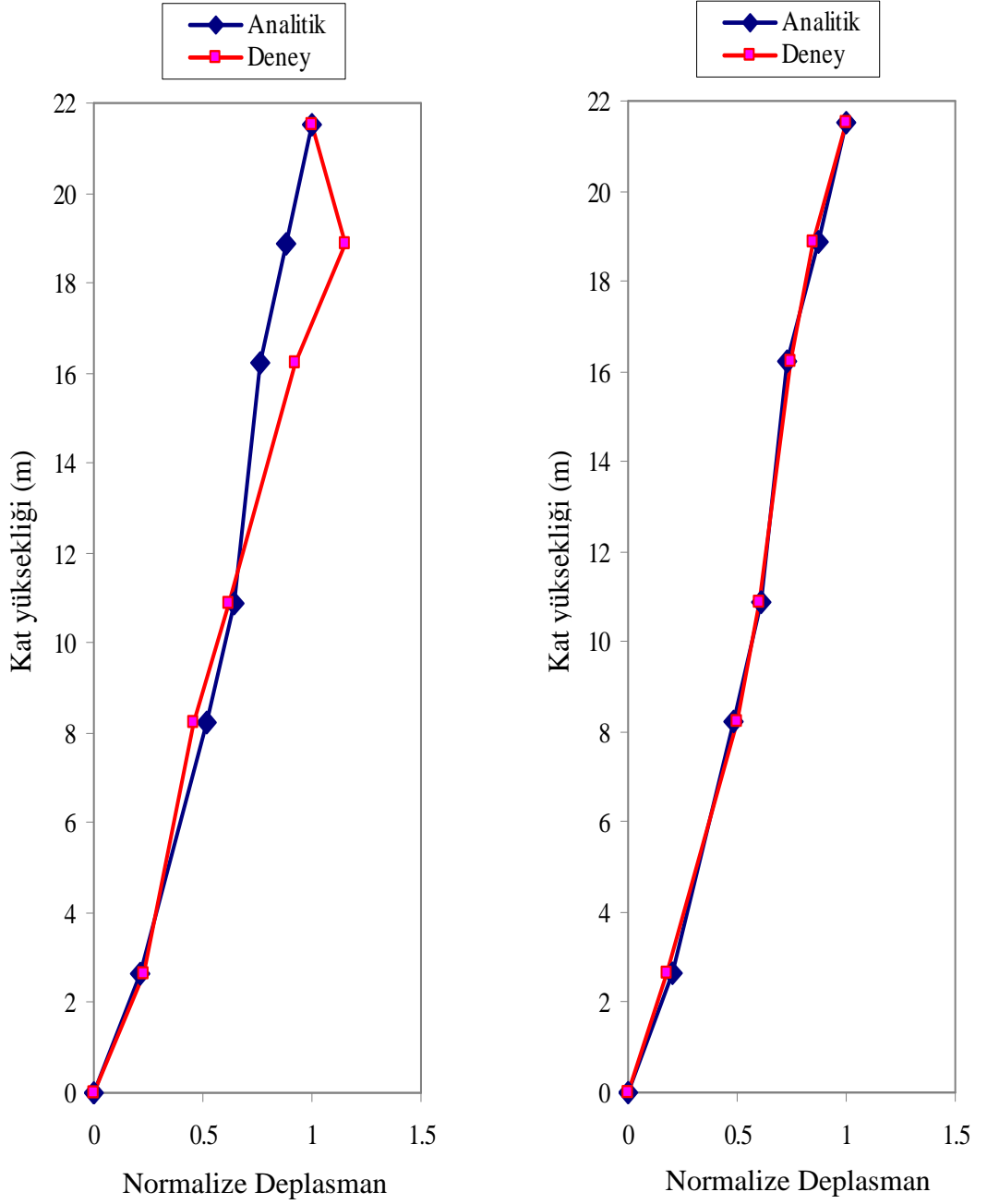
Çizelge 4.4. Ayhan Girişken Apartmanına ait test sonuçlarıyla analitik sonuçlar arasındaki farklar ve sönüm oranları

Mod	Mod Tipi	ETABS Periyot Sonuçları (s)	Test Periyot Sonuçları (s)	Test sonucuna Göre % Fark	Sönüm Oranı %
1.	Kısa yön	0,5467	0.5	9.34	1.4
2.	Burulma	0,4711	-	-	-
3.	Uzun yön	0,3617	0.42	13.88	2

Kısa ve uzun yöndeki hakim titreşim modları test sonuçları referans alınarak karşılaştırıldığında %9.34 ve %13.88 oranlarında farklar elde edilmiştir. Bu farklar inşaatın yapım aşamasındaki işçilik ve yapım hatalarından kaynaklanabilmektedir ve bu hata oranları kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Projenin uygulamaya tamamen yansıtılması durumunda bu farklar azalmaktadır.

Kısa yöndeki sönüm oranı %1.4, uzun yöndeki sönüm oranı ise %2'dir (Çizelge 4.4.).

Mod şekilleri, yatay düzlemde hareket eden döşeme plaklarının modal frekans değerinde yapmış olduğu yer değiştirmenin katlara göre dağılımını ifade etmektedir. Test ve analitik sonuçlardan elde edilen deplasman değerine göre normalize edilen deplasman değerlerinin yatay ekseninde, kat yüksekliğinin düşey ekseninde gösterilerek elde edilen mod şekilleri Şekil 4.51.'de verilmiştir.



Şekil 4.51. Ayhan Girişken Apt. kısa ve uzun doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri

4.3.2. Sedir Apartmanı Karşılaştırma Sonuçları

4.3.2.1. Sarsma Cihazının Konum-1'deki Durumu İçin Karşılaştırma Sonuçları

Kısa ve uzun yönde olmak üzere binaya ait test ve analitik sonuçlar Çizelge 4.5.'da verilmiştir.

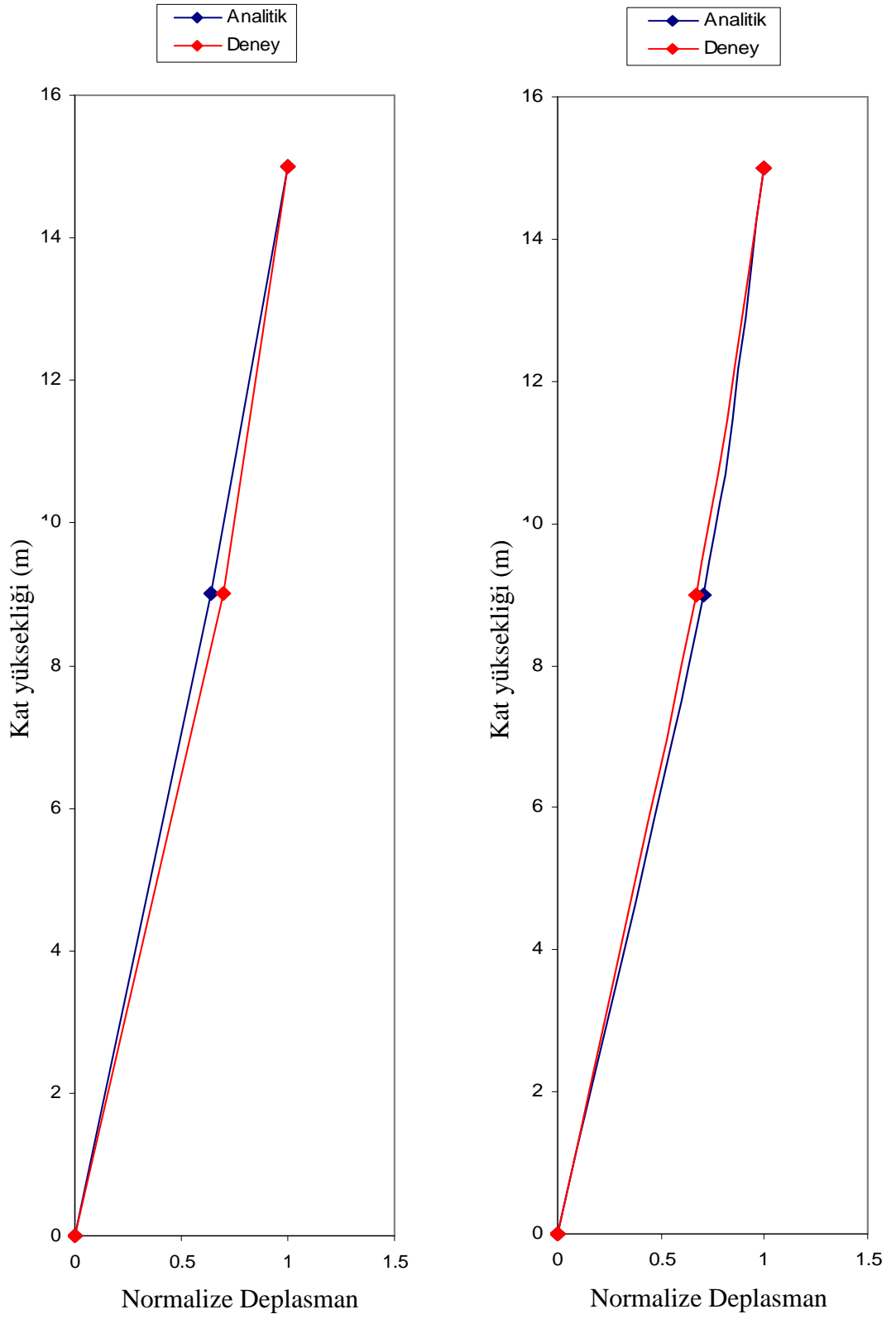
Çizelge 4.5 Sedir Apartmanının Konum-1'deki test sonuçlarıyla analitik sonuçları arasındaki farklar ve sönüm oranları

Mod	Mod Tipi	ETABS Periyot Sonuçları (s)	Test Periyot Sonuçları (s)	Test sonucuna Göre % Fark	Sönüm Oranı %
1.	Burulma	0,269	-	-	-
2.	Uzun yön	0,1902	0.263	17.8	4.3
3.	Kısa yön	0,1802	0.233	27.6	4.26

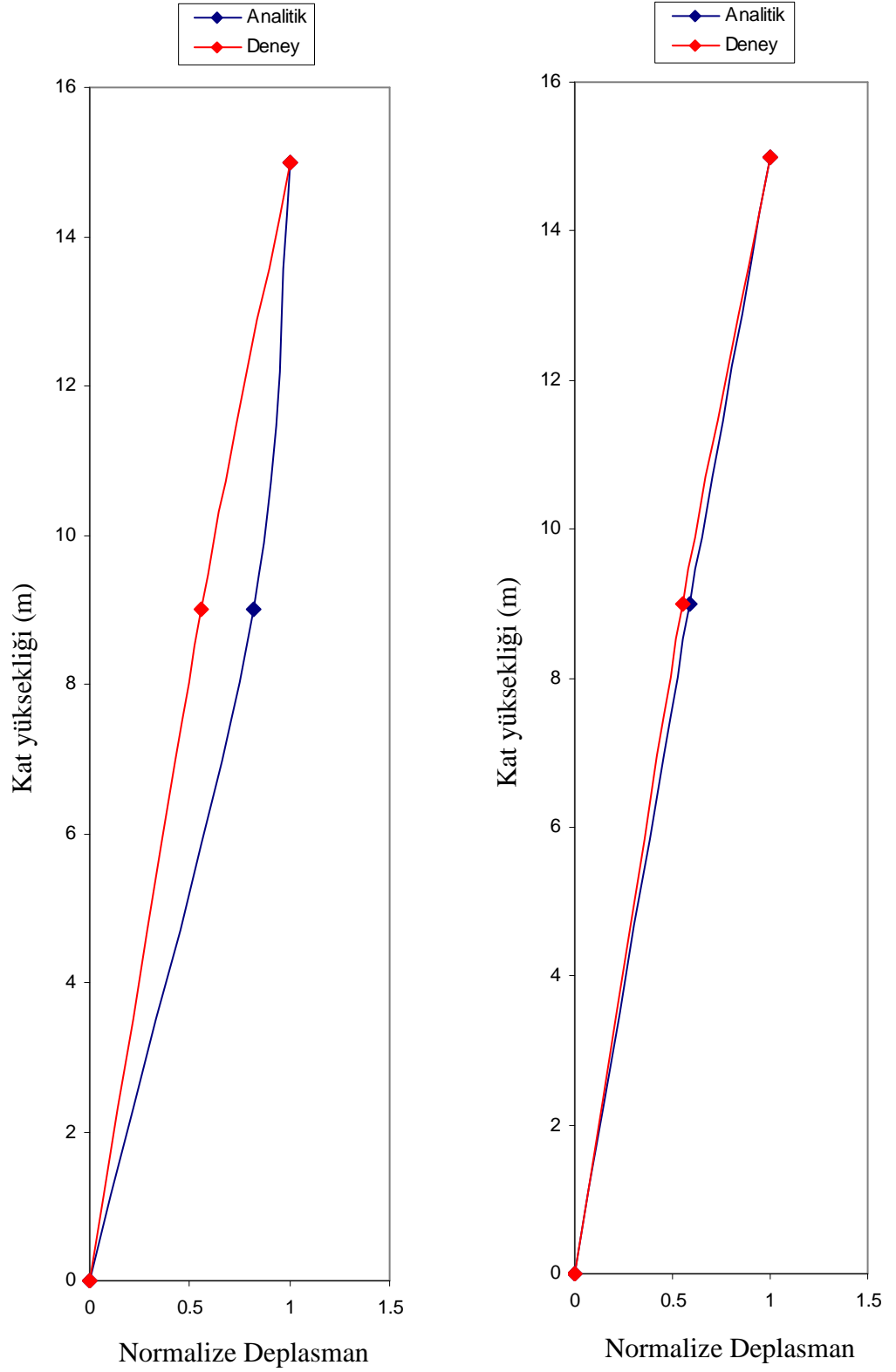
Uzun yöndeki modlar karşılaştırıldığında eşdeğer basınç çubuğu modelinden elde edilen periyot 0.1902 s iken test sonucundaki değer 0.263 s'dir. Kısa doğrultuda ise modelden elde edilen modal frekans 0.1802 s iken test sonucundan elde edilen değer 0.233 s'dir. Bu bilgiler ışığında test verileri referans alındığında uzun yöndeki modal fark %17.8 ve kısa yöndeki fark %27.6 çıkmıştır.

Yapının test sonucundan elde edilen sönüm oranları uzun doğrultuda %4.3 iken kısa doğrultuda %4.26 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.5.).

Mod şekilleri, yatay düzlemde hareket eden döşeme plaklarının modal frekans değerinde yapmış olduğu yer değiştirmenin katlara göre dağılımını ifade etmektedir. Test ve analitik sonuçlardan elde edilen deplasman değerine göre normalize edilen deplasman değerlerinin yatay ekseninde, kat yüksekliğinin düşey ekseninde gösterilerek elde edilen mod şekilleri Şekil 4.52. ve Şekil 4.53.'de verilmiştir. Grafiklerden, analitik sonuçlarla test sonuçları arasında uyum olduğu görülebilmektedir.



Şekil 4.52. Sedir Apt. Konum-1 kısa doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri



Şekil 4.53. Sedir Apt. Konum-1 uzun doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri

4.3.2.2. Sarsma Cihazının Konum-2'deki Durumu İçin Karşılaştırma Sonuçları

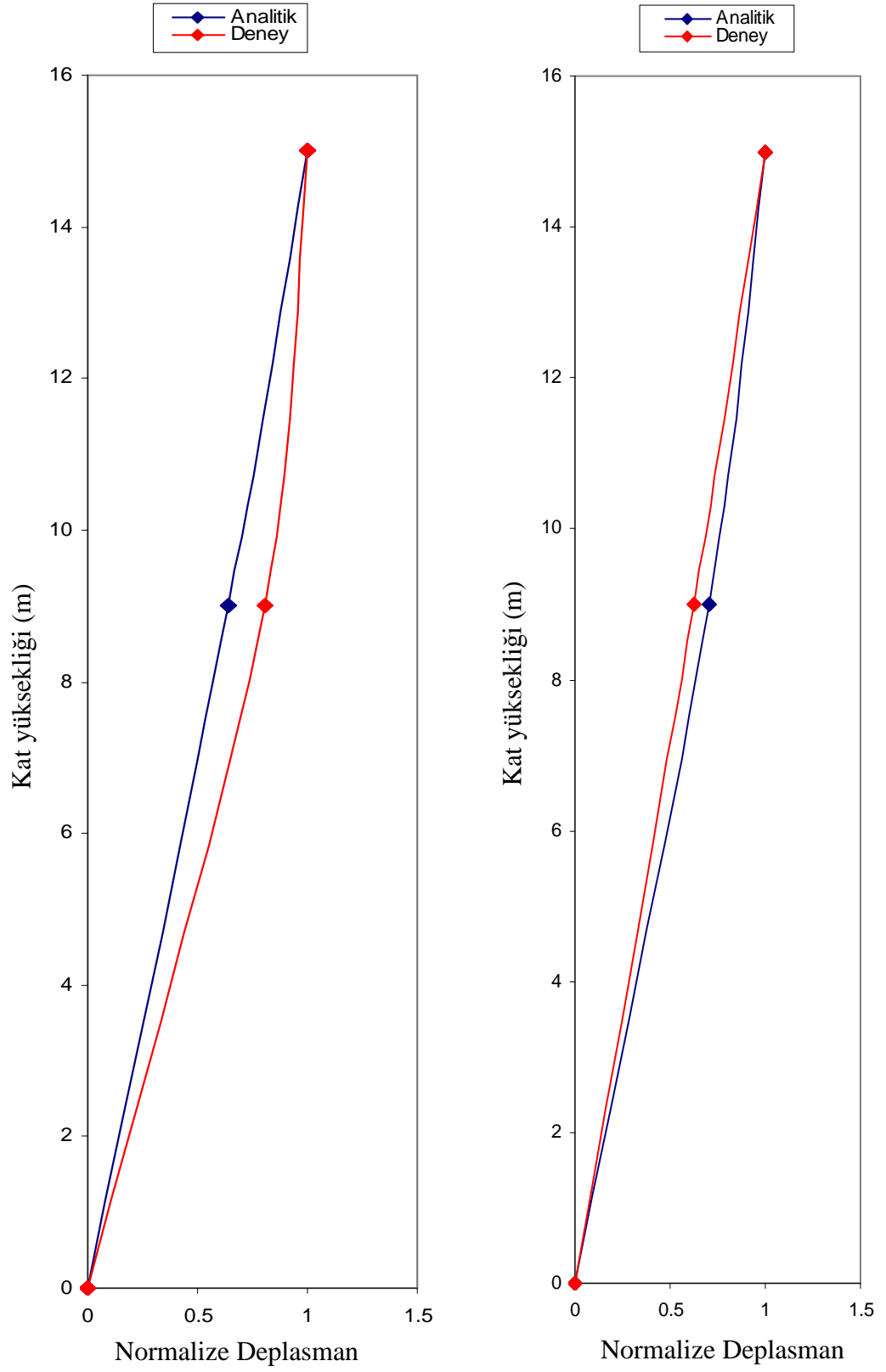
Kısa ve uzun yönde olmak üzere binaya ait test ve analitik sonuçlar izelge 4.6.'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Sedir Apartmanının Konum-2'deki test sonuçlarıyla analitik sonuçları arasındaki farklar ve sönüm oranları

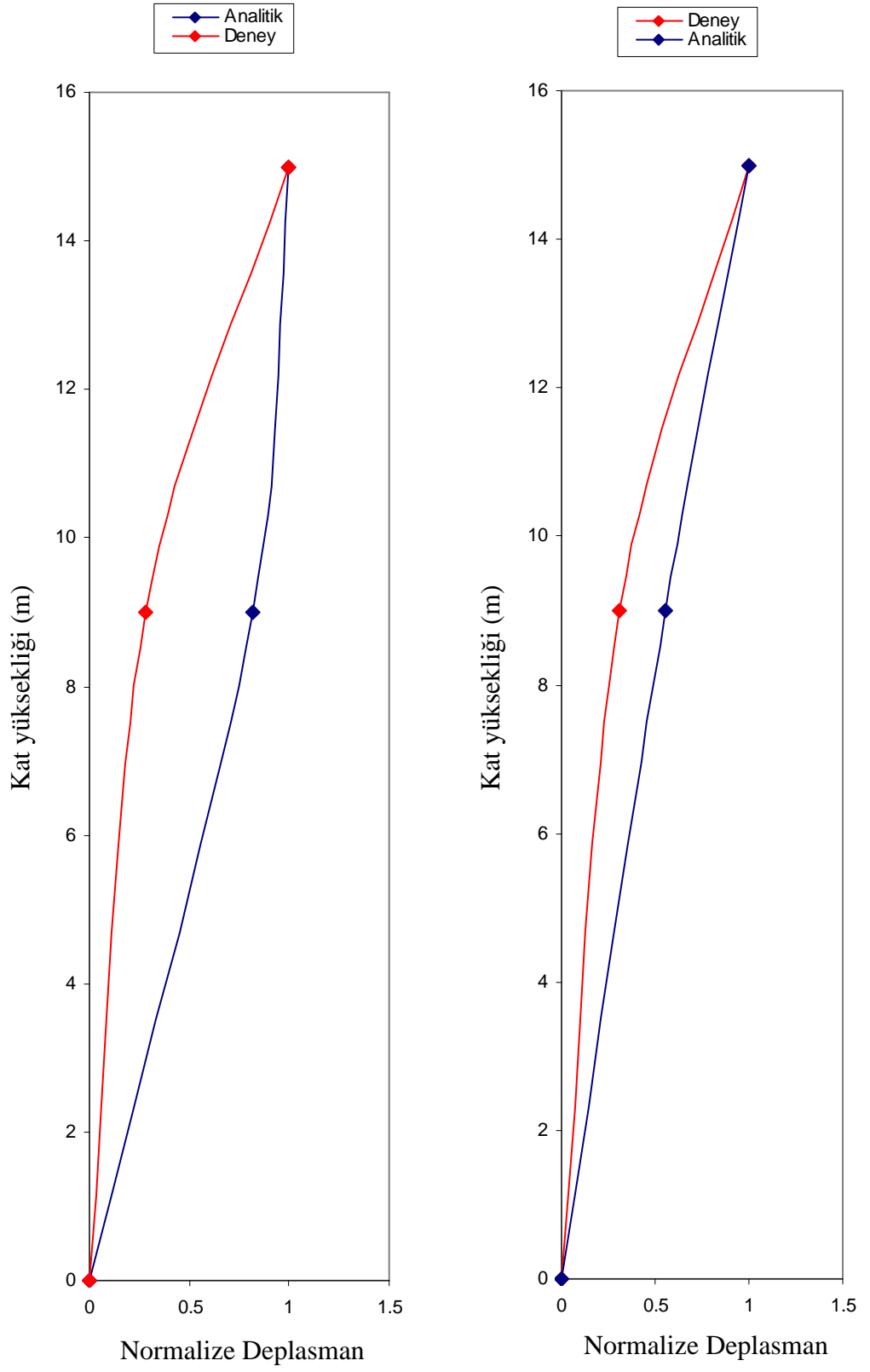
Mod	Mod Tipi	ETABS Periyot Sonuçları (s)	Test Periyot Sonuçları (s)	Test sonucuna Göre % Fark	Sönüm Oranı %
1.	Burulma	0,269	-	-	-
2.	Uzun yön	0,1902	0.217	12.4	2.2
3.	Kısa yön	0,1802	0.233	27.6	1.2

Uzun yöndeki modlar karşılaştırıldığında eşdeğer basınç çubuğu modelinden elde edilen periyot 0.1902 s iken test sonucundaki değer 0.217 s'dir. Kısa doğrultuda modelden elde edilen modal frekans 0.1802 s iken test sonucundan elde edilen değer 0.233 s'dir. Bu bilgiler ışığında test verileri referans alındığında uzun yöndeki modal fark %12.4 ve kısa yöndeki fark %27.6 çıkmıştır.

Yapının test sonucundan elde edilen sönüm oranları uzun doğrultuda %2.2 iken kısa doğrultuda %1.2 olarak hesaplanmıştır (izelge 4.6.).



Şekil 4.54. Sedir Apt. Konum-2 uzun doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri



Şekil 4.55. Sedir Apt. Konum-2 kısa doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri

Sedir Aparmanında titreşim üretici cihazın her iki konumu için yapılan değerlendirmenin sonucunda kısa ve uzun doğrultu için elde edilen periyot değerlerine bakıldığında, kısa yöndeki periyotlar 0.233 s iken, uzun yöndeki periyotlar konum-1 için 0.263 s, konum-2 için 0.217 bulunmuştur. Bunun temel nedeni binanın kısa doğrultudaki simetrik olup uzun doğrultuda asimetric olmasıdır (Çizelge 4.7.).

Çizelge 4.7. Sedir Apartmanı Konum-1 ve konum-2 için karşılaştırmalı periyot değerleri

	1. KONUM	2. KONUM
	Periyot (s)	Periyot (s)
Uzun Yön	0,263	0,217
Kısa Yön	0,233	0,233

4.3.3. Nizamettin Tohma Apartmanı Karşılaştırma Sonuçları

Kısa ve uzun yönde olmak üzere binaya ait test ve analitik sonuçlar Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

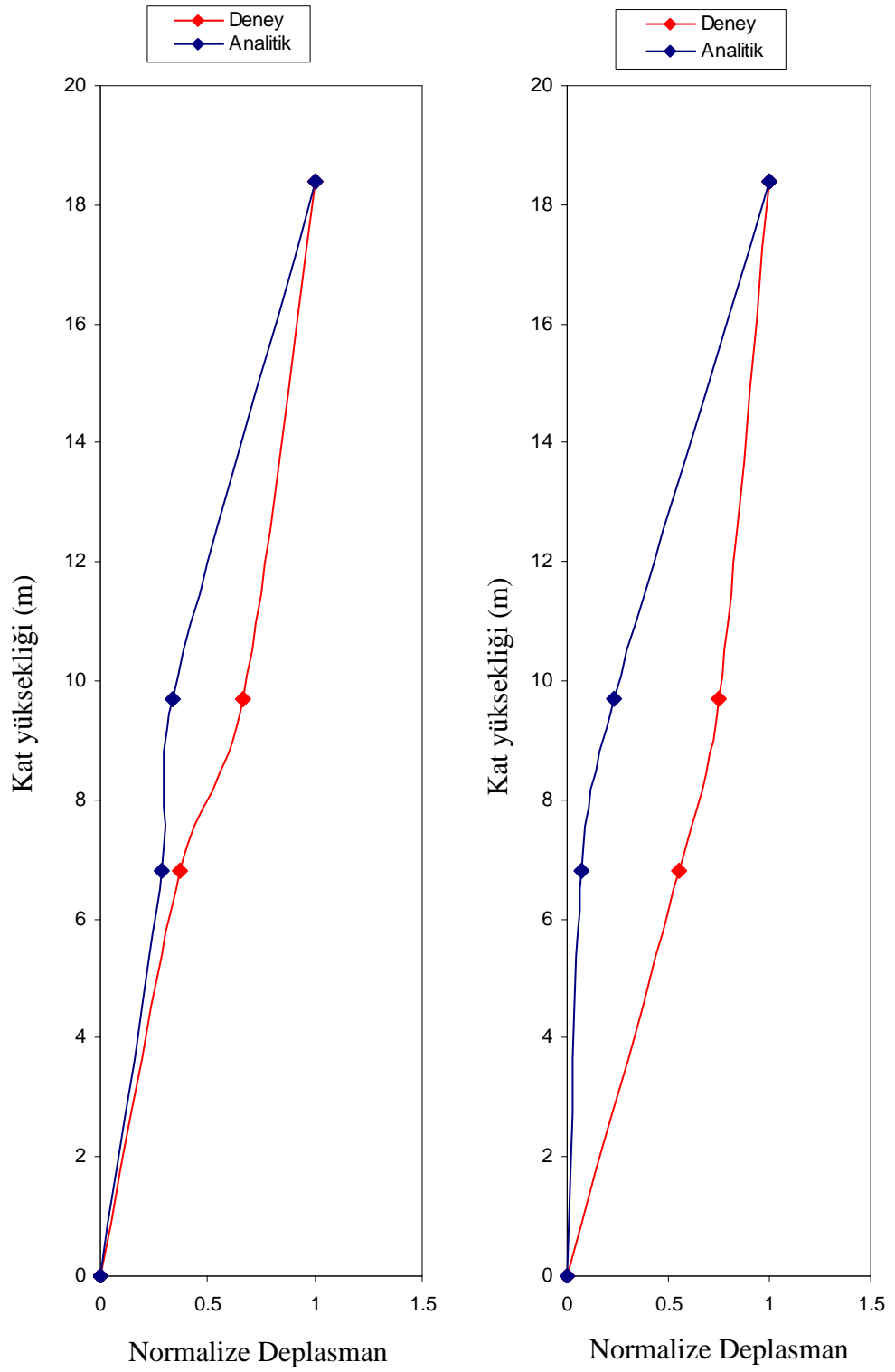
Çizelge 4.8. Nizamettin Tohma Apartmanının test sonuçlarıyla analitik sonuçlar arasındaki farklar ve sönüm oranları

Mod	Mod Tipi	ETABS Periyot Sonuçları (s)	Test Periyot Sonuçları (s)	Test sonucuna Göre % Fark	Sönüm Oranı %
1.	Burulma	0,6219	-	-	-
2.	Uzun yön	0,4719	0.4	-17.97	7.03
3.	Kısa yön	0,3420	0.416	17.78	7.09

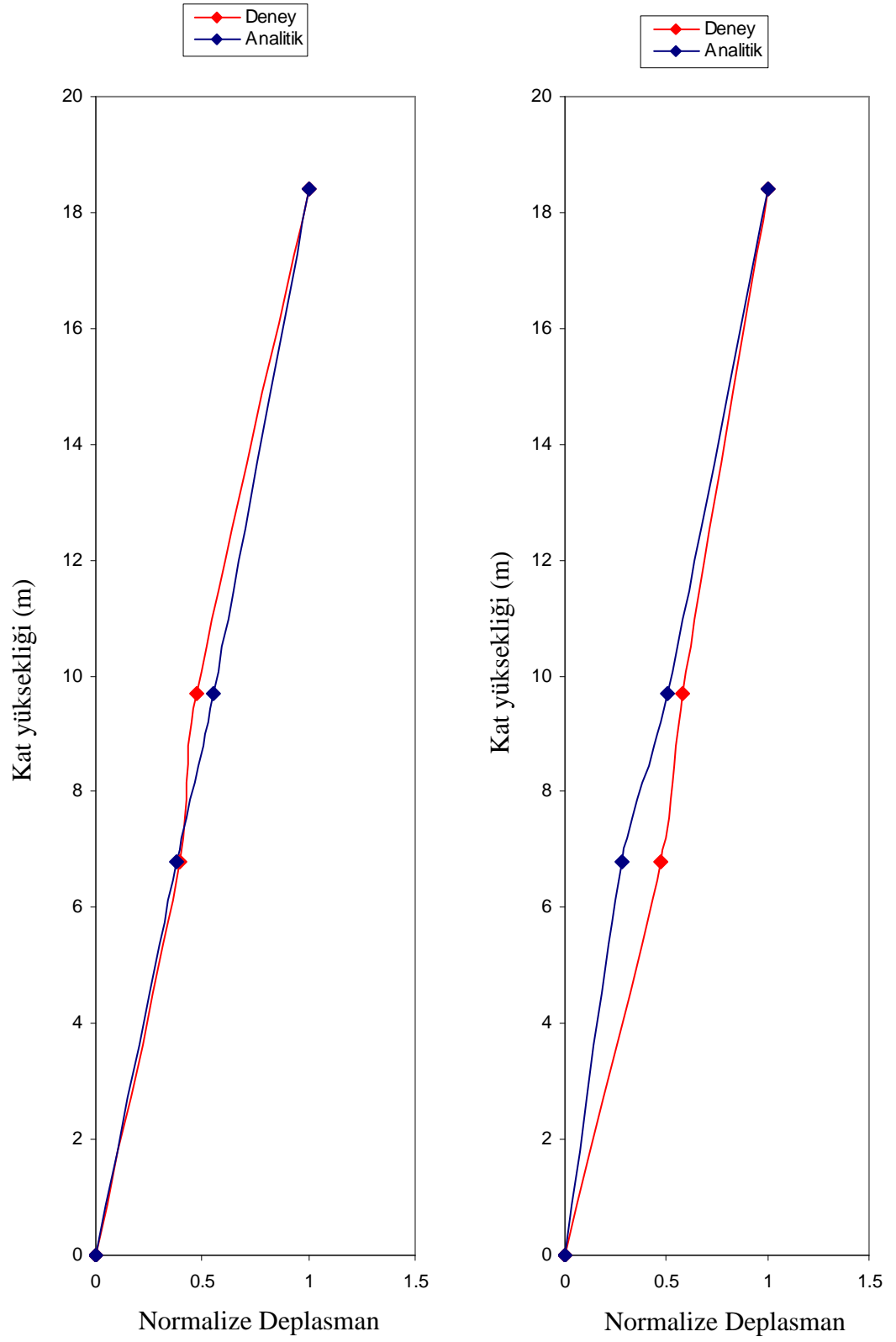
Uzun yöndeki modlar karşılaştırıldığında eşdeğer basınç çubuğu modelinden elde edilen periyot 0.4719 s iken test sonucundaki değer 0.4 s'dir. Kısa doğrultuda ise modelden elde edilen modal frekans 0.3420 s iken test sonucundan elde edilen değer 0.416 s'dir. Bu bilgiler ışığında test verileri referans alındığında uzun yöndeki modal fark %-17.97 ve kısa yöndeki fark %17.78 çıkmıştır. Yapının test sonucundan elde

edilen sönüm oranları uzun doğrultuda %7.03 iken kısa doğrultuda %7.09 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.8.).

Nizamettin Tohma Apartmanı için uzun ve kısa doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri Şekil 4.56.'da ve Şekil 4.57.'de verilmiştir.



Şekil 4.56. Nizamettin Tohma Apt. uzun doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri



Şekil 4.57. Nizamettin Tohma Apt. kısa doğrultudaki karşılaştırmalı mod şekilleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Antakya kent merkezindeki üç adet betonarme binada zorlanmış titreşim testi uygulanmıştır. İlk test Ayhan Girişken apartmanında, ikinci test Sedir Apartmanında ve üçüncü test Nizamettin Tohma apartmanında gerçekleştirilmiştir.

- Zorlanmış titreşim testi sonucunda yapıların doğal periyotları, kısa ve uzun yöndeki birinci modlara ait mod şekilleri elde edilmiştir. Elde edilen test sonuçları ETABS paket programları kullanılarak modelleri oluşturulan yapıların analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. yapının analiz sonuçlarından hesaplanamayan modal sönüm oranları da bu testler sonucunda bulunmuştur (Şekil 5.1).

Çizelge 5.1. Test edilen üç binaya ait karşılaştırmalı periyot değerleri ve sönüm oranları

Bina	Konum	Mod	Mod Tipi	Etabs Periyot Sonuçları (s)	Test Periyot Sonuçları (s)	Test sonucuna Göre Fark (%)	Sönüm Oranı (%)
Ayhan Girişken Apt.	-	1.	Kısa yön	0,5467	0.5	9.34	1.4
		2.	Burulma	0,4711	-	-	-
		3.	Uzun yön	0,3617	0.42	13.88	2
Sedir Apt.	Konum-1	1.	Burulma	0,269	-	-	-
		2.	Uzun yön	0,1902	0.263	17.8	4.3
		3.	Kısa yön	0,1802	0.233	27.6	4.26
	Konum-2	1.	Burulma	0,269	-	-	-
		2.	Uzun yön	0,1902	0.263	17.8	4.3
		3.	Kısa yön	0,1802	0.233	27.6	4.26
Nizamettin Tohma Apt.	-	1.	Burulma	0,6219	-	-	-
		2.	Uzun yön	0,4719	0.4	-17.97	7.03
		3.	Kısa yön	0,3420	0.416	17.78	7.09

- Bu test sonucunda elde edilen değerler, 106M420 numaralı TÜBİTAK ve 107M445 numaralı TÜBİTAK-Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) projelerine veri tabanı oluşturmaktadır.
- Yapıların deneysel ve analitik sonuçlarından elde edilen modal frekanslar birbiri ile uyumluluk göstermektedir. Analitik sonuçlar ile deneysel sonuçların arasındaki bu uyumluluk analitik modellerin doğruluğunu göstermektedir.
- Model analizlerinden elde edilen mod şekilleri ile deneyden elde edilen mod şekilleri uyumluluk göstermektedir.
- Yapıların zorlanmış titreşim testi ile bulunan periyotlar ile ETABS modelinden elde edilen periyot değerleri arasındaki farklar, binaların yapım sürecinde meydana gelen işçilik ve malzeme hatalarından kaynaklanabilir.
- Antakya kent merkezindeki yapı stokunu temsil eden farklı tipteki yapıların da bu test yöntemiyle değerlendirilmesi, bölgenin geniş çapta, hasar görebilirlik ve deprem risk haritasının elde edilebilmesini sağlayacaktır.
- Test edilecek binalardan beton karot ve çelik numune alınıp gerçek malzeme dayanımlarının belirlenmesi, analitik modellemenin daha doğru oluşturulabilmesini sağlayacaktır.

Testlerden Daha Sağlıklı Ve Doğru Sonuçlar Elde Edilebilmesi İçin Göz Önünde Bulundurulabilecek Bazı Önemli Noktalar:

- Test sonucundaki modal frekans ile modellemeden elde edilen frekans değerleri arasındaki farklar analitik modellemede temel sisteminin ankastre seçilmesinden kaynaklandığı düşünülebilir. Bu durumda temel sistemi, yapı zemin etkileşimi araştırılarak belirli bir yay sabiti değeri tahmin edilerek modellenebilir.
- Sarsma cihazları buldukları konumlarda uygun ve sağlam bir şekilde yerleştirilmeli ve bu test deneyimli elemanlar tarafından koordine edilmelidir.
- Zorlanmış titreşim testlerinden elde edilen verilerin bilgisayar ortamında işleme süresi uzun olmaktadır. Bu nedenle verilerin işlenmesini kolaylaştıracak ve hızlandıracak yazılımlar geliştirilebilir.
- Test esnasında gürültü kirliliği (çamaşır, bulaşık mak.vb) yaratacak faktörlerin minimize edilmesi gerekmektedir.

Zorlanmış Titreşim Testlerinden Elde Edilen Veriler Işığında, Antakya Kent Merkezindeki Binaların Herhangi Bir Deprem Tehlikesine Karşın Performans Seviyelerinin Belirlenebilmesi İçin İzlenmesi Gereken Yol:

- 1- Kent merkezindeki tüm farklı tip yapılar tespit edilerek test edilecek yapı sayısı belirlenmeli,
- 2- Her bir yapı tipini temsil eden birkaç bina teste tabi tutulmalı,
- 3- Teste tabi tutulacak olan binalardan beton karot ve çelik numunesi alınıp gerçek malzeme dayanımları tespit edilmeli,
- 4- Teste tabi tutulacak olan binalara ait doğal frekanslar, sönüm oranları ve mod şekilleri bulunmalı,
- 5- Test edilen binaların projeleri temin edilerek ETABS yapı analiz programında 3 boyutlu modeli oluşturulmalı,
- 6- Analitik modelde binaya ait beton ve çelik sınıfı için, daha önceden numune alınarak elde edilen değerler kullanılmalı,
- 7-Binalardan test sonucunda elde edilen değerler, analitik programda doğru modellemeyi oluşturmaya yönelik kalibrasyonu sağlamalı ve binaların gerçeğe yakın bilgisayar modelleri oluşturulmalı,
- 8- Neticede doğru bir şekilde oluşturulan bu modeller üzerinde PUSHOVER analizleri yapılarak binaların Türk Deprem Yönetmeliğe (TDY) göre performans seviyeleri belirlenmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1998. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No: 25.
- Alakoç, C. A., 1999. **An Experimental Investigation on Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Blocks and Walls**. Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara, September.
- Altus Digital Recorder User Manual, 1997. Kinematics Inc., California.
- Anderson, J. C., Miranda, E., Bertero, V. V., and The Kajima Project Research Team, 1991. **Evaluation of Seismic Performance of a Thirty-Story RC Building**. Report No. EERC 91-16, University of California, Berkeley, California.
- Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., and Yüzügüllü, Ö., 1981. **Forced Vibration Experiments of Structures**. METU/EERC Final Report, Ankara.
- Augenti, N. and Clemente, P., 1996. Seismic Test of the new Lawcourt in Naples. **Eleventh World Conference on Earthquake Engineering**, p. 222.
- Brigham, E. O., 1974. **The Fast Fourier Transform**. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Chopra, S. C. and Canale, R. P., 1998. **Numerical Methods for Engineers: with Programming and Software Applications**. McGraw-Hill.
- Chopra, A. K., 1995. **Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering**. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.
- Cooley, J. W. and Tukey J.W., 1965. **An algorithm for the machine calculation of complex Fourier Series**. Math. Computation, Vol.19, pp. 297-301.
- Çelebi, M., and Şafak, E., 1991. **Seismic response of Transamerica Building**. I: Data and preliminary analysis. Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 8, pp. 2389-2404.
- Çelebi, M., 2000. **Seismic instrumentation of buildings**. Open-File Report, OF 00-0157, U. S. Geological Survey, Menlo Park, California.

- Çelebi, M., and Şafak, E., 1992. **Seismic response of Pacific Park Plaza. I: Data and preliminary analysis.** Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 6, pp.1547-1565.
- Çelebi, M., Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., and Gülkan, P., Gürpınar, A., Yüçemen, S., Bayülke, N., 1977. **Vibration of a Ten Story Reinforced Concrete Structure.** METU/EERC, Report No. 77-1, Ankara.
- Çelebi, M., Erdik, M., and Yüzügüllü, Ö., 1977. **Vibration of a Reinforced Concrete Frame w/o Infill Walls.** METU/EERC Report No. 77-3, Ankara.
- Çelebi, M., Erdik, M., and Yüzügüllü, Ö., 1977. **Vibration of Multi-Story R.C. Structure Cast in by Tunnel Forms.** METU/EERC Report No. 77-6, Ankara.
- Çelik, O.C., 2002. **Forced Vibration Testing of Existing Reinforced Concrete Buildings.** Master of Science Dissertation, Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, p 81, Ankara.
- De Sortis, A., Antonacci, E., and Vestroni, F., 2005. **Dynamic identification of a masonry building using forced vibration tests.** Engineering Structures 27: 155–165.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY), 2007.** Bayındırlık ve İskân Bakanlığı. Ankara, Türkiye
- Digital Signal Processing, 2002. <http://www.dsptutor.freeuk.com/fft.htm>.
- Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., and Atalay, B., 1978. **Vibration of an 8-Story R. C. Building with Brick Infill Walls.** METU/EERC Report No. 78-7, Ankara.
- Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., Atalay, B., and Yılmaz, Ç., 1978. **Sincan Yenikent Housing Complex Vibration Tests.** METU/EERC Report No. 78-8, Ankara.
- Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., Atalay, B., and Yazar, E., 1981. **Forced Vibration Experiments on Heavy Panel Prefabricated Structures.** METU/EERC Report No. 81-01, Ankara.
- Ersoy, U., 2000. **Reinforced Concrete.** Middle East Technical University, Ankara.
- FEMA, 1997. **NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings.** Developed by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report No. FEMA 273), Washington, D.C.
- Field Testing and Monitoring of Structural Performance, 2002. University of California, Los Angeles. <http://cee.ea.ucla.edu/nees/index.htm>.

- Heredia-Zavoni, E., 1996. Optimal Instrumentation of Structural Systems. **Eleventh World Conference on Earthquake Engineering**, p.1166.
- Ivanovic, S.S., Trifunac, M.D., Novikova, E.I., Gladkov, A.A. and Todorovska, M.I., 2000. **Ambient vibration tests of a seven-story reinforced concrete building in Van Nuys, California, damaged by the 1994 Northridge earthquake.** Soil Dynamics and Earthquake Engineering 19: 391-411.
- Katafygiotis, L. S. and Yuen, K., 1999. **An optimal sensor location methodology for designing modal experiments.** Structural Dynamics – EUROLYN '99, Rotterdam.
- L. Abrahamczyk, L., Schwarz, J., Lang, D.H, Leipold, M., Golbs, Ch., Genes, M.C., Bicke, M., Kacin, S. and Gülkan, P., 2008. **The 14th World Conference on Earthquake Engineering**, October 12-17, Beijing, China.
- Littler, J. D., 1996. Forced Vibration Tests on a Four-Storey Reinforced Concrete Frame Before and After Pseudo-Dynamic Loading. **Eleventh World Conference on Earthquake Engineering**, p. 1356.
- Mainstone, R.J. and Weeks, G.A., 1970. The influence of bounding frame on the racking stiffness and strength of brick walls. **2nd International Brick Masonry Conference**, 165–171, Watford, England.
- Negro, P. and Verzeletti, G., 1996. Effect of infills on the global behaviour of R/C frames: energy considerations from pseudo-synamic test., **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 25 (7): 753–773.
- Operating Instructions Vibration Generator System Model VG-1, 1975. Kinometrics Inc., California.
- Papathodorou, M. and Taylor, C. A., 1999. **Optimal sensor locations for dynamic verification.** Structural Dynamics – EUROLYN '99, Rotterdam.
- Petrovski, J., Stephen, R. M., Gartenbaum, E., and Bouwkamp, J. G., 1976. **Dynamic Behavior of a Multistory Triangular-Shaped Building.** Report No. EERC 76-3, University of California, Berkeley, California.

- Polyakov, S.V., 1956. **On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the plane of the wall.** Translations in Earthquake Engineering Research Institute, Cairns G. L., trans.
- Rea, D., Bouwkamp, J. G., and Clough, R. W., 1968. **Dynamic Properties of McKinley School Buildings.** Report No. EERC 68-4, University of California, Berkeley, California.
- Schwarz, j., Abrahamczyk, L., Langhammer, T., Leipold, Genes, M.C., Bikçe, M. ve Kaçın, S., 2009. Building typology for risk assessment: case study Antakya (Hatay). **Earthquake & Tsunami**, Istanbul, Turkey.
- Stephen, R. M., Hollings, J. P., and Bouwkamp, J. G., 1973. **Dynamic Behavior of a Multistory Pyramid Shaped Building.** Report No. EERC 73-17, University of California, Berkeley, California.
- Stephen, R. M., Wilson, E. L., Bouwkamp, J. G., and Button, M., 1978. **Dynamic Behavior of a Pedestal Base Multistory Building.** Report No. EERC 78-13, University of California, Berkeley, California.
- Şafak, E., 1993. Response of a 42-storey steel-frame building to the $M_s=7.1$ loma prieta earthquake. **Engineering Structures**, 15 (6): 403-421.
- Şafak, E., 2007. Yapı titreşimlerinin izlenmesi: Nedir, neden yapılır, nasıl yapılır ve ne elde edilir. **Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı**, 16-20 Ekim, İstanbul, Türkiye.
- Tanaka, T., Yoshizawa, S., Osawa, Y., and Morishita, T., 1969. **Period and Damping of Vibration in Actual Buildings During Earthquakes.** Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Japan, Vol. 47, pp. 1073-1092.
- Zabel, V. and Bucher, C., 1999. **Dynamic full-scale testing of damaged historical and modern structures.** Structural Dynamics – EUROLYN '99, Rotterdam.

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aŐamasında çalıŐmalarımı bŸyŸk sabır ve ilgi ile yŸnlendirip değerli ilgi ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danıŐman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat BİKÇE'ye, lisans ve yŸksek lisans Ÿęretimi sŸresince değerli bilgilerini ve zamanlarlarını benle paylaŐan, baŐta Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Cemal GENEŞ ve Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN olmak Ÿzere MKU İnaat MŸhendislięi ders hocalarıma teŐekkŸrlerimi sunarım.

YaŐamım boyunca hemen her tŸrlŸ sıkıntıda yanımda olan, maddi-manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve tezimin hazırlanması aşamasındaki desteklerinden ve sabırlarından ŸtŸrŸ çok sevdiğim aileme sonsuz teŐekkŸr ederim.

Tezimin ortaya çıkmasında benden manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen dostlarım Eser UYANIK'a, Kazım TEKŸZ'e, Ahmet ZUBAROğLU'na en içten teŐekkŸrlerimi sunmak isterim. İyi ki varsınız.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Erhan AÇIKYOL, 11 Mart 1985'de Hatay'da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Samandağ'a bağlı Koyunoğlu İlk Öğretim Okulu'nda, lise öğrenimimi ise Süleyman Nazif Lisesi'nde tamamladım. 2003 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandım. Bu bölümden 2007 yılında iyi bir derece ile mezun oldum ve aynı yıl M.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimi almaya başladım. Yüksek lisans döneminde TÜBİTAK projesinde burslu öğrenci olarak görev aldım.