



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANTAKYA'DA YERALAN BAZI BETONARME YAPILARIN DİNAMİK
KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN TİTREŞİM DENEYLERİ İLE
BULUNMASI**

VURAL İNANÇ ATAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Antakya/HATAY
Temmuz-2009**

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ANTAKYA'DA YERALAN BAZI BETONARME YAPILARIN DİNAMİK
KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN TİTREŞİM DENEYLERİ İLE
BULUNMASI**

VURAL İNANÇ ATAÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN danışmanlığında hazırlanan bu tez 09.07.2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN
Başkan

Yrd. Doç. Dr. M. Cemal GENEŞ
Üye

Doç. Dr. Hakan YAVUZ
Üye

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Bünyamin YILDIZ

Enstitü Müdürü V.

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

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

	Sayfa
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Materyal	11
3.1.1. Titreşim Üretici Cihazlar	11
3.1.2. VG–1 Titreşim Üretici.....	14
3.1.3. VG–2 Titreşim Üretici	19
3.2. Yöntem.....	23
3.2.1. Deneyin Yapılışı.....	23
4. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ.....	31
4.1.Data Analizi	31
4.2. Modal Frekansların Bulunması.....	31
4.3. Mod Şekillerinin Bulunması.....	33
4.4. Sönüm Oranlarının Bulunması.....	33
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE ANALİZ SONUÇLARI	34
5.1. Mehmet Ali Yüksel	34
5.1.1. Deney Aletlerinin Yerleştirilmesi	35
5.1.2. Frekans –Tepki Eğrileri	37
5.1.3. Binaların Yapı Analiz Programları ile İncelenmesi.....	46
5.2. Özat Apartmanı	54
5.2.1. Deney Aletlerinin Yerleştirilmesi.....	55
5.2.2. Frekans –Tepki Eğrileri	57
5.2.3. Binaların Yapı Analiz Programları ile İncelenmesi.....	64

5.3. Akdeniz Apartmanı	68
5.3.1. Frekans –Tepki Eğrileri	70
5.3.2. Binaların Yapı Analiz Programları ile İncelenmesi	77
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	81
6.1. Sonuç	81
6.2. Öneriler	82
KAYNAKLAR.....	83
TEŞEKKÜR	85
ÖZGEÇMİŞ	86

ÖZET

**ANTAKYA'DA YERALAN BAZI BETONARME YAPILARIN DİNAMİK
KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN TİTREŞİM DENEYLERİ İLE
BULUNMASI**

Yapısal Analiz teknolojisindeki hızlı gelişmeler, yapıların deprem etkisi altındaki dinamik davranışını analizini kolaylaştırmış bulunmaktadır. Yapıya kurulan titreşim üretici cihazlar ve izleme sistemleri kullanılarak ile yapılan deneysel incelemeler, analitik yöntemler kadar doğru sonuçlar verir hale gelmiş bulunmaktadır. Bu çalışmada, Antakya bölgesinde seçilen üç yapıda zorlanmış titreşim testi uygulanmıştır. Binalar Antakya bölgesindeki genel betonarme yapı stokunu temsil edecek şekilde seçilmiştir. Deney sırasında titreşimler bir titreşim üretici cihaz ile sağlanmıştır. Bu titreşim üreticiler yapının planına göre ağırlık merkezine yakın bir yere yerleştirilir. Bu çalışmada deneyler için kullanılan titreşim cihazlarının nasıl yerleştirildiği ve kaydedilen verilerin nasıl analiz edildiği konusunda bilgiler verilmektedir. Bu titreşim testleri ile amaçlanan harmonik yük etkisi altında mevcut binaların dinamik karakteristik yapısının incelenmesidir. İlk deneysel çalışmaya ait titreşim ölçümleri ivmeölçerler, ikinci ve üçüncü deneylerde ise hızölçerler ile kaydedilmiştir. Titreşim üreticinin frekansı yapının doğal frekansını içeren bir aralıkta taranarak yapının kararlı durum tepkileri kaydedilmiştir. Alınan veriler paket programlar yardımıyla analiz edilmiştir ve frekans-tepki eğrileri elde edilmiştir. Test edilen binaların birinci doğal frekansları ve mod şekilleri elde edilmiştir. Elde edilen bu deneysel değerler ETABS ve Sap2000 paket programları ile hazırlanan modellerin analizi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, analiz sonuçlarından elde edilemeyen sönüm oranları da bulunmuştur.

2009, 98 sayfa

Anahtar Kelimeler: Zorlanmış Titreşim Testi, Titreşim Üretici, Frekans-Tepki Eğrisi, Doğal Frekans, Mod Şekli, Sönüm Oranı

ABSTRACT**IDENTIFICATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF EXISTING
BUILDINGS BY VIBRATION TESTS**

Rapid developments in the technology of analysis techniques have eased the analysis of dynamic behavior of structures under earthquake effect. The experimental analysis techniques based on vibration generation and sensing systems has become as good as the analytical methods in terms of validity of the results. In this study, the experimental forced vibration analysis has been performed on three structures located in Antioch. The selection of the building for study has been performed in a way that they these buildings represent the structural pattern of the Antioch region. During the experimental study, the vibrations were generated using a vibration generator. The vibration generator was always placed in the centre position of the structure. The presented study provides details on the experimental setup and the data processing and analysis performed on the recorded measurements. The purpose of these experimental tests is to identify the dynamic characteristics of these buildings under harmonic load effects. The vibrations were recorded using accelerometers for the first experiment whereas second and the third ones were recorded by speedometers. By scanning through the frequency range of the vibration generator, selected to cover the natural frequencies of the structure, stable responses were recorded. The obtained data are processed using various software packages from which the frequency response curves are obtained. The first natural frequencies and the test mode shapes have been obtained. The experimental results are then compared with the software based results obtained using ETABS and Sap2000 models. In addition, damping ratios that can not be obtained from analysis results are also determined.

2009, 98 page

Keywords: Forced Vibration Test, Vibration Generator, Frequency-Response Curve,
Natural Frequency, Mode Shape, Damping Ratio

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_0	Tepki Genliği
B	Batı
c	Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Sönüm Kapasitesi
D	Doğu
e	Ekzantritiklik
E	Titreşim Üretici
f	Titreşim Frekansı, Doğal Frekans
f_1, f_2	Spektrum Genliğinin $A_0 / \sqrt{2}$ Kadar Azaldığı Yerlerdeki Frekanslar
f_0	Yapının doğal frekansı
G	Güney
k	Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Rijitlik Katsayısı
K	Kuzey
m	Yapının Kütlesi
m_e	Yük Kovalarının İçindeki Toplam Kütle
$p(t)$	Sinüzoidal Kuvvet
R_a	İvme Tepki Faktörü
t	Zaman
u	Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Deplasman
\dot{u}	Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Hız
\ddot{u}	Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde İvme
\ddot{u}_0	Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin durağan haldeki ivmesinin genliği
WR	Ağırlık dışmerkezlik değeri
ζ	Sönüm Oranı
ω	Titreşim Frekansı
ω_n	Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Doğal Frekansı

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Yük Kombinasyonları için Maksimum Frekanslar (Hz).....	17
Çizelge 3.2 Yük Kombinasyonları için Ağırlık Dışmerkezlik Değerleri (WR).....	17
Çizelge 3.3 Yük Kombinasyonları için Maksimum Frekanslar (Hz).....	22
Çizelge 5.1 Deney Sonuçları ve Analitik Sonuçların Karşılaştırılması.....	47
Çizelge 5.2 Deney ve Analitik sonuçların karşılaştırılması.....	65
Çizelge 5.3 Deney ve Analitik sonuçların karşılaştırılması.....	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Titreşim üreticinin (VG–1) karşıdan görüntüsü.....	11
Şekil 3.2. Harmonik yük üreticinin(VG–1) şematik gösterimi.....	12
Şekil 3.3. Denklem 3.3 de verilen ivme genliğine karşı frekans oranı ω/ω_n	14
Şekil 3.4. Titreşim Üretici (VG–1) ve Kontrol Ünitesi.....	15
Şekil 3.5. Kurşun ağırlıkların kovalara yüklenmesi.....	16
Şekil 3.6. Harmonik yük kuvvetinin genliği-titreşim frekansı grafiği.....	18
Şekil 3.7. Titreşim yönünün değiştirilmesi.....	19
Şekil 3.8. İvme ölçer ve Veri kaydedici.....	19
Şekil 3.9. Titreşim üreticinin karşıdan görüntüsü.....	20
Şekil 3.10. Ağırlıkların sarsma kollarına yerleştirilmesi.....	21
Şekil 3.11. Titreşim üretici ve kontrol ünitesi.....	21
Şekil 3.12. Seçilen binaların Antakya Haritası üzerinde gösterimi.....	23
Şekil 3.13. Cihazların getirilmesi ve yapıya taşınması.....	24
Şekil 3.14. Montajı yapılmış demir sehpa ve karot makinesi.....	25
Şekil 3.15. Dübeller yerleştirilir, ivmeölçer monte edilir ve su terazisi ile dengelenir.....	26
Şekil 3.16. Kablo bağlantıları ve data toplama ünitesinin genel görüntüsü.....	26
Şekil 3.17. Titreşim üreticinin monte edileceği uygun zemin.....	27
Şekil 3.18. Hız sensörü ve bağlantıları.....	28
Şekil 3.19. Ana kayıt ünitesi ve bilgisayar bağlantısı.....	29
Şekil 3.20. Titreşim üreticiye takılan koruma kutusu	29
Şekil 4.1. Örnek bir İvme kaydı.....	32
Şekil 4.2. İvme kaydından elde edilen Fourier Amplitude – Frekans grafiği	32
Şekil 5.1. Mehmet Ali YÜKSEL binası.....	34
Şekil 5.2. Titreşim üreticinin yapıdaki konumu ve sensörlerin uzun ve kısa doğrultudaki yerleri ve yönleri kat planında görülmektedir	35
Şekil 5.3. Titreşim üreticinin binaya monte edilmiş hali.....	36
Şekil 5.4. Titreşim üreticinin ve ivmeölçerlerin kısa doğrultu(a) ve uzun doğrultu(b) da binadaki konumları.....	37

Şekil 5.5. Bütün sensörler için FFT Amplitude – Frekans grafiği	38
Şekil 5.6. Doğu sensörleri için FFT Amplitude – Frekans grafiği.....	38
Şekil 5.7. Batı sensörleri için FFT Amplitude – Frekans grafiği.....	39
Şekil 5.8. Altıncı kat sensörlerine ait grafik.....	39
Şekil 5.9. Mehmet Ali Yüksel'e ait uzun doğrultu sönüm oranı.....	40
Şekil 5.10. Uzun doğrultuda birinci mod şekli.....	41
Şekil 5.11. Bütün sensörler için FFT Amplitude – Frekans grafiği.....	42
Şekil 5.12. Güney sensörleri için FFT Amplitude – Frekans grafiği.....	42
Şekil 5.13. Kuzey sensörleri için FFT Amplitude – Frekans grafiği.....	43
Şekil 5.14. Altıncı kat sensörlerine ait grafik.....	43
Şekil 5.15. Mehmet Ali Yüksel'e ait kısa doğrultu sönüm oranı.....	44
Şekil 5.16. Kısa doğrultuda birinci mod şekli, Kısa doğrultuda ikinci mod şekli.....	45
Şekil 5.17. Mehmet Ali Yüksel SAP2000 modeli	46
Şekil 5.18. Uzun doğrultuda birinci mod şekli Sap2000 ve Deney sonucu karşılaştırması.....	48
Şekil 5.19. Uzun doğrultuda analitik birinci mod şekli	49
Şekil 5.20. Uzun doğrultu analitik ikinci mod şekli Uzun doğrultu analitik üçüncü mod şekli	50
Şekil 5.21. Kısa doğrultuda birinci mod şekli Sap2000 ve Deney sonucu karşılaştırması	51
Şekil 5.22. Kısa doğrultuda birinci mod şekli	52
Şekil 5.23. Kısa doğrultuda ikinci mod şekli Kısa doğrultuda üçüncü mod şekli	53
Şekil 5.24. Özat Apartmanı genel görünüm.....	54
Şekil 5.25. Özat Apartmanı kat planı.....	55
Şekil 5.26. Titreşim üreticinin binaya monte edilmiş hali.....	56
Şekil 5.27. Titreşim üreticinin ve hızölçerlerin binadaki konumları plan(a) ve kesit(b) olarak gösterilmiştir	57
Şekil 5.28. Binanın y-ekseni yönündeki sensör–1(a) ve sensör–2(b) sarsmaya karşı tepkisi	58
Şekil 5.29. Binanın y-ekseni yönündeki sensör–1(a) ve sensör–2(b) Smooh grafikleri	58
Şekil 5.30. Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu sönüm oranı.....	59

Şekil 5.31 Kuzey-Güney doğrultusu üst kat sensörü deplasman grafiği.....	59
Şekil 5.32. Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu sensörlerin deplasman grafiği.....	60
Şekil 5.33. Özat Apartmanı Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli.....	60
Şekil 5.34. Binanın x-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) sarsmaya karşı tepkisi.....	61
Şekil 5.35. Binanın x-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) Smooh grafikleri	61
Şekil 5.36. Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusu sönüm oranı.....	62
Şekil 5.37 Doğu-Batı doğrultusu üst kat sensörü deplasman grafiği.....	62
Şekil 5.38. Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusu sensörlerin deplasman grafiği	63
Şekil 5.39. Özat Apartmanı Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli.....	63
Şekil 5.40. Özat Apartmanı ETABS modeli.....	64
Şekil 5.41. Özat Apartmanı Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli ETABS ve Deney sonucu karşılaştırması.....	66
Şekil 5.42. Özat Apartmanı Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli ETABS ve Deney sonucu karşılaştırması.....	67
Şekil 5.43. Akdeniz apartmanı genel görüntüsü.....	68
Şekil 5.44. Akdeniz Apartmanı kat planı.....	69
Şekil 5.45. Titreşim üreticinin ve hızölçerlerin binadaki konumları plan(a)ve kesit(b) olarak gösterilmiştir	70
Şekil 5.46. Binanın x-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) sarsmaya karşı tepkisi.....	71
Şekil 5.47. Binanın x-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) Smooh grafikleri.....	71
Şekil 5.48. Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusu sönüm oranı.....	72
Şekil 5.49 Doğu-Batı doğrultusu üst kat sensörü deplasman grafiği.....	72
Şekil 5.50. Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusu sensörlerin deplasman grafiği.....	73
Şekil 5.51. Akdeniz Apartmanı Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli	73
Şekil 5.52. Binanın y-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) sarsmaya karşı tepkisi	74

Şekli 5.53. Binanın y-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) Smooht grafikleri	74
Şekil 5.54. Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu sönüm oranı	75
Şekil 5.55. Kuzey-Güney doğrultusu üst kat sensörü deplasman grafiği.....	75
Şekil 5.56. Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu sensörlerin deplasman grafiği.....	76
Şekil 5.57. Akdeniz Apartmanı (y-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli	76
Şekil 5.58. Akdeniz Apartmanı ETABS modeli.....	77
Şekil 5.59. Akdeniz Apartmanı Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli ETABS ve Deney sonucu karşılaştırması.....	79
Şekil 5.60. Akdeniz Apartmanı Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli ETABS ve Deney sonucu karşılaştırması	80

1.GİRİŞ

Bilindiği gibi ülkemiz oldukça önemli ve hareketli fay hatları üzerinde yer almaktadır. Tarih boyunca bu fay hatlarında önemli depremler meydana gelmiştir. Son yıllarda ülkemizde meydana gelen büyük depremlerden sonra yapılan hasar incelemelerinde, betonarme çerçevesel yapılarda kayda değer hasarlar olduğu görülmüştür. Bu hasarlar, proje hataları, işçilik ve yapının üretim hatalarından başka, genel tasarım kabulleri, hassas analizler ve taşıyıcı elemanlar ile dolgu duvarlar arasındaki etkileşimi de içeren binaların tepki karakteristikleri sebep olabilmektedir. Her ne kadar bazı durumlarda, hasarların nedenlerinin açıklanması ve araştırılması mümkün olsa da, yapı planına ve kabullere bağlı olarak bulunan sayısal sonuçlar ile ölçülen sonuçlar arasındaki farklar, sismik yüklerin binaya daha sistematik bir yol ile aktarılmasına dayanan ve aletsel verilerin kullanıldığı ileri yaklaşımlara gerek olduğunu ortaya koymaktadır. Son yıllarda teknolojiye hızlı gelişmeler inşaat mühendisliğinde de önemli aşamaların alınmasını sağlamıştır. Bu gelişmelerde en dikkat çekici olanı yapının dinamik davranışının incelenmesi konusunda izlenen yöntemlerdir. Eskiden laboratuvar testleri veya analitik yöntemlerle çözülen birçok problem günümüzde gerçek yapılara kurulan izleme sistemleri sayesinde daha doğru olarak hesaplanabilmektedir.

Eskiden yapıların deprem altındaki dinamik davranışı analitik modeller veya sarsma masaları üzerine kurulan küçük ölçekli modeller üzerinde yapılan araştırmalar ile yapılmaktaydı. Günümüzde ise yapı izleme sistemleri sayesinde deprem bölgelerindeki yapılara aletler yerleştirilerek alınan deprem verileri yapıların deprem davranışı konusunda gerçekçi bilgiler vermektedir. Mevcut yapılardan alınan veriler laboratuvar ortamında yapılan deneylerden ve analitik modellerden alınan verileri geçersiz kılan değil, tamamlayan veriler olarak düşünülmelidir. Modelleme ve ölçeklendirmelerden kaynaklanan hatalara ek olarak laboratuvarda yapılan deneylerin en büyük dezavantajı temel çevresindeki zemin yer değiştirmelerinin etkisinin (yapı-zemin etkileşimi) deneyler sırasında göz önüne alınabilmesidir. Bu sistemler sayesinde yapının davranışları çok daha doğru bir şekilde izlenebilmektedir.

Yapı izleme sistemleri ikiye ayrılır. Bir tanesi yapıya cihazlar yerleştirip deprem olmasını beklemek, diğer bir yöntem ise mevcut yapıya titreşim üretici cihaz ve bu titreşimleri kaydedebilecek sensörler yerleştirip deneyler yaparak mümkündür. Bu

yapılan deneylere zorlanmış titreşim deneyleri olarak adlandırılmaktadır. Bununla beraber tekrar edilebilen ve bu yüzden geniş bir çalışma alanı yaratması açısından bu deneyler önemlidir.

Zorlanmış titreşim testinin 1935 yılında Stanford Üniversitesinde Blume ve Jacobsen tarafından geliştirilen titreşim üretici ile başladığı kabul edilmektedir. Bu titreşim üretici eşit ağırlıkta iki eksantrik kütlede meydana gelmektedir. Bu kütlelerin birbirine ters yönde dönerek üretmiş oldukları harmonik hareketler gerçek boyutlardaki yapıları test etmek için kullanılmıştır. Günümüzde kullanılan titreşim üreticiler de tamamen aynı prensipte çalışmaktadır.

Bu yöntem kullanımda olan veya henüz kaba inşaatı tamamlanmış yapıların dinamik karakteristik özelliklerini belirlemek için kullanılan pratik tek yöntemdir. Binaların karakteristik özelliklerini yapının çeşitli yerlerinden çok sayıda karot alarak ve ultrason ile donatı durumunu belirleyerekten yapmak ve yukarıda anlatıldığı gibi yapı izleme sistemleri yerleştirip deprem olmasını bekleyerek tayin etmek de mümkündür. Ancak bu yöntemler çok sayıda elaman ihtiyacı gerektirmekte hem de yapıya hasar vermektedir.

Bu çalışmada Antakya bölgesinin seçilmesindeki amaç bölgenin birinci derece deprem bölgesinde olması ve önemli fay hatlarından biri olan Doğu Anadolu fay hattının üzerinde olmasıdır. Bu bölgede olabilecek bir deprem ciddi hasarlara ve can kayıplarına neden olabilir. Yapılar proje aşamasındayken bilgisayar programları ile modellenebilmektedir ve dinamik karakteristik özellikleri bu programlar(ETABS ve SAP2000) ile belirlenmektedir. Ancak uygulamada yapının üretim aşamasında projedeki pek çok parametrenin değiştiği görülmektedir. Ayrıca bina kullanıma açıldıktan sonra da kullanıcılar tarafından üzerinde çeşitli değişiklikler yapılmaktadır. Bu nedenler gerçekteki dinamik özellikler ile projedeki dinamik özelliklerin farklı olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada Antakya bölgesindeki bina stokunu temsil edebilecek üç farklı bina seçilmiştir. Bu binaların bir tanesinde ODTÜ den getirilen bir titreşim üretici kullanılmıştır. Diğer iki binada ise daha portatif bir titreşim üretici kullanılmıştır. Seçilen binaların genel özelliği her üç binanın da konut olarak kullanılması ve çok katlı olmasıdır. Deney yapılan ilk bina Antakya kent merkezinde yapılan yeni betonarme binaların dinamik karakteristik özellikleri deneysel olarak tespit edilmeye amacıyla

Ürgerpaşa Mahallesi 75. yıl bulvarında bulunan Mehmet Ali YÜKSEL'E ait binaya (Bodrum+zemin1+zemin2+6 kat+çatı kat) deney düzeneği yerleştirilmiştir. Bu yapı betonarme, kaba inşaatı tamamlanmış kullanımda olmayan bir yapıdır. İkinci bina Akdeniz apartmanı, Antakya'daki yapı stokunu temsil eden tipik bir konut binasıdır. Bu yapıya benzer(plan, kat sayısı vb.) yaklaşık 50 bina bulunmaktadır. Üçüncü bina Asi Nehri kenarında şehir merkezinde bulunan Özat apartmanıdır. Bu yapıya benzer(plan, kat sayısı vb.) yaklaşık 60 bina bulunmaktadır. Binanın her katında iki daire bulunmaktadır. Bundan dolayı x-yönünde simetriktir.

İlk deney titreşim üreticinin boyutlarının büyük, taşınmasının ve montajının zor olduğundan dolayı kaba inşaatı tamamlanmış, duvarları örülmüş, henüz kullanımda olmayan Mehmet Ali Yüksel binasında gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde yapının en üst katının döşemesine yapay titreşimler üreten cihaz monte edilerek binaya harmonik yük uygulanmıştır. Harmonik yük frekansı kademeli olarak arttırılarak uygulanmıştır. Binaya önce kısa doğrultuda yükleme yapılmış, daha sonra uzun doğrultuda yükleme uygulanmıştır. Bu yüklemeler için her kata iki adet ivmeölçer yerleştirilmiştir. Bu deneyde toplam on iki adet tek yönlü ivmeölçer kullanılmıştır. İvmeölçerler, binanın teste tabi tutulacağı yöne göre, her katta döşeme uç noktalarına (aynı aks üzerine gelecek şekilde) yerleştirilmiştir. Bu binada kablo uzunlukları dikkate alınarak, data kayıt ünitesi 4. kata, titreşim üreten cihaz ise 6. kata yerleştirilmiştir. Titreşim üretici binanın en üst kat döşemesine, yapının ağırlık merkezine ankrajlanarak sabitlenmiştir. Titreşim üreticinin kovalarına harmonik hareketi üretecek kurşun ağırlıklar yerleştirilmiştir. Kontrol ünitesinden titreşim üreten cihaza komut verilerek, belli aralıklarla farklı frekanslarda titreşim verilmiştir. Frekans değerlerine göre binada meydana gelen titreşim kayıtları elde edilmiştir. Frekans değerlerinde yapılan artımlarda önemli bir süre beklenerek yapının verilen titreşimin tam olarak yapıya aktarılmasını beklemektir.

Daha sonra Sedir Apartmanı ve Akdeniz Apartmanında, ilk deneyde kullanılan titreşim üreticiye göre taşınması ve montajı daha basit olan portatif bir titreşim üretici kullanılmıştır. Bu titreşim üretici cihaz yurt dışından temin edilmiştir. Çalışma prensibi diğer cihazla aynıdır fakat diğerine göre kullanımı daha kolaydır. Bu cihazın kurulumunda diğerinde olduğu gibi titreşim üreticiyi, sensörleri ve kaydettiğimiz ana kontrol merkezini yerleştireceğimiz noktalar belirlenir. Titreşim üretici, yapının en üst

katında merkeze yakın bir noktada döşemeye sabitlenir. Bu deneyde kullanılan ölçüm cihazları iki yönlüdür ve aynı zamanda verileri hız cinsinden kaydetmektedir. Bu sensörleri katlarda uç noktalara ve girişte ortaya gelecek şekilde üzerindeki su terazisi yardımı ile kolaylıkla yerleştirilir. Kayıt alınmaya başlamadan önce yapının harmonik hareket verilmeden önce yapıda sadece dış etkenlerden dolayı oluşan titreşimlerin kaydı alınır. Daha sonra cihaz çalıştırılır ve 1 Hz ile 10 Hz arasında kısa ve sürekli bir kayıt alınır. Bu kayıt incelenerek kaydın pik olduğu aralık 0.2 Hz artımlar yapılarak daha sık kayıtlar alınmaya başlanır. Bu kayıtların uzunluğu yaklaşık 60 sn' dir. Bu işlemler yapının her iki doğrultusunda da tekrarlanır. Böylece yapının karakteristik özelliğini belirlemede kullanacağımız veriler elde edilmiş olur. Harmonik yükün frekans değerlerine göre binada meydana gelen titreşim grafikleri elde edilmiş ve frekans-deplasman grafiklerinden genlikler tespit edilerek bina hakim titreşim periyotları her iki yön için bulunmuştur.

Bu çalışmada biri ODTÜ'den getirtilen yatay titreşim üretici, diğeri Mustafa Kemal Üniversitesi tarafından alınan portatif bir titreşim üretici olmak üzere iki cihaz kullanılmıştır. Antakya bölgesindeki yapıları temsil eden üç yapı test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda yapıların modal karakteristikleri (periyotlar, mod şekilleri, sönüm oranları) tayin edilmiştir. Aynı binalar teorik olarak da paket programlara (ETABS ve SAP2000) ile çözülmüştür ve bu çalışmada elde edilen teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İncelenen binalar 106M420 numaralı TÜBİTAK projesi ve 107M445 numaralı TÜBİTAK-DFG projesi dâhilinde zorlanmış titreşim deneyleri uygulanmıştır. Deneyler Antakya bölgesindeki genel konut tipi yapı stokunun belirlenebilmesi ve şehirdeki yapıların muhtemel bir yer sarsıntısı etkisinde gösterecekleri sismik davranışın tahmin edilebilmesi amacıyla uygulanmıştır. Zorlanmış titreşim deneyleri yapının çatı döşemesine titreşim üreten elektromekanik bir düzeneğin monte edilmesi, yapıya kısa ve uzun kenar doğrultularında harmonik titreşimler verilmesi ve kat döşemelerinin uç noktalarına yerleştirilen sensörlerle hız veya ivme gibi değerlerin ölçülmesi şeklinde açıklanabilir. Yapılan testler sonucunda yapıların modal karakteristikleri (periyotlar, mod şekilleri, sönüm oranları) tayin edilmiştir. Aynı binalar teorik olarak da paket programlara (ETABS ve SAP2000) ile çözülmüş ve elde edilen teorik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Titreşim deneyleri ilk olarak 1967 yılında California'nın Santa Clara şehrinde ki California Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Earthquake Engineering Research Center) tarafından yapılmıştır. Araştırmacıların bu deneyde seçtikleri yapı, genelinde ahşaptan inşa edilse de birleşimlerinde çeliğin kullanılmış olduğu bir yapıdır. Yapının California'daki tipik tek katlı okul binalarına örnek olabilecek bir özelliği vardır. Titreşim üretici ile yapılan deneyden sonra yapının üç modu hesaplanmış. Enine ve boyuna olmak üzere iki yönde yapılan deneylerde frekanslar sırası ile 7 Hz ve 10 Hz, ortak sönüm oranı %3-%4 arasında hesaplanmıştır. Çatı diyaframının burulma frekansı sırası ile enine doğrultuda 6 Hz, boyuna doğrultuda 10 Hz olarak hesaplanmış, ortak sönüm oranı %1-%3 arasında bulunmuştur. Daha sonra deney sonuçları ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır[Rea, D., Bouwkamp, J. G., and Clough, R. W.,1968].

1972 yılında EERC bu titreşim testini Transameric binalar üzerinde denemiştir. Bu yapı San Francisco, California da inşa edilmiş altmış kattan oluşan, piramit şeklinde çelik bir yapıdır. Bu yapının toplam yüksekliği 260 m ve kare şeklinde 53m-53m plan ölçülerine sahiptir. Yapının üçüncü mod hariç Kuzey-Güney ve Doğu-Batı olmak üzere iki doğrultuda da ilk altı mod ile birlikte iki burulma modunda sallanmıştır. Yapının doğal titreşim periyodu 2.9 sn olarak hesaplanmış ve ortak sönüm %1 olarak belirlenmiştir. Bu deneysel sonuçlar analitik sonuçlarla karşılaştırılmış, analiz için yapının dörtte biri modellenmiş. İlk iki mod için elde edilen deneysel ve teorik sonuçlar ile mod şekillerinin oldukça yakın olduğu görülmüştür.[Stephen, R. M., Hollings, J. P., and Bouwkamp, J. G.,1973].

Titreşim üretici cihazlar kullanılarak yüksek binaların test edilmesiyle ilgili yapılan çalışmalara bir diğer örnek ise California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory and University of California at Los Angeles Earthquake Engineering and Structures Laboratory (EERL) tarafından yapılan 22 katlı San Diego Gas and Electric Company binasının test edilmesidir.Yapının ilk 18 mod için K-G ve D-B doğrultularında frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları bulunmuş ve ayrıca burulmalarda hesaplanmıştır.[Jennings, P. C., Matthiesen, R. B., ve Hoerner, J. B.,1971]

EERC araştırmacıları 1977'nin Nisan ve Mayıs aylarında Seattle Washington'daki Rainer Tower binasında titreşim testi uygulanmıştır. Temel titreşim periyodu 4.44 sn olarak belirlenmiş. KG doğrultusunda birinci mod hariç sönüm kapasitesi %1-%3 arasındadır. Analiz için, yapının dörtte biri modeli kullanılmış. Analiz sonuçları ile deney sonuçlarının birebir uyumlu olduğu görölmüştür[Stephen, R. M., Wilson, E. L., Bouwkamp, J. G., and Button, M., 1978].

Türkiye de ise zorlanmış titreşim testi 70'li yılların ortasında başlamıştır. Kuruluğu 4 Ekim 1976 olan Orta Doğu Teknik Üniversitesine bağlı Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Earthquake Engineering Research Center of the Middle East Technical University METU/EERC) çeşitli binaların titreşim karakteristiklerini incelemek ve sonuçlarını Türkiye Deprem Yönetmelinde (TDY) göstermek için projelere başlamıştır[Çelebi, M., Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., and Gülkan, P., Gürpınar, A., Yüçemen, S., Bayülke, N.,1977].

Bu merkez ilk olarak zorlanmış titreşim testini 1976' da ODTÜ'nün Mühendislik binasında gerçekleştirmiştir. Bu yapının toplam yüksekliği 41.55 m ve plan boyutları 7,20 m–15,96 m'dir. Döşeme sistemi betonarme asmolen tipi döşeme ve altyapı sistemi hasır temel tipindedir. Yapının dördüncü kattında yandaki binadan ayırmak için genleşme derzi bulunmaktadır. Test için titreşim üretici döşemeye ankrajlanmıştır. Sonuç olarak yapı sadece birinci modal frekansı etrafında sallanabilmiştir. Ayrıca yapı zemin etkileşimi de görölmemiştir. Elde edilen temel periyot 0,82 sn' dir. Tahmini birinci modal sönüm oranı %1,5 ile %1,7 arasında bulunmuştur. Yapı rijitlik merkezinden sallandığı halde büyük çapta burulma deformasyonu gözlenmiştir. Bu durumda yapının %25 eksantrisitesinin olduğu sonucunu varılmıştır[Çelebi, M., Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., and Gülkan, P., Gürpınar, A., Yüçemen, S., Bayülke, N.,1977, Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., ve Yüzügüllü, Ö., 1981].

Aynı merkez tarafından gerçekleştirilen ikinci test 1976 yılında hükümet binasında gerçekleştirmiştir. Yedi katlı betonarme bir bina olarak tasarlanmış olan yapı test yapıldığı sırada henüz tamamlanmamıştır. Yapını altıncı katı yeni bitmişti ama dolgu duvarları yapılmamış. Yapı 20,40 m yüksekliğinde ve plan ölçüleri 15,26 m–48,30 m' dir. Döşeme sistemi iki yönlü betonarme kaplama ve temel sistemi bileşik temel ve duvar temelden oluşmaktadır. Birinci ve ikinci modlar için doğal frekanslar sırasıyla 2,60 Hz deplasman ve 3,04 Hz burulma olarak elde edilmiştir. Temel sistemi

esnek yerine rijit alındığı zaman serbest titreşim analizi tutarlı sonuç vermektedir. Bu modlar için modal sönüm oranı tahmini olarak %2-%2,5 arasındadır. Ayrıca yapının mod şekilleri de hesaplanmıştır. Yapı zemin etkileşimi de gözlenmiştir[Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., ve Yüzügüllü, Ö., 1981, Çelebi, M., Erdik, M., ve Yüzügüllü, Ö., 1977].

Daha sonra 14 katlı betonarme, tünel kalıp kullanılmış bir yapı olan TÜRKİŞ Apartmanları(1977) test edilmiştir. Yapı 44.1 m yüksekliğinde ve plan ölçüleri 19,08 m–20,86 m ‘dir. Döşeme sistemi iki yönlü betonarme döşeme ve temel sistemi hasır temel tipidir. Ön prefabrik panel monte edilmiş ve edilmemiş iki bina test edilmiştir. Ön prefabrik panel monte edilmiş ve edilmemiş iki bina için sırasıyla hesaplanan birinci modal frekansları 1,643 Hz ve 1,525 Hz, sönüm oranları %2,3–2,7 ve %1,5 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar kapsamında panellerin sönüm oranını etkilediği ancak doğal titreşim frekansında önemli olmadığı sonucuna varılmıştır. Yapı zemin etkileşimi gözlenmiştir. Ayrıca yapı ile ek bina arasındaki genişleme derzi ve binanın çekirdeği bağlı harekete izin vermemektedir[Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., and Yüzügüllü, Ö., 1981, Çelebi, M., Erdik, M., ve Yüzügüllü, Ö.,1977].

Test edilen diğer bir bina Kirazlıdere'deki Kara Harp Okulunun A-Blok yatakhane binasıdır (Ankara 1977). Yedi katlı tuğla dolgu duvarlı betonarme bir bina. Yüksekliği 25.74 m ve plan ölçüleri 39.35 m–16.50 m’ dir. Döşeme sistemi betonarme, temel sistemi sürekli ve tekil temelden oluşmuştur. A-blok ve B-blok birimleri arasında genişleme derzi vardır. Hesaplanan ilk iki yakın yanal burulma frekansı 2.07 Hz ve 2.12 Hz. Üçüncü burulma frekansı 3.86 Hz olarak bulunmuştur. Sönüm oranı birinci moddan başlayarak: %1.2-1.7,%2.0-3.1,%1.3-1.4 olarak hesaplanmıştır[Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., ve Yüzügüllü, Ö., 1981, Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., ve Atalay, B.,1978].

Yapılan diğer çalışma Sincan-Yenikent Evlerinde düşük maliyetli binada gerçekleştirilmiştir. Altı katlı dolgu duvarlı betonarme bir binadır. Yüksekliği 16.10 m ve plan ölçüleri 20 m–11 m’ dir. Bunların döşeme sistemi betonarme ve temel sistemi iki yönlü bileşik temeldir. Yapının tepkisini farklı temel şartlarında, temel tiplerini değerlendirmek için bulunan iki eş binada test yapılmıştır. Sismik kırılma araştırmasından hesaplanan kesme modülleri zemin-A ve zemin-B için sırasıyla; 2.3×10^4 t/m² ve 4.2×10^4 t/m². Yapı-A için hesaplanan birinci modal frekans 3.39 Hz ve yapı-B

için 3.25 Hz. Zemin yapısını da dikkate aldığımızda bu sonuçlar ile analiz sonuçları uyumlu bulunmuştur(3.43 Hz ve 3.17 Hz)[Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., and Yüzügüllü, Ö., 1981, Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., Atalay, B., ve Yılmaz, Ç.,1978].

Daha sonra yapılan test yedi katlı betonarme bina olan ODTÜ kız yurdunda gerçekleştirilmiştir. 23,65 m yüksekliğinde ve plan ölçüleri 17 m–30,41 m’ dir. Döşeme sistemi betonarme kirişli döşeme ve temel sistemi bileşik ve tekil temelden oluşmuştur. İki blok bitişik oldukları genişleme derzi boyunca bağımsız sallanmıştır. Her ikisi de aynı davranışı göstermiştir. Hesaplanan ilk iki modal frekans 2,36 Hz ve 2,58 Hz’ dir. Bu modlar için hesaplanan sönüm oranı sırasıyla 1.7–2.1% ve 3.0–4.0% ikinci mod baskın burulma modudur. Genel olarak burumla hareketi bölme duvarların bina içindeki asimetrik yerleşiminden dolayı oluşmuştur[Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., ve Yüzügüllü, Ö., 1981].

Araştırmacılar yeryüzünde meydana gelen büyük depremlerden sonra binaların durumunu tespit etmek için de benzer çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalardan biri Van Nuys Californiada yedi katlı betonarme bir binada gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalar 17 Ocak 1994 Northridge depreminde ($M_L=5.3$, epicenter 1.5 km binanın doğusunda) binaların zarar görmesinden sonra yapılmıştır. Uzun doğrultuda (Doğu-Batı) ve kısa doğrultuda (Kuzey-Güney) ilk dört mod bulunmuştur. D-B doğrultusunda yapının frekansları sırası ile 1.0, 3.5, 5.7,8.1 Hz olarak bulunmuş, normalize edilmiş mod şekilleri çizilmiştir. K-G doğrultusunda yapının frekansları sırası ile 1.4, 1.6, 3.9, 4.9 Hz olarak bulunmuş ve normalize edilmiş mod şekli çizilmiştir. Bu frekanslardan 1.4 ve 3.9 Hz deplasman modu, 1.6 ve 4.9 Hz burulma modu olarak belirlenmiştir. Daha sonra bölgede meydana gelen depremler incelenerek yapı-zemin etkileşimi incelenmiştir. Elde edilen deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırılmıştır[IvanovicÂ, S.S., Trifunac, M.D., Novikova, E.I., Gladkov, A.A., Todorovska, M.I.,2000]

Ayrıca zorlanmış titreşim deneylerinde yaygın olarak kullanılan veri analizi yöntemi olan FFT metoduna alternatif Maksimum Entropi Metodu da kullanılmıştır. Bu iki metod arasındaki değerlendirme yapay rüzgâr yükü kullanılarak yapılardaki titreşimlerin ölçülmesi ile incelenmiştir[Cao, H., Ellis, B.R., Littler, J.D., 1977].

Yapılan çalışmalar sadece betonarme binalar ve çok katlı çelik binalarla sınırlı kalmamış ahşap çerçeveli yapılarda da denenmiştir. Ellis, B.R., ve Bougard, A.J., 2001

Bu araştırmada altı katlı ahşap çerçevesel bir yapının dinamik özellikleri ve rijitlik değerlendirmesi yapılmıştır. Bu deneyde iki farklı yöntem kullanılmıştır. İlk olarak yapı lazer ölçüm cihazları ile ölçülmüştür. Bu yöntemin avantajı ölçümlerin uzaktan yapılabilmesi ve yapıya herhangi bir deney düzeneği kurmaya gerek olmamasıdır. Ayrıca yapının inşaat halinde iken ölçüm yapmak için kullanılabilen en uygun yöntem olmasıdır. Diğer yöntemde zorlanmış titreşim testidir. Bu yöntemde bilindiği gibi yapıya ölçüm cihazları yerleştirilir. Verilen harmonik titreşimler sonrasında yapının karakteristik özellikleri(hakim frekans, mod şekli, sönüm oranı) belirlenir. Bu iki ölçüm sonrasında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve birbirine çok yakın bulunmuştur.

Dinamik karakteristik özelliklerin belirlenmesi genellikle betonarme yapılarda ve çelik yapılarda uygulanan zorlanmış titreşim deneyleri ile yapılmıştır. Bu nedenle uzun seneler ayakta kalmış olan yığma (taş) yapıların dinamik karakteristik özelliklerini belirlenmesi amaçlanmış ve zorlanmış titreşim testi yığma yapılar için uygulanmıştır. Deney ve teorik sonuçlar karşılaştırılmış ve benzer oldukları görülmüştür[De Sortis, A., Antonacci, E., Vestroni, F.,2005].

Dünyanın birçok yerinde yüksek gökdelenler bulunmaktadır. Bu yapıları en çok tehdit eden doğa olayı ise şiddetli rüzgârlardır. Araştırmacılar bu durumu dikkate alarak Hong Kong da dünyanın en yüksek binalarından olan iki yapıya rüzgâr etkisi altında dinamik tepkilerini ölçmek için cihazlar yerleştirilmişlerdir. Imbudo tayfunu ve Dujuan tayfununun bu yapılar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Doğal frekansları ve burulma frekansları ampirik, sayısal ve deneysel olarak belirlenmiştir. Bu belirlen frekanslar birbiri ile karşılaştırılmış ve deney sonucunu daha büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar şu fikri vermiştir; Hong Kong'daki yüksek betonarme binalar, diğer şehirlerdeki benzer binalara göre daha rijittir[Campbell, S., Kwok, K.C.S., Hitchcock, P.A., 2005].

Rüzgâr etkisi çok katlı yapılar için önemi bir sorundur. Bu nedenle gökdelen tarzı çok yüksek yapılarda bu tarz çalışmalar yapılmıştır[Li, Q.S., Wu, J.R., Liang, S.G., Xiao, Y.Q., and Wong, C.K.,2004].

Titreşim kayıtları sadece yapının dinamik karakteristik özelliklerinin değil yapının rijitlik merkezinin bulunmasında da kullanılmıştır. Burada temel ölçüt rijitlik merkezinde ötelenme hareketi ile burulma hareketinin minimum uyumlulukta olmasıdır. Bu durumdan yola çıkarak elde edilmiş formüllerden rijitlik merkezi bulunmuştur. Bu

metod için iki örnek kullanılmış; dikdörtgen yapı için dışarıdan harmonik yük verilerek ve üçgen yapıda ise deprem kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Bu örnekler bu yöntemin doğruluğunu kanıtlamaktadır[Şafak, E., ve Çelebi, M., 1990].

Yapıların dinamik özellikleri belirlenirken kullanılan titreşim kayıtları yapı-zemin etkileşimin bulunmasında da önemlidir. Elde edilen kayıtlar analiz edildikten sonra yapı-zemin etkileşimi olup olmadığı ile ilgili bir yöntem önerilmiştir (Şafak, E., 2007).

Onyedli katlı çelik bir yapıya aralıklarla harmonik titreşim verilerek, yirmidört saatlik bir rüzgar etkisi altındaki titreşimleri kayıt edilerek ve 28 Mart 2003 Encino, California ($M_L=2.9$), 3 Eylül 2002 Yorba Linda, California ($M_L=4.7$) ve 3 Kasım 2002 Alaska ($M_W=7.9$) depremlerinin kayıtları kullanılarak belirlenen karakteristik özellikleri karşılaştırılmıştır[Kohler, M.D., Davis, M.P., ve Şafak, E., 2005].

Temmuz 2002 de Millikan Kütüphanesine zorlanmış titreşim testi uygulanmış. Yapını en üst katına yerleştirilen titreşim üretici K-G ve D-B doğrultuları olmak üzere iki yönde 1 Hz ile 9.7 Hz arasında titreşimler verilmiştir. Doğal frekanslar şu şekilde bulunmuştur, 1.14 Hz (D-B), 1.67 (K-G), 2.8Hz (burulma). Sönüm kapasiteleri D-B doğrultusunda 2.28%, K-G doğrultusunda 2.39% olarak hesaplanmış. K-G ve D-B olmak üzere her iki doğrultuda birinci moda ait deney ve analitik sonuçlar yakın çıkmıştır. Sonraki modlarda bu durum görülememiştir[Bradford, S. C., Clinton, J.F., Favela, J., ve Heaton, T. H., 2004].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Titreşim Üretici Cihazlar

Titreşim üretici cihaz gerçek boyutlardaki yapıları test etmek için uygun harmonik hareketin kaynağını sağlamak için geliştirilmiştir. Bu çalışmada yapılan deneylerde çalışma prensibi aynı olan iki titreşim üretici kullanılmıştır.

Kullanılan ilk cihaz biri diğerinin üzerinde dikey bir mil ile bağlanmış, iki adet dilim şeklinde yük kovanından oluşmaktadır. Harmonik kuvvet, yük kovalarına yüklenen eşit ağırlıklı, değişik sayıdaki kurşun ağırlıkların yüklenmesi ve bu kovaların birbirine ters yönde dönmesiyle üretilir. Buradan üretilen harmonik kuvvet yapıya iletilir. Bu testteki temel prensip yapının kendi hakim frekansına yakın bir aralıkta sallanmasıdır. Elde edilen veriler yapının dinamik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu deney ile yapının doğal frekansı, mod şekli, sönüm kapasitesi ve yapı-zemin etkileşimi olup olmadığı tespit edilebilir.



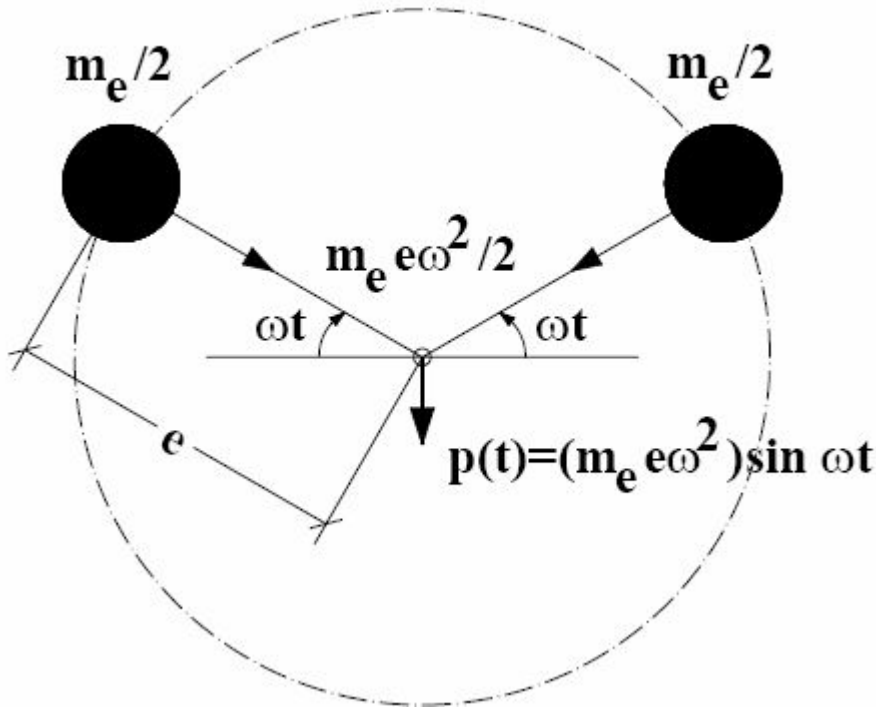
Şekil 3.1 Titreşim üreticinin (VG-1) karşıdan görüntüsü

Zorlanmış titreşim testinin temelindeki teoriyi anlamak için, titreşim üretici ile üretilmiş olan harmonik kuvvetin durağan haldeki tek serbestlik dereceli sistemler üzerindeki sonuçlarının teorik olarak anlaşılması açıklayıcı olacaktır. Titreşim üreticini kovaları simetrik olarak aynı sayıda kurşun ağırlıklarla yüklenebilir. Bundan dolayı, dönen kütlelerin dikey bileşenlerinin atalet kuvveti sarsma ekseninde birbirlerini dengeler ve bu bileşenler sarsma ekseninde sinüzoidal kuvvet oluştururlar. Bu kuvvet;

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

şeklinde yazılabilir.

m_e kovalardaki toplam ağırlık, e eksantrisite, ω uyarım frekansı, t zaman. İki kova aynı eksene geldiği zaman maksimum genliğe ulaşılır. Harmonik yük üreticinin şematik görüşü Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 Harmonik yük üreticinin(VG-1) şematik gösterimi

Eksantrik kütle m_e normal kütle m 'ye nazaran daha küçük, tek serbestlik dereceli sistemlerin titreşim üretici ile sarsılmasıyla oluşan hareketin ana denklemi

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

Burada \ddot{u} , \dot{u} , u , c , k , sırasıyla ivme, hız, deplasman, sönüm oranı ve tek serbestlik dereceli sistemin rijitlik katsayısı. Bu denklemin çözümü tek serbestlik dereceli sistemin kararlı haldeki genliğinin ivmesini verir

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

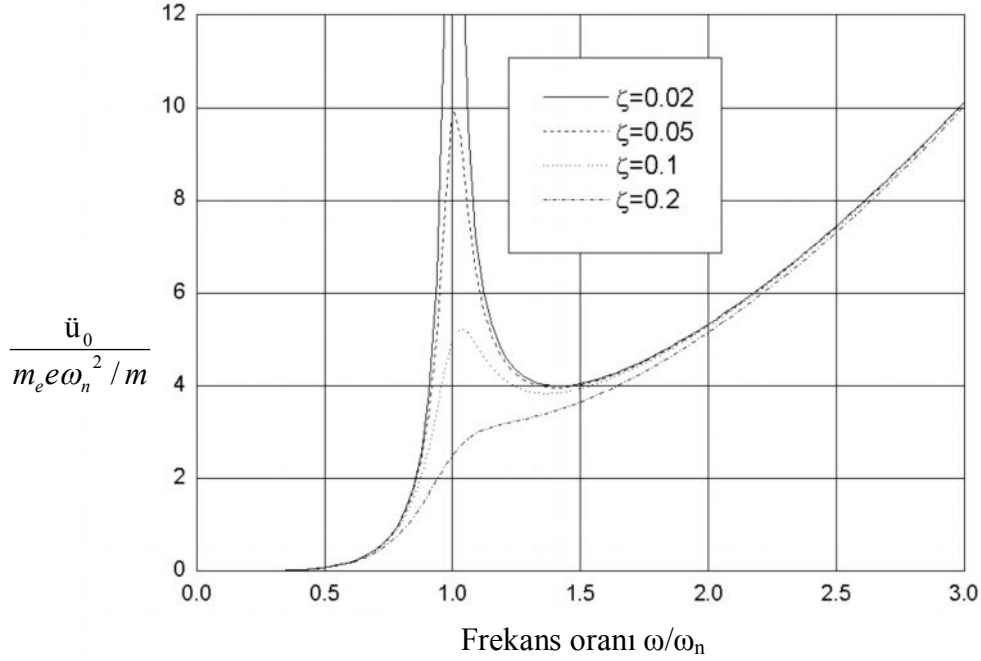
Burada ω_n tek serbestlik dereceli sistemin doğal frekansdır ve

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

şeklinde yazılır.

Burada ζ sönüm oranıdır.

Denklem 3.3 de verilen ivme genliğine karşı frekans oranı ω/ω_n grafiği Şekil 3.3 de verilmektedir. Sistemin titreşim frekansının ω doğal frekansından ω_n büyük olduğu görülmektedir. Titreşim kuvvetini genliği ω^2 ile orantılı olduğu için ω nin hızlı artışı ivmenin de artmasına neden olur. Ayrıca, sistemin doğal frekansının titreşim frekansına yakın olduğu durumda ivme genliğinin çok yüksek olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 3.3 İvme genliği ile frekans oranının ω/ω_n değişim grafiği

Bu çalışmada iki farklı titreşim üretici cihaz kullanılmıştır. Her iki cihazın çalışma prensibi aynıdır. İlk kullanılan cihaz ODTÜ den getirilen VG-1 olarak adlandırılan titreşim cihazıdır. Diğeri ise MKÜ tarafından satın alınan daha portatif ve küçük boyutlara sahip olan cihazdır.

3.1.2 VG-1 Titreşim Üretici

Bu cihaz 0 ile 9.7 Hz frekans aralığında çalışmaktadır ve maksimum 22 kN da sinüzoidal kuvvet üretebilmektedir. Bu maksimum kuvvete yüklü ağırlıkların ve üretilen frekansın farklı kombinasyonları ile ulaşılabilir. Bir başka deyişle, maksimum frekans yük kovalarındaki ağırlıklara bağlıdır. Titreşim frekansı kontrol ünitesindeki voltmetre ile ayarlanır. Bu ölçüm kontrol ünitesindeki 0.001 Hz hassasiyetli gösterge ve titreşim üretici üzerindeki kodlayıcı sayesinde yapılmaktadır. Şekil 3.4 titreşim üreticini (VG-1) ve kontrol ünitesini göstermektedir.



Şekil 3.4 Titreşim Üretici (VG-1) ve Kontrol Ünitesi

Bu ağırlık kovalarına 180 kg. kadar kurşun ağırlık yüklenebilmektedir. Bu kovaların üç bölümü vardır: kenarlarda iki üçgen bölüm ve merkezde dikdörtgen bölümden oluşmaktadır. Toplamda 16 büyük ağırlık ve 8 küçük ağırlık vardır. Büyük ağırlıklar kenar bölümleri dolduracak şekilde üçgen biçiminde, küçük ağırlıklar ise merkezdeki bölümü dolduracak şekilde dikdörtgen şeklindedir. Bu kovalar her zaman simetrik yüklenmelidir. Bu durum aynı sayıda büyük ağırlığın kenar bölümlere yerleştirilmesi ile mümkündür. Bu kovlar benzer şekilde yüklenmeli ki titreşim ekseninde atalet kuvvetlerinin dikey bileşenleri birbirini dengelesin. Ağırlıkların kovalara yüklenmesi Şekil 3.5 de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Kurşun ağırlıkların kovalara yüklenmesi

Bu titreşim üretici 22 kN da maksimum genliği üretecek şekilde tasarlanmıştır. Yapıda hasara neden olmamak için bu limit aşılmamalıdır. Bu nedenle, frekanslar için limit değerler bütün ağırlıklar için belirlenmiştir. Titreşim üreticinin çalışması için gereke bütün ağırlık kombinasyonları Çizelge 3.1 de verilmiştir. Bu değerler aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yük} = 4.537 \cdot 10^{-4} \cdot \text{WR} \cdot f^2 \quad (3.5)$$

WR ağırlık kombinasyonları için Çizelge 3.2 de verilen ağırlık dışmerkezlilik değeri, f titreşim frekansı (Hz) ve Yük üretilen pik kuvvet (kN). Üretilen pik kuvvetin titreşim üreticinin tasarım kapasitesi olan 22 KN' dan daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1 Yük Kombinasyonları için Maksimum Frekanslar (Hz)

		Küçük Ağırlıklar				
		0	S1	S2	S3	S4
Büyük Ağırlıklar	0	9.7	7.2	6.0	5.2	4.7
	L1	5.0	4.4	4.2	3.9	3.7
	L2	3.8	3.6	3.4	3.3	3.1
	L3	3.2	3.1	3.0	2.8	2.8
	L4	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5

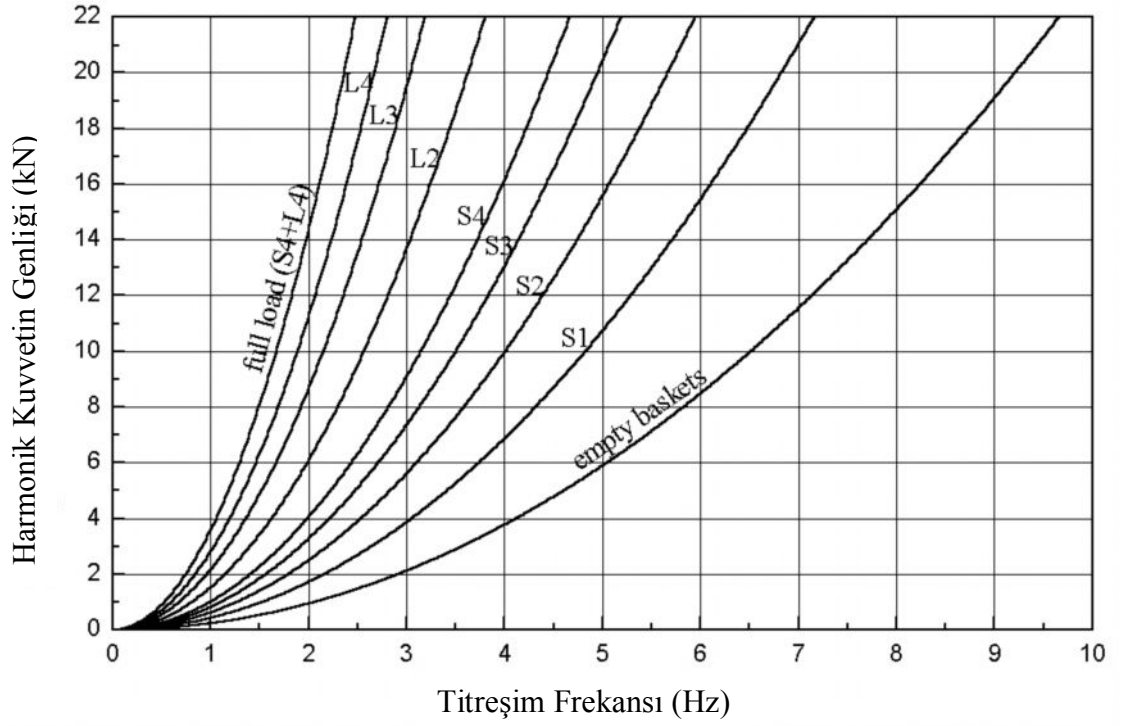
S= küçük ağırlık (merkezdeki dikdörtgen bölüm için)

L=büyük ağırlık (merkezdeki üçgen bölüm için)

Çizelge 3.2 Yük Kombinasyonları için Ağırlık Dışmerkezlik Değerleri (WR)

		Küçük Ağırlıklar				
		0	S1	S2	S3	S4
Büyük Ağırlıklar	0	520	947	1374	1801	2228
	L1	1935	2362	2789	3216	3643
	L2	3350	3777	4204	4631	5058
	L3	4765	5192	5619	6046	6473
	L4	6180	6607	7034	7461	7888

Tablolardan da görüldüğü gibi yük kovaları tam dolu iken maksimum titreşim frekansı 2.5 Hz ve yük kovaları tamamen boş iken 9.7 Hz' dir. Bazı yük kombinasyonları için grafiksek gösterim Şekil 3.6 da verilmektedir. Bu eğriler denklem (3.5) kullanılarak çizilmiştir.



Şekil 3.6 Harmonik yük kuvvetinin genliği-titreşim frekansı grafiği

Titreşim üretici tarafından üretilen harmonik kuvvetin yönü ağırlık kova şaftının ve dilim şeklindeki kovaların merkezinin bir çizgi gibi üst üste gelmesi ile değişir. Bu değişiklik cihazı tamamen yerinden sökmeden yapılabilir. Titreşim üreticinin kovalarının altında bulunan zincir gevşetilir ve ağırlık kovaları serbest hareket edebilir. Titreşimin verileceği doğrultuda ağırlık kovaları üst üste getirilir ve tekrar bu zincir sıkılır. Bu işlem Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Titreşim yönünün değiştirilmesi

Üretilen harmonik titreşimler Şekil 3.8’de görülen tek yönlü ivmeölçer ile ölçülmektedir. Kayıtlar Şekil 3.8’de gösterilen veri kaydediciye kaydedilmektedir.



Şekil 3.8 İvme ölçer ve Veri kaydedici

3.1.3 VG–2 Titreşim Üretici

Bu çalışmada kullanılan ikinci titreşim üretici yukarıda anlatılan (VG–1) titreşim üreticiye göre daha küçük boyutlardadır ve kurulumu daha basittir. Ayrıca VG–1 titreşim üretici harmonik kuvveti yatay yönde dönerek oluştururken VG–2 bu harmonik kuvveti düşey yönde dönerek oluşturmaktadır.

Kullanılan ikinci cihaz Biri diğerine dişli çarklar ile bağlanmış, iki adet sarsma kolundan oluşmaktadır. Harmonik kuvvet bu sarsma kollarına yerleştirilen ağırlıkların

birbirine ters yönde dönmesiyle üretilir. Buradan üretilen harmonik kuvvet yapıya iletilir. Bu testteki temel prensip yapının kendi hakim frekansına yakın bir aralıkta sallanmasıdır. Elde edilen veriler yapının dinamik özelliklerinin (doğal frekansı, mod şekli, sönüm kapasitesi) belirlenmesinde kullanılır.

Bu cihazın teknik özelliklerinde bahsedecek olursak, bu cihazın genişliği 500 mm, uzunluğu 800 mm, yüksekliği 550 mm. Bu cihaz 0.5 Hz ile 15 Hz frekans aralığında çalışmaktadır. Dakikadaki dönüş sayısı 30 ile 900 arasındadır. Cihazın toplam ağırlığı 95 kg. Yüksüz durumda cihazın maksimum dönüş sayısı 10 Hz= dakikada 600 devir, bir kütle yüklü iken maksimum dönüş sayısı 8 Hz=dakikada 480 devir, iki kütle yüklü iken dönüş sayısı 6 Hz=dakikada 360 devir' dir. Cihazın karşıdan görüntüsü Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 Titreşim üreticinin karşıdan görüntüsü

Bu cihazın ağırlıksız dönüş kollarından bir tanesinin ağırlığı 1200 gr, kütlelerden birinin eklenmiş hali ile birlikte bir dönüş kolunun ağırlığı 1860 gr, kütlelerden ikisinin eklenmiş hali ile birlikte bir dönüş kolunun ağırlığı 2520 gr' dır. Titreşim üretici için dört ayrı ağırlık parçası mevcuttur. Her bir parça iki kısımdan oluşmaktadır (Bir parçası delikli diğer parçası vidanın kavradığı kısım). Her bir sarsma kolunda üç delik bulunmaktadır. Sarsma kolunun en dış çapı $r=205$ mm, orta kısım çapı $r=175$ mm, en iç kısım çapı $r=145$ mm'dir. Her kullanımda, titreşim verilmek istenen frekansa göre iki

ağırlık parçası en dış ve en iç deliklere yerleştirilmelidir. Ağırlıkların kollara yerleştirilmesi Şekil 3.10’da gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Ağırlıkların sarsma kollarına yerleştirilmesi

Titreşim üreticinin frekansı kontrol ünitesindeki frekans göstergesinden çok hassas bir şekilde ayarlanır. Şekil 3.11’de titreşim üretici ve kontrol ünitesi görülmektedir. Çizelge 3.3’de verilen frekanslara karşılık gelen Hz değerlerine göre istenilen frekansta ölçümler yapılabilir. Frekanslara karşılık gelen Hz değerleri titreşim üreticiye bağlanan bir voltmetre ile takip edilmektedir.



Şekil 3.11 Titreşim üretici ve kontrol ünitesi

Bu titreşim üretici kullanılırken aşağıdaki güvenlik tedbirlerine mutlaka uyulmalıdır:

- Titreşim üretici çalıştırılmadan önce tabanı beton veya sağlam bir zemine sıkıca sabitlenmelidir.
- Titreşim üretici hiçbir şekilde taşıma kasasında çalıştırılmamalıdır.
- Titreşim üretici şeffaf koruma kapağı kapatıldıktan sonra çalıştırılmalıdır. Kapak kapatıldıktan sonra dahi dönme eksenine doğrultusunda güvenlik nedeniyle kimse bulunmamalıdır.
- Kayıtlar istenilen dönme sayısına ulaşıldıktan sonra yapılmalıdır.

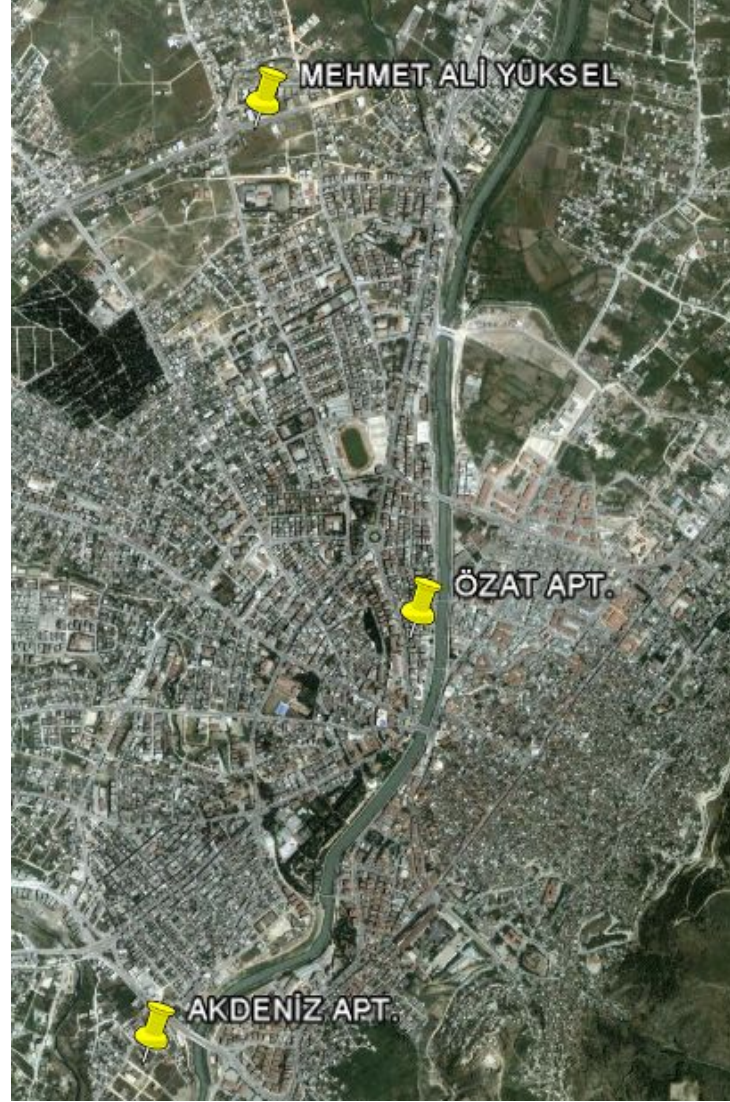
Çizelge 3.3 Yük Kombinasyonları için Maksimum Frekanslar (Hz)

U / sn = Hz	U / dak		
Voltmetre Değerleri	Motor Dönme Sayısı	Frekans Değerleri	
1	60	192	Maksimum iki ağırlık
2	120	384	
3	180	576	
4	240	768	
5	300	960	
6	360	1152	
7	420	1344	
8	480	1536	
9	540	1728	
10	600	1920	
11	660	2112	Yüksüz
12	720	2304	
13	780	2496	
14	840	2688	
15	900	2880	

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneyin Yapılışı

Bu çalışmada üç adet binada titreşim deneyi yapılmıştır. Bu binalar Antakya yapı stokunu temsil edecek özelliklere sahip binalardan seçilmişlerdir. Seçilen binaların genel özellikler üç binanın da konut olarak kullanılması, çok katlı olması ve içlerinden sadece M. Ali Yüksel binasının deney esnasında henüz tamamlanmamış olmasıdır. Seçilen binaların Antakya haritası üzerindeki yerleri Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Seçilen binaların Antakya Haritası üzerinde gösterimi

İlk deneyimiz kaba inşaatı yeni bitmiş olan M. Ali Yüksel binasında gerçekleştirilmiştir. ODTÜ'den getirilen titreşim üretici(VG-1), kontrol ünitesi, kurşun ağırlıklar, veri kaydedici, kablolar, sensörler ve gereken bütün ekipman kamyonet ile taşınmıştır. Binamızı sallamak için titreşim üretici yapının en üst katı döşemesine yerleştirilmelidir. Bu nedenle bütün ekipman vinç yardımı ile titreşim üreticinin monte edileceği kata çıkarılmıştır. Bütün ekipman taşınması Şekil 3.13'de gösterilmektedir.



Şekil 3.13 Cihazların getirilmesi ve yapıya taşınması

Ekipman binaya taşındıktan sonra titreşim üreticinin monte edileceği uygun yer (betonarme döşeme) belirlenir. Titreşim üreticinin yapıda yerleştirileceği yer hem güvenlik açısından hemde üretilen harmonik kuvvetin yapıya doğru bir şekilde aktarılması açısından önemlidir. Güvenlik açısından titreşim üreticini döşemeye monte edilmesi gerekmektedir. Üretilen harmonik kuvvetin yapıya doğru bir şekilde aktarılması için yapını üst katına, plana göre ağırlık merkezine çok yakın bir noktaya yerleştirilmelidir. Titreşim üreticinin döşemeye montajı zor bir işlemdir. Cihazın üzerine sabitlendiği demir sehpanın döşemeye ankrajlanması için önce döşeme olabildiğince pürüzsüz hale getirilir ve karot makinesi ile uygun delikler açılmaktadır. Şekil 3.14'de demir sehpa ve karot makinesi ile deliklerin açılması gösterilmiştir. Demir sehpa döşemeye monte edildikten sonra titreşim üretici (VG-1) bu sehpanın üzerine monte edilir.



Şekil 3.14 Montajı yapılmış demir sehpa ve karot makinesi

Titreşim üreticinin döşemeye ankrajlanma işlemi tamamlandıktan sonra Çizelge 3.1'de verilen Hz değerlerine göre kurşun ağırlıklar yerleştirilir. Kontrol ünitesi ile titreşim üretici arasındaki bağlantıyı sağlayan kablolar kısa olduğundan kontrol ünitesi ile titreşim üretici aynı kata konulmuştur. Böylece kontrol ünitesinden titreşim değeri arttırıldıkça titreşim üreticide kontrol edilmiş olmaktadır. Bu titreşimler katlara yerleştirilen tek yönlü ivmeölçerler ile alınmaktadır. Bu ivmeölçerler bazı kurallar (M. Çelebi 2003) dikkate alınarak yerleştirilmiştir. Bu kurallardan kısaca bahsedecek olursak;

- İvmeölçerler titreşim üreticinin bulunduğu katta iki adet, giriş katta iki adet ve ara katlarda kablo uzunlukları dikkate alınarak toplam on iki adet ivmeölçer kullanılmıştır.
- Bu ivmeölçerler titreşimin verildiği doğrultuda, yani eğer binaya uzun doğrultuda titreşim veriyorsak ivmeölçerler uzun yönde kayıt alacak şekilde döşemeye dübeller ile monte edilir ve su terazisi yardımı ile dengelenir.
- İvmeölçerler her katta aynı aksta olacak şekilde yerleştirilir. Kısa doğrultuda titreşim verilirken aynı işlemler tekrarlanmıştır. İvmeölçerlerin montajı anı ve montaj sonrası Şekil 3.15'de görülmektedir.



Şekil 3.15 Dübeller yerleştirilir, ivmeölçer monte edilir ve su terazisi ile dengelenir

Döşemeye monte edilen ivmeölçerler data toplama ünitesine kablolar ile bağlanır. Deneye başlamadan önce data toplama ünitesinden bütün ivmeölçerlerin bağlanıp bağlanmadığı ve deneme kayıtları alınarak ivmeölçerlerde bağlantı sorunu olup olmadığı test edilir. Data toplama ünitesinin genel görüntüsü ve kablo bağlantıları Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Kablo bağlantıları ve data toplama ünitesinin genel görüntüsü

Bütün cihazların montajı tamamlandıktan sonra ve gerekli kontrolleri yapıldıktan sonra deneye başlanabilmektedir. Titreşim üretici çalıştırılır ve ağırlık kovaları dönmeye başlar. Kontrol ünitesindeki Hz değerlerini gösteren ekrandan titreşim üreticinin binaya uyguladığı harmonik hareketin Hz değeri takip edilebilmektedir. Data toplama ünitesinde istenilen Hz değerine ulaşıldığı zaman yaklaşık 20 sn. boyunca kayıtlar alınmaya başlanır. Kayıtlar alınmaya başlamadan önce kontrol ünitesinde Hz değeri ayarlandıktan sonra kısa bir süre beklenir ki, binanın verilen harmonik hareketi tam anlamıyla alması beklenir. Bu kayıtlar Mehmet Ali Yüksel binasında uzun doğrultuda 2.0 Hz ile 4.0 Hz arasında kısa doğrultuda ise 1.6 Hz ile 2.8 Hz arasında alınmıştır.

İkinci ve üçüncü deneyimiz kullanımda ki konut binaları olan Özat Apartmanı ve Akdeniz Apartmanın da gerçekleştirilmiştir. Bu binalarda kullanılan titreşim üretici Mustafa Kemal Üniversitesi tarafından 107M445 numaralı TÜBİTAK projesinden satın alınan portatif bir titreşim üreticidir. Bu cihaz birinci deneyde kullanılan titreşim üretici (VG-1) kadar ağır olmadığı için taşınmasında zorluk yaşanmamıştır. Bu deneyde de titreşim üretici yapının en üst katına ve ağırlık merkezine yakın ve uygun bir noktaya monte edilir. Monte edilecek zemin sağlam olmalıdır. Direk döşemeye monte edilebiliyorsa daha güvenli olacaktır. Çünkü deney esnasında cihazın yarattığı kuvvetten dolayı dübelleri yerinden sıyrılabilir. Eğer döşemeye monte edemiyor ve gerekli sağlam zemin yok ise Şekil 3.17’de görüldüğü gibi betonarme döşemeyi ortaya çıkaracak şekilde kaplama sökülmemektedir.

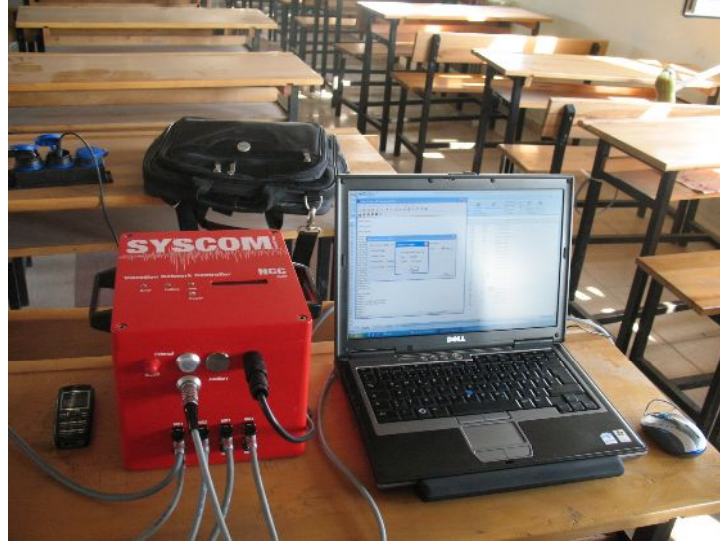


Şekil 3.17 Titreşim üreticinin monte edileceği uygun zemin

Şekil 3.17’de görülen döşemeye monte edilmiş plaka titreşim üreticinin yönünün kolaylıkla değiştirilmesi için yaptırılmıştır. Bu plaka döşemeye sabitlendikten sonra titreşim üretici binaya verilecek harmonik kuvvetin doğrultusuna göre plakanın üzerine sabitlenir. Eğer binaya kısa doğrultuda harmonik kuvvet verilecek ise titreşim üreticinin kolları da kısa doğrultuda olacak şekilde yerleştirilir. Titreşim üreticinin montajı yapılırken aynı zamanda çift yönlü hız sensörleri binada belirlenen katlara yerleştirilirler. Sensörler SYSCOM şirketinden alınmıştır. Bu hız sensörleri şu şekilde monte edilir; bir adet yapının giriş katında ortada (titreşim üretici ile aynı aksta), iki adet titreşim üreticinin bulunduğu katta çapraz köşelerde, iki adet de en üst kattaki hızölçerler ile aynı aksta olacak şekilde yapının kat sayısına göre orta katlara yerleştirilir. Şekil 3.18’de bu hız sensörleri görülmektedir. Yapının katlarına yerleştirilen bu ölçüm cihazları üç bölümden oluşmaktadır, bir adet hız sensörü, bir adet dönüştürücü ve bir adet kayıt kutusu. Bu sistemdeki cihazların birbiri ile bağlantısı şu şekilde yapılmaktadır; hız sensörü üzerindeki su terazisi ile dengeye getirildikten sonra kablo ile kayıt ünitesine bağlanır. Bir dönüştürücü ile ana kayıt ünitesine (NCC) bağlanır. Şekil 3.19’da ana kayıt ünitesi ve bilgisayar bağlantısı görülmektedir. Titreşim üreticinin SYSCOM cihazları ile doğrudan bir bağlantısı yoktur. Sensörler üretilen harmonik kuvvetten dolayı yapıda ki titreşimleri algılar ve kaydeder.



Şekil 3.18 Hız sensörü ve bağlantıları



Şekil 3.19 Ana kayıt ünitesi ve bilgisayar bağlantısı

Titreşim üreticinin montajı ve sensörlerin yerleştirilmesi ve ana kayıt ünitesine bağlanması tamamlanmış olur. Montajı yapıldıktan sonra titreşim üreticiye ağırlıklar yerleştirilir. Bu ağırlıkların sayısı Çizelge 3.3’de verildiği gibi olmalıdır. Yerleştirilen ağırlıklardan sonra güvenlik için şeffaf koruma kutusu takılmalıdır. Şekil 3.20’de şeffaf koruma kutusu görülmektedir. Titreşimin artımlarının ayarlanacağı kontrol ünitesi ile bağlantısı ve Hz değerini kontrol edileceği voltmetre bağlantıları yapılır. Titreşim artımları Çizelge 3.3 da verilen değerlere göre yapılır.



Şekil 3.20 Titreşim üreticiye takılan koruma kutusu

Bütün bağlantılar tamamlandıktan sonra harmonik kuvvet 1 Hz den başlanarak 5 Hz kadar artırılır. Bu aralıkta yapılan taramada titreşimin pik yaptığı kısım belirlenir. Bu pik noktasında kayıtlara başlandığında 0.2 Hz artımlar yapılarak daha sık bir şekilde harmonik kuvvet uygulanmaktadır. Kayıtlar 1 Hz den başlanarak 5 Hz' e kadar titreşim üreticinin kollarında iki kütle ile titreşim sağlanır. 5 Hz den sonra 10 Hz' e kadar tekrar taranarak pik nokta belirlenir. 5 Hz ile 10 Hz arasında kollardaki ağırlık bir kütleye indirilmelidir. Bu şekilde her bir kaydın uzunluğu 60 sn olan bütün kayıtlar alınmış ve deney tamamlanmış olmaktadır. Bütün kayıtlar alındıktan sonra ana kayıt ünitesinin hafızasındaki kayıtlar bilgisayara aktarılır.

4. DENEYSEL SONUÇLARIN İNCELENMESİ

4.1. Data Analizi

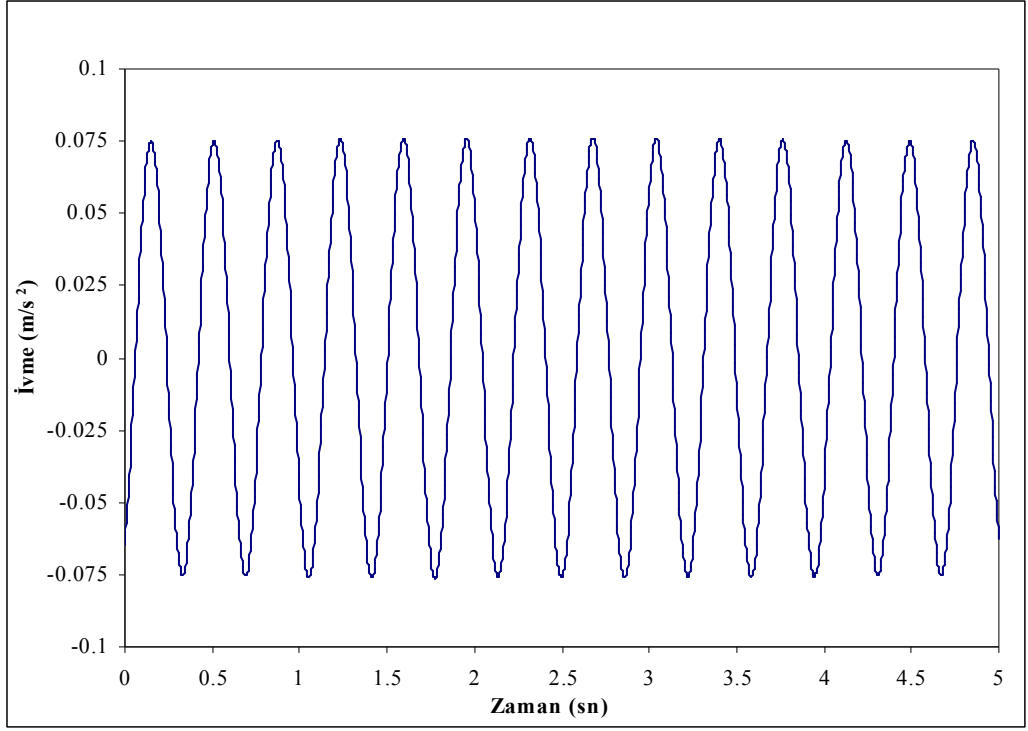
Deneysel sonucunda elde edilen verilerin işlenmesi SeismoSoft, VIEW2002 ve Matlab paket programları ile yapılmıştır. Aletlerden alınan kayıtların analiz edilmeden önce veri işleme denilen bir data temizleme işleminden geçirilmesi gerekir. Bu işlem analizi kolaylaştırdığı gibi hata oranlarını da azaltır. Bu kayıtlar için veri işleme aşağıdaki adımları kapsar: (Erdal Şafak 2007)

1. Datadaki ortalama değerlerin ve lineer hataların ayıklanması (base-line correction).
2. Kayıtlarda gürültünün fazla olduğu çok düşük ve çok yüksek frekanslı kısımların filtre edilmesi gerekir.
3. Yapıda mevcut en yüksek frekans değerleri göz önüne alınarak gerekirse kayıtlardaki örnekleme aralığının yükseltilmesi (decimation)
4. Eğer sensörlerden alınan kayıtlar senkronize değilse analitik yöntemler kullanılarak kayıtların senkronize edilmesi.

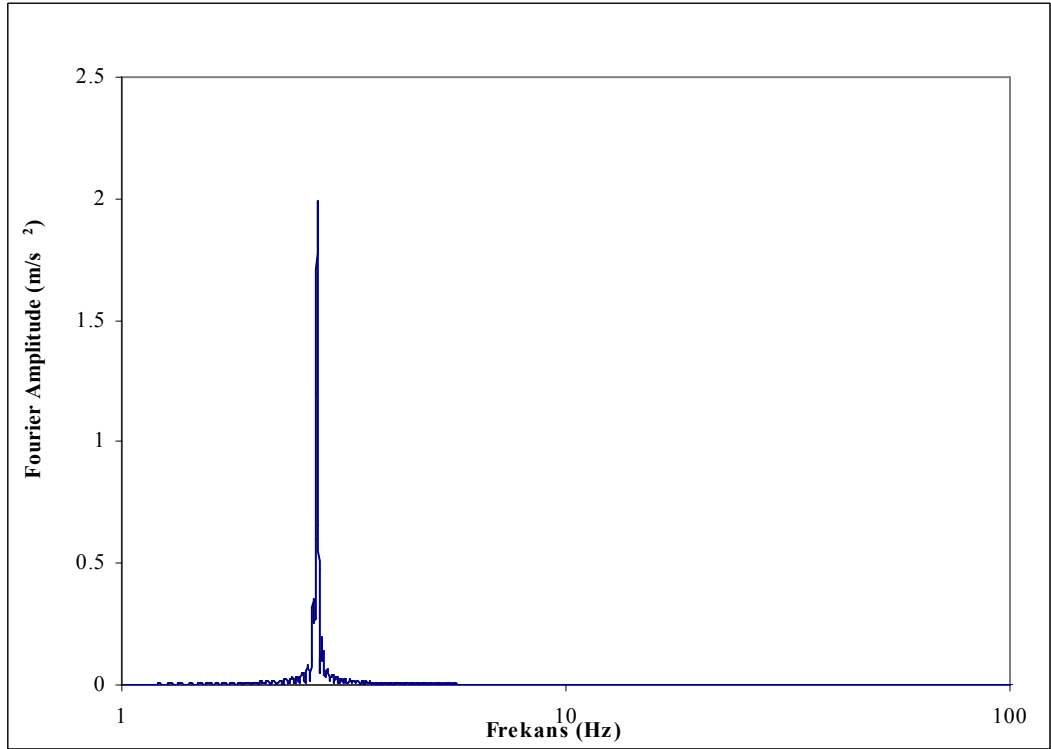
Bu çalışmada yukarıda belirtilen paket program SeismoSignal kullanılmıştır. Bu program veri işleme işlemlerini otomatik olarak yapmaktadır.

4.2. Modal Frekansların Bulunması

Yapının modal frekanslarının bulunması en basit yolu işlenmiş datanın Fourier transformunu almaktır. Fourier transformu esas olarak datanın sonlu sayıda sinüs eğrisinin genliklerini değiştirerek ve birbirine göre kaydırarak toplanmasına eşdeğer hale getirilmiş işlemidir. Fourier transformunda genliğin maksimum olduğu frekanslar yapının modal frekansını gösterir. (Erdal Şafak 2007) Şekil 4.1’de örnek bir kayıt gösterilmekte ve bu kaydın Şekil 4.2’de Fourier transformu gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Örnek bir İvme kaydı



Şekil 4.2 İvme kaydından elde edilen Fourier Amplitude – Frekans grafiği

4.3. Mod Şekillerinin Bulunması

Mod şekilleri yapının her modal frekansta hangi geometrik konumda titreştiğini gösterir. Herhangi bir moda karşılık gelen mod şeklini bulmak için yapının kayıtları bu modu tanımlayan frekans etrafında dar bantlı bir filtre kullanılarak filtre edilir. Filtrelenmiş datalardaki sinüzoidlerin genliği ölçme noktalarındaki mod şeklinin genliğini verir.

4.4. Sönüm Oranlarının Bulunması

Modal sönüm oranları her moda karşı gelen filtrelenmiş kayıtları kullanarak tayin edilebilir. Genelde sönüm çok nonlineer bir parametredir ve yapıya gelen deprem yükünün frekans karakteristikleri ve yapının deplasmanları ile değişir. Bu nedenle kaydın kuvvetli titreşim kısmını kullanarak modal sönüm hesaplamak uygun değildir ve istikrarlı bir değer elde etmek zordur. Modal davranışı gösteren filtrelenmiş datanın Fourier spektrumunda maksimum genliğin genişliğini kullanmaktır. Eğer f_0 modal frekansı bu frekanstaki genlik A_0 alınır ve spektrum genliğinin $A_0/\sqrt{2}$ kadar azaldığı yerdeki frekanslar f_1 ve f_2 olarak hesaplanırsa, modal sönüm aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$\zeta = \frac{f_2 - f_1}{2 f_0} \quad (4.1)$$

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE ANALİTİK SONUÇLAR

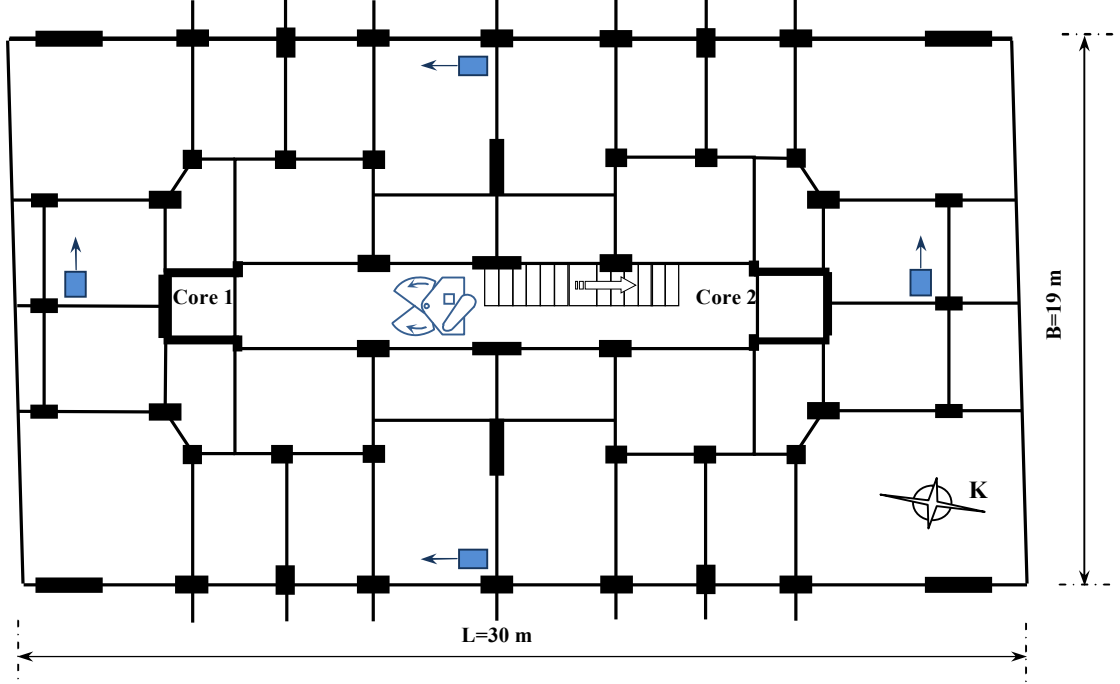
5.1. Mehmet Ali Yüksel Apartmanı

Antakya kent merkezinde yapılan yeni betonarme binaların dinamik karakteristik özellikleri deneysel olarak tespit edilmeye amacıyla Ürgenpaşa Mahallesi 75. yıl bulvarında bulunan Mehmet Ali YÜKSEL'e ait bina Bodrum+zemin1+zemin2+6 kat+çatı katı olmak üzere toplam sekiz katlı bir yapıdır. Bina 2007 yılında yapılmış yeni bir binadır. Yapının kat yükseklikleri bodrum kat 2.65 m, giriş kat 5.6 m (asmakat mevcut) sonraki 6 katın yüksekliği 2.65 m'dir. Ayrıca yapıda 2.65 m yüksekliğinde birde çatı katı bulunmaktadır. Yapının plan kesiti 30 m x 19 m ve yapının temelden yüksekliği 24.15 m ayrıca yer seviyesinden yüksekliği 21.50 m'dir. Şekil 5.1'de yapının genel görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Mehmet Ali YÜKSEL binası

Yapının taşıyıcı sistemi betonarmeden oluşmaktadır. Kısa doğrultuda iki adet perde ve uzun doğrultuda dört adet perde bulunmaktadır. Ayrıca iki asansör boşluğunu çevreleyen perde duvarlar mevcuttur. Şekil 5.2’de yapının planı, kolonları, kirişleri, sensörlerin ve titreşim üreticini yeri gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Titreşim üreticinin yapıdaki konumu ve sensörlerin uzun ve kısa doğrultudaki yerleri ve yönleri kat planında görülmektedir

Plan yatay ve düşey eksenlere göre yapısal olarak simetriktir. Binanın döşeme sistemi betonarme ve 15 cm kalınlığındadır. Temel sistemi hasır temel tipindedir. Projeye göre yapının tamamında kullanılan beton sınıfı C25 (25 N/mm^2), demir sınıfı ise S420 (420 N/mm^2). Yapının iç ve dış duvarlarında boşluklu tuğla kullanılmıştır. Yapının üzerinde bulunduğu zemin gerilmesi 2.0 N/mm^2 ve etkin periyodu 0.3 sn’dir.

5.1.1 Deneyde Aletlerinin Yerleştirilmesi

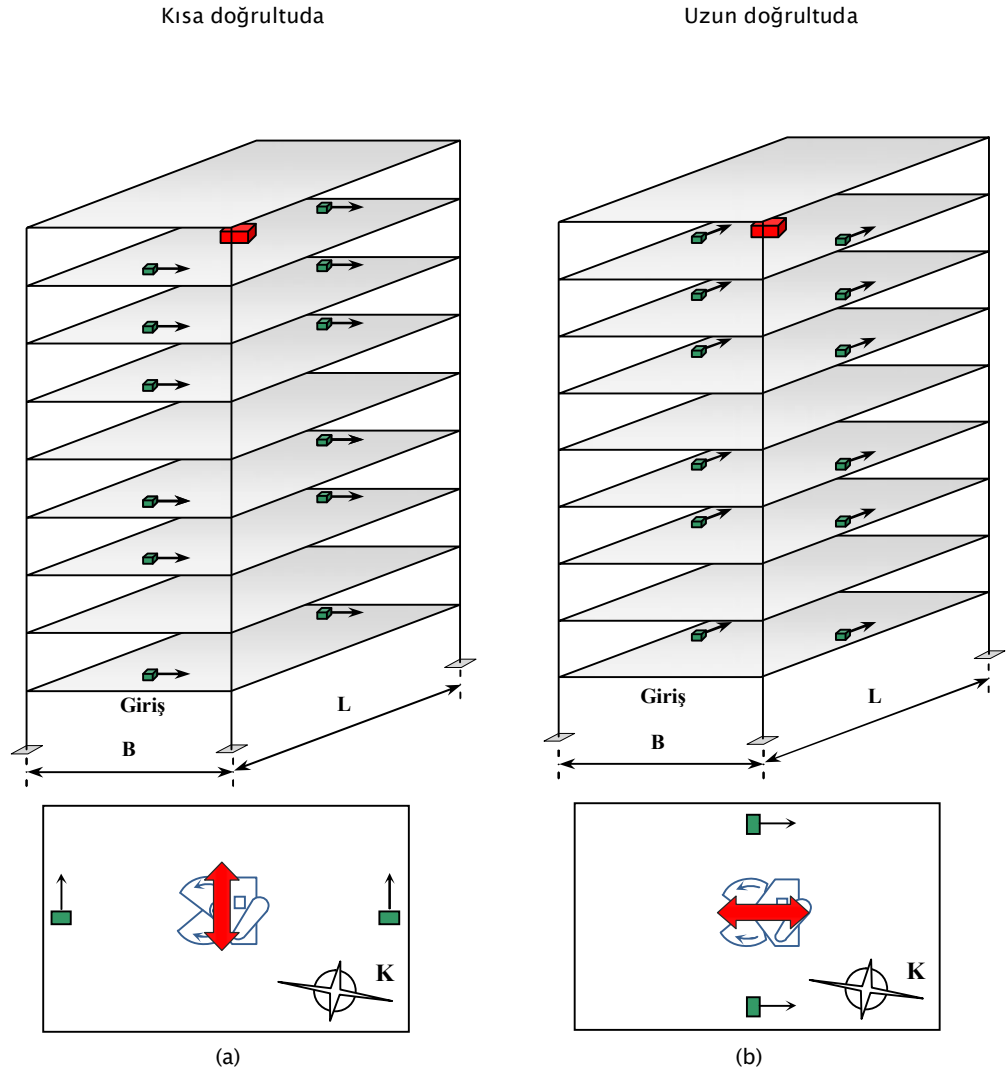
Yapıda on iki tek eksenli ivmeölçer kullanılmıştır. Bu ivme ölçerler data logger cihazına kablolar ile bağlanmıştır. Titreşim üretici (shaker) yapının en üst katına,

yapının geometrik olarak merkezine, döşeme üzerine civatalar ile Şekil 5.3' de görüldüğü gibi monte edilmiştir



Şekil 5.3 Titreşim üreticinin binaya monte edilmiş hali

Sensörler direk olarak döşemeye monte edilmiştir. İki ivmeölçer titreşim üreticinin bulunduğu altıncı kata yerleştirildi, ikişer ivmeölçer titreşim üreticinin altındaki iki kata yerleştirildi, birinci ve ikinci katlara ikişer ivmeölçer yerleştirildi ve giriş kata iki ivmeölçer yerleştirilmiştir. Sensörler, binanın teste tabi tutulacağı yöne göre, her katta döşeme uç noktalarına (aynı aks üzerine gelecek şekilde) yerleştirildi. Sensörlerin ve titreşim üreticinin katlardaki dağılımı Şekil 5.4'da gösterilmektedir.

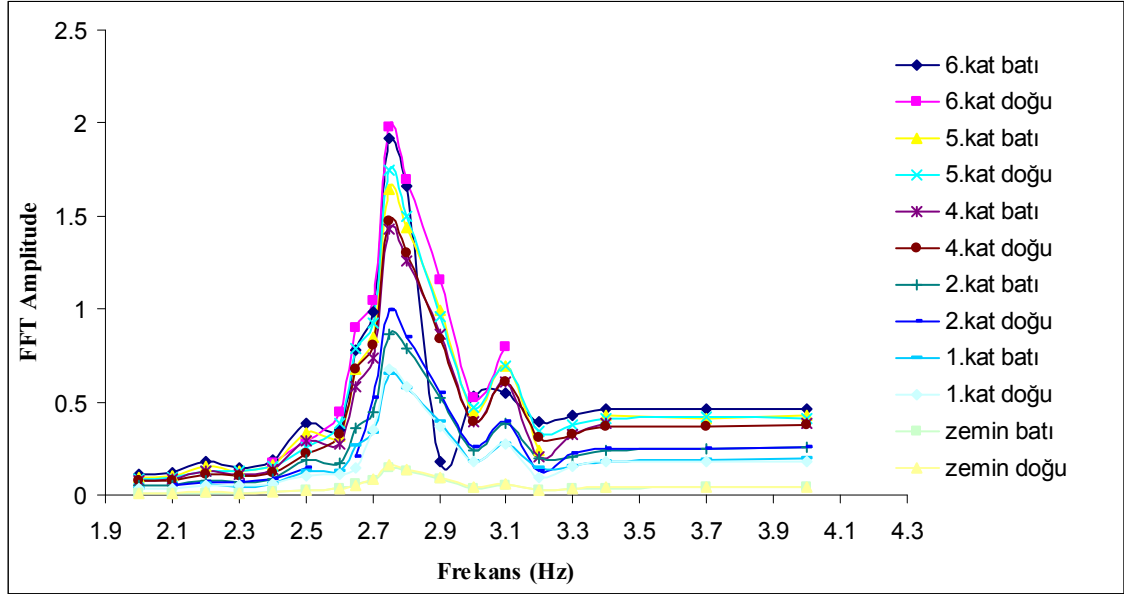


Şekil 5.4 Titreşim üreticinin ve ivmeölçerlerin kısa doğrultu(a) ve uzun doğrultu(b) da binadaki konumları

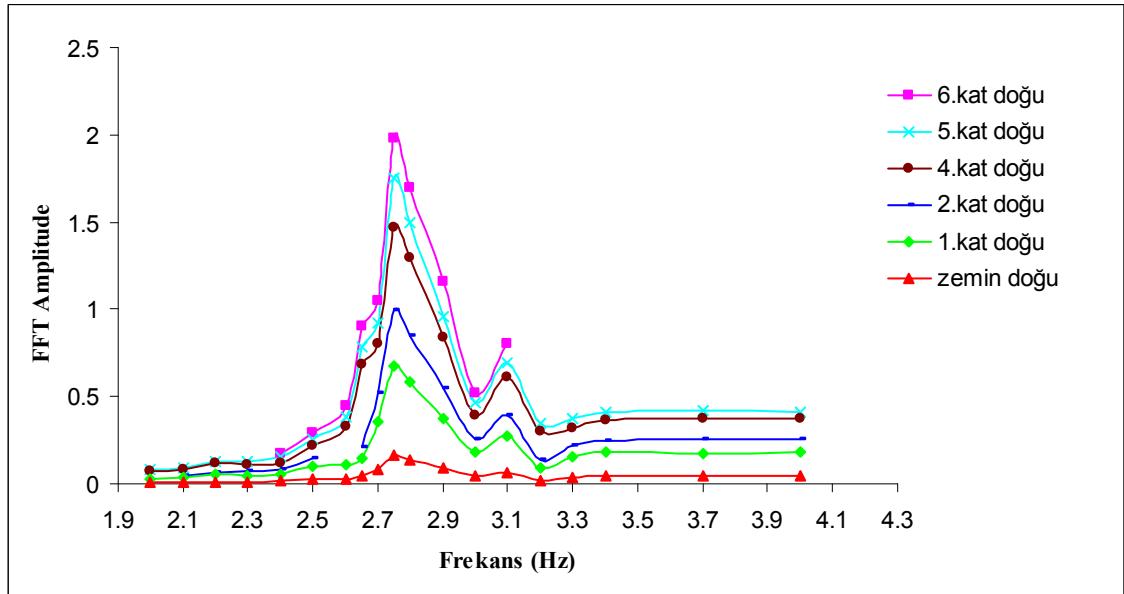
5.1.2 Frekans – Tepki Eğrileri

Zorlanmış titreşim testinin ilk uygulaması uzun doğrultuda yapılmıştır. Yük kovalarına L1S1 yüklemesi yapılmış(Çizelge 3.1’de görülmektedir). Bu titreşimlerden elde edilen kayıtlar SeismoSignal paket program yardımıyla analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen Fourier transform değerleri kullanılarak Şekil 5.5’de

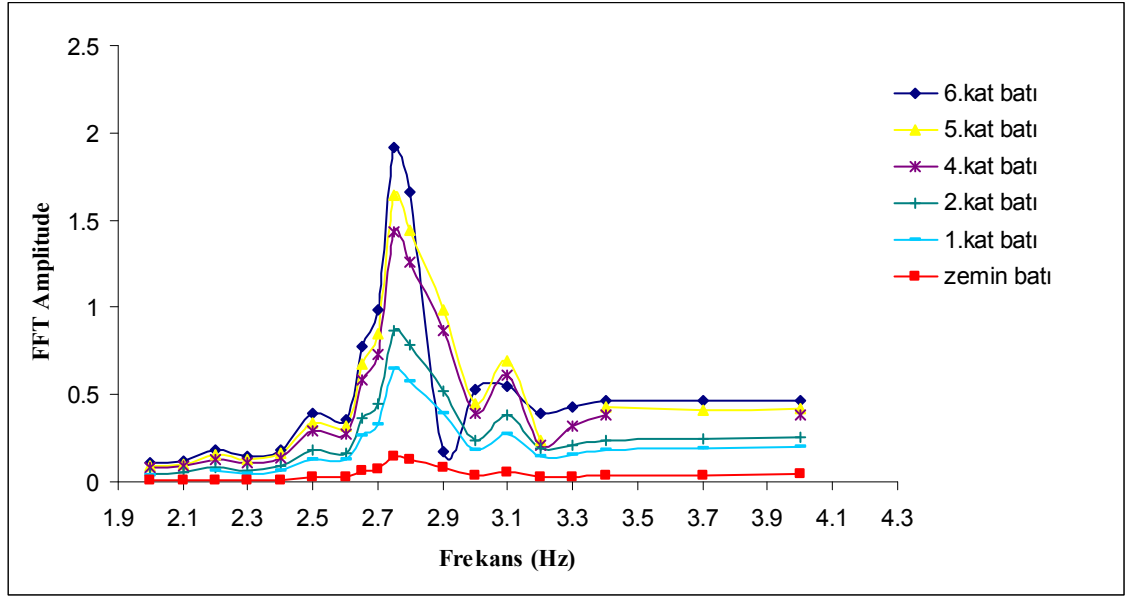
verilen tepki eğrisi elde edilmiştir. Bu grafikte genliğin maksimum olduğu frekans yapının modal frekansını göstermektedir.



Şekil 5.5 Bütün sensörler için FFT Amplitude – Frekans grafiği

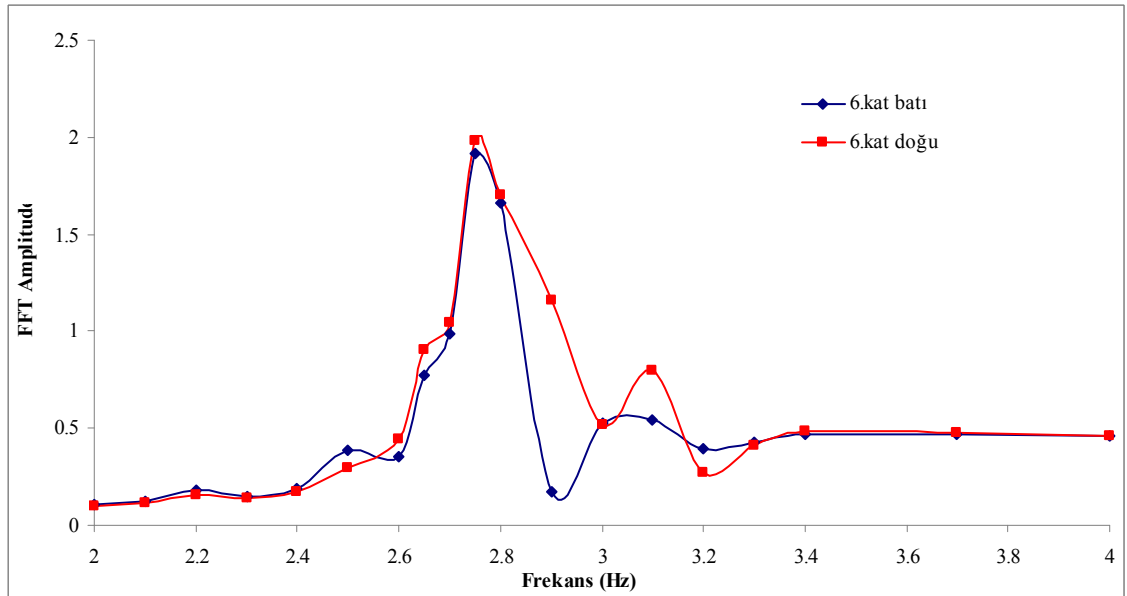


Şekil 5.6 Doğu sensörleri için FFT Amplitude – Frekans grafiği



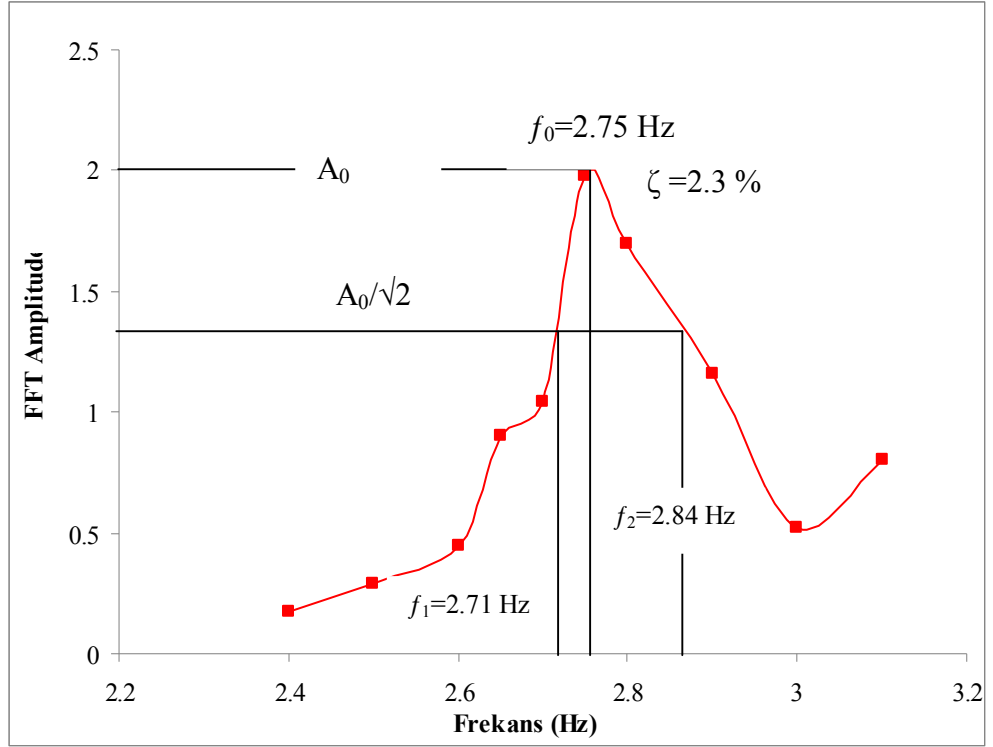
Şekil 5.7 Batı sensörleri için FFT Amplitude – Frekans grafiği

Şekil 5.5’de görüldüğü gibi en büyük genlik altıncı kata yerleştirilen sensörlerde görülmektedir. Bu durumda yapının uzun doğrultudaki hakim frekansı 2.75 Hz olarak bulunmuştur. Bu sensörler referans alınarak mod şekilleri Şekil 5.10’da ve sönüm oranı Şekil 5.9’da bulunmuştur. Bu sensörlere ait grafik Şekil 5.8’ de verilmiştir.



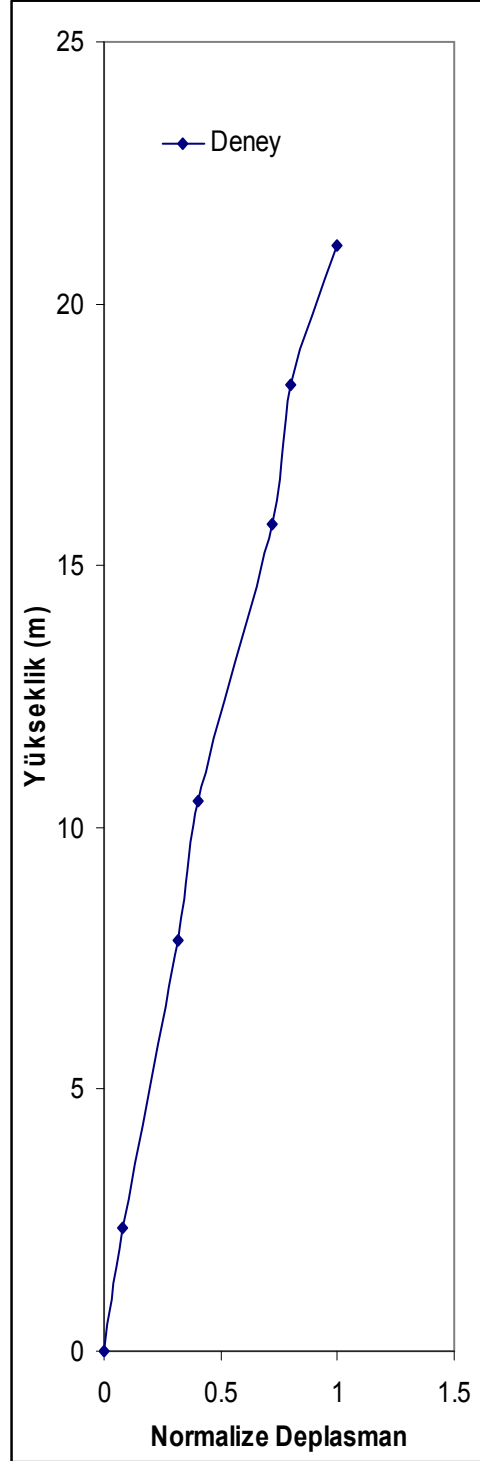
Şekil 5.8 Altıncı kat sensörlerine ait grafik

Modal davranışı gösteren filtrelenmiş datanın Fourier spektrumu garfiği Şekil 5.7 kullanılarak denklem (4.1) den yararlanarak yapının sönüm oranı 2.3% olarak hesaplanmıştır.



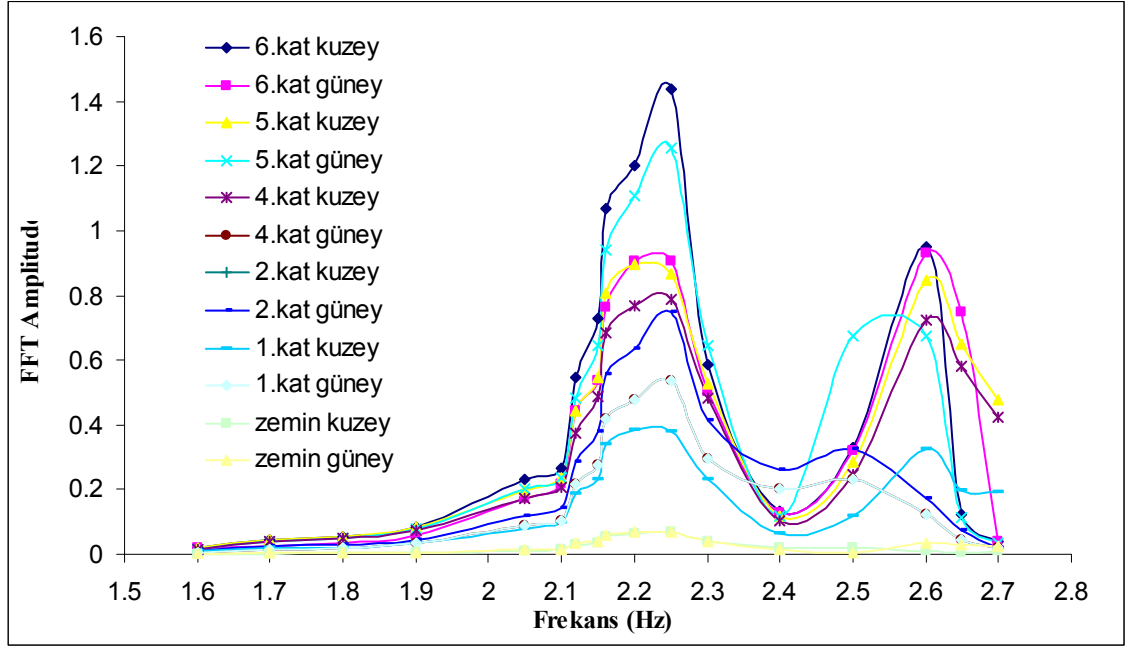
Şekil 5.9 Mehmet Ali Yüksel'e ait uzun doğrultu sönüm oranı

Yapının mod şekli SeismoSignal paket program ile analiz edilen titreşim kayıtlarından yapının hakim frekanstaki deplasman değerleri katlardaki her sensör için hesaplanır ve bu değerler kullanılarak Şekil 5.10’da verilen mod şekli elde edilmiştir.

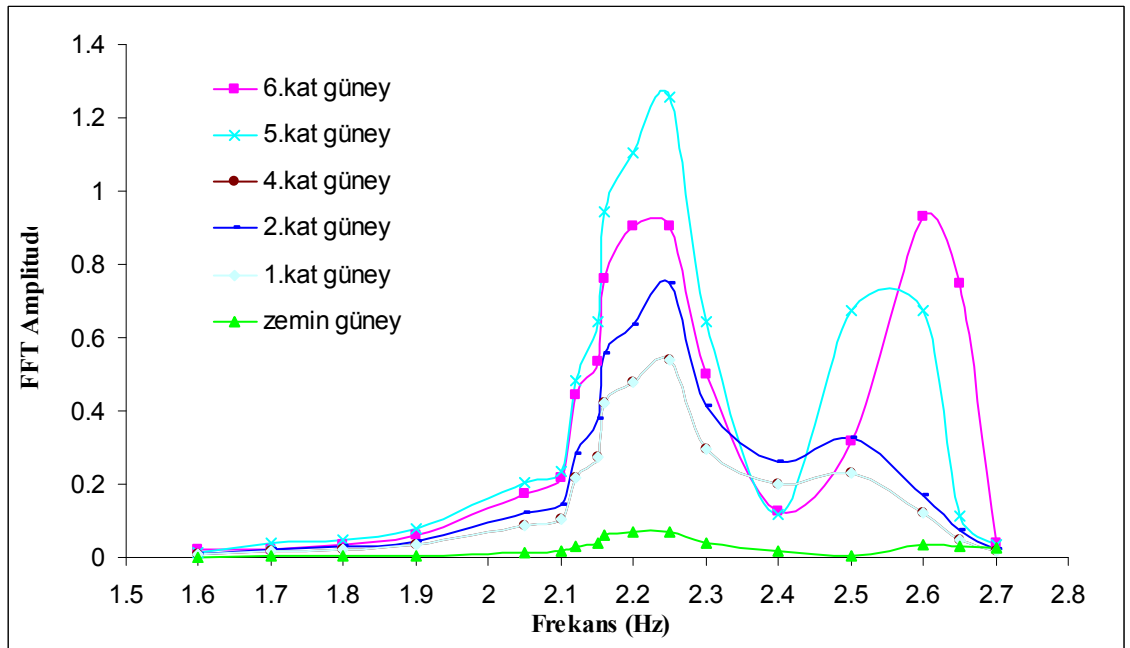


Şekil 5.10 Uzun doğrultuda birinci mod şekli

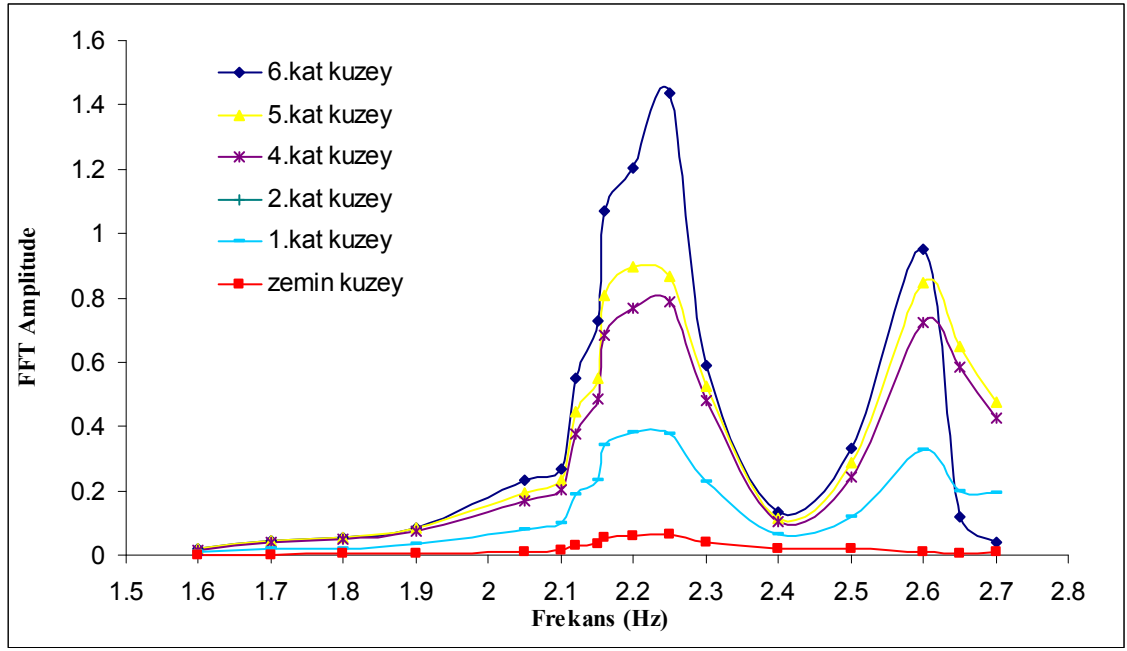
Yapının uzun doğrultudaki ölçümleri tamamlandıktan sonra kısa doğrultudaki ölçümlere geçilmiştir. Kısa doğrultuda uzun doğrultuda izlenen işlem adımları izlenmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen Fourier transform değerleri kullanılarak Şekil 5.11’da verilen tepki eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 5.11 Bütün sensörler için FFT Amplitude – Frekans grafiği

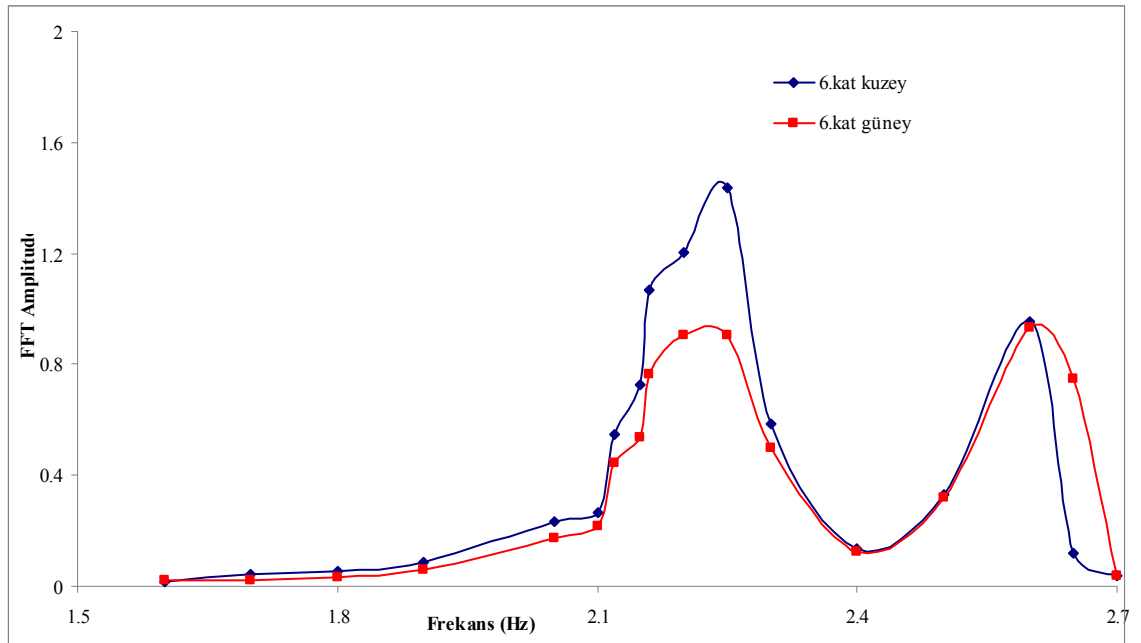


Şekil 5.12 Güney sensörleri için FFT Amplitude – Frekans grafiği



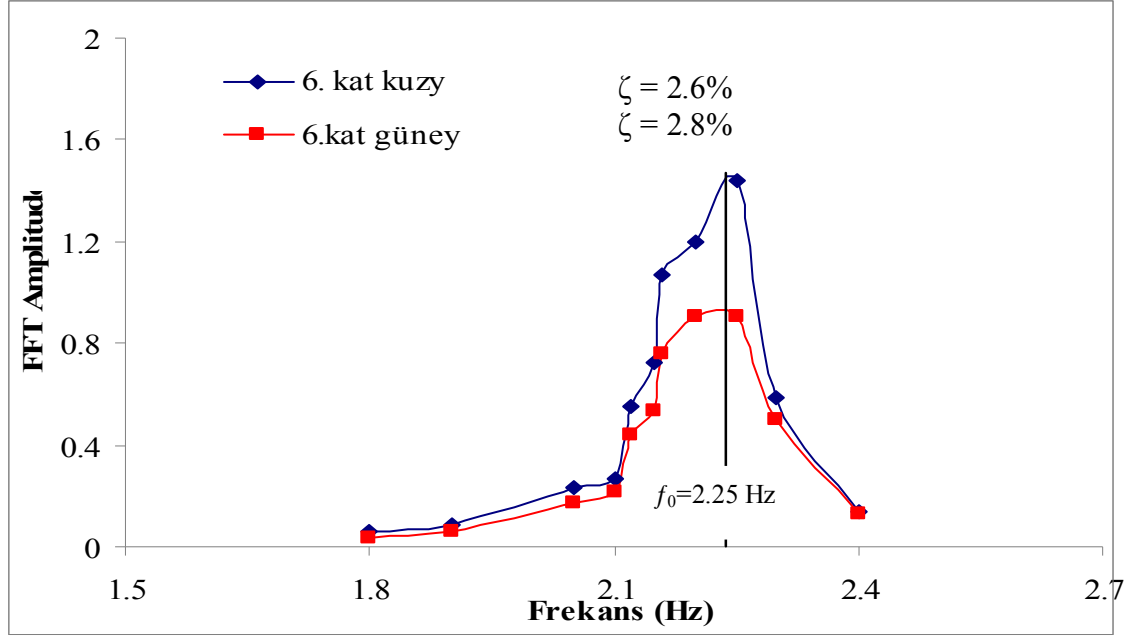
Şekil 5.13 Kuzey sensörleri için FFT Amplitude – Frekans grafiği

Şekil 5.11’de görüldüğü gibi en büyük genlik altıncı kata yerleştirilen sensörlerde görülmektedir. Bu durumda yapının kısa doğrultudaki hakim frekansı 2.25 Hz olarak bulunmuştur. Bu sensörler referans alınarak mod şekilleri Şekil 5.16’de ve sönüm oranı Şekil 5.15’de bulunmuştur. Bu sensörlere ait grafik Şekil 5.14’ da verilmiştir.



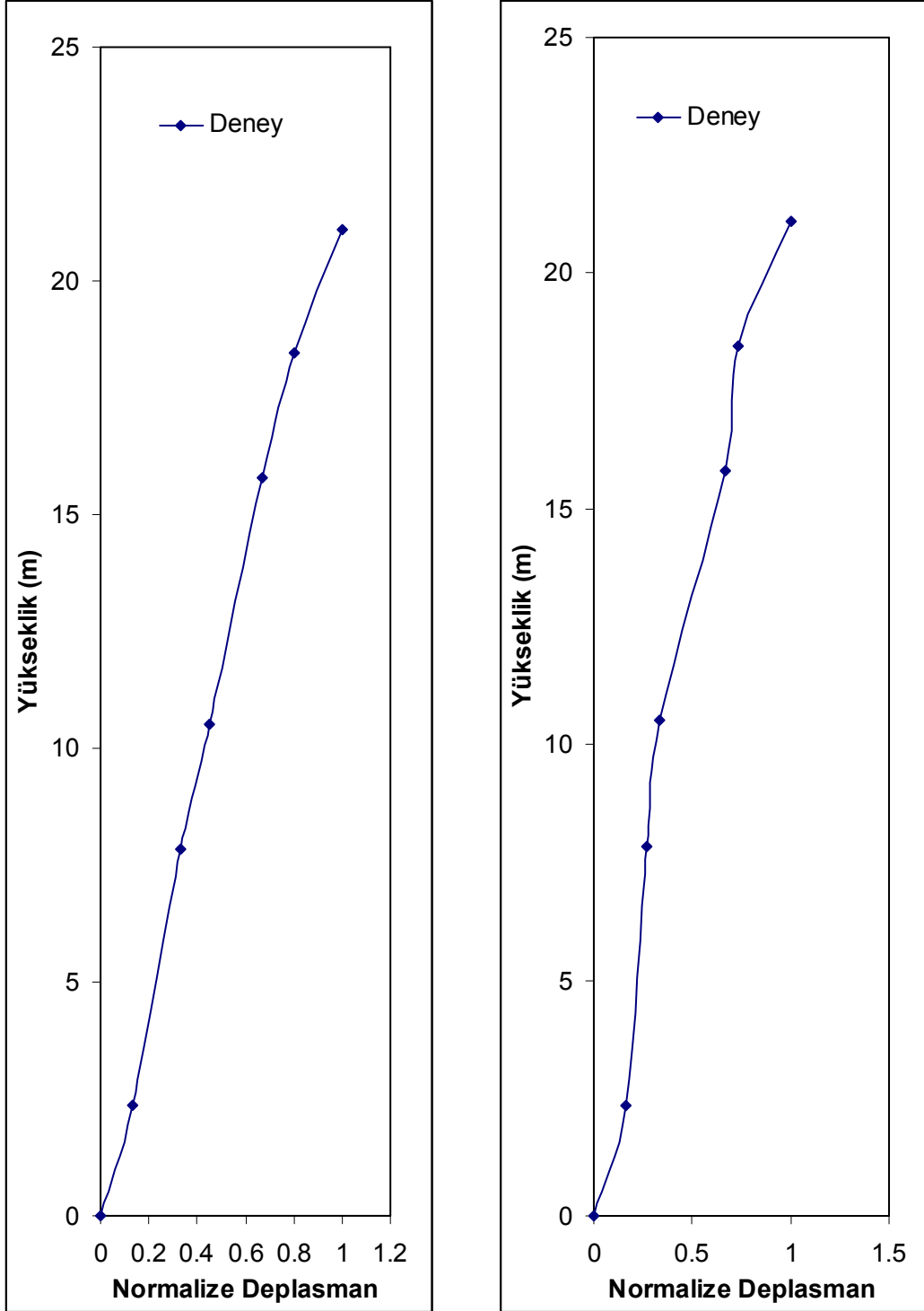
Şekil 5.14 Altıncı kat sensörlerine ait grafik

Modal davranışı gösteren filtrelenmiş datanın Fourier spektrumu grafiği Şekil 5.15 kullanılarak denklem (4.1) den yararlanarak yapının sönüm oranı 2.6% ve 2.8% olarak hesaplanır.



Şekil 5.15 Mehmet Ali Yüksel'e ait kısa doğrultu sönüm oranı

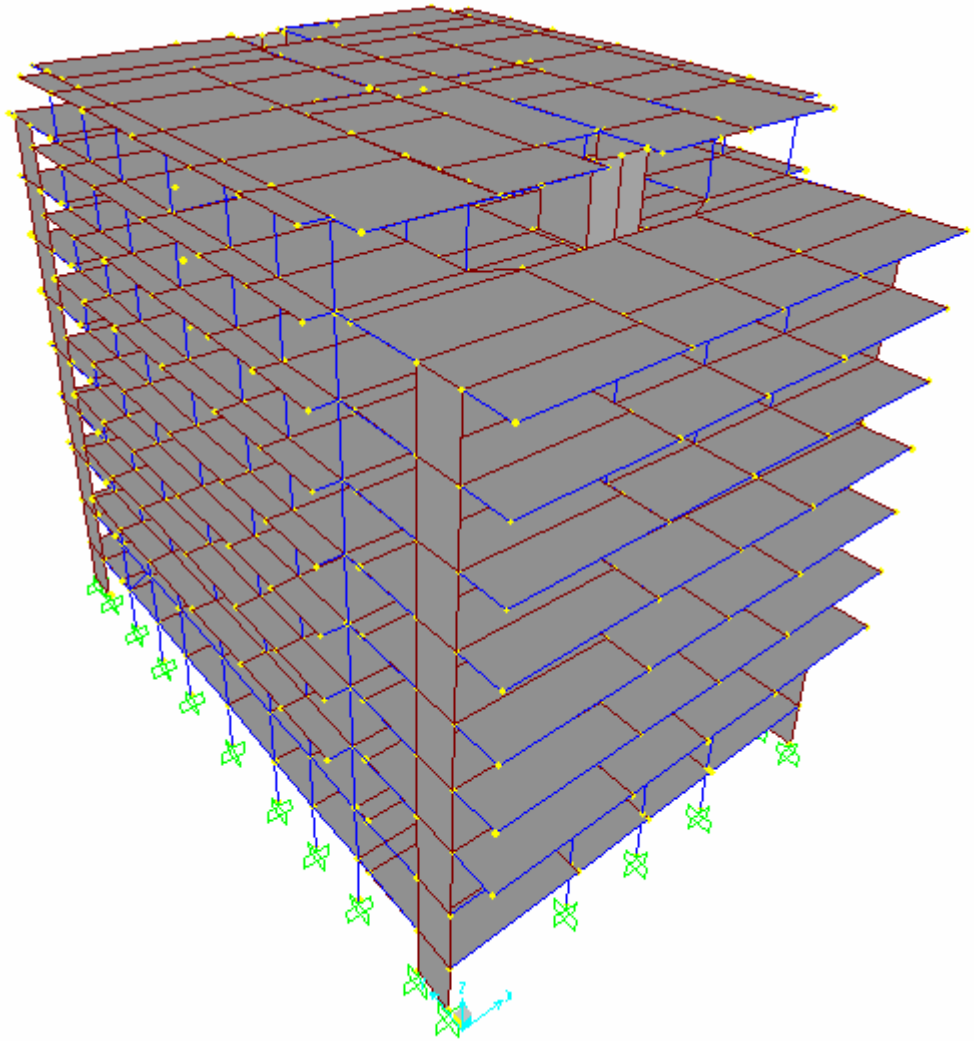
Yapının mod şekli SeismoSignal paket program ile analiz edilen titreşim kayıtlarından yapının hakim frekanstaki deplasman değerleri katlardaki her sensör için hesaplanır ve bu değerler kullanılarak Şekil 5.16’da verilen mod şekli elde edilmiştir.



Şekil 5.16 Kısa doğrultuda birinci mod şekli, Kısa doğrultuda ikinci mod şekli

5.1.3 Binaların Yapı Analiz Programları ile İncelenmesi

Doğal frekans ve doğal mod olarak isimlendirilen yapının karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için test edilen yapılara serbest titreşim analizi uygulanmalıdır. Sap2000 NonLinear V10 ve ETABS V9 programları yapıların analiz edilmesinde(sonlu elemanlar yöntemi ile) yaygın olarak kullanılan programlardır. Şekil 5.17’de yapının SAP2000 modeli verilmiştir.



Şekil 5.17 Mehmet Ali Yüksel SAP2000 modeli

Yapının üç boyutlu modeli Sap2000 programında hazırlanmıştır. Model oluşturulurken bazı kabuller alınmıştır:

- Ankastre temel seçilmiştir.
- Her katın kütle merkezinde toplanmış kütle kabulü yapılmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

Test esnasında yapıda bütün betonarme işleri tamamlanmış ve duvarlar örülmüştür. Elemanların elastisite modülü, beton sınıfı C25 için 3.0×10^7 kN/m² alınmıştır.

Yapının uzun doğrultuda birinci mod şekli Şekil 5.19' da, ikinci ve üçüncü mod şekilleri Şekil 5.20' de, kısa doğrultuda birinci mod şekli Şekil 5.22' de, ikinci ve üçüncü mod şekilleri Şekil 5.23' de verilmektedir. Ayrıca Çizelge 5.1'de deney ve analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.1 Deney sonuçları ve analiz sonuçların karşılaştırılması

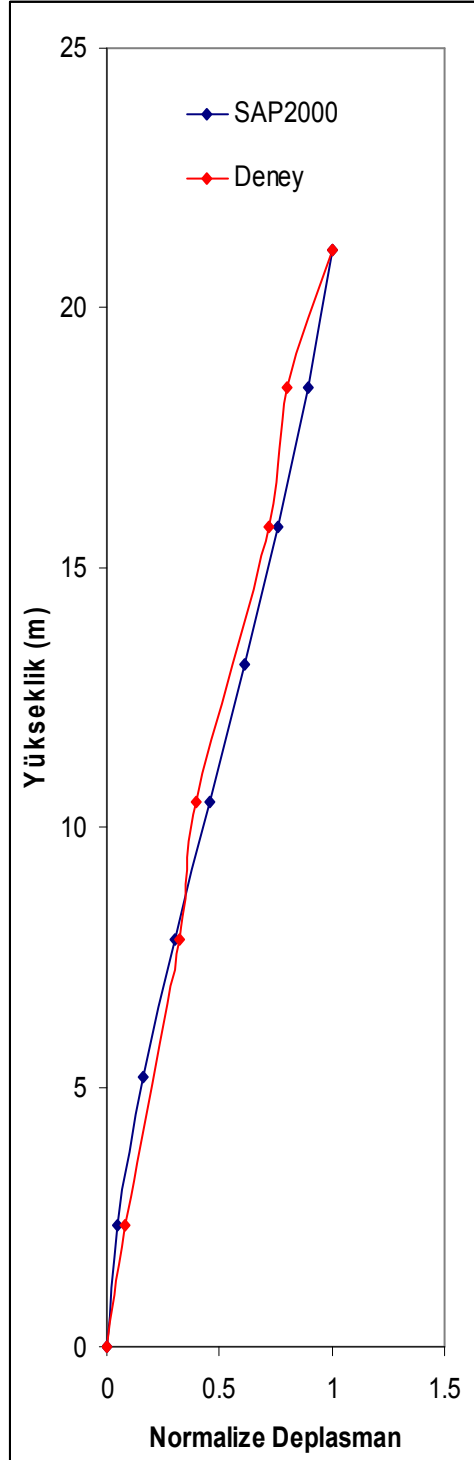
Duvarsız Hal				Duvarlı Hal				
Tür	Sap2000	Deney	Fark*(%)	Tür	SAP 2000 (periyot) _a	Deney (periyot) _b	Sönüm Oranı	Fark*(%)
Kısa yön D-B	0,36305	-	-	Kısa yön D-B	0,4187	0,4545	2,48%	-8,55%
Uzun yön K-G	0,36433	-	-	Uzun yön K-G	0,3958	0,3636	2,3%	8,14%
Burulma	0,24424	-	-	Burulma	0,3022	-		-

* $(a)-(b) / (b)$

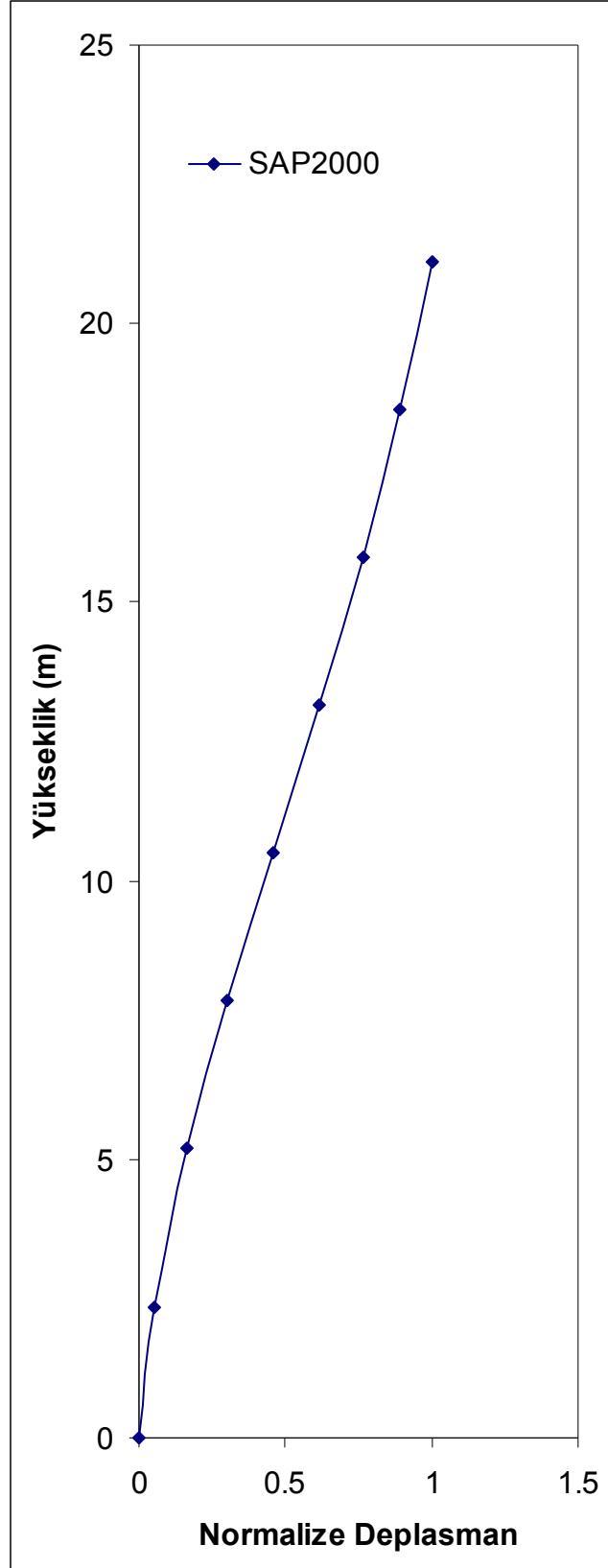
İki periyot değeri arasındaki yüzdeler farkların bulunmasında deney sonuçları esas alınmıştır.

Yapılan analiz sonucunda birinci mod için yapının temel periyodu kısa doğrultuda 0.4187 sn ($f=2.43$ Hz), uzun doğrultuda 0.3958 sn ($f=2.56$ Hz) olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu oldukları görülmüştür. Bilgisayar modellerinden bulunamayan sönüm oranları bulunmuştur.

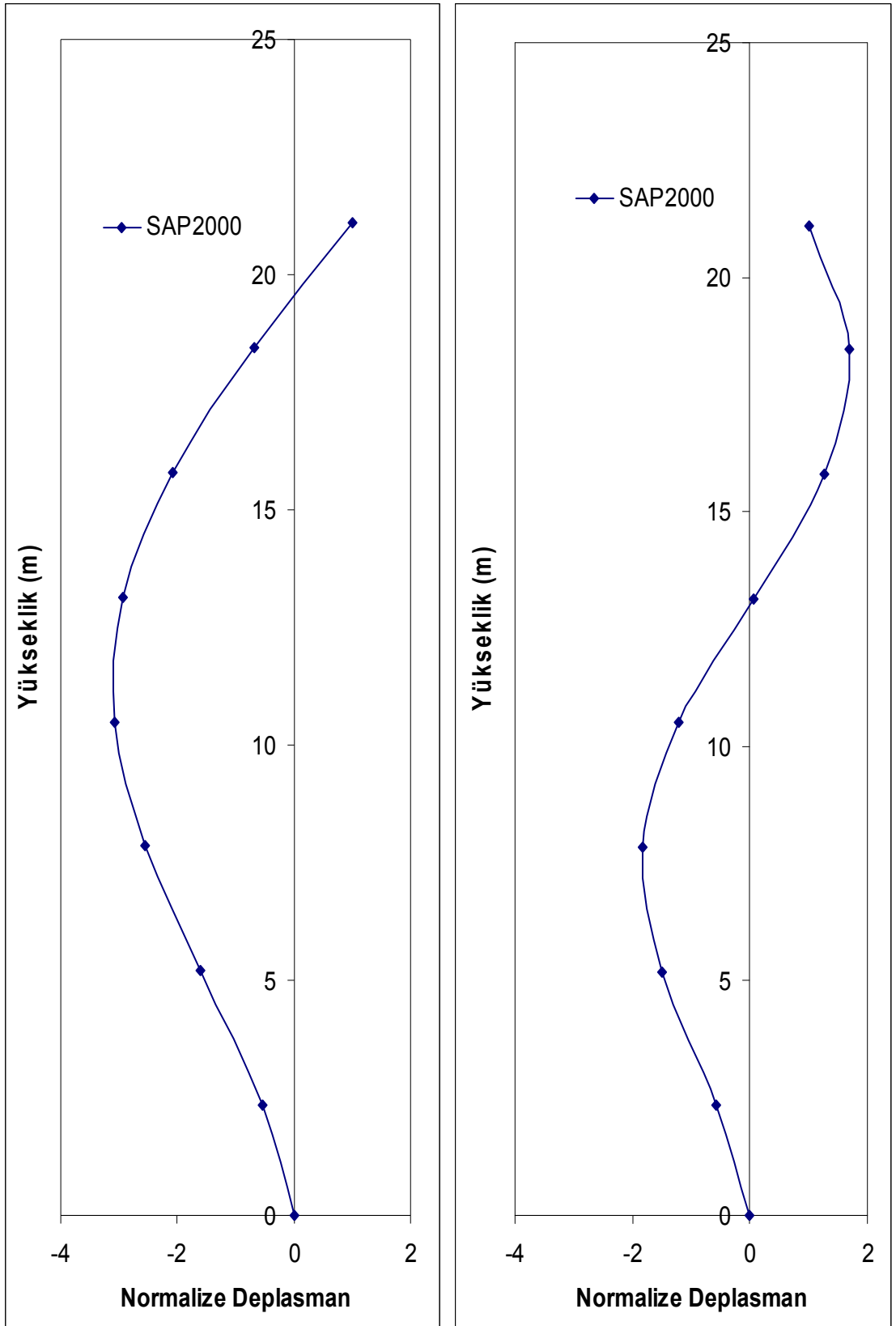
Yapılan deneyler sonucunda uzun doğrultuda elde edilen mod şekli ile analitik sonuçlardan elde edilen mod şeklinin oldukça uyumlu olduğu Şekil 5.18’ de verilen grafikte görülmektedir.



Şekil 5.18 Uzun doğrultuda birinci mod şekli Sap2000 ve Deney sonucu karşılaştırması

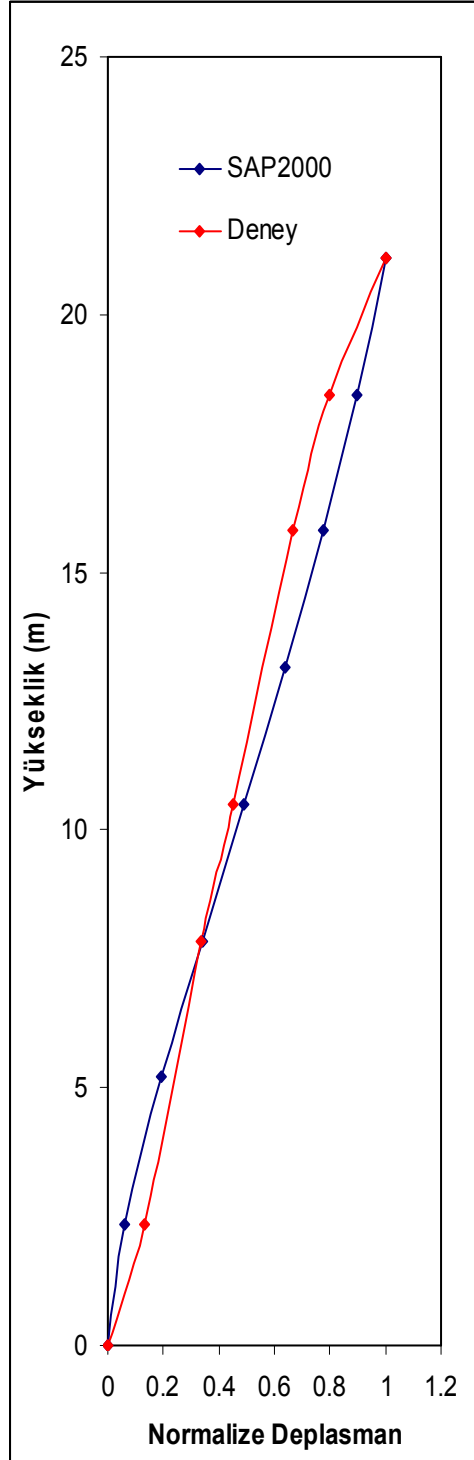


Şekil 5.19 Uzun doğrultuda analitik birinci mod şekli

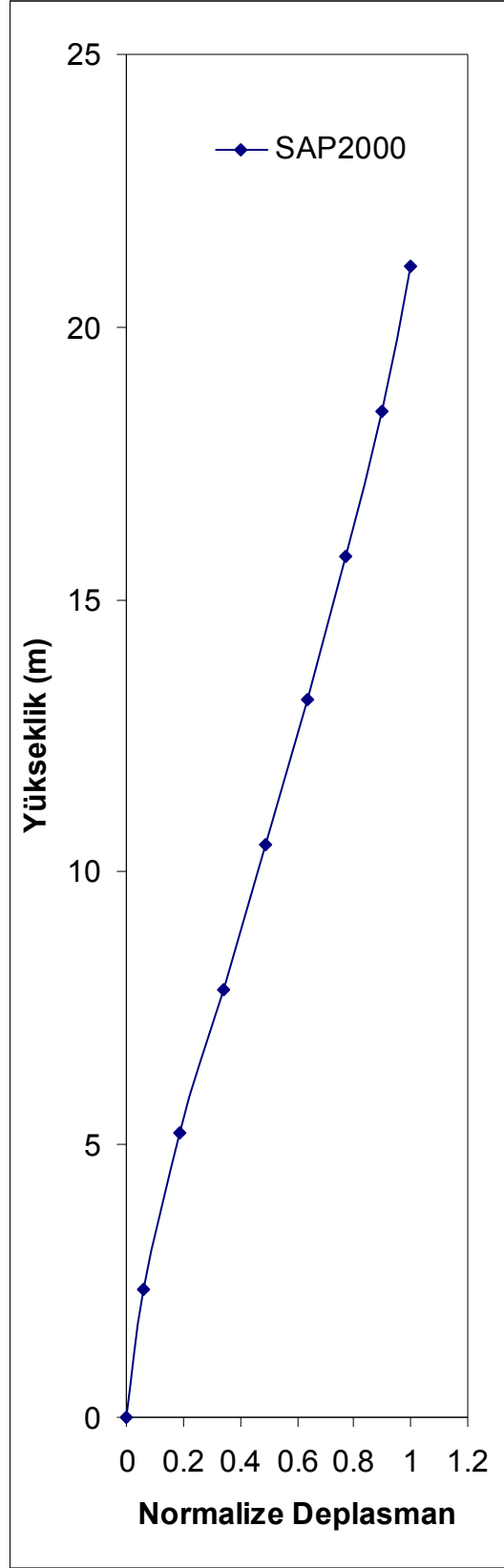


Şekil 5.20 Uzun doğrultu analitik ikinci mod şekli Uzun doğrultu analitik üçüncü mod şekli

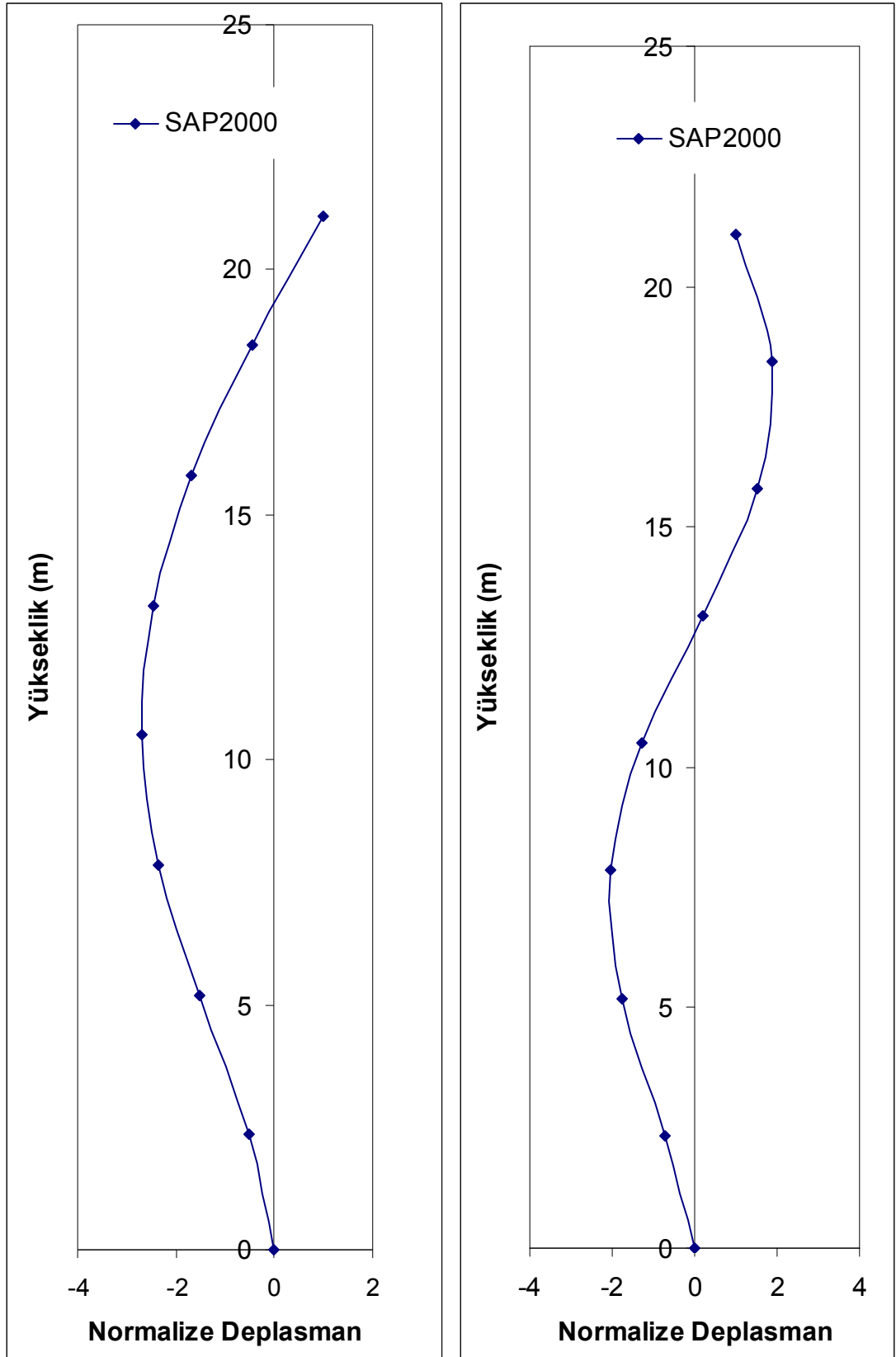
Yapılan deneyler sonucunda uzun doğrultuda elde edilen mod şekli ile analitik sonuçlardan elde edilen mod şeklinin oldukça uyumlu olduğu Şekil 5.18’ de verilen grafikte görülmektedir.



Şekil 5.21 Kısa doğrultuda birinci mod şekli Sap2000 ve Deney sonucu karşılaştırması



Şekil 5.22 Kısa doğrultuda birinci mod şekli



Şekil 5.23 Kısa doğrultuda ikinci mod şekli Kısa doğrultuda üçüncü mod şekli

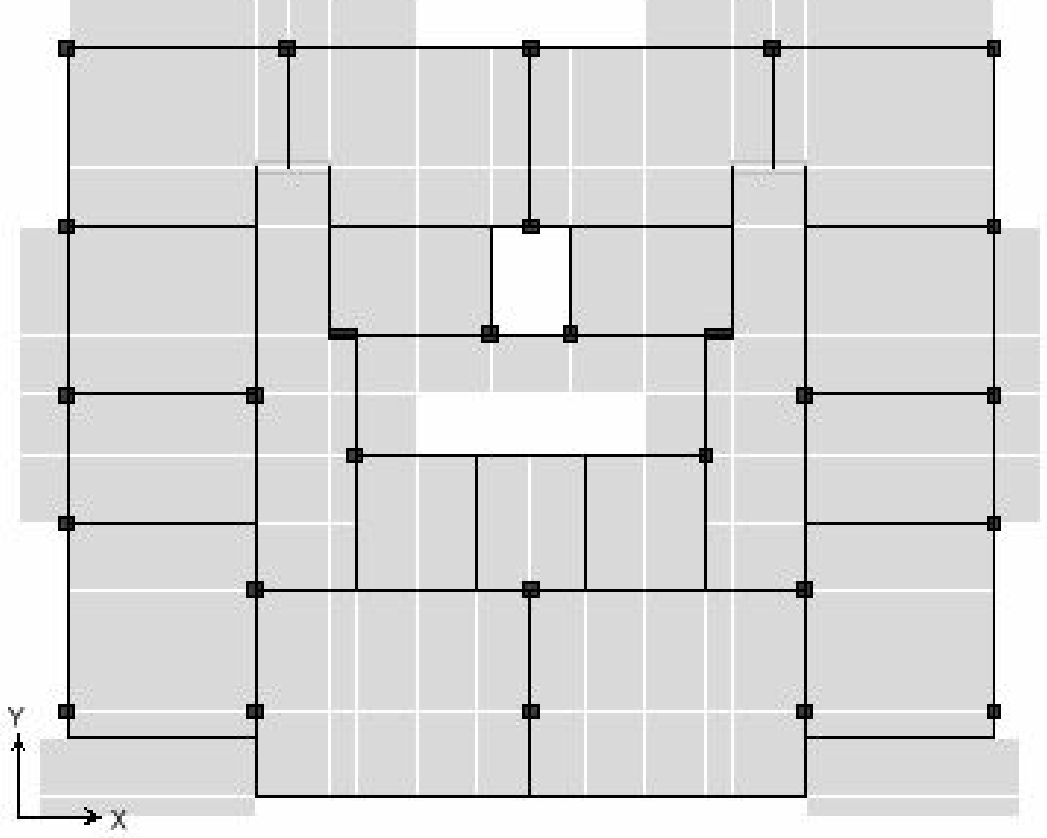
5.2 Özat Apartmanı

Antakya'daki betonarme binalardan yaklaşık olarak 60 binayı temsil edebilecek karakteristik özelliklere sahiptir. Binanın her katında iki daire bulunmaktadır. Bundan dolayı x-yönünde simetriktir. Bina 1974 yılında yapılmış kullanımda olan bir binadır. Yapının kat yükseklikleri 3.0 m'dir. Ayrıca yapıda 2.72 m yüksekliğinde birde çatı katı bulunmaktadır. Yapının plan kesiti 15.25 x 19 m ve yapının temelden yüksekliği 26.72 m'dir. Şekil 5.24'de yapının genel görüntüsü gösterilmiştir.



Şekli 5.24 Özat Apartmanı genel görünüm

Yapının taşıyıcı sistemi betonarmeden oluşmaktadır. Yapı 1974 yılında yapıldığından perde kullanılmamıştır. Şekil 5.25’de yapının kat planı gösterilmektedir.



Şekil 5.25 Özat Apartmanı kat planı

Plan yatay ve düşey eksenlere göre yapısal olarak simetriktir. Binanın döşeme sistemi betonarme ve 12 cm kalınlığındadır. Temel sistemi hasır temel tipindedir. Projeye göre yapının tamamında kullanılan beton sınıfı C16 (16 N/mm^2), demir sınıfı ise S220 (220 N/mm^2). Yapının iç ve dış duvarlarında boşluklu tuğla kullanılmıştır.

5.2.1 Deney Aletlerinin Yerleştirilmesi

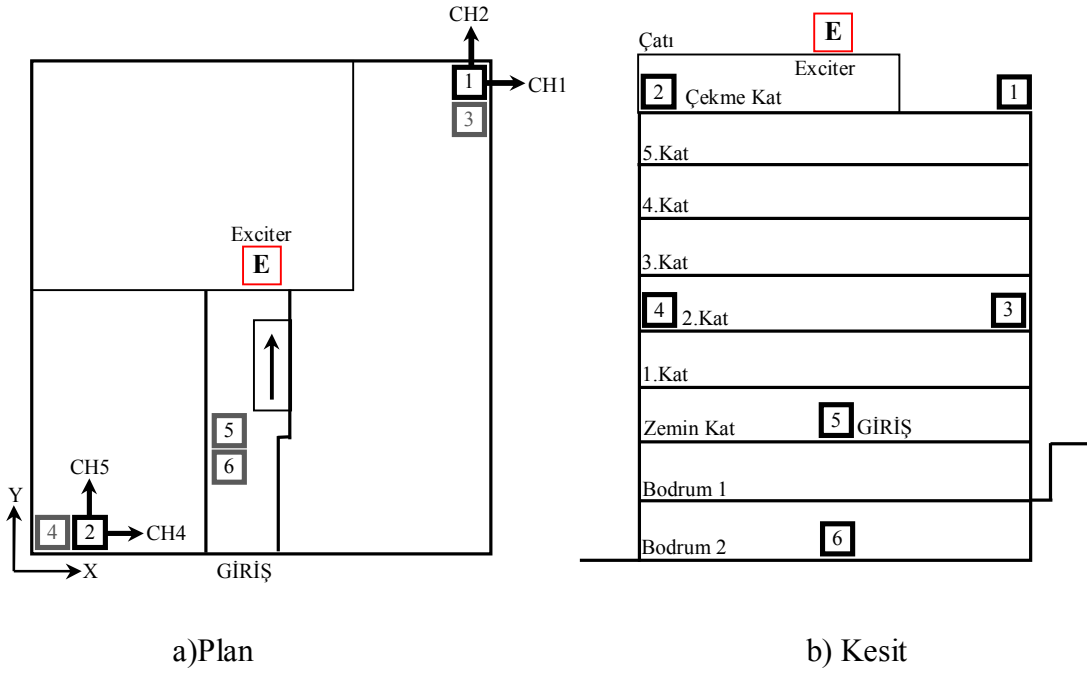
Yapıda altı adet çift yönlü hızölçer kullanılmıştır. Bu hızölçerler vibration network controler(NCC) cihazına kablolar ile bağlanmıştır. Titreşim üretici (shaker)

yapının en üst katına, yapının geometrik olarak merkezine, döşeme üzerine civatalar ile Şekil 5.26’de görüldüğü gibi monte edilmiştir.



Şekil 5.26 Titreşim üreticinin binaya monte edilmiş hali

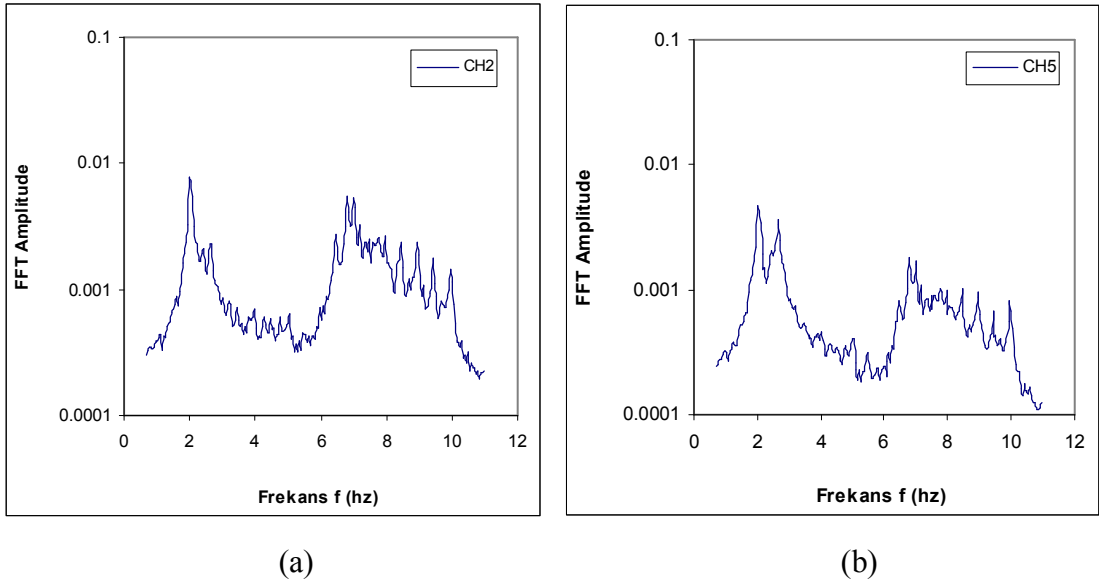
Sensörler katlarda yapının uç noktalarına gelecek şekilde üzerlerinde bulunan su terazisi ile dengelenerek yerleştirilmiştir. İki hızölçer titreşim üreticinin bulunduğu kata yerleştirildi, iki hızölçer binanın ortasına denk gelen kata yerleştirildi, giriş ve zemin katlarda orta aksa ise birer hızölçer yerleştirildi. Sensörler, binanın teste tabi tutulacağı yöne göre, her katta döşeme uç noktalarına (aynı aks üzerine gelecek şekilde) yerleştirildi. Sensörlerin ve titreşim üreticinin katlardaki dağılımı Şekil 5.27’de plan ve kesit olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.27 Titreşim üreticinin ve hızölçerlerin binadaki konumları plan(a) ve kesit(b) olarak gösterilmiştir.

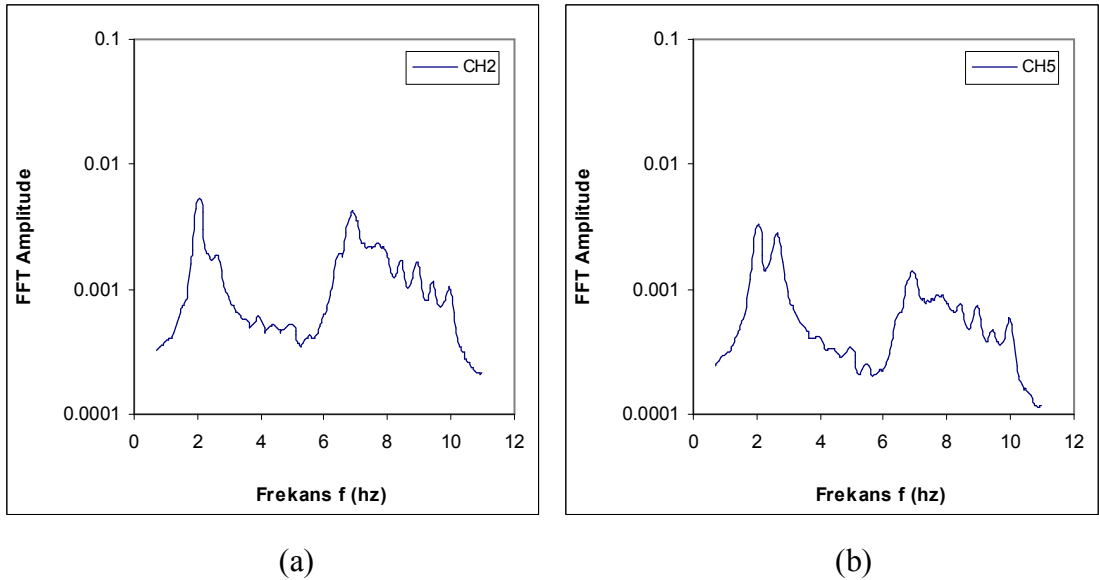
5.2.2 Frekans – Tepki Eğrileri

Zorlanmış titreşim analizinin ilk uygulaması Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultuda yapılmıştır. Dönüş kollarına ağırlıklar Çizelge 3.3’de verildiği şekilde yerleştirilir ve bu ağırlıklarla 5 Hz’e kadar titreşim üretilmiştir. 5 Hz den sonra dönüş kollarındaki ağırlıklar azaltılmış ve 10 Hz kadar devam edilmiştir. Bu titreşimlerden elde edilen kayıtlar SYSCOM tarafından alınan sensör ve kayıt cihazları tarafından alınan kayıtları analiz etmek için hazırlanmış VIEW 2002 paket program yardımıyla analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen Fourier transform değerleri kullanılarak Şekil 5.28’de verilen tepki eğrisi elde edilmiştir.



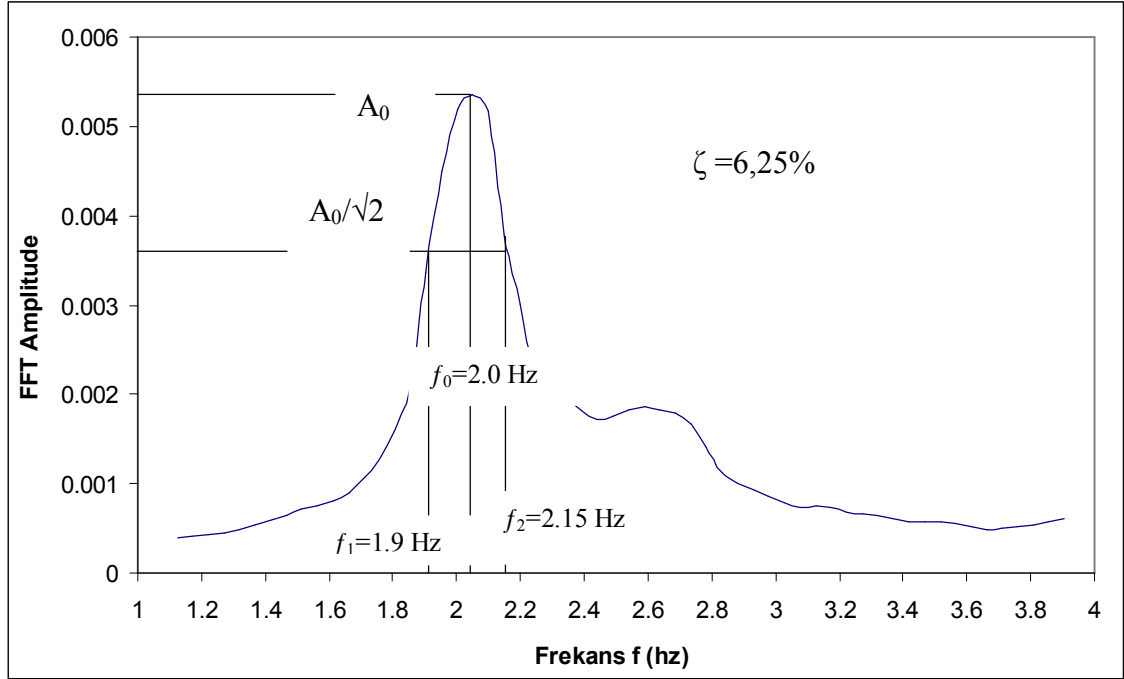
Şekil 5.28 Binanın y-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) sarsmaya karşı tepkisi

Bu durumda yapımı binanın y-ekseninin deki hakim frekansı 2.0 Hz de elde edilmiştir. Elde edilen grafikler daha düzgün bir hale getirmek için modal frekans değerini kaybetmeyecek şekilde Smooth edilirler. Şekil 5.29’ de bu grafikler verilmiştir.



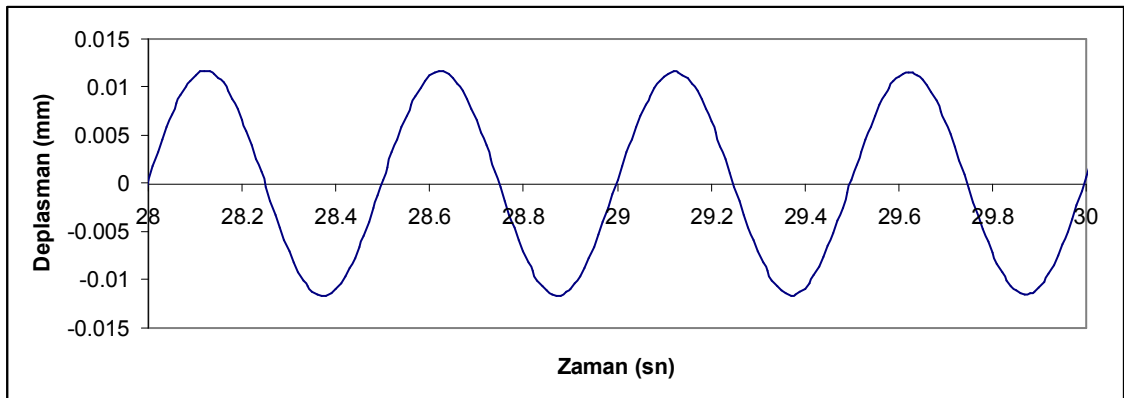
Şekil 5.29 Binanın y-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) Smooth grafikleri

Modal davranışı gösteren Smooth edilmiş Fourier spektrumu grafiği Şekil 5.29(a) kullanılarak denklem (4.1) den yararlanarak yapının sönüm oranı hesaplanmış ve 6,25% olarak bulunmuştur.

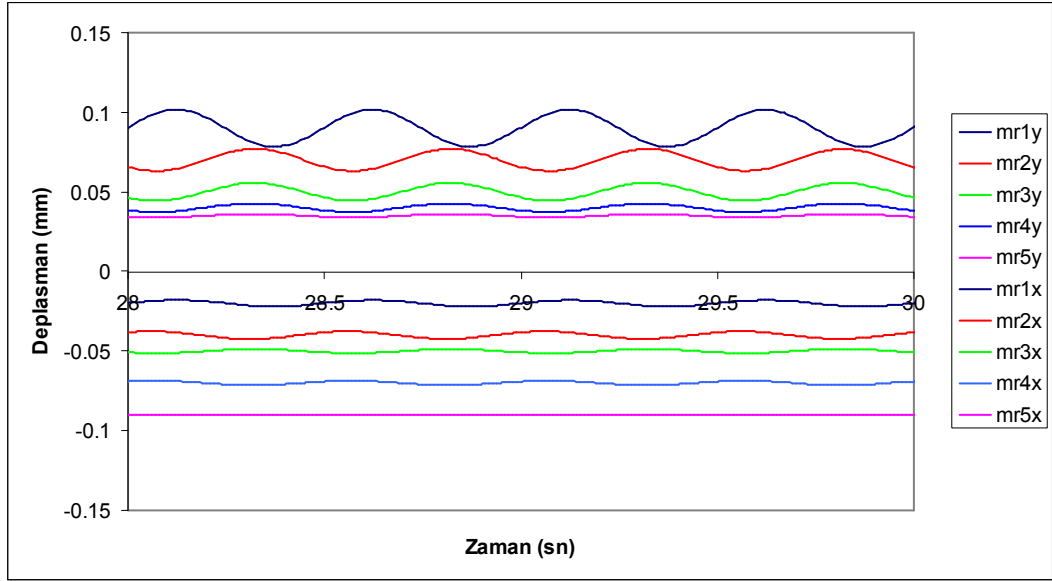


Şekil 5.30 Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu sönüm oranı

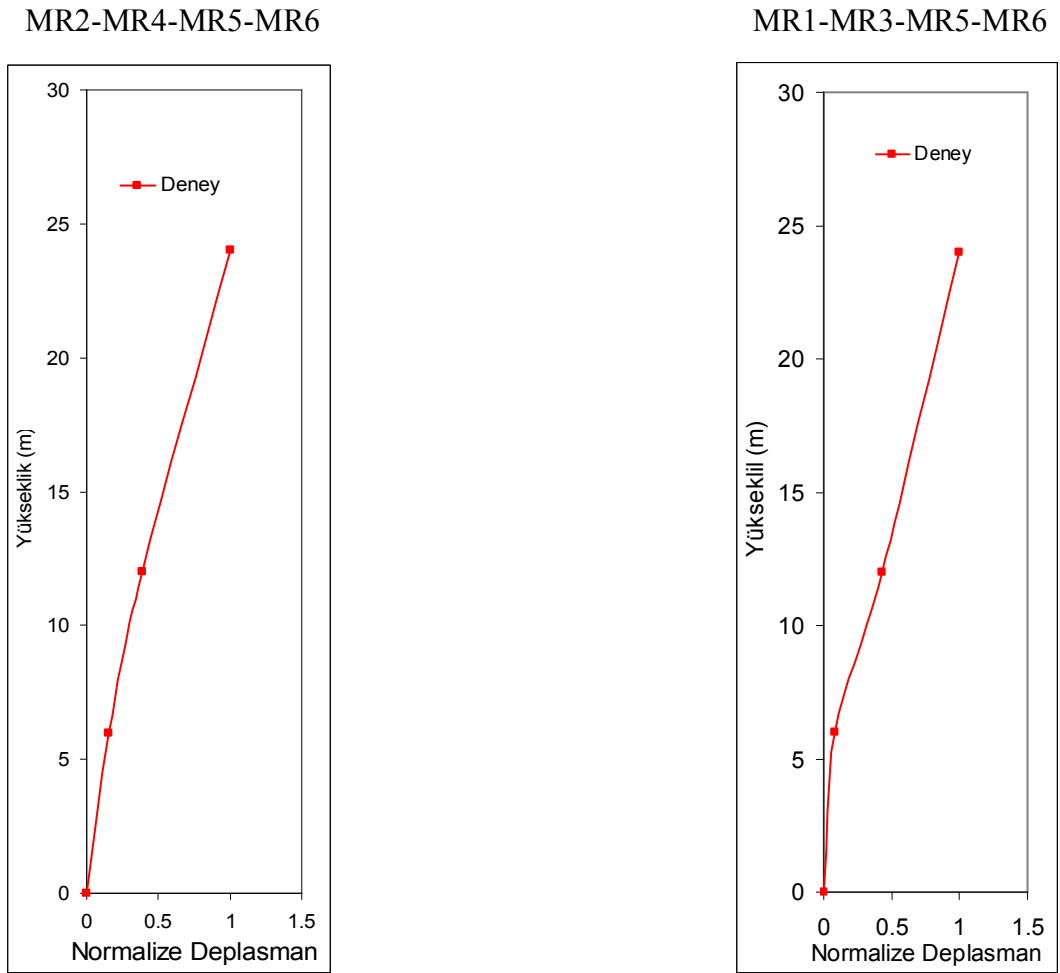
Yapının mod şekli sensörlerin deplasman değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 5.32' de görüldüğü gibi bütün sensörlere ait deplasman değerleri çizilmiştir. Bu grafikte sensörlerin aynı zamandaki deplasman değerleri okunmuş ve Şekil 5.33'deki mod şekli elde edilmiştir. Bu mod şekilleri Şekil 5.27' deki sensörlerin konumuna göre ayrı ayrı çizilmiştir.



Şekil 5.31 Kuzey-Güney doğrultusu üst kat sensörü deplasman grafiği

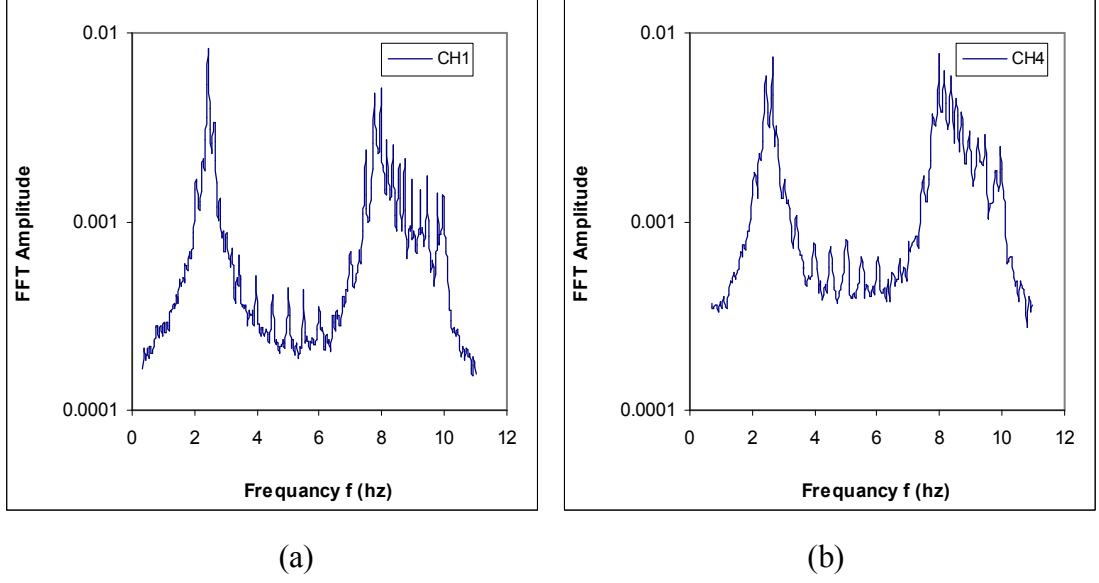


Şekil 5.32 Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu sensörlerin deplasman grafiği



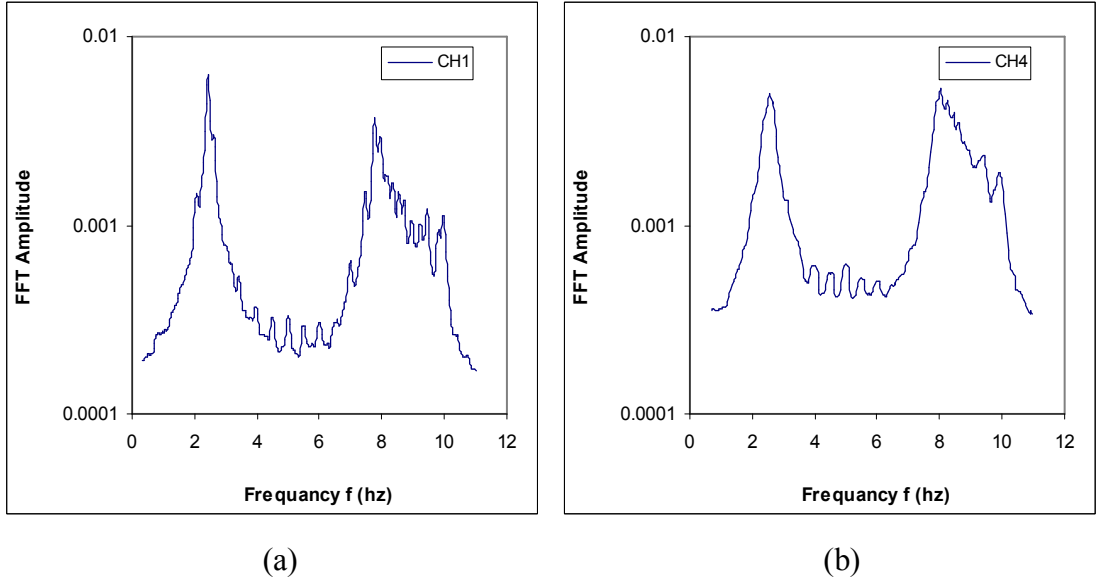
Şekil 5.33 Özat Apartmanı Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli

Yapının Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultudaki ölçümleri tamamlandıktan sonra Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusundaki ölçümlere geçilmiştir. Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusunda, Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusunda izlenen işlem adımları izlenmiştir.



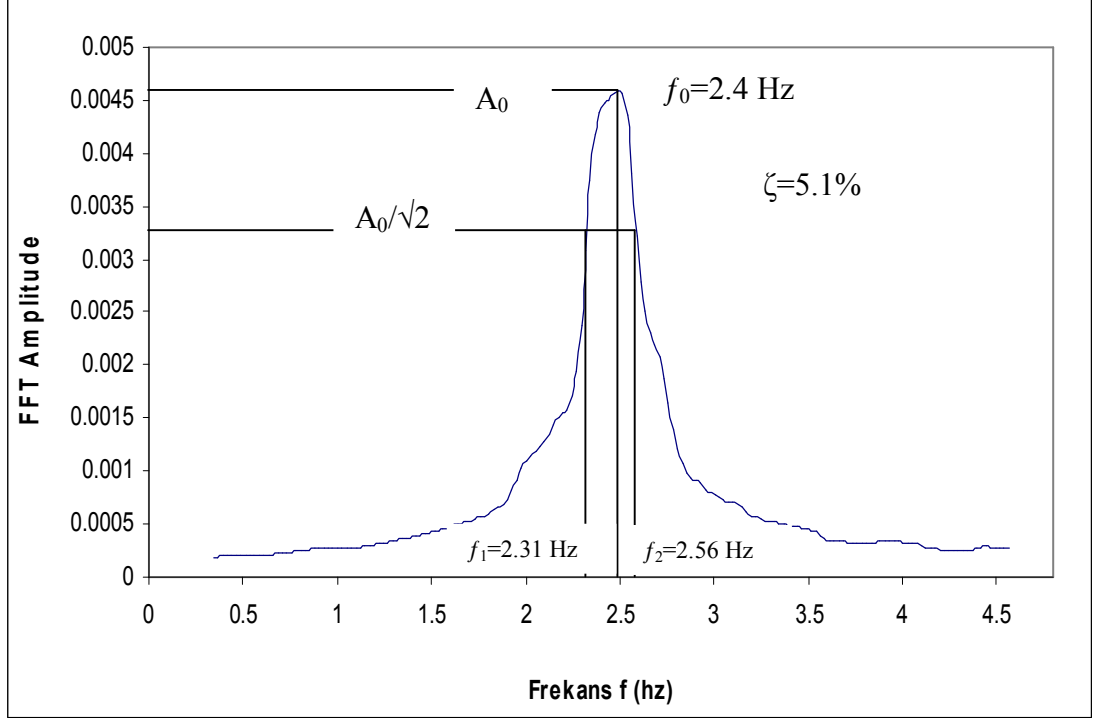
Şekil 5.34 Binanın x-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) sarsmaya karşı tepkisi

Bu durumda yapını binanın x-eksenin deki hakim frekansı 2.4 Hz de elde edilmiştir. Elde edilen grafikler daha düzgün bir hale getirmek için modal frekans değerini kaybetmeyecek şekilde Smooth edilirler. Şekil 5.35’de bu grafikler verilmiştir.



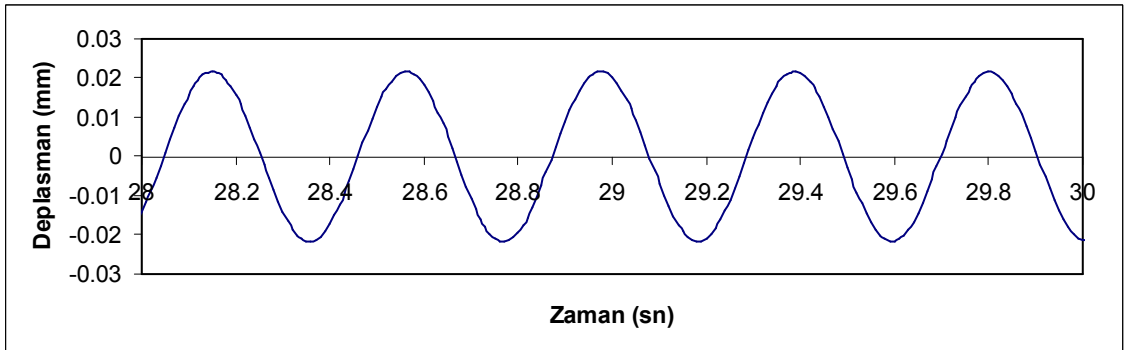
Şekil 5.35 Binanın x-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) Smooth grafikleri

Modal davranışı gösteren Smooth edilmiş Fourier spektrumu grafiği Şekil 5.35(b) kullanılarak denklem (4.1) den yararlanarak yapının sönüm oranı ve 5,1% olarak bulunmuştur.

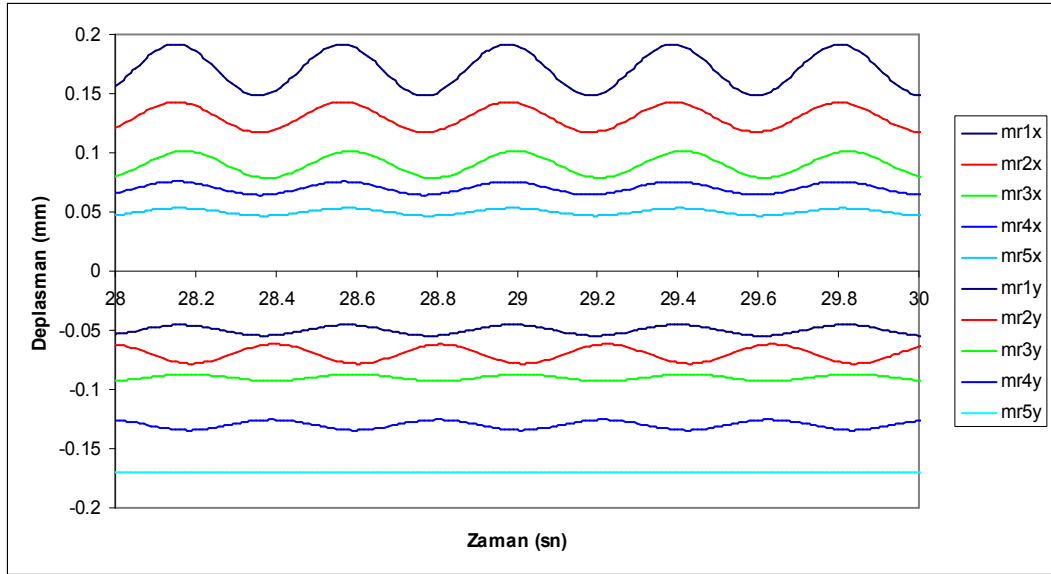


Şekil 5.36 Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusu sönüm oranı

Yapının mod şekli sensörlerin deplasman değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 5.38' de görüldüğü gibi bütün sensörlere ait deplasman değerleri çizilmiştir. Bu grafikte sensörlerin aynı zamandaki deplasman değerleri okunmuş ve Şekil 5.39'deki mod şekli elde edilmiştir. Bu mod şekilleri Şekil 5.27' deki sensörlerin konumuna göre ayrı ayrı çizilmiştir.

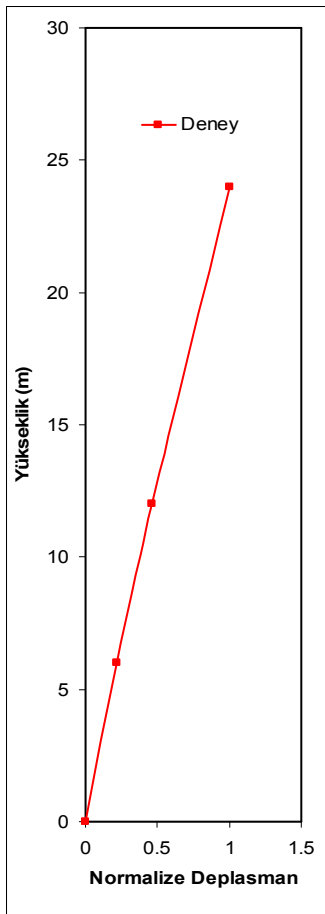


Şekil 5.37 Doğu-Batı doğrultusu üst kat sensörü deplasman grafiği

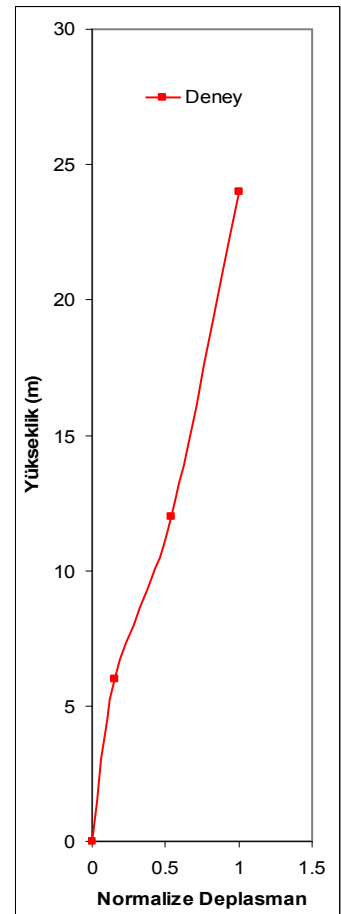


Şekil 5.38 Doğru-Batı (x-ekseninde) doğruztusu sensörlerin deplasman grafiği

MR2-MR4-MR5-MR6



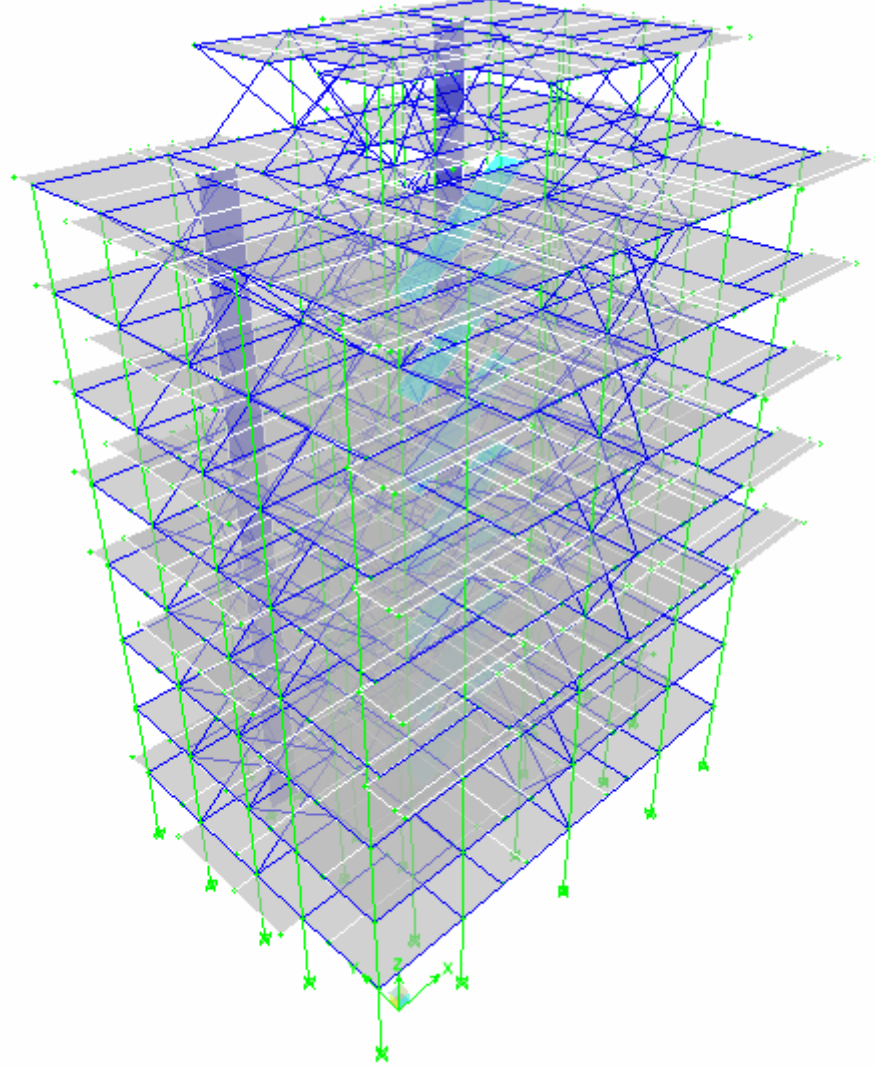
MR1-MR3-MR5-MR6



Şekil 5.39 Özat Apartmanı Doğru-Batı (x-ekseninde) doğruztusu birinci mod şekli

5.2.3 Binaların Yapı Analiz Programları ile İncelenmesi

Yapının ETABS modeli Şekil 5.40'da verilmektedir.



Şekil 5.40 Özat Apartmanı ETABS modeli

Yapının üç boyutlu modeli ETABS programında hazırlanmıştır. Model oluşturulurken bazı kabuller alınmıştır:

- Ankastre temel seçilmiştir.
- Her katın kütle merkezinde toplanmış kütle kabulü yapılmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

Test esnasında yapı tamamlanmış ve kullanımla olan bir yapıdır. Elemanların elastisite modülü beton sınıfı C16 için 3.0×10^7 kN/m² alınmıştır.

Çizelge 5.2’de deney ve analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.2 Deney ve Analitik sonuçların karşılaştırılması

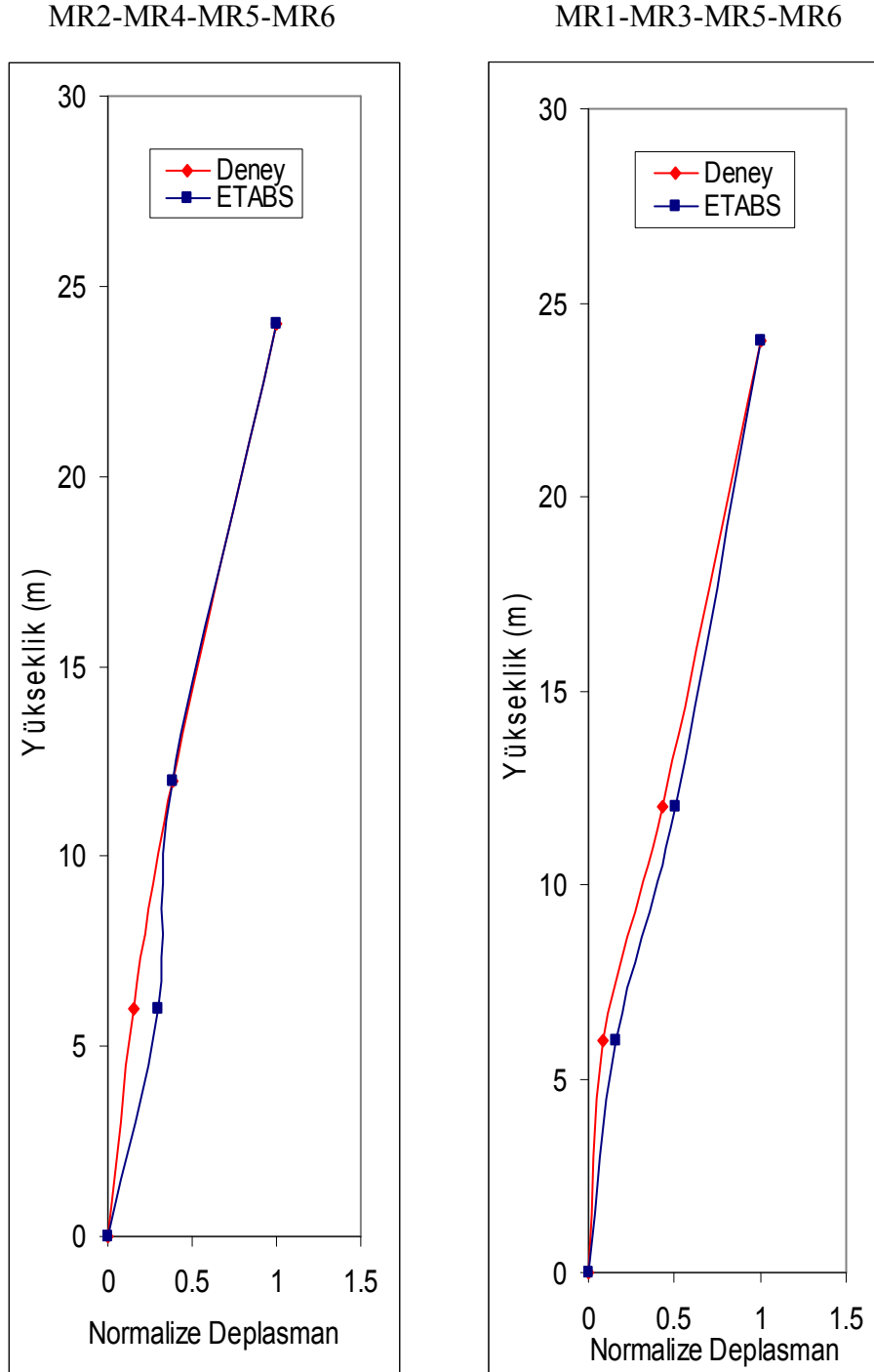
ÖZAT APARTMANI				
Tür	ETABS (periyot) _a	Deney (periyot) _b	Sönüm Oranı	Fark*(%)
Burulma	0,5935	-	-	-
Kısa yön D-B	0,5358	0,4166	5,1%	28,61
Uzun yön K-G	0,4322	0,5	6,25%	-13,56

* $(a)-(b) / (b)$

İki periyot değeri arasındaki yüzdelik farkların bulunmasında deney sonuçları esas alınmıştır.

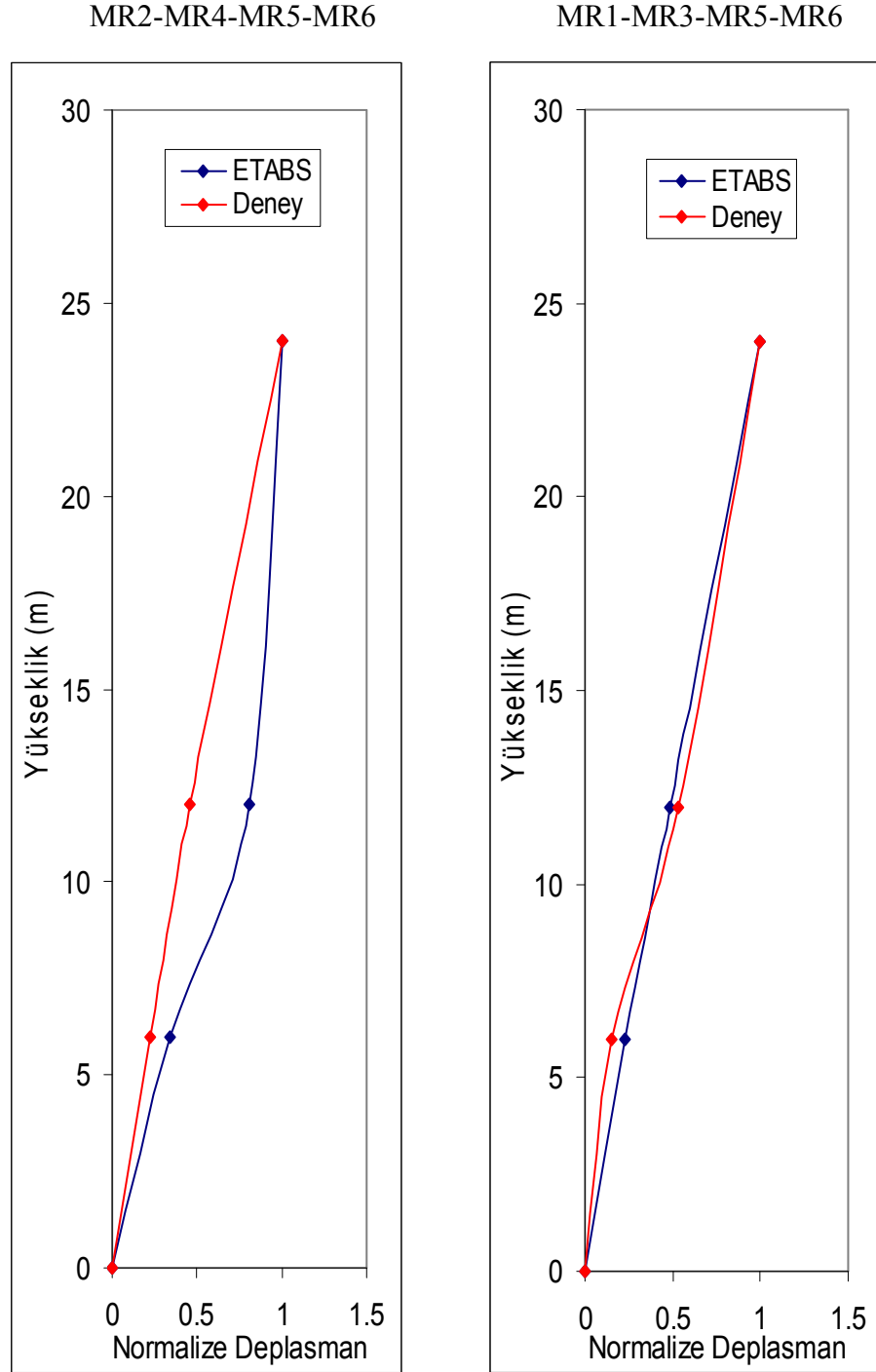
Yapılan analiz sonucunda birinci mod için yapının temel periyodu y-doğrultuda 0.4322 sn ($f=2.31$ Hz), x-doğrultuda 0.5358 sn ($f=1.86$ Hz) olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu oldukları görülmüştür. Bilgisayar modellerinden bulunamayan sönüm oranları bulunmuştur.

Yapılan deneyler sonucunda Kuzey-Güney doğrultuda elde edilen mod şekli ile analitik sonuçlardan elde edilen mod şeklinin oldukça uyumlu olduğu Şekil 5.41’ de verilen grafikte görülmektedir. Sensörlerin katlardaki konumunu göre mod şekilleri çizilmiştir.



Şekil 5.41 Özat Apartmanı Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli ETABS ve D deney sonucu karşılaştırması

Yapılan deneyler sonucunda Kuzey-Güney doğrultuda elde edilen mod şekli ile analitik sonuçlardan elde edilen mod şeklinin oldukça uyumlu olduğu Şekil 5.42’ de verilen grafikte görülmektedir. Sensörlerin katlardaki konumunu göre mod şekilleri çizilmiştir.



Şekil 5.42 Özat Apartmanı Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli
ETABS ve Deney sonucu karşılaştırması

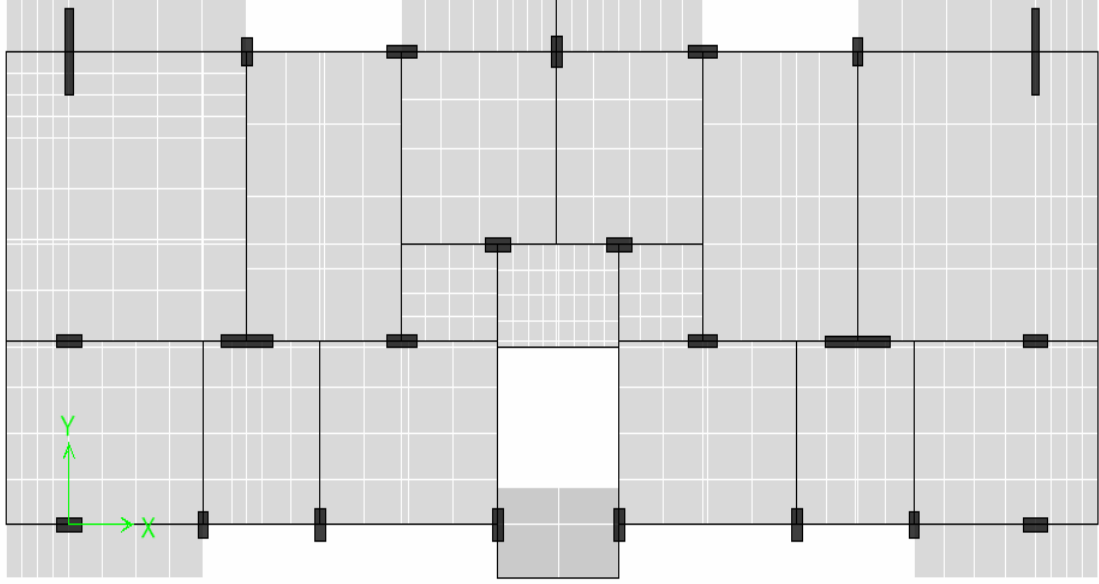
5.3 Akdeniz Apartmanı

Binanın her katında tek daire bulunmaktadır. Bundan dolayı x-yönünde simetriktir. Bina kullanımda olan bir binadır. Yapının kat yükseklikleri 2.88 m'dir. Ayrıca 2.4 m yüksekliğinde bodrum kat mevcuttur. Yapının plan kesiti 10.83 x 26.1 m ve yapının temelden yüksekliği 16.78 m'dir. Şekil 5.43'de yapının genel görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 5.43 Akdeniz apartmanı genel görüntüsü

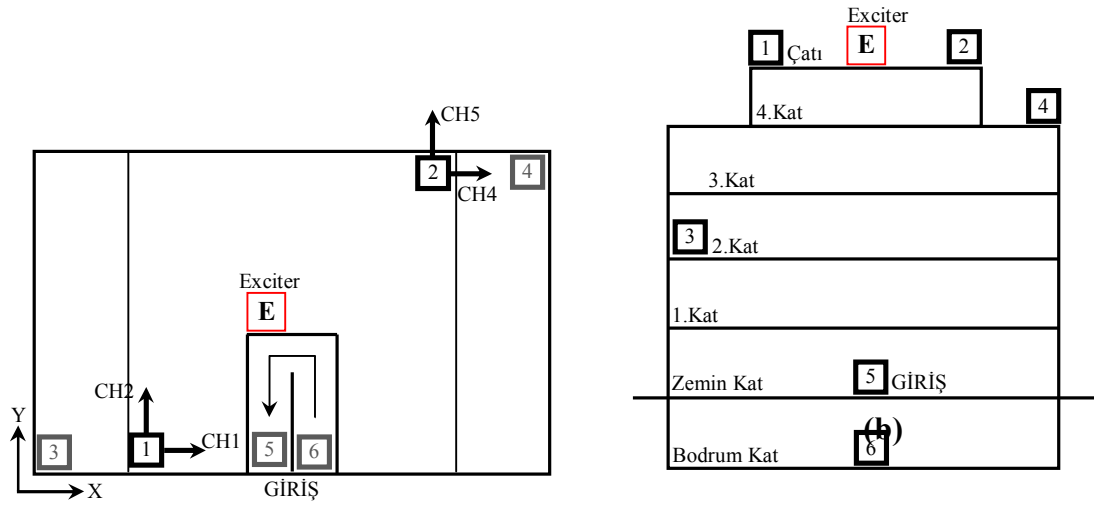
Yapının taşıyıcı sistemi betonarmeden oluşmaktadır. Şekil 5.44'de yapının planı, kolonları, kirişleri gösterilmektedir.



Şekil 5.44 Akdeniz Apartmanı kat planı

Plan yatay ve düşey eksenlere göre yapısal olarak simetriktir. Binanın döşeme sistemi betonarme ve 15 cm kalınlığındadır. Temel sistemi hasır temel tipindedir. Projeye göre yapının tamamında kullanılan beton sınıfı C20 (20 N/mm^2), demir sınıfı ise S220 (220 N/mm^2). Yapının iç ve dış duvarlarında boşluklu tuğla kullanılmıştır.

Titreşim üreticinin ve sensörlerin yerleştirilmesi Özat apartmanında anlatıldığı şekilde gerçekleştirilmiştir. Titreşim üreticinin yeri ve sensörlerin katlardaki dağılımı Şekil 5.45'de plan ve kesit olarak gösterilmektedir.

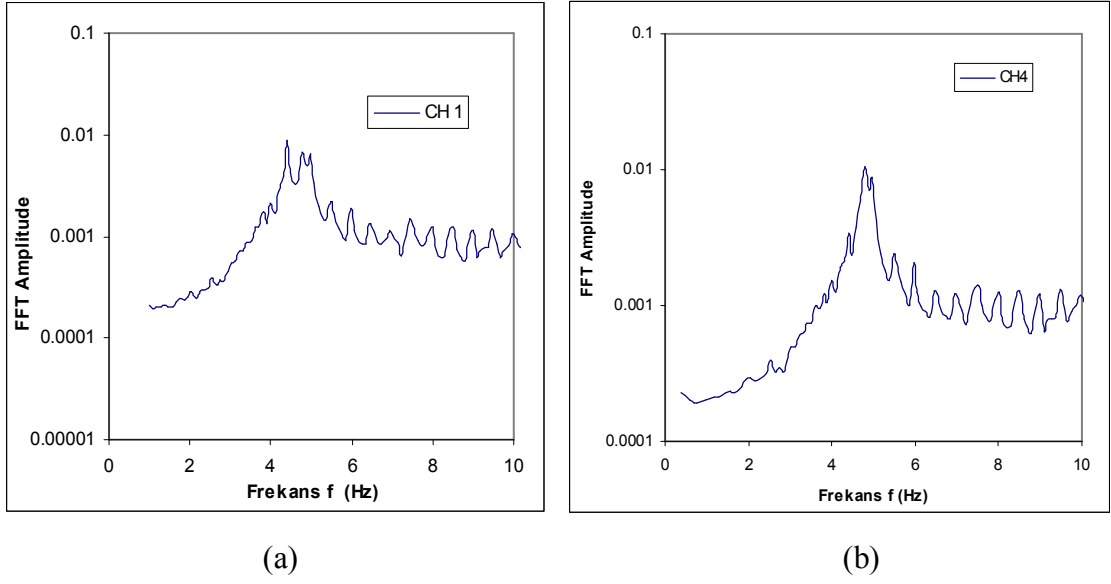


Şekil 5.45 Titreşim üreticinin ve hızölçerlerin binadaki konumları plan(a) ve kesit(b) olarak gösterilmiştir

Kesitte görüldüğü gibi üç numaralı sensör 3. kat daki daireye girilemediği için 2.kata yerleştirilmiştir.

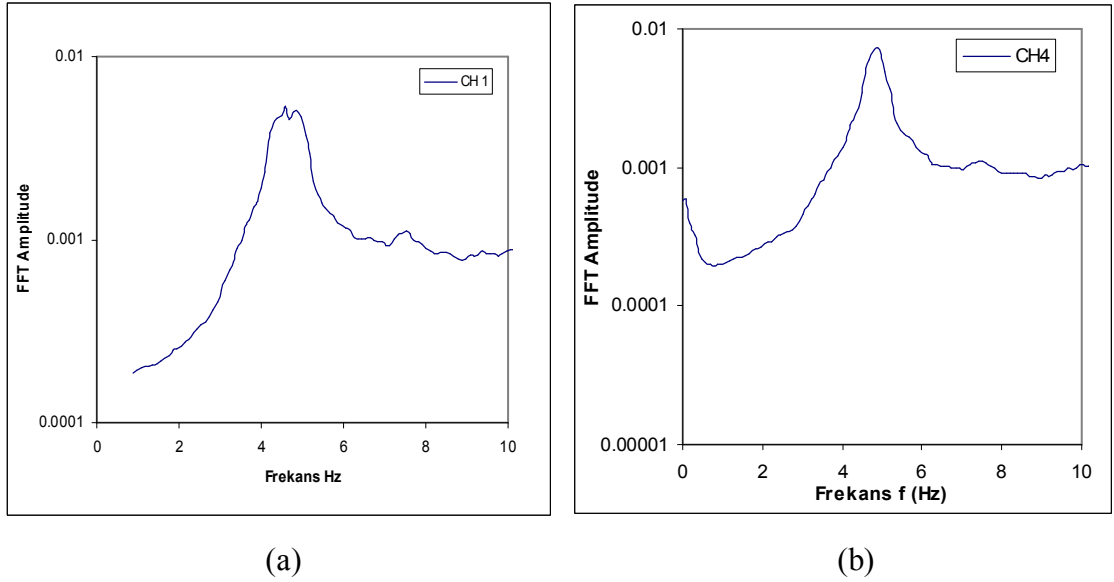
5.3.1 Frekans – Tepki Eğrileri

Zorlanmış titreşim analizinin ilk uygulaması Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultuda yapılmıştır. Dönüş kollarına ağırlıklar Çizelge 3.3’de verildiği şekilde yerleştirilir ve bu ağırlıklarla 5 Hz’e kadar titreşim üretilmiştir. 5 Hz den sonra dönüş kollarındaki ağırlıklar azaltılmış ve 10 Hz kadar devam edilmiştir. Bu titreşimlerden elde edilen kayıtlar SYSCOM tarafınlar alınan sensör ve kayıt cihazları tarafından alınan kayıtları analiz etmek için hazırlanmış VIEW 2002 paket program yardımıyla analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen Fourier transform değerleri kullanılarak Şekil 5.46’da verilen tepki eğrisi elde edilmiştir.



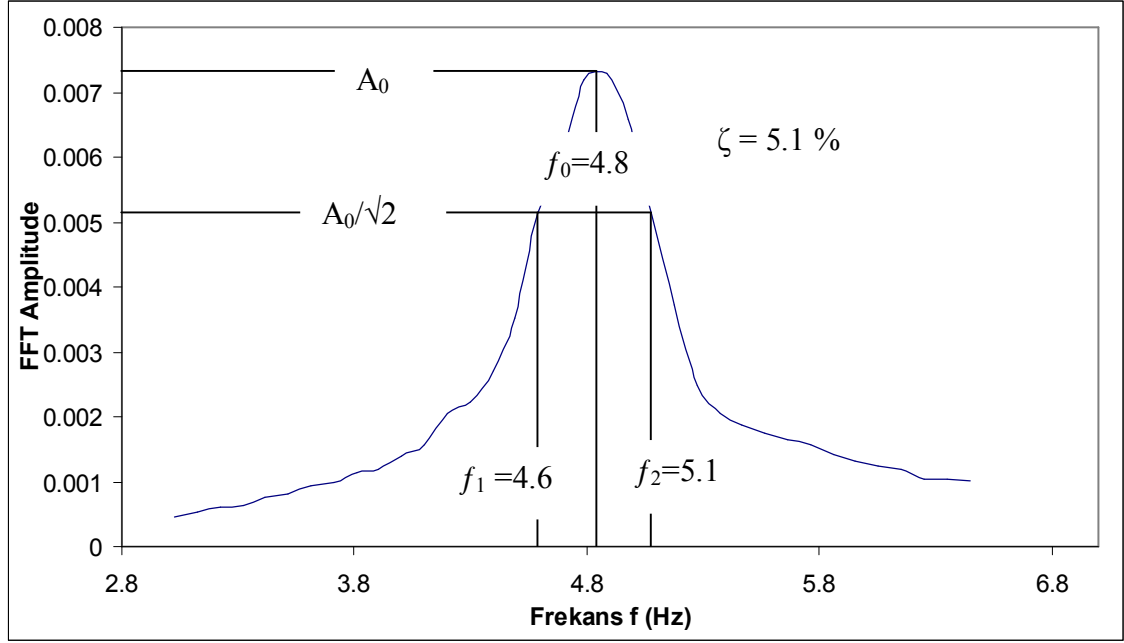
Şekil 5.46 Binanın x-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) sarsmaya karşı tepkisi

Bu durumda yapını binanın x-eksenin deki hakim frekansı 4.8 Hz de elde edilmiştir. Elde edilen grafikler daha düzgün bir hale getirmek için modal frekans değerini kaybetmeyecek şekilde Smooth edilirler. Şekil 5.47’ de bu grafikler verilmiştir.



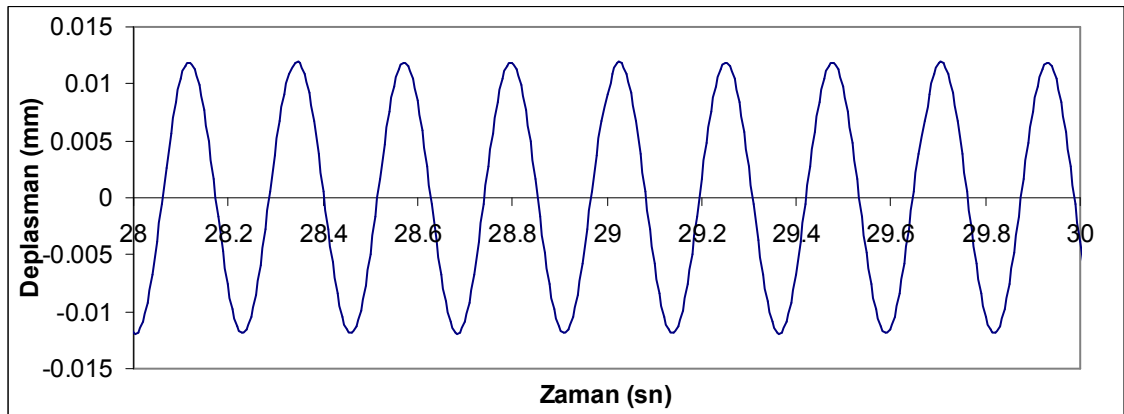
Şekil 5.47 Binanın x-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) Smooth grafikleri

Modal davranışı gösteren Smooth edilmiş Fourier spektrumu grafiği Şekil 5.47(b) kullanılarak denklem (4.1) den yararlanarak yapının sönüm oranı hesaplanmış ve 5,1% olarak bulunmuştur.

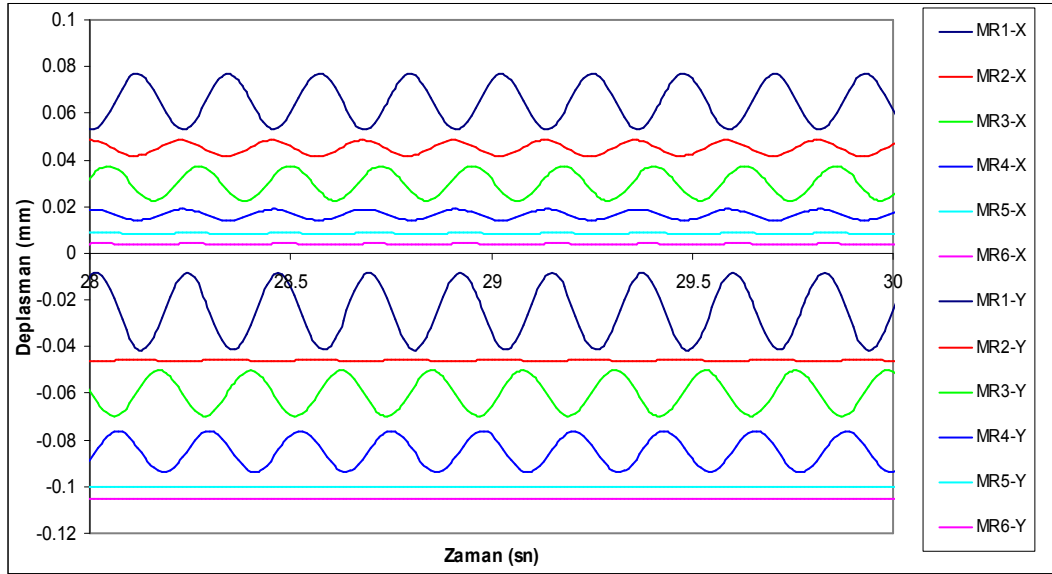


Şekil 5.48 Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusu sönüm oranı

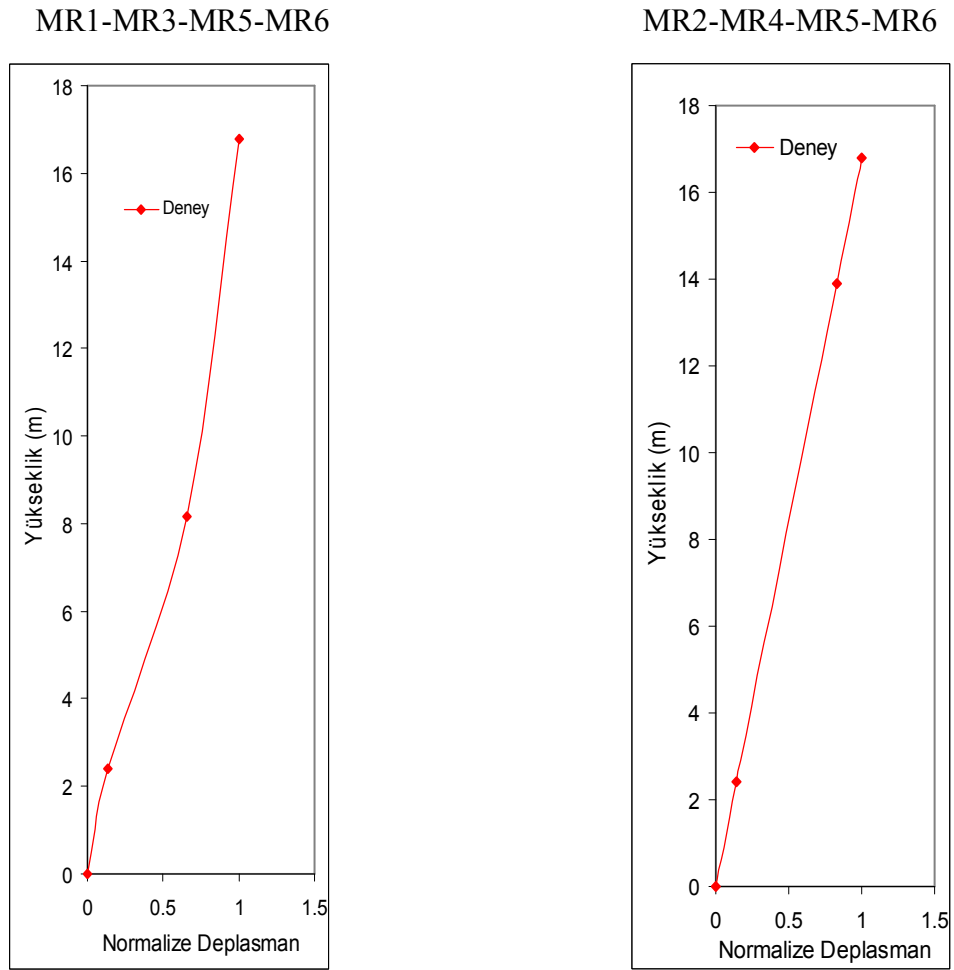
Yapının mod şekli sensörlerin deplasman değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 5.50' de görüldüğü gibi bütün sensörlere ait deplasman değerleri çizilmiştir. Bu grafikte sensörlerin aynı zamandaki deplasman değerleri okunmuş ve Şekil 5.51'deki mod şekli elde edilmiştir. Bu mod şekilleri Şekil 5.45' deki sensörlerin konumuna göre ayrı ayrı çizilmiştir.



Şekil 5.49 Doğu-Batı doğrultusu üst kat sensörü deplasman grafiği

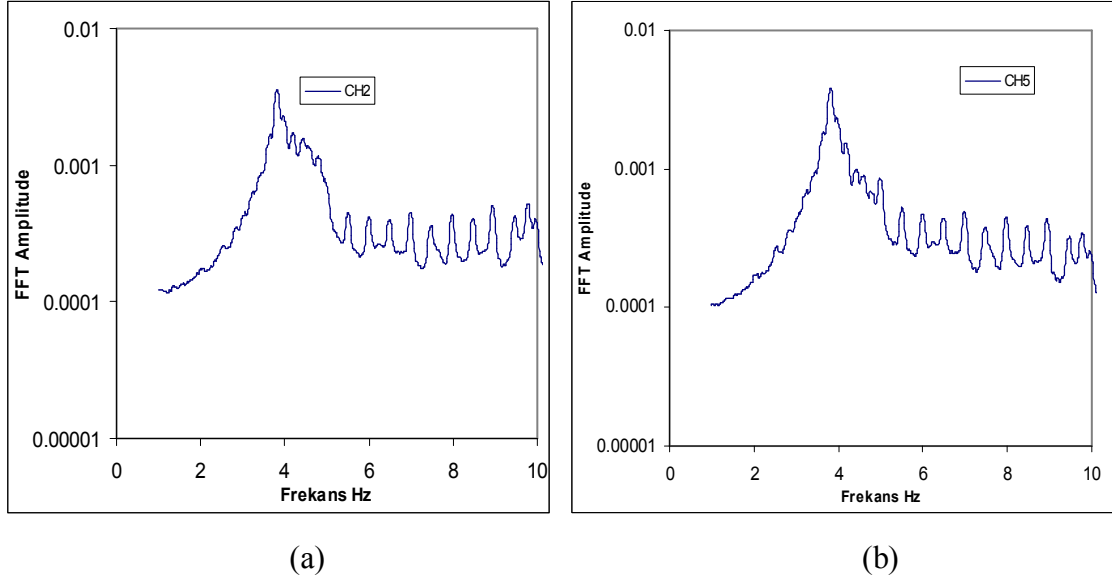


Şekil 5.50 Doğru-Batı (x-ekseninde) doğruztusu sensörlerin deplasman grafiği



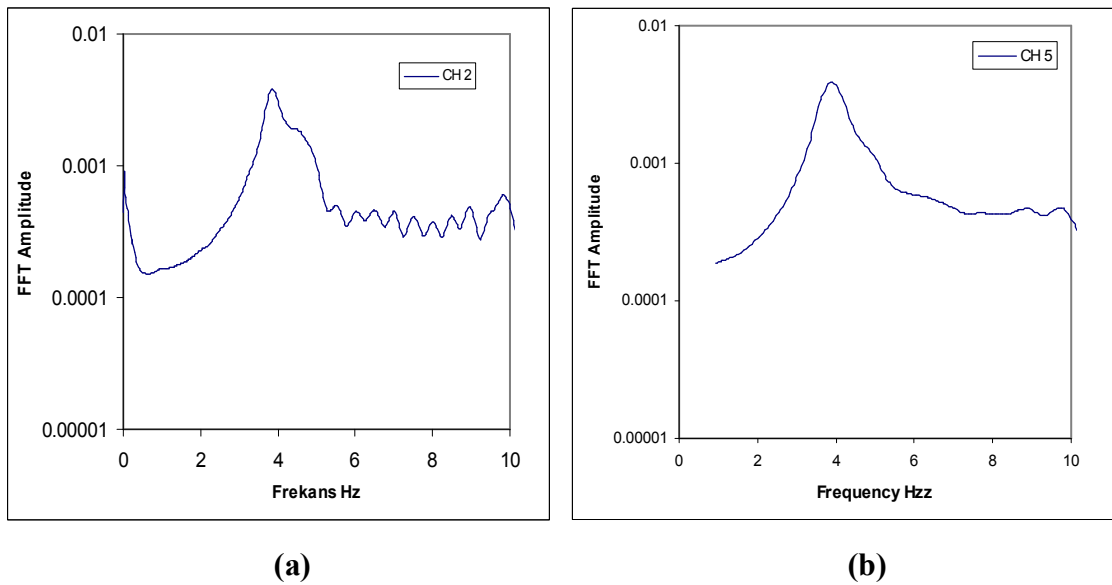
Şekil 5.51 Akdeniz Apartmanı Doğru-Batı (x-ekseninde) doğruztusu birinci mod şekli

Yapının Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultudaki ölçümleri tamamlandıktan sonra Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusundaki ölçümlere geçilmiştir. Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusunda, Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusunda izlenen işlem adımları izlenmiştir.



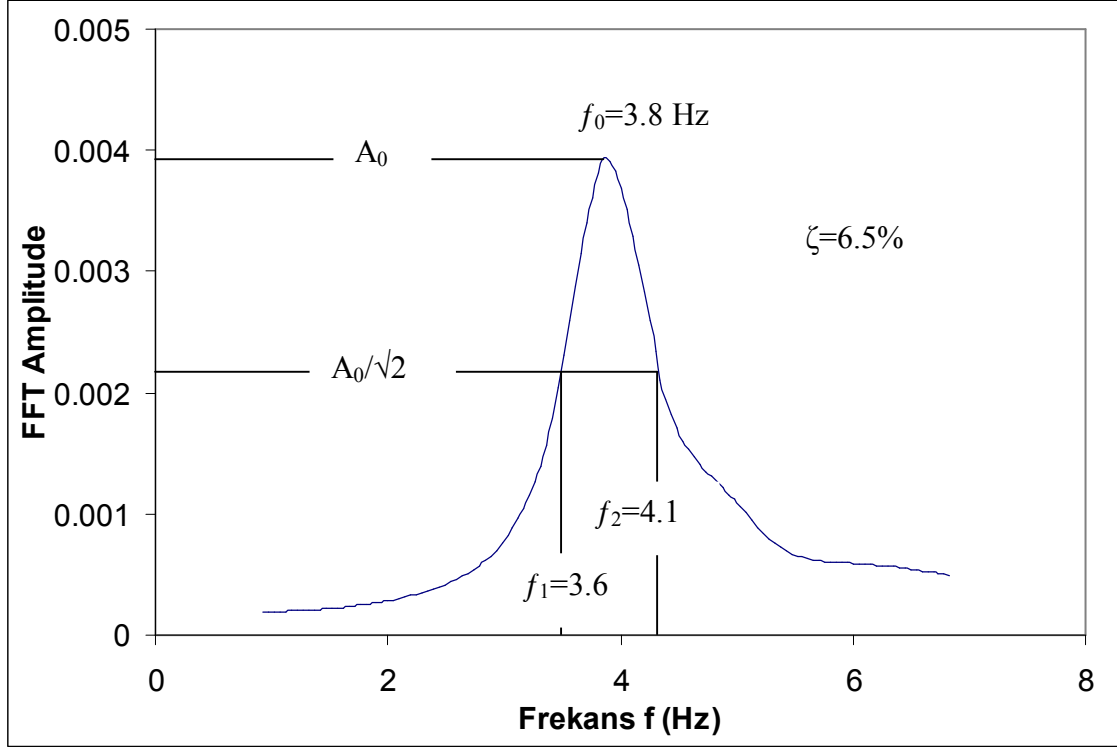
Şekil 5.52 Binanın y-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) sarsmaya karşı tepkisi

Bu durumda yapını y-eksenin deki hakim frekansı 3.8 Hz de elde edilmiştir. Elde edilen grafikler daha düzgün bir hale getirmek için modal frekans değerini kaybetmeyecek şekilde Smooth edilirler. Şekil 5.46’de bu grafikler verilmiştir.



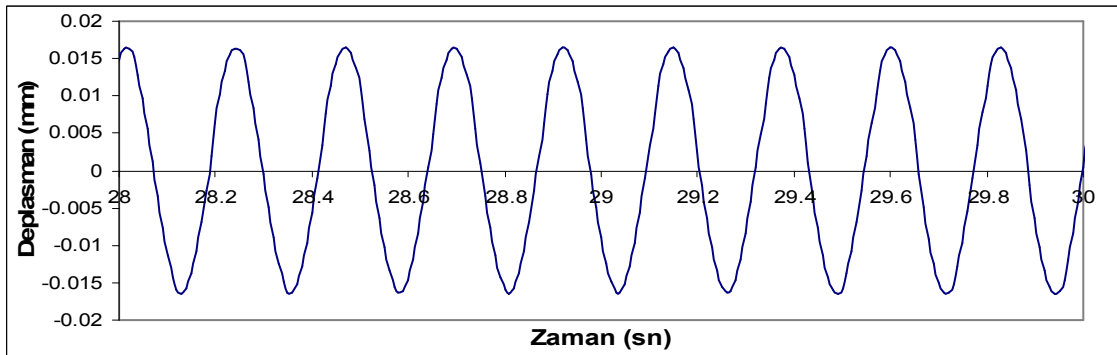
Şekli 5.53 Binanın y-ekseni yönündeki sensör-1(a) ve sensör-2(b) Smooht grafikleri

Modal davranışı gösteren Smooth edilmiş Fourier spektrumu grafiği Şekil 5.53(b) kullanılarak denklem (4.1) den yararlanarak yapının sönüm oranı hesaplanmış ve 6,5% olarak bulunmuştur.

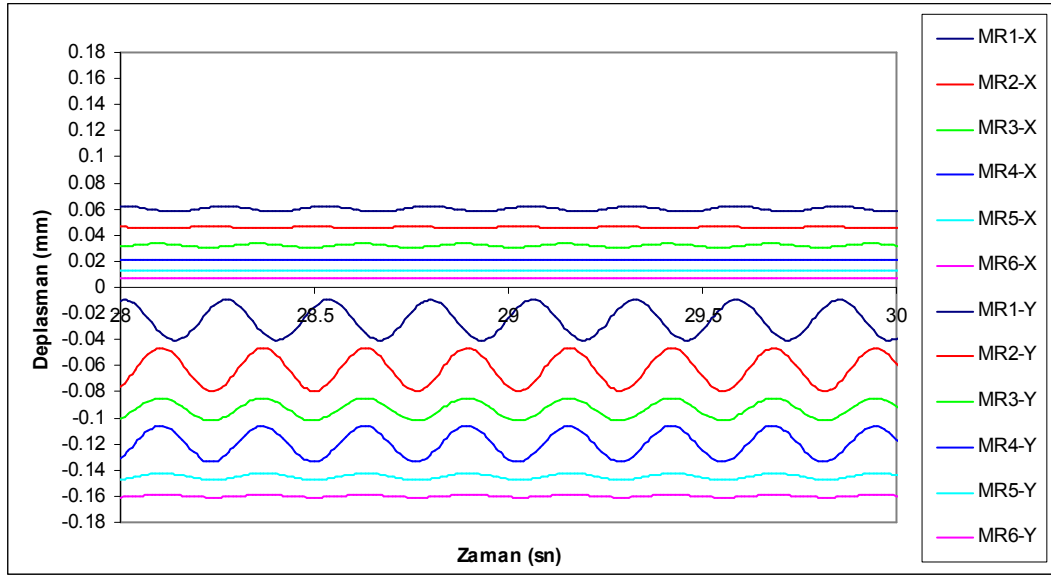


Şekil 5.54 Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu sönüm oranı

Yapının mod şekli sensörlerin deplasman değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 5.56' de görüldüğü gibi bütün sensörlere ait deplasman değerleri çizilmiştir. Bu grafikte sensörlerin aynı zamandaki deplasman değerleri okunmuş ve Şekil 5.57'deki mod şekli elde edilmiştir. Bu mod şekilleri Şekil 5.45' deki sensörlerin konumuna göre ayrı ayrı çizilmiştir.

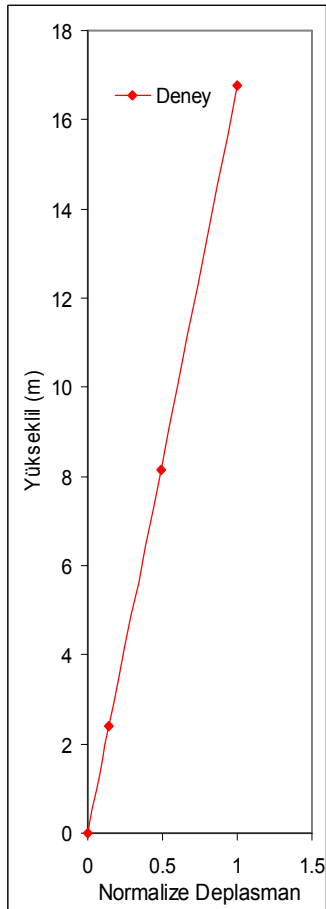


Şekil 5.55 Kuzey-Güney doğrultusu üst kat sensörü deplasman grafiği

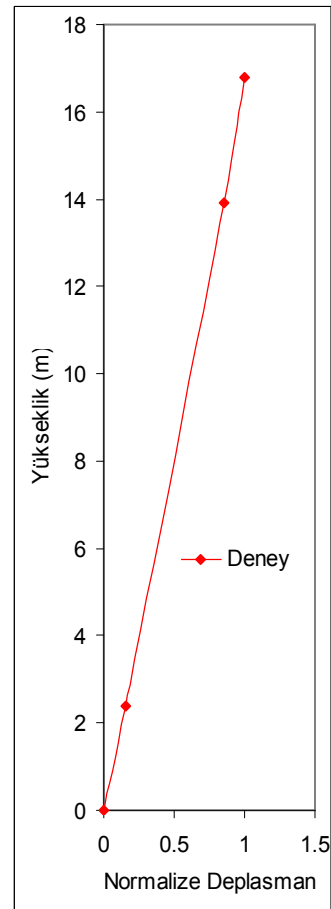


Şekil 5.56 Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu sensörlerin deplasman grafiği

MR1-MR3-MR5-MR6



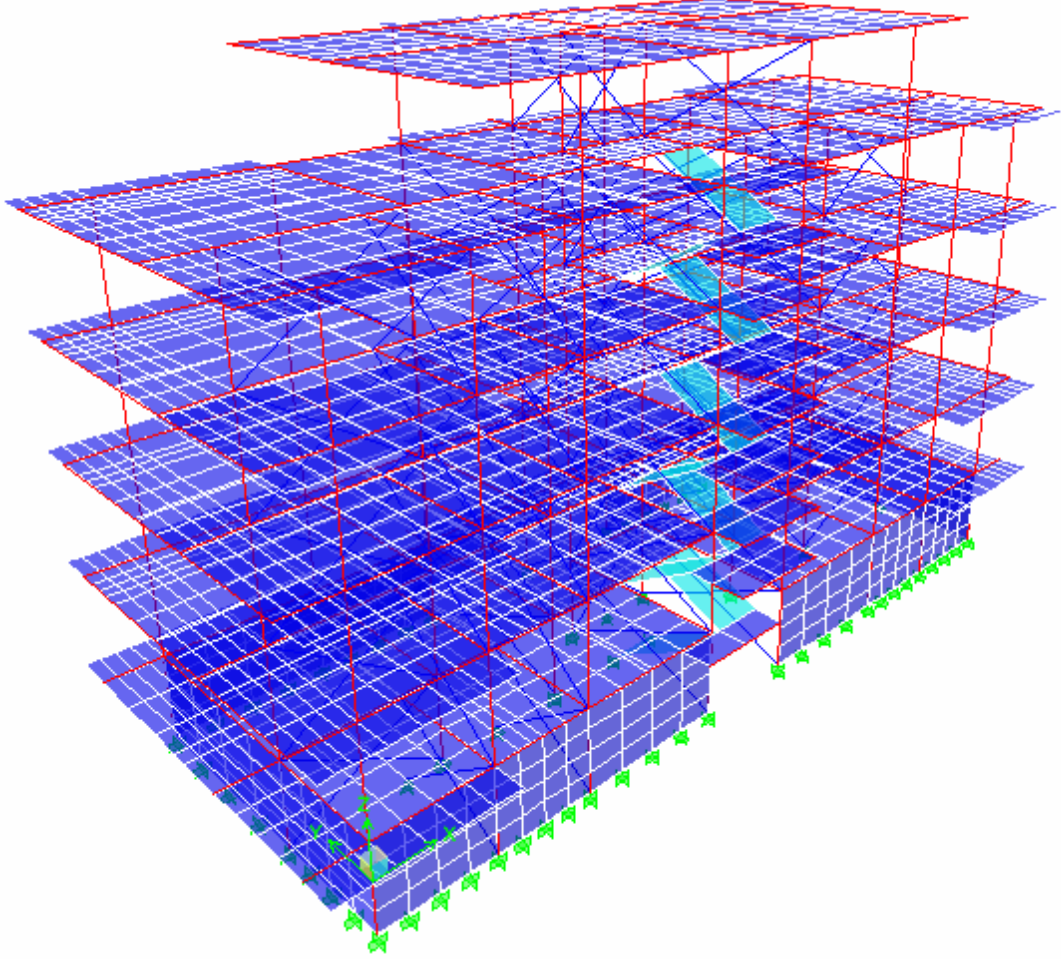
MR2-MR4-MR5-MR6



Şekil 5.57 Akdeniz Apartmanı (y-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli

5.4.3 Binaların Yapı Analiz Programları ile İncelenmesi

Yapının ETABS modeli Şekil 5.50'de verilmektedir.



Şekil 5.58 Akdeniz Apartmanı ETABS modeli

Yapının üç boyutlu modeli ETABS programında hazırlanmıştır. Model oluşturulurken bazı kabuller alınmıştır:

- Ankastre temel seçilmiştir.
- Her katın kütle merkezinde toplanmış kütle kabulü yapılmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

Test esnasında yapı tamamlanmış ve kullanımla olan bir yapıdır. Elemanların elastisite modülü beton sınıfı C20 için 2.8×10^7 kN/m² alınmıştır.

Çizelge 5.2' de deney ve analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.3 Deney ve Analitik sonuçların karşılaştırılması

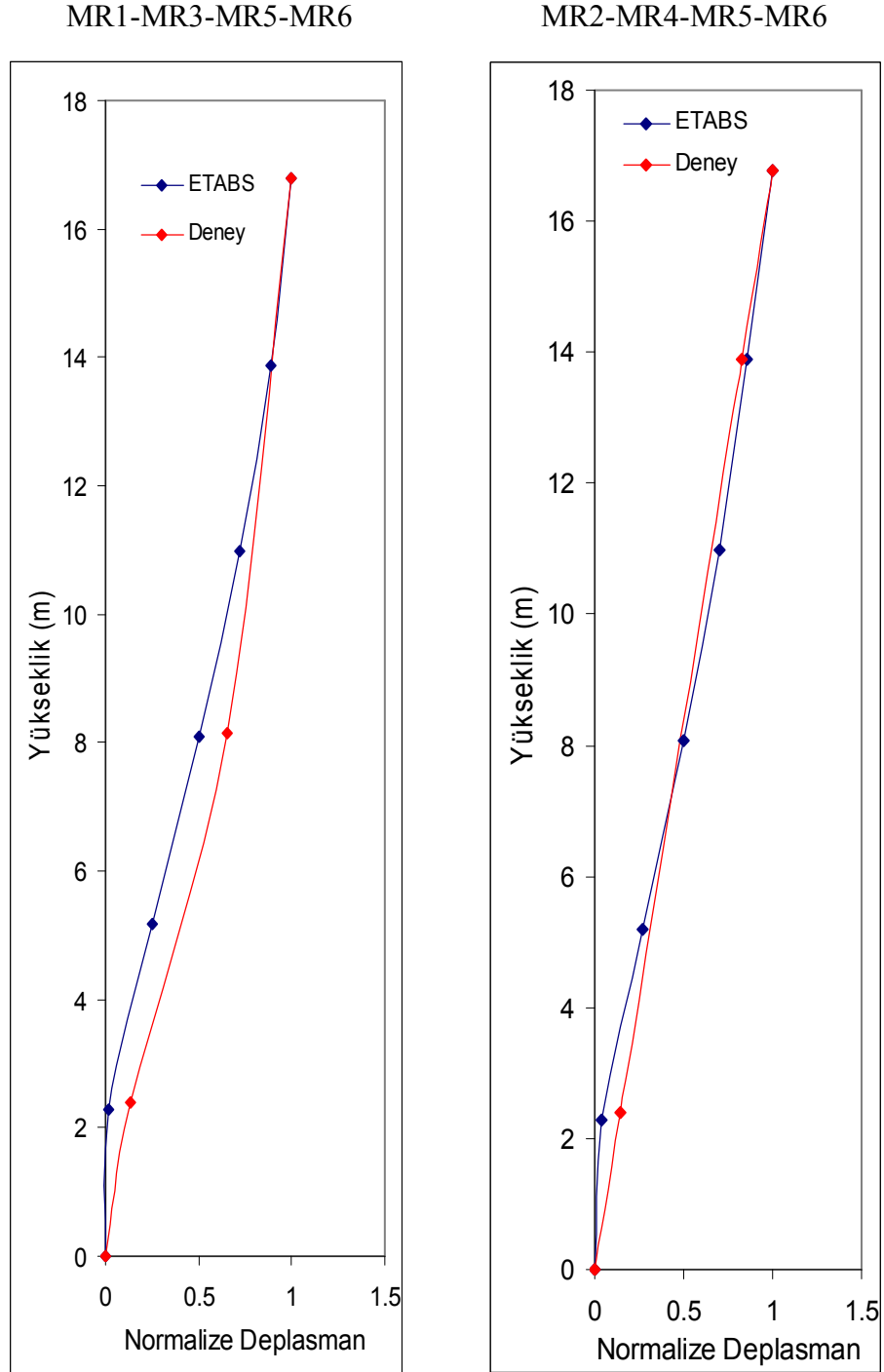
AKDENİZ APARTMANI				
Tür	ETABS (periyot) _a	Deney (periyot) _b	Sönüm Oranı	Fark*(%)
Kısa yön K-G	0,2586	0,2631	6,5%	-1.71
Burulma	0,2506	-	-	-
Uzun yön D-B	0,1990	0,2083	5.1%	-4.46

* $(a)-(b) / (b)$

İki periyot değeri arasındaki yüzdelik farkların bulunmasında deney sonuçları esas alınmıştır.

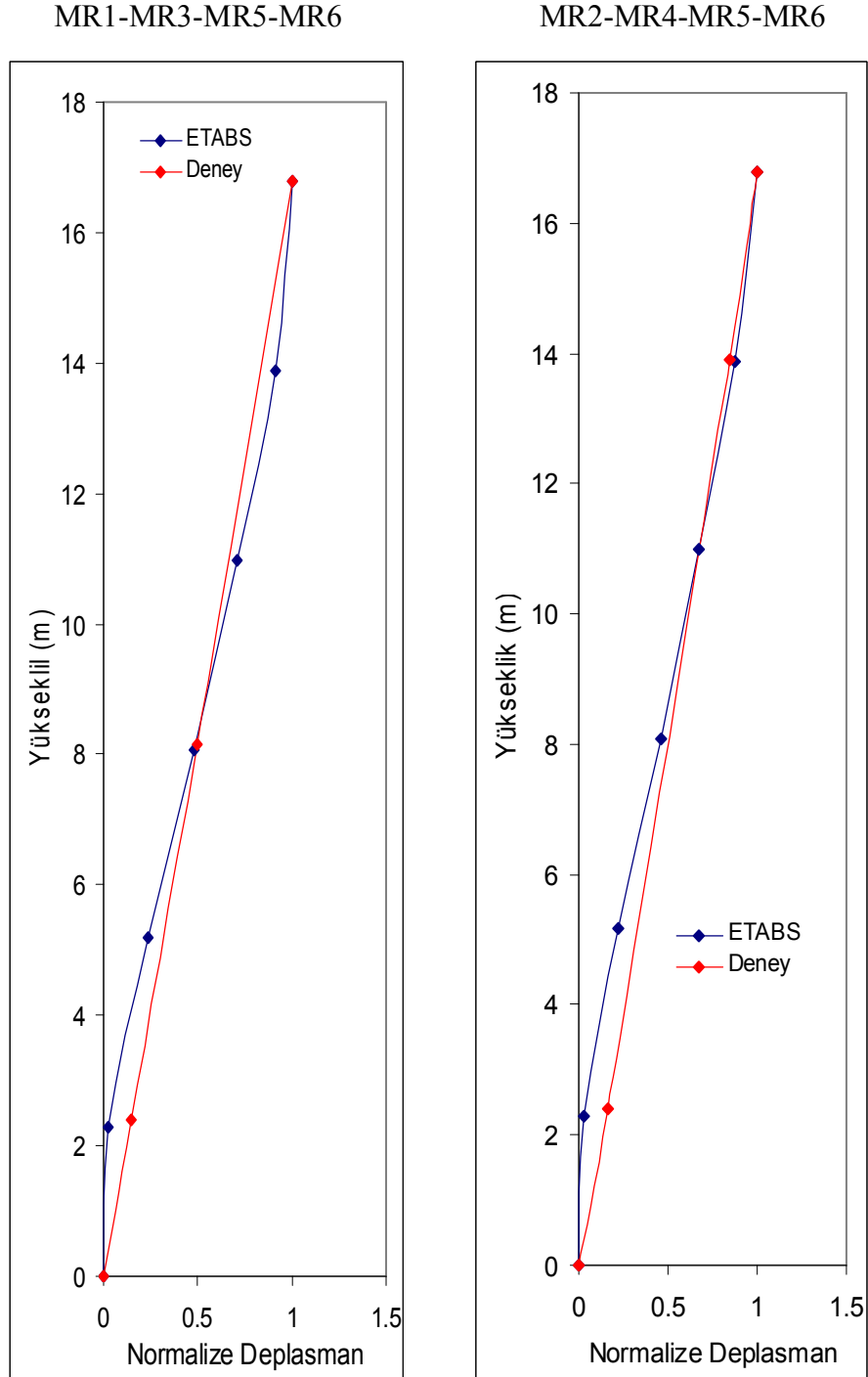
Yapılan analiz sonucunda birinci mod için yapının temel periyodu y-doğrultuda 0,2586 sn ($f=3.86$ Hz), x-doğrultuda 0,199 sn ($f=5.0$ Hz) olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu oldukları görülmüştür. Bilgisayar modellerinden bulunamayan sönüm oranları bulunmuştur.

Yapılan deneyler sonucunda Doğu-Batı doğrultuda elde edilen mod şekli ile analitik sonuçlardan elde edilen mod şeklinin oldukça uyumlu olduğu Şekil 5.59' de verilen grafikte görülmektedir. Sensörlerin katlardaki konumunu göre mod şekilleri çizilmiştir.



Şekil 5.59 Akdeniz Apartmanı Doğu-Batı (x-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli
ETABS ve Deney sonucu karşılaştırması

Yapılan deneyler sonucunda Kuzey-Güney doğrultuda elde edilen mod şekli ile analitik sonuçlardan elde edilen mod şeklinin oldukça uyumlu olduğu Şekil 5.60' de verilen grafikte görülmektedir. Sensörlerin katlardaki konumunu göre mod şekilleri çizilmiştir.



Şekil 5.60 Akdeniz Apartmanı Kuzey-Güney (y-ekseninde) doğrultusu birinci mod şekli ETABS ve Deney sonucu karşılaştırması

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Bu çalışma Antakya kent merkezinin deprem senaryosu ve hasar görebilirlik çalışmalarının adımlarından biridir. Bu çalışmada yapılan deneyler ile Antakya kent merkezindeki binaların dinamik karakteristik özelliklerinin tespit edilmesi, teorik modellerin doğruluğunun incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında üç adet zorlanmış titreşim testi uygulanmıştır. İlk test sekiz katlı betonarme yapı olan Mehmet Ali Yüksel binasında, ikinci test sekiz katlı betonarme yapı olan Özat apartmanında ve üçüncü test beş katlı betonarme yapı olan Akdeniz apartmanında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda yapıların doğal periyotları, birinci modlarına ait mod şekilleri elde edilmiştir. Elde edilen bu deneysel sonuçlar SAP2000 ve ETABS paket programları kullanılarak modelleri oluşturulan yapıların analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca yapının bilgisayar programı ile yapılan analiz sonuçlarından hesaplanamayan sönüm oranları da bu deneyler sonucunda bulunmuştur.

Yapıların deneysel ve analitik sonuçlarından elde edilen birinci modal frekanslar birbiri ile uyumluluk göstermektedir. Analitik sonuçlar ile deneysel sonuçların arasındaki bu uyumluluk analitik modelin doğruluğunu göstermektedir.

Zorlanmış titreşim deneyi uygulanmış binaların gerçek periyotları ile ETABS ve SAP2000 modellerinden elde edilen periyot değerleri karşılaştırılmıştır. İki periyot değeri arasındaki yüzdelik farkların bulunmasında deney sonuçları esas alınmıştır. Bu farklar Mehmet Ali Yüksel binasında Doğu-Batı doğrultusunda 8.55%, Kuzey-Güney doğrultusunda 8.14%' tür. Özat apartmanında Doğu-Batı doğrultusunda 28.61%, Kuzey-Güney doğrultusunda 13.56%' dir. Akdeniz apartmanında Kuzey-Güney doğrultusunda 1.71%, Doğu-Batı doğrultusunda 4,46%'dir. Ayrıca yapının bilgisayar programları ile yapılan modellerinde bulunamayan sönüm oranları da bu deneyler sayesinde bulunmuştur. Bu oranlar Mehmet Ali Yüksel binasında Doğu-Batı yönünde 2,48%, Kuzey-Güney yönünde 2,3%, Özat Apartmanında Doğu-Batı yönünde 5,1%, Kuzey-Güney yönünde 6,25%, Akdeniz Apartmanında Kuzey-Güney yönünde 6,5%, Doğu-Batı yönünde 5,1% olarak hesaplanmıştır.

Yapıların zorlanmış titreşim deneyi ile bulunan periyotları ile ETABS VE SAP2000 modellerinden elde edilen periyotlar arasındaki farklar, binaların yapım sürecinde meydana gelen işçilik ve malzeme hatalarından kaynaklanabilir. Ayrıca yapıların çoğunda projede bağımsız olarak duvarların kaldırılması, balkon döşemesi eklenmesi, kolonların kesilmesi ve kaçak kat çıkılması gibi durumların var olduğu göz önüne alınmalıdır. Ayrıca model analizlerinden elde edilen mod şekilleri ile deneyden elde edilen mod şekilleri uyumluluk göstermektedir.

Zorlanmış titreşim testi sonucunda elde edilen veriler ile tasarım kabulleri doğrulanabilir ve elastik olmayan dinamik analiz daha güvenli bir model için geliştirilebilir.

6.2 Öneriler

- Yapı-zemin etkileşiminin belirli durumlar altında yapıların bütün tepkilerinde önemli etkisi vardır. Bu nedenle daha sonraki yapılacak testlerde bu etkiyi dikkate almak için zemine sensörler yerleştirilmeli ve kayıtlar alınmalıdır.
- Yapı zemin etkileşiminin etkisini incelemek için test yapılacak binalara yakın yerde sondaj verileri incelenerek zeminin detaylı bilgileri elde edilmelidir.
- Test düzeneğinin kısa zamanda profesyonel bir ekip tarafından hazırlanmalı. Bu nedenle, depremden hemen sonra meydana gelen artçı sarsıntılar boyunca tipik ve/veya önemli yapıların sismik tepkileri kaydedilebilir.
- Eğer yeterli test ekipmanı satın alınırsa, yüksek aktivitelerin olduğu sismik bölgelerde hafif şiddetten yüksek şiddetteki depremlere kadar olan sarsıntıların tipik ve/veya önemli yapılardaki sismik tepkileri kaydedilebilir.
- Titreşim testlerinden sonra elde edilen dataların analiz edilmesi hem yorucu hem de çok zaman almaktadır. Bu nedenle, eğer gelecekte daha fazla sayıda binayı test etmek istiyorsak, dataların analiz edilmesini hızlandıracak yazılımların geliştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., and Yüzügüllü, Ö., “Forced Vibration Experiments of Structures,” METU/EERC Final Report, Ankara, 1981.
- Bradford, S. C., Clinton, J.F., Favela, J., and Heaton, T. H., “Results of Millikan Library Forced Vibration Testing,” Report No. EERL 2004-03, California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory, Pasadena, California, 2004
- Cao, H., Ellis, B.R., Littler, J.D., “The use of the maximum entropy method for the spectral analysis of wind-induced data recorded on buildings,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 72 (1977) 81-93.
- Campbell, S., Kwok, K.C.S., Hitchcock, P.A., “Dynamic characteristics and wind-induced response of two high-rise residential buildings during typhoons,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 93 (2005) 461–482.
- Chopra, A. K., *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 1995.
- Çelebi, M., “Identification of Site Frequencies from Building Records,” *Earthquake Spectra*, Volume 19, No. 1, pages 1–23, February 2003; © 2003, Earthquake Engineering Research Institute.
- Çelik, C. O., “Forced Vibration Testing Of Existing Reinforced Concrete Buildings,” A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of The Middle East Technical University June 2002;
- Çelebi, M., Erdik, M., and Yüzügüllü, Ö., “Vibration of Multi-Story R. C. Structure Cast in by Tunnel Forms,” METU/EERC Report No. 77-6, Ankara, 1977.
- Çelebi, M., Erdik, M., and Yüzügüllü, Ö., “Vibration of a Reinforced Concrete Frame w/o Infill Walls,” METU/EERC Report No. 77-3, Ankara, 1977.
- Çelebi, M., Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., and Gülkan, P., Gürpınar, A., Yüçemen, S., Bayülke, N., “Vibration of a Ten Story Reinforced Concrete Structure,” METU/EERC Report No. 77-1, Ankara, 1977.
- De Sortis, A., Antonacci, E., Vestroni, F., “Dynamic identification of a masonry building using forced vibration tests,” *Engineering Structures* 27 (2005) 155–165.
- Ellis, B.R., Bougard, A.J., “Dynamic testing and stiffness evaluation of a six-storey timber framed building during construction,” *Engineering Structures* 23 (2001) 1232–1242.
- Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., Atalay, B., and Yasar, E., “Forced Vibration Experiments on Heavy Panel Prefabricated Structures,” METU/EERC Report No. 81-01, Ankara, 1981.
- Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., Atalay, B., and Yılmaz, Ç., “Sincan Yenikent Housing Complex Vibration Tests,” METU/EERC Report No. 78-8, Ankara, 1978.
- Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., and Atalay, B., “Vibration of an 8-Story R. C. Building with Brick Infill Walls,” METU/EERC Report No. 78-7, Ankara 1978.
- Field Testing and Monitoring of Structural Performance, <http://cee.ea.ucla.edu/nees/index.htm>, University of California, Los Angeles, 2002.

- Foutch, D. A., "A Study of the Vibrational Characteristics of Two Multistory Buildings," Report No. EERL 76-03, California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory, Pasadena, California, 1976
- Ivanovic, S.S., Trifunac, M.D., Novikova, E.I., Gladkov, A.A., Todorovska, M.I., "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 (2000) 391-411, Accepted 11 May 2000.
- Jennings, P. C., Matthiesen, R. B., and Hoerner, J. B., "Force Vibration of a 22-Story Steel Frame Building," Report No. EERL 71-01, California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory and University of California at Los Angeles Earthquake Engineering and Structures Laboratory, Pasadena, California, 1971
- Kohler, M.D., Davis, M.P., and Şafak, E., "Earthquake and Ambient Vibration Monitoring of the Steel-Frame UCLA Factor Building," *Earthquake Spectra*, olume 21, No. 3, pages 715–736, August 2005; © 2005.
- Li, Q.S., Wu, J.R., Liang, S.G., Xiao, Y.Q., and Wong, C.K., "Full-scale measurements and numerical evaluation of wind-induced vibration of a 63-story reinforcedconcrete tall building," *Engineering Structures* 26 (2004) 1779–1794.
- Petrovski, J., Stephen, R. M., Gartenbaum, E., and Bouwkamp, J. G., "Dynamic Behavior of a Multistory Triangular-Shaped Building," Report No. EERC 76-3, University of California, Berkeley, California, 1976
- Rea, D., Bouwkamp, J. G., and Clough, R. W., "Dynamic Properties of McKinley School Buildings," Report No. EERC 68-4, University of California, Berkeley, California, 1968.
- SeismoSoft (2006) SeismoStruct - A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures (online). Available from URL: <http://www.seismosoft.com>
- Stephen, R. M., Wilson, E. L., Bouwkamp, J. G., and Button, M., "Dynamic Behavior of a Pedestal Base Multistory Building," Report No. EERC 78-13, University of California, Berkeley, California, 1978.
- Stephen, R. M., Hollings, J. P., and Bouwkamp, J. G., "Dynamic Behavior of a Multistory Pyramid Shaped Building," Report No. EERC 73-17, University of California, Berkeley, California, 1973.
- Şafak, E., and Çelebi, M., "METHOD TO ESTIMATE CENTER OF RIGIDITY USING VIBRATION RECORDINGS," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 116, No. 1, 1990, Paper No. 24221.
- Şafak, E., "YAPI TİTREŞİMLERİNİN İZLENMESİ: NEDİR, NEDEN YAPILIR, NASIL YAPILIR, VE NE ELDE EDİLİR?," Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında bana araştırma olanağı sağlayan ve her türlü yardımlarını, gerek maddi, gerekse manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN' a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat BİKÇE ve Yrd. Doç. Dr. Cemal GENEŞ' e ve tüm İnşaat Mühendisliği bölümü öğretim üyelerine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında manevi desteğini esirgemeyen, hayatımın her aşamasında bana destek olan ve bu günlere gelmemi sağlayan babam Hasan ATAÇ ve annem Hediye ATAÇ' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmaya TÜBİTAK tarafından 106M420 nolu ve “**ANTAKYA’NIN DEPREM RİSK DEĞERLENDİRMESİ VE DEPREME HAZIRLIK İÇİN MİKRO BÖLGELENDİRME, HASAR GÖREBİLİRLİK VE DEPREM SENARYOSU ÇALIŞMALARI**” adlı proje tarafından desteklenmiştir.

Vural İnanç ATAÇ

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Ankara’ da doğdum. İlkokul ikiye kadar Ankara’ da daha sonra orta ve lise öğrenimimi TED Karadeniz Ereğli Kolejlinde tamamladım. 2003 yılında girdiğim Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2007 yılında mezun oldum. 2007 yılının güz döneminde Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında başladığım yüksek lisans eğitimime TÜBİTAK destekli olan **“ANTAKYA’NIN DEPREM RİSK DEĞERLENDİRMESİ VE DEPREME HAZIRLIK İÇİN MİKRO BÖLGELENDİRME, HASAR GÖREBİLİRLİK VE DEPREM SENARYOSU ÇALIŞMALARI”** adlı projede burslu öğrenci olarak devam etmekteyim.